

TRABAJO FIN DE GRADO

Grado en Ingeniería Mecánica

UNIVERSIDAD DE ALMERIA

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA

TRABAJO TÉCNICO DISEÑO Y FABRICACIÓN DE
MÁQUINA DE GRABADO Y CORTE LÁSER CNC

Curso 2016/2017

Alumno/a:

Carlos Raúl Rodríguez Pérez

Director/es:

José Luís Blanco Claraco
José Antonio López Martínez





TRABAJO TÉCNICO DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MÁQUINA DE GRABADO Y CORTE LÁSER CNC

Autor

Carlos Raúl Rodríguez Pérez

Director

José Luís Blanco Claraco

Co-director

José Antonio López Martínez

Almería, Septiembre 2017

ÍNDICE GENERAL

I MEMORIA Y ANEJOS.....	5
MEMORIA.....	7
INDICE DE MEMORIA.....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. OBJETO E INTERÉS.....	11
3. ANTECEDENTES Y ESTUDIO DE MERCADO.....	11
4. DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES.....	20
5. MONTAJE.....	27
6. FASES DE REALIZACIÓN Y CRONOGRAMA.....	45
7. RESUMEN DE PRESUPUESTO.....	45
8. RESULTADO, CONCLUSIONES Y MEJORAS.....	46
9. BIBLIOGRAFÍA.....	51
ANEJOS.....	55
INDICE DE ANEJOS.....	57
ANEJO I. ESTRUCTURA.....	61
ANEJO II. TRANSMISIÓN.....	73
ANEJO III. MOTORES Y DRIVERS.....	81
ANEJO IV. PROCESADOR Y PLACA DE DISTRIBUCIÓN DE CONEXIONES.....	99
ANEJO V. MÓDULO LÁSER.....	107
ANEJO VI. FUENTE DE ALIMENTACIÓN.....	125
ANEJO VII. SOFTWARE, CÓDIGO G Y CÓDIGO GRBL.....	129
ANEJO VIII. CONEXIONES.....	149
ANEJO IX. MANUAL DE USO.....	155
II MEDICIONES Y PRESUPUESTO TOTAL.....	161
III PLANOS.....	167
PLANO 1.....	169
PLANO 2.....	171
PLANO 3.....	173
PLANO 4.....	175
PLANO 5.....	177
PLANO 6.....	179
PLANO 7.....	181
PLANO 8.....	183
PLANO 9.....	185
PLANO 10.....	187

I MEMORIA Y ANEJOS

MEMORIA

INDICE DE MEMORIA

1	Introducción.....	11
2	Objeto e interés.....	11
3	Antecedentes y estudio de mercado	11
3.1	Introducción de las máquinas CNC.....	11
3.2	Introducción del láser.....	12
3.3	Tipos de láser.....	15
3.4	Aplicaciones.....	19
4	Diseño y selección de componentes.....	20
4.1	Diseño.....	20
4.2	Selección de componentes.....	23
4.2.1	Hardware.....	23
4.2.1.1	Componentes estructurales.....	23
4.2.1.2	Componentes mecánicos.....	24
4.2.1.3	Componentes electrónicos.....	24
4.2.1.4	Componentes de seguridad (EPI).....	26
4.2.2	Software.....	27
4.2.2.1	Xloader v1.00	27
4.2.2.2	Inkscape v0.91 + Extension J-Tech Photonic laser tool.....	27
4.2.2.3	Universal Gcodesender v1.0.9 (UGS).....	27
4.2.2.4	Láser GRBLv2.8.1	27
5	Montaje.....	27
5.1	Fabricación y montaje de componentes estructurales.....	27
5.2	Montaje de componentes mecánicos.....	34
5.3	Montajes de componentes electrónicos.....	38
6	Fases de realización y cronograma.....	45
7	Resumen del Presupuesto	45
8	Resultados, conclusiones y mejoras.....	46
8.1	Resultados y conclusiones.....	46
8.2	Mejoras.....	48
9	Bibliografía.....	51

1 Introducción

La realización de este proyecto expone el diseño, montaje y funcionamiento de una máquina CNC con componentes de fácil obtención en el mercado y las diferentes utilidades en el sector industrial.

2 Objeto e interés

El objeto principal de este trabajo es obtener una máquina cortadora-grabadora láser totalmente funcional, que pueda ser utilizada en industrias que realicen trabajos a pequeña y mediana escala.

Los trabajos que pueden ser llevados a cabo con este tipo de máquinas pueden ser: corte de piezas para modelismo, corte de piezas para miniaturas, customización-rotulación de diferentes artículos, externalización de trabajos para otras marcas comerciales, serigrafiado de todo tipo de elementos publicitarios de otras marcas y corte de componentes funcionales de productos terminados.

Gracias al reducido tamaño del rayo láser podemos realizar diseños con gran cantidad de detalles, aportando precisión y calidad, además el corte total o parcial y troquelado más fino e intrincado es posible sin que el material se quemé ni rompa.

La ventaja del láser respecto a los métodos tradicionales es que éste no ejerce ningún tipo de presión sobre el material, y si es necesario fijarlo, basta con una mesa de vacío que lo sujete durante el proceso. [1]

El interés de este trabajo radica tanto en plasmar los conocimientos adquiridos académicamente y durante el periodo de prácticas de empresa, como en adquirir nuevos conocimientos acerca del funcionamiento de los elementos que componen una máquina CNC de estas características en el transcurso de diseño y montaje.

Otro de los principales intereses de este trabajo es mostrar una opción paralela a la iniciativa emergente de proyectos Reprap (Replication Rapid-Prototyper Project), los cuales han conseguido “clonar” impresoras 3D (la gran mayoría de sus componentes) a partir de una impresora 3D original; y esto es lo que se pretende extrapolando a cortadoras-grabadoras láser y máquinas CNC. Para la fabricación de esta máquina láser que nos ocupa, y que podría ser la máquina/origen para posterior “clonaciones”, vamos a llevarlo a cabo el mismo principio. [2]

3 Antecedentes y estudio de mercado

3.1 Introducción de las máquinas CNC

El CNC, (control numérico por computadora), tiene sus orígenes en los años 1.940 a 1.950 cuando los fabricantes de diversa maquinaria decidieron automatizar los procesos de mecanizado de sus máquinas, sustituyendo los accionamientos manuales por motores y mecanismos que se controlaban de forma autónoma interpretando unos patrones de actuación que leían de una cinta previamente perforada.

En la medida que ha ido pasando el tiempo esos motores y mecanismos van siendo cada vez más perfectos, consiguiendo mecanizados de mucha mayor precisión.

El control también se va perfeccionando hasta la llegada de la electrónica digital y las computadoras, que se integran contribuyendo al desarrollo del automatismo y a la precisión de sus movimientos.

Cada vez son más los procesos de mecanizado y transformación industrial que utilizan maquinaria altamente precisa y automatizada, siendo el CNC uno de los controles más versátiles y utilizados.

Con CNC podemos crear programas que servirán para el mecanizado de tantas piezas iguales como queramos, simplemente controlando el movimiento de la máquina en alguno o en todos sus ejes y de una manera relativamente sencilla y práctica.

Para el mecanizado de piezas muy complejas se suele utilizar diseño asistido por ordenador, empleando ciertos programas de diseño en "3D", (tres dimensiones: largo, ancho y alto), del tipo "CAD" y "CAM" que después de acabar el diseño, se encargan ellos mismos de confeccionar el programa para el CNC.

Y por último, la manera más sencilla, la que se usa "a pie de máquina", es la programación en lenguaje "ISO".

La programación en lenguaje ISO, puede ser efectuada directamente en la propia máquina, incluso algunas disponen de funciones mediante las que se puede estar programando mientras que la máquina está trabajando con otro programa. También se puede hacer desde el ordenador, transfiriendo el programa a la máquina desde el mismo ordenador si está equipada con las funciones necesarias de comunicación "DNC" (data numeric control).

El lenguaje ISO es un lenguaje normalizado, precisamente por el estándar ISO 6983/1, lo que significa que un mismo programa puede funcionar correctamente en diferentes controles o máquinas que admitan este estándar.

Para la realización de un programa se tienen que seguir estrictamente la utilización de las funciones o códigos del lenguaje ISO, la posición y el orden que deben de ocupar, así como el orden de operaciones que queremos realizar. [11]

3.2 Introducción del laser

Láser (del acrónimo inglés LASER, light amplification by stimulated emission of radiation; amplificación de luz por emisión estimulada de radiación) [12]

La historia comenzó en 1916, cuando Albert Einstein estudiaba el comportamiento de los electrones en el interior del átomo. Por regla general, los electrones son capaces de absorber o emitir luz. En realidad, los electrones emiten luz espontáneamente sin ninguna intervención externa. Sin embargo, Einstein previó la posibilidad de estimular los electrones para que emitiesen luz de una longitud de onda determinada. El estímulo se lo proporcionaría una luz adicional de la misma longitud de onda. A pesar de que R. Ladenberg verificó el pronóstico de Einstein en 1928, nadie pensó seriamente en construir un dispositivo basado en el fenómeno en cuestión hasta principios de los años cincuenta.

Recordemos que láser significa amplificación de la luz por emisión estimulada de radiación. Einstein descubrió la emisión estimulada, pero para fabricar un láser se precisa también amplificación de dicha emisión estimulada.

La primera propuesta conocida para la amplificación de la emisión estimulada apareció en una solicitud de patente soviética en el año 1951, presentada por V.A. Fabrikant y dos de sus alumnos. Sin embargo, dicha patente no se publicó hasta 1959, y por consiguiente no afectó a los demás investigadores. Fabrikant sigue siendo un misterio en la actualidad, uno de los olvidados en la ruta de investigación del láser. En 1953, Joseph Weber, de la universidad de Maryland, propuso también la amplificación de la emisión estimulada y, al año siguiente, los rusos mencionados anteriormente, Basov y Prokhorov, escribieron un artículo explorando mucho más a fondo el concepto. Desde entonces, a Weber se le ha pasado a conocer mejor por sus investigaciones en otro campo, el de la detección de ondas de gravedad basándose también en otra antigua idea de Albert Einstein.

Éstas son las fechas oficiales correspondientes a la primera parte de la carrera del láser. Pero acaso el hecho más significativo tuviese lugar en el banco de un parque de Washington DC durante la mañana del 26 de abril de 1951. Charles H. Townes se encontraba en Washington para asistir a una reunión de físicos y compartía la habitación de su hotel con Arthur Schawlow. En realidad, Townes asistía a una conferencia en la que se hablaba de ondas milimétricas y Schawlow tomaba parte en otra reunión. Uno de los grandes intereses de Townes consistía en generar ondas cortas para sus investigaciones, que era algo que no había logrado todavía. Townes, casado y con hijos menores, estaba acostumbrado a levantarse temprano, mientras que Schawlow, soltero, solía levantarse tarde. Cuando Townes se despertó por la mañana temprano, con el fin de no molestar a Schawlow, decidió ir a dar un paseo. Y fue precisamente en un banco del parque de Franklin, de Washington, donde se le ocurrió la gran idea. Se dio repentinamente cuenta de las condiciones necesarias para amplificar la emisión estimulada de microondas. Como hemos visto con anterioridad, las microondas son ondas electromagnéticas muy cortas, como por ejemplo, las que se utilizan en ciertos tipos de hornos. No se trata de ondas luminosas, y sin embargo la revelación de Townes tuvo una importancia sumamente trascendental para el láser.

La idea de Townes, según sus propias palabras en aquella época, "solo parecía factible en parte" Siguiendo el método tradicional de los catedráticos de física, formuló el problema en forma de tema para una tesis y se lo ofreció a James P. Gordon, alumno licenciado de la universidad de Columbia. Tres años más tarde, Gordon, Townes y Herbert Zeiger habían logrado construir en Columbia el primer máser (amplificación de microondas por emisión estimulada de radiación). [14]

Un láser es básicamente una fuente de luz. Lo que diferencia a un láser de otras fuentes de luz, como las bombillas, es el mecanismo físico por el que se produce la emisión de luz, que se basa en la emisión estimulada, en contra de la emisión espontánea que es la responsable de la mayor parte de la luz que vemos. Para entender lo que es la emisión espontánea y la emisión estimulada hay que conocer un poco la física de la interacción de átomos con fotones. Tan solo se dirá aquí que este particular mecanismo de emisión confiere a la luz unas propiedades muy interesantes, como son la alta potencia (y su capacidad para ser amplificada), la direccionalidad (emisión en forma de "rayos"), la frecuencia de emisión bien definida (color de la luz), la capacidad de emitirse en pulsos de muy corta duración, y una propiedad llamada coherencia que significa que las onda electromagnéticas que forma el haz de luz marchan "al paso". [13]

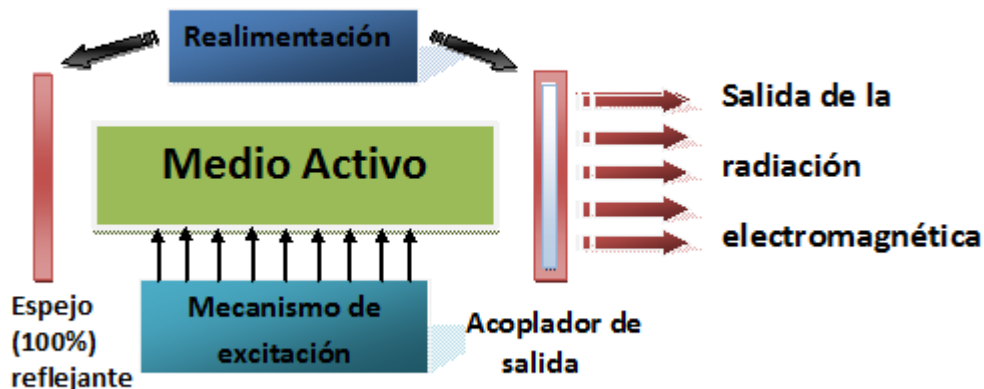


Figura 1. Esquema de un equipo de corte láser (Fuente: Soldadura y técnicas afines, Zabara Czorna, pág. 271).

La energía de bombeo se usa para excitar el medio activo, generando una onda electromagnética en el interior de la cavidad óptica. Una de las dos lentes paralelas que conforman esta cavidad es parcialmente reflectante, permitiendo la transmisión de una porción de energía fuera de la cavidad, y produciendo de este modo el rayo láser (Interacción del láser con la materia). Todos los materiales son sensibles a la radiación electromagnética, respondiendo de tres modos básicos a su incidencia. Estos modos son reflexión, transmisión y absorción. Si se suman las potencias individuales asociadas a cada una de estas respuestas, se debe llegar a una cantidad igual a la de la potencia incidente. Mientras mayor sea el número de electrones libres en la periferia, como es el caso de los conductores eléctricos, los materiales tenderán a ser más reflectivos. Para poder procesar el material se busca una gran absorción de energía por parte del mismo, ya que esta energía tiende a destruir la red cristalina en forma localizada. Dependiendo de la densidad de energía, condiciones de operación y el material en cuestión, se logrará su procesamiento por calentamiento-fusión-vaporización. El comportamiento del material a cortar frente a la absorción, es función de las características del material y de su estado superficial, como también de la longitud de onda del láser y de la temperatura. La conductividad térmica y la reflectancia del material juegan un papel muy importante. Si el calor se difunde rápidamente (como sucede en el oro, plata y cobre), el corte se ve dificultado. Lo mismo sucede con materiales muy reflectantes (aluminio), que requieren el empleo de elevadas potencias. Resulta evidente entonces, que existe un límite máximo de espesor a cortar, según el tipo de material. En el caso del acero se sitúa alrededor de los 20mm, en el acero inoxidable por los 13mm y en el Aluminio hasta 6mm. [17]

(*) **El medio activo** es una parte muy importante del láser ya que el material usado como medio activo determina:

- La longitud de onda del láser
- El método de bombeo más adecuado
- Orden de magnitud de la salida del láser
- El rendimiento del sistema láser

El medio activo determina muchas de las propiedades del láser, tal es así, que el nombre de cada láser deriva del nombre del medio activo. [16]

(*)El **medio activo** es el material donde se produce la inversión de población; es decir, el medio donde se consigue situar más átomos en un estado excitado que en el estado de más baja energía de la transición electrónica utilizada en el láser. Esta inversión de población se suele conseguir aportando energía al medio con el llamado *bombeo*, de forma que no interfiera con las transiciones implicadas en la emisión láser.

Algunos ejemplos de medios activos utilizados en varios tipos de láseres son:

- Algunos cristales, habitualmente dotados con iones de tierras raras (como el neodimio, el iterbio o el erbio) o iones de metales de transición (como el titanio o el cromo), a menudo el YAG, el ortovanadato de itrio (YVO_4) o el zafiro (Al_2O_3).
- Algunos vidrios, como vidrios de silicatos o fosfatos, también dotados con iones activos.
- gases, como mezclas de helio y neón, nitrógeno, argón, monóxido de carbono, dióxido de carbono o vapores metálicos.
- semiconductores, como el arseniuro de galio (GaAs), el arseniuro de indio y galio (InGaAs) o el nitruro de galio (GaN).
- soluciones líquidas de algunos colorantes.
- un haz de electrones (en los láseres de electrones libres). [15]

3.3 Tipos de Láser

El control numérico o control decimal numérico (CN) es un sistema de automatización de máquinas herramienta que son operadas mediante comandos programados en un medio de almacenamiento en comparación con el mando manual mediante volantes o palancas.

Estas máquinas herramienta en la actualidad optimizan el tiempo de fabricación, mejorando la precisión y maximizan el rendimiento.

Este proyecto se centrará en las máquinas de control numérico con tecnología láser; y para entender mejor el funcionamiento de estas máquinas se hará un estudio de mercado de los diferentes modelos que existen en la actualidad poniéndonos en contexto en cuanto al fin de ellas, y la tipología de tecnología láser que incluyen.

Se pueden diferenciar dos grupos:

- a) Aquellos *modelos que son destinados a fines industriales* a gran escala y producciones donde la eficiencia energética y la optimización de costes son los principales objetivos de este tipo de máquinas. Estos modelos están caracterizados por tener un mayor tamaño, y por tanto, el área de trabajo es mayor. Son máquinas sujetas a una normalización y la implementación de una serie de protecciones de seguridad, punto a mejorar en aquellas catalogadas como Do It Yourself, que más adelante explicaremos.

Los modelos industriales de grabadoras-cortadoras laser más comunes dependiendo de la tecnología láser para corte-grabación son:

- Láser de CO_2 : Su medio activo son moléculas de CO_2 , la excitación del medio se realiza mediante corriente eléctrica, la radiación emitida es de 10,6 mm, requiere espejos para conducir el haz láser = Mayor complejidad, tiene un mayor coste y mayor mantenimiento,

potencia de 1500 a 6000 W y es muy usado industrialmente (85%). [5] Este tipo de láser es el más extendido por su amplia gama de potencias y su menor coste.(Figuras 2 y 3)[8]

- Láser de Fibra: Los láseres de fibra pertenecen al grupo de los láseres sólidos. Generan el rayo láser mediante lo que se conoce como "Seed Laser" y lo amplifican en fibras de vidrio especialmente montadas a las que se suministra energía a través de diodos de bombeo. Con una longitud de onda de 1,064 micrómetros, los láseres de fibra consiguen un diámetro de foco muy pequeño, por lo que su intensidad es hasta 100 veces superior a la de los láseres de CO₂ de la misma potencia media emitida.

Los láseres de fibra resultan ideales para el marcado de metales, para grabados en metal y para marcados en plástico ricos en contrastes. Los láseres de fibra por lo general no requieren mantenimiento y se caracterizan por su larga vida útil de por lo menos 25.000 horas de láser. (Figuras 4 y 5)

Este tipo de láser es adecuado para los siguientes materiales: metales, metales revestidos o lacados y plásticos. [7]

- Láser de estado sólido (YAG): Su medio activo es un cristal de granate de Itrio y Aluminio (YAG) dopado con iones de Nd, el medio activo se excita mediante lámpara flash de alta intensidad, radiación emitida es de 1,064 mm (Se conduce por fibra óptica), no requiere espejos para conducir el haz láser, interactúa mejor que el láser de CO₂ con materiales como: aceros galvanizado, Al, Cu, Latón, etc.Potencia de 2550 a 4500 W. Poco usado industrialmente del proceso de corte por láser de Nd:YAG. [5] El rayo aquí se genera por medio de un efecto químico cuando la barra de YAG, es bombardeado con energía a partir de una lámpara de destellos o una fuente laser de diodo. Este efecto se denomina "Bombeo" y los distintos fabricantes se refieren a los distintos tipos de bombeo como fuentes, es decir, bombeado por diodos, bombeado por lámpara. El bombeo por lámpara se encuentra en desuso y relegado principalmente para algunos tipos de laser de grabado sobre metales. (Figura 6) [6]

Los tres tipos anteriores funcionan bajo el mismo principio, lo único que los diferencia es el medio activo utilizado para la refracción del láser. Dependiendo del diseño, el medio láser puede estar compuesto de una mezcla de gases (como es el caso de láser de CO₂), o un cuerpo de cristal (como es el láser YAG) o fibras de vidrio (el láser de fibra). Cuando se inyecta energía al medio láser por medio de la bomba, emite energía en forma de radiación.

El medio láser activo se sitúa entre dos espejos, el "resonador". Uno de esos espejos es un espejo unidireccional. La radiación del medio láser activo se amplifica en el resonador. Al mismo tiempo, sólo una cierta radiación puede abandonar el resonador a través del espejo unidireccional. Esta radiación en forma de haz es la radiación láser.

- ❖ Láser bombeado directamente con diodo (tecnología implantada en este proyecto, y detallada con más detenimiento en el apartado de Anejos)

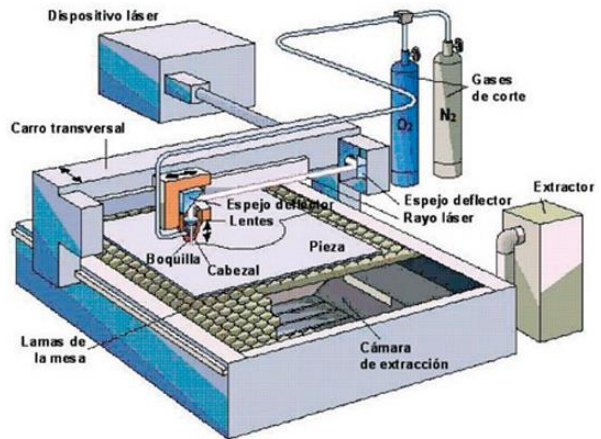
Figura 2 Laser de CO₂Figura 3 Esquema de máquina láser CO₂

Figura 4 Laser Fibra

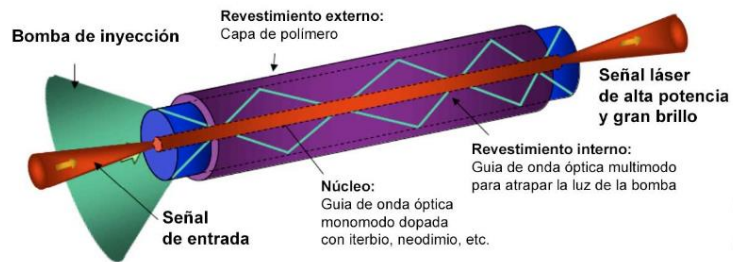


Figura 5 Principio de funcionamiento laser fibra



Figura 6. Laser YAG

- b) Aquellas llamadas en termino anglosajón *“DO IT YOURSELF” (DIY)*: Máquinas fabricadas por particulares, no sujetas a una normativa, destinadas a pequeñas industrias. Un valor añadido por algunos fabricantes particulares, es el reciclaje de piezas/componentes de PC's, u otros aparatos electrónicos fomentando así la sostenibilidad de estas nuevas máquinas. Aparte de los

usos indicados, estos modelos DIY pueden tener un destino pedagógico ya sea de forma autónoma o bien en centros educativos. (Figuras de 7- 10)[4]

Aquí podemos ver diferentes modelos DIY:

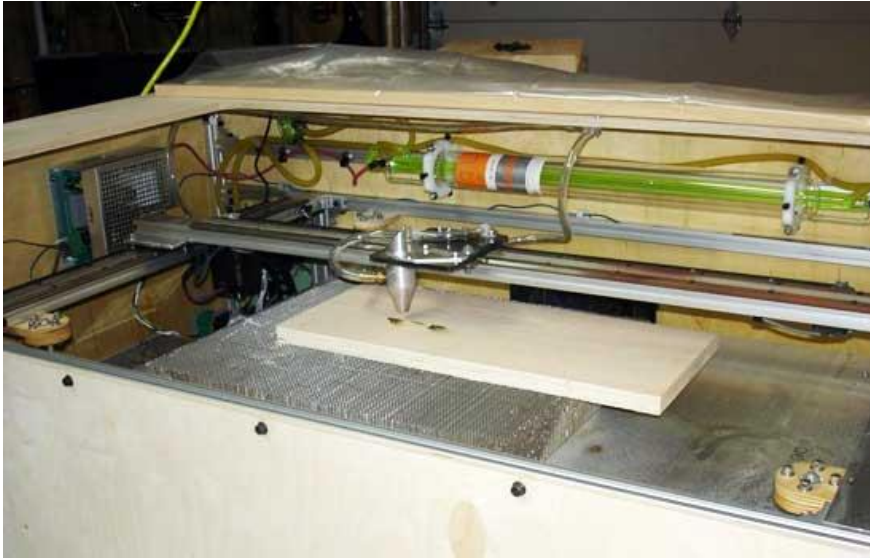


Figura 7. Fuente: Fabricación de cortadora laser de CO₂ llevada a cabo por Ben de Bullldlog.net

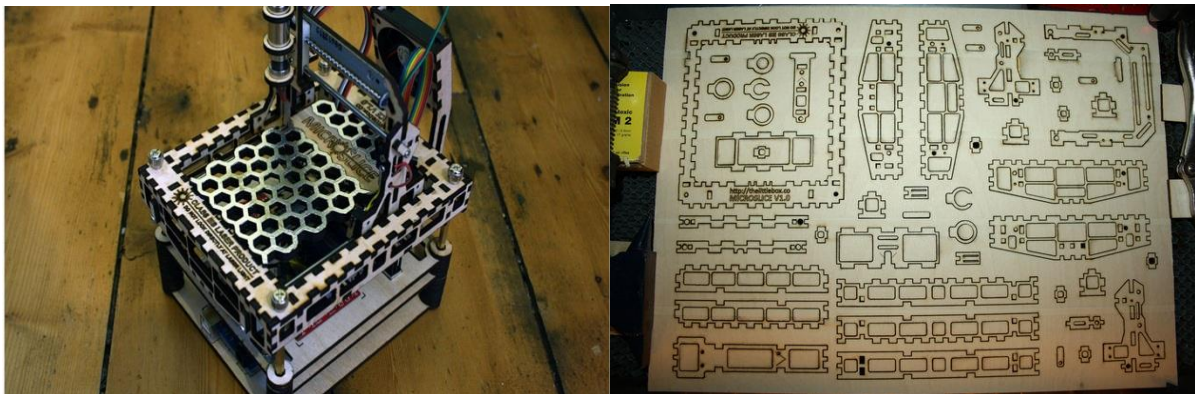


Figura 8. Fuente: Kickstarter . Máquina terminada y despiece previo a la fabricación

Estos dos ejemplos anteriores son ejemplos pertenecientes a la corriente actual de “máquinas auto replicables” (RepRap)

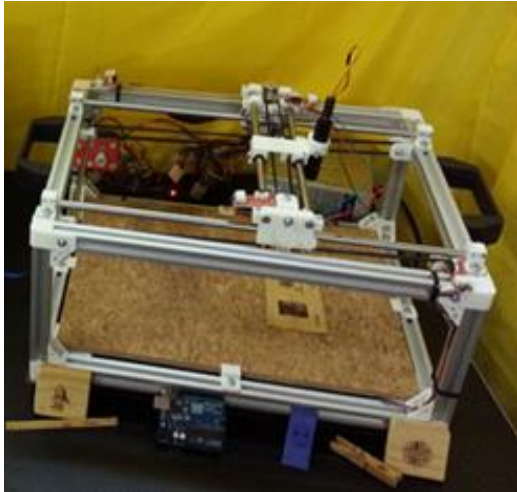


Figura 9

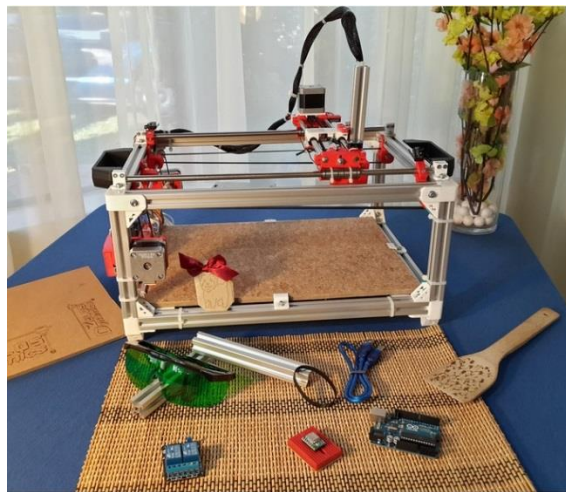


Figura 10

Los modelos de las figuras 9 y 10 fueron diseñados y fabricados por un particular en una campaña de “crowdfunding” en la página web Kickstarter (Web con la misión de dar vida a proyectos creativos). El modelo de la figura 10 es la versión 2.0 del modelo a con mejoras en el diseño y materiales.

3.4 Aplicaciones

Dependiendo de la potencia y configuración de cada tipo de máquinas anteriormente descritas, el abanico de aplicaciones se modifica. Por ello, desde un punto de vista genérico, los materiales que se pueden trabajar con estos tipos de laser son:

Diferentes tipos de plásticos
Vidrio
Madera
Metal
Papel
Piedra
Textiles
Cuero
Cerámica

Los diferentes sectores donde se usan estos tipos de láser, (combinando potencia, tipo de láser, áreas de trabajo de las máquinas CNC) son:

a) Corte con láser

- Fabricación de piezas precisas para maquetas, prototipos y modelismo. Permite plasmar prácticamente todo tipo de diseños con máxima fidelidad al detalle.
- Corte láser para FabLabs (Talleres de fabricación digital de uso personal), Maker Spaces (espacio de reunión de gente para compartir proyectos y conocimientos), escuelas y universidades.

- También se usa en la industria del “packaging”, para corte de diferentes tipos de envases y contenedores.
- Industria textil y calzado
- Industria automovilística (Corte de chasis, parte de motor y detalles del vehículo)
- Corte en artículos promocionales [10]

b) Grabado Láser

- Tecnología médica (marcado láser de instrumentos médicos y quirúrgicos)
- Personalizado de artículos de tecnología (smartphones, portátiles, componentes electrónicos)
- Fabricación de sellos para scripbooking (educativos y motivacionales, personalizados) con láser.
- Grabado de premios y trofeos
- Grabado de merchandising
- Industria del automóvil y mecánica (marcado trazabilidad de piezas)
- Bisutería
- Electrónica (marcado de componentes electrónicos)
- Señalización e identificación [9]

4 Diseño y selección de los componentes

4.1 Diseño

Tras la revisión preliminar al amplio abanico que ofrece el mercado actual, en este caso, se partirá de la necesidad del uso de dos ejes (X e Y), ya que el eje vertical no posee grandes aplicaciones en nuestro tipo de maquina CNC. Por otro lado se necesitarán dos carros móviles, uno a lo largo del eje X y otro a lo largo del eje Y, pudiendo así alcanzar con el cabezal o herramienta cualquier punto del área de trabajo. (Figura 11)

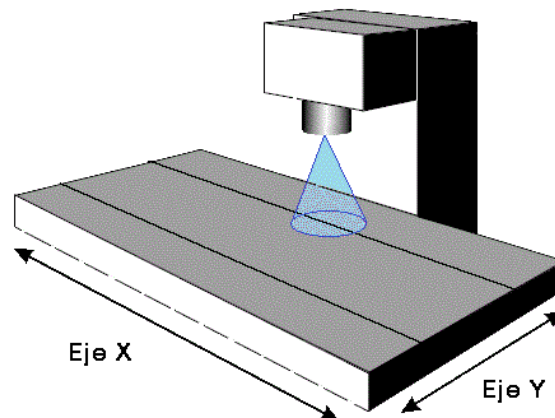


Figura 11

Para llevar a cabo esta idea se van a tener en cuenta tanto el factor económico (optimización de presupuesto) como el factor de funcionamiento que más se adecue a la necesidad de trabajo, basada esta

necesidad en el principio de funcionamiento anteriormente citado (desplazamiento por ejes X e Y para poder llegar a cualquier punto del plano de trabajo).

Se partirá de un boceto preliminar (figuras 12 y 13) a mano alzada de esta máquina, sobre el cual se basará el diseño final perfeccionándolo con ayuda de software CAD. Evidentemente, desde el diseño de partida se han hecho modificaciones teniendo en cuenta los factores anteriormente mencionados, factor económico y también desde el punto de vista funcional de la máquina.

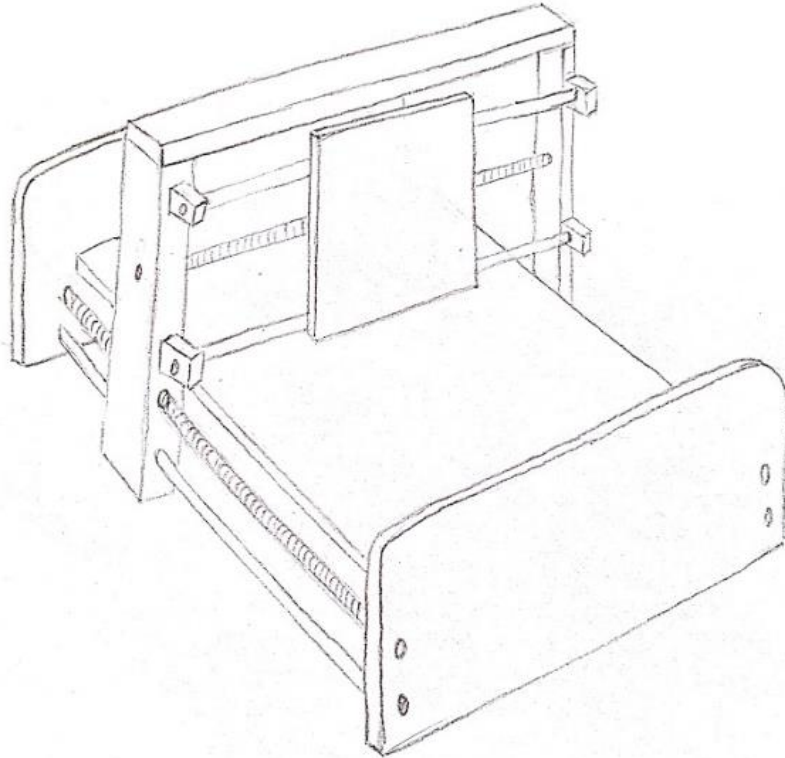


Figura 12. Diseño preliminar del conjunto de la máquina

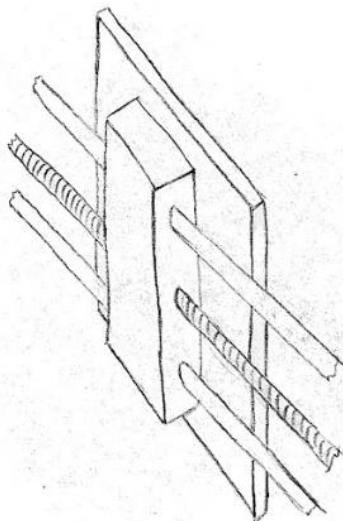


Figura 13. Diseño preliminar del soporte de láser y modo de desplazamiento

Después de estudiar el boceto preliminar, revisar el estudio de mercado, revisión de elementos que se pueden utilizar en el diseño y fabricación y teniendo en cuenta siempre el objetivo final de esta máquina; se ha llegado a un diseño final que difiere un poco del boceto preliminar. (Figuras 14 y 15).

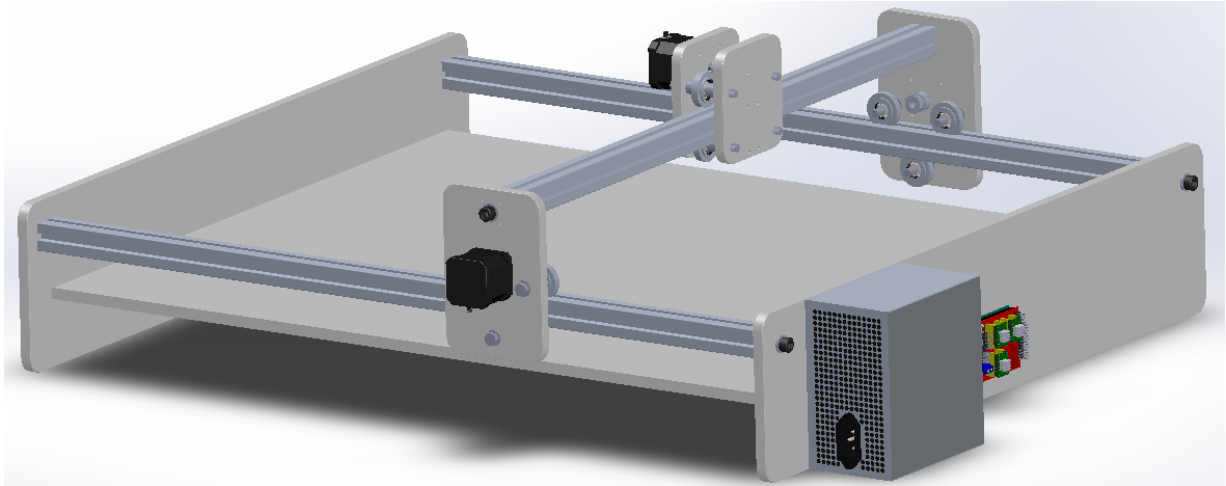


Figura 14. Diseño final

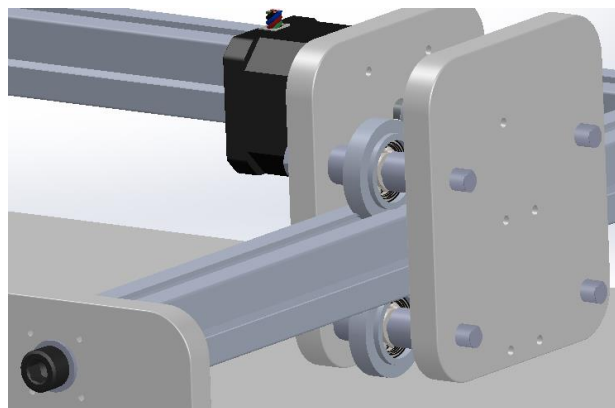


Figura 15 Detalle de soporte láser

Antes de comenzar a construir el proyecto final, hay que basarse en una idea original de funcionamiento de todas las partes importantes que intervienen en el funcionamiento de la máquina y como estarán relacionadas entre sí. A partir de esa idea original, se seleccionan todos los componentes necesarios para llevar a cabo esta idea. (Figura 16)





Figura 16.

4.2 Selección de componentes

4.2.1 Hardware



4.2.1.1 Componentes estructurales

	Perfil ranurado de Aluminio 25 x 25
	Madera MDF 10 mm de espesor

4.2.1.2 Componentes mecánicos

	Correa transmisión tipo GT2 de 6 mm
	Poleas de aluminio GT2 20 dientes y \varnothing 5 mm
	Rodamientos de bolas de 7 x 19 x 6 mm
	Ruedas de carro de Aluminio y nylon


4.2.1.3 Componentes electrónicos

	Motores bipolares Nema 17 con par motor 45 N*cm
	Ventilador refrigerador 40 mm 12v

	Arduino UNO R3
	Controlador de motor A4988 y disipadores de aluminio
	CNC Shield V3 board (placa de fácil conexión)
	Caja de protección de arduino. Acrílico
	Diodo láser de 2 Watos, 445-450 nm, de Ø 5,6 mm
	Carcasa protectora metálica para diodo de 5,6 mm con lente de cristal regulable de 400-600 nm y ventilador disipador de calor
	Controlador de diodo láser de 200 mW a 2 W de 12 Voltios

	Fuente de alimentación de 12 V (de ordenador en desuso)
	Cables DuPont (machos y hembras)
	Termo retráctil de diferentes medidas
	Finales de carrera con palanca pletina conmutadora
	Pulsadores de 7 mm

4.2.1.4 Componentes externos de seguridad (EPI)

	Gafas de protección contra radiación láser 200-540 nm
---	---

4.2.2 Software

Para la programación y control de esta máquina se emplearán distintos software (todos ellos gratuitos) cada uno de ellos con un propósito distinto.

4.2.2.1 Xloader v 1.00

Este software se utiliza para cargar/flashear arduino con el código GRBL (firmware que descifra el código G y lo traduce a órdenes para los componentes electrónicos de la máquina.

4.2.2.2 Inkscape v 0.91 + Extension J-Tech Photonic laser tool

Programa vectorial que transforma archivos gráficos con extensión .JPG a código G.

4.2.2.3 Universal Gcodesender v 1.0.9 (UGS)

Este programa sirve tanto para controlar la máquina manualmente como para introducir el código G obtenido previamente con el programa Inkscape.

4.2.2.4 Láser GRBL v 2.8.1

Este programa se usa para crear código G a partir de cualquier archivo gráficos (dibujos, fotografías, archivos digitalizados, etc) y al mismo tiempo envía el código G al arduino. Resumiendo, realizaría ambas funciones.

5 Montaje

5.1 Fabricación y Montaje de componentes estructurales

Algunas partes de este equipo se han comprado ya manufacturadas y otras han requerido otros procesos de fabricación y adaptación a nuestro diseño.

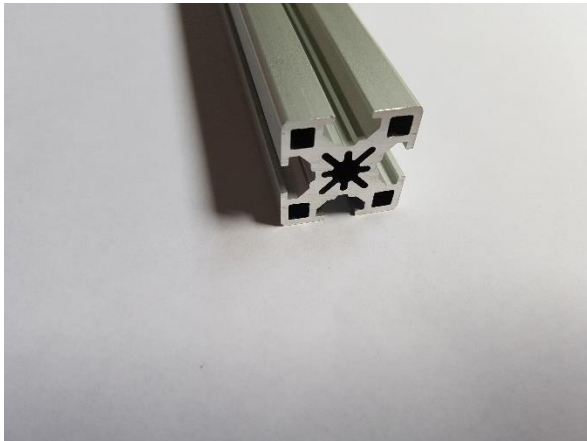
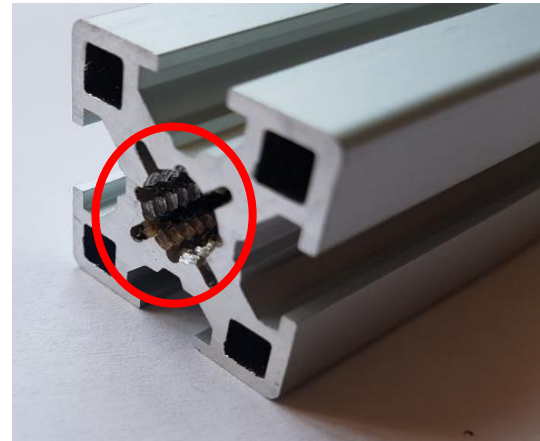
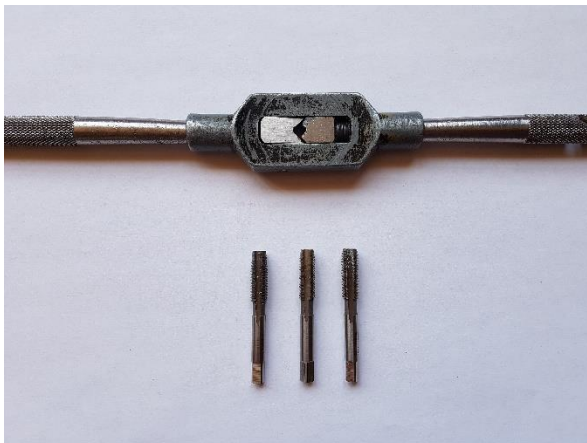
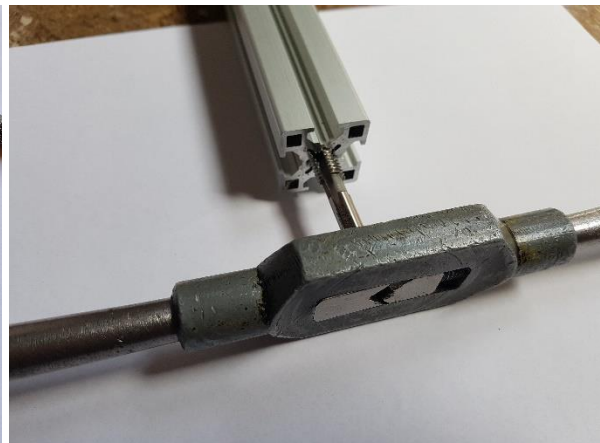


Figura 17



Figura 18

Debido a que el plazo de entrega de las ruedas seleccionadas era mayor que el plazo de entrega de este proyecto y ya que es una parte fundamental de la máquina, se opta por la fabricación propia de las mismas en un torno paralelo. Debido a contratiempo ocurrido en la fabricación de éstas en torno paralelo, se tuvieron que rectificar en un mini torno de precisión (foto adjunta 17). A estas ruedas de aluminio se le acopla una funda de nylon también fabricada en torno paralelo con las medidas deseadas para minimizar la fricción con la correa y evitar posibles desgastes. Los rodamientos de bolas van alojados en el interior de las ruedas y para ello ha sido usado un taco de aluminio para un perfecto ajuste. (Figuras de 18- 20)

*Figura 19**Figura 20**Figura 21**Figura 22**Figura 23**Figura 25*

Para la unión de los perfiles de aluminio y travesaños de madera ha sido necesario roscar los perfiles de aluminio mediante juego de machos de roscar de 8 mm siguiendo el orden de mayor a menor conicidad y ayudado por soporte de roscar. (Figuras de 21-24)



Figura 26

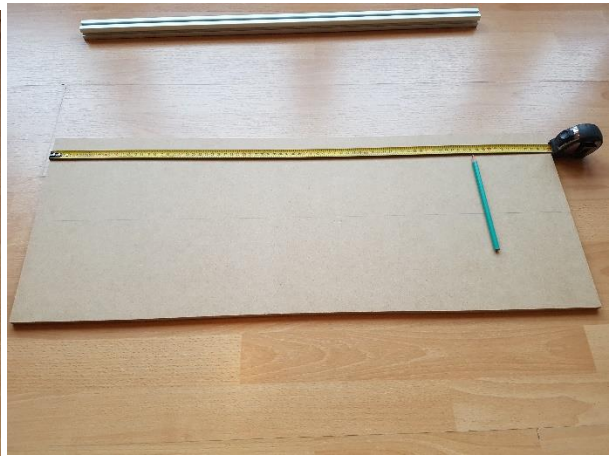


Figura 27



Figura 28



Figura 29

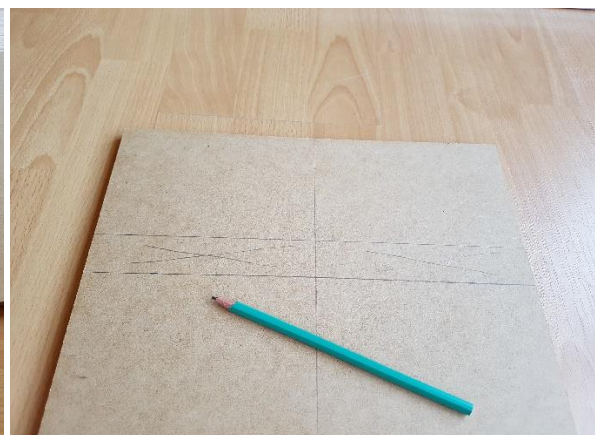


Figura 30

Con objeto de optimizar la madera, se han usado 1 tabla MDF de 800 x 600 x 10 mm y 2 tablas MDF 800 x 300 x 10 mm. De aquí se obtiene la tabla que hará la función de mesa de trabajo (750 x 600 x 10 mm), dos tablas travesaños frontal y trasera (670 x 150 x 10 mm), 2 soportes de motores (100 x 150 x 10 mm) que formarán parte del carro con desplazamiento en eje Y, y 2 soportes que conformarán el carro con desplazamiento en el eje X (105 x 100 x 10 mm). (Figuras de 26-30)



Figura 31



Figura 32

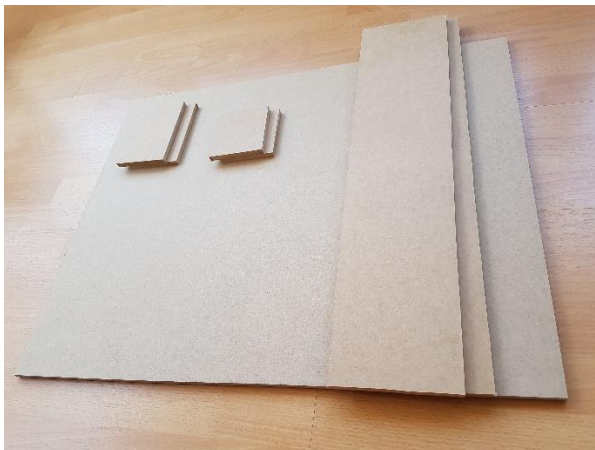


Figura 33

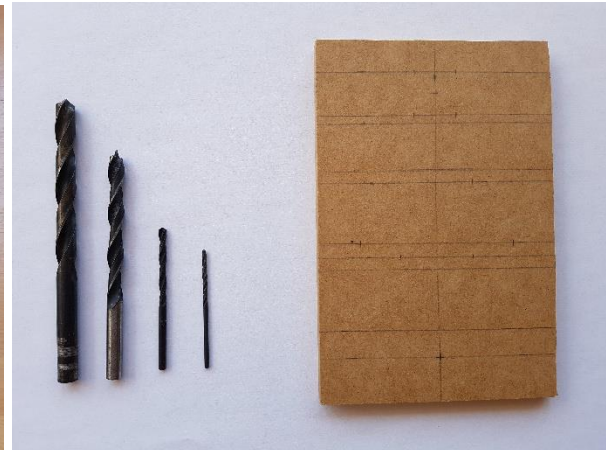


Figura 34



Figura 35

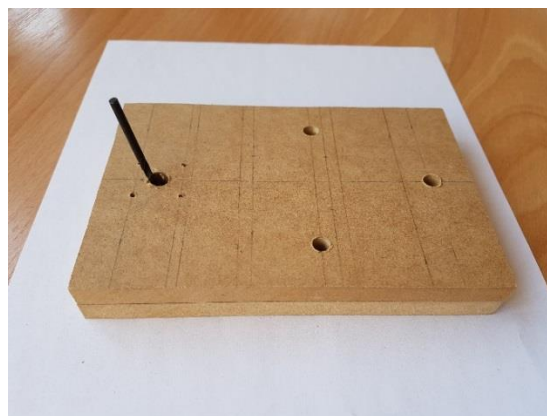


Figura 36

Posteriormente se procede al corte y taladrado de las maderas con sierra eléctrica y con hoja de sierra de corte arriba/abajo para conseguir un corte más limpio. Se utiliza un soporte para taladrado vertical en todos los soportes de motores/láser con el objeto de conseguir un mayor paralelismo entre los ejes y una mayor precisión en el ajuste de las piezas. El taladrado se hizo con brocas de acero para madera de las medidas 2, 3, 7 y 8 mm, agujeros donde se ensamblarán ruedas, motores y perfiles posteriormente (todas las cotas están definidas en los planos). (Figuras de 31- 36)

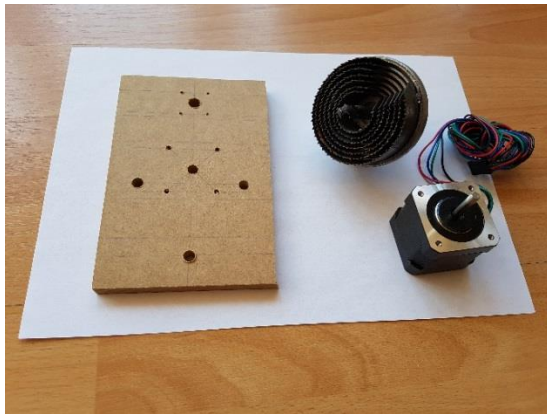


Figura 37

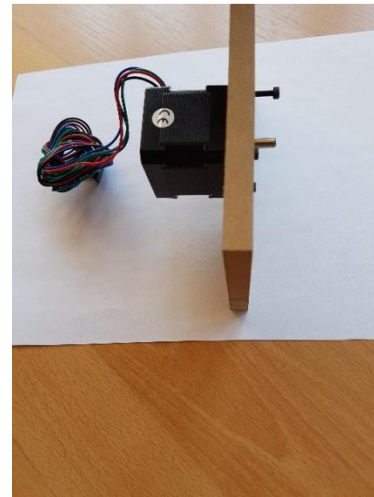


Figura 38



Figura 39

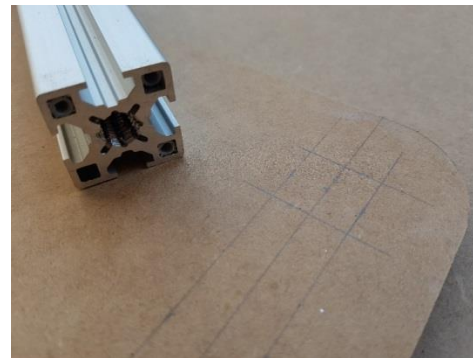


Figura 40

Se lleva a cabo una comprobación de los diferentes anclajes de perfiles, ruedas y motores a los diferentes agujeros realizados en los soportes de madera. (Figuras de 37- 40)

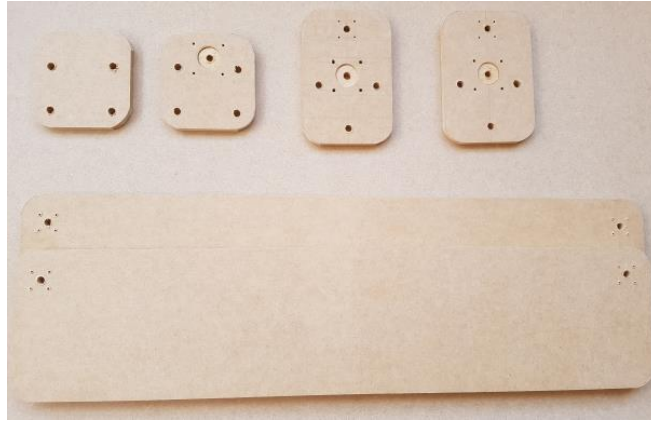


Figura 41



Figura 42



Figura 43



Figura 44



Figura 45

Posteriormente al corte y taladrado, se lleva a cabo un trabajo de lijado de aristas vivas con lija de madera al agua, para ofrecer una mejor superficie para el posterior pintado.

Se realiza el sellado de poros por medio de una pintura especial “tapaporos” aplicandolo en dos ocasiones con un secado intermedio.

Después del sellado, se vuelve a lijar la superficie tal y como indica el fabricante para una posterior aplicación (en dos ocasiones para un acabado más uniforme) de esmalte al agua color Gris Perla. (Figuras de 41-45)

En el ensamblaje de los perfiles de aluminio se han usado además de tornillos de rosca métrica, tornillos para contrachapado con fijaciones de tacos de plástico aprovechando los orificios en la sección de los

perfiles, evitando con ello el uso de escuadras. Dichos tornillos impiden el giro de los perfiles y ayudan a la mejor nivelación. (Figura 46)

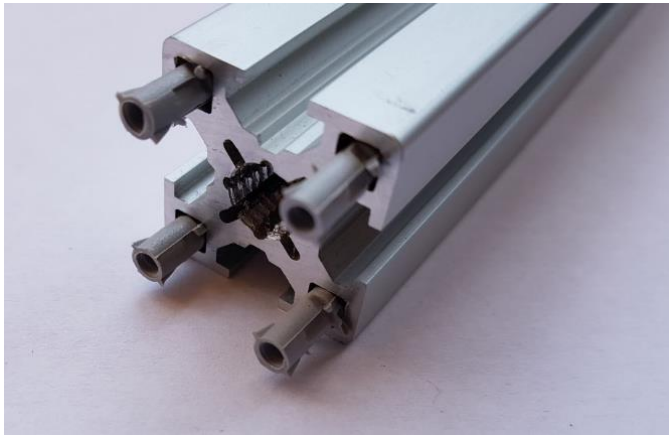


Figura 46



Figura 47

Antes del ensamblaje entre maderas y perfiles de aluminio, se introducen los prisioneros para la fijación de la correa de goma en las guías previamente rectificadas las tuercas que los componen para que pudieran entrar en la sección de las guías (arriba detalle de la modificación de tuercas). (Figura 47)



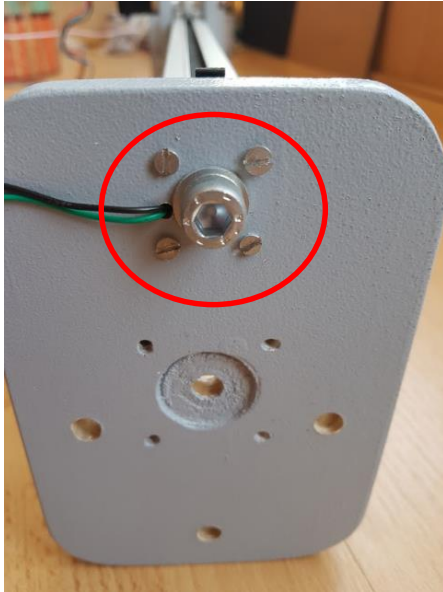
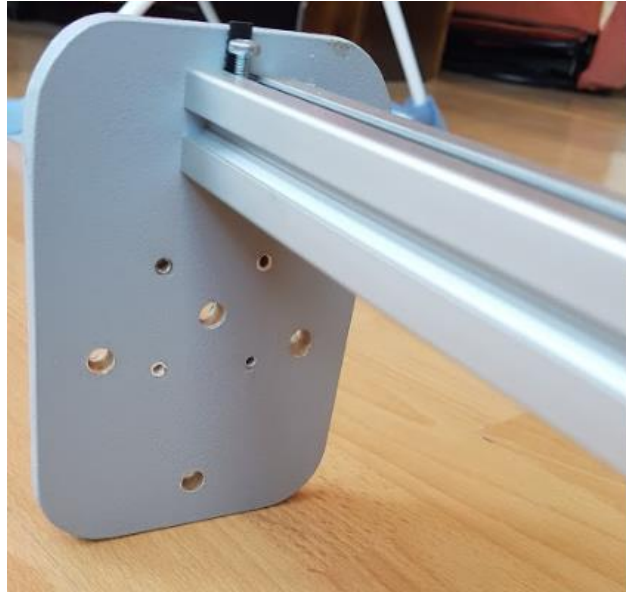
Figura 48



Figura 49

Posteriormente al ensamblaje de travesaños de madera y perfiles de aluminio que conforman el cuerpo de la máquina, se fija la mesa de trabajo mediante 4 ángulos metálicos previamente nivelada.

El montaje del puente o carro encargado del movimiento lineal del eje Y se lleva a cabo de la misma forma que el resto de perfiles estructurales, usando los mismos componentes de unión como se muestran en las siguientes imágenes. (Figuras de 48-51)

*Figura 50**Figura 51*

5.2 Montaje de componentes mecánicos

Una vez conseguida la estructura sobre la cual se apoyarán el resto de componentes mecánicos y electrónicos, procedemos al montaje de los elementos encargados de la transmisión del movimiento. Para ello emplearemos los siguientes elementos:

*Figura 52. Arandela M7**Figura 53. Casquillos separadores de 11,5 mm**Figura 54. Tornillos M7 50 mm**Figura 55. Ruedas fabricadas de aluminio y Nylon*

Todos los elementos descritos se montan siguiendo la siguiente secuencia. (Figuras de 52-55)

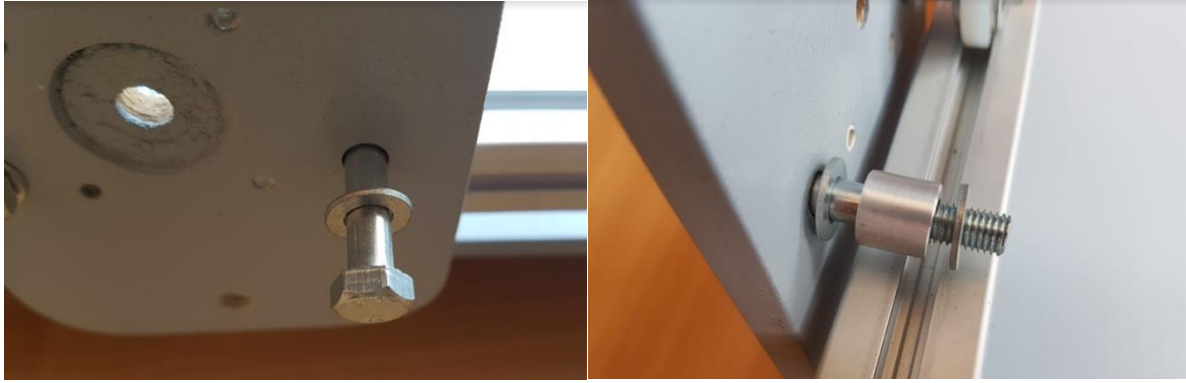


Figura 56 (A)



Figura 57 (B)



Figura 58 (C)

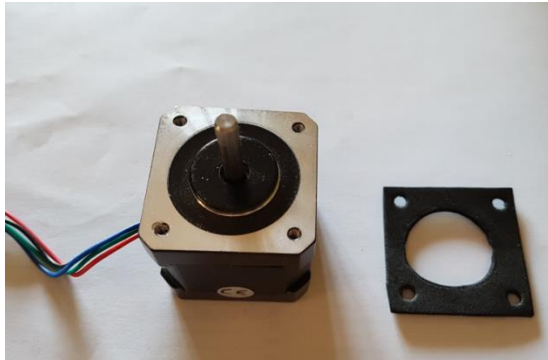
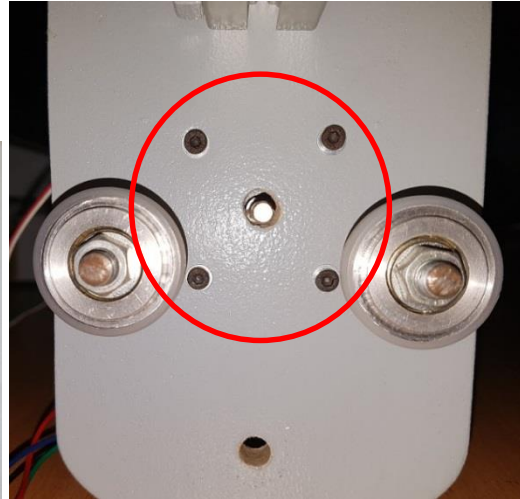
Inserción de tornillo M7 con arandela de separación entre tornillo y madera para evitar daños.

- A- Inserción de arandelas y casquillo de separación de 15 mm para un ajuste exacto de la rueda con el carril del perfil de aluminio.
- B- Inclusión de rueda de aluminio con Nylon.
- C- Apriete de ruedas con tuerca y arandela.

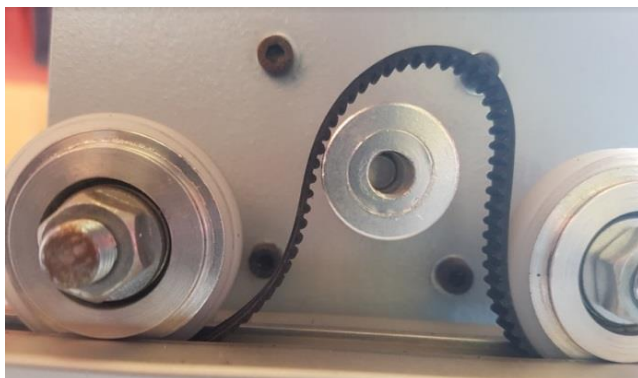
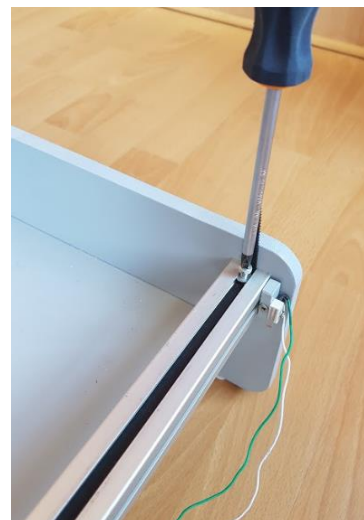
El resto de ruedas se montan siguiendo dicho proceso y habrá que cerciorarse que dichas ruedas encajan perfectamente en los carriles de los perfiles de aluminio.

Después del montaje de ruedas, se procede al montaje de motores y poleas en los soportes de MDF, dichos motores se alojan en los taladros que previamente se llevaron a cabo para este fin. El ajuste de los motores a dichos soportes se realiza con tornillos Allen M3 x14 mm y además se incluyen un separador para absorber las vibraciones de los motores.

Una vez colocados y atornillados los motores se procede a colocar las poleas por medio de dos tornillos prisioneros (uno de ellos se hace coincidir con un plano que posee el eje del motor para una mejor sujeción) que las poleas llevan incrustados, los cuales se fijan al eje por medio de llave Allen. (Figuras de 59-61)

*Figura 59**Figura 60**Figura 61*

El siguiente paso es la colocación y fijación de la correa dentada en los raíles de los perfiles haciéndola pasar entre las ruedas y la polea como se indica en las imágenes siguientes. (Figuras de 62-64)

*Figura 62**Figura 63*

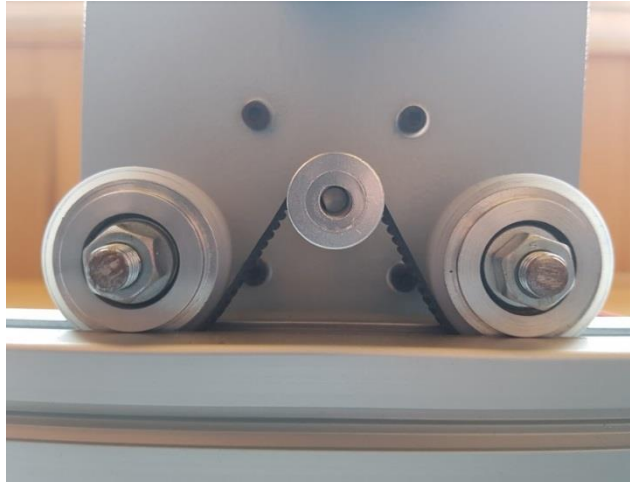


Figura 64

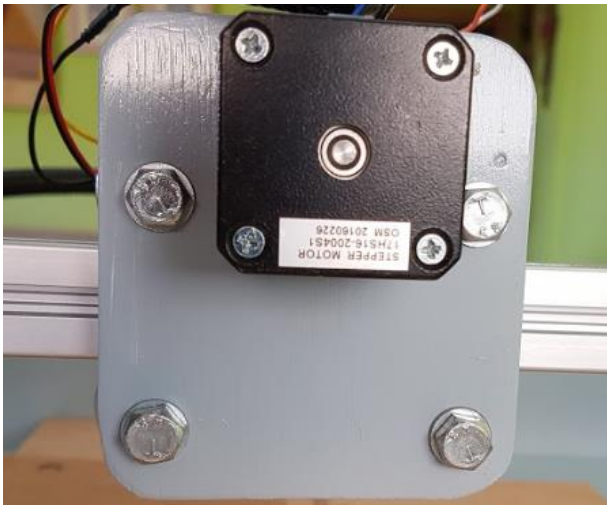


Figura 65

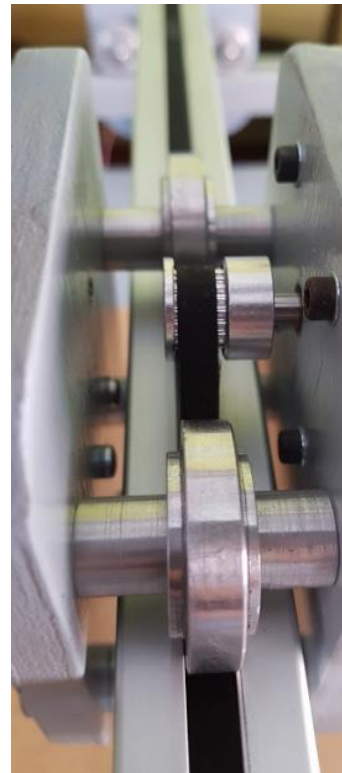


Figura 66

Una vez montados todos los componentes mecánicos del carro con movilidad en el eje Y, se instala el carro del eje X con similares elementos, pero con la variación de usar 4 ruedas en lugar de 3 para minimizar vibraciones y holguras a la hora del desplazamiento. Los 8 casquillos se han fabricado de la misma forma que los usados en los carros del eje Y pero con diferente longitud, en este caso ha sido de 12 y 13 mm para salvar las cabezas de los tornillos de sujeción del láser. (Figura 65 y 66)

5.3 Montaje de componentes electrónicos

Para poder probar el funcionamiento de la simbiosis entre software y hardware electrónico se ha realizado la conexión de todos los componentes electrónicos, a excepción del diodo láser y del controlador de éste.

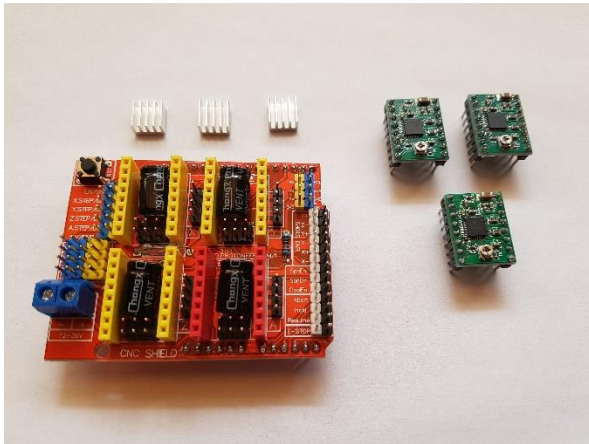


Figura 67

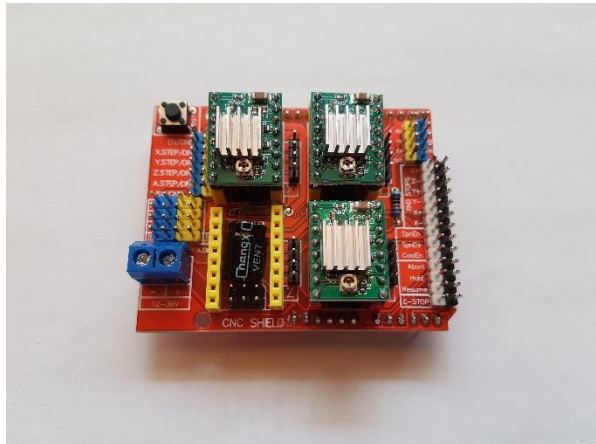


Figura 68

En primer lugar se conectan los controladores de los 3 motores a la CNC shield en función de la posición de los motores en los ejes de la máquina, siguiendo las indicaciones que en ella vienen serigrafiadas. Como hay dos motores que mueven un mismo eje (eje Y) el tercer controlador se colocará en los pins de color rojo para clonar dicho eje. Los controladores deben ocupar la posición que se muestra en la imagen para una correcta conexión. (Figuras 67 y 68)

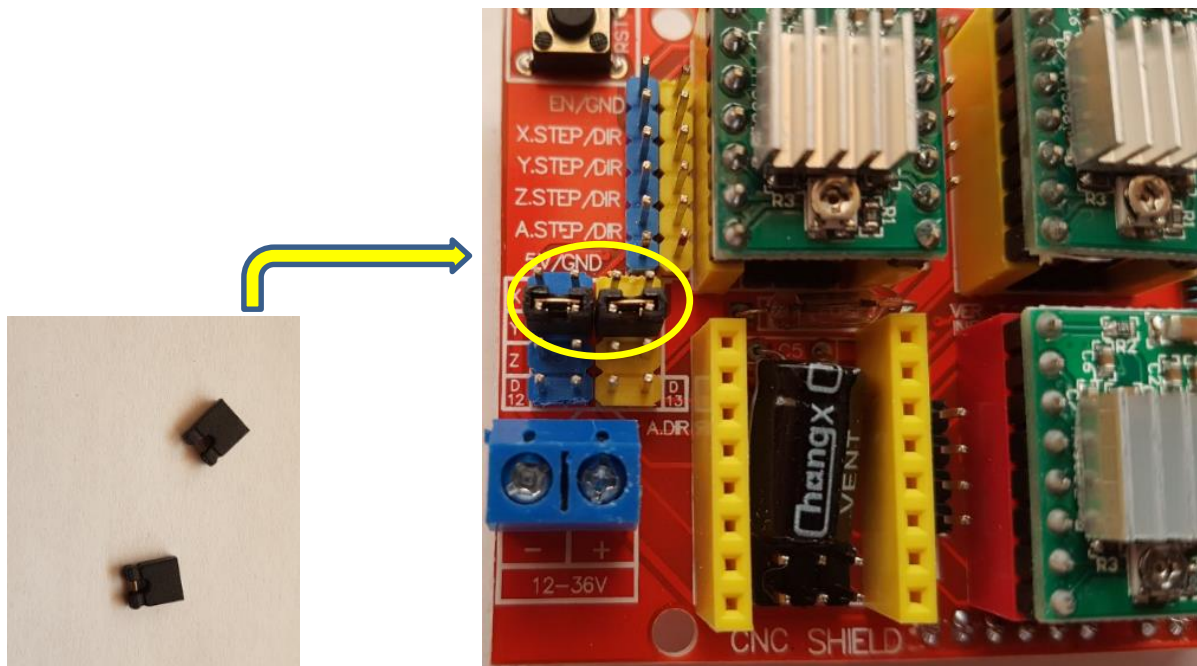


Figura 69. Colocación de Jumper para clonación de eje Y

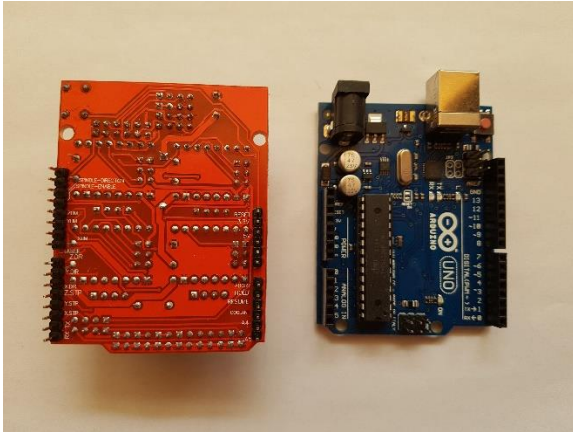


Figura 70

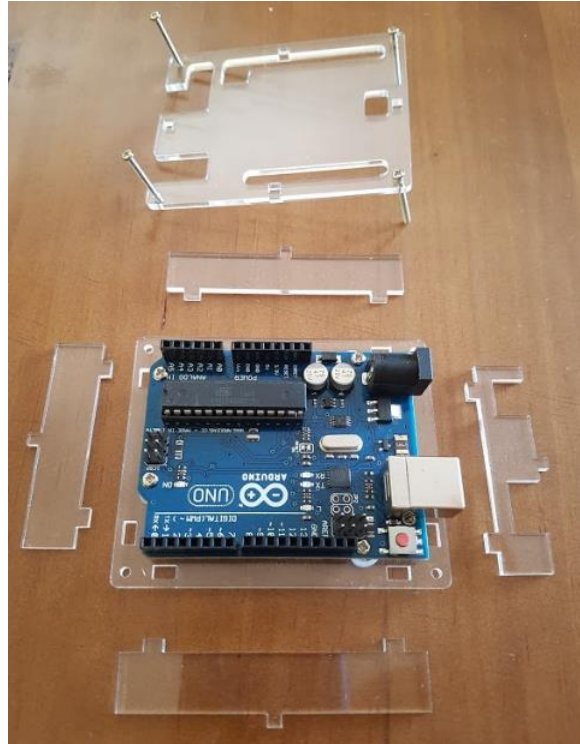


Figura 71

Como se puede observar en la imagen de arriba los pins de la CNC shield y los del arduino concuerdan a la perfección, teniendo sólo que ser ensamblados. (Figura 70)

El arduino es alojado en una carcasa protectora de metacrilato y posteriormente se une a la CNC shield. (Figura 71)

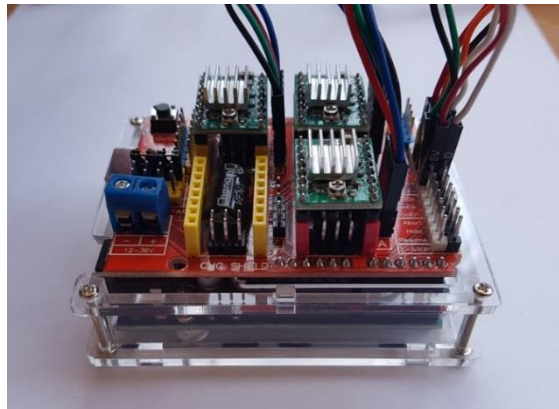


Figura 72

Posteriormente se conectan los motores mediante cables y fichas de conexión Dupont de 4 pins a la CNC shield como se muestra el detalle en la imagen de abajo para su posterior ensayo. (Figuras 73 y 74)

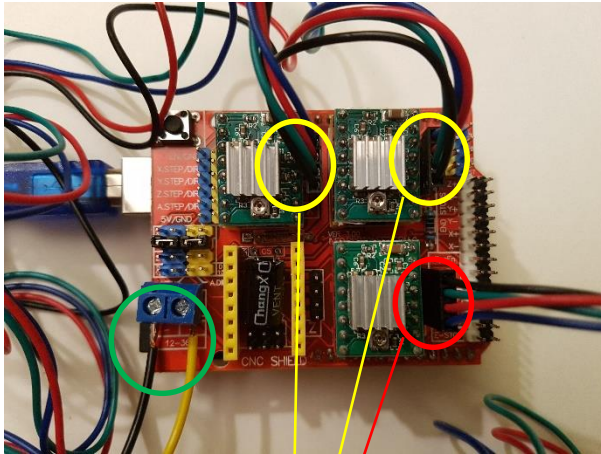


Figura 73

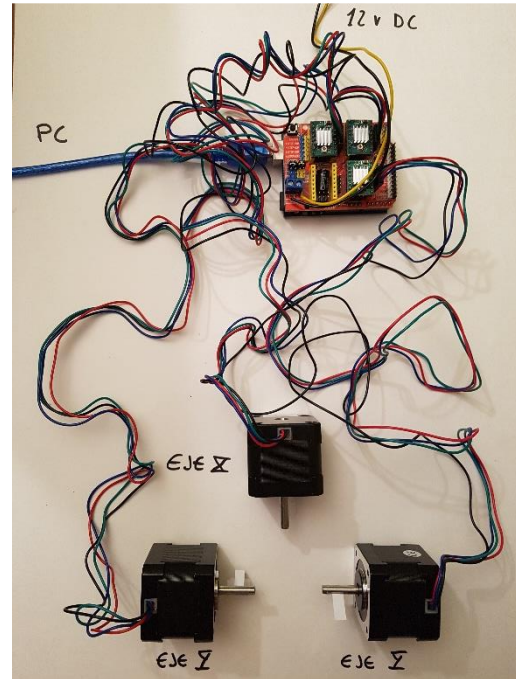


Figura 74

Conexiones al bobinado de los motores (donde la conexión en rojo debe ser conectada a la inversa del eje Y para que al colocar los 2 motores en el eje Y enfrentados avancen en el mismo sentido. También en verde puede verse la conexión a la fuente de alimentación a 12 v DC. Para poder hacer pruebas de movimiento posteriormente se introduce el código GRBL al arduino y la configuración de los parámetros que se detallará más adelante en los anejos.

La fuente de alimentación ha sido fijada mediante 4 tornillos propios para atornillar en madera en uno de los laterales y cerca del arduino para que la medida de los cables sea lo más pequeña posible.

Posteriormente se colocarán los finales de carrera como sistema de seguridad para que en caso de un desplazamiento erróneo se active una alarma paralizando el sistema. (Figura 75)

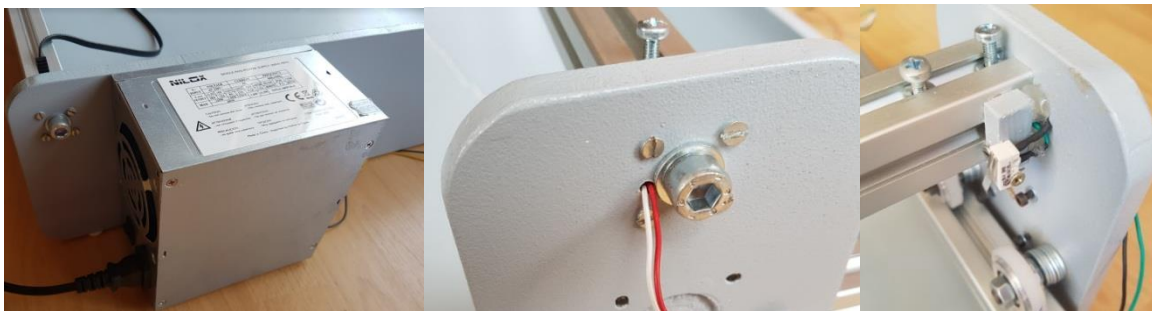


Figura 75. Colocación de fuente de alimentación y finales de carrera

La siguiente fase ha sido el montaje del módulo láser compuesto por carcasa, diodo láser, ventilador y driver del láser. (Figuras 76 y 77)

Para el montaje del diodo láser se utilizan guantes de latex durante su manipulación para evitar posibles daños al diodo a través de cargas electrostáticas. (Figura 81)



Figura 76



Figura 77

Se procede al soldado de las terminaciones del diodo láser a dos cables, se introduce el casquillo de sujeción del diodo a través de los cables y se inserta en la cavidad de bronce del diodo aplicando una pasta térmica con el objeto de disipar el calor que produce el diodo mientras éste trabaja, mejorando el funcionamiento de éste y la vida del diodo. El casquillo se atornilla a la cavidad donde va alojado el diodo para su posterior fijación. (Figuras de 78-82)



Figura 78



Figura 79



Figura 80

Posteriormente se enrosca la lente en la parte delantera de la cavidad de bronce en la dirección donde el diodo emitirá el haz de luz.



Figura 81



Figura 82

Una vez montado el diodo y la lente, esta carcasa de bronce se aloja en la carcasa de aluminio disipadora de temperatura mediante un tornillo prisionero.

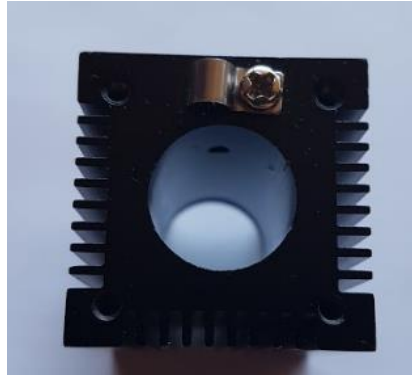


Figura 83

Una vez terminado el montaje del diodo y carcasa, se procede al acople en soporte habilitado para ello en el carro móvil del eje X. Se realizan 4 taladros coincidentes con los que lleva la carcasa, además se incluye otro separador, al igual que en los motores, para absorber vibraciones. (Figuras 84 y 85)



Figura 84

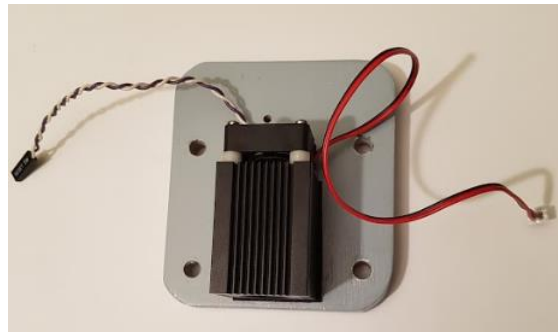


Figura 85

Posteriormente se acopla un ventilador de 30 x 30 mm de 12V DC en la parte superior conectado directamente a la fuente de alimentación ya que por el contrario si se conectara directamente al driver del diodo podría haber existencia de ruido.

El driver se alojará en la parte superior del conjunto diodo-ventilador, y para ello se realizará un taladro de 3 mm y se hará un avellanado en la madera en la parte posterior de la madera, para incrustar una tuerca de 3 mm y así facilitar el apriete de éste ya que esa zona es de difícil acceso para ser manipulada. (Figura 87)

Antes de la colocación del driver en su posición se tendrá en cuenta la polaridad de cada una de las conexiones, atendiendo a las marcas serigrafiadas en la parte posterior de éste. Se procede a su atornillado. (Figura 86)

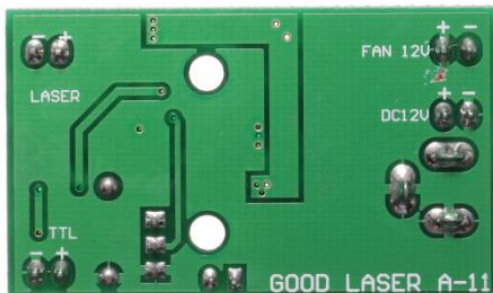


Figura 86

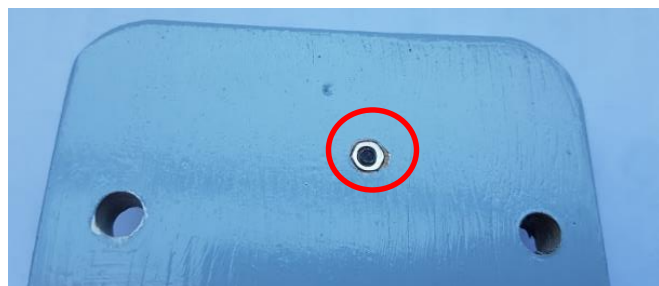


Figura 87



Figura 88

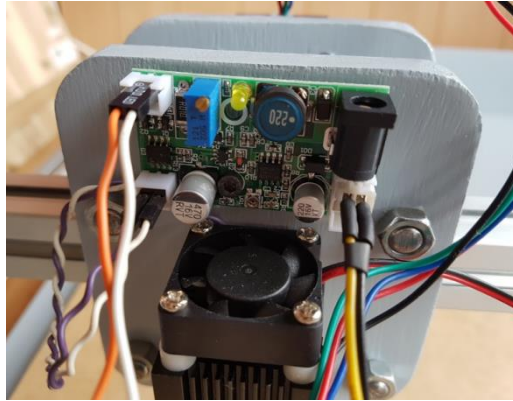


Figura 89

Posteriormente se realizarán las diferentes conexiones entre todos los componentes electrónicos (que más adelante en apartado de anejos se ampliará) y el recogido de cableado para su mejor funcionamiento.

Se montan y fijan arduino y CNC shield a través de la carcasa protectora de metracrilato del arduino y se acopla el ventilador de refrigeración de los drivers de motores. También se procede a la instalación de puerto USB para transmisión de datos desde PC/portatíl. También se usan dispositivos de agarre en todo el cableado para su recogido (bridas de plástico y manguera corrugada) y así evitar retenciones durante el funcioamiento de la máquina. (Figuras 90-94)

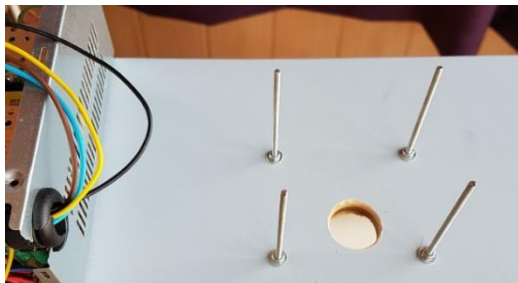


Figura 90

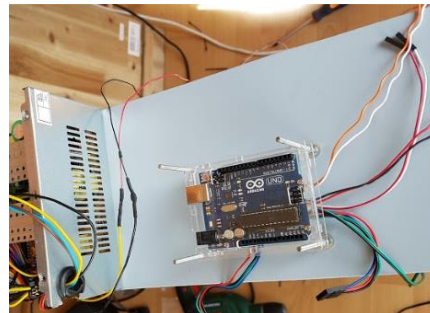


Figura 91

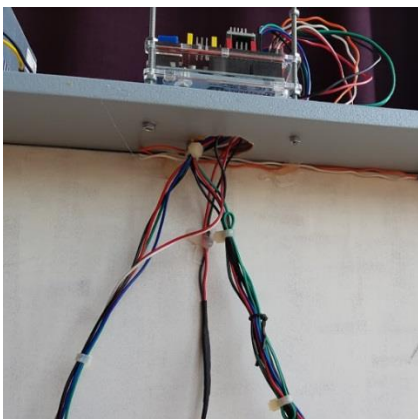


Figura 92

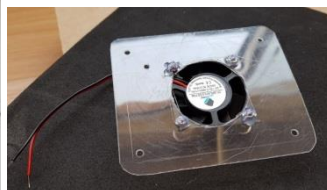


Figura 93

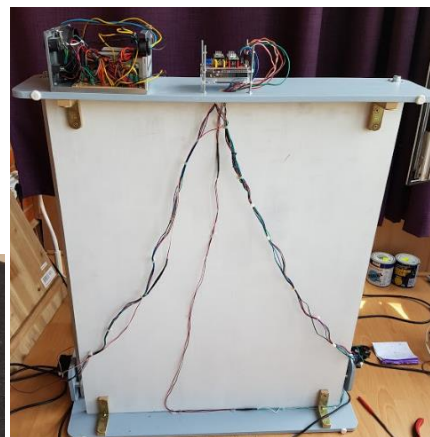


Figura 94

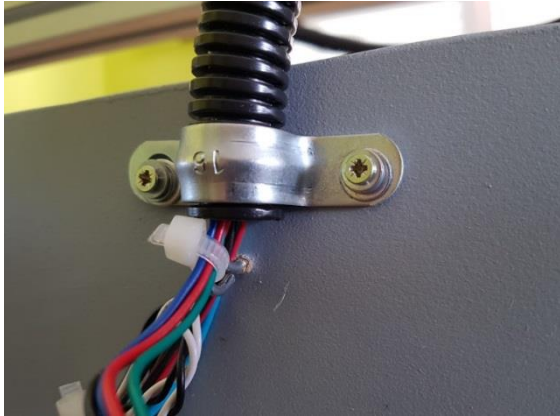


Figura 95

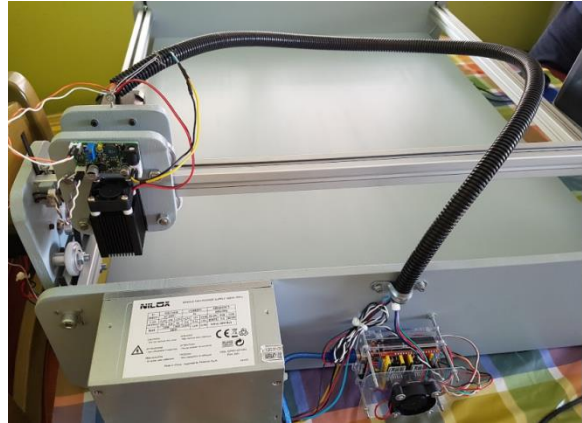


Figura 96

Una vez montada la CNC shield, arduino y posteriores conexiones de éstos, se procede a la instalación de los botones STOP/PAUSE/RESUME, como sus nombres indican, las funciones de estos botones serán PARADA (aborta la ejecución perdiendo la posición de la máquina, es un boton de RESET externo), PAUSE (pausa las funciones pudiendo ser reanudadas con el botón RESUME, sin perder la posición de la máquina) los cuales van alojados en la carcasa de la fuente de alimentación. Dichos botones van conectados a la CNC Shield.



Figura 97



Figura 98



Figura 99



Figura 100

6 Fases de realización y cronograma

FASE	TAREA	TIEMPO EMPLEADO	
PRELIMINAR	IDENTIFICACION DE NECESIDADES	15	
	BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN	39	
INICIO	ESTUDIO DE MERCADO	11	
	REALIZACION DE DISEÑO PREVIO	5	
DESARROLLO	MEDICIONES	5	
	SELECCIÓN DE COMPONENTES Y MATERIALES	43	
	PEDIDO DE MATERIALES	9	
	PROCESOS DE MANUFACTURACIÓN DE COMPONENTES	4	
	MONTAJE	15	
	PROGRAMACIÓN	6	
	FASE DE PRUEBA Y CONTROL DE CALIDAD	12	
	CÁLCULOS	3	
	FINAL	DISEÑO 3D Y REALIZACIÓN DE PLANOS	8
		REDACCIÓN DE LA MEMORIA	45
ELABORACIÓN DEL PRESUPUESTO		11	
TOTAL HORAS EMPLEADAS		231	

7 Resumen del Presupuesto

El coste total de Redacción, Diseño y fabricación de Máquina de Grabado y Corte Láser CNC se eleva a **1082,78€**.

8 Resultados, conclusiones y mejoras

8.1 Resultados y conclusiones

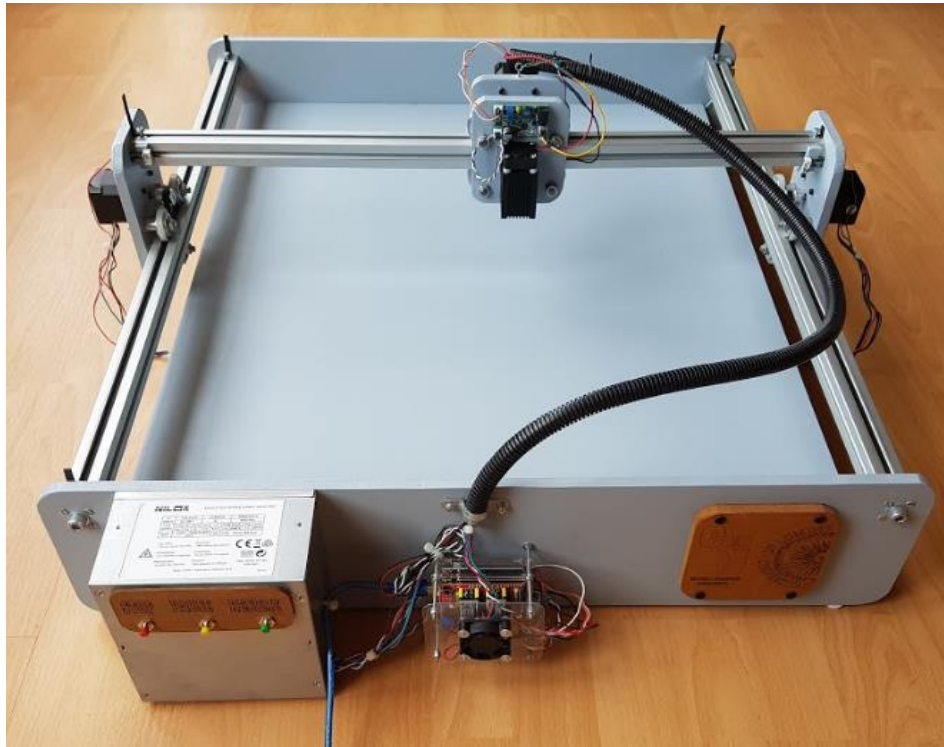


Figura 101

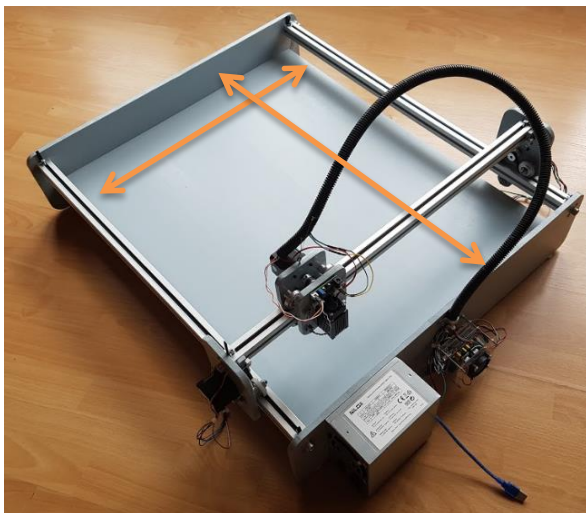


Figura 102. El área útil de trabajo es de 520x680 mm

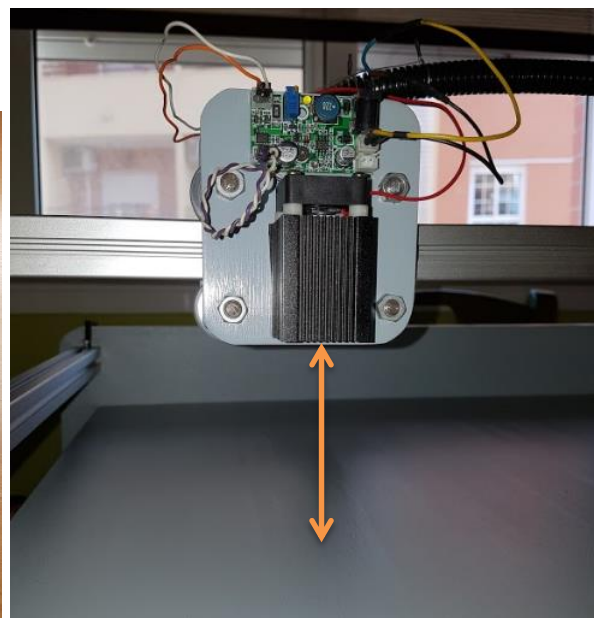


Figura 103. La distancia entre láser y la mesa de trabajo es de 105 mm

El resultado obtenido al final de este proyecto ha sido el esperado, pudiendo llevar a cabo el diseño y fabricación de esta máquina CNC. (Figura 101)

El funcionamiento de la máquina es el apropiado, después de haber realizado pruebas con distintos tipos de materiales:

Se han llevado a cabo varias pruebas de contornos y aunque el láser no es demasiado potente, se pueden realizar grabados en MDF, en cartón duro, pero no en materiales claros o transparentes (como papel o madera excesivamente clara).

En el ejemplo de abajo, con dimensiones de 30 x 80 mm, se ha empleado 1 min y 35 s en el grabado ya que es la velocidad con que se obtiene una buena calidad de grabado. (Figura 104)



Figura 104

Se ha realizado una comparativa entre dos imágenes iguales, del mismo tamaño, pero una de ellas sólo el contorno y la otra con relleno. El tamaño de la figura es de 55 x 90 mm. Y el tiempo de ejecución de la figura con sólo el contorno ha sido de 5 min y 13 s, mientras que en el caso de la figura con relleno 9 min y 53 s. La velocidad de trabajo de la máquina para todas estas figuras ha sido de 100 mm/min. (Figura 105)



Figura 105

Con la fabricación de esta máquina de grabado y corte láser CNC se pretendía tal y como aparece en este título poder grabar y cortar materiales con el módulo láser, pero en este caso el corte no será posible dada la baja potencia del láser conseguido (por motivos económicos), pero esto será una posible mejora en el futuro si se quiere sacar más partido a esta máquina.

En principio, en la previa de la ejecución de este proyecto, se esperaba una precisión menor de la conseguida, pero que esa precisión aún es mejorable en cuanto a ajuste de hardware se refiere.

Se puede decir que los elementos mecánicos y electrónicos funcionan correctamente, los software usados son fáciles de utilizar y comprender y en definitiva se han cumplido los objetivos esperados con esta máquina CNC.

8.2 Mejoras

Las pruebas llevadas a cabo a la finalización de esta máquina CNC arrojan varias conclusiones sobre el trabajo que realiza esta máquina y sobre las posibles mejoras que podrían llevarse a cabo en un futuro:

- Se necesita aumentar la velocidad de grabado para grandes volúmenes de trabajo (fotografías con relleno, etc), para esto, hay que aumentar la potencia del módulo láser siendo una potencia correcta para este tipo de máquina entre 10-15W, pudiendo así realizar grabados en materiales de mayor dureza, como puede ser piedra y metales.
- Otra de las posibles mejoras sería la utilización de otros drivers para los motores, que permitan un mayor rango de intensidad pudiendo sacar mayor fuerza de éstos, y así una mayor precisión en el grabado, evitando que se puedan perder pasos de los motores. Los drivers podrían ser aquellos que utilizan el chip DRV8825 que ofrecen un rango de hasta 2,5A.
- La versión del código GRBL utilizada en este proyecto ha sido la v0.9i (donde el parámetro utilizado para el encendido del láser es el M3) pero puede utilizarse una versión superior, la cual permitiría tanto la utilización del parámetro M4 para el encendido del láser como M3 aportando ambos diferentes características.
 - M3 (Modo de alimentación de láser constante): Este modo simplemente mantiene la potencia láser programada, independientemente de si la máquina se está moviendo, acelerando o deteniéndose. Esto proporciona un mejor control del estado del láser.
 - M4 (Modo de alimentación de láser dinámico): Este modo ajustará la potencia del láser en función de la velocidad actual con respecto a la velocidad programada. Cuando no está en movimiento, el modo M4 apaga el láser, es decir, sólo se enciende cuando está en movimiento.
- Tras varias pruebas sin éxito para poder configurar el modo “homming” en esta máquina, queda pendiente como una posible mejora para futuras versiones. Para ello se deberían de modificar los parámetros siguientes del código GRBL: \$20, \$22, \$23, \$24, \$25, \$26 y \$27.
- Para evitar que el diodo láser se encienda momentáneamente cuando arduino se restablece, momento en el cual entra en alta impedancia, se debería colocar una resistencia de unos 210 Ohmios en paralelo en la entrada TTL (5V DC) que proviene desde la CNC Shield hasta el driver Láser y que controla el encendido/apagado del láser. Dicha resistencia frenará el paso de la corriente que en ese instante circula, consiguiendo así que el láser no produzca ningún daño a la mesa de trabajo en ese instante. En este caso no es algo relevante, dada la baja potencia del láser, pero si se introdujera la mejora del aumento de potencia del láser, sí que habría que tenerlo

en cuenta. En este caso habría que ajustar el voltaje de entrada al diodo láser ya que esta resistencia disminuye el voltaje. (Figura 106)



Figura 106

- Otra mejora, en este caso estructural/seguridad sería la instalación de una protección para la vista contra la radiación emitida por el diodo láser, evitando así tener que usar gafas todas las personas que se encuentre cerca de la máquina durante el tiempo que ésta está trabajando.

A título informativo, decir que todos los archivos de software, diseños, planos, modelos 3D, etc se encuentran disponibles para consulta en el siguiente link:

<https://drive.google.com/drive/folders/0B3HikxqZllpEN1pjN3V0VXkyR3c>

9 Bibliografía

Referencias Webs

[1]PEREZ CAMPS. Fresadoras CNC y máquinas laser de gambado y corte. http://www.perezcamps.com/es/las-artes-graficas-y-las-maquinas-laser_20761 . Consulta: 10 de Julio de 2017

[2]3D PRINTRONIC. Proyect RepRap. <http://www.3dprintronics.com/3d-printing-learning-resources/what-is-3d-printing/project-reprap>. Consulta: 10 de Julio de 2017

[3]KICKSTARTER. <https://www.kickstarter.com/projects/zeloslaser/zeloslaser-cutter-20-open-source-sturdy-and-versat?lang=es>. Consulta: 11 de Julio de 2017

[4]BRICOGREEK. <http://blog.bricogeek.com/noticias/diy/como-hacer-una-cortadora-laser-casera/>. Consulta: 11 de Julio de 2017.

[5]INTEREMPRESAS. <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/12110-Tecnologias-de-corte-de-chapa.html>. Consulta. 12 de Julio de 2017.

[6]TECNOGRABADOS. Sistemas de grabados laser y sus diferencias. <http://www.tecnograbados.cl/noticias/entendiendo-sistema-grabado-laser/>. Consulta: 16 de Julio de 2017.

[7]TROTEC. Tipos de láser habituales. <https://www.troteclaser.com/es/tutoriales-ejemplos/faqs/tipos-de-laser/>. Consulta. 12 de Julio de 2017.

[8]PEREZ CAMPS. Aplicaciones máquinas láser CO₂. http://www.perezcamps.com/es/aplicaciones-de-las-strong-maquinas-laser-co2-strong_8213. Consulta: 16 de Julio de 2017.

[9]TROTECLASER. Máquinas laser. <https://www.troteclaser.com/es/aplicaciones/>. Consulta: 16 de Julio de 2017.

[10]QUIMINET .Información y negocios segundo a segundo.

<https://www.quiminet.com/articulos/aplicaciones-y-materiales-para-el-corte-con-laser-2585886.htm>.

Consulta: 16 de Julio de 2017.

[11]JMP TECHNOLOGICAL. Manual CNC/simulador jmp.

http://www.jmptechnological.com/manual_cnc/cnc.php. Consulta: 18 de Julio de 2017.

[12]WIKIPEDIA. Láser.

<https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%A1ser>. Consulta: 18 de Julio de 2017.

[13]CLPU Centro de láseres pulsados. Divulgación. ¿Qué es un Láser?

<https://www.clpu.es/divulgacion/bits/que-es-un-laser>. Consulta: 18 de Julio de 2017.

[14]MONOGRAFÍAS.COM. Historia del láser.

<http://www.monografias.com/trabajos/laser/laser.shtml>. Consulta: 18 de Julio de 2017.

[15]WIKIPEDIA. Medio activo

https://es.wikipedia.org/wiki/Medio_activo. Consulta: 18 de Julio de 2017.

[16]SGPWE. Información de láseres.

http://sgpwe.izt.uam.mx/pages/cbi/mfg/laseres1/material_adicional/semiconductor/DANIEL.htm.

Consulta: 18 de Julio de 2017.

[17]RESEARCHGATE.NET. Esquema de equipo de corte láser

https://www.researchgate.net/figure/304778226_fig35_Figura-53-Esquema-de-un-equipo-de-corte-laser-Fuente-Soldadura-y-tecnicas-afines. Consulta: 18 de Julio de 2017.

[18]MADERAS SANTANA. Características MDF.

<https://www.maderasantana.com/caracteristicas-tableros-madera-mdf/>. Consulta. 12 de Agosto de 2017.

[19]MI CARPINTERÍA. Mdf

<https://micarpinteria.wordpress.com/2011/02/16/mdf-%C2%BFque-es/>. Consulta: 12 de Agosto de 2017.

[20]PLACACENTRO LAMINATUS. Tablas características MDF.
<http://placacentro.co/tableros/>. Consulta: 12 de Agosto de 2017.

[21]ELECTROCOME. Metales y plásticos técnicos. Características aleación de Aluminio-Mg-Si
<http://www.electrocome.com/p-1-61/ALUMINIO-Aleacion-6063-Al-Mg-Si-05.htm>. Consulta. 12 de Agosto de 2017.

[22]MINITEC-PROFITEAM. Características técnicas perfiles de aluminio.
http://www.profitteam.es/es/productos.asp?cod_producto=25x25F. Consulta: 12 de Agosto de 2017.

[23]ESHOP-NTN. Rodamientos de bolas.
<https://eshop.ntn-snr.com/es/607-ZZ-673797.html>. Consulta: 12 de Agosto de 2017.

[24]DIMA 3D PRINTERS. Impresoras 3D.
<http://www.dima3d.com/motores-paso-a-paso-en-impresion-3d-ii-criterios-de-seleccion-de-motores-y-drivers/>. Consulta: 16 de Agosto de 2017.

[25] STATICBOARDS.ES. Comparativa de drivers.
<https://www.staticboards.es/blog/drv8825-vs-a4988/>. Consulta: 17 de Agosto de 2017.

[26]330 OHMS. Motores Paso a paso.
<https://www.330ohms.com/blogs/blog/85507012-motores-a-pasos-unipolares-o-bipolares>. Consulta: 17 de Agosto de 2017.

[27]PRODUCTOS CNC. Motores Paso a Paso.
<http://productoscnc.es/hyperpages/unintroamotorespap.htm>. Consulta: 17 de Agosto de 2017

[28]LUIS LLAMAS.ES. Ingeniería informática y diseño.
<https://www.luisllamas.es/motores-paso-paso-arduino-driver-a4988-drv8825/>. Consulta: 17 de Agosto de 2017.

[29]BLOGTHINKBIG.COM. Alternativas a Arduino.
<http://blogthinkbig.com/4-alternativas-arduino-beaglebone-raspberrypi-nanode-waspmote/>. Consulta: 20 de Agosto de 2017.

[30]TALLER DE DEDALO. Aeromodelismo y electrónica CNC.
<http://www.tallerdedalo.es/web/MundoCNC/ControladorasCNC>. Consulta: 21 de Agosto de 2017.

[31]TEST AND MEASUREMENT.COM. Comparación tipos de láseres.

<https://www.testandmeasurement.com/doc/comparing-laser-types-vcseles-vs-fabry-perot-d-0001>.

Consulta: 21 de Agosto de 2017.

[32]DIODO LÁSER DE EMISIÓN SUPERFICICIAL CON CAVIDAD VERTICAL (VCSEL).

http://www-optica.inaoep.mx/investigadores/carlost/pdfs/JOSE_GABRIEL_AGUILAR_SOTO.pdf.

Consulta: 21 de Agosto de 2017.

[33]STEEPERONLINE. Componentes electrónicos, motores PAP.

<https://www.omc-stepperonline.com/hybrid-stepper-motor/nema-17-bipolar-45ncm-64ozin-2a-42x40mm-4wires-w-1m-cable-and-connector-17hs16-2004s1.html>.

Consulta: 28 de Agosto de 2017.

[34]MOTORGIGA. Diccionario de materiales.

<https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/duraluminio-definicion-significado/gmx-niv15-con193925.htm>.

Consulta: 28 de Agosto de 2017.

[35]GITHUB. Blog Código GRBL.

<https://github.com/grbl/grbl/wiki/Configuring-Grbl-v0.9>. Consulta: 29 de Agosto de 2017.

[36]WIKINKSCAPE.ORG. Software Inkscape.

http://wiki.inkscape.org/wiki/index.php/EsFAQ#.C2.BFQu.C3.A9_es_Inkscape.3F. Consulta: 29 de Agosto de 2017.

Agosto de 2017.

[37]POLARIDAD.ES. ¿Qué es el código G?

<https://polaridad.es/que-es-g-code/>. Consulta: 29 de Agosto de 2017

[38]WIKI.EAD. Control numérico computarizado.

[http://wiki.ead.pucv.cl/index.php/Introducci%C3%B3n_al_control_num%C3%A9rico_computarizado_\(CNC\)#Sistemas_CAD.2C_CAM_y_c.C3.B3digo_G](http://wiki.ead.pucv.cl/index.php/Introducci%C3%B3n_al_control_num%C3%A9rico_computarizado_(CNC)#Sistemas_CAD.2C_CAM_y_c.C3.B3digo_G). Consulta: 29 de Agosto de 2017.

[39]R-LUIS.XBOT. Código G.

<http://r-luis.xbot.es/cnc/codes03.html>. Consulta: 29 de Agosto de 2017.

[40]SHAPEOKO.COM. Gcode.

https://www.shapeoko.com/wiki/index.php/G-Code#Motion_.28G.29. Consulta: 29 de Agosto de 2017.

ANEJOS

INDICE DE ANEJOS

ANEJO 1. ESTRUCTURA.....	61
1 MDF (Tablero de fibra de densidad media).....	63
1.1 Características.....	63
1.2 Ventajas y criterio de selección.....	64
2 Perfiles de Aluminio.....	65
2.1 Características.....	65
2.2 Ventajas y criterios de selección.....	70
3 Tornillería y otros componentes de fijación.....	71
ANEJO 2. TRANSMISIÓN.....	73
1 Ruedas y rodamientos.....	75
2. Correa y polea GT2 6mm.....	78
ANEJO 3. MOTORES Y DRIVERS.....	81
1 Características de los motores. Selección.....	83
2 Características de los drivers. Selección.....	88
ANEJO 4. PROCESADOR (MICROORDENADOR) Y PLACA DE DISTRIBUCIÓN DE CONEXIONES.....	99
1 Procesador. ¿Qué es?, características y selección.....	101
2 Placa de distribución de conexiones.....	104
ANEJO 5. MÓDULO LÁSER.....	107
1 Módulo láser. Características, tipos, elección y ajuste.....	109
1.1 Diodo láser.....	109
1.2 Tipos de diodo láser según la cavidad óptica.....	116
1.3 Elección módulo láser (Componentes).....	117
2 Ajuste de driver (Voltaje e intensidad).....	123
ANEJO 6. FUENTE DE ALIMENTACIÓN.....	125
1 Fuente de alimentación. Características. Selección.....	127
ANEJO 7. SOFTWARE, CÓDIGO G Y CÓDIGO GRBL.....	129
1 Código GRBL.....	131
2 Código G.....	131
3 Software.....	134
3.1 Xloader.....	134
3.2 Inkscape.....	135
3.3 Universal Gcode Sender.....	141
3.4 Láser GRBL.....	145
ANEJO 8. CONEXIONES.....	149
1 Conexiones.....	151
ANEJO 9. MANUAL DE USO.....	155
1 Puesta en marcha.....	157
2 Carga de código G.....	157
3 Recomendaciones y advertencias durante grabado/corte.....	158

4 Apagado.....	158
5 Mantenimiento.....	158

ANEJO 1. ESTRUCTURA

1 MDF (Tablero de fibra de densidad media)

1.1 Características

Del inglés Medium Density Fibreboard, también conocido como DM. Este tipo de tablero está fabricado a partir de fibras de maderas (aproximadamente un 85%) y resinas sintéticas comprimidas, lo que le aporta una mayor densidad de la que presentan aglomerados tradicionales o la madera contrachapada. Comúnmente se le llama madera MDF sin embargo esto no es exacto, ya que no estamos hablando de madera, sino de un producto derivado de ella.

Durante el proceso de fabricación se pueden añadir determinados productos químicos con el fin de añadir características adicionales al MDF, como repeler el agua o evitar la aparición de hongos o moho.

Presenta un color uniforme y a diferencia de la madera no tiene beta, lo que en parte facilita el trabajo con este tipo de tableros.

Una de las fundamentales características del MDF es **la presión o densidad**, está nos diría el peso por metro cuadrado. Cuando hablamos de densidad media esta se sitúa entre 500 y 800 kg/m³, por encima de esta hablamos de alta densidad y por debajo de baja densidad. Desde un punto de vista estricto **la densidad nos dirá que es MDF y que no es**.

¿Para qué se puede utilizar el MDF?

La madera MDF es un material ideal para la fabricación de muebles ya que **trabajar con ella es muy sencillo**: fácil de cortar, de mecanizar y no produce astillas. Además puede no ser necesaria la utilización de clavos o tornillos, ya que los pegamentos para madera presentan un muy buen rendimiento sobre esta madera.

Al ser una superficie ideal para pintar es recomendable su utilización para piezas grandes y lisas, por ejemplo para revestir paredes, donde también ofrece características adicionales como un buen aislamiento térmico y acústico.

También se usa mucho para la fabricación de todo tipo de mobiliario, puertas de cocina y también de paso, soporte para suelos laminados, etc.

Un uso habitual del MDF consiste en utilizarlo conjuntamente con molduras de madera maciza, de forma que el MDF se usa para los planos largos y lisos y las molduras se fijan para obtener el resultado deseado. Es frecuente en puertas, revestimientos de paredes e incluso mobiliario. [18] [19]

Esesor	(mm)	9	12	15*	18*	24	32
Tipo de emisión		E1	E1	E1	E1	E1	E1
Emisión	(mg/100gr)	Max. 8	Max. 8	Max. 8	Max. 8	Max. 8	Max. 8
Densidad	(kg/m ³)	700 ± 20	660 ± 20	640 ± 20	630 ± 20	600 ± 20	570 ± 20
Flexión	(N/mm ²)	16 ± 1,5	16 ± 1,5	15 ± 1,5	15 ± 1,5	15 ± 1,5	13 ± 1,5
Tracción	(N/mm ²)	0,50 ± 0,12	0,50 ± 0,12	0,50 ± 0,15	0,50 ± 0,15	0,45 ± 0,15	0,40 ± 0,15
Tornillo perpendicular	(N)	900	900	900	900	900	900
Tornillo paralelo	(N)	700	700	700	700	700	700
Hinchamiento 24 horas	(%)	Max. 50	Max. 50	Max. 25	Max. 25	Max. 25	Max. 25
Humedad	(%)	8 ± 3	8 ± 3	8 ± 3	8 ± 3	8 ± 3	8 ± 3
Tolerancia largo-ancho	(mm/m)	2	2	2	2	2	2
Diferencia en diagonales	(mm/m)	2	2	2	2	2	2
Tolerancia espesor	(mm)	+0,5/-0,3	+0,5/-0,3	+0,5/-0,3	+0,5/-0,3	+0,5/-0,3	+0,5/-0,3

Figura 107. Tabla especificaciones técnicas MDF. Fuente Placacentro Laminattus [20]

1.2 Ventajas y criterio de selección

- El hecho de estar fabricado a partir de fibras de muy reducido tamaño, prácticamente polvo, permite que pueda ser tallada o fresada de manera similar a la madera maciza.
- Una de las grandes ventajas del mdf frente a la madera maciza es su precio, mucho más competitivo. En un principio, la opción era el metacrilato, pero se optó por mdf dado a que su precio es mucho menor.
- No es necesario utilizar herramientas diferentes a la que podemos utilizar para trabajar con madera maciza o contrachapada.
- La superficie de este tipo de madera es **ideal para la utilización pinturas y barnices**, sin embargo para conseguir un acabado perfecto es preferible utilizar pinturas a base de disolventes en lugar de pinturas al agua. El resultado es el mismo en todas las direcciones al no existir grano.
- Es también un excelente soporte para chapas de madera, con las que se consigue una apariencia de madera de maciza. Se debe por un lado a su uniforme superficie y también al excelente comportamiento que tienen los adhesivos y colas sobre esta.
- El hecho de tener una densidad media ha sido un factor a tener en cuenta para su elección, ya que nos proporciona un alivio de peso en la máquina y sigue proporcionando una buena consistencia en la estructura.
- Al tratarse de un tipo de madera industrial o técnica los tableros mdf pueden encontrarse en muy variados formatos, es decir, tamaños y espesores. Lo normal es encontrarlo en las medidas

estándar, al igual que cualquier otros tablero, es decir de 244×122 y espesores de 5, 10, 16, 19 y 22. Sin embargo no será complicado encontrar otras medidas o incluso, si el pedido es lo suficientemente grande, fabricación a medida. (Fuente 107)

2 Perfiles de Aluminio

2.1 Características

Este material se ha sometido a un tratamiento térmico T5 (Enfriado desde una alta temperatura durante el proceso de conformación y envejecido artificialmente).

Aleación de compuesta por Aluminio, Magnesio y Silicio principalmente. Esta aleación, debido a su gran facilidad de extrusión, obtención de características mecánicas adecuadas, correcto aspecto de superficie y buen coloreado al anodizarse, tiene múltiples aplicaciones.

En estas aleaciones se usan como elementos aleantes el Mg y el Si en proporciones adecuadas para que se forme el Mg₂Si. Esto hace que esta aleación sea tratable térmicamente. Estas aleaciones son menos resistentes que el resto de aleaciones, a cambio tiene también formabilidad, soldabilidad, maquinabilidad y resistencia a la corrosión. Estas aleaciones pueden moldearse por un TT T4 y endurecido por una serie de acciones que completen el TT T6. Su uso suele ser el de aplicaciones arquitectónicas, cuadros de bicicletas, pasamanos de los puentes, equipo de transporte y estructuras soldadas. (Figura 108)

COMPOSICION QUIMICA									
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros	Al
0,30-0,60%	0,10-3,30%	0,10%	0,30%	0,40-0,60%	0,05%	0,15%	0,20%	0,15%	Otros
CARACTERISTICAS TECNICAS				APLICACIONES					
Estado			T - 5	Perfiles de carpintería metálica, puertas, ventanas, carcacas para motores eléctricos, sistemas de ensamblado, elementos especiales para maquinaria, tubos de riego, instalaciones neumáticas y en general donde se busque una aplicación decorativa.					
Peso específico	gr/cm ³	2,7							
Carga de rotura	Kgr/mm ²	220							
Límite elástico	Kgr/mm ²	170							
Alargamiento	%	14							
Temperatura de fusión	°C	140							
Módulo Elástico	N/mm ²	69000							
Dureza Brinell	HB	65							

Figura 108. Fuente: Electrocome.com [21]


		Kg/m	W (cm ³)		I (cm ⁴)	
			Wx	Wy	Ix	Iy
25x25F		0,9	1,29	1,29	1,61	1,61

Figura 109. Fuente: Profiteam.

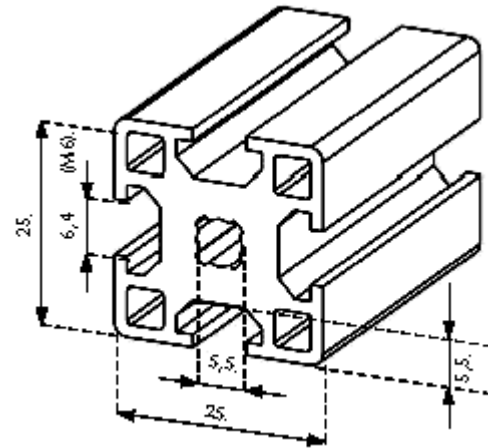


Figura 110

Cálculo de la flecha



$$1) f(\text{cm}) = \frac{F \times L^3}{3E \times I}$$

$$2) f(\text{cm}) = \frac{F \times L^3}{48E \times I}$$

$$3) f(\text{cm}) = \frac{F \times L^3}{77E \times I}$$

$$4) f(\text{cm}) = \frac{F \times L^3}{192E \times I}$$

f (cm) = flecha
 F (N) = Esfuerzo
 L (cm) = Longitud del perfil
 E = 7 x 10⁶ N/cm²
 I (cm⁴) = Momento de inercia

Superficie anodizada en color natural

Posibilidad de anodinado en color

Rigidez 250 N/mm²

Tolerancia según DIN17615

Figura 111

Se realiza el cálculo de forma manual del desplazamiento vertical de todos los perfiles de aluminio teniendo en cuenta los datos que nos aporta el fabricante, y posteriormente se realizará a través de la herramienta SolidWorks y otros estudios. El caso de esta máquina corresponde al número 4 de la figura superior ya que los perfiles están bi-empotrados y las cargas son puntuales. (Figuras 112 y 113)



Figura 112. Detalle del empotramiento de ambos extremos del perfil (750 mm)



Figura 113. Detalle del empotramiento del otro perfil (650 mm)

Calculo manual de desplazamiento vertical de ambos perfiles (flecha máxima)

El siguiente cálculo corresponde al desplazamiento máximo de los perfiles de mayor tamaño (750 mm) sobre dimensionando una carga de 2 Kg (20 N).

$$f \text{ (cm)} = \frac{F \cdot L^3}{192 \cdot E \cdot I} = \frac{20 \cdot 75^3}{192 \cdot 7 \times 10^6 \cdot 1,61} = 3,8993 \cdot 10^{-3} \text{ cm}$$

El siguiente cálculo corresponde al desplazamiento máximo de los perfiles de menor tamaño (650 mm) sobre dimensionando una carga de 0,75 Kg (7,5 N).

$$f \text{ (cm)} = \frac{F \cdot L^3}{192 \cdot E \cdot I} = \frac{7,5 \cdot 65^3}{192 \cdot 7 \times 10^6 \cdot 1,61} = 9,5186 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$$

Como conclusión, el desplazamiento vertical de los perfiles ante estas cargas es insignificante, no obstante se realiza un estudio mediante SolidWorks. (Figuras 109-111)

A continuación, Simulación de cargas en SolidWorks a las que están sometidos ambos perfiles

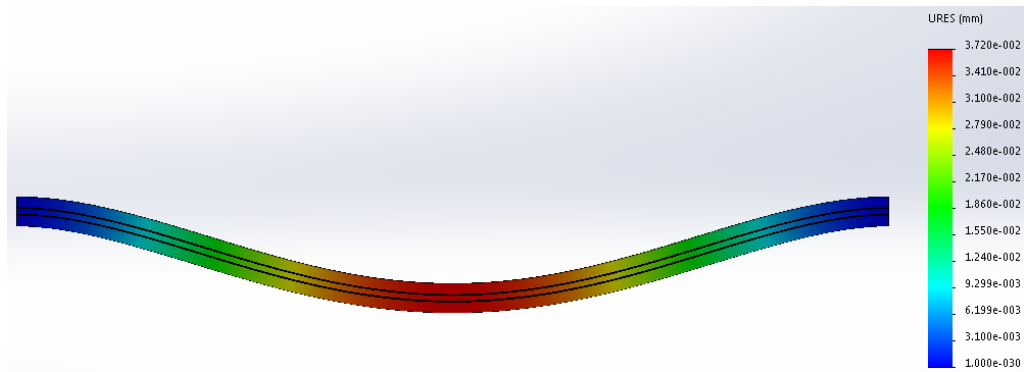


Figura 114. Distribución de desplazamiento vertical de perfil de 750 mm

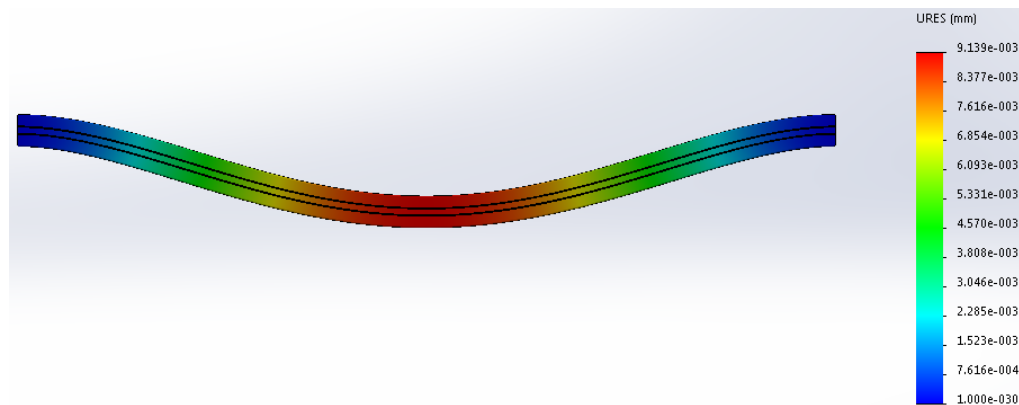


Figura 115. Distribución de desplazamiento vertical de perfil de 650 mm

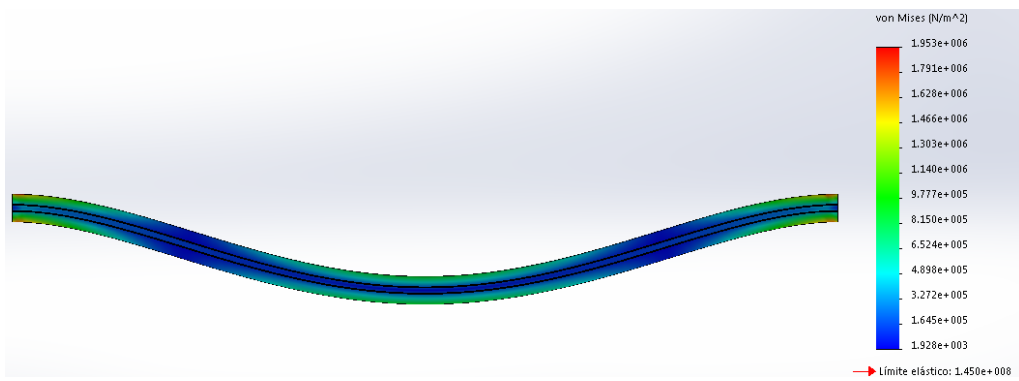


Figura 116. Distribución de tensiones de perfil de 750 mm

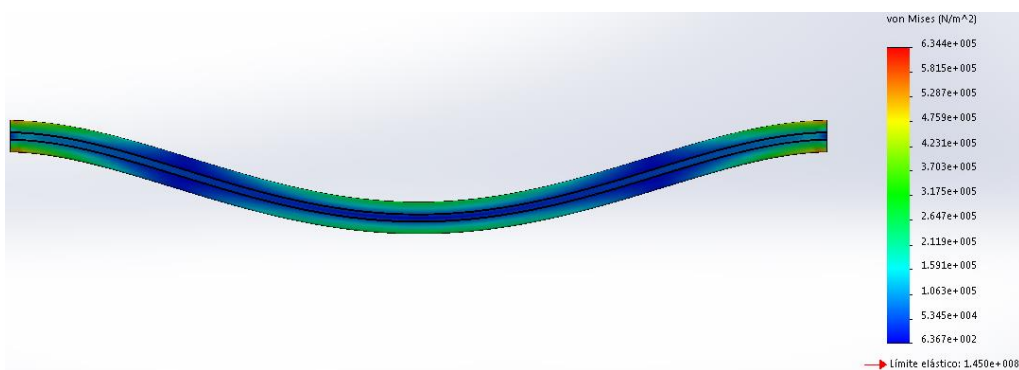
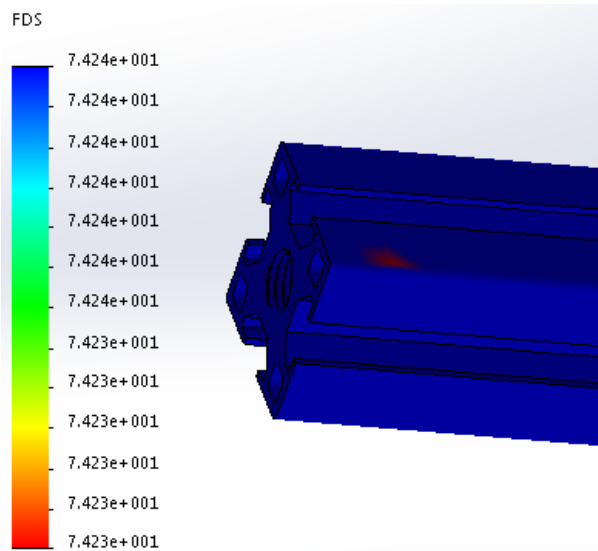
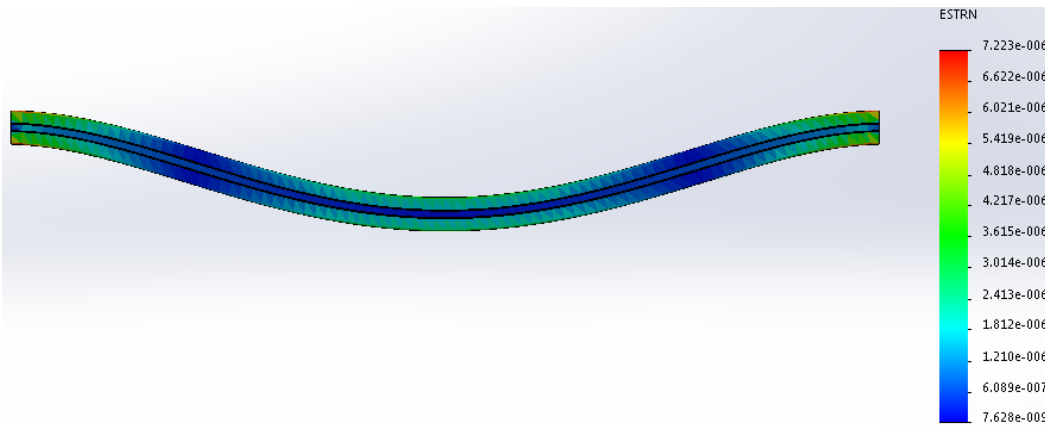
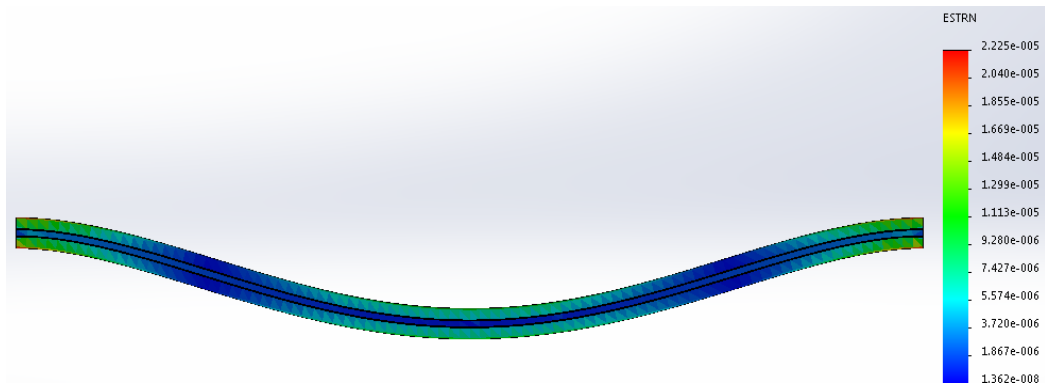


Figura 117. Distribución de tensiones de perfil de 650 mm



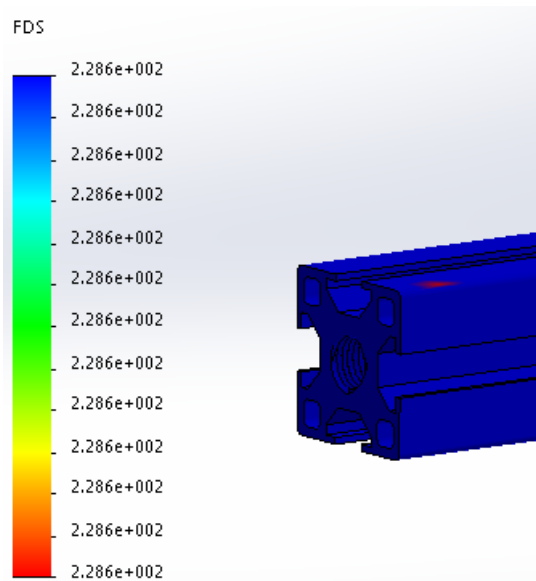


Figura 121. Distribución de factor de seguridad de perfil de 650 mm (la zona en rojo del perfil es la zona más desfavorable encontrada en todo el perfil)

Conclusiones de simulación de cargas en SolidWorks

Como se observa en las figuras 114 y 115 los resultados concuerdan con los resultados obtenidos de forma manual.

En las figuras 116, 117, 118 y 119 se pueden observar las zonas de tensiones y deformaciones máximas coincidiendo con los extremos y la zona central de los perfiles.

En las figuras 120 y 121 se muestran una zona crítica de todo el perfil en color rojo la cual posee un factor de seguridad de 74,23 y 228,6 respectivamente; lo que significa que esos puntos soportarían 74 y 228 veces las cargas aplicadas respectivamente, con lo cual se puede concluir que el perfil en su totalidad soportaría holgadamente las cargas aplicadas en este caso.

2.2 Ventajas y criterios de selección

La selección de este tipo de perfil ha sido basada en los siguientes criterios:

- Por la amplia variedad de medidas en el mercado.
- Por la ligereza de la aleación y resistencia a las fuerzas a las que será sometido.
- Facilidad de ensamblaje dada por las características intrínsecas de este perfil sin necesidad de modificaciones en exceso.
- Su morfología se adapta perfectamente a las necesidades mecánicas de este proyecto, ofreciendo unos “railes” que usarán para el movimiento lineal de las ruedas en los dos ejes (X e Y).

3 Tornillería y otros componentes de fijación

Tipo 1. Tornillo Zinc Cabeza hexagonal M7 x 50 mm

Se ha usado como eje de ruedas y fijación de ellas a los dos soportes de madera que conforman el eje Y de la máquina. La selección de estos tornillos se lleva a cabo dado que el diámetro interior de los rodamientos es de 7 mm y el diámetro de estos tornillos es de 7 mm también evitando así el uso de casquillos adicionales para su correcto ensamblaje.

Tipo 2. Tornillo Zinc Cabeza hexagonal M7 x 70 mm

Al igual que el otro tipo de tornillos, su uso ha sido el mismo, pero en el eje X de la máquina. Su longitud es mayor ya que debe salvar un mayor espesor en la sujeción de los dos soportes paralelos hallados en el carro del eje X.

Tipo 3. Tornillo allen 912 Zinc M8 x 30 mm

Debido a las características del perfil de aluminio seleccionado, se ha optado por este tipo de tornillos ya que presenta una mayor robustez en el ensamblaje entre aluminio y madera, y una mayor facilidad de apriete y desapriete mediante llaves allen y de fácil acceso para montaje o posible desmontaje de la estructura.

Tipo 4. Tornillo para fijación madera cabeza plana 2.5 x 25 mm

Se han usado para una mejor fijación de los perfiles a la madera con el fin de evitar que dichos perfiles torsionen. La fijación a los perfiles de aluminio fue ayudada mediante tacos de plástico de 4 mm de diámetro introducidos en los 4 orificios que presenta el perfil.

ANEJO 2. TRANSMISIÓN

1 Ruedas y rodamientos

Las 10 ruedas que componen esta máquina, se han fabricado en su totalidad (nylon y cuerpo metálico), a excepción de los rodamientos, ya que las medidas de los rodamientos y el encaje en la guía del perfil de aluminio sobre la cual se desplazarán, requerían medidas que no se encontraban en el mercado. Para ello, se dimensionaron con un pie de rey calibrado para su posterior diseño y fabricación en torno manual paralelo. A estas ruedas se les fabricó un componente de nylon en el exterior para un menor desgaste de la correa con ellas por rozamiento. (Figura 122-124)

El material de fabricación de las ruedas ha sido duraluminio (nombre de una aleación de Aluminio y Cobre, cuya composición química fundamental es de Cu 2,5-4.5%, Si 0,3-0,9%, Mg 0,3-1%, Mn 0,5-0,8% y el resto Al).

Las características físicas y mecánicas principales de esta aleación son las siguientes: punto de fusión, 503-540 °C; peso específico, 8,75 kg/dm³; carga de rotura (en estado bonificado), 31-50 kg/mm²; carga de debilitación, 17-44 kg/mm²; alargamiento de rotura, 8-37%; resistencia 8,8 kgf/cm², y dureza Brinell, 85-142 kg/mm². Se ha optado por este material porque se trabaja mejor que el aluminio a la hora de moldearlo en el torno, consiguiendo un mejor acabado; y por su ligereza, disminuyendo el peso a desplazar por los motores. [34]



Figura 122



Figura 123

Se ha optado por el uso de 3 ruedas en los perfiles del eje Y (2 arriba y una abajo) y 4 ruedas (2 arriba y 2 abajo) ya que las ruedas inferiores le confieren una mayor solidez al movimiento en los carriles, y también una mayor precisión en los movimientos, reduciendo las vibraciones.



Figura 124

En este mismo torno manual paralelo se fabricaron los casquillos separadores que se ubican entre los soportes y las ruedas para que éstas coincidan perfectamente en los carriles de los perfiles de aluminio.

Se han seleccionado este tipo de rodamientos por su pequeño tamaño, dado que su tamaño debe de ser proporcional a la anchura del carril del perfil de aluminio. Otro motivo por el cual ha sido seleccionado es porque este tipo de rodamiento es usado en otras aplicaciones similares a este proyecto habiendo comprobado con anterioridad su correcto funcionamiento y dimensionado. (Figura 125-127)

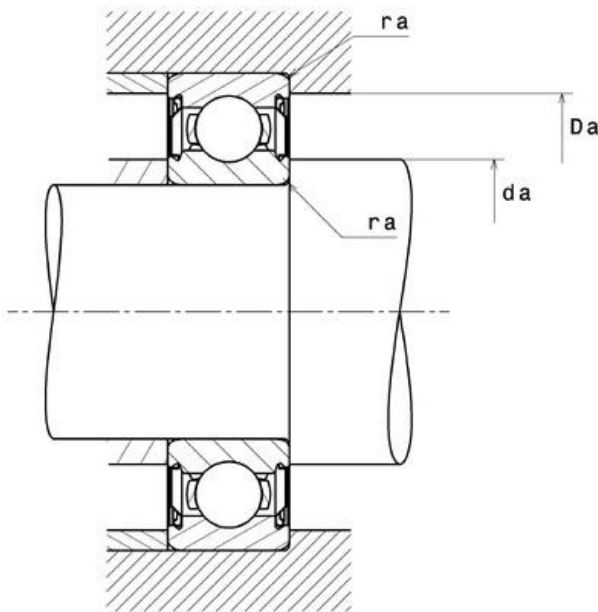


Figura 125. Sección rodamiento de bolas 607ZZ



Figura 126. Rodamiento de bolas 607ZZ

Definición de ejes y apoyos	
da min	9 mm
da max	9,2 mm
Da max	17 mm
ra max	0,3 mm

Características técnicas	
d	7 mm
D	19 mm
B	6 mm
d1	9,2 mm
D1	16,7 mm
rs min	0,3 mm
Clase de Juego Radial	CN
Peso	0,07 kg

Prestaciones	
Capacidad de carga dinámica C	2,31 kN
Capacidad de carga estática, C0	0,9 kN
Carga límite de fatiga, Cu	0,06 kN
f0	10,5
Nref	35.000 r.p.m.
Nlim	51.000 r.p.m.
Temperatura mínima, Tmin	-20 °C
Temperatura máxima, Tmax	120 °C
Frecuencia propia jaula, FTF	0,36 Hz
Frecuencia propia cuerpos rodantes, BSF	3,44 Hz
Frecuencia propia anillo exterior, BPFO	2,56 Hz
Frecuencia propia anillo interior, BPFI	4,44 Hz

Figura 127. Fuente: NTR. Características rodamientos de bolas 607ZZ

2 Correa y polea GT2 6mm

Para que la herramienta se pueda desplazar a través de los ejes de la máquina de forma automática necesita unos motores, pero los motores por si solos no son suficiente para realizar este movimiento ya que necesitan un sistema que convierta el movimiento de giro del motor en un movimiento lineal.

En máquina de aficionado este mecanismo se puede realizar de tres formas, mediante *varillas roscadas*, *husillos* o *correa dentada*.

El *sistema de varillas roscadas* es el más económico, consiste en conectar una varilla roscada de la métrica que deseemos (normalmente M8 o M10) al eje del motor PAP, esta conexión se puede realizar con un macarrón o con una acoplador, además debemos conectar también la varilla roscada al eje que queremos mover, esta conexión se puede realizar con una o más tuercas de la misma métrica que la varilla. El mayor inconveniente de este tipo de transmisión es que es una transmisión lenta. (Figura 128)



Figura 128

El *sistema mediante husillos* es muy preciso, pero también es el sistema más caro, consiste en conectar un husillo al eje del motor PAP mediante un acople, y a su vez conectar el husillo con el eje que queremos mover mediante una tuerca para el husillo. Dado que los husillos tienen un paso mayor que las varillas roscadas hacen que este sistema de transmisión sea más rápido. (Figura 129)



Figura 129

El *sistema de transmisión por correa* tiene buena precisión y su precio no es muy elevado, este es otro de los factores que hemos tenido en cuenta a la hora de seleccionarlo para este proyecto. Consiste en utilizar una correa dentada conectada al motor PAP y al eje que queremos mover mediante poleas. Las correas dentadas tiene un gran paso con lo que es el sistema de transmisión más rápido de los tres, esta

velocidad vendrá definida por el número de dientes que tenga la polea y por el tamaño del paso de la correa.

Existen muchos tipos de correa dentada con diferentes tipos de dientes, pero entre las más usadas en CNC se encuentran los tipos T5, GT2 (que es tipo que se ha usado en esta máquina), XL o HTD.

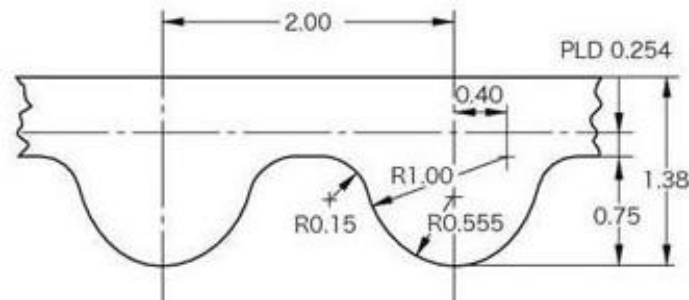


Figura 130. Perfil correa GT2

El uso de correa dentada conlleva un uso de una polea dentada con el mismo paso y mismas medidas para el correcto acople de la transmisión y posterior correcto funcionamiento, para ello hemos usado poleas GT2, ya que poseen un diámetro interior normalizado y que se ajusta completamente a los ejes de los motores PAP (paso a paso).

Las poleas GT2 existentes en el mercado tienen por lo general 15, 16 o 20 dientes. La selección del número de dientes ha estado basada en cálculos técnicos; ya que en este código GBRL utilizado se debe introducir el parámetro de desplazamiento lineal (pasos/mm) acorde a las características de nuestro motor (número de pasos) y a las características del tipo de transmisión utilizado (paso de correa y polea, y el número de dientes). (Figura 130)

El material de fabricación de esta correa es neopreno y fibra de vidrio reforzada. La temperatura de trabajo de esta correa GT2 se sitúa en el rango $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Soporta una tensión de trabajo de 26 N y posee un punto de quiebre de 430 N.

ANEJO 3. MOTORES Y DRIVERS

1 Características de los motores. Selección

Un motor Paso a Paso (en lo sucesivo PAP) es un tipo de motor que se suele emplear en mecanismos que requieran precisión y control en el ángulo de giro. A diferencia de un motor de corriente continua normal estos requieren de un circuito de control externo para su funcionamiento al que llamamos driver. El motor PAP es un motor que por su precio y baja complejidad se utiliza cada vez más, ya sea para construir fresadoras CNC o CNC casero. Los motores PAP son una opción interesante. Es un motor adecuado tanto para profesionales como para los aficionados de CNC, por el hecho que fácilmente se pueden controlar por el puerto LPT1 de un ordenador y que no necesitan un circuito cerrado. Un motor PAP combinado con un controlador micro paso puede ofrecer una resolución muy alta. [27]

Existen varios tipos de motores a pasos que pueden ser: de *imán permanente*, de *reluctancia variable* e *híbridos*; los más usados para proyectos sencillos son los de imanes permanentes los cuales han sido seleccionados en este proyecto y de los que vamos a profundizar.

Dentro de los *imanes permanentes*, hay dos grupos; motores unipolares y bipolares.

Motores Unipolares

Estos motores cuentan con dos bobinas con un punto medio de los cuales salen los cables hacia el exterior; estos cables se conectan a la fuente mientras que los extremos de las bobinas son aterrizadas para cerrar el circuito; dependiendo del tipo de motor, las líneas comunes pueden ser independientes o no. Esta configuración puede ser vista de las siguientes formas: que el motor tiene dos bobinas pequeñas conectadas a un punto en común, o que una bobina está dividida en dos por medio de un punto común. Ahora, y dependiendo de qué media bobina se energice, se puede tener un polo norte o un polo sur; si se energiza la otra mitad, se obtiene un polo opuesto al otro. En la figura 131 se muestra un esquema representativo del motor a pasos unipolar.

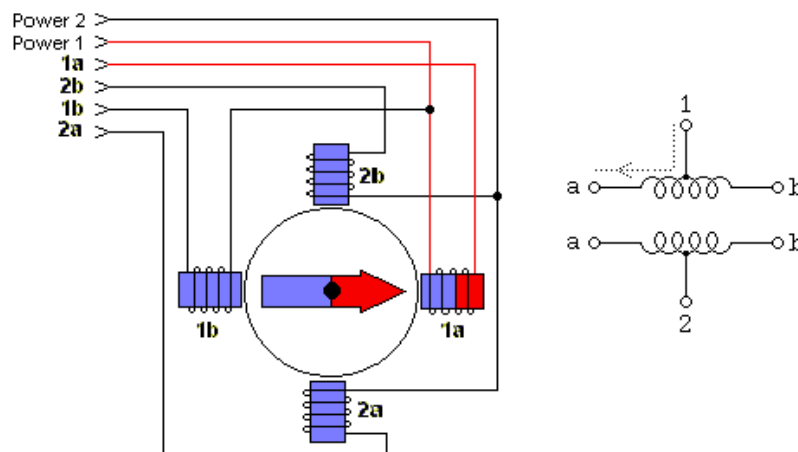


Figura 131

Un motor unipolar de 5 cables es así porque los cables intermedios están unidos en un sólo nodo (Figura 132) mientras que el motor unipolar de 6 cables tiene un cable de alimentación para cada par de bobinas (Figura 133).

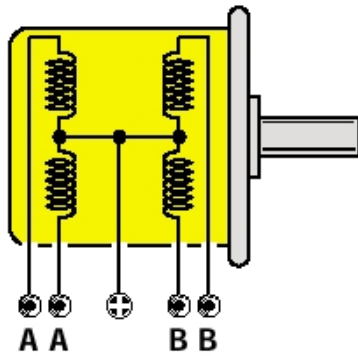


Figura 132

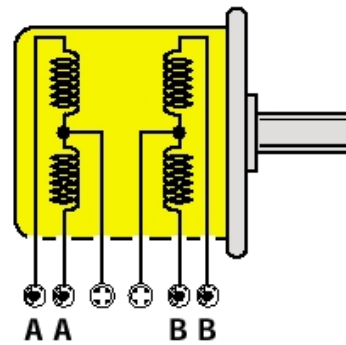


Figura 133

Motores Bipolares

Cuentan con dos bobinas sin ningún punto medio donde salga un cable, por lo que se tienen cuatro cables y cada par corresponde a las terminales de una bobina (Figuras 134 y 135). Dada la configuración de la bobina, la corriente puede fluir en dos direcciones, necesitando un control bidireccional o bipolar. En general, con respecto al sentido de giro de los motores a pasos bipolares, vale la pena recordar que el sentido de giro depende de la dirección del flujo de la corriente por las bobinas ya que ésta induce en el embobinado un campo magnético que genera un polo magnético norte y sur, de ahí que el rotor se mueva para que uno de los polos del rotor sea opuesto al de la bobina -localizado en el estator-, como se muestra en la Ilustración 3. [26]

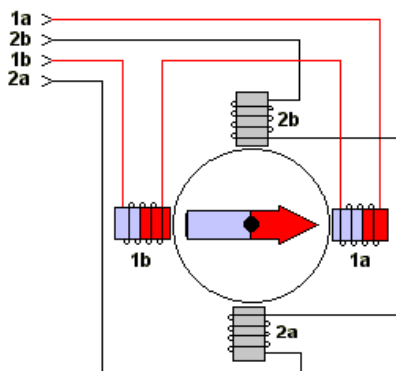


Figura 134

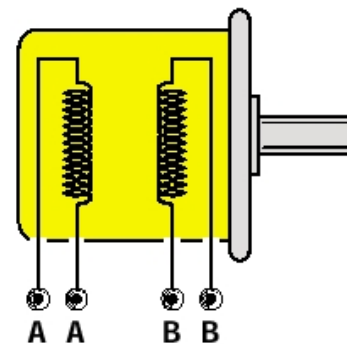


Figura 135

Comparaciones entre ambos tipos de motores

Motores bipolares

- Mayor torque
- Mayor anclaje debido a los embobinados
- Más pequeño
- Más barato
- Un control más complicado, el cual requiere de una tarjeta que incluya etapas de control de giro y potencia

Motores unipolares

- Menor torque
- Menor anclaje
- Tiene un mayor volumen
- Más caro
- Un control más sencillo al requerir solamente completar un circuito de alimentación

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LOS MOTORES

A la hora de elegir unos motores adecuados, es importante tener en cuenta varias cosas:

- Escoger motores con un par motor suficiente para la aplicación que vayan a tener (suficientemente “fuertes”).
- Esta es la primera decisión a tomar, ya que nuestro objetivo primordial es mover uno de los ejes de la máquina con la suficiente fuerza y velocidad.

El fabricante de los motores nos va a especificar una serie de datos y gráficos sobre su producto en las hojas técnicas, como por ejemplo siguiente tabla (Figura 136):

:

Model	Step Angle (°)	Body length (mm)	Phase Current (A)	Phase Resistance (Ohm)	Phase Inductance (mH)	Static moment (N.cm)	Positioning torque (N. cm)	Moment of inertia (g.cm ²)	Pin count (No)	Motor Weight (g)
17HS 4218	1.8	60	1.8	2.2	4.9	65	2.8	102	4	490

Figura 136. Tabla Motores

Debemos fijarnos especialmente en dos datos:

El par motor (o torque) de retención

Aparecerá como “Holding Torque” o “Static moment”. Se mide en N·m o N·cm (Newtons·centímetro) y es uno de los parámetros que indica la “fuerza” del motor. Es el que más habitualmente ofrecen los fabricantes.

Este valor es un indicativo de la fuerza con la que el motor puede mantenerse en un paso. Determinará el aguante del motor a que la inercia del eje que estamos moviendo le haga saltarse un paso al frenar dicho eje (que es el punto más común en el que puede saltarse un paso).

La corriente o intensidad nominal

Aparecerá como “Rated Current”, “Phase Current” o “Max Current”.

Se mide en amperios (A) y nos da el valor máximo de corriente que podemos hacer circular de manera continua por el motor sin quemarlo (más corriente → más fuerza).

Por tanto si queremos utilizar este motor aprovechando toda su fuerza tenemos que controlarlo con un driver que sea capaz de entregar toda esa corriente.

Primer criterio de selección

El motor debe tener suficiente par motor o torque de retención para mover correctamente el eje de la máquina en cuestión.

¿Cómo calcular el mínimo par motor que necesitamos?

El cálculo teórico de este valor es muy complejo. Influyen gran cantidad de factores, como los siguientes:

- ❖ Masa del eje a mover
- ❖ Velocidad de giro del motor paso a paso
- ❖ Inductancia de las bobinas
- ❖ No exactitud de los valores que da el fabricante
- ❖ Transmisión utilizada
- ❖ Rozamiento
- ❖ Aceleración deseada

Debido a ello, por desgracia no se va a poder dar una solución rápida o una fórmula simple para calcularlo. En su lugar, utilizaremos valores ya probados en máquinas CNC existentes y funcionales.

Daremos unos valores mínimos, considerando que cualquier motor de superiores prestaciones funcionará también correctamente:

Para ejes de carga ligera, el valor mínimo del par motor de retención deberá estar entre 28 y 40 N·cm, como por ejemplo ejes que mueven carros de la herramienta sin el motor montado.

Para ejes de carga media, como es nuestro caso, el valor mínimo del par motor de retención deberá ser superior a 40 N·cm. Ejes que mueven carros de la herramienta con motor montado,

Para ejes de carga pesada el valor mínimo del par motor de retención deberá ser superior a 50-60 N·cm. Ejes que mueven carros con un extra de peso por algún motivo, como el uso de rodamientos enclaustrados metálicos.

Hay casos en los que es necesario un motor aún más fuerte (superando los 100 N·cm), como es el caso de algunas impresoras 3D que montan doble extrusor con ambos motores montados en un mismo eje.

Consejo en caso de que sólo dispongamos de motores más ligeros a los recomendados: Disminuir el valor de aceleración máxima y limitar la velocidad máxima a un valor más pequeño, en el firmware de la máquina.

Segundo criterio de selección

Como ya hemos comentado, las selecciones que hagamos de motores y de drivers se van a afectar entre sí. Uno de los criterios de selección de drivers es la corriente máxima que pueden entregar, así que lo

tendremos en cuenta y elegiremos un motor cuya corriente nominal no sea muy alta, a ser posible dentro (o cerca) de los valores que pueden otorgar los drivers de los que podemos disponer.

Valores estándar de corrientes nominales son los siguientes:

- 0,6-0,7A
- 1,2-1,3A
- 1,7-1,8A
- 2,5A

En caso de duda, entre dos motores del mismo par no siempre es mejor escoger el de menor corriente nominal. Cuanta mayor corriente nominal, más conserva su par el motor a altas velocidades, por lo que escogeremos el de mayor corriente que admitan los drivers de los que disponemos.

Normalmente la mejor opción son los de 1,7-1,8A de corriente nominal. Es un valor aceptable para la mayoría de los drivers disponibles.

Teniendo en cuenta los criterios de selección anteriores, se ha optado por unos motores con las siguientes características:

Datos del motor	
Especificaciones	
Tamaño	40 x 42 mm eje no incluido
Peso	300 g
Diámetro del eje	5 mm
Longitud del eje	25 mm
Pasos por vuelta	200 (1,8°/paso)
Corriente	2 Amperios por bobinado
Tensión	2,2 V
Par	0,45n/m
Inductancia (mH)1kHz	2,60±20%
Inercia del rotor (g/cm ²)	54
Temperatura de trabajo	Max 80 °C
Temperatura óptima	-10 °C - 50 °C

Figura 137

Plano acotado de motores PAP

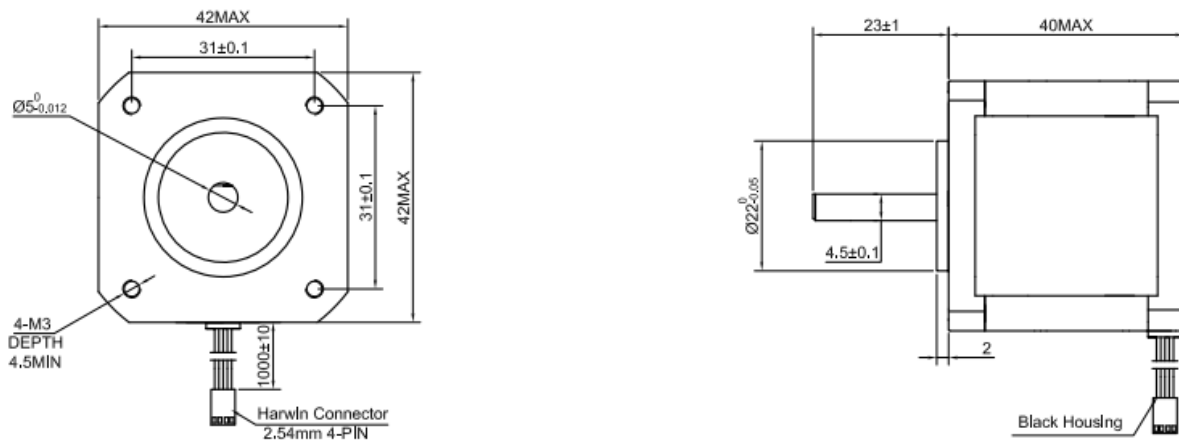


Figura 138. Fuente: Steeperonline [33]

2 Características de los drivers. Selección

El chip de un arduino no es capaz de alimentar el movimiento del motor. Está diseñado para señales digitales, pero no para algo potente. Por eso tenemos que meter algo entre el arduino y los motores, y aquí es donde entran los drivers.

Los drivers actúan como una válvula que controla la corriente de los motores. Cuando el arduino manda la señal, el driver permite pasar la corriente desde nuestra fuente de alimentación a la bobina del motor, de esta forma el driver separa la corriente que alimenta al arduino (normalmente de 5V), de la corriente que circula por las bobinas de los motores (normalmente de 12V). [25]

Existen en el mercado multitud de drivers para motores paso a paso. Entre ellos hay una serie de diferencias, las cuales pueden dividirse en *diferencias de control* y *de prestaciones*.

Respecto al control:

Drivers plug & play

Se controlan por USB. Son capaces de comunicarse con un software ejecutándose en un PC, que les envía las órdenes que el driver convertirá en movimiento de los motores que esté controlando. Pueden comunicarse en tiempo real o ser programados. (Figura 139)

Pueden funcionar de forma independiente, sin necesidad de más electrónica excepto la alimentación.



Figura 139. Drivers Plug & Play de distintos fabricantes

Drivers de bajo nivel

Son aquellos drivers que se controlan con señales electrónicas básicas, como voltajes y corrientes. Necesitan una electrónica de control aparte, ya que forman parte de un sistema y no se utilizan de manera independiente.

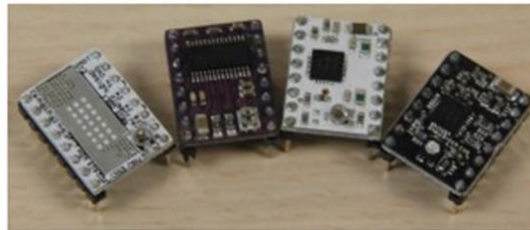


Figura 140. Drivers de bajo nivel para motores paso a paso

Dentro de los tipos de drivers de bajo nivel, existen dos tipos dependiendo del chip que utilizan, pero con características similares. A continuación se enumeran y describen dichos tipos:

A4988 y el DRV8825 son controladores (drivers) que simplifican el manejo de motores paso a paso desde un autómata o procesador como Arduino.

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

Para su control únicamente requieren dos salidas digitales, una para indicar el sentido de giro y otra para comunicar que se quiere que el motor avance un paso. Además permiten realizar microstepping, una técnica para conseguir precisiones superiores al paso nominal del motor de la cual se hablará más adelante.

El A4988 ha alcanzado una gran popularidad en los últimos tiempos debidos a su uso en proyectos como, por ejemplo, en impresoras 3D caseros. Por su parte el DRV8825 es una versión mejorada del A4988 y, por tanto, tiene unas características ligeramente superiores.

En particular, el DRV8825 permite trabajar con tensiones superiores al A4988 (45V frente a 35V), e intensidades superiores (2.5A frente a 2A). Además, añade un nuevo modo de microstepping (1/32) que no está presente en el A4988.

Por lo demás, aparte de unas pequeñas diferencias, ambos dispositivos son similares en su montaje y uso. Incluso pueden ser compatibles entre sí, es decir, bajo ciertas condiciones podemos usar indistintamente uno u otro, e incluso una combinación de ambos de forma simultánea. (Figura 141) [24]



		
Nombre	A4988	DRV8825
Fabricante	Allegro MicroSystems, LLC	Texas Instruments Inc.
Voltaje de operación	8 – 35 V	8,2 – 45 V
Modos de micropaso disponibles	Full-step, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16	Full-step, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Corriente de salida máxima por bobina (con refrigeración)	2 A de pico; 1,4 A RMS	2,5 A de pico; 1,75 A RMS
Resistencia de salida de los FETs	0,32 – 0,45 Ω (según °C)	0,2 – 0,32 Ω (según °C)
Autoapagado por temperatura	Sí, a 165 °C	Sí, a 160 °C
Protección contra exceso de corriente	Para >2,1 A por bobina	Para >3 A por bobina
Protección contra cortocircuito	Sí	Sí

Tabla comparativa de características de dos circuitos integrados controladores de motores paso a paso

Figura 141. Tabla comparativa de características de dos circuitos integrados controladores de motores paso a paso

Ambos controladores pueden alcanzar altas temperaturas durante su funcionamiento y es necesario disipar el calor para que el dispositivo no se dañe. Para intensidades superiores 1A en el A4988 y a 1.5A en el DRV8825 es necesario añadir un sistema de disipación de calor, e incluso ventilación forzada.

Disponen de protecciones contra sobre intensidad, cortocircuito, sobretensión y sobre temperatura. En general, son dispositivos robustos y fiables siempre que realicemos la conexión correctamente, e incorporemos disipación de calor si es necesario.

El A4988 y el DRV8825 son muy empleados en una gran variedad de proyectos que requieren el uso de motores paso a paso, como máquinas de CNC, plotters, robots que dibujan, impresoras 3D, y escáneres 3D.

También son un componente frecuente en proyectos para controlar robots y vehículos, especialmente en aquellos que requieren variar de forma individual la velocidad de cada rueda, como en vehículos con omniwheel o mecanum wheels. [28]



Figura 142. Driver basado en el DRV8825

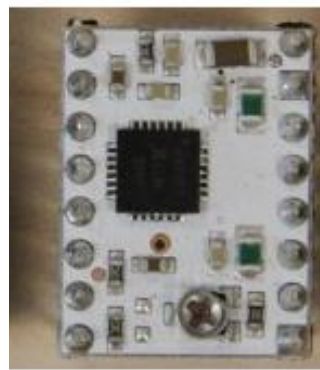


Figura 143. Driver basado en el A4988 (driver utilizado)

Regulación de intensidad

Ambos controladores disponen de reguladores de intensidad incorporados. El motivo es que los motores paso a paso de cierto tamaño y potencia, como por ejemplo los NEMA 17 o NEMA 23 (1), necesitan tensiones superiores a las que podrían soportar las bobinas por su corriente nominal.

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

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

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

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

El limitador interrumpe la señal proporcionando una señal pulsada PWM de forma que el valor promedio de la intensidad que atraviesa la bobina es la intensidad nominal del motor. Terminando con el ejemplo, el limitador de tensión aplicaría el pulso durante el 15% del tiempo y mantendrá el motor apagado el 85% restante.

Para regular la intensidad que proporcionará el limitador y ajustarlo al valor del motor que se vaya a emplear ambas placas disponen de un potenciómetro que regula la intensidad del limitador. (Esto será ampliado en lo sucesivo).

(1) A estos motores se les llama así por la existencia de un estándar o norma regulada por NEMA (National Electrical Manufacturers Association) y el número que acompaña es la medida de la placa frontal del motor en décimas de pulgada.

Estas fórmulas dependen el valor R_s de las resistencias ubicadas en la placa que pueden variar en función del fabricante. Dentro de los drivers seleccionados con Chip A4988 existen varios fabricantes; los más importantes son los de *Pololu* y *StepStick*.

Pololu A4988: Este es el driver más popular, el más conocido, y el que ha definido el estándar de cómo usamos los drivers en el mundo maker. El driver es un reemplazo del original driver A4983. El driver A4988 es una actualización de este controlador, y hoy en día es muy raro encontrar los antiguos A4983. Existe una versión **black edition**, que soporta un 20% más de corriente. Esto es porque usa una PCB de 4 capas, en vez de la versión de 2 capas del modelo verde.

StepStick A4988: Es la versión open hardware del diseño Pololu, y es muy popular en el mundo maker. Este tipo es el más abundante por su bajo precio, sobre todo en las impresoras 3D lowcost. El chip A4988 en teoría soporta un máximo de 2^a. Pero esto es si usas una PCB de 4 capas y 2 onzas de grosor del cobre. Recordemos que cuanto más cobre incluimos en la PCB, vamos a disipar más calor y el driver se calentará menos. Pero también va a ser más caro de fabricar. Los StepStick están diseñados para PCBs de 1 onza. Esto hace que estén pensados para soportar 1A de corriente. En nuestro caso, se ha comprado un pack completo en el que viene incluido la CNC shield y los drivers, con lo cual se minimiza el coste monetario, y después de las pertinentes comprobaciones llegamos a la conclusión que con una buena disipación del calor mediante ventilación forzada, las prestaciones son las mismas que utilizando los drivers de Pololu A4988 un poco más caros.

Una de las grandes diferencias entre el Pololu A4988 y el StepStick sería:

- ❖ El StepStick está diseñado con unas resistencias para medir la corriente de 0,22 Ohmios, y los drivers de Pololu incluyen unas de 0,05 Ohmios.

Y para poder ajustar la tensión que los drivers suministran nuestros motores debemos realizar los siguientes cálculos con la información que nos suministra el fabricante:

$$I_{max} = \frac{V_{ref}}{(8 \times R_s)}$$

$$I_{max}(\text{Intensidad máxima del motor}) = 2A$$

$$R_s(\text{resistencia del driver}) = 0,02 \text{ Ohmios}$$

$$V_{ref} = I_{max} \times (8 \times R_s)$$

$$V_{ref} = 2 \times (8 \times 0,02) = 0,32 \text{ V}$$

$$V_{final} = V_{ref} \times 0,7 = 0,224 \text{ V}$$

El valor de V_{ref} anteriormente hallado no es definitivo, ya que hay que tener en cuenta el tipo de resolución de pasos que utilizan los motores, ya que puede que existan momentos en que la entrega de corriente sea la correcta pero por el contrario puede haber momentos en los que el suministro de corriente sea deficiente, haciendo que nuestros motores no tengan toda la fuerza que el fabricante nos indica con

lo cual se pueden perder pasos disminuyendo así la precisión del trabajo realizado. A esto se le conoce como MICROSTEPPING.

El MICROSTEPPING es una técnica que permite obtener pasos inferiores al paso nominal del motor paso a paso que vamos a controlar. El microstepping hace variar la corriente aplicada a cada bobina emulando un valor analógico. Si pusiéramos a ambas bobinas dos señales eléctricas senoidal perfectamente desfasadas 90° conseguiríamos un campo magnético rotatorio perfecto en el interior del motor. (Figura 144)

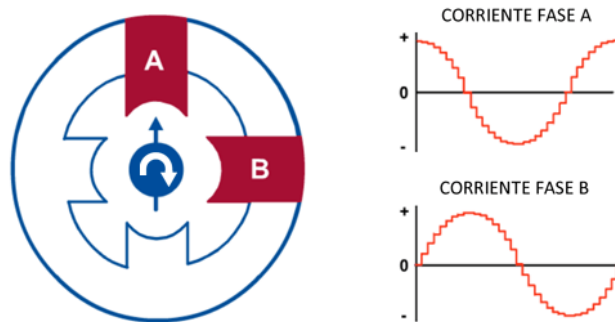


Figura 144

Por supuesto el controlador digital no genera valores analógicos perfectos, si no valores discretizados (“a saltos”), por lo que la señal eléctrica que aplica es igualmente una función senoidal discretizada.

El resultado es un campo magnético un campo magnético rotativo con un paso inferior al paso nominal, que depende del número de niveles de discretos que podemos emplear en las señales de excitación de la bobina.

Cuando funcionamos sin microstepping (Modo full step), los controladores aplican una secuencia de 2-fases, por lo que aplican de forma permanente el 71% de la corriente del limitador a cada bobina. Únicamente varían el sentido en el que la corriente circula por la bobina. (Figura 145)

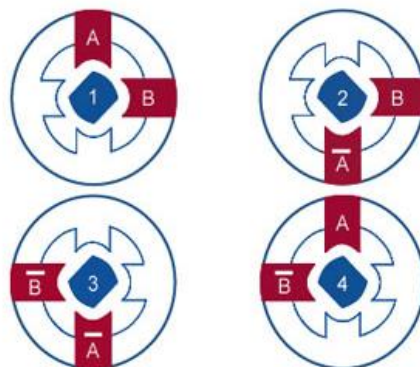


Figura 145

Sin embargo, si aplicamos microstepping en cualquier de sus modos de funcionamiento, el controlador llega a aplicar el 100% de la corriente a una de las bobinas en un determinado paso. La cantidad de corriente concreta aplicada a cada bobina varía con cada paso.

Para explicar todo lo anterior, que mejor que un ejemplo gráfico:

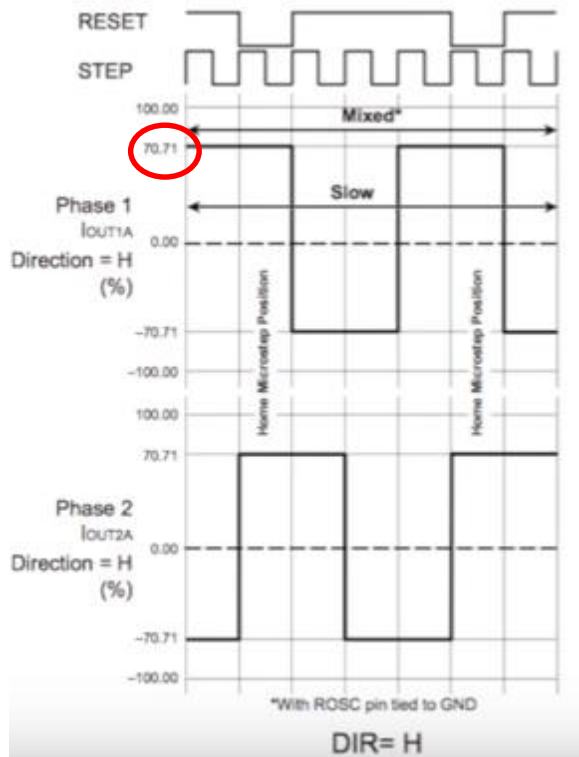


Figura 146. Pasos completos

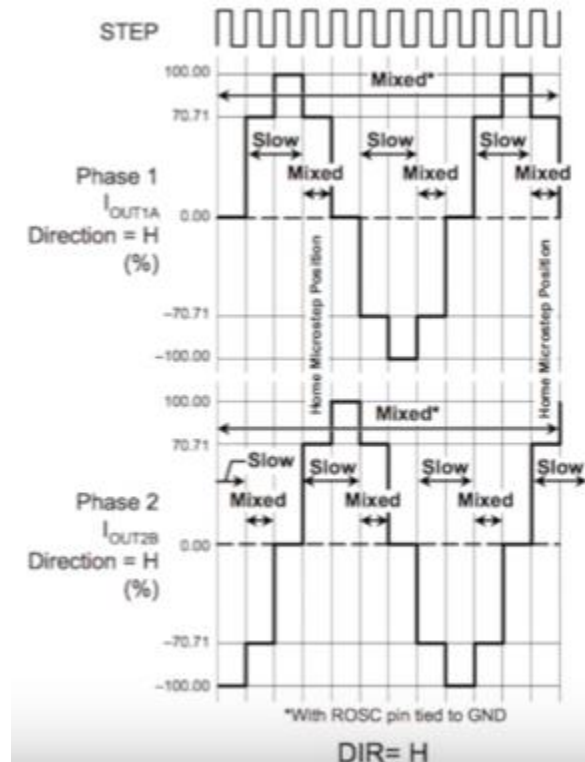


Figura 147. 1/2 de Paso

Aquí se emplea pasos completos de motor ya que el uso de microstepping hará que se pierda torque y fuerza en nuestros motores.

En la figura 146 se observa que los motores usados alcanzarán como máximo el 70% de su intensidad por lo que al valor resultante del cálculo de la tensión de referencia a la que se deben ajustar los drivers, hay que multiplicarlo por 0,7.

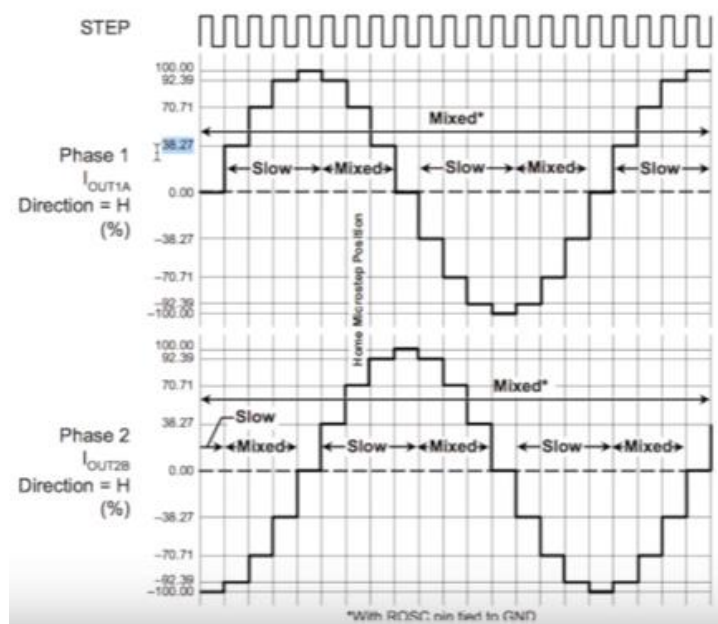


Figura 148. 1/4 de Paso

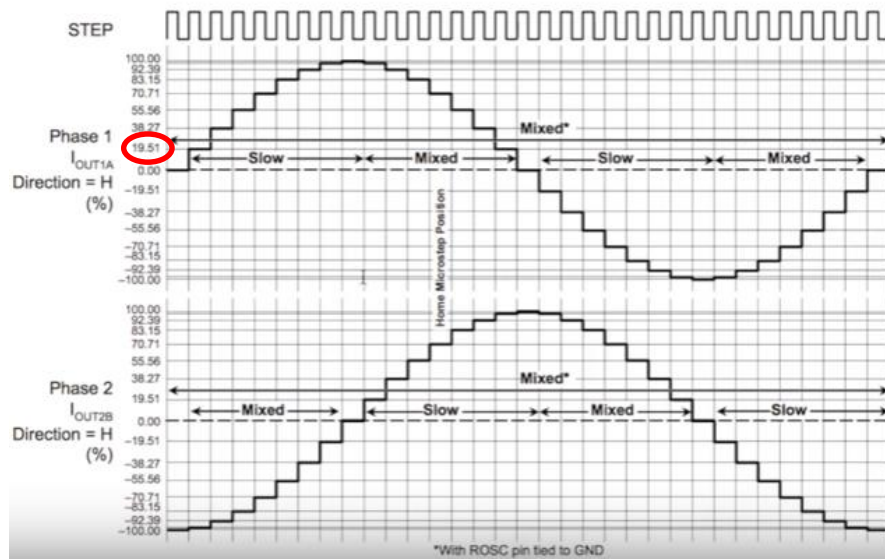


Figura 149. $\frac{1}{8}$ de Paso

Como se observa en las figuras 148 y 149, hay momentos en que la entrega de corriente a los motores es del 100% y hay momentos en los que la entrega de corriente a los motores es del 38% aproximadamente y 19% respectivamente, momentos susceptibles de pérdidas de pasos.

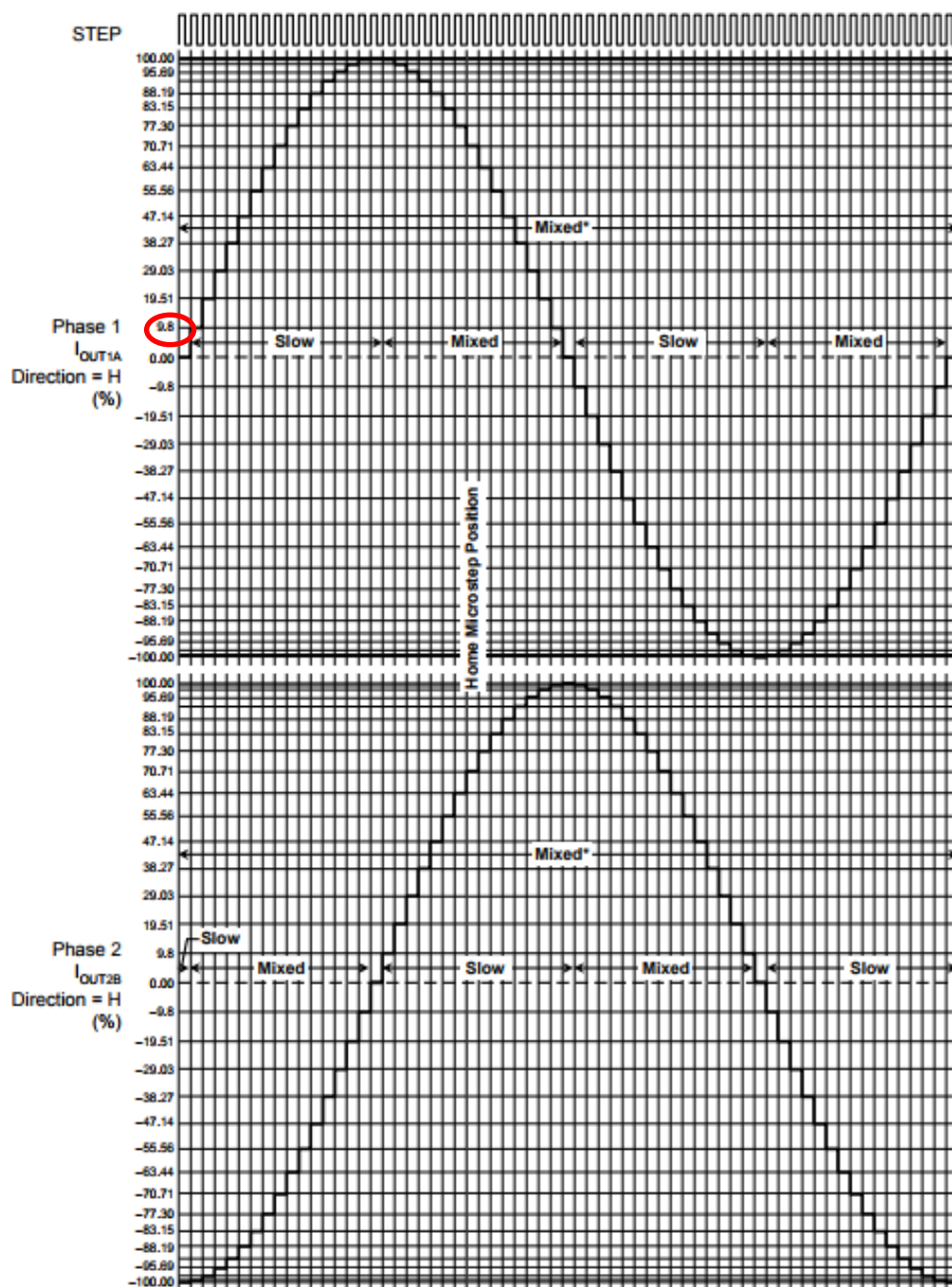


Figura 150. 1/16 de Paso

En la figura 150 se pueden ver valores mínimos de 9,8% de entrega de corriente a los motores

Después de esto procedemos al ajuste de nuestros drivers, para ello, abajo describiremos de forma gráfica los pasos a seguir:

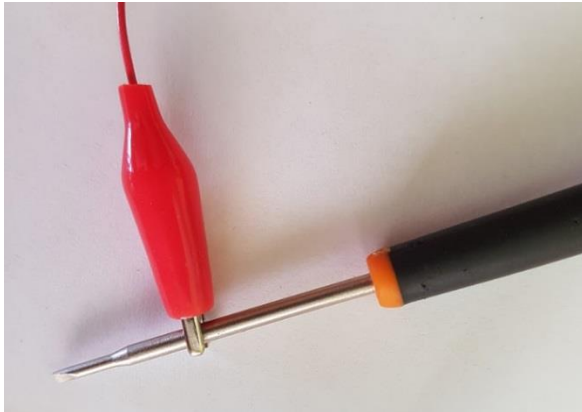


Figura 151.



Figura 152.

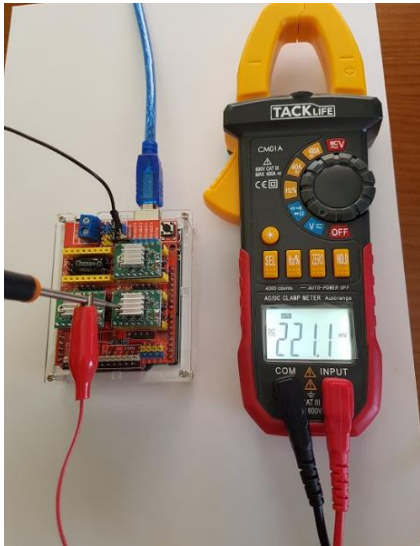


Figura 152

Se conecta el terminal rojo del polímetro (en este caso pinza amperimétrica) a través de una pinza de cocodrilo a un destornillador que hará de puente para la medición de la diferencia de potencial entre el potenciómetro del driver y tierra (GND) (Figura 151). A continuación se conectará el terminal negro del polímetro a través de un cable a cualquier punto de tierra (GND) de nuestra CNC shield (Figura 152). Para ajustar dicho voltaje, se girará con el destornillador el potenciómetro hasta que en la pantalla del polímetro aparezca el valor calculado anteriormente según la información suministrada por los fabricantes (Figura 153).

ANEJO 4. PROCESADOR (MICROORDENADOR) Y PLACA DE DISTRIBUCIÓN DE CONEXIONES

1 Procesador. ¿Qué es?, Características y Selección.

A la hora de hacer funcionar la máquina una de las partes fundamentales es el procesador de la CNC, la cual es un hardware que se encargará de procesar toda la información entrante desde el software seleccionado en nuestro PC y de los sensores de la máquina. En función de esta información obtenida enviará una serie de órdenes analógicas o digitales a los actuadores (motores, láser, etc) para hacerlos funcionar.

En el mercado existen varios modelos de distintos fabricantes; los más conocidos son:

- ✓ Arduino
- ✓ BeagleBone
- ✓ Raspberry Pi
- ✓ Nonode
- ✓ Libelium Waspnote

- a) **Arduino:** Arduino es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto (open-source) basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar. Está pensado para artistas, diseñadores, como hobby y para cualquiera interesado en crear objetos o entornos interactivos. Arduino puede sentir el entorno mediante la recepción de entradas desde una variedad de sensores y puede afectar a su alrededor mediante el control de luces, motores y otros artefactos. El micro controlador de la placa se programa usando el Arduino Programming Language (basado en Wiring) y el Arduino Development Environment (basado en Processing). Los proyectos de Arduino pueden ser autónomos o se pueden comunicar con software en ejecución en un ordenador (por ejemplo con Flash, Processing, MaxMSP, etc.). Las placas se pueden ensamblar a mano o encargárselas pre ensambladas; el software se puede descargar gratuitamente. Los diseños de referencia del hardware (archivos CAD) están disponibles bajo licencia open-source, por lo que eres libre de adaptarlas a tus necesidades.

Dentro de Arduino existen diversas placas, en este proyecto se ha centralizado en Arduino UNO R3 ya que es el más extendido en proyectos de estas características y para el que existen en el mercado una mayor variedad de componentes normalizados.

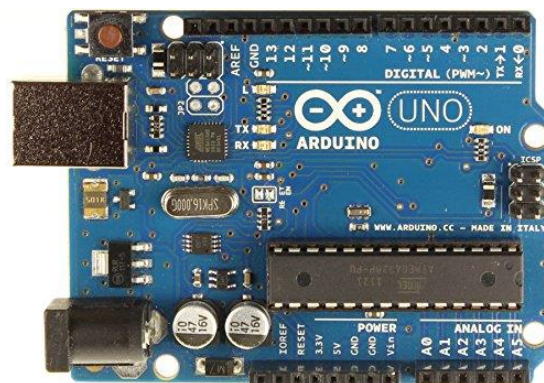


Figura 154

- b) **BeagleBone:** Es una tarjeta de desarrollo de bajo costo desarrollada por la organización Beagleboard.org, la cual está enfocada en estimular el uso de software y hardware open source, así como el conocimiento y el intercambio de ideas. Es una plataforma que corre bajo un sistema operativo Linux (cabe señalar que actualmente existen varias distribuciones de linux para las plataformas Beaglebone), y que cuenta con diversas entradas y salidas de propósito general las cuales cuentan con diversas funciones entre las cuales se encuentran (I/O Digitales, Entradas Analógicas, Salidas con PWM, soporte para I2 & SPI). Además cuenta con un puerto ethernet para la comunicación en red con otros dispositivos y un puerto USB 2.0 para la comunicación con otros dispositivos.

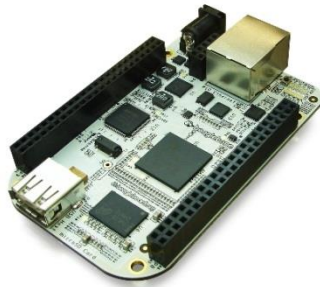


Figura 155

Uno de los principales usos de esta plataforma es el procesamiento de Visión ya que cuenta con compatibilidad con librerías de visión como OpenCV y con cámaras USB. Además de contar con numerosos accesorios y shields para comunicación y pantallas.

- c) **Raspberry Pi:** como el anterior, es un miniordenador con el tamaño de una tarjeta de crédito, bastante barato, (más que BeagleBone, pero menos que Arduino) desarrollada en Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi, con el objetivo principal de estimular la enseñanza de ciencias de la computación en las escuelas. Al ser un miniordenador podemos utilizarlo para desarrollar cosas bastante más complejas que con otros miniordenadores y puede utilizar lenguajes de programación de alto nivel como Python, C++ y Java.

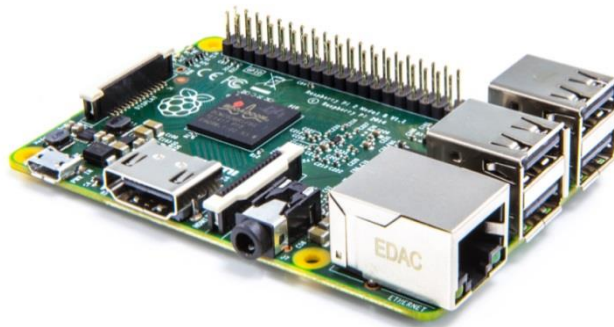


Figura 156

- d) **Nanode:** Es una placa con un micro controlador de código abierto que tiene conectividad a internet. fue desarrollado por un Ingeniero Electrónico del Reino Unido llamado Ken Boak del grupo Hackerspace. Nanode es una evolución de Arduino, que permite a este conectarse a Internet a través de un API y puedes incluso utilizarlo como servidor de páginas web simples permitiendo al usuario configurar el dispositivo. Nanode también puede usarse para detectar datos ambientales, como temperatura, clima o calidad del aire, usando sensores de adición simple. Estos datos podrían ser transmitidos a un servicio de datos abierto basado en la nube,

como Cosm, y luego utilizando las herramientas proporcionadas, los datos podrían ser visualizados, representados y editados.

Nanode también es capaz de suscribirse a fuentes de datos en línea, de nuevo utilizando Cosm, o mediante el seguimiento de un tweet de Twitter. Nanode puede actuar sobre el cambio de datos o texto dentro de estos feeds y realizar una acción. El ejemplo más conocido de esto es alimentador de perros casero fabricado por Nat Morris (un chico galés), que alimenta a su perro Toby galletas de bizcocho en respuesta a un tweet “@feedtoby”.

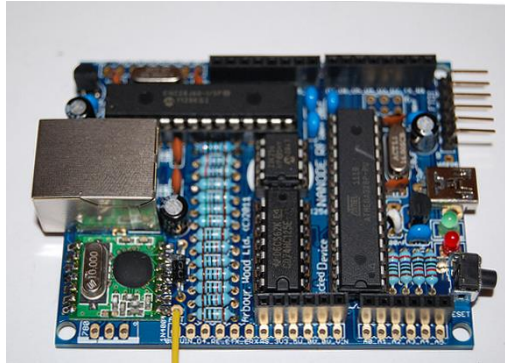


Figura 157

- e) **Libelium Wasmote:** Es un dispositivo diseñado para crear redes inalámbricas de sensores con unos requerimientos bastantes específicos y destinados a ser desplegados en un escenario real. Los anteriores dispositivos se consideran como algo para poder tú mismo desarrollar cosas y, sobre todo, aprender a utilizar la electrónica. Como hemos comentado, la mayoría de ellos se utilizan en escuelas y universidades para el desarrollo a pequeña escala de redes o robots. Este dispositivo lo comercializa una startup española reconocida como empresa innovadora por diferentes instituciones dentro de la Administración Española. En lo que si se parecen, es que Wasmote y Arduino utilizan el mismo entorno de desarrollo y el código que podamos desarrollar para un Arduino lo podremos usar en este dispositivo, simplemente ajustando pequeñas cosas. [29]



Figura 158

Después de un estudio de mercado completo y sopesando las diferentes prestaciones que ofrecían los diferentes tipos de procesadores anteriormente descritos, la opción seleccionada ha sido **ARDUINO UNO R3**.

En la elección del procesador no se ha tenido en cuenta el lenguaje de programación o entorno que éste usa, ya que no se programará directamente dicho procesador, sino que se flashearé el mismo con un Firmware a través de un Software externo. Por ello, se ha optado por Arduino, por la gran extensión de Arduinos en proyectos de este tipo y la gran cantidad de información disponible sobre funcionamiento, puesta a punto, etc, siendo la mejor opción para iniciarse en este tipo de proyectos.

Otros factores a tener en cuenta a la hora de elegir este procesador en concreto han sido:

- *Arduino es libre y extensible:* esto quiere decir que cualquiera que desee ampliar y mejorar tanto el diseño hardware de las placas como el entorno de desarrollo software y el propio lenguaje de programación, puede hacerlo sin problemas.
- *Arduino tiene una gran comunidad:* muchas personas lo utilizan, enriquecen la documentación y comparten continuamente sus ideas.
- *Su entorno de programación es multiplataforma:* se puede instalar y ejecutar en sistemas Windows, Mac OS X y Linux. Esto no ocurre con el software de muchas otras placas.
- *Su entorno y el lenguaje de programación son simples y claros:* son muy fáciles de aprender y de utilizar, a la vez que flexibles y completos para que los usuarios avanzados puedan aprovechar y expresar todas las posibilidades del hardware.
- *Las placas Arduino son económicas:* la placa Arduino estándar ya pre-ensamblada y lista para funcionar cuesta menos de 20 euros. Incluso, uno mismo se la podría construir adquiriendo los componentes por separado, con lo que el precio total de la placa resultante sería incluso menor.
- *Las placas Arduino son reutilizables y versátiles:* reutilizables porque se puede aprovechar la misma placa para varios proyectos (ya que es muy fácil de desconectarla, reconectarla y reprogramarla), y versátiles porque las placas Arduino proveen varios tipos diferentes de entradas y salidas de datos, los cuales permiten capturar información de sensores y enviar señales a actuadores de múltiples formas.
- *Fácil aprendizaje de electrónica* a través de este procesador.

2 Placa de distribución de conexiones.

En el mundo Maker (fabricación doméstica) se pueden encontrar placas de distribución de conexiones modulares, es decir, separadas del procesador o bien placas integradas, que son aquellas que incorporan el procesador junto con la placa distribuidora de conexiones en la cual van conectados los drivers para los motores, finales de carrera y otros sensores y las herramientas. (Figuras 159 y 160)

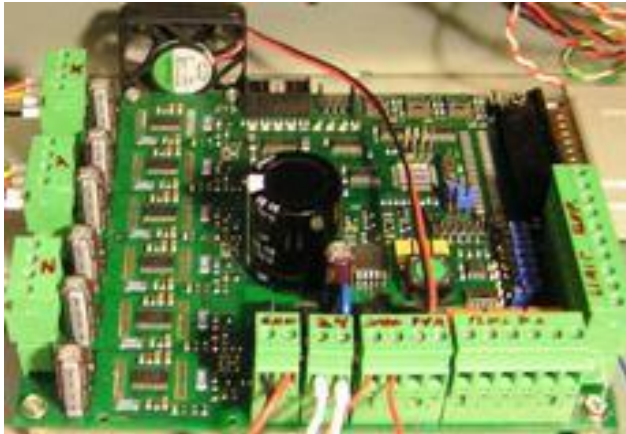


Figura 159



Figura 160

En este caso, ya que se ha optado por Arduino, se elige una placa que se acopla a las conexiones de ARDUINO UNO R3 perfectamente. Esta placa es la CNC SHIELD Versión 3.0. (Figura 161)

Existen varias versiones de dicha placa pero es a partir de la versión V3.1 que la placa admite el código GRBL versión 9.0, dicha versión del código permite el control PWM del láser (capacidad de variación de la intensidad del láser para hacer escala de grises).

Se ha seleccionado esta versión de la placa más antigua (V 3.0) basándose en factores meramente económicos, puesto que la única diferencia con la versión posterior V 3.1 es que únicamente permutan 2 pins (11 y 12).

Según esquema impreso en Arduino, el pin 11 posee control PWM y el pin 12 no. Dichos pins se acoplan con los pins de la V 3.0 de la CNC, final de carrera en el eje Z y con el pin Spindle-enable respectivamente. Así pues, con esta configuración no se podría controlar la intensidad del láser para hacer escalas de grises. Según las nuevas versiones, estos dos pins vienen permutados de fábrica, pero en este caso, como no disponemos de Eje Z, y por ello no instalaremos un final de carrera en este eje, se conecta el láser a los pins de la CNC Shield V 3.0 correspondientes a dicho final de carrera y así se obtiene el control de la intensidad del láser. [30]

Numerosas placas electrónicas para máquinas CNC han establecido un estándar en el diseño de la fabricación de estos drivers, consistente en un zócalo de 2 tiras de 8 pins como es el caso de placa usada en este proyecto.

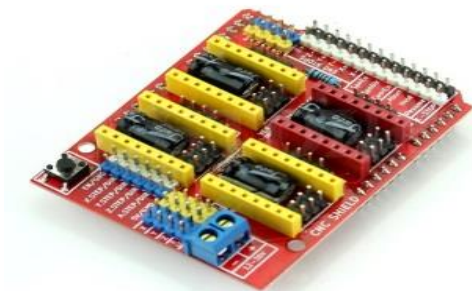


Figura 161. Placa electrónica empleada en máquina CNC

ANEJO 5. MÓDULO LÁSER

1 Módulo Láser. Características, tipos, y elección.

1.1 Diodo láser

Fundamento teórico

Los materiales semiconductores son aquellos que a temperaturas muy bajas se comportan como aislantes, es decir, no conducen la electricidad, pero que cuando la temperatura aumenta por encima de un cierto valor se convierten en muy buenos conductores. Algunos materiales semiconductores son por ejemplo el silicio, el germanio y el selenio. Los materiales Semiconductores los dividiremos en dos lo semiconductores extrínsecos y los intrínsecos.

El esquema de nivel de energía para un semiconductor ideal se muestra en la figura 5, el espectro de nivel de energía consiste en varias bandas anchas, estas son las bandas de valencia V y la banda de conducción C, separadas por una región prohibida de energías (gap), cada banda consiste de una gran numero de estados de energía muy cercanos unos de otros.

Cuando aumenta la temperatura o se hace incidir luz sobre estos materiales, los electrones de la banda de valencia adquieren energía suficiente para saltar a la banda de conducción, dejando un hueco en la primera.

Para mejorar aún más la conducción en los materiales semiconductores, se les introducen impurezas, átomos similares que pueden tener un electrón menos (tipo p) o un electrón más (tipo n). Este proceso se denomina dopaje. La conductividad eléctrica del semiconductor se aumenta sustancialmente si se le añaden impurezas de cualquiera de los dos tipos en partes por millón.

Una consecuencia importante es que en semiconductores con impurezas el número de electrones que conducen electricidad puede ser controlado. Las propiedades de conductividad de la unión p-n dependen de la dirección del voltaje, de manera que así se puede controlar el uso del dispositivo. En la figura siguiente vemos gráficamente las bandas de conducción y de valencia para materiales semiconductores tipo n y tipo p.

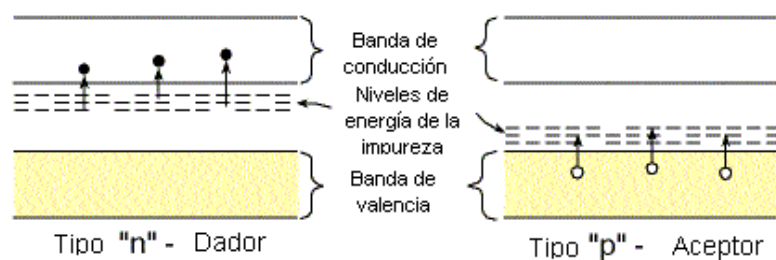


Figura 162

Si el material se halla dopado con impurezas, tendremos además, dentro de la brecha E_g , niveles de impurezas donadoras cerca del fondo de la banda C y niveles de impurezasceptoras cerca de la parte superior de la banda V

Cuando un semiconductor tipo "p" se asocia a un semiconductor tipo "n", tenemos una:
Unión p-n.

Esta unión conduce la electricidad en una dirección preferencial (polarizado hacia adelante). Este aumento direccional de la conductividad es el mecanismo habitual para todos los diodos y los transistores en electrónica.

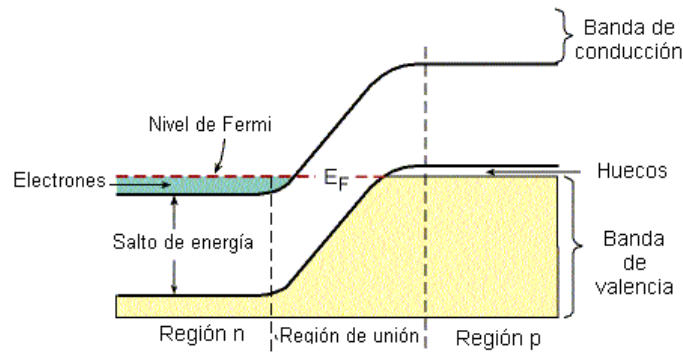


Figura 163. Niveles de energía en la unión p-n cuando no se aplica un voltaje externo

El nivel de máxima energía ocupado por electrones se denomina nivel de Fermi. Cuando el contacto positivo de la fuente de voltaje se une a la parte p de la unión p-n, y el contacto negativo se conecta a la parte n, la corriente fluye a través de la unión p-n. Esta conexión se denomina Voltaje polarizado hacia adelante.

Cuando se conecta la polaridad inversa, esta conexión es llamada Voltaje de polarización posterior, y esto provoca un aumento del potencial de barrera entre la parte p y la parte n. Ello dificulta el flujo de corriente a través de la unión p-n.

Aplicación del Voltaje a la unión P-N

Cuando se aplica un voltaje sobre la unión p-n, cambia la población de las bandas de energía. Puede aplicarse el voltaje a la unión en dos configuraciones posibles:

Voltaje polarizado hacia adelante - significa que el polo negativo de la fuente de voltaje está conectado a la parte "n" de la unión, y la parte positiva está conectada al semiconductor tipo "p", como se muestra en la figura 162.

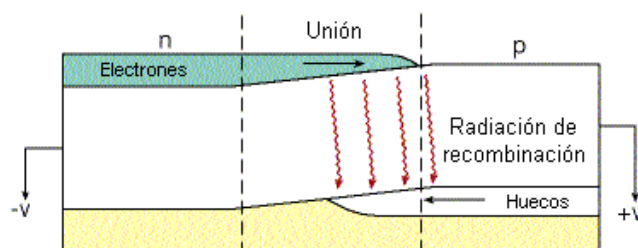


Figura 162. Banda de energía de una unión p-n en la cual se aplica un voltaje polarizado hacia adelante

El voltaje polarizado hacia adelante genera portadores de carga extra en la unión, disminuye el potencial de barrera, y provoca la inyección de los portadores de la carga, a través de la unión, hasta otro sitio.

Cuando un electrón de la parte "n" de la banda de conducción, es inyectado a través de la unión a un hueco vacío de la banda de valencia en la parte "p", se produce un proceso de recombinación (de un electrón más un hueco). Como resultado del proceso de recombinación, se libera energía.

Para los láseres de diodo interesan los casos específicos en los que esta energía se libera en forma de radiación láser. Se produce un aumento sostenido de la conductividad cuando el voltaje polarizado hacia adelante es aproximadamente igual a la separación de energía del semiconductor.

Voltaje Inverso (hacia atrás) - el cual provoca un aumento del potencial de barrera de la unión, y disminuye la posibilidad de que un electrón cruce la unión hasta otro lado. Aumentando el voltaje inverso hasta valores elevados (decenas de voltios), puede producirse una ruptura del voltaje de la unión (avalancha).

Radiación de salida de un láser de diodo

La figura 163 describe la forma de la radiación electromagnética láser de un láser simple de diodo construido en capas.

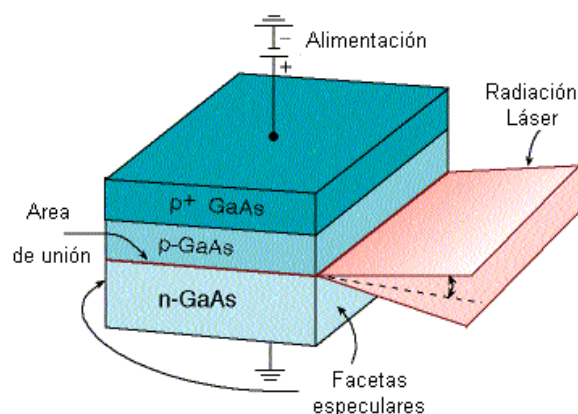


Figura 163. Perfil de la radiación de un láser simple de diodo

La radiación proviene de la forma rectangular de una capa muy delgada, y se dispersa con diferentes ángulos en 2 direcciones.

Después se describirán las estructuras especiales que permiten confinar la capa activa a una pequeña región, y controlar la forma del perfil de la radiación láser.

La aniquilación de un par electrón hueco con emisión de un fotón puede implicar o no, en función de la estructura de bandas del material que forman la unión p – n, la emisión simultánea de un fotón. Si se da dicha emisión de un fotón se dice que sucede transición indirecta o, en caso contrario, una transición directa.

La recombinación con emisión espontánea es muy efectiva en semiconductores con transiciones directas, como GaAs, pues en ellos la vida media de emisión espontánea es muy corta ($10^{-10} - 10^{-9}$ s) y, por tanto, la amplificación que se obtiene en un sistema con inversión de población como este es muy alta. Por el contrario, en un semiconductor de transiciones indirectas, como Si o Ge, la emisión espontánea tiene una vida media relativa muy alta (10^{-5} s) y predomina el efecto de

los procesos no radiactivos, de modo que no es posible obtener un láser a partir de este tipo de semiconductores.

Función de distribución de fermi – Dirac

Conforme al principio de exclusión de Pauli: no puede haber más de un electrón ocupando cada estado de energía.

La probabilidad de que un estado en particular con energía E sea ocupado por uno de los electrones para un sólido está dada por:

$$f(E) = \left[1 + \exp\left(\frac{E - F}{kT}\right) \right]^{-1}$$

Donde

k = constante de Boltzmann [$\frac{eV}{K}$]

T = temperatura [°K]

F = nivel de Fermi [eV]

El nivel Fermi representa el estado de energía con un 50% de probabilidad de ser ocupado si no existe banda prohibida. Esto es si $E = F$, entonces $f(E) = 1/2$ para cualquier valor de la temperatura, que es el caso de los conductores.

Cuando $T = 0$ °K, existen dos condiciones posibles:

- a) $E > F$, el término exponencial tiende a infinito y $f(E) = 0$, en consecuencia no hay ninguna posibilidad de encontrar un estado cuántico ocupado de energía mayor que F a temperatura de cero absoluto.
- b) $E < F$ el término exponencial es cero y $f(E) = 1$. Todos los niveles cuánticos con energías menores que F están ocupados a $T = 0$ °K

Por lo tanto, a $T = 0$ °K la banda de valencia estará completamente llena y la banda de conducción completamente vacía.

Cuando la unión p-n está funcionando como diodo en polarización directa, ya no está en equilibrio y el estudio teórico de la misma debería realizarse a través de probabilidades de ocupación de no-equilibrio, distintas a las expresadas anteriormente. Ahora bien, cuando se excita un electrón dentro de la banda de conducción, las interacciones de dicho electrón con los fenómenos de la red disminuirán su energía hasta que se corresponda con la del fondo de la banda de conducción.

Esta transición dentro de la banda ocurre en un tiempo muy pequeño, del orden 10^{-13} s evidentemente lo mismo le sucede a un hueco excitado dentro de la banda de Valencia. Una vez situados en los extremos de las bandas respectivas, el electrón y el hueco se re combinan emitiendo

un fotón en un proceso que dura alrededor de 10^{-9} s, es decir, mucho más que las transiciones dentro de las bandas. El equilibrio térmico se restablece tan rápidamente dentro de cada una de las bandas que podemos considerar que aunque el semiconductor como un todo no esté en equilibrio térmico. Las bandas por separado sí lo están y las probabilidades de ocupación de cada una de las bandas pueden expresarse tal y como se hace para un semiconductor en equilibrio sin más que sustituir el concepto de equilibrio del nivel de Fermi por su análogo de no-equilibrio, el cuasi nivel de Fermi. Así, al sustituir en la expresión anterior por E_{Fv} (cuasi nivel de Fermi de la banda V), se obtendrá la probabilidad de ocupación de la banda V y, al sustituir F por E_{Fc} (cuasi nivel de Fermi de la banda C), se obtendría la probabilidad de ocupación de la banda C.

Una condición necesaria para el funcionamiento del láser es que el número de emisiones estimuladas debe ser mayor que el número de fotones absorbidos (siendo un exceso necesario para compensar las pérdidas en la cavidad resonante). La velocidad de emisión estimulada será proporcional al producto de la probabilidad de ocupación del nivel superior, F_c , y la probabilidad de no-ocupación del nivel inferior ($1-F_v$). Recíprocamente, la velocidad de absorción de fotones será proporcional al producto de la probabilidad de ocupación del nivel inferior, F_v , y la probabilidad de no-ocupación del nivel inferior, ($1-F_c$). Así, para conseguir la emisión estimulada debe satisfacer:

$$F_c (1 - F_v) - F_v (1 - F_c) > 0$$

La cual implica que

$$F_c > F_v$$

Es decir

$$E_{Fc} - E_{Fv} > h\nu > E_g$$

La frecuencia de la radiación emitida debe estar comprendida entre las que corresponde a la anchura de brecha de energía entre las bandas y la diferencia entre las energías de los cuasi niveles de Fermi de las bandas C y V, los cuales dependen de los números de electrones excitados. Esto implica la necesidad de excitar un mínimo número de electrones para asegurar que $E_{Fc} - E_{Fv} > E_g$, ya que de no ser así, la ganancia del semiconductor sería nula y no podría observar el efecto láser.

Curva del diodo Láser

Si la condición de "Inversión de Población" (que se requiere para la acción láser) no existe, los fotones se emiten por emisión espontánea. Estos fotones se emiten aleatoriamente en todas las direcciones, lo que es la base de operación de un diodo emisor de luz (LED).

La condición de inversión de población depende del bombeo. Incrementando la corriente que se inyecta a la unión p-n, se llega a una corriente umbral que cumple esta condición.

En la figura 164 se muestra un ejemplo de la potencia de salida de un láser de diodo en función de la corriente inyectada.

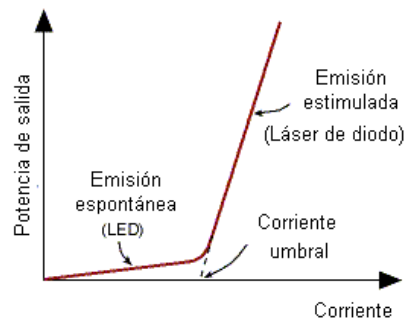


Figura 164. Potencia de salida de un láser de diodo en función de la corriente de entrada

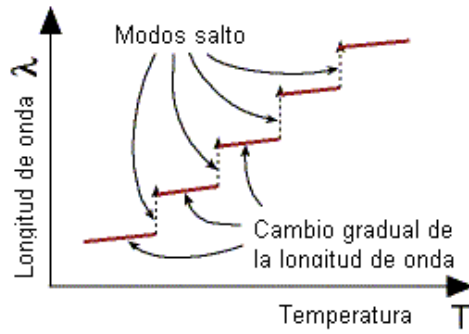
Como se ve claramente, la pendiente de esta gráfica en la emisión estimulada (láser) es mucho mayor que la pendiente en la emisión espontánea (LED). La corriente umbral para acción láser está determinada por el punto de corte de la tangente de la gráfica para emisión estimulada con el eje de la corriente (este punto está muy próximo al punto de cambio en la pendiente).

Cuando la corriente umbral es baja, se pierde menos energía en forma de calor, y se transmite más energía como radiación láser (aumenta el rendimiento del láser). En la práctica, el parámetro importante es la densidad de corriente, lo que se mide en unidades de Amperios por centímetro cuadrado (A/cm^2) de la sección perpendicular a la unión.

Dependencia de los parámetros del láser de diodo con la temperatura

Uno de los problemas de los láseres de diodo es el aumento de la corriente umbral para la acción láser al aumentar la temperatura (μT^3). El funcionamiento del láser de diodo a baja temperatura requiere corrientes bajas. Conforme la corriente fluye a través del diodo, se va generando calor. Si la disipación de calor no es adecuada, la temperatura del diodo aumenta, y al corriente umbral requerido también aumenta. Uno de los problemas básicos de los diodos láser es el aumento del umbral de corriente con la temperatura. Los operativos a bajas temperaturas requieren bajas corrientes. A medida que la corriente fluye por el diodo, se genera calor. Si la disipación no es la adecuada, la temperatura aumenta, con lo que aumenta también el umbral de corriente.

Los cambios en la temperatura provocan cambios en la longitud de onda emitida por el láser de diodo. En la figura 165 se ilustra el cambio de la longitud de onda con la temperatura. En otras palabras un aumento gradual de la longitud de onda al aumentar la temperatura, hasta que se produce un salto a otro modo longitudinal. Este salto se denomina "Modo de Salto"



Cambio de la longitud de onda del láser de diodo con la temperatura

Figura 165.

Debido a las variaciones de temperatura, se necesitan diseñar estructuras especiales para los láseres de diodo, para poder lograr radiación láser continua de alta potencia.

Diferentes Estructuras de los Láseres de Diodo Una típica construcción de la capa activa es en forma de una franja estrecha (Geometría de Línea), confinada por los dos lados (por arriba y por abajo) con otro material. Esta familia de láseres de diodo se denomina Láseres basados en índice. Ejemplos de diferentes estructuras láser para el confinamiento de la luz láser a una región específica. (Figura 166)[16]

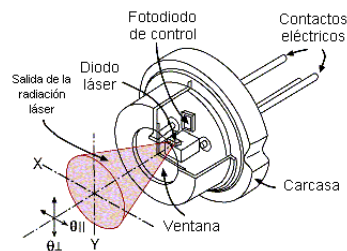
Tipo de Láser	Estructura del láser	Confinamiento de la radiación
Homounión		Pequeño confinamiento en el plano del papel
Heterounión simple		Confinamiento bueno en una cara del plano perpendicular
Doble heterounión		Confinamiento de la radiación buena en ambas caras del plano perpendicular
Línea basada en la ganancia		
Heterounión enterrada (Geometría de línea basada en índices)		Confinamiento de la radiación buena en ambos planos, horizontal y vertical

Figura 166. Ejemplos de diferentes estructuras láser para el confinamiento de la luz láser a una región específica

Empaquetado del Láser de diodo

Los tamaños miniaturizados de los láseres de diodo, requieren de un empaquetado especial que permita usarlos cómodamente.

Hay muchos tipos de ensamblajes, pero el estándar es similar al de un transistor, e incluye los colimadores ópticos básicos para producir un haz aprovechable



Empaquetado de un láser con diodo comercial

Figura 167

1.2 Tipos de diodo láser según la cavidad óptica

Diodo láser con cavidad Fabry Perot: Estos diodos son los más comunes y poseen una cavidad óptica formada por dos espejos altamente reflectantes. Estos espejos se encargan de la selección de longitud de onda del láser.

Diodo láser de retroalimentación distribuida (DFB): Es un tipo de diodo láser, láser de cascada cuántica o láser de fibra óptica donde la región activa del dispositivo se estructura periódicamente como una rejilla de difracción. La estructura construye una rejilla de interferencia unidimensional y la rejilla proporciona realimentación óptica para el láser.

Los diodos láser DFB no utilizan dos espejos discretos para formar la cavidad óptica (como se usan en los diseños láser convencionales). La rejilla actúa como el elemento selectivo de longitud de onda para al menos uno de los espejos y proporciona la realimentación, que refleja la luz de nuevo en la cavidad para formar el resonador. La rejilla está construida de manera que refleja solamente una banda estrecha de longitudes de onda, y produce así un solo modo de láser longitudinal. Esto contrasta con un láser Fabry-Perot, donde las facetas del chip forman los dos espejos y proporcionan la retroalimentación. En este caso, los espejos son banda ancha y el láser funciona simultáneamente en múltiples modos longitudinales o salta fácilmente entre modos longitudinales. Alterando la temperatura del dispositivo hace que el paso de la rejilla cambie debido a la dependencia del índice de refracción sobre la temperatura. [31]

Diodo Láser de emisión superficial (VCSEL): Es un diodo semiconductor que emite luz en un haz cilíndrico vertical de la superficie de una oblea (fina plancha de material semiconductor), y ofrece ventajas significativas cuando se compara con láser de emisión lateral comúnmente usados en la mayoría de comunicaciones por fibra óptica. Los VCSELs pueden ser construidos con GaAs, InGaAs.

Para el funcionamiento del VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser) se requiere de una región activa de emisión de luz encerrada en un resonador que consta de dos espejos. En este caso, los espejos son parte de las películas epitaxiales, por lo que estas películas se superponen formando una pila. Estos espejos son conocidos como reflectores distribuidos de Bragg (DBRs). (Figura 168) [32]

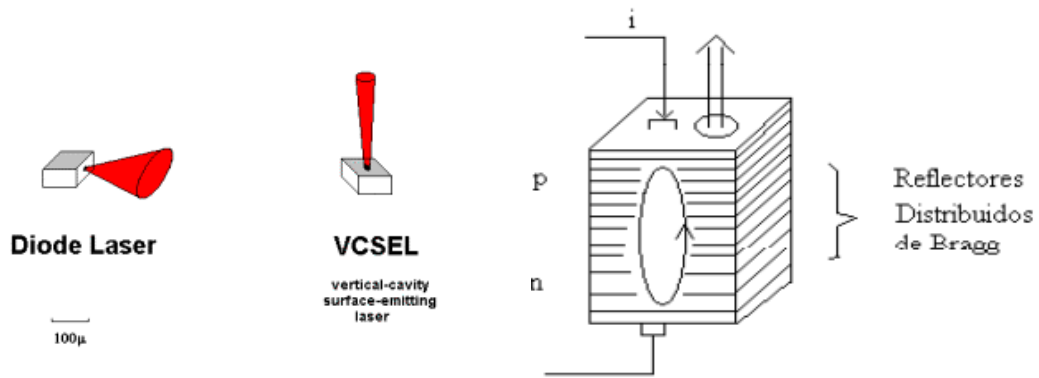


Figura 168

1.3 Elección módulo láser (componentes)

Diodo láser

Al final la elección del diodo láser se ha fundamentado en la versatilidad de dicho láser unido al factor económico. El diodo láser seleccionado para este proyecto ha sido el modelo M140, de origen japonés y empleado en proyectores de la marca Casio. El haz de luz es azul; pertenece a la franja de longitud de onda visible (445 nm). Se trata de un diodo láser convencional con la configuración de la cavidad óptica anteriormente descrita de Fabry Perot. El tipo de encapsulado es TO-18.

En este caso, los diferentes componentes del módulo láser se han adquirido por separado para minimizar costes y para entender mejor el funcionamiento de las partes componentes y de la electrónica del mismo.

Se ha adquirido otro diodo láser de otra versión aparte del que se va a usar, pero con una potencia máxima de 1W, el modelo es el A140 para hacer ensayos. (Figura 169)

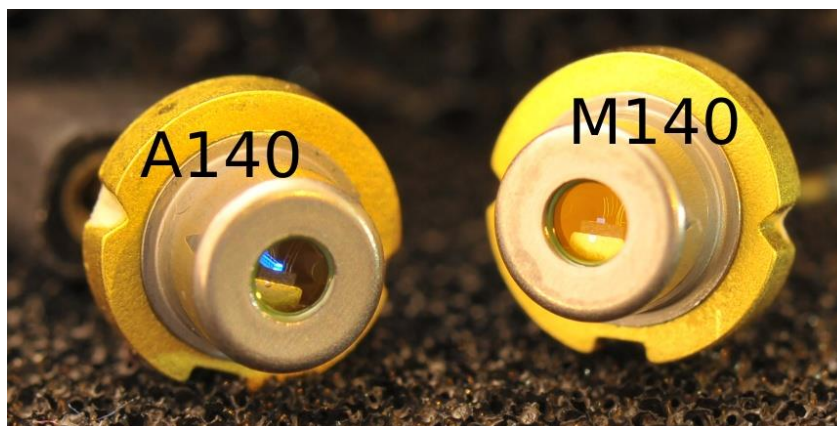


Figura 169. Dos versiones del diodo láser de 1W y 2W respectivamente

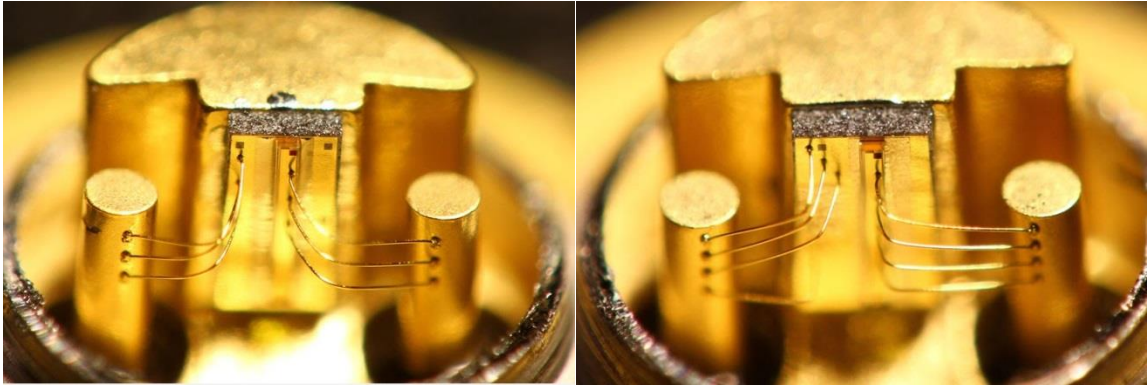


Figura 170 Modelo A sólo tiene 3 cables para llevar corriente Modelo M tiene 4 cables para llevar corriente

Las características del modelo M140 seleccionado para este proyecto son:

Absolute Maximum Ratings:

Item	Absolute Maximum Ratings	Unit
Forward Current (Tc = 25°C)	1.7	A
Absolute max output optical power	2	W
Allowable Reverse Current (Tc = 25°C)	85	mA
Operating Case Temperature	50	°C

Electrical / Optical Characteristics

Item	Min	Typ.	Max	Unit
Typical Optical Output Power		1.2	1.4	W
Typical Operating Current		1	1.7	A
Dominant Wavelength	435		455	nm
Threshold Current	80		220	mA
Operating Voltage	3.7		5.5	V
Focused Spot Size	6	8		Mil
Beam Divergence Full Anlge (1/e ²) //	5	14	25	deg.
Beam Divergence Full Anlge (1/e ²) – Perp	30	44	50	deg.

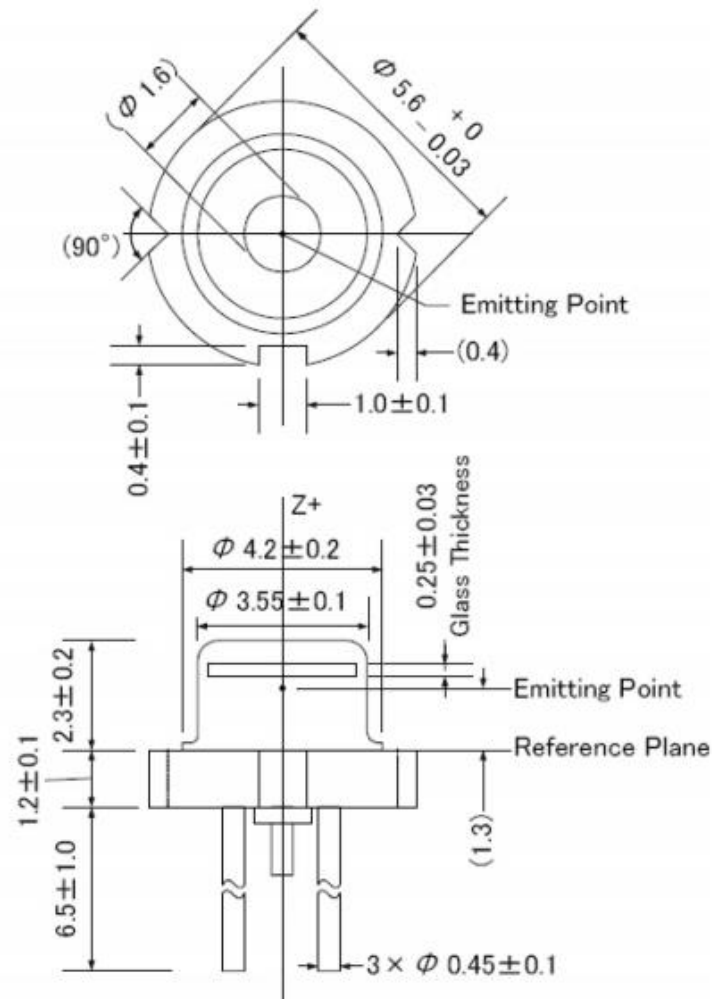


Figura 171. Plano de la planta y alzado del diodo láser M140

Las ventajas del uso de este modelo de diodo láser son las siguientes:

- Rendimiento muy alto (más del 20% de la energía suministrada es emitida como radiación láser).
- Alta fiabilidad.
- Tiempo de vida muy largo (se estima que más de 100 años de operación continua).
- Precio muy barato - Los láseres de diodo se fabrican utilizando técnicas de producción a gran escala utilizadas en la industria electrónica.
- Posibilidad de realizar la modulación directa de la radiación emitida, controlando la corriente eléctrica a través de la unión p-n. La radiación emitida es función lineal de la corriente y puede llegar a una velocidad de modulación de decenas de GHz.
- Pequeño peso y volumen.
- Corriente umbral muy baja.

- Bajo consumo de energía.
- Bandas espectrales estrechas, las cuales pueden ser de unos pocos kiloHerzios en láseres de diodo especiales.
- Un sistema experimental, utilizando fibras ópticas de modo sencillo, transmite la información a una velocidad de 4 [GHz], lo cual es equivalente a la transmisión simultánea de alrededor de 50,000 llamadas telefónicas en una fibra (cada llamada ocupa una banda de frecuencia de 64 [KB/s]).

La potencia del diodo láser es directamente proporcional a la corriente eléctrica, y eso se puede observar en los gráficos siguientes (Figuras 172 y 173):

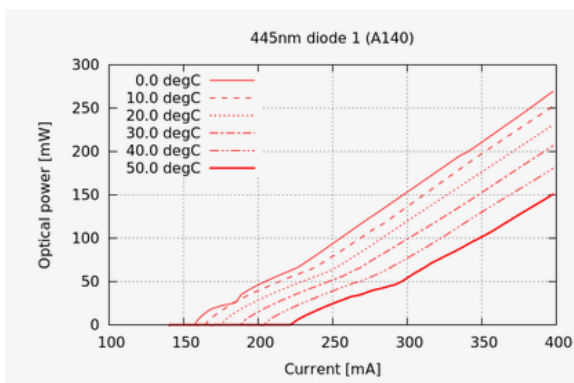


Figura 172

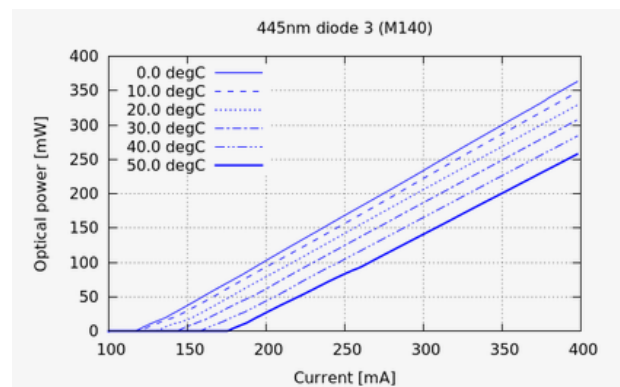


Figura 173

Según el siguiente ensayo realizado al modelo de diodo láser M140 se puede observar la relación de valores de intensidad (A), voltaje (V) y potencia (W). Según el proveedor del diodo empleado la intensidad aconsejable de funcionamiento es de 1,4 A y de 1,7 A el valor del pico máximo. (Figura 174)

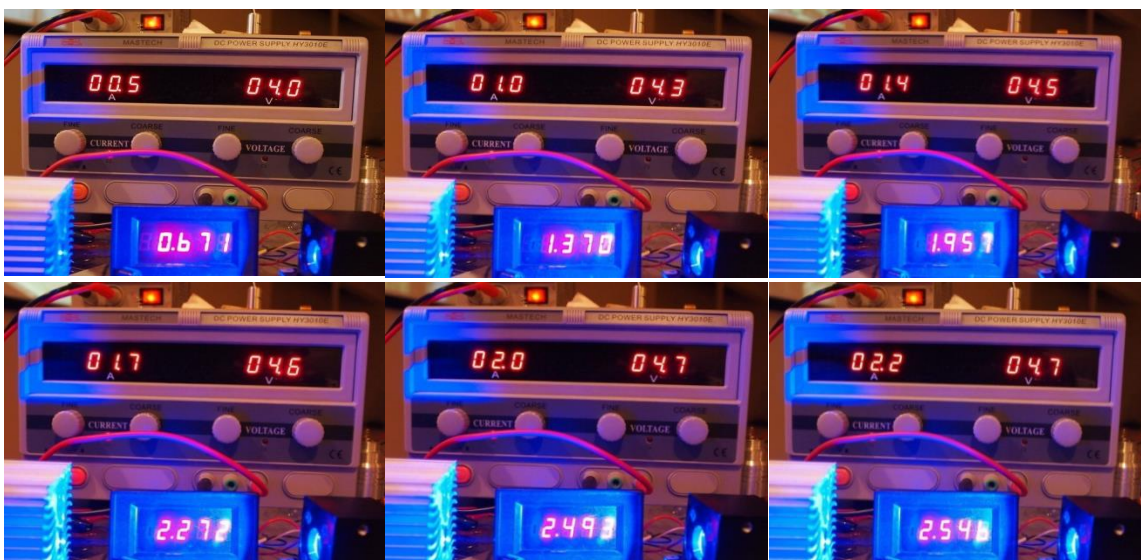


Figura 174

Con la óptica elegida obtenemos la gráfica de la figura 175 que nos relaciona proporcionalmente la potencia y la intensidad.

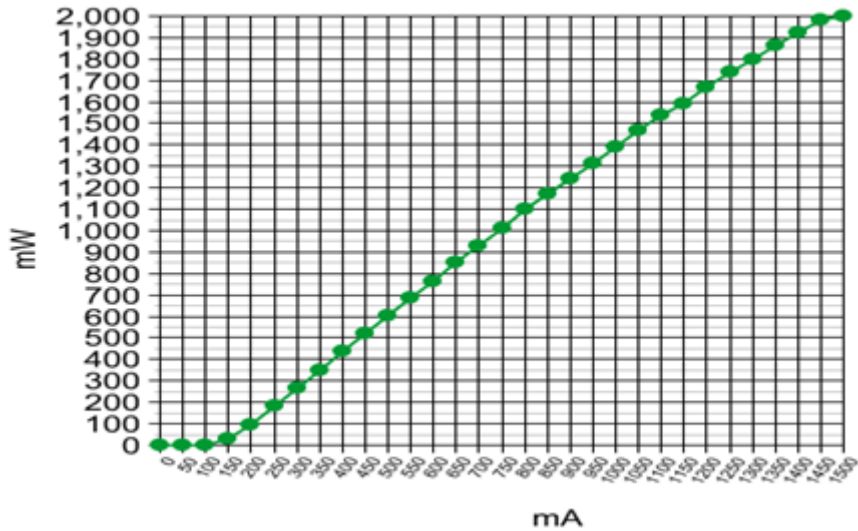


Figura 175

Carcasa Diodo láser y lente

El modelo de carcasa es un estándar específico para poder alojar este diodo de $\text{Ø}5,6$ mm y con una lente de cristal ajustable para poder regular el enfoque del haz de luz. Dicha carcasa también posee un recubrimiento externo específico para mejorar la refrigeración del diodo. También dicha carcasa permite alojar un ventilador en la parte cenital para forzar la refrigeración del diodo láser. (Figura 176)

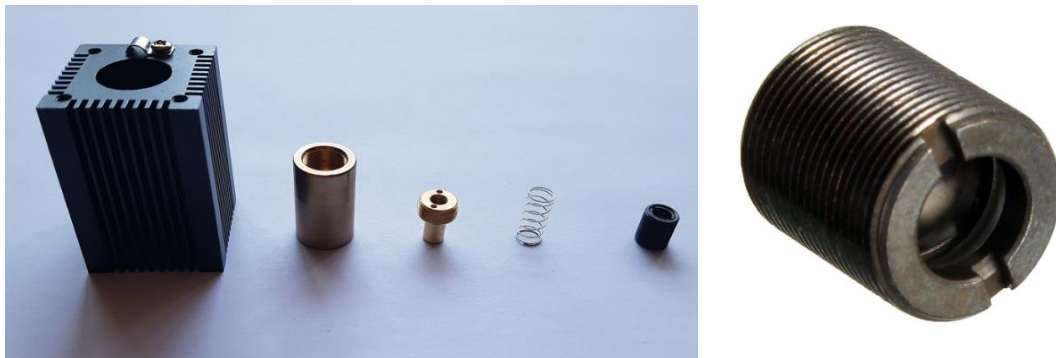
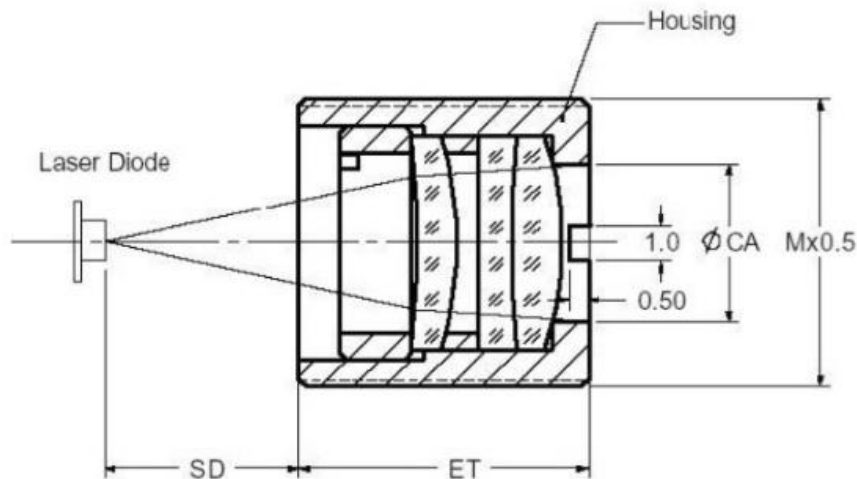


Figura 176 Carcasa diodo láser y lente



Part No	Coating /nm	Diode Focal length (SD) /mm	Numerical Aperture (NA)	CA/mm	Thread Diameter (M) / mm	Effective Focal Length (EFL) /mm	Edge Thickness (ET)
OFL161	400-450	3.1	0.26	5.0	9.0	8.3	10

Figura 177. Lente láser

Esta lente tiene la característica de ser ajustable su enfoque mecánicamente a través de una rosca externa y coincidente con la rosca interna de la carcasa del láser (Figura 176). Se trata de una lente colimadora de vidrio (Un **colimador** es un sistema que a partir de un haz divergente obtiene un "haz" paralelo. Sirve para homogeneizar las trayectorias o rayos que, emitidos por una fuente, salen en todas direcciones y obtiene un chorro de partículas o conjunto de rayos con las mismas propiedades). Figura 178

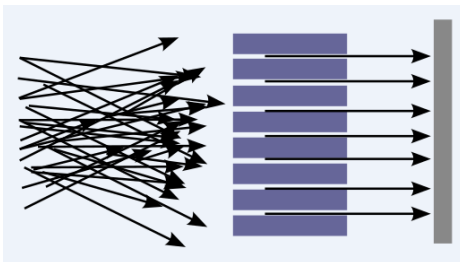


Figura 178 Principio de funcionamiento de lente colimadora

Driver láser

El driver láser seleccionado ha sido el Good Láser A-11. Las características de este driver son:

Voltaje de entrada: DC 8-14V

Max. Voltaje de salida: DC 12V (adjustable)

Max. Corriente de salida: 3A (adjustable)

Compatibilidad de diodos láser: 200mW-2W 405/445/450/520nm (Rojo, Verde y Azul)

Dimensiones: 33 x 48mm (Ancho x Largo)

Altura: 13mm

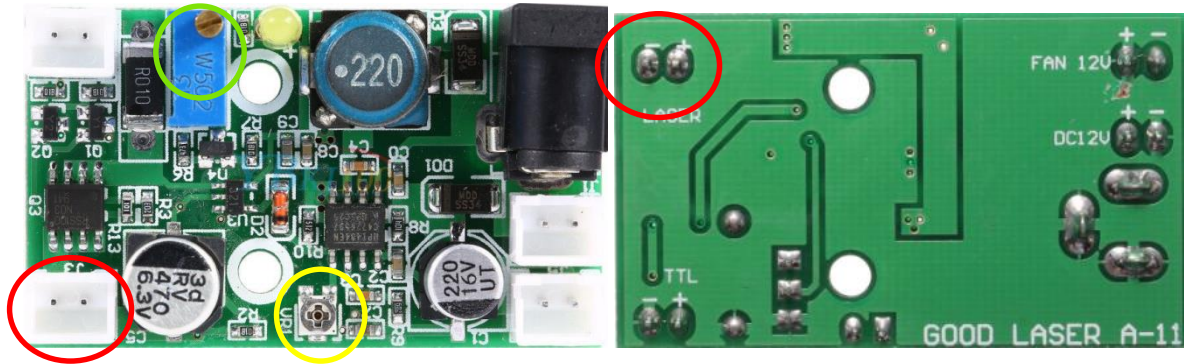


Figura 179. Este driver (Modelo A-11) es la versión actualizada del Walye Power A-10.

2 Ajuste de driver (Voltaje e intensidad)

Teniendo en cuenta los datos aportados por los fabricantes se ha optado por ajustar el voltaje de intensidad del diodo láser a unos valores intermedios para evitar posibles daños y no llevar la máquina a su límite. Para ello se han hecho todas las conexiones a excepción del diodo láser. En los pins donde el láser se conecta al driver (pins marcados en la figura 179) se ha conectado el polímetro.

El polímetro se pondrá en modo voltímetro y se encenderá mediante el comando M3 S255 (potencia máxima del diodo) en el software Gcode Sender pudiendo visualizar el valor del voltaje que el driver suministra al diodo; ajustando éste al valor deseado (en este caso 5,2V) mediante el potenciómetro marcado con un círculo amarillo en la figura superior (Figura 180).

Posteriormente se apagará el diodo láser mediante el comando M5 para no dañar el polímetro y se pondrá en modo amperímetro; el diodo láser se volverá a encender con el comando M3S255 y se podrá visualizar el valor de la intensidad en el polímetro pudiéndose ajustar este valor mediante el potenciómetro marcado en la figura de arriba con un círculo verde hasta el valor deseado (en este caso 1,37A) (Figura 181).

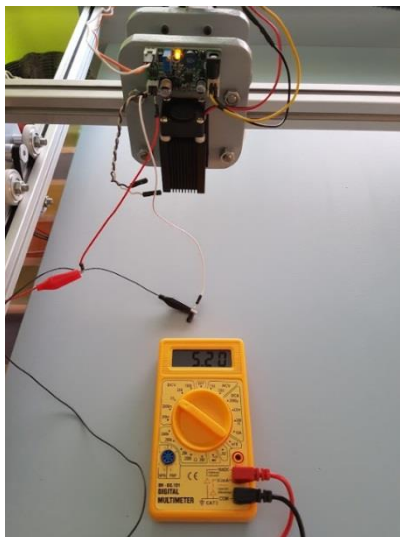


Figura 180

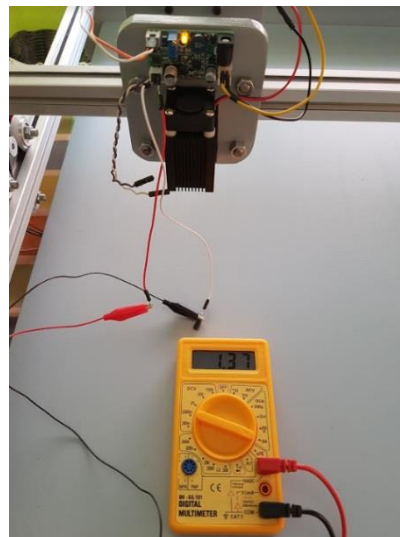


Figura 181

Con estos ajustes se ha conseguido sacar el mayor partido posible de este diodo laser sin ponerlo en peligro de rotura.

ANEJO 6. FUENTE DE ALIMENTACIÓN

1 Fuente de alimentación. Características. Selección

Se trata de una fuente de alimentación ATX reciclada de un ordenador antiguo y correcto funcionamiento, con ello se ha contribuido a la conservación del medioambiente. (Figura 183)

Con esta fuente de alimentación se pretende dar servicio a todo el componente electrónico de la máquina a excepción de la alimentación de 5V DC de arduino, que se obtienen a través de la conexión USB del ordenador. Se ha dimensionado la corriente necesaria para abastecer todos los componentes, para ello se han llevado a cabo algunos cálculos.

Dimensionado de la intensidad

Intensidad de abastecimiento (fuente de alimentación) = 13A	Intensidad requerida por componentes electrónicos (3 motores x 2A/motor) + 1,37 (láser) = 7,37A
---	---

Dimensionado de la diferencia de potencial

Voltaje de abastecimiento (fuente de alimentación) = 12V	Ninguno de los componentes electrónicos de la máquina demanda un voltaje superior a 12V.
--	--

Como se observa en las dos tablas dicha fuente de alimentación puede abastecer con creces a todos los componentes electrónicos de la máquina.

Para poder encender esta fuente sin el uso de placa base del ordenador al que pertenecía, se han llevado a cabo los siguientes pasos (Figura 182):

- se localiza el conector de 20+4 pins de la fuente de alimentación
- Se identifica un cable (que por lo general es verde)
- Se “puentea” dicho cable con cualquiera de los otros cables negros (tierra)

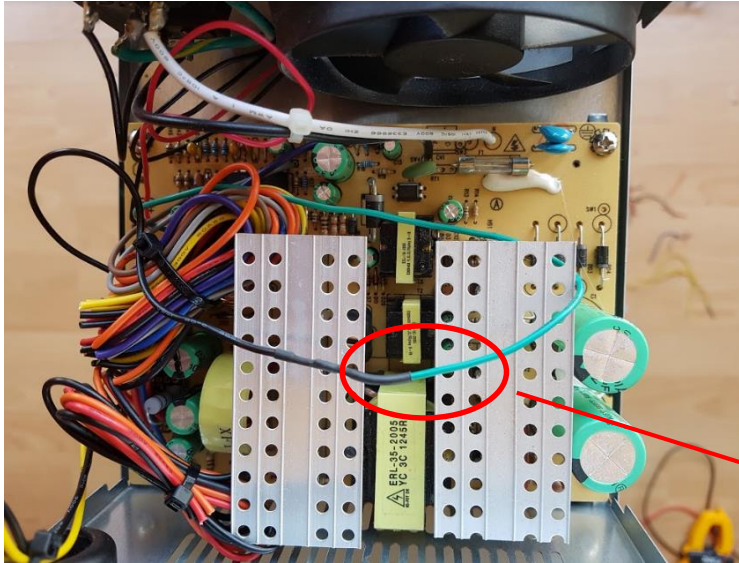


Figura 182. Detalle del “puenteo”

Esta fuente de alimentación tiene una gran cantidad de salidas de corriente de 3,3, 5 y 12 V DC pero únicamente se necesitan tres salidas de 12 V DC con sus correspondiente cables a tierra (3 cables amarillos y 3 cables negros), por lo que se cortan el resto de cables sobrantes a un tamaño considerable para futuras necesidades. Todos estos cables sobrantes se agruparan mediante una “brida” y se dejarán disponibles en el interior de la fuente.

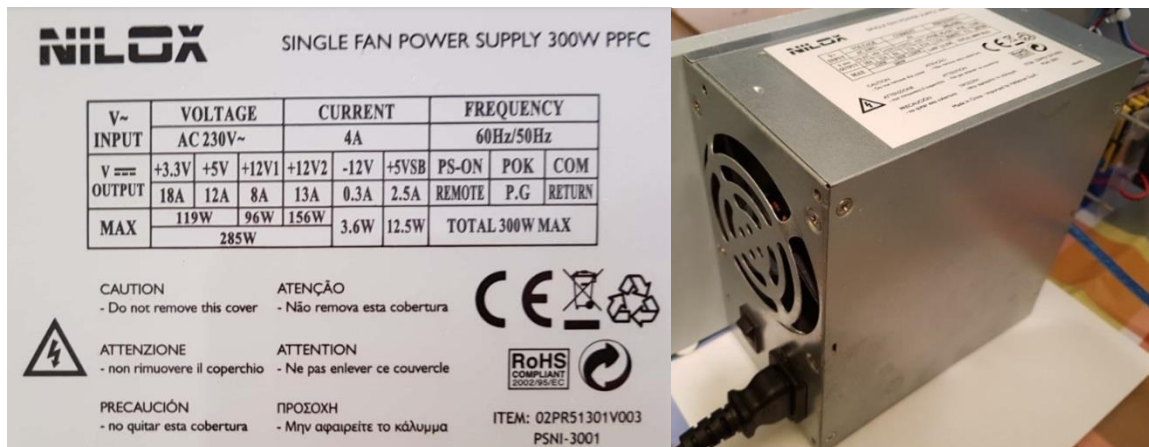


Figura 183

ANEJO 7. SOFTWARE, CÓDIGO G Y CÓDIGO GRBL

1 Código GRBL

En primer lugar se habla del GRBL con el cual será cargado el arduino. GRBL es un software libre, de código abierto, de alto rendimiento para controlar el movimiento de máquinas que fabrican cosas a través de movimiento, como es el caso de las máquinas CNC. La mayoría de impresoras de código abierto 3D funcionan con GRBL. Se ha adaptado para su uso en cientos de proyectos incluyendo grabadoras láser, máquinas de dibujo, etc. Debido a su rendimiento, simplicidad y requisitos de hardware se ha convertido en una de las opciones más usadas.

En 2009 Simen Svale Skogsrud lanzó las primeras versiones de GRBL (inspirado por Arduino GCode interpreter de Myke Elleri).

Dicho firmware es capaz de interpretar el código G y transformarlo en movimientos de nuestra máquina a través de arduino y los componentes del hardware.

Existen varias versiones de este firmware pero se ha optado por la *versión 0.9i* ya que a partir de esta se puede obtener el control de la intensidad del láser mediante PWM, en un rango entre 0 y 255 del código S, el cual define la intensidad del láser en el código G, obteniendo así la escala de grises. Los parámetros de este código se ajustarán en el apartado de Gcode Sender de este anejo.

2 Código G

El G-Code (o código G, en castellano) es el nombre de un lenguaje de descripción de operaciones para máquinas de control numérico por ordenador (CNC) que puede ser usado también como lenguaje de programación para controlar estos dispositivos para simplificar operaciones utilizando, por ejemplo, bucles.

Desde que se estandarizó en los 80 como ISO 6983, el G-Code es el lenguaje más utilizado en la fabricación por ordenador. Aunque existen ampliaciones e implementaciones de algunos fabricantes así como estándares alternativos al internacional en algunos países, es más que probable que cualquier máquina de control numérico moderna sepa interpretar el G-Code básico. El estándar alemán DIN 66025 es la alternativa que más probablemente llegue a nuestro entorno tanto por su área de influencia como por su importante presencia en el mercado industrial.

El G-Code se almacena en formato texto, es decir, puede leerse (y modificarse) con un editor de texto plano aunque lo más habitual es que se genere y se visualice desde una aplicación de modelado y/o fabricación 3D o alguna herramienta o accesorio específico. [\[37\]](#)

El G-Code describe el movimiento y las diferentes operaciones que la máquina CNC debe realizar para la fabricación del objeto que se describe. Actualmente el G-Code se ha popularizado mucho gracias a la impresión 3D, en ese uso el G-Code especifica dónde posicionar el extrusor, en horizontal y vertical, cuánto calentarlo y cómo disponer el filamento entre otras cosas. Las impresoras 3D suelen ser sistemas de 3 ejes: X, Y (plano) y Z (altura) Los sistemas de 4 o 5 ejes añaden información sobre giros de los cabezales de fabricación, y están presentes, por ejemplo, en tornos y fresadoras CNC.

Los programas de fabricación asistida por ordenador (CAM) suelen generar directamente documentos con las instrucciones G-Code para controlar los sistemas de fabricación (mecanizado, tradicionalmente) es decir, documentos G-Code.

El código G es un formato de texto que se puede escribir con la mano o generada por un script. Aplicaciones de CAM se utilizan generalmente para generar el código G. Se utiliza principalmente las extensiones de archivo .tap y .nc, aunque existen decenas de otras extensiones que cumplen la misma función. Finalmente, todas son extensiones de texto tipo .txt.

Se puede utilizar cualquier editor de texto para hacer o editar el archivo (es decir, el bloc de notas, Wordpad), pues son archivos de texto. [38]

Dentro del código G hay diferentes tipos de códigos (Fuente 184):

G-code	Meaning	Notes
A	Absolute or incremental position of A axis	(rotational axis around X axis)
B	Absolute or incremental position of B axis	(rotational axis around Y axis)
C	Absolute or incremental position of B axis	(rotational axis around Z axis)
D	Defines diameter or radial offset used for cutter compensation.	D is used for depth of cut on lathes. It is used for aperture selection and commands on photoplotters.
E	Precision feedrate for threading on lathes	Note that this has been extended by most 3D printing firmwares to support Extrusion (the length of material to extrude, or a specified number of steps, depending on the specific implementation).[4] ↗
F	Defines feed rate (see below).	
G	Address for preparatory commands	G commands often tell the control what kind of motion is wanted (e.g., rapid positioning, linear feed, circular feed, fixed cycle) or what offset value to use.
H	Defines tool length offset	Incremental axis corresponding to C axis (e.g., on a turn-mill)
I	Defines arc center in X axis for G02 or G03 arc commands.	Also used as a parameter within some fixed cycles.
J	Defines arc center in Y axis for G02 or G03 arc commands.	Also used as a parameter within some fixed cycles.
K	Defines arc center in Z axis for G02 or G03 arc commands.	Also used as a parameter within some fixed cycles, equal to L address.
L	Fixed cycle loop count	Specification of what register to edit using G10
M	Miscellaneous function	Action code, auxiliary command; descriptions vary. Many M-codes call for machine functions, which is why people often say that the "M" stands for "machine", although it was not intended to.
N	Line (block) number in program	System parameter number to be changed using G10
O	Program name	
P	Serves as parameter address for various G and M codes	With G04, defines dwell time value.
Q	Peck increment in canned cycles	
R	Defines size of arc radius, or defines retract height in milling canned cycles	Used for temperatures in most 3D printing firmwares.[5] ↗
S	Defines speed, either spindle speed or surface speed depending on mode	
T	Tool selection	
U	Incremental axis corresponding to X axis (typically only lathe group A controls)	Also defines dwell time on some machines (instead of "P" or "X").
V	Incremental axis corresponding to Y axis	
W	Incremental axis corresponding to Z axis	(typically only lathe group A controls)
X	Absolute or incremental position of X axis.	Also defines dwell time on some machines (instead of "P" or "U").
Y	Absolute or incremental position of Y axis	
Z	Absolute or incremental position of Z axis	The main spindle's axis of rotation often determines which axis of a machine tool is labeled as Z.

Figura 184

Pero de todos los anteriores códigos los más significativos son:

- ❖ Los precedidos por la letra G: Son aquellos que implican movimiento. Los más importantes son los siguientes (Figura 185):

Comando	Descripción
G00	Interpolación Lineal Rápida.
G01	Interpolación lineal a la velocidad programada en el registro F.
G02	Movimiento Circular en el sentido horario Feedrate.
G03	Movimiento Circular en el sentido anti-horario Feedrate.
G04	Es una demora o una pausa con un tiempo específico.
G17	Selección del Plano X-Y
G18	Selección del Plano X-Z
G19	Selección del Plano Y-Z
G40	Compensación anulada, o al centro de la línea de desplazamiento.
G41	Compensación a la Izquierda de la línea de desplazamiento.
G42	Compensación a la Derecha de la línea de desplazamiento.
G70	Unidad de Datos expresados en Pulgadas.
G71	Unidad de Datos expresados en Milímetros.
G90	Desplazamiento en Modo Absoluto.
G91	Desplazamiento en Modo Incremental o Relativo.

[39]

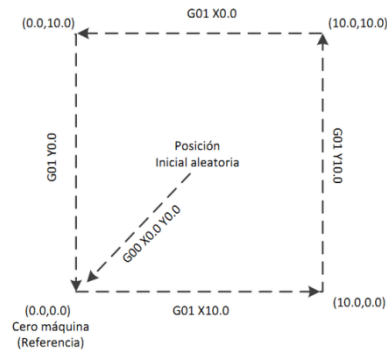
Figura 185

- ❖ Los precedidos por la letra F: En este caso sólo hay uno que define la velocidad de avance. Puede estar en una línea separada o en la misma línea que un comando G1/G2/G3 pero el alcance no está definido por lo que también será válido para los siguientes comandos, hasta el próximo comando F, a partir del cual se cambiará el valor de la velocidad.
- ❖ Los precedidos por la letra M: Opciones de la máquina (pausa y fin del programa, dirección de husillo, cambio de herramienta, control de refrigerante, etc).
- ❖ Los precedidos por la letra S: Ajuste de la velocidad del cabezal en rpm, en este caso nos define la intensidad del láser. (2) [40]

A modo de ejemplo ilustrativo, se va hacer una demostración teórica de como indicarle a la máquina que mueva la herramienta describiendo un cuadrado de 10 mm por lado se le darán los siguientes códigos:

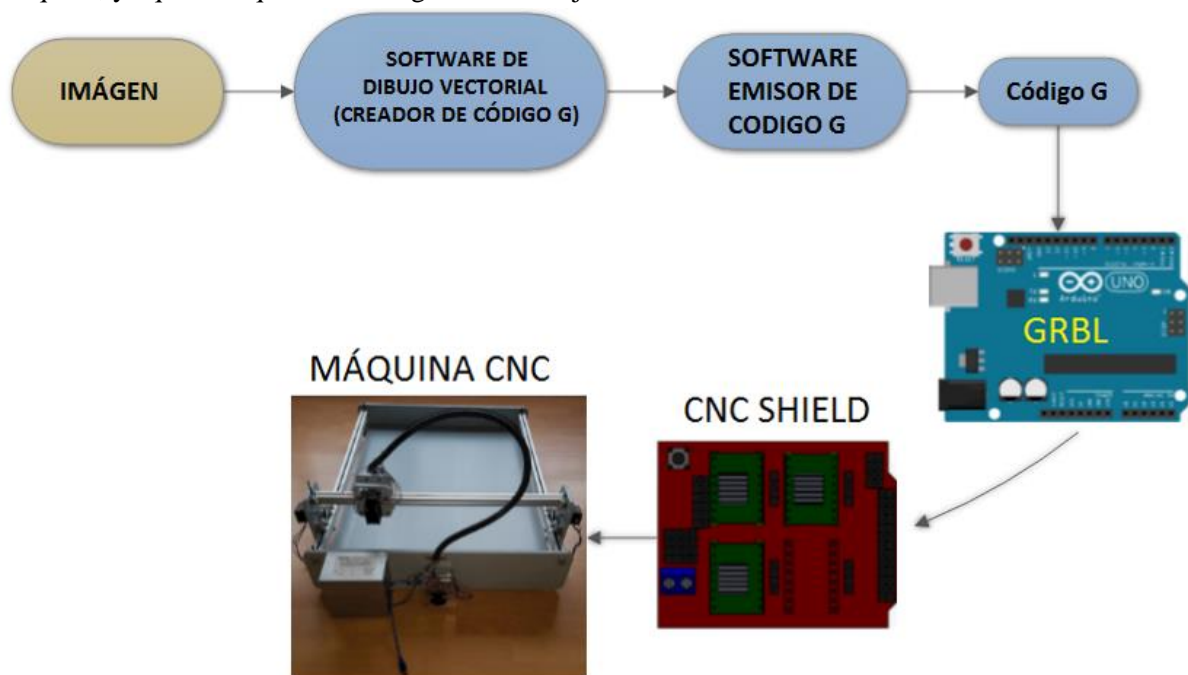
G90 G71	(cotas absolutas referidas al punto 0,0; Programación en mm)
G00 X0.0 Y0.0	(posicionamiento rápido lineal al punto 0,0 del plano XY)
G01 X10.0	(movimiento lineal de 10mm en la dirección X positiva)
G01 Y10.0	(movimiento lineal de 10mm en la dirección Y positiva)
G01 X0.0	(movimiento lineal de 10mm en la dirección X negativa)
G01 Y0.0	(movimiento lineal de 10mm en la dirección Y negativa)

(2) Para más información se recomienda visitar el número 40 de la bibliografía de este trabajo



3 Software.

A groso modo, se puede decir que se necesitarán distintos software para el funcionamiento de la máquina, y aquí se esquematizan siguiendo el flujo de la información introducida.



3.1 Xloader

Para flashear (cargar) el arduino con el firmware GRBL se utiliza el software XLoader v1.00, para ello se siguen los siguientes pasos:

- Se abre XLoader y se selecciona el archivo con extensión .hex que contiene el código GRBL 0.9i
- Se selecciona el tipo de arduino, en este caso el Uno(ATmega328)
- Se selecciona el puerto COM donde se encuentra el arduino conectado
- Se selecciona el valor “baud rate” (velocidad de baudios, que es el número de veces por segundo que una señal de comunicaciones serie cambia de estado) que aparece en la imagen de abajo. Esto dependerá de la versión de GRBL o del modelo de arduino.
- Después Clic en “cargar” (upload)
- Posteriormente se observarán las luces rx/tx que parpadearán en arduino. El proceso de carga por lo general tarda unos 10 segundos en finalizar. Una vez completado aparecerá un mensaje en la

esquina inferior izquierda de XLoader avisando cuantos bytes se subieron. Si hubiese un error, se mostraría en lugar de los bytes totales cargados.(Figura 186)

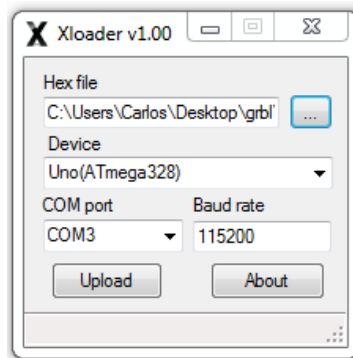


Figura 186

Una vez cargado el GRBL en arduino se emplea dos Software distintos (gratuitos) para comunicarse con la máquina CNC.

3.2 Inkscape

Se trata de un editor de gráficas de fuente abierta (open source), similar a otros como Adobe Illustrator, Corel Draw o Freehand. Lo que diferencia a Inkscape del resto, es que utiliza Scalable Vector Graphics (SVG). Este software vectoriza las imágenes (en cualquier formato de imagen) transformándolo en código G para poder ser leído por la máquina.

Inkscape almacena sus gráficos en formato vectorial. Los gráficos vectoriales describen las formas y objetos reales que ve en la imagen, independientemente de la resolución de la misma. Un motor de rasterización utiliza esta información para determinar cómo dibujar cada línea y curva en cualquier resolución o nivel de acercamiento.

Los gráficos vectoriales son un complemento a los gráficos rasterizados, más que una alternativa. Cada uno tiene su propósito y son útiles para distintas cosas. Los gráficos rasterizados suelen ser mejores para fotografías y algunos dibujos artísticos, mientras que los vectoriales son más aptos para composiciones de diseño, logotipos, imágenes con texto, ilustraciones técnicas, etc.

Sin embargo Inkscape también puede importar y mostrar gráficos rasterizados. Una vez importado, éste se convierte en otro objeto dentro del gráfico vectorial y se puede hacer con él todo lo que es posible con otros tipos de objetos (moverlo, transformarlo, recortarlo, etc).

Aunque Inkscape no tiene todas las características que poseen los editores más avanzados, las últimas versiones brindan gran parte de las funciones de edición vectorial básicas. Muchas personas utilizan Inkscape con éxito para diversos proyectos (gráficos web, diagramas técnicos, íconos, arte creativo, logotipos, mapas, creación de código G). [36]

Inkscape por defecto genera código G para máquina CNC que poseen los tres ejes cartesianos para el uso de diferentes herramientas (fresadora, impresoras 3D o máquinas de dibujo CNC), pero existen bajo “mi conocimiento” dos extensiones específicas para máquinas CNC láser las cuales están adaptadas para el uso de los dos de los tres ejes cartesianos. Estas extensiones son

- ✓ Raster 2 Láser Gcode Generator (en Inkscape aparece como 305 Engineering)
- ✓ J Tech Photonic Láser Tool (en Inkscape aparece en la pestaña Extensiones/Generate Laser Gcode).(3)

En este caso se usa J Tech Photonic Láser Tool por su simplicidad y buenos resultados obtenidos durante el periodo de pruebas. La ventana de ésta aplicación se puede ver en sucesivas imágenes.

A continuación, para poder explicar el proceso de vectorización de una imagen (solo contorno), se presenta una secuencia de imágenes obtenidas del entorno Inkscape durante el transcurso de una prueba llevada a cabo con esta máquina CNC.

Como inicio, se importará a través de la opción archivo/importar imagen seleccionada y se procederá a su vectorización usando los comandos pertinentes

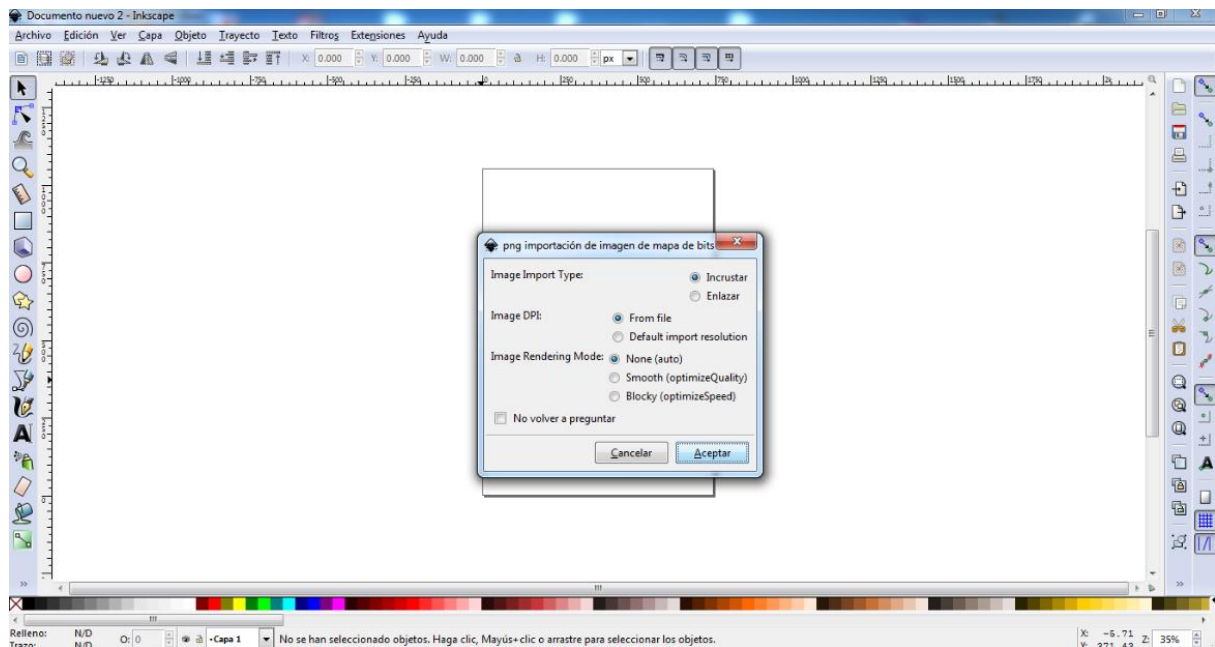


Figura 187

Se acepta la ventana emergente sin realizar cambios y se selecciona la imagen importada (Figura 187):

- (3) Dichas extensiones no vienen por defecto en el programa original, se deben adquirir por separado y añadir los archivos de éstas a la carpeta de Inkscape para que aparezca en la pestaña “extensiones”

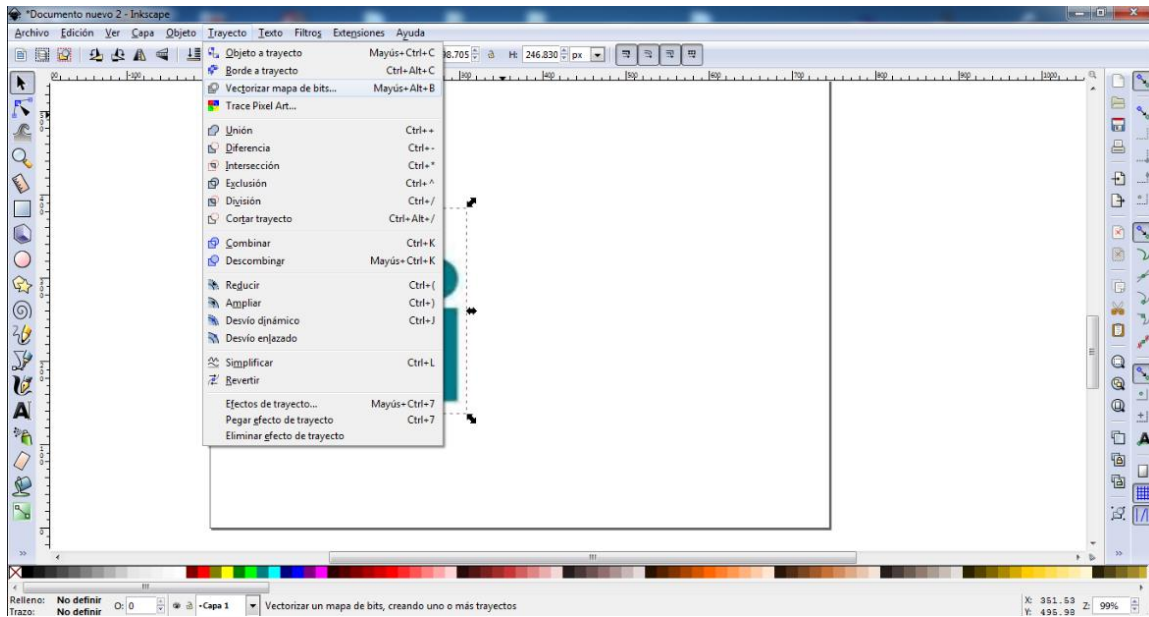
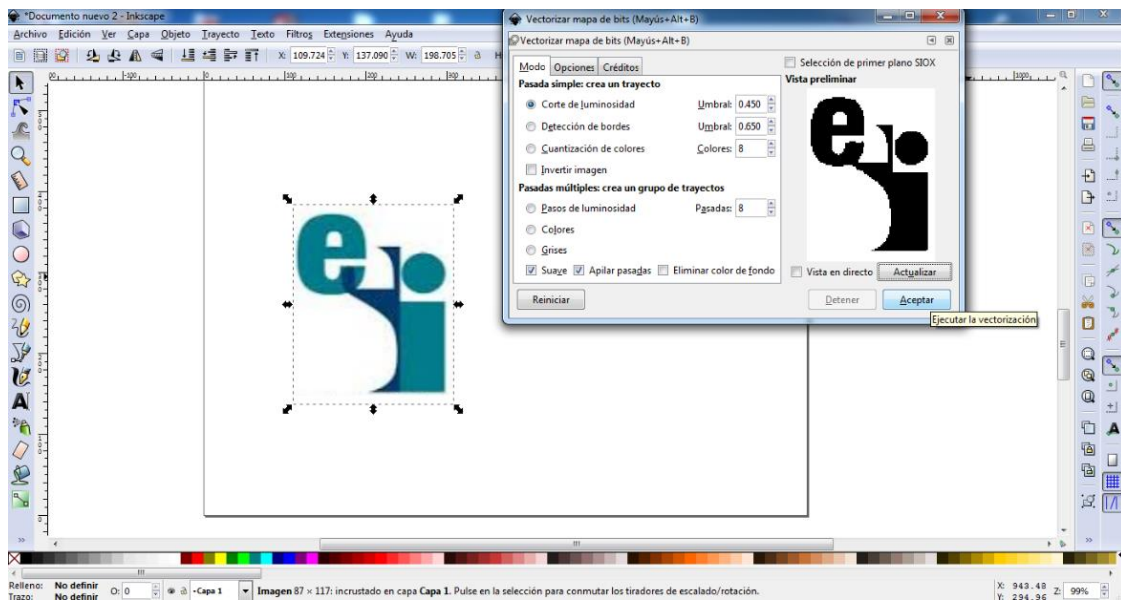


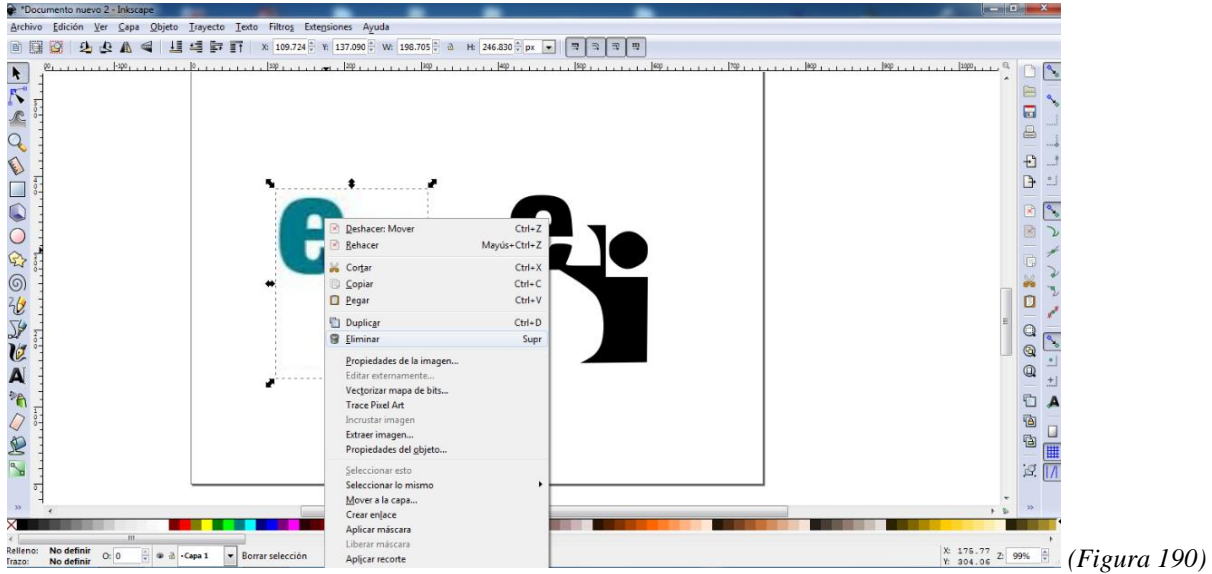
Figura 188

Posteriormente se sigue la secuencia de la figura 188 (vectorizar mapa de bits)



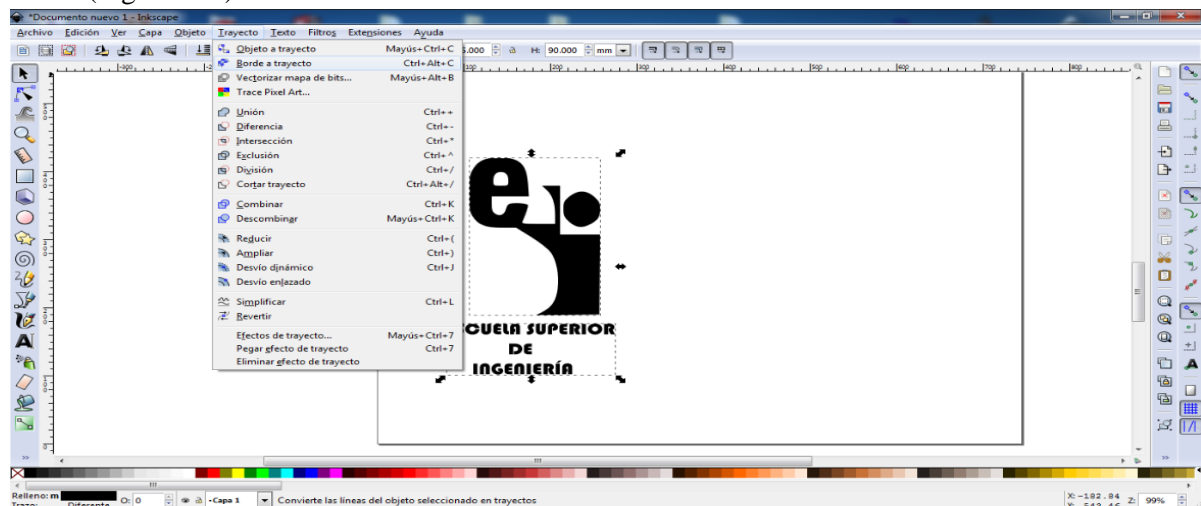
(Figura 189)

Se actualiza y se acepta sin hacer cambios según la figura 189



(Figura 190)

Se separa la imagen importada de la vectorizada y se elimina la original. En este paso se pueden añadir textos. (Figura 190)



(Figura 191)

Con esta secuencia se elimina el relleno, sólo se opta por el contorno

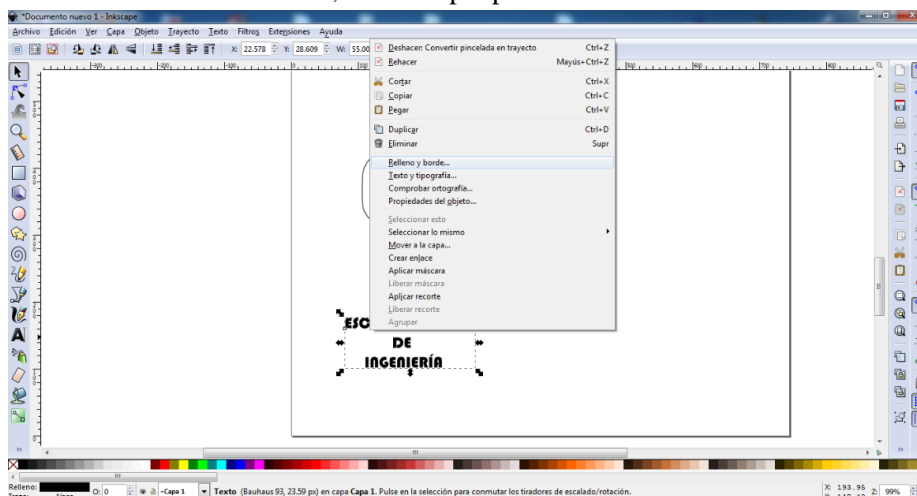


Figura 192

Los textos por defecto presentan relleno, por lo que para eliminarlo seleccionaremos con botón derecho y se clicará la opción Relleno y borde. EmERGE otra ventana donde se define sin relleno, el color del trazo y el estilo del trazo.

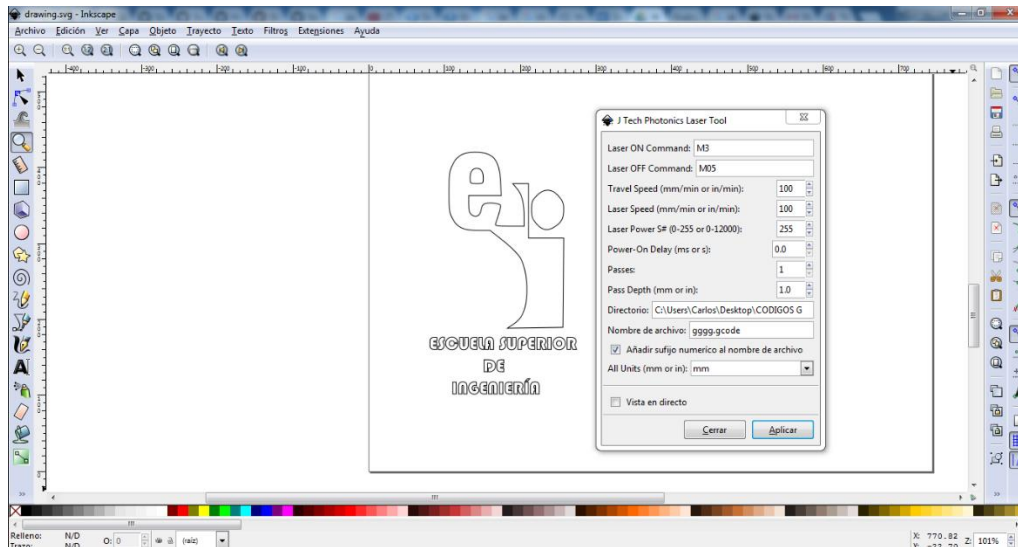
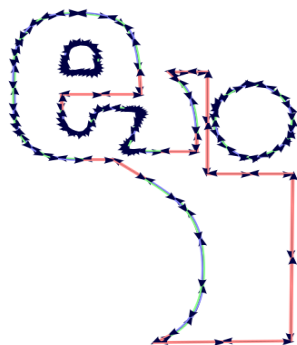


Figura 193

Se selecciona la imagen y texto y se clicará el comando Extensiones/Generate Laser Gcode/JTech Photonic Laser Tools y aparecerá la ventana de arriba para poder modificar la velocidad de trabajo, la velocidad de movimiento cuando el láser está apagado, rango de potencia del láser (que normalmente va definido entre 0-255, siendo 255 la potencia máxima del láser), el directorio donde se guardarán todos los códigos G, las unidades y los comandos de encendido y apagado del láser.

Existen dos comandos para encendido del láser dependiendo de la versión del código GRBL, que son el código M3 (que aparece en la ventana emergente de la imagen de arriba) y el M4 con diferentes características. En este caso se ha utilizado el M3 ya que la versión del código GRBL es la v0.9 y el código M4 se utiliza en la versión v1.1. **Esto se explica en el apartado de mejoras.** (Figura 193)



Ejemplo de imagen ya vectorizada y dispuesta para ser grabada/cortada en la máquina CNC

Para poder ejecutar una una imagen con relleno, los pasos iniciales coinciden hasta la imagen 4 inclusive, donde se elimina la imagen original. A partir de aquí hay otros pasos a seguir en el entorno de Inkscape.

El siguiente sería; clicar en ver/modo de visualización/contorno:

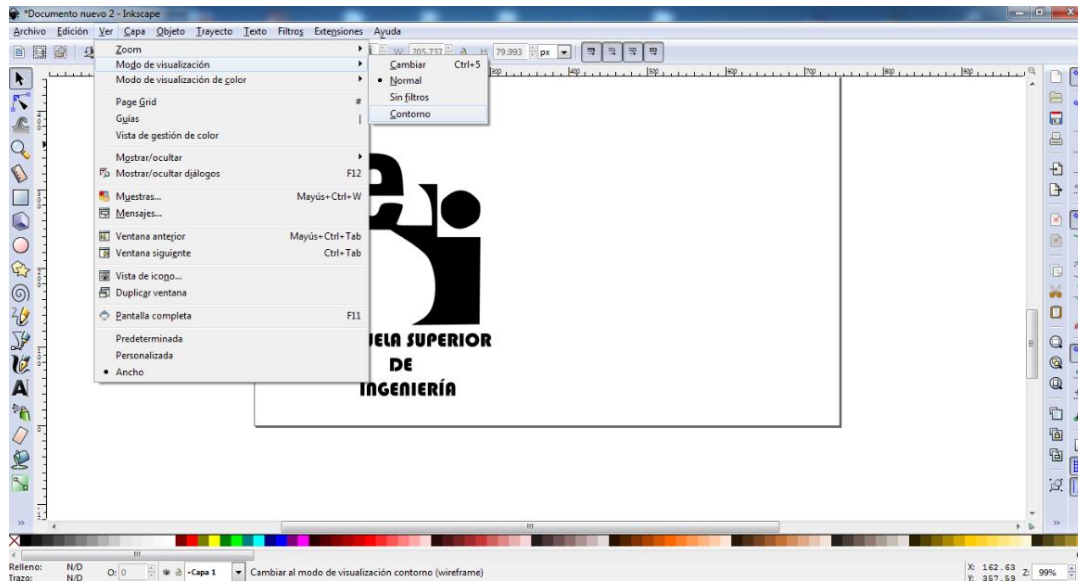


Figura 194

Posteriormente se selecciona el segundo comando de la barra de herramientas (o pulsar F2) en el lado izquierdo el cual nos permite nodos de trayecto o tiradores de control. (Figura 194)

Después se hace clic sobre la pestaña trayecto/simplificar (o Ctrl + L), con esto se simplifica la cantidad de nodos.

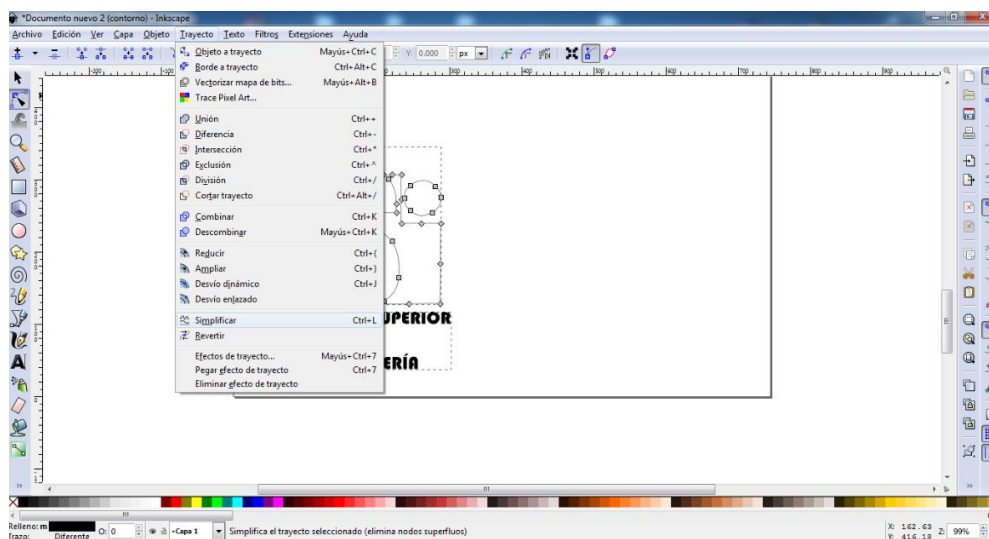


Figura 195

Al igual que en la imagen anterior, se vuelve a clicar en ver/modo de visualización/normal (que es el modo de visualización de partida).

El siguiente comando es pestaña objeto/relleno y borde. Aparecerá una ventana emergente a la derecha donde se marca “sin relleno”, se selecciona la pestaña del color de trazo y se selecciona color uniforme y en la pestaña de estilo de trazo se deja la unidad en mm. A continuación se selecciona el figura/imagen y se clica con boton derecho del ratón seleccionando “duplicar”, posteriormente se abre la pestaña de trayecto y se selecciona “reducir”. Esta misma operación se simplifica pulsando Ctrl + D y Ctrl + 9 para que se vayan dibujando contornos de la figura/imagen concentricos internamente, con lo cual se termina relleno el interior de la figura/imagen como demuestra la imagen de abajo.

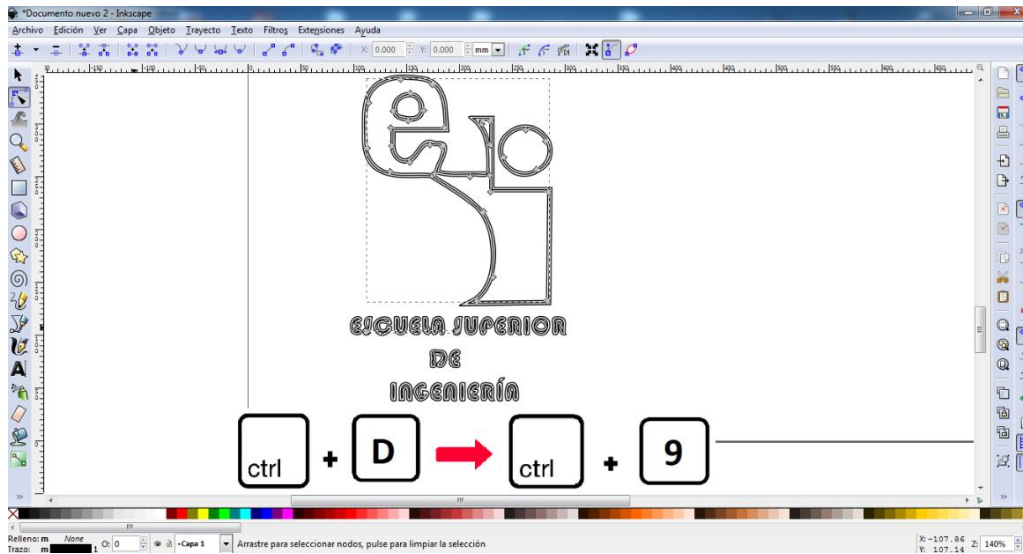


Figura 196

A continuación se vuelve a restablecer el modo de visualización a contorno, y se procede a generar el código G del mismo modo que se ha llevado a cabo en pasos anteriores cuando se realizaba “sin relleno”.(Figura 196)

3.3 Universal Gcode Sender

Se utiliza la última versión v1.0.9. Este software permite tanto manejar la máquina manualmente, como automáticamente previa carga de archivos de código G (se realiza mediante el software Inkscape v0.91 anteriormente descrito).

A través de este software también se puede modificar los parámetros del código GRBL determinando así la velocidad máxima de los motores, velocidad de trabajo, aceleración de motores, uso de finales de carrera, etc.

Aquí se explica cómo configurar los diferentes parámetros de código GRBL y cómo emplear este software acorde a las necesidades del trabajo que se va a llevar a cabo.

- 1) Lo primero es seleccionar el puerto donde se encuentra conectado el arduino, el “baud” con los mismos valores anteriormente seleccionados en el flasheado de arduino mediante XLoader y el firmware empleado (en este caso GRBL). (Figura 197)
- 2) Clic en open y así se obtiene conexión con la máquina debiendo aparecer el texto en la imagen 2 mostrado. (Figura 198)

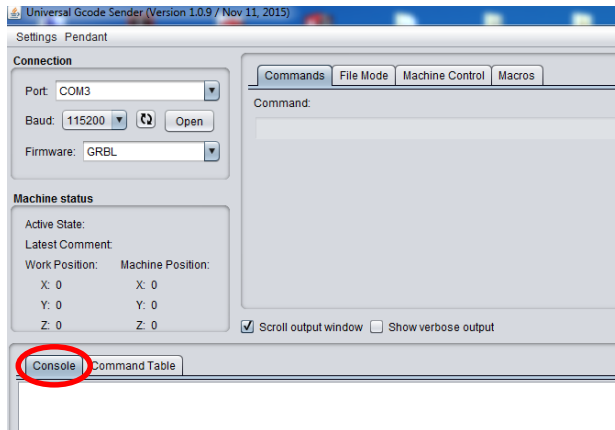


Figura 197

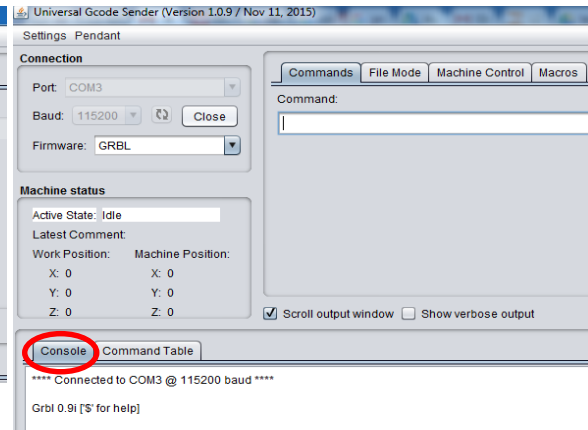


Figura 198

- 3) Para modificar los diferentes parámetros de GRBL se debe introducir “\$\$” → ENTER y aparece así la lista de parámetros editables en la ventana inferior (console). Para modificar cualquiera de los parámetros se introduce el símbolo \$ (nº de parámetro que queremos modificar)= valor que se quiere dar.
- 4) Para modificar los diferentes parámetros de GRBL se debe introducir “\$\$” → ENTER y aparece así la lista de parámetros editables en la ventana inferior (console). Para editar dichos parámetros se debe escribir en la línea de comandos (command) “\$ nº de parámetro = valor deseado” → ENTER. Y si se desea que dicho parámetro aparezca modificado en la lista, se debe realizar el paso anterior (\$\$ → ENTER).

```

**** Connected to COM3 @ 115200 baud ****

grbl 0.9i ['$ for help]
>>> $$
$0=10 (step pulse, usec)
$1=25 (step idle delay, msec)
$2=0 (step port invert mask:00000000)
$3=0 (dir port invert mask:00000000)
$4=0 (step enable invert, bool)
$5=0 (limit pins invert, bool)
$6=0 (probe pin invert, bool)
$10=3 (status report mask:00000011)
$11=0.010 (junction deviation, mm)
$12=0.002 (arc tolerance, mm)
$13=0 (report inches, bool)
$20=0 (soft limits, bool)
$21=0 (hard limits, bool)
$22=0 (homing cycle, bool)
$23=0 (homing dir invert mask:00000000)
$24=235.000 (homing feed, mm/min)
$25=1500.000 (homing seek, mm/min)
$26=250 (homing debounce, msec)
$27=1.000 (homing pull-off, mm)
$100=5.000 (x, step/mm)
$101=5.000 (y, step/mm)
$102=250.000 (z, step/mm)
$110=1500.000 (x max rate, mm/min)
$111=1500.000 (y max rate, mm/min)
$112=500.000 (z max rate, mm/min)
$120=2000.000 (x accel, mm/sec^2)
$121=2000.000 (y accel, mm/sec^2)
$122=10.000 (z accel, mm/sec^2)
$130=500.000 (x max travel, mm)
$131=705.000 (y max travel, mm)
$132=200.000 (z max travel, mm)
ok

```

A continuación se explican los parámetros que mayoritariamente se han usado durante el periodo de pruebas de la máquina y que consideramos importantes y se han modificados (4):

- (4) Dichos parámetros son susceptibles de ser cambiados en futuras pruebas.

\$13 = valor (binario) → Define si trabajamos en pulgadas (in) o en sistema métrico (mm). Si el valor es 0 estamos trabajando en mm y si es 1 en pulgadas.

\$21 = valor (binario) → Define si la máquina posee finales de carrera instalados. Si el valor es 1, están activados y si el valor es 0, están desactivados.

\$100, \$101 y \$102 = valor (pasos/mm) → Estos dependen del sistema de transmisión, y de las características de los motores (estos valores se obtienen a través de unos cálculos que se detallarán en este mismo anejo más adelante).

\$110, \$111 y \$112 = valor (mm/min) → Estos valores definen la velocidad máxima a la que pueden trabajar los motores.

\$120, \$121 y \$122 = valor (mm/s²) → Este valor define la aceleración de los motores en cada uno de los ejes. Valores bajos definen movimientos más suaves y valores altos unos movimientos más bruscos. Si se observa que dicha aceleración no funciona correctamente con los motores seleccionados, para eliminarla se debe de establecer valores superiores a los de la velocidad máxima que se definen en los parámetros anteriores. [35]

Nota: Los parámetros **\$102, \$112 y \$122** no se han empleado en este caso ya que no existe movimiento en el eje Z.

Cálculos para establecer la relación entre el desplazamiento en los ejes X-Y y el número de pasos de los motores.

Para definir los parámetros anteriormente mencionados (**\$100, \$101 y \$102**) se realiza el siguiente cálculo basado en las características de la polea, correa y motor.

Paso de correa y polea = 2 mm

Nº de dientes de polea = 20

Motor: 200 pasos x vuelta

1 Vuelta → 2 mm x 20 dientes = 40 mm recorridos en 1 vuelta

$$\frac{200 \text{ pasos } \times \text{ vuelta}}{40 \text{ mm } \times \text{ vuelta}} = 5 \text{ pasos/mm (este valor se incluye en los parámetros } \$100 \text{ y } \$101)$$

De este modo la máquina entenderá que para desplazarse 1 mm, los motores deben rotar 5 pasos

También decir de este Software que se pueden importar archivos código G con extensión .gcode clicando la pestaña “File mode” y seleccionando el archivo en la ruta correspondiente donde esté guardado. Posteriormente, una vez seleccionado, se enviará (“send”) para ser ejecutado; dicho proceso puede pausarse o cancelarse clicando en las pestañas correspondientes como aparece en la figura 199.

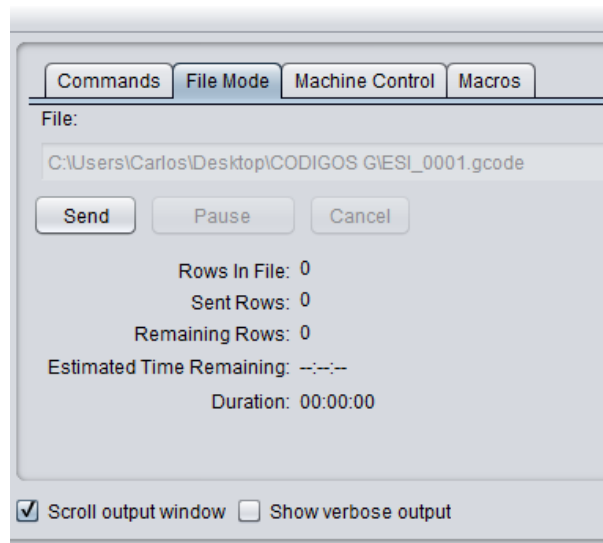


Figura 199

Este Software permite que los archivos que se ejecutan en la máquina CNC puedan ser visualizados en tiempo real al mismo tiempo que está trabajando la máquina siguiendo así el proceso de grabado/corte, clicando en la pestaña “visualize”. (Figura 200)

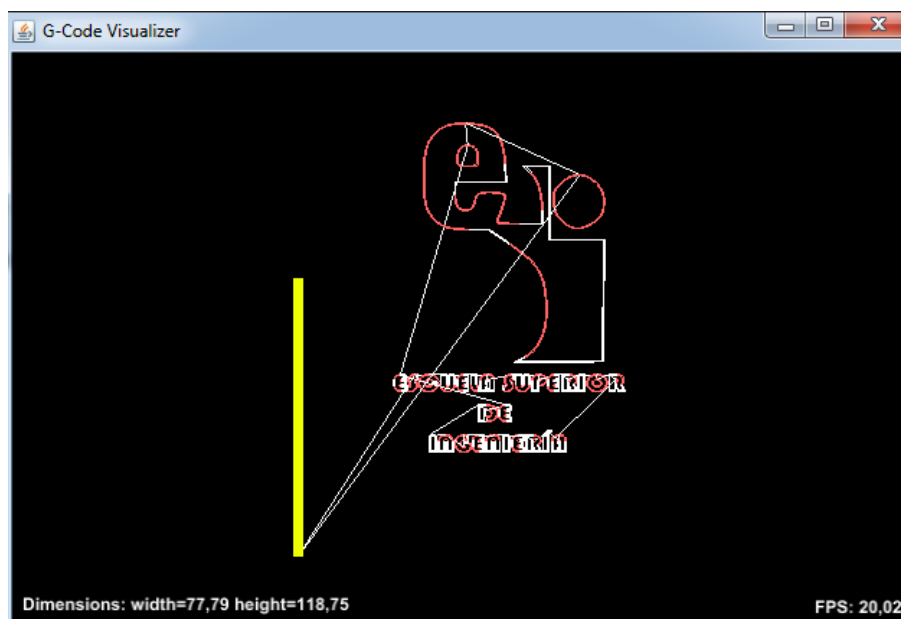


Figura 200

Otros comandos de Universal GCode Sender (UGS)

- ❖ UGS permite seleccionar las unidades en que trabaja la máquina (mm o in) y el número de unidades que queremos avanzar y si se desea mover la máquina mediante el ratón o teclado del ordenador. (a la derecha de la imagen A)
- ❖ Cuando se activan los finales de carrera por algún movimiento anómalo, la máquina se bloquea y hay que desbloquearla, para ello existe esta opción pulsando dos comandos: Soft reset/\$/X. (a la izquierda de la figura 201)

- ❖ La función de otros comandos se puede adquirir pulsando el botón HELP (Figura 202)

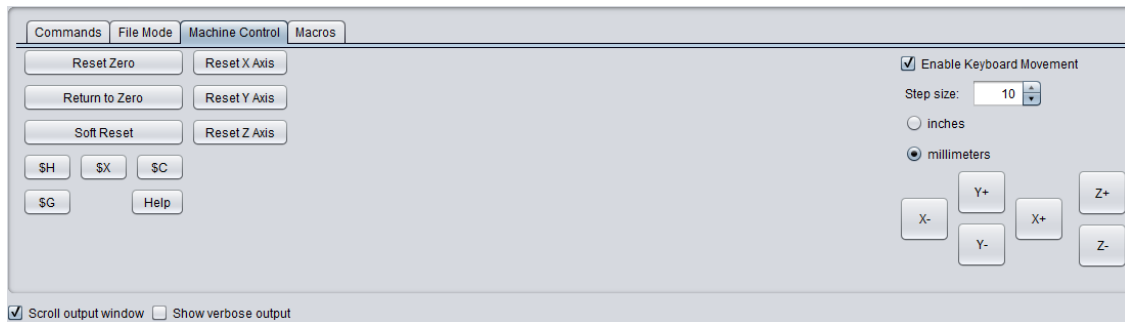


Figura 201

Reset zero: Changes the current coordinates to zero without moving the machine.
 Return to zero: Moves machine to 0, 0, 0 location.
 Soft Reset: Reset GRBL state without updating position.
 \$H: Begin homing cycle. This requires Grbl 0.8c for full support
 \$X: Disables the GRBL alarm lock.
 \$C: Toggle 'check' mode, where GRBL parses gcode but does not move the machine.
 \$G: Requests state information from GRBL (result output to console).
 Keyboard Control:
 X: Arrow Left/Right; KeyPad Left/Right; Numpad: 4/6
 Y: Arrow Up/Down; KeyPad Up/Down; Numpad: 8/2
 Z: Page Up/Down; KeyPad Page Up/Down; Numpad: 9/3
 In-/Decrease Steps: KeyPad +/-
 Change Steps: KeyPad DIVIDE/MULTIPLY
 Reset Zero: KeyPad Insert; Numpad: 0

Figura 202

3.4 Láser GRBL

Este software es gratuito (a diferencia del PicLaser Lite) y se utiliza para grabar imágenes/fotografía (retratos, paisajes, etc) en escala de grises. Dicho software transforma las imágenes a código GRBL directamente sin tener que pasar por un software de vectorizado como en todos los casos anteriores.

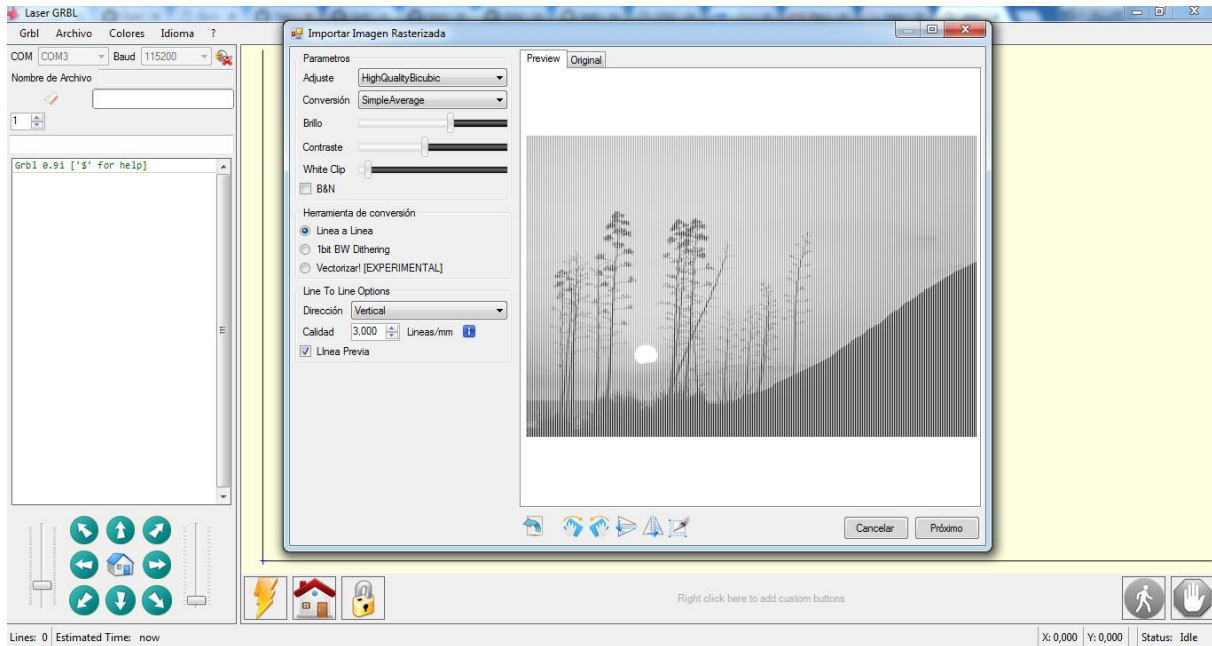


Figura 203

Una vez cargado el archivo aparece la ventana de arriba (Figura 203) donde se pueden modificar parámetros como el brillo, contraste, dirección hacia donde grabará el láser (vertical, horizontal o diagonal) y la calidad en número de líneas/mm. Posteriormente se hace clic en botón “próximo”.

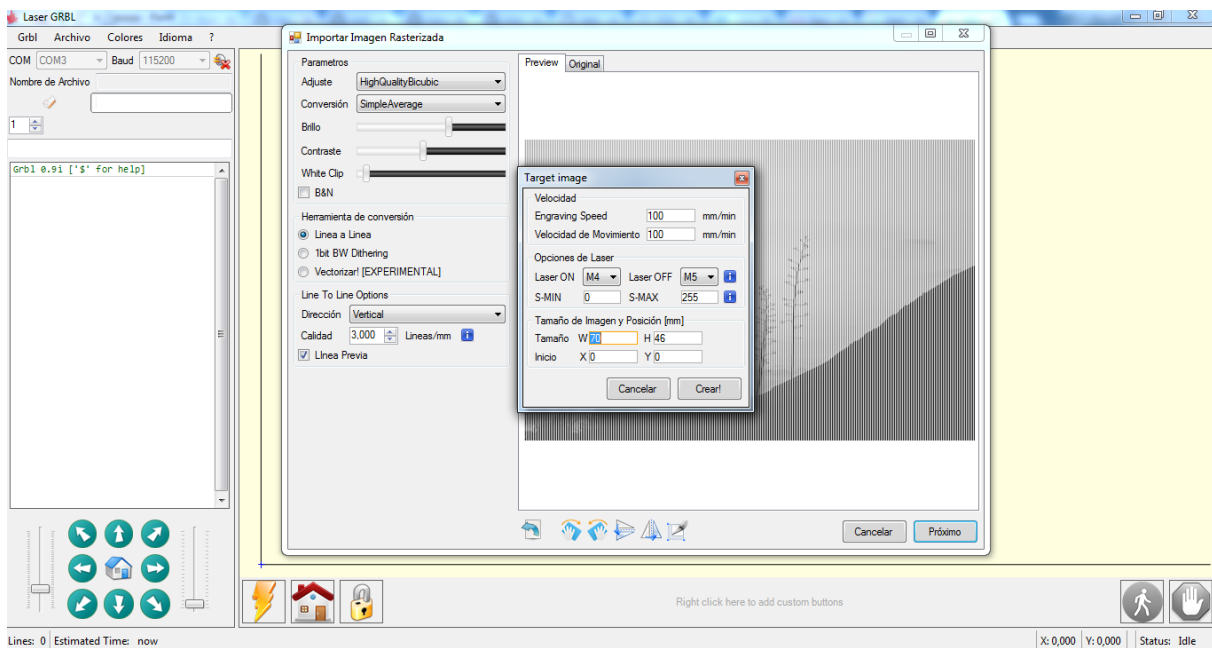


Figura 204

Aparece otra ventana (Figura 204) donde se modifica la velocidad de grabado y la velocidad de desplazamiento cuando la herramienta no está siendo usada, el rango de la intensidad del láser y el tamaño de la imagen/fotografía a grabar.. Los comandos de encendido/apagado, como en el software anterior, se pueden modificar.

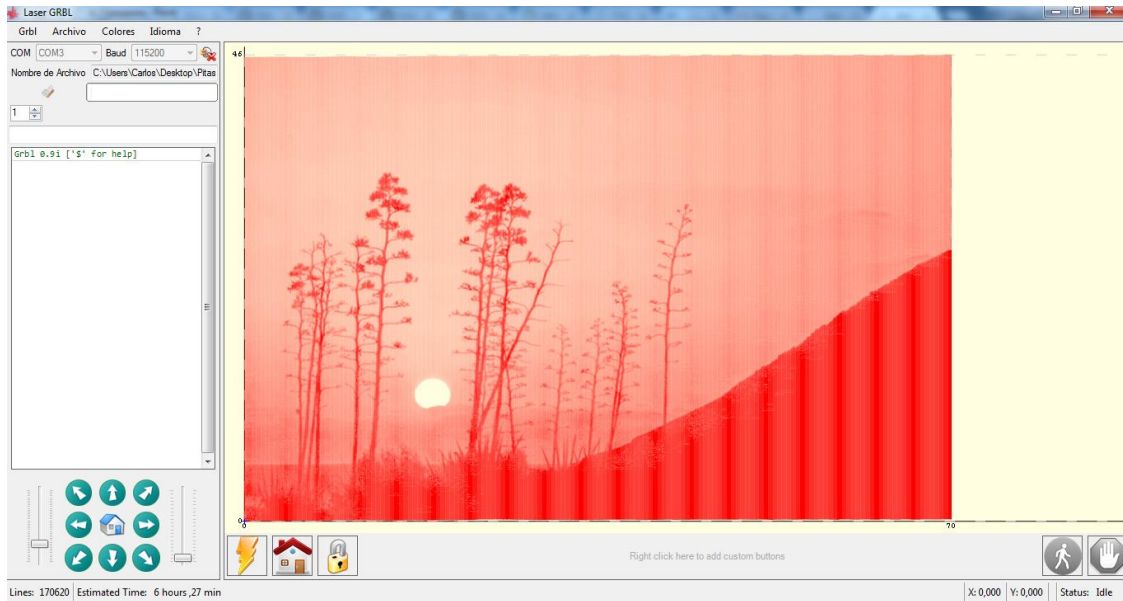


Figura 205

En este software, como en el anterior, la máquina puede ser movida manualmente como indican los comandos de la parte inferior izquierda de la ventana de arriba (Figura 205); y se pueden detener/reanudar con los comandos que aparecen en la esquina inferior derecha.

A continuación se muestra una prueba realizada con este software junto a la imagen original. (Figura 206)



Figura 206

Datos de grabado de la figura anterior:

- BRILLO= 127
- CONTRASTE=109
- GRABADO CON LINEA HORIZONTAL
- CALIDAD= 5 Lineas/mm
- MEDIDAS= 58x60 mm
- VELOCIDAD GRABADO= 100 mm/min
- DURACIÓN= 1h 8min

ANEJO 8. CONEXIONES

1 Conexiones.

Aquí se destaca un esquema básico de todas las conexiones eléctricas entre los diferentes componentes eléctricos de la máquina.

En la imagen se muestra que una de las conexiones del driver del láser tiene un pin sin ninguna conexión, la función de dicho pin es la conexión del ventilador disipador térmico del láser. Pero buscando información se ha determinado que dicha conexión puede llegar a producir “ruido” en nuestro driver y por ello se ha optado por conectarlo directamente a una salida de la fuente de alimentación.

La fuente de alimentación aparte de alimentar al ventilador disipador térmico también alimenta directamente al driver de nuestro láser, a la CNC Shield y a otro ventilador de mayor tamaño para disipar el calor de los drivers de los motores.

Tal y como se dijo al final del apartado 2 del Anejo 4 (Procesador-microordenador y placa de distribución de conexiones) la alimentación del driver del diodo láser mediante 5V DC desde la CNC Shield se realiza a través de dos cables (rojo y negro) conectados a los pins habilitados para la conexión del final de carrera superior del eje Z (Z+)

La fuente de alimentación se enchufa directamente a la red eléctrica AC 230V.

Las diferentes conexiones entre componentes se han realizado a través de conexiones tipo Dupont.

El empalme entre cables se ha realizado mediante soldadura con estaño y recubiertos con termo retráctil de 2 y 3 mm. (Figura 207)

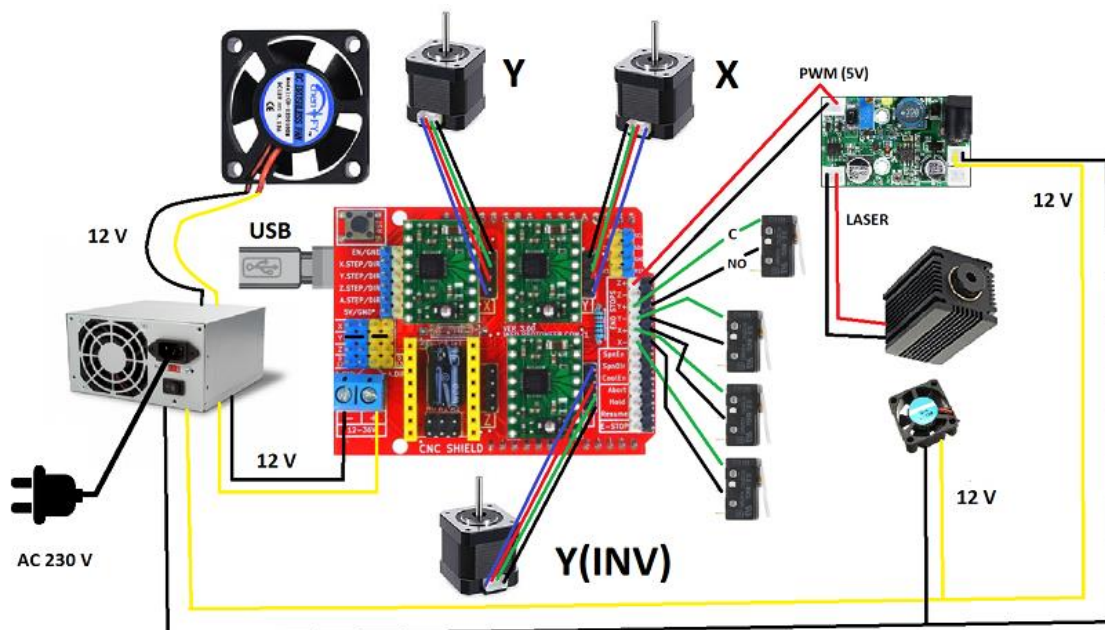


Figura 207

Cable negro (a excepción de motores): Conexión a tierra

Cable amarillo: +12V DC.

Cables rojos (a excepción de los motores): +5V DC

Los finales de carrera poseen 3 pins:

El primero es el común (C)

El segundo es normalmente abierto (NO)

Y el tercero normalmente cerrado (NC)

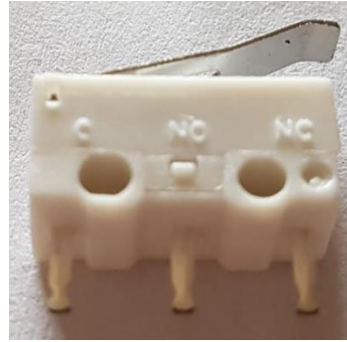


Figura 208

Se han usado 4 finales de carrera como sistema de seguridad, uno por cada uno de los límites de los ejes de la máquina. Éstos se han conectado a la CNC Shield propiamente habilitado para ello; conectando un cable verde desde el pin común (C) del final de carrera hasta uno de los pins de color blanco y otro cable negro desde el pin normalmente abierto (NO) hasta el pin negro contiguo al anterior. Quedando así, los interruptores de los finales de carrera quedan abiertos, cerrándose el circuito cuando alguno de los carros de la máquina contacta con ellos. (Figura 208)

Esta conexión se realiza de esta forma, y no al pin normalmente cerrado (NC), ya que como se explica en el apartado de mejoras, esta es la configuración idónea si en un futuro se quiere configurar la máquina para hacer el “homming Cycle”, lo cual queda explicado también en dicho apartado. (Figura 209)

También se han incluido 3 pulsadores de 7 mm con las funciones parar/pausar/continuar. Estos se han conectado a la CNC Shield en las conexiones habilitado para ello. (Figura 210)

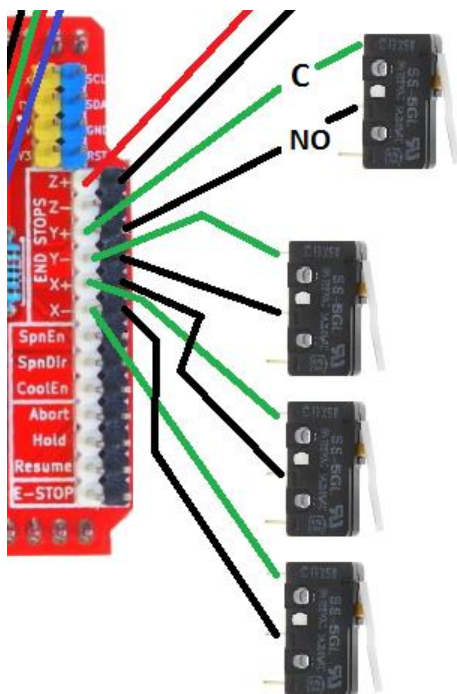


Figura 209

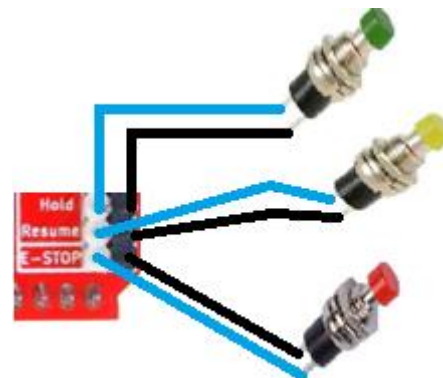


Figura 210

Nota: El color de los cables difiere a los empleados en la máquina, ya que se han utilizado cables reciclados de otros proyectos

La conexión al diodo laser debe realizarse teniendo en cuenta el siguiente esquema suministrado por el fabricante, ya que una mala conexión del mismo podría dañarlo. (Figura 211)

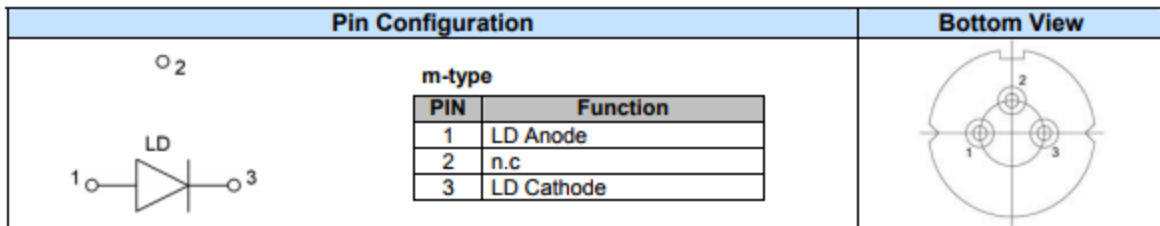


Figura 211

ANEJO 9. MANUAL DE USO

1 Puesta en marcha.

La secuencia de puesta en marcha de la máquina es la siguiente:

¡ADVERTENCIA!: Antes de nada hay que cerciorarse de que todas las conexiones están correctas, que la corriente eléctrica suministrada sea monofásica (230V AC) que no hay nada que pueda entorpecer el movimiento de la herramienta y del carro que desplaza el eje Y al igual que ningún objeto en el que se puedan enganchar los cables de los motores. También asegurarse que la máquina se encuentra en una superficie totalmente plana y horizontal.

- Paso 1: La lente debe ser enfocada para la distancia de trabajo en cada nuevo trabajo, dependiendo del espesor del material que se va a trabajar. Si se enrosca la lente, el enfoque lo realiza en un punto más lejano, y si se desenrosca, el enfoque se realiza en un punto más cercano al cabezal.
- Paso 2: Otro punto a tener en cuenta es que la velocidad de ejecución sea la idónea para el trabajo a realizar. Para ello se ajusta tal y como se indica en el anejo 7 apartado 3.3 (Universal Gcode Sender).
- Paso 3: Se aconseja realizar una prueba en un trozo del mismo material donde se vaya a trabajar para asegurarse de que el ajuste de los dos pasos anteriores sea el correcto.
- Paso 3: Se ejecuta el software Gcode Sender.
- Paso 4: Se clica en opción OPEN (Abrir) para conectar la máquina a nuestro ordenador. Deberá aparecer en pantalla que el ordenador está conectado al puerto USB donde está conectada la máquina.
- Paso 5: Habrá que cerciorarse de que el cabezal del láser está posicionado en la esquina inferior izquierda, el cual será el punto de origen (se aconseja que en el apagado de la máquina también dejar el cabezal en esta posición); en caso contrario se llevará al punto deseado de forma manual a través de los comandos que aparecen en la pestaña Machine control en la parte derecha de la pantalla. Se resetea la posición mediante el comando RESET ZERO, de esta forma se ubica el cabezal en el punto (0,0) desde el cual comienza el grabado/cortado y al cual volverá al finalizar dicho grabado/cortado.
- Paso 6: Se activa la fuente de alimentación mediante el interruptor que ésta posee, con lo cual se alimenta la máquina.

2 Carga de código G.

- Paso 1: Pestaña File Mode, y se carga el archivo de código G que se desea grabar/cortar tal y como se indicó en el anejo 7 apartado 3.3 (Universal Gcode Sender).

- ¡ADVERTENCIA!: Asegurarse del uso de gafas protectoras contra la emisión del láser para observar directamente la zona de trabajo donde está actuando el láser.
- Paso 2: Este código será enviado a la máquina, la cual comenzará a grabar/cortar. El trabajo que se va llevar a cabo se podrá observar su desarrollo en la pantalla del ordenador a tiempo real tal y como se indicó el anejo 7, figura 200.

3 Recomendaciones y advertencias durante grabado/corte.

- NO MOVER EL ELEMENTO EN EL QUE SE ESTÁ GRABANDO/CORTANDO.
- NO MOVER O GOLPEAR EL SOPORTE SOBRE EL QUE SE ENCUENTRA LA MÁQUINA PARA EVITAR VIBRACIONES Y POSTERIORES DEFECTOS EN EL RESULTADO FINAL
- EVIDENTEMENTE, ¡PROHIBIDO METER LA MANO MIENTRAS LA MÁQUINA ESTÁ FUNCIONANDO! YA QUE EXISTE UN RIESGO ALTO DE QUEMADURA.
- Se recomienda que los trabajos no sean muy extensos ya que por sobre calentamiento la vida útil del láser puede verse acortada.
- Durante el tiempo en el que está trabajando la herramienta, si hubiera algún mal funcionamiento en ésta, se pulsa el botón STOP (botón rojo) que paraliza tanto movimiento como encendido del láser.
- En caso de que se quiera paralizar la máquina durante su funcionamiento sin perder las tareas en cola ni el posicionamiento, se pulsará el botón PAUSE (Botón Amarillo).
- Para reanudar el trabajo previamente pausado se presionará el botón RESUME (Botón verde) continuando con el trabajo interrumpido en el punto en el que se pausó.

4 Apagado.

- Una vez terminado el trabajo, se recomienda dejar la máquina en posición de origen.
- Para realizar el apagado de la máquina se clica sobre la tecla CLOSE del software Universal Gcode Sender desconectando así la máquina del ordenador.
- Posteriormente se corta el suministro de corriente de la máquina en el botón APAGADO de la fuente de alimentación.

5 Mantenimientos.

- Se recomienda revisión periódica del correcto engrasado de los rodamientos de las ruedas.

- Correcto estado de la correa para su uso. Evitar que llegue al punto de cristalizado de la goma y que el tensado de la misma sea el correcto.
- Durante los periodos de inactividad se recomienda cubrir la máquina con plástico protector para evitar acumulación de polvo en los componentes de ésta.
- Revisión periódica del botón STOP/PARADA DE EMERGENCIA (botón rojo) funciona correctamente.
- Durante el periodo de inactividad de la máquina hay que asegurarse de desconectar el cable de suministro de la fuente de alimentación y el cable USB de suministro de datos, evitando así posibles daños en la máquina.

II MEDICIONES Y PRESUPUESTO TOTAL

MEDICIONES Y PRESUPUESTO FABRICACIÓN MÁQUINA CNC

Costes

Componentes estructurales	Nº Unidades	Precio unitario	Impuestos	Total
Perfil ranurado de aluminio 25 x 25 mm (0,75 m)	2	8,79 €	3,69 €	21,28 €
Perfil ranurado de aluminio 25 x 25 mm	1	7,88 €	1,65 €	9,53 €
Gastos de envío de perfiles ranurado de aluminio 25 x 25 (mensajería)	1	10,00 €	2,10 €	12,10 €
Madera MDF 800x300x10 mm	2	2,11 €	0,44 €	5,10 €
Madera MDF 800x600x10 mm	1	3,64 €	0,76 €	4,40 €
Escuadras metálicas de sujeción x4	1	1,88 €	0,39 €	2,27 €
Pintura selladora Titán 375	1	5,76 €	1,21 €	6,97 €
Pintura esmalte Acrílica Gris perla 375	1	5,80 €	1,22 €	7,02 €
Rodillo Repuesto mango + esponja	1	0,93 €	0,20 €	1,13 €
Tornillos sujeción motores y driver láser Allen Negro 3x14	13	0,03 €	0,01 €	0,48 €
Tacos Grises de plástico 4x20	0,25	1,26 €	0,26 €	0,38 €
Tornillos Allen DIN 912 8x30 mm sujeción perfiles aluminio	6	0,12 €	0,02 €	0,84 €
Tornillos cabeza plana para fijación perfiles	1,50	0,45 €	0,09 €	0,81 €
Tornillos forro 4x10 sujeción de correas	6	0,03 €	0,01 €	0,24 €
Tuercas métricas 4 mm	6	0,04 €	0,01 €	0,29 €
Tuercas métricas 3 mm	25	0,04 €	0,01 €	1,25 €
Tuercas DIN-985 7 mm	10	0,04 €	0,01 €	0,50 €

Arandelas ala ancha DIN-9021 3 mm	32	0,01 €	0,00 €	0,19 €
Arandela normal DIN 125 8mm	6	0,01 €	0,00 €	0,08 €
Arandela normal DIN 125 7mm	42	0,01 €	0,00 €	0,51 €
Topes antidesl con punta 15 mm blanco	4	0,04 €	0,01 €	0,20 €
Estaño plomo tubo 1 mm 63%	1	1,98 €	0,42 €	2,40 €
Tornillos DIN933/7x70 mm cabeza hexagonal zinc	4	0,25 €	0,05 €	1,21 €
Tornillos DIN933/7x50 mm cabeza hexagonal zinc	6	0,24 €	0,05 €	1,74 €
Total	6			80,93 €

Componentes mecánicos	Nº Unidades	Precio unitario	Impuestos	Total
Correa transmisión tipo GT2 de 6 mm + Poleas de aluminio GT2 20 dientes y Ø 5 mm (pack)	1	12,30 €	3,08 €	15,38 €
Cojinetes para ruedas deslizadoras de carro de 7 x 19 x 6 mm, con rodamientos de bolas (1 paquete de 10 cojinetes) 607Z	1	10,63 €		10,63 €
Aluminio para fabricación ruedas deslizadoras de carro	0,15	12,13 €	2,55 €	2,20 €
Tornillos M3 x15 mm	4	0,07 €	0,01 €	0,32 €
Total	6			28,53 €

Componentes Electrónicos	Nº Unidades	Precio unitario	Impuestos	Total
Motores bipolares Nema 17 con par motor 45 N*cm	3	7,47 €	0,00 €	22,41 €
Gastos envío motores bipolares Nema 17 (mensajería)	1	9,65 €	0,00 €	9,65 €
Arduino UNO R3	1	6,00 €	1,26 €	7,26 €

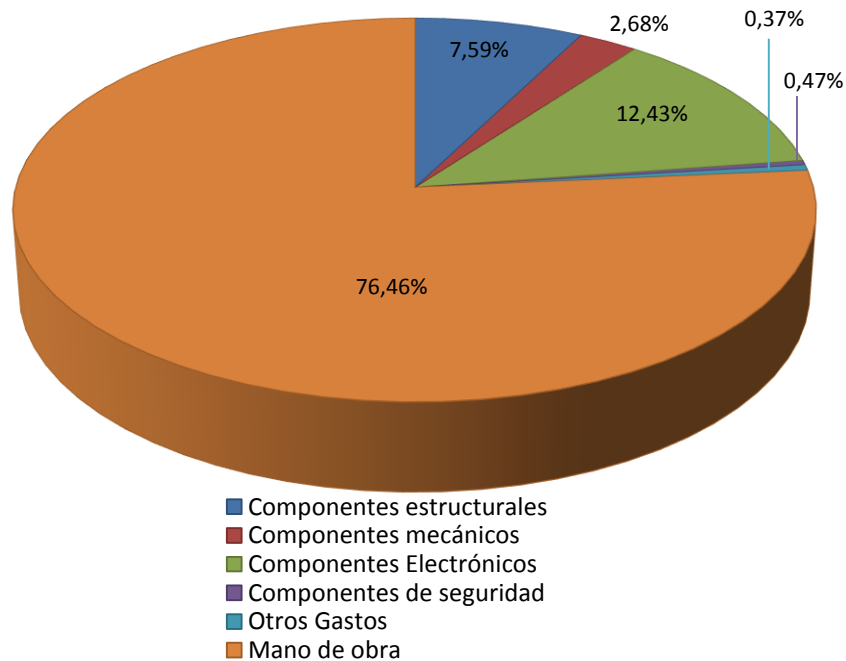
CNC shield V3 board (placa de fácil conexión) + Controlador de motor A4988 y disipadores de aluminio (pack)	1	6,69 €	1,40 €	8,09 €
Gastos de envío CNC shield V3 board (placa de fácil conexión) + Controlador de motor A4988 y disipadores de aluminio (pack)	1	0,83 €	0,17 €	1,00 €
Diodo láser de 2 Watios, 445-450 nm, de Ø 5,6 mm	1	14,07€	2,95€	17,03 €
Carcasa protectora metálica para diodo de 5,6 mm con lente de cristal regulable de 400-600 nm y ventilador disipador de calor	1	13,62 €	0,00 €	13,62 €
Controlador de diodo láser de 200 mW a 2 W de 12 Voltios	1	8,40 €	0,00 €	8,40 €
Fuente de alimentación de 12 V (de ordenador en desuso)	1	25,29 €	5,31 €	30,60 €
Cable 20 Ways conex DuPont (machos y hembras) 5m	1	7,44 €	1,56 €	9,00 €
Finales de carrera con palanca pletina conmutadora	4	0,26 €	0,06 €	1,28 €
Paquete de bridas	1	0,50 €	0,10 €	0,60 €
Varilla roscada métrica 3 mm	1	0,31 €	0,07 €	0,38 €
Abrazadera grapa 2 pies 16 mm	1	0,08 €	0,02 €	0,10 €
Pulsadores de 7 mm	3	0,90 €	0,19 €	3,27 €
Gastos envío pulsadores de 7 mm	1	0,54 €	0,11 €	0,65 €
Ventilador refrigerador 40 mm	1	1,64 €	0,35 €	1,99 €
Gastos envío ventilador refrigerador 40 mm	1	0,66 €	0,14 €	0,80 €
Carcasa protectora arduino transparente acrílico	1	5,78 €	1,21 €	6,99 €
Manguera corrugada 2m	1	0,33 €	0,07 €	0,40 €
Pasta térmica	1	4,92 €	1,03 €	5,95 €
Total	11			149,47 €

Componentes de seguridad	Nº Unidades	Precio unitario	Impuestos	Total
Gafas de protección contra radiación láser 200-540 nm	1	3,94 €	0,00 €	3,94 €
Total	1			3,94 €

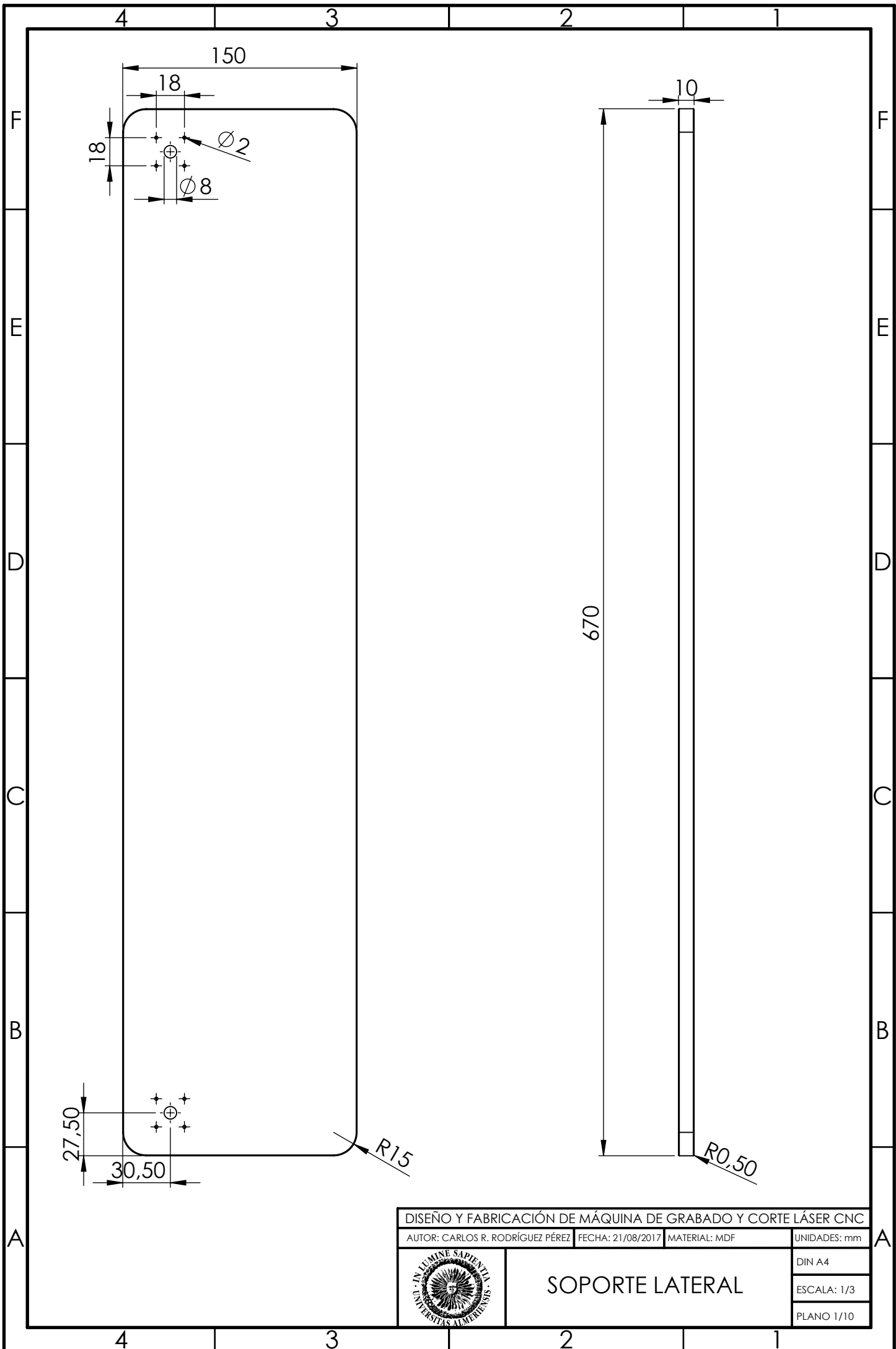
Otros Gastos	Nº Unidades	Precio unitario	Impuestos	Total
Hoja Sierra Bosch T234X Progresor MA	1	3,33 €	0,70 €	4,03 €
Lija Madera Pliego	2	0,42 €	0,09 €	1,02 €
Total	3			5,05 €

Mano de obra	Nº Unidades	Precio unitario	Impuestos	Real
Fabricación y montaje en torno paralelo de ruedas aluminio + nylon + casquillos aluminio	4	28,92 €	6,08 €	140,00 €
Montaje de componentes estruct + mecánicos + electrónicos + puesta a punto + programación	15	24,79 €	5,20 €	449,85 €
Redacción memoria proyecto	45	4,13 €	0,87 €	225,00 €
Total	70			814,85 €

Total Costes	Impuestos	Total
		1.082,78 €

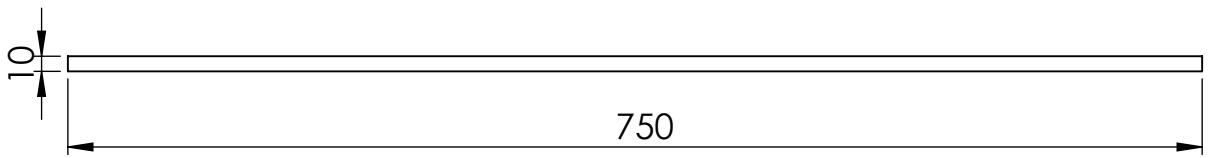
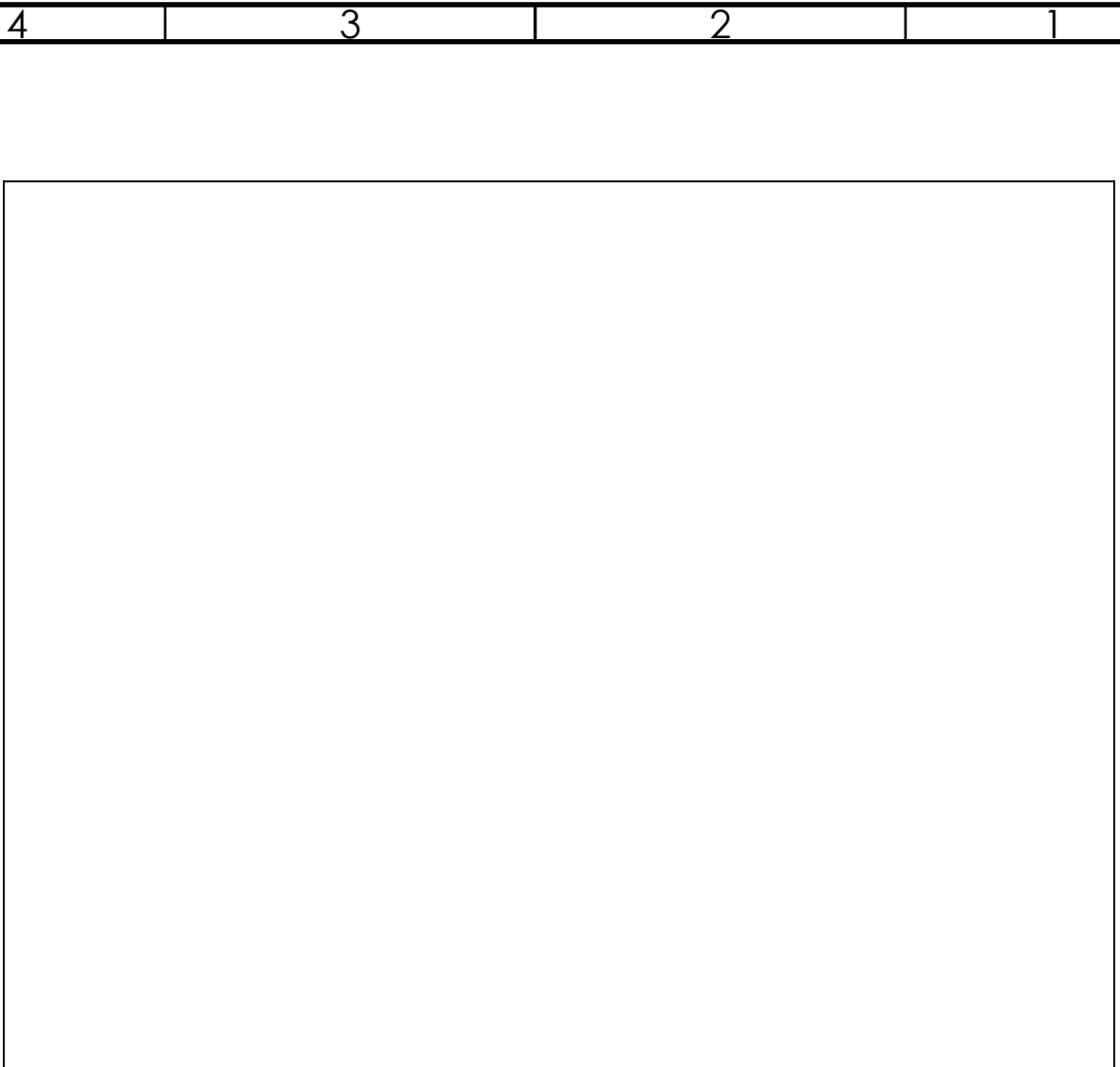


III PLANOS

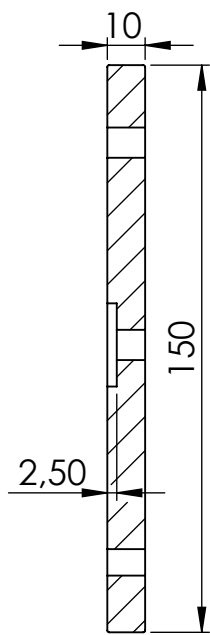
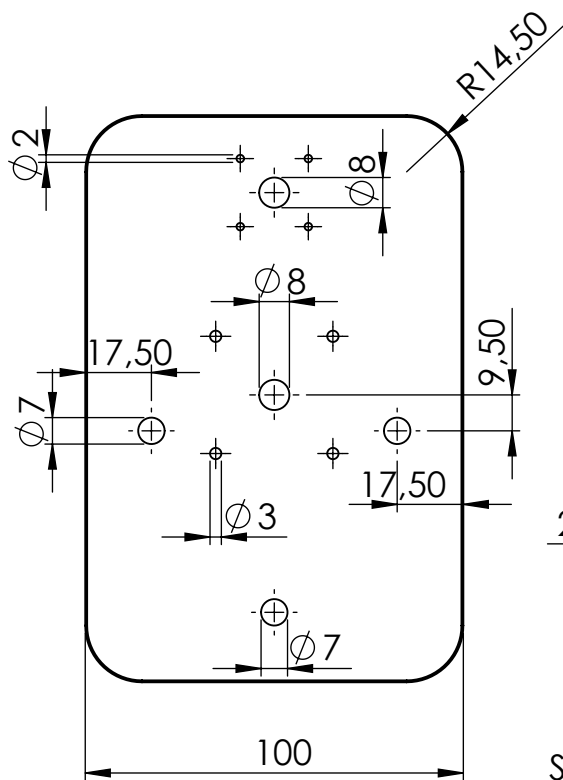


DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MÁQUINA DE GRABADO Y CORTE LÁSER CNC			
AUTOR: CARLOS R. RODRÍGUEZ PÉREZ	FECHA: 21/08/2017	MATERIAL: MDF	UNIDADES: mm
			DIN A4
			ESCALA: 1/3
			PLANO 1/10

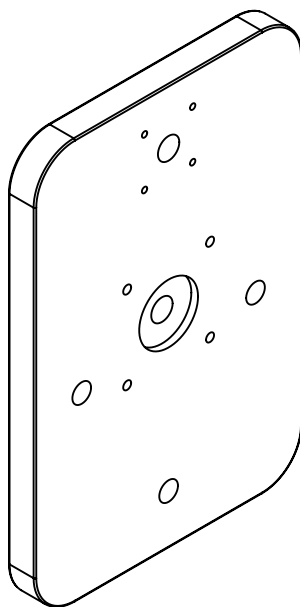
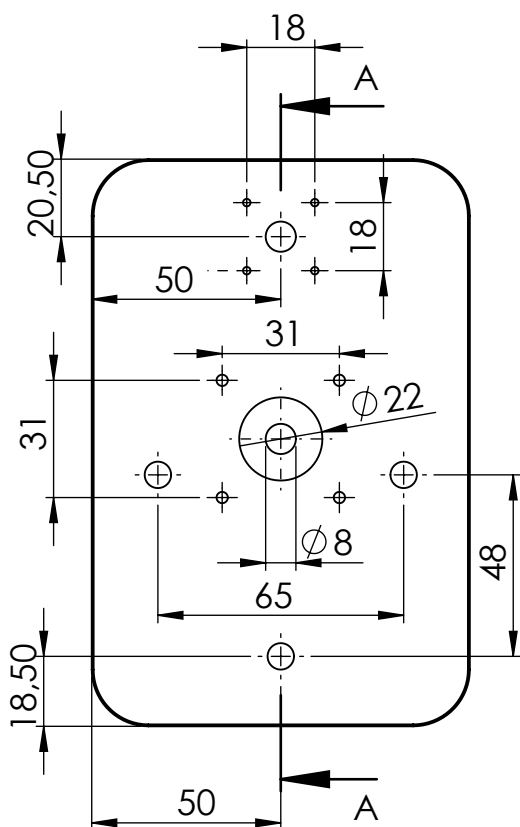
SOPORTE LATERAL



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MÁQUINA DE GRABADO Y CORTE LÁSER CNC			
AUTOR: CARLOS R. RODRÍGUEZ PÉREZ	FECHA: 21/08/2017	MATERIAL: MDF	UNIDADES: mm
	TABLERO MESA DE TRABAJO		DIN A4
			ESCALA: 1/5
			PLANO 2/10



SECCIÓN A-A



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MÁQUINA DE GRABADO Y CORTE LÁSER CNC

AUTOR: CARLOS R. RODRÍGUEZ PÉREZ FECHA: 21/08/2017 MATERIAL: MDF UNIDADES: mm

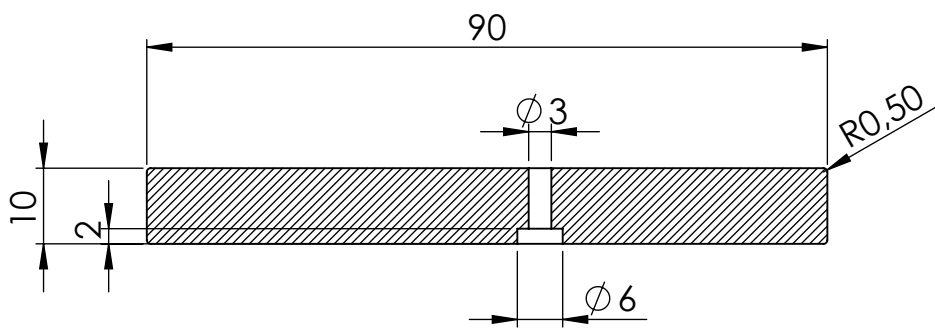
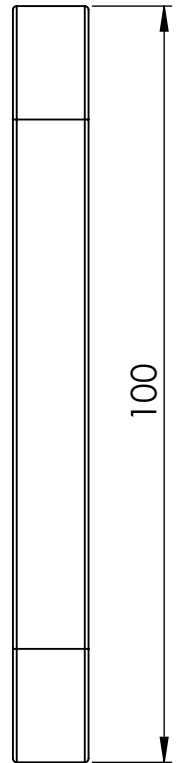
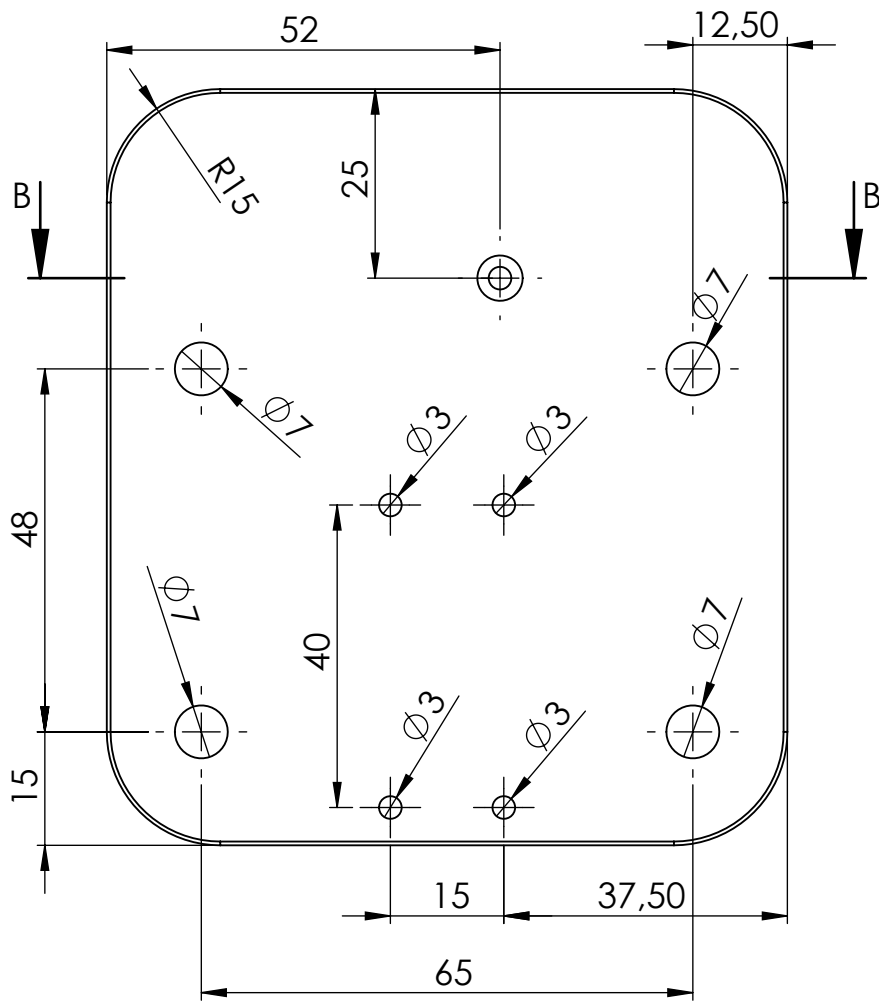


SOPORTE AMBOS LADOS CARRO EJE Y


DIN A4

ESCALA: 1/2

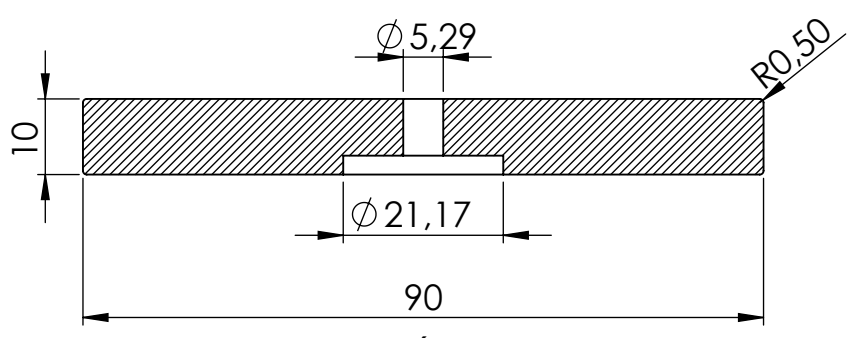
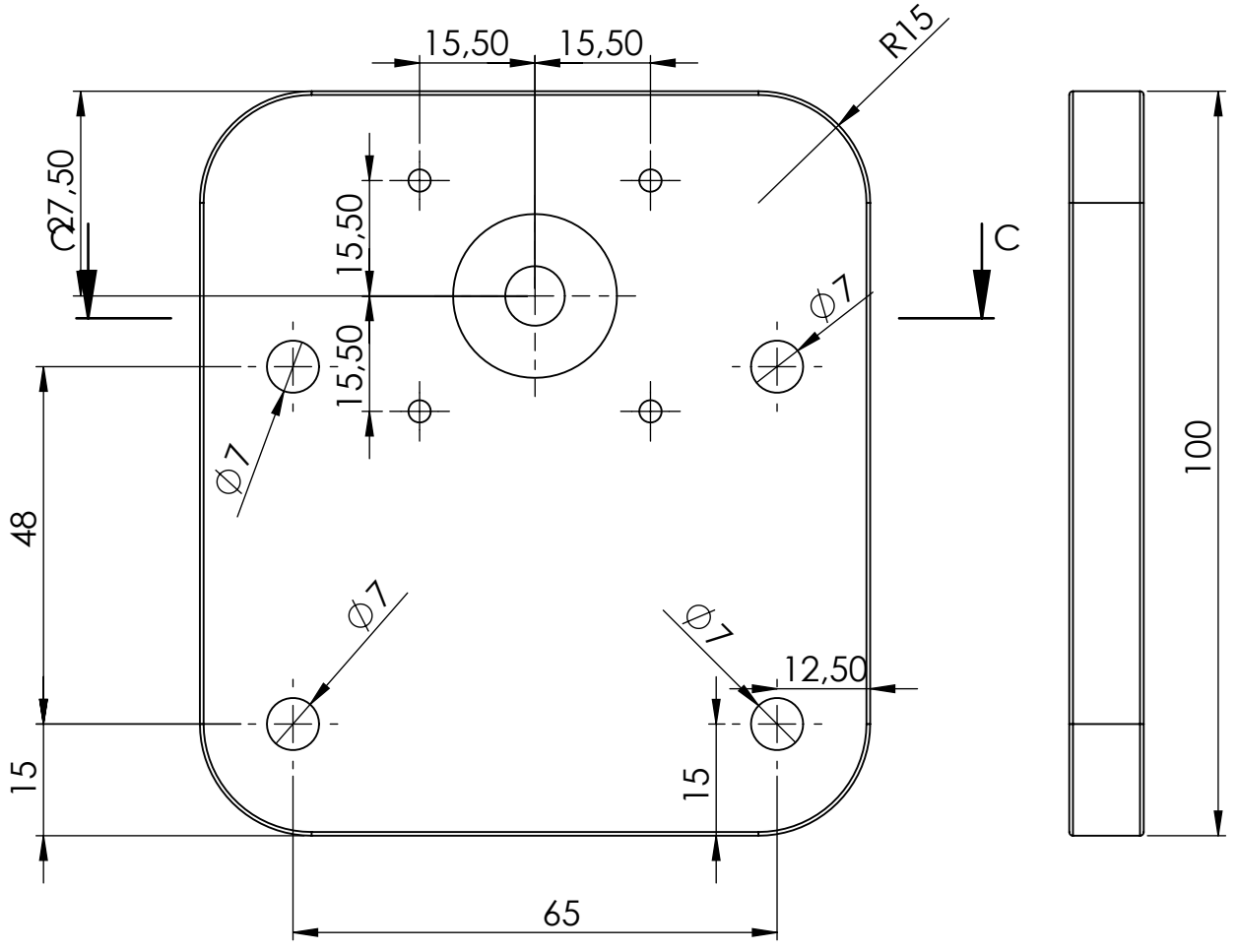
PLANO 3/10



SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 1

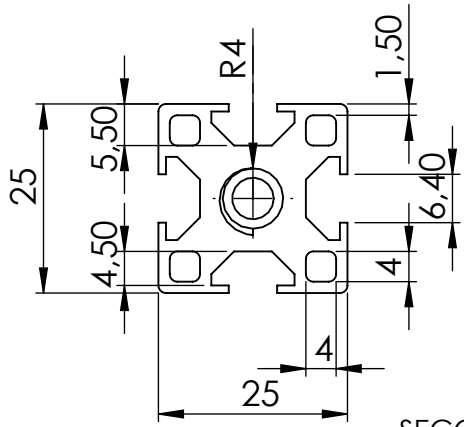
DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MÁQUINA DE GRABADO Y CORTE LÁSER CNC			
AUTOR: CARLOS R. RODRÍGUEZ PÉREZ	FECHA: 21/08/2017	MATERIAL: MDF	UNIDADES: mm
			DIN A4
			ESCALA: 1/1
			PLANO 4/10

SOPORTE LÁSER CARRO EJE X



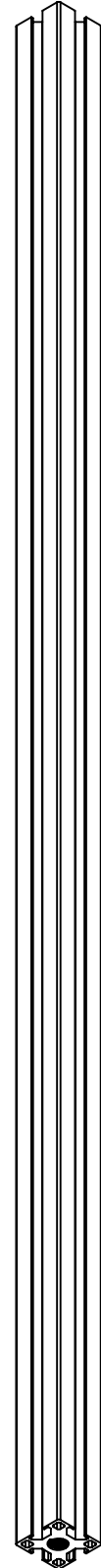
SECCIÓN C-C

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MÁQUINA DE GRABADO Y CORTE LÁSER CNC				
AUTOR: CARLOS R. RODRÍGUEZ PÉREZ	FECHA: 21/08/2017	MATERIAL: MDF	UNIDADES: mm	
	SOPORTE MOTOR CARRO EJE X		DIN A4	
			ESCALA: 1/1	
			PLANO 5/10	

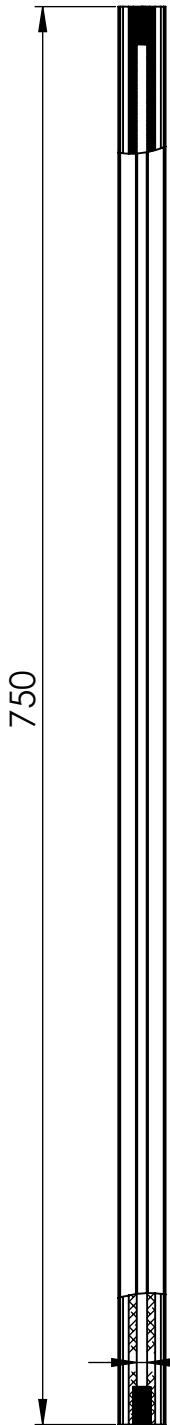


ESCALA 1:1

SECCIÓN PARCIAL 2 - DETALLE
ROSCA M8 x 20



ESCALA 1:3



ESCALA 1:4

SECCIÓN PARCIAL 2 - DETALLE
ROSCA M8 x 20

Ø 5,50

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MÁQUINA DE GRABADO Y CORTE LÁSER CNC

AUTOR: CARLOS R. RODRÍGUEZ PÉREZ | FECHA: 21/08/2017 | MATERIAL: ALUMINIO 6063-T5 | UNIDADES: mm

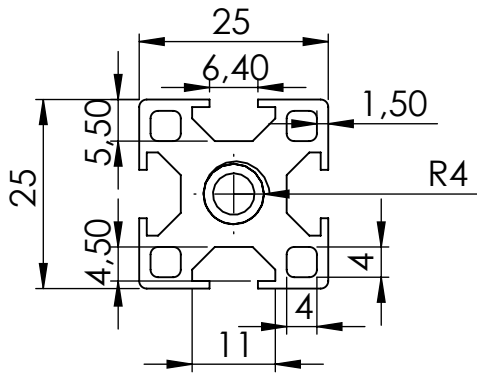


PERFIL/GUÍA EJE Y (750 mm)

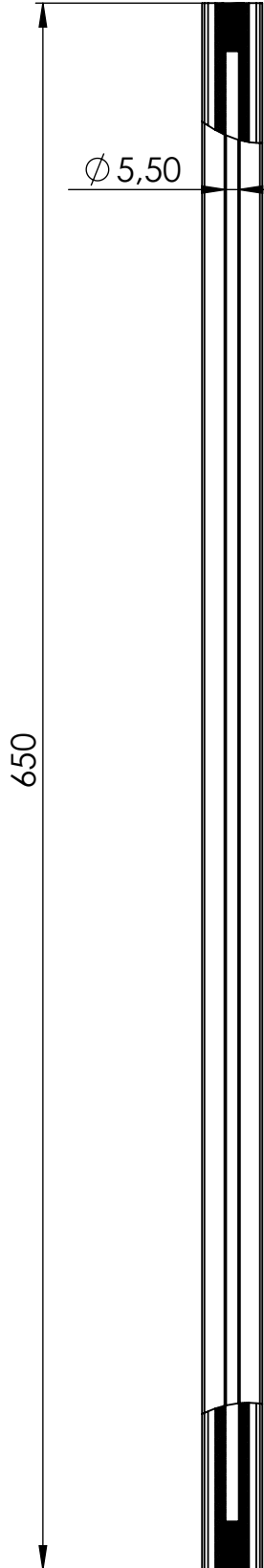
DIN A4

ESCALA:

PLANO 6/10

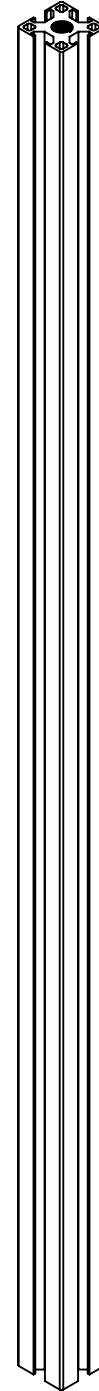


ESCALA 1:1




SECCIÓN PARCIAL 2 - DETALLE
ROSCA M8 x 20

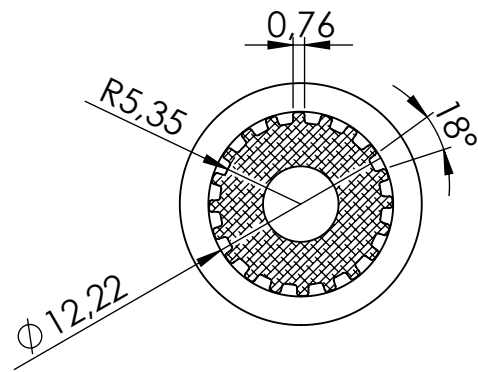
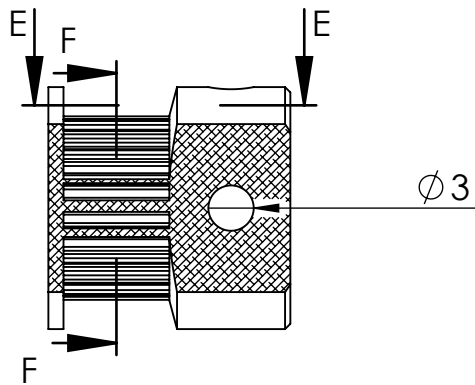
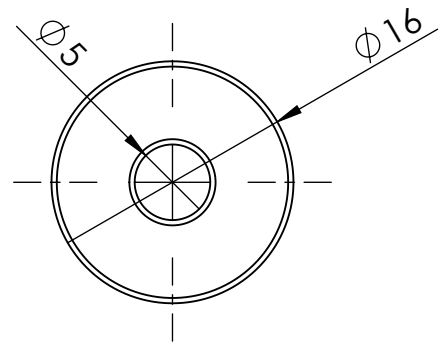
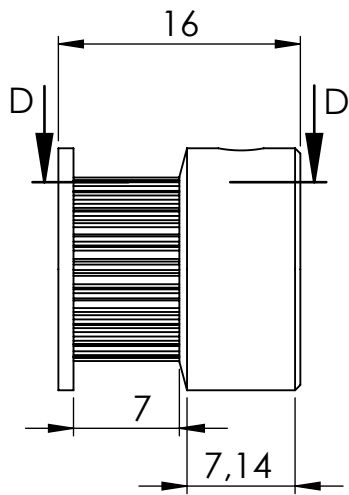
ESCALA 1:3



ESCALA 1:3

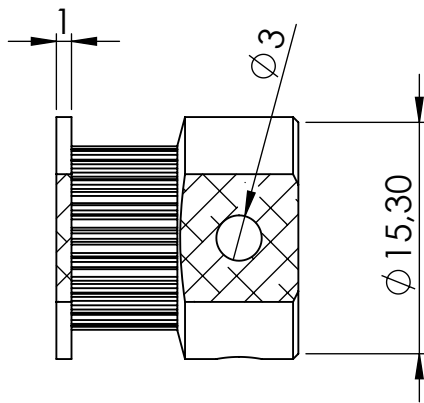
SECCIÓN PARCIAL 2 - DETALLE
ROSCA M8 x 20

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MÁQUINA DE GRABADO Y CORTE LÁSER CNC			
AUTOR: CARLOS R. RODRÍGUEZ PÉREZ	FECHA: 21/08/2017	MATERIAL: ALUMINIO 6063-T5	UNIDADES: mm
	PERFIL/GUÍA EJE X (650 mm)		DIN A4
			ESCALA:
			PLANO 7/10

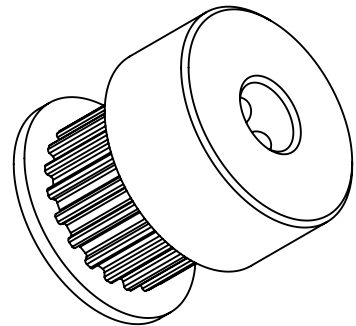



SECCIÓN D-D

SECCIÓN F-F

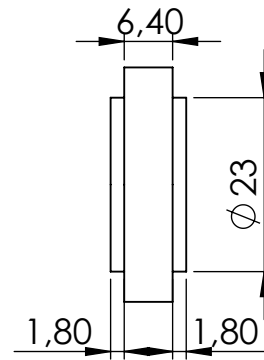
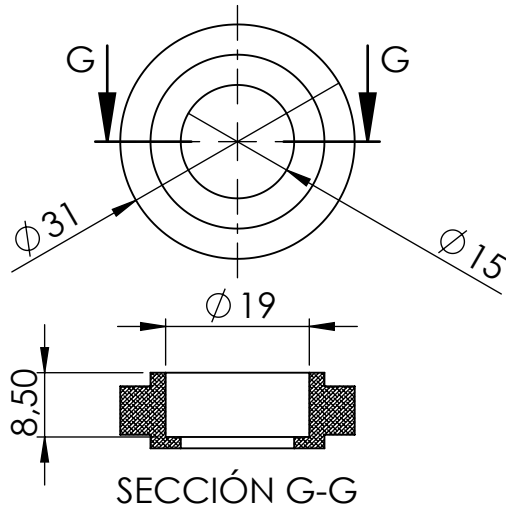


SECCIÓN E-E

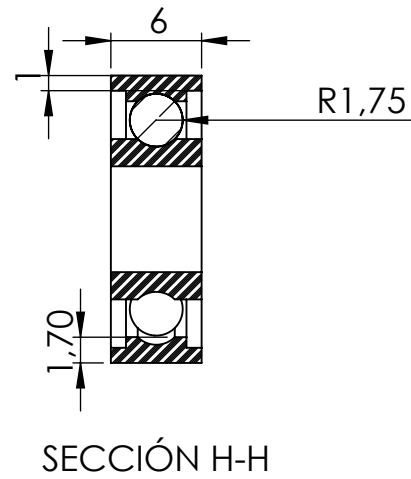
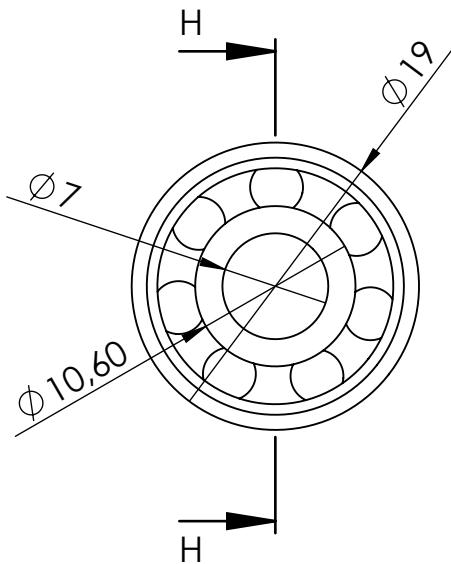


DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MÁQUINA DE GRABADO Y CORTE LÁSER CNC			
AUTOR: CARLOS R. RODRÍGUEZ PÉREZ	FECHA: 21/08/2017	MATERIAL: ALUMINIO	UNIDADES: mm
	POLEA GT2 (20 DIENTES-6mm CORREA)		DIN A4
			ESCALA: 2/1
			PLANO 8/10

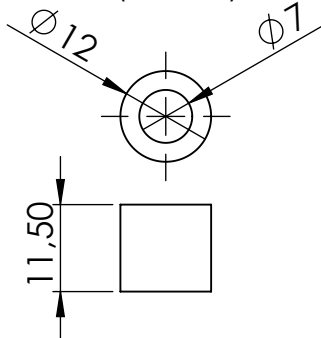
PLANO RUEDA



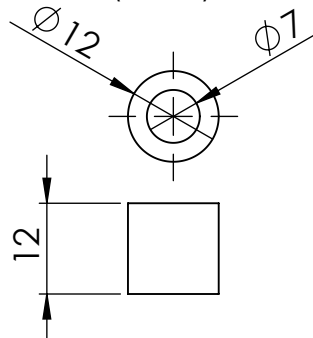
PLANO RODAMIENTO



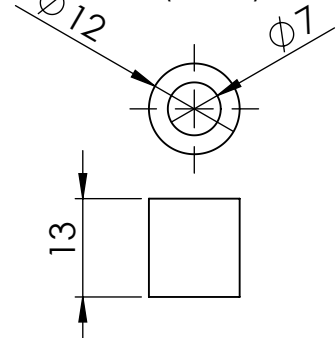
PLANO CASQUILLO (11.5mm)



PLANO CASQUILLO (12mm)



PLANO CASQUILLO (13mm)



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MÁQUINA DE GRABADO Y CORTE LÁSER CNC

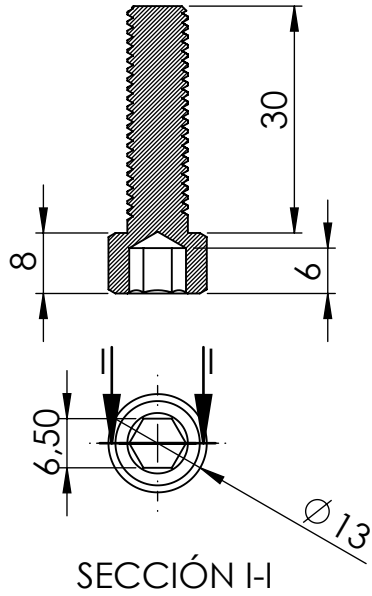
AUTOR: CARLOS R. RODRÍGUEZ PÉREZ | FECHA: 21/08/2017 | MATERIAL: METAL | UNIDADES: mm



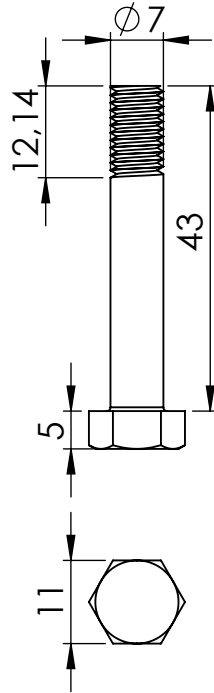
CONJUNTO SISTEMA TRASLACIÓN

DIN A4
ESCALA: 1/1
PLANO 9/10

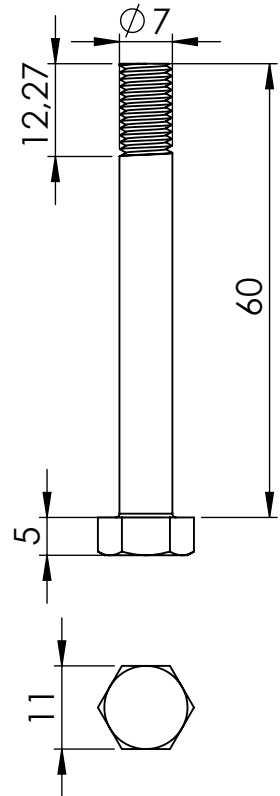
TORNILLO M8x30mm



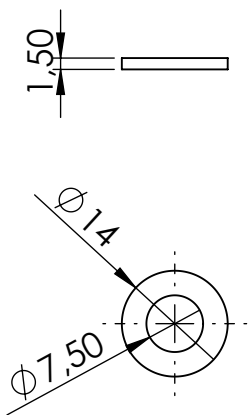
TORNILLO M7x43mm



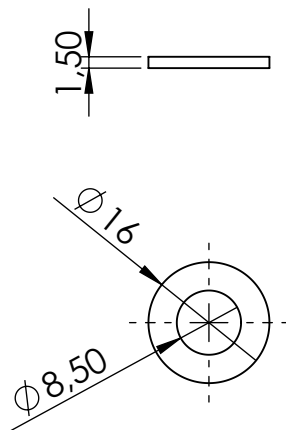
TORNILLO M7x60mm



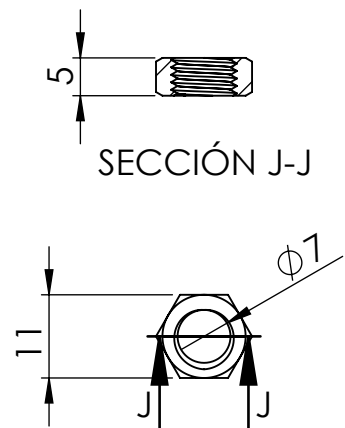
ARANDELA M7



ARANDELA M8



TUERCA M7



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MÁQUINA DE GRABADO Y CORTE LÁSER CNC

AUTOR: CARLOS R. RODRÍGUEZ PÉREZ FECHA: 21/08/2017 MATERIAL: METAL UNIDADES: mm



TORNILLERIA

DIN A4

ESCALA: 1/1

PLANO 10/10

Memoria descriptiva del diseño y fabricación de maquina grabadora/cortadora laser CNC para uso domestico o uso en pequeña industria en la cual se integran:

- Selección de componentes
- Diseño
- Manual de montaje
- Métodos de fabricación
- Nociones básicas para la introducción al CNC
- Manual de uso de distintos softwares
- Manual de grabado/corte
- Recomendaciones y advertencias

