



***Diseño y fabricación de una
máquina CNC láser con
plataformas de desarrollo
abiertas***

Alumno/a: Mehdi Dalouzi

Tutor/a: Prof.D. Francisco José Sánchez Sutil

Dpto: Ingeniería Eléctrica

Índice

Lista de figuras.....	4
Lista de tablas.....	6
1. Objetivos.....	7
2. Introducción.....	8
2.1 Control numérico computarizado.....	8
a) Historia de CNC.....	8
b) Clasificación de CNC en el mercado.....	10
c) Tipos de CNC y sus aplicaciones.....	12
2.2 Tecnología láser.....	13
a) Dispositivo láser.....	13
b) Tipos de equipos de corte por láser.....	14
c) Funcionamiento del corte láser.....	15
3. Hardware del control numérico.....	16
3.1 Implementación del sistema de CNC de dos ejes.....	17
3.1.1 Elementos.....	18
3.1.2 Control y movimiento de los motores.....	23
3.1.3 Transmisores del movimiento.....	26
4. Diseño del sistema.....	32
4.1 Base.....	32
4.2 Soporte de la base.....	33
4.3 Soporte de motor y mecanismo de transmisión.....	33
4.4 Soporte del módulo láser.....	35
4.5 Ejes.....	36
4.6 Ensamblaje de la máquina CNC.....	38
5. Montaje del sistema.....	40
5.1 Eje Y.....	40
5.2 Eje X.....	44
5.3 Montaje de la correa.....	45
5.4 Base de la estructura.....	47
5.5 Fijación del módulo láser.....	48
5.6 Estructura final de la maquina CNC.....	49
6. Desarrollo.....	50
6.1 Arduino.....	50
a) Programación de Arduino.....	51

6.2 Etapa de electrónica y potencia.....	54
a) GRBL Shield	54
b) Configuración de los drivers A4988	55
c) El ángulo del paso.....	57
d) Configuración para duplicar la fuerza motriz en un eje	58
e) Calibración del driver	58
f) Alimentación.....	62
6.3 LáserGRBL	63
7. Herramienta del sistema CNC.....	67
7.1 Módulo láser NEJE A40630	67
7.2 Características del módulo láser	70
8. Pruebas del sistema	72
8.1 Pruebas para cortar papel	72
8.2 Pruebas para grabar madera	74
8.3 Pruebas para cortar madera	75
9. Mejoras del sistema	78
9.1 Instalación de un sistema de aire comprimido	78
9.2 Implementación de un sistema láser de CO2	78
9.3 Instalación de finales de carrera en cada eje.....	78
9.4 Implementación del eje Z	78
10. Presupuesto.....	79
10.1 Introducción.....	79
10.2 El detalle del presupuesto	79
a) Materiales	79
b) Mano de obra	80
10.3 El presupuesto final.....	80
11. Conclusiones.....	81
12. Bibliografía.....	82
13. Anexos	84
13.1 Anexo A: Planos piezas diseñadas.....	84

Lista de figuras

Figura 1. Control numérico punto a punto.....	10
Figura 2. Control numérico paraxial	11
Figura 3. Control numérico continuo.....	11
Figura 4. Esquema CNC	17
Figura 5. Estructura de la máquina CNC.....	18
Figura 6. Modelo conceptual del motor PAP unipolar.....	20
Figura 7. Modelo conceptual del motor PAP bipolar.....	21
Figura 8. Primer modo de excitación en full-step.....	23
Figura 9. Segundo modo de excitación en full-step.....	24
Figura 10. Modo de excitación en half-step.....	24
Figura 11. Modo de excitación en micro-stepping	25
Figura 12. Primer tipo de transmisión por correa	27
Figura 13. Segundo tipo de transmisión por correa	27
Figura 14. Transmisión por ruedas	28
Figura 15. Transmisión por engranajes.....	29
Figura 16. Transmisión por tornillo sin fin.....	30
Figura 17. Transmisión por piñón-cremallera	30
Figura 18. Ejemplo de dirección de vehículos	31
Figura 19. Base de perfiles	32
Figura 20. Soporte de esquina.....	32
Figura 21. Soporte de la base	33
Figura 22. Primer soporte de motor	33
Figura 23. Segundo Soporte	34
Figura 24. Montaje de mecanismo de transmisión	34
Figura 25. Soporte del módulo láser.....	35
Figura 26. Diseño del motor de tipo Nema 17	36
Figura 27. Diseño de la polea	36
Figura 28. Diseño de la correa GT2	37
Figura 29. Diseño de la rueda	37
Figura 30. Separador de arriba y abajo	37
Figura 31. Tornillo M5	38
Figura 32. Vista isométrica	38
Figura 33. Vista trasera	39
Figura 34. Vista izquierda	39
Figura 35. Motores paso a paso NEMA17	40
Figura 36. Ensamblaje soporte y motor	40
Figura 37. Separadores	41
Figura 38. Colocación de los separadores en la pieza del soporte	41
Figura 39. Tornillo M5x60	42
Figura 40. Las ruedas	42
Figura 41. Colocación de tornillos y ruedas en la pieza del soporte.....	43
Figura 42. El montaje completo de las piezas del soporte con el motor	43
Figura 43. Soporte del módulo láser.....	44
Figura 44. El montaje completo del soporte del módulo láser	44
Figura 45. La unión entre el eje Y y X.....	45
Figura 46. Anclaje de la correa en el extremo del eje Y.....	45
Figura 47. Anclaje de la correa en el extremo del eje X.....	46

Figura 48. Camino de la correa entre las ruedas y la polea	46
Figura 49. Esquina de aluminio 2028	47
Figura 50. La unión entre los dos perfiles de aluminio	47
Figura 51. Colocación de la pierna en la esquina de la máquina.....	48
Figura 52. Módulo láser	48
Figura 53. Vista general de la máquina CNC	49
Figura 54. Vista general de la máquina CNC con el módulo láser	49
Figura 55. Placa de arduino Uno.....	50
Figura 56. Conexión GRBL	51
Figura 57. Arduino IDE	51
Figura 58. Menú de librerías.....	52
Figura 59. Elección del puerto COM	53
Figura 60. Compilación de los datos en el hardware Arduino.....	53
Figura 61. GRBL Shield	54
Figura 62. Driver Pololu A4988	55
Figura 63. Configuración micropasos CNC shield	56
Figura 64. Angulo del paso en pasos completos y medios pasos	57
Figura 65. Configuración para clonar eje Y.....	58
Figura 66. Resistencia de sensibilidad.....	59
Figura 67. Valor de resistencia	59
Figura 68. Modo de incrementos en paso completo	60
Figura 69. Modo de incrementos en paso de cuarto 1/4.....	61
Figura 70. Ajuste del potenciómetro	61
Figura 71. Disipador de calor	62
Figura 72. Fuente de alimentación para los motores con salida de 12 V / 5 A	62
Figura 73. Fuente de alimentación para el módulo láser con salida de 12 V / 4 A.....	63
Figura 74. Interfaz del software LaserGRBL	64
Figura 75. Configuración del modo de grabado	65
Figura 76. Configuración de la potencia de láser y tamaño de imagen	65
Figura 77. Interfaz de grabación.....	66
Figura 78. Módulo láser NEJE A40630	69
Figura 79. El kit del paquete.....	70
Figura 80. Interfaz gráfica del software LaserGRBL	72
Figura 81. Configuración de los parámetros	72
Figura 82. Proceso del corte láser en papel	73
Figura 83. Resultado del corte láser en papel	73
Figura 84. Resultado final del corte láser en papel.....	74
Figura 85. Grabado en proceso	74
Figura 86. Resultado de grabado en madera	75
Figura 87. Configuración del módulo láser.....	75
Figura 88. Corte láser en proceso	76
Figura 89. Resultado del corte en madera	76
Figura 90. Resultado final del corte láser en madera	77

Lista de tablas

Tabla 1: Configuración de las resoluciones.....	56
Tabla 2. Listado de materiales mecánicos y su presupuesto.....	79
Tabla 3. Listado de materiales electrónicos y su presupuesto	80
Tabla 4. Presupuesto de la mano de obra	80
Tabla 5. Presupuesto final del coste de la máquina CNC	80

1. Objetivos

Los equipos láser y sus aplicaciones industriales han encontrado su lugar en los procesos de fabricación y producción utilizadas para grabar, marcar, cortar y soldar materiales diversos en el campo de la electrónica, industria del automóvil, medicina, moldes y matrices, etc.

El objetivo principal del TFM es crear un dispositivo de control numérico computarizado (CNC) usando la tecnología láser como herramienta, lo cual implica su diseño previo en 3D sobre un programa CAD, su fabricación, la sincronización de motores y la implementación de la electrónica.

Para llevar a cabo esto, se ha tenido en consideración los criterios siguientes:

- ❖ Solución implementada de bajo coste

Se trata de implementar varios dispositivos de bajo coste para obtener un resultado final satisfecho al objetivo fijado desde el inicio, o sea la máquina debe tener robustez y calidad adecuada para poder realizar trabajos con ciertas garantías.

- ❖ Uso de plataformas libres

Es un criterio crucial para reducir el presupuesto de un proyecto al máximo exponente, y de este modo se puede aprovechar del beneficio desde un punto de vista económico, mientras también se puede tener un gran apoyo de manera gratuita a partir de una gran comunidad que está compartiendo su experiencia para mejorar y saltar cada vez los obstáculos y retos confrontados en desarrollar nuevos proyectos.

- ❖ Obtención del diseño 3D sobre un programa CAD

El diseño se ha establecido mediante el software de diseño Catia V5, de hecho, se ha tenido varias modificaciones de mejoramiento por dos razones, lo primero es dejar la concepción de piezas que forman la máquina más fácil a montar y a desmontar, el segundo es adaptar el diseño a unas herramientas estandarizadas que se puede encontrar fácilmente en el mercado a un precio razonable.

2. Introducción

2.1 Control numérico computarizado

a) Historia de CNC

❖ Historia del CNC

Su inicio fue en la revolución industrial en 1770, las máquinas eran operadas a mano, al fin se tiende más y más a la automatización, ayudo el vapor, electricidad y materiales avanzados. En 1945 al fin de la segunda guerra mundial se desarrolló la computadora electrónica. En los 50's se usó la computadora en una máquina herramienta. No paso mucho tiempo hasta que la computación fue incorporada masivamente a la producción. En los 60's con los chips se reduce el costo de los controladores. Hacia 1942 surgió lo que se podría llamar el primer control numérico verdadero, debido a una necesidad impuesta por la industria aeronáutica para la realización de hélices de helicópteros de diferentes configuraciones.

❖ Desarrollo Histórico del Control Numérico

Los primeros equipos de CN con electrónica de válvulas, relés y cableados, tenían un volumen mayor que las propias máquinas-herramientas, con una programación manual en lenguajes máquina muy complejo y muy lenta de programar. Puede hablarse de cuatro generaciones de máquinas de control numérico de acuerdo con la evolución de la electrónica utilizada.

1. Válvulas electrónicas y relés (1950).
2. Transistores (1960).
3. Circuitos integrados (1965).
4. Microprocesadores (1975).

A finales de los 60's nace el control numérico por ordenador. Las funciones de control se realizaban mediante programas en la memoria del ordenador, de forma que pueden adaptarse fácilmente con solo modificar el programa. En esta época los ordenadores eran todavía muy grandes y costosos, la única solución práctica para el CN era disponer de un ordenador central conectado a varias máquinas herramientas que desarrollaban a tiempo compartido todas las funciones de control de las mismas. Esta tecnología se conoce con las siglas DNC (Direct Numerical Control – Control Numérico Directo).

A principios de los 60's se empezó a aplicar más pequeño y económico apareciendo así el CNC (Control Numérico Computarizado), que permite que un mismo control numérico pueda aplicarse a varios tipos de máquinas distintas sin más que programar las funciones de control para cada máquina en particular.

Las tendencias actuales de automatización total y fabricación flexible se basan en máquinas de CNC conectadas a un ordenador central con funciones de programación y almacenamiento de programas y transmisión de los mismos a las máquinas para su ejecución. Los esfuerzos para eliminar la intervención humana en los procesos de producción son una meta gerencial con la introducción de los conceptos de partes intercambiables y producción en masa. El control numérico puede proveer:

1. Flexibilidad para incrementar la producción de bajo nivel.
2. Instrucciones almacenadas para disminuir la mano de obra directa.

La tecnología de control numérico fue la primera aplicación del auxilio de manufactura computarizada (CAM), la aplicación de tecnología de proceso de información a la tecnología de automatización industrial. La máquina herramienta de control numérico original fue desarrollada por contrato de la Fuerza Aérea por el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) en el laboratorio de servomecanismos militar para producir frecuentes y muy complejas partes modificadas en base a emergencias.

La primera instalación comercial de equipo de control numérico fue en 1957. Las máquinas originales de control numérico fueron estándar como las fresadoras y taladros. Tecnología de control fue desarrollada en paralelo con computadoras digitales, desde tubos de vacío pasando por transistores y circuitos integrados para los más capaces y confiables minicomputadoras, miniprocesadores, basados en control de unidades los cuales son referidos como computadora de control numérico (CNC). El control con alambrado fue menos flexible en su habilidad para leer y responder.

En los CNC el alambrado lógico es reemplazado por software ejecutado, el da al controlador su identidad. En adición provee parte del almacén del programa, ahora muchos controladores aceptan operaciones de cómputo lógico tales como variables, ramales, y subrutinas en la parte de instrucción del programa. El programa de la parte y nuestro programador es de la nueva creación de trabajadores de información en la nueva revolución industrial de la información. Como desarrollo del progreso de la tecnología de maquinado y control, se reconoció una necesidad para un método de programación para manipular y traducir información de tecnología y manufactura para crear un medio de control para partes complicadas de 3 dimensiones. La Fuerza Aérea inició este proyecto (MIT), el resultado fue el sistema de asistencia por computadora llamado APT para herramientas programables completamente automáticas.

Mientras más intervención humana fue quitada del equipo de operación, controles humanos, la accesibilidad del operador al proceso se ha minimizado. Estos procesos son tales como corte con alambre eléctrico, corte con láser y maquinado a alta velocidad que pueden ser imposibles sin el control numérico.

b) Clasificación de CNC en el mercado

Diversos ramos industriales se benefician de las máquinas de control numérico que han traído muchas ventajas facilitando tareas que ahora es posible realizar mejor, en menor tiempo y con menor involucramiento humano. Sin embargo, los tipos de maquinaria CNC se clasifican según la manera en que realizan sus movimientos, estos movimientos pueden ser ejecutados más de uno en el proceso.

❖ Control numérico punto a punto

Es el control que determina la herramienta en un punto predefinido la trayectoria que tome no es de importancia, su prioridad es alcanzar con la mayor rapidez y precisión al punto deseado. El posicionamiento puede ser simultáneo, secundario o dependiendo de cómo la herramienta se desplace siguiendo la dirección correcta de los ejes.

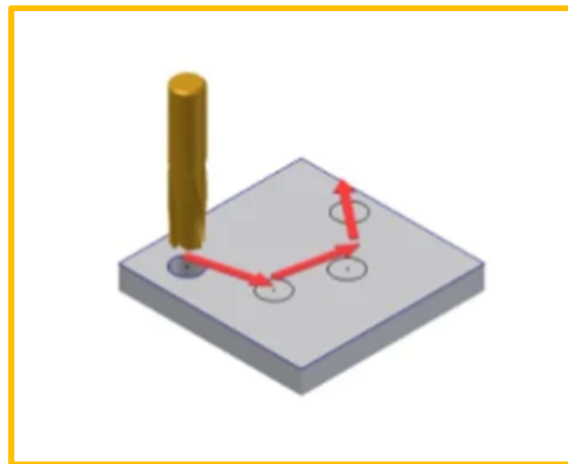


Figura 1. Control numérico punto a punto

❖ Control numérico paraxial

Es el control que nos permite mecanizar en diferentes direcciones paralelas a los ejes de la máquina, esto gracias a que un eje se mueve linealmente mientras los otros ejes de la máquina permanecen bloqueados. Este control no permite efectuar mecanizados que necesite la intervención de dos o más ejes como por ejemplo hacer arcos o circunferencias. El control numérico paraxial puede ejecutar los movimientos de un control punto a punto.

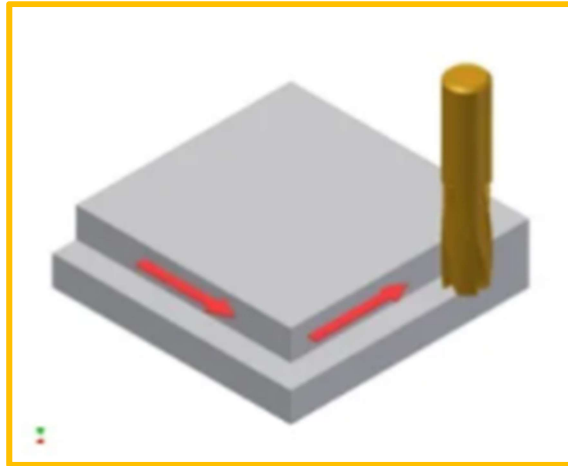


Figura 2. Control numérico paraxial

❖ Control numérico continuo

Las máquinas de control interpolador o continuo pueden realizar mecanizados en trayectorias de cualquier tipo, a diferencia de las de control paraxial, cuyas trayectorias deben ser paralelas a sus ejes. Estos equipos de control interpolador, por lo tanto, se dice que son polivalentes.

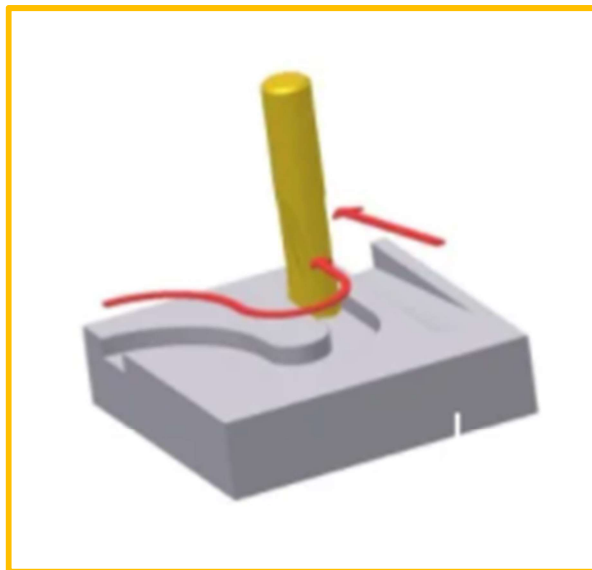


Figura 3. Control numérico continuo

c) Tipos de CNC y sus aplicaciones

En los talleres mecanizados, existen diferentes tipos de máquinas CNC que cumplen una o varias funciones en particular. A continuación, se explicará cuáles son y en qué ámbitos se las utilizan para lograr los mejores resultados.

❖ Tornos CNC, para perforaciones precisas

Los tornos manejados por control numérico por computadora están diseñados para realizar cortes y perforaciones precisas de forma instantánea. También se caracterizan por su alta velocidad, abarcando zonas donde en cortes manuales es imposible de alcanzar.

❖ Fresadoras, para tratar gran variedad de piezas metálicas

Estos tipos de máquinas CNC no pueden faltar en ningún taller mecanizado, debido a sus altas capacidades de tratar una gran variedad de piezas metálicas. En este caso, la fresadora CNC actúa por arranque de viruta o acepillado.

El control numérico de una fresadora moderna ofrece una gran posibilidad de configurar las funciones de la maquinaria. Es así como podemos proceder al fresado frontal, de resalte o incluso el taladrado. Es ideal para aplicarlo a diversos proyectos de fabricación en la industria automotriz y obtener los mejores resultados.

❖ Enrutador, para cortes en piezas

Si necesitas realizar cortes y mecanizados en piezas de gran tamaño, te recomendamos el uso del enrutador CNC. Esta máquina ofrece la posibilidad de tratar el material a cortar mediante el arrastre o enrutamiento hacia las herramientas de corte.

Este es uno de los tipos de máquinas CNC que sirven para todo tipo de materiales aparte del metal, como el plástico, la madera e incluso la gomaespuma. También es perfecta para crear perfiles y láminas a alta velocidad, independientemente de su relieve.

❖ Cortadoras de plasma, para trabajar con metales densos

Las cortadoras de plasma CNC cuentan con características similares a las de un enrutador. Sin embargo, difieren de ellas debido a que no arrastra el material, sino que actúa por encima de él mediante el desplazamiento del plasma.

Para ello, se procede al aumento de la temperatura para fundir el metal y generar un acabado de calidad. Este tipo de máquinas CNC no requieren de una gran dimensión o configuración, además de que se puede trabajar con metales densos sin ningún inconveniente.

Para ello, se procede al aumento de la temperatura para fundir el metal y generar un acabado de calidad. Este tipo de máquinas CNC no requieren de una gran dimensión o configuración, además de que se puede trabajar con metales densos sin ningún inconveniente.

❖ Impresoras 3D, para moldes y maquetas

La tecnología ha dado pasos agigantados con el surgimiento de la impresora 3D, la cual permite crear moldes o maquetas en pocos minutos. En este caso, las impresoras 3D de control numérico tratan con pequeñas piezas de plástico mediante boquillas extrusoras, las cuales depositan el plástico fundido por capas hasta generar la pieza completa.

2.2 Tecnología láser

Las cortadoras CNC láser son máquinas que llevan a cabo su función de corte por medio del láser, un haz de luz amplificada. Las cortadoras que funcionan por medio de láser tienen la misma base y funcionan de maneras similares que cualquier otra cortadora CNC.

La diferencia principal radica en la fuente que genera el rayo láser. Por lo que los parámetros de corte y grabado son muy amplios.

a) Dispositivo láser

La palabra láser es un acrónimo que significa Light Amplified by Stimulated Emission of Radiation (Luz amplificada por emisión estimulada la radiación). Un láser es básicamente una fuente de luz. Lo que diferencia a un láser de otras fuente 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 se observa. 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.

b) Tipos de equipos de corte por láser

Los tipos de láseres más extendidos son el láser de CO₂ y el láser de diodo.

❖ Láseres de CO₂

Los láseres de CO₂ son láseres de gas basados en una mezcla gaseosa de dióxido de carbono que se estimula eléctricamente. Con una longitud de onda de 10,6 micrómetros, resultan adecuados sobre todo para tratar materiales no metálicos y la mayoría de los plásticos. Los láseres de CO₂ tienen una eficiencia relativamente alta y muy buena calidad de rayo, por lo que son uno de los tipos de láser más utilizados.

❖ Láseres de diodo

Los diodos láser son únicos en comparación con otros tipos de láseres, Son pequeños, operan relativamente con bajas tensiones de entrada y son eficientes. La acción láser ocurre en la zona de unión de los semiconductores diferentes. Uno de los materiales tiene un exceso de electrones (tipo n) y el otro material (tipo p) cuentan con un déficit de electrones o un exceso de huecos. Cuando se coloca una tensión polarizada en forma directa a través de esta unión, los electrones son forzados en la región del material tipo n y los huecos son forzados en la unión del material tipo p. Estos electrones con una carga negativa y los huecos con una carga positiva son atraídos uno al otro y cuando “colisionan” se neutralizan mutuamente y emiten la radiación láser.

Para este tipo de diodo, la densidad de corriente de umbral presenta alta dependencia con la temperatura de las uniones p-n, dicha temperatura obliga a considerar la longitud de onda emitida por el dispositivo, igualmente dependiente con la temperatura a la que esté operando. Las alteraciones de esta variable provocan cambios en la longitud de onda de emisión, es decir, un aumento gradual de la longitud de onda al tener un incremento en la temperatura provoca un salto de un modo de emisión longitudinal a otro. A este efecto se denomina “salto de modo”.

c) Funcionamiento del corte láser

El corte con láser es una técnica que, a través de la energía térmica, es empleada para separar piezas de chapa metálica.

Durante el proceso de corte, el rayo láser concentra la luz sobre un punto de la superficie del material de trabajo elevando su temperatura hasta que se derrite o vaporiza. Una vez el rayo láser ha traspasado la superficie se inicia el proceso de corte, redirigiendo el rayo láser en los puntos determinados según la geometría seleccionada hasta separar por completo el material.

Una vez finalizado el proceso de corte, realizado a través de maquinaria especializada y altamente tecnológica, se utiliza gas a presión (oxígeno, nitrógeno o CO₂) para extraer el material resultante.

3. Hardware del control numérico

Resulta interesante introducir el concepto de control numérico. Se trata de una máquina capaz de realizar multitud de tareas y que ha sido el fundamento de los sistemas robóticos más avanzados de la actualidad.

La máquina herramienta ha jugado un papel fundamental en el desarrollo tecnológico del mundo hasta el punto que no es descabellado afirmar que la tasa del desarrollo de máquinas herramientas gobierna directamente la tasa del desarrollo industrial.

Surge y se desarrolla a lo largo del tiempo por la exigencia de cubrir ciertas necesidades: necesidad de fabricar productos que no se podían conseguir en cantidad y calidad suficientes sin recurrir a la automatización del proceso de fabricación, necesidad de obtener productos hasta entonces imposibles o muy difíciles de fabricar, por ser excesivamente complejos para ser controlados por un operador humano, necesidad de fabricar productos con unos costes de producción suficientemente bajos, etc.

Inicialmente, el factor predominante que condicionó todo automatismo fue el aumento de la productividad. Posteriormente, debido a las nuevas necesidades de la industria aparecieron otros factores no menos importantes como la precisión, la rapidez y la flexibilidad.

Al mismo tiempo que se han desarrollado los sistemas CNC han evolucionado los sistemas de CAD/CAM. CAD/CAM es el proceso mediante el cual se utilizan las computadoras para mejorar la fabricación, y diseñar los productos. Éstos pueden fabricarse de forma más rápida, más precisa o con unos costes de fabricación menores, con la aplicación adecuada de tecnología informática.

Los sistemas CAD (acrónimo de Computer Aided Design) son sistemas de Diseño Asistido por Ordenador, éstos pueden utilizarse para generar modelos con muchas, si no todas, de las características de un determinado producto. Estas características podrían ser el tamaño, el contorno y la forma de cada componente, almacenados como dibujos bidimensionales y/o tridimensionales. Una vez que estos datos dimensionales han sido introducidos y almacenados en el sistema informático, el diseñador puede manipularlos o modificar las ideas del diseño con mayor facilidad para avanzar en el desarrollo del producto. Además, pueden compartirse e integrarse las ideas combinadas de varios diseñadores, ya que es posible mover los datos dentro de redes informáticas, con lo que los diseñadores e ingenieros situados en lugares distantes entre sí pueden trabajar como un equipo. Los sistemas CAD también permiten simular el funcionamiento de un producto. Hacen posible verificar si un circuito electrónico propuesto funcionará tal y como está previsto, si un puente será capaz de soportar las cargas pronosticadas sin peligros e incluso si una salsa de tomate fluirá adecuadamente desde un envase de nuevo diseño.

Cuando los sistemas CAD se conectan a equipos de fabricación también controlados por ordenador conforman un sistema integrado CAD/CAM (CAM, acrónimo de Computer Aided Manufacturing o Fabricación Asistida por ordenador). Este flujo de trabajo gráficamente es:

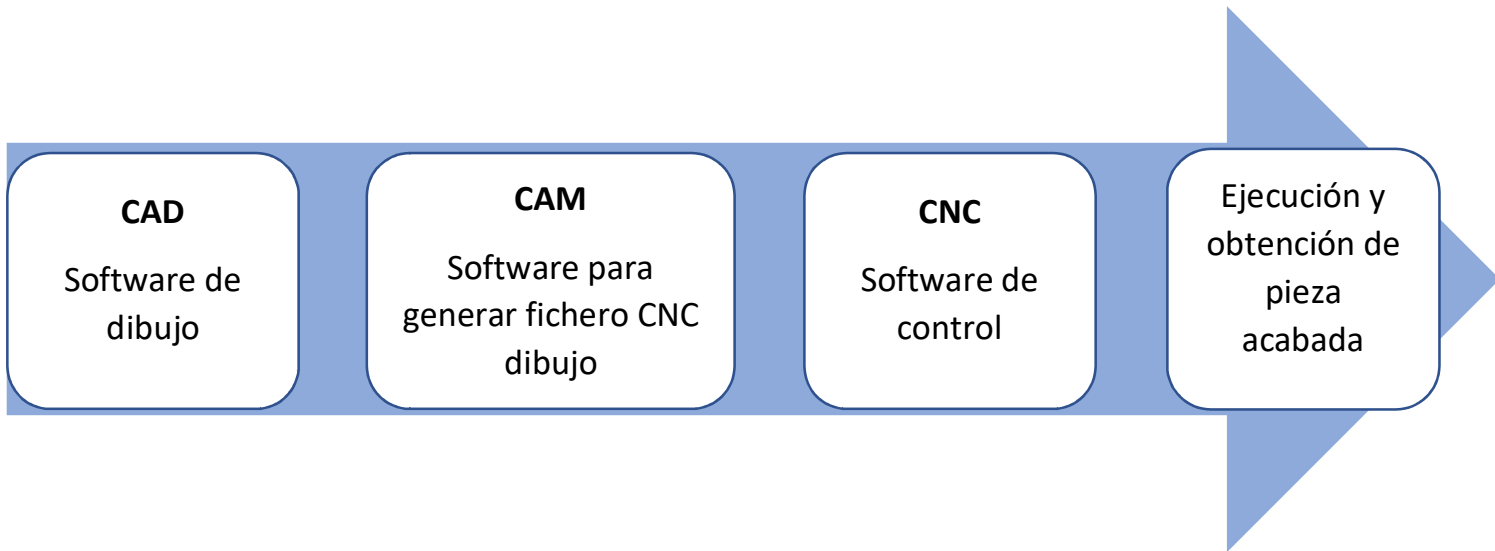


Figura 4. Esquema CNC

La Fabricación Asistida por Ordenador ofrece significativas ventajas con respecto a los métodos más tradicionales al controlar equipos de fabricación con ordenadores en lugar de hacerlo con operadores humanos.

3.1 Implementación del sistema de CNC de dos ejes

El significado de maquina CNC es máquina de control numérico por computadora, es decir, el controlador de las máquinas CNC recibe instrucciones de la computadora (en forma de código G) y mediante su propio software interpreta esas instrucciones dando como resultado señales eléctricas destinadas a activar los motores que, a su vez, pondrán en marcha el sistema de accionamiento.

A la hora de implementar un dispositivo de control numérico, existen multitud de soluciones pero que en general todas cumplen con la siguiente estructura:

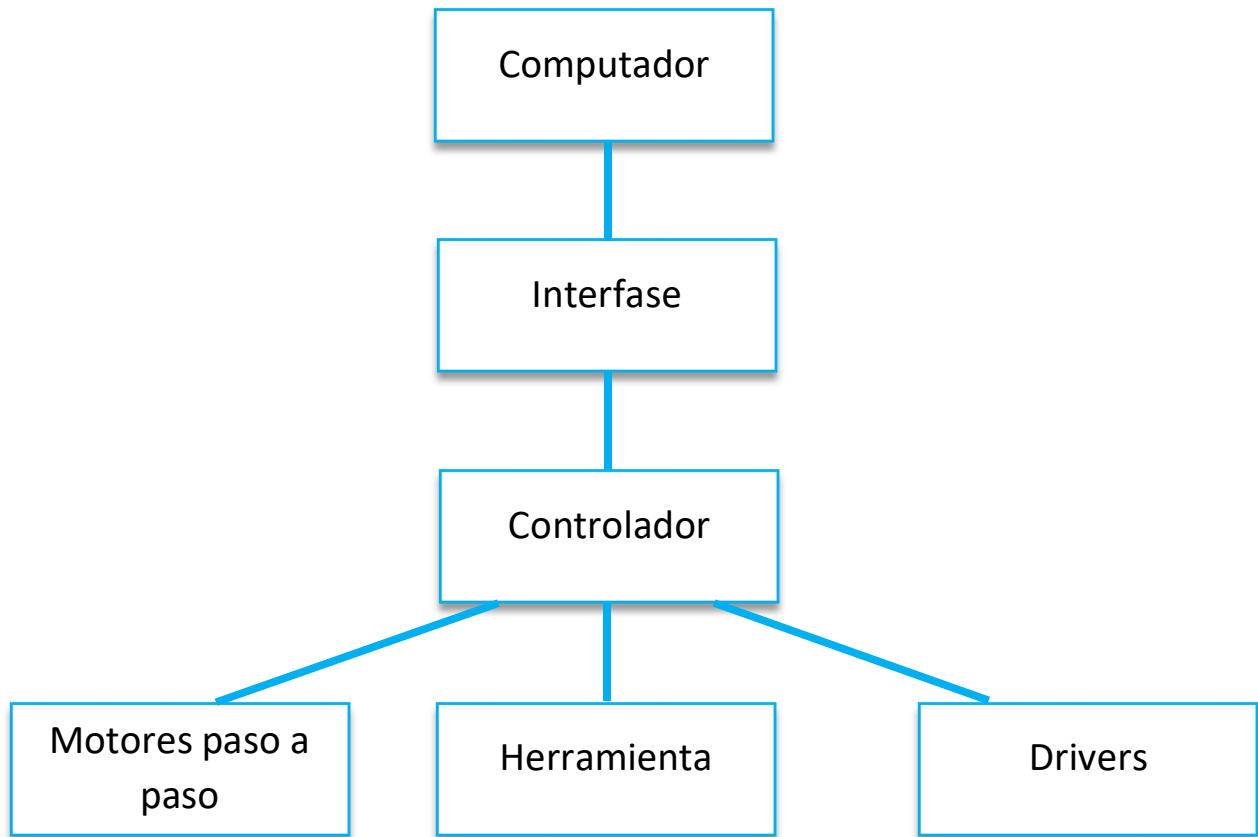


Figura 5. Estructura de la máquina CNC

En el caso de nuestro proyecto se implementa dos ejes para obtener movimientos lineales o sea moverse la herramienta de láser en el eje X y Y, por la razón de que en el corte láser no se necesita moverse en eje Z durante el proceso del corte a diferencia de otros tipos de CNC.

Con el objetivo de tener una idea clara cómo funciona una máquina CNC se van a exponer algunos de los elementos que la componen y su funcionamiento.

3.1.1 Elementos

a) Motores paso a paso

Un motor paso a paso es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de pulsos eléctricos en desplazamientos angulares (pasos). Estos motores son ideales para la construcción de mecanismos que requieran movimientos muy precisos. La característica principal que los define es que son capaces de moverse un paso por cada pulso aplicado, a

diferencia del resto de motores de continua que giran libremente, y que pueden ser controlados y configurados, lo que les permite variar la velocidad de giro cambiando el tiempo transcurrido entre pasos.

El paso puede variar según el motor, desde pasos grandes de 90° hasta pasos pequeños de 1.8° . Además, estos motores poseen la habilidad de quedar enclavados en una posición, si una o más de sus bobinas están energizadas o bien quedando totalmente libres de corriente.

A continuación se exponen los distintos tipos de motores PAP que existen:

❖ Motor paso a paso de imanes permanentes: está formado por un estator de forma cilíndrica con un cierto número de bobinados alimentados en secuencia que crean un campo magnético giratorio de manera discontinua. El rotor concéntrico con el estator y situado sobre el eje contiene un imán fuertemente magnetizado, con dos polos magnéticos S-N, que a cada instante tenderá a alinearse con el campo magnético generado por la correspondiente bobina del estator. Su modo de operación es simple, se basa en la fuerza de atracción de dos imanes, uno permanente y otro temporal.

Se caracterizan por tener una velocidad y un par bajo, con un ángulo de paso elevado (entre 45° y 90°) que dependerá del número de polos del estator y el rotor, por lo que su precio es más económico.

❖ Motor PAP de reluctancia variable: en este caso no se utiliza un campo magnético permanente, como resultado puede moverse sin limitaciones o sin un par de parada. El estator presenta la forma cilíndrica habitual conteniendo generalmente un total de tres devanados distribuidos de tal forma que estén separados 120° aproximadamente entre dos de ellos. El rotor está formado por un núcleo de hierro dulce de estructura cilíndrica pero con una serie de dientes tallados longitudinalmente a lo largo de la superficie lateral. Cuando el primer devanado recibe la alimentación, atraerá al rotor hasta que el diente más cercano se alinee con el campo. Al llegar la excitación al siguiente devanado, otro diente será el más próximo, con lo que el rotor girará, de la misma forma, con el siguiente impulso avanzando un ángulo igual a los anteriores.

A diferencia del anterior, la polaridad o sentido de circulación de la corriente en cada devanado es diferente, ya que al no estar imantado el rotor, siempre se desplazará hasta la posición en que la reluctancia del circuito magnético del estator sea mínima.

La principal característica de estos motores de reluctancia variable es la elevada velocidad de accionamiento que permiten. Este motor se desarrolló con objeto de poder conseguir unos desplazamientos angulares más reducidos que en el caso anterior, sin que por este motivo haya de aumentarse considerablemente el número de bobinados.

❖ Motor PAP híbrido: operan combinando los principios de los motores de imán permanente y los de reluctancia variable, intentando obtener las características que destacan en cada

uno de ellos. El motor híbrido consiste en un estator dentado y un rotor constituido por anillos de acero dulce dentado en un número ligeramente distinto al del estator y dichos anillos montados sobre un imán permanente dispuesto axialmente. Las líneas magnéticas que genera el imán son guiadas por dos cilindros acoplados a los extremos de cada uno de sus polos (norte y sur).

En el motor de reluctancia variable, la excitación es producida únicamente por medio del bobinado, mientras que en el motor híbrido la excitación es conjunta entre el bobinado y el imán. La principal característica de estos motores es que se obtienen unos ángulos de paso pequeño y alto par con un tamaño menor a los otros motores.

En función de la forma de excitación y conexión de las bobinas del estator se puede clasificar a los motores PAP en dos grupos:

- ❖ Motor PAP unipolar: 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.

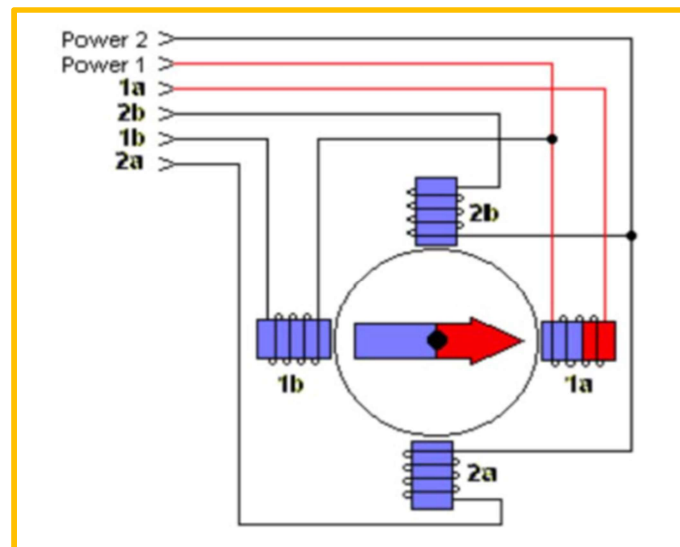


Figura 6. Modelo conceptual del motor PAP unipolar

- ❖ Motor PAP bipolar: en este caso se cuentan con dos bobinas sin ningún punto medio donde salga un cable, por lo que se tienen cuatro cables y cada par corresponde a los terminales de una bobina.

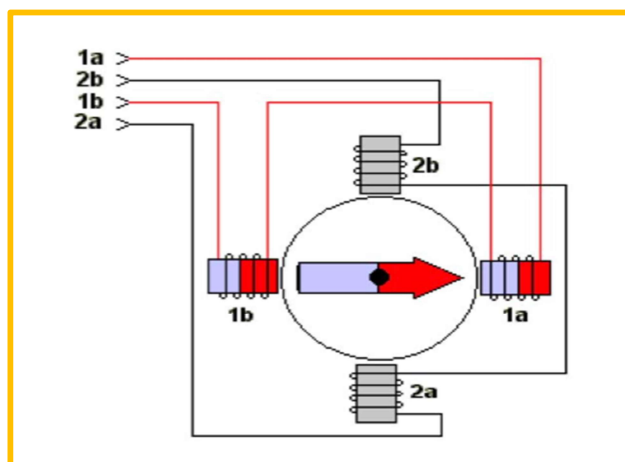


Figura 7. Modelo conceptual del motor PAP bipolar

Los motores bipolares en comparación con los unipolares presentan mayor par, mayor anclaje, menor tamaño, precio más económico pero un control más complejo.

b) Drivers de control motor paso a paso

Un driver para motores paso a paso es un circuito electrónico que nos permite controlar la señal eléctrica o pulsos de dichos motores. Estos controladores permiten manejar los voltajes e intensidades a los que se está suministrando al motor para así controlar la velocidad de giro, el sentido, el par...

En especial para los motores paso a paso, se debe usar un driver para motores para que te facilite las cosas. Aunque hay métodos para hacerlo de forma diferente, mediante transistores, los módulos con driver de motores resultan mucho más prácticos y directos. De hecho, estos drivers se basan en transistores para hacer su labor...

Además, debes tener en cuenta que la placa Arduino y su microcontrolador no es capaz de alimentar el movimiento del motor.

Simplemente está diseñado para señales digitales, pero no funcionaría bien cuando se debe suministrar algo más de potencia como la que demandan este tipo de motores. Por eso se tiene que tener este elemento entre la placa Arduino y los motores.

c) Microcontrolador

Un microcontrolador es un circuito integrado programable capaz de ejecutar un programa previamente diseñado, verificado y compilado que se encuentra almacenado en su memoria. Están compuestos de varios bloques funcionales, que cumplen una tarea específica. Algunos de estos bloques son:

- ❖ **CPU:** es la unidad central de proceso que interpreta las instrucciones de un programa informático mediante la realización de las operaciones básicas aritméticas, lógicas y de entrada/salida del sistema.
- ❖ **Memorias (RAM y Flash):** La memoria RAM está destinada al almacenamiento de información temporal que será utilizada por el procesador para realizar cálculos u otro tipo de operaciones lógicas.

Mientras que la memoria flash permite la lectura y escritura de múltiples posiciones de memoria en la misma operación. Gracias a ello, la tecnología flash, mediante impulsos eléctricos, permite velocidades de funcionamiento muy elevadas.

Periféricos: Se considera periférico al conjunto de dispositivos que sin pertenecer al núcleo fundamental de la computadora, formado por la unidad central de procesamiento (CPU) y la memoria central, permitan realizar operaciones de entrada/salida (E/S) complementarias al proceso de datos que realiza la CPU.

Estas tres unidades básicas en un computador, CPU, memoria central y el subsistema de E/S, están comunicadas entre sí por tres buses o canales de comunicación:

- ❖ Direcciones, para seleccionar la dirección del dato o del periférico al que se quiere acceder.
- ❖ Control, básicamente para seleccionar la operación a realizar sobre el dato (principalmente lectura, escritura o modificación).
- ❖ Datos, por donde circulan los datos.

Un microcontrolador tiene los mismos bloques de funcionamiento básicos de una computadora lo que nos permite tratarlo como un pequeño dispositivo de cómputo.

Por tanto, su función es la de núcleo central del sistema, ya que es responsable de almacenar y ejecutar el programa que configura los drivers para el movimiento del motor y además recibe señales externas que informan del estado del sistema.

3.1.2 Control y movimiento de los motores

Como se ha comentado en el apartado anterior el movimiento de los motores paso a paso se realiza a través de un driver, que configura los impulsos eléctricos (señal PWM) que excitan las bobinas del motor, estos impulsos se generan usando la técnica del microstepping que nos permite conseguir pasos inferiores al paso nominal del motor paso a paso que vas a usar. Es decir, dividir el giro en más porciones para poder avanzar más lentamente o de forma más precisa. Para ello se hace variar la corriente aplicada a cada bobina emulando un valor analógico con las señales digitales de las que se dispone.

Si se consiguen unas señales analógicas senoidales perfectas y desfasadas 90° entre sí, se conseguiría la rotación deseada.

Pero claro, no se puede conseguir esa señal analógica, porque trabajamos con señales digitales.

Por eso se debe tratar estas para intentar simular la señal analógica mediante pequeños saltos de la señal eléctrica. De ello dependerá la resolución del motor.

- **Full-Step:** Existe dos modos, en el primer modo el motor funciona con solo una fase energizada a la vez. Este modo requiere la menor cantidad de energía del controlador de cualquiera de los modos de excitación. Mientras en el segundo modo el motor funciona con ambas fases energizadas al mismo tiempo. Este modo proporciona un rendimiento de par y velocidad mejorado. La excitación de dos fases proporciona entre un 30 % y un 40 % más de torque que la excitación de una fase, sin embargo, requiere el doble de potencia del controlador.

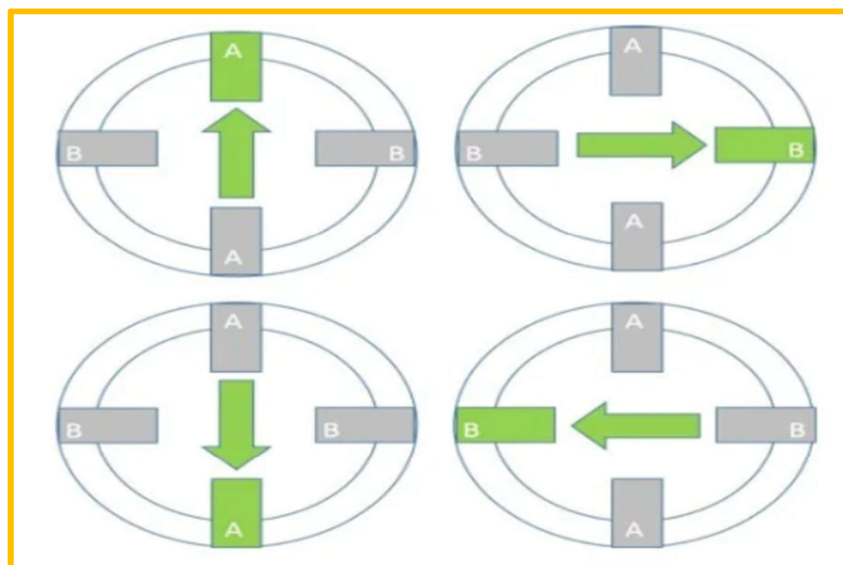


Figura 8. Primer modo de excitación en full-step

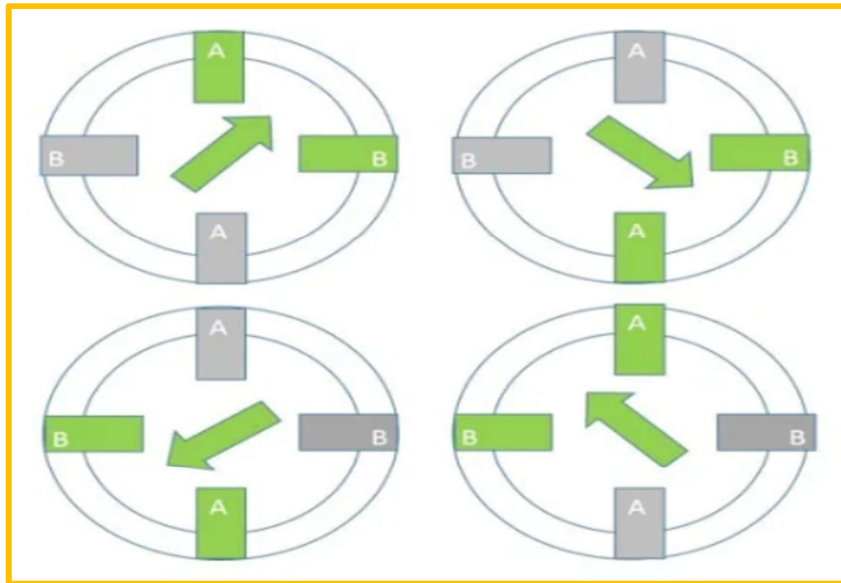


Figura 9. Segundo modo de excitación en full-step

- Half-Step: El modo de excitación de medio paso es una combinación de modos de paso completo de una fase y dos fases. Esto da como resultado la mitad del ángulo de paso básico. Este ángulo de paso más pequeño proporciona una operación más suave debido a la mayor resolución del ángulo. Este modo produce alrededor de un 15 % menos de par que dos fases en paso completo; sin embargo, el medio paso modificado elimina la disminución del par al aumentar la corriente aplicada al motor cuando se energiza una sola fase.

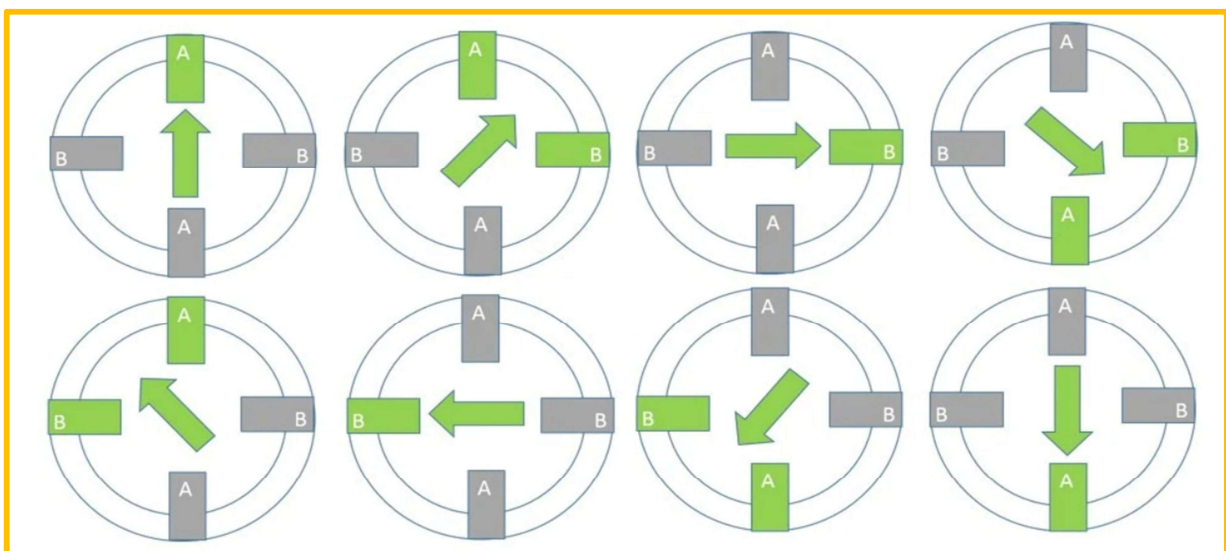


Figura 10. Modo de excitación en half-step

- Micro-Stepping: Con este modo se puede dividir el paso básico de un motor hasta 256 veces, lo que hace que los pasos pequeños sean más pequeños. Un accionamiento Micro

utiliza dos ondas sinusoidales de corriente con una separación de 90° , lo que es perfecto para permitir un funcionamiento suave del motor. Notará que el motor funciona silenciosamente y sin una acción de paso real detectable.

Al controlar la dirección y la amplitud del flujo de corriente en cada devanado, la resolución aumenta y las características del motor mejoran, dando menos vibración y una operación más suave. Debido a que las ondas sinusoidales trabajan juntas, existe una transición suave de un devanado al otro. Cuando la corriente aumenta en uno, disminuye en el otro, lo que da como resultado una progresión de pasos suave y una salida de par mantenida.

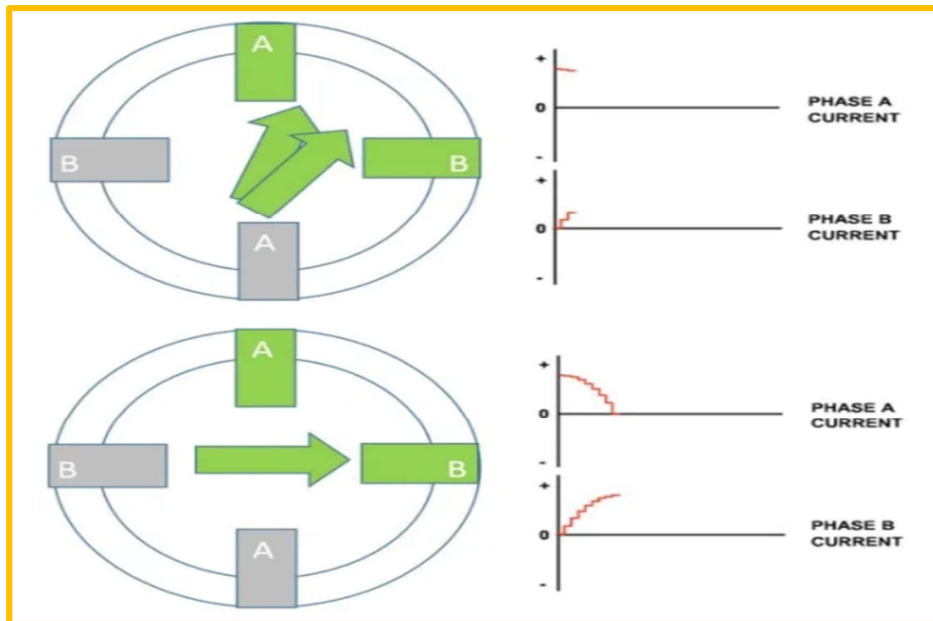


Figura 11. Modo de excitación en micro-stepping

Sin embargo, Cuando se utilice el motor en modo de micropasos, se debe prestar la atención a los requisitos de velocidad de la aplicación. Porque la reactancia inductiva de la bobina aumenta con la frecuencia de conmutación de la corriente en los devanados del motor. Una velocidad de rotación más alta requiere una conmutación más frecuente y, por lo tanto, una mayor frecuencia de conmutación de bobinado. Esto da como resultado un aumento en la impedancia de la bobina y, por lo tanto, una disminución en la corriente promedio que fluye a través de los devanados. No deja de tener importancia para el funcionamiento del motor: a medida que disminuye la corriente que fluye a través de los devanados, el par también disminuye, lo que puede provocar una oscilación, detener el rotor o perder carreras en el motor y, por lo tanto, en el elemento accionado de la máquina. Por lo tanto, cuando utilice el motor en el modo de micropasos, debe prestar especial atención a su tarjeta de catálogo, que debe incluir un gráfico que muestre el valor del par en función de la frecuencia de la corriente que fluye a través de la bobina.

Algunos de los parámetros característicos de los motores PAP a tener en cuenta son:

- **Angulo de paso:** ángulo de giro del eje del motor para pasar de una posición estable a otra.
- **Número de pasos por vuelta:** número total de pasos que debe realizar el motor para que su eje de una vuelta completa.

$$N^{\circ} \text{ de pasos} = \frac{360}{\text{Angulo de paso}}$$

- **Precisión de paso (step accuracy):** hace referencia al error de posición que puede tener el motor entre la posición real alcanzada y la posición teórica requerida. Se trata de un valor constante.
- **Par de mantenimiento (holding torque):** par resistente que ejerce un motor detenido en una posición estable, sin energizar los devanados.
- **Par de retención (detent torque):** cantidad de torsión necesaria para mover el motor un paso completo cuando los devanados están energizados pero el rotor está parado.

3.1.3 Transmisores del movimiento

En la mayoría de las máquinas se producen transmisiones y transformaciones del movimiento. De la generación del movimiento se encargan los llamados elementos motrices. Por lo general los elementos motrices suelen producir movimientos circulares, que posteriormente deben convertirse en lineales o a veces alternativos. Cómo el motor genera en su eje un movimiento circular, se producirá en un par motor.

Además casi la totalidad de las máquinas que empleamos en la actualidad utilizan algún sistema de transmisión del movimiento, que transforman o transmiten el movimiento. La transmisión, en la mayoría de los casos, suele ir acompañada de un aumento o reducción del número de revoluciones. Con ello se adapta la velocidad de giro de los motores eléctricos.

a) Transmisión mediante poleas y correas

Se denomina polea a la rueda que se utiliza en las transmisiones por medio de correa, y correa a la cinta o cuerda flexible unida a sus extremos que sirve para transmitir el movimiento de giro entre una rueda y otra.

Una transmisión por correa consta, al menos, de dos poleas y una correa. Este tipo de transmisión se emplea más que las ruedas, ya que tiene una mayor superficie de fricción y puede transmitir mayores esfuerzos. Para que el rendimiento sea óptimo, las correas deben estar tensadas adecuadamente, ejerciendo la fuerza axial adecuada.

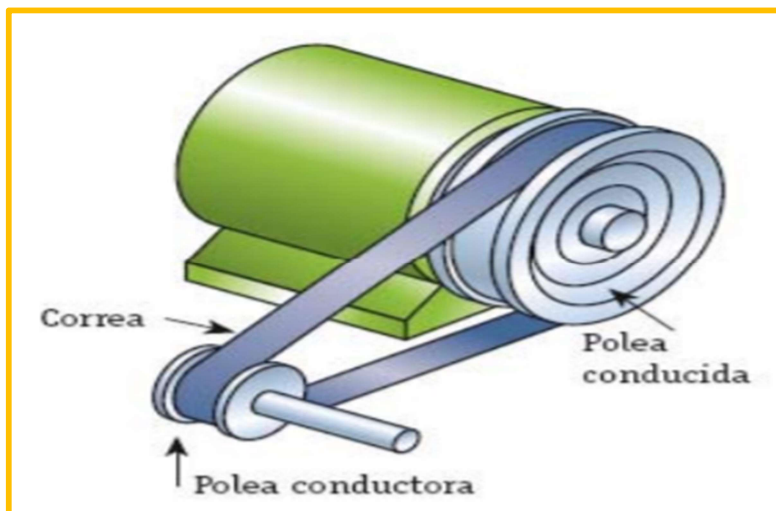


Figura 12. Primer tipo de transmisión por correa

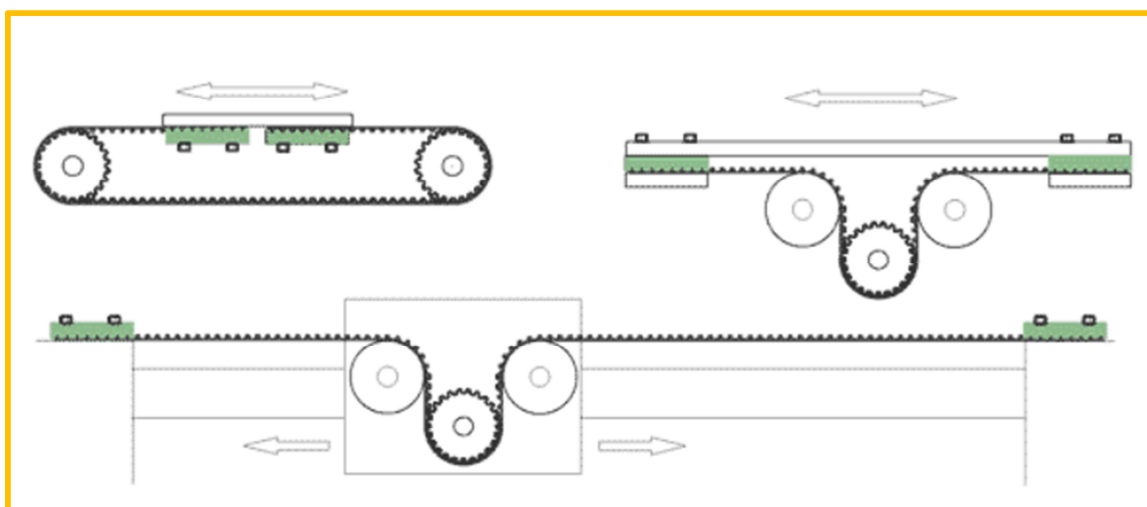


Figura 13. Segundo tipo de transmisión por correa

b) Transmisión por ruedas de fricción

Consiste en transmitir el movimiento entre dos ruedas gracias a la fuerza de rozamiento. Para ello, las zonas de contacto deben estar fabricadas de un material con alto coeficiente de rozamiento, con objeto de evitar que deslicen o patinen.

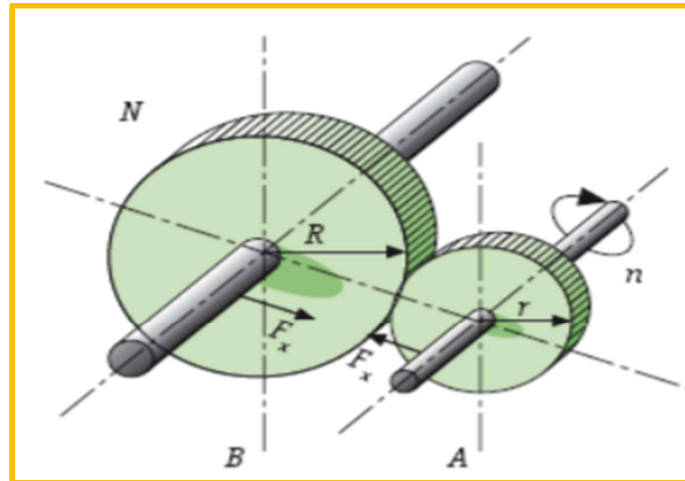


Figura 14. Transmisión por ruedas

La transmisión del movimiento por fricción se puede realizar de dos maneras, dependiendo de la separación de los árboles o ejes entre los que se quiere transmitir el movimiento. Para separaciones pequeñas, se emplean ruedas de fricción exteriores, interiores y cónicas, mientras que para grandes separaciones se emplean correas trapezoidales, planas y redondas.

Para seleccionar la resolución que queremos se debe controlar los pines M0, M1 y M2 del módulo.

c) Transmisión por engranajes

Se emplean cuando hay que transmitir grandes esfuerzos o se desea que la relación de transmisión se mantenga siempre constante. Consta de dos ruedas a las que se les han tallado una serie de dientes. Al igual que ocurría con las ruedas de fricción, al engranaje conductor se le conoce con el nombre de piñón y al conducido como rueda.

Un par de engranajes, a efectos teóricos y de cálculo, se pueden considerar como dos ruedas de fricción exteriores cuyos diámetros coinciden con los primitivos de los engranajes.

Los engranajes se pueden usar para transmitir el movimiento entre árboles: paralelos, perpendiculares y árboles que se cruzan.

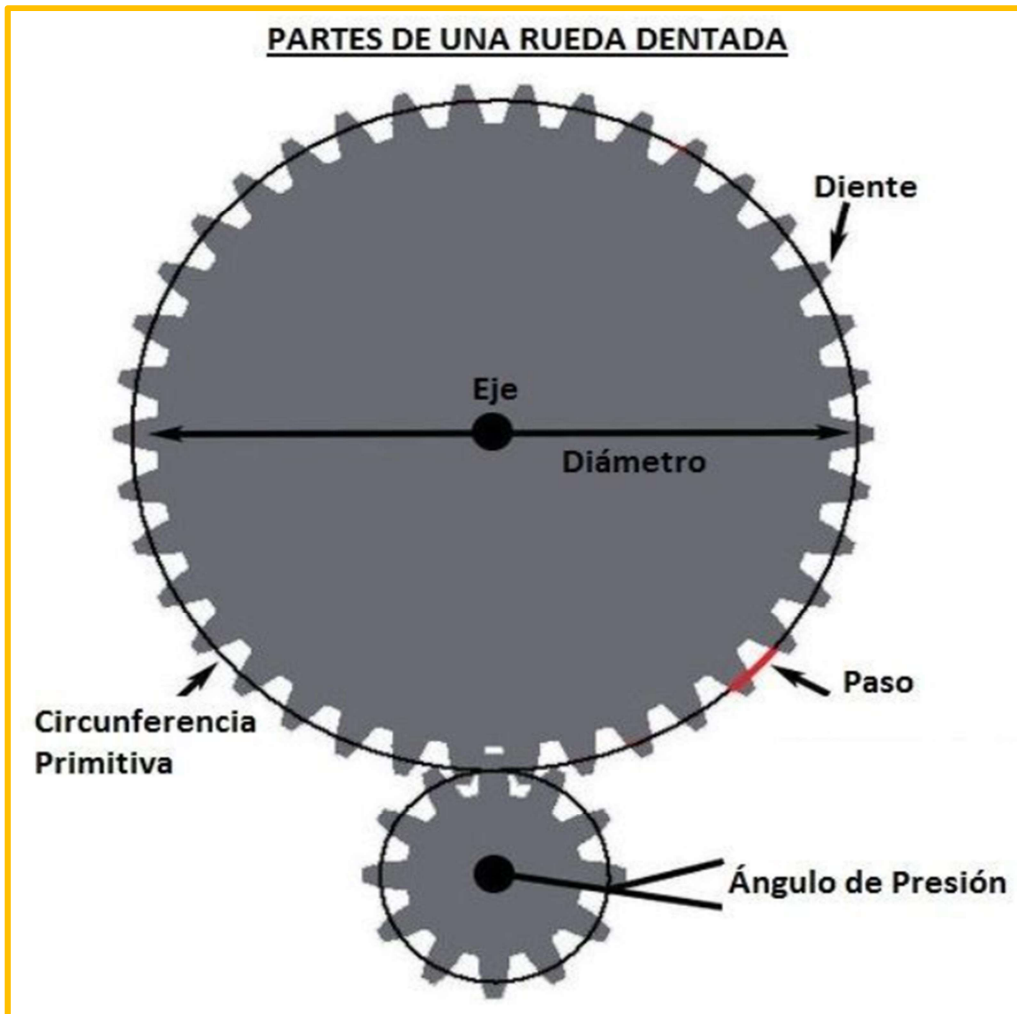


Figura 15. Transmisión por engranajes

d) Transmisiones por tornillo sin fin – corona

Es un mecanismo diseñado para transmitir grandes esfuerzos, y como reductores de velocidad aumentando la potencia de transmisión. Generalmente trabajan en ejes que se cruzan a 90°.

Tiene la desventaja de no ser reversible el sentido de giro, sobre todo en grandes relaciones de transmisión y de consumir en rozamiento una parte importante de la potencia. En las construcciones de mayor calidad la corona está fabricada de bronce y el tornillo sin fin, de acero templado con el fin de reducir el rozamiento. Este mecanismo si transmite grandes esfuerzos es necesario que esté muy bien lubricado para matizar los desgastes por fricción.

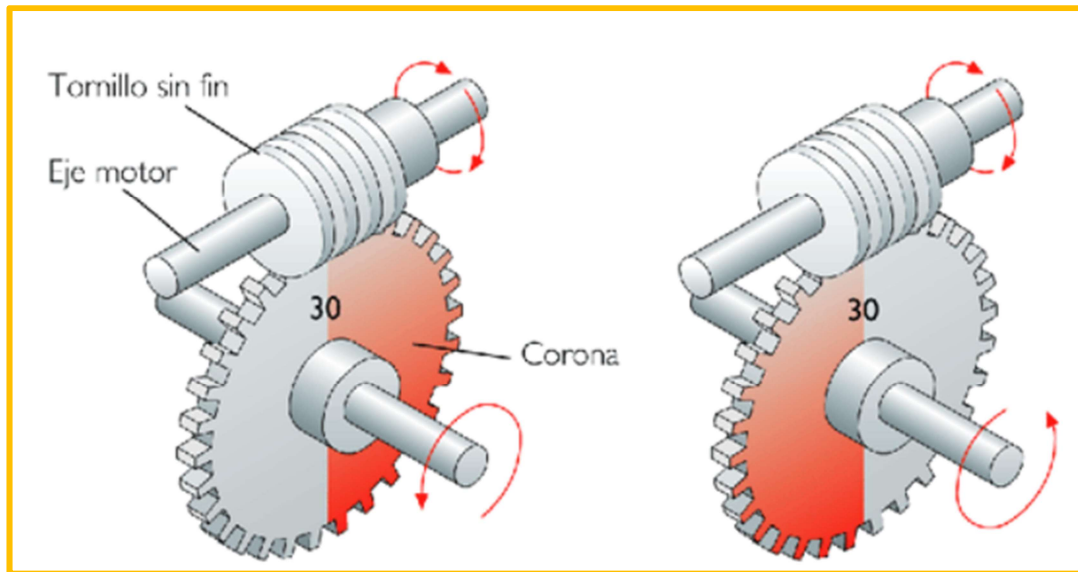


Figura 16. Transmisión por tornillo sin fin

e) Piñón-cremallera

Se trata de un engranaje normal (piñón) que engrana con otro cuyo radio es infinito (cremallera). Los dientes de la cremallera son trapezoidales. El movimiento circular del piñón se transforma en movimiento lineal de la cremallera (avance). El movimiento de un diente del piñón se corresponde con un paso de la cremallera. El desplazamiento de la cremallera equivale a tantos pasos como dientes mueva el piñón.



Figura 17. Transmisión por piñón-cremallera

El funcionamiento de este sistema es reversible. Dependiendo de cuál sea la rueda conductora y de que estén fijos o móviles, tendremos:

- El piñón gira y la cremallera está fija; entonces el piñón se desplaza. Es el sistema que tienen los tornos (máquinas herramientas) para desplazar el carro longitudinalmente de manera manual.
- El piñón gira sin desplazarse; entonces la cremallera se desplaza. Se emplea en multitud de aplicaciones, como por ejemplo taladradoras de columna, dirección de vehículos y puertas de garaje automáticas.



Figura 18. Ejemplo de dirección de vehículos

4. Diseño del sistema

El sistema a tratar está constituido por tres mecanismos de transmisión, que permiten el desplazamiento longitudinal y transversal de la herramienta Láser. Para nuestro proyecto, el diseño de la máquina se ha llevado a cabo mediante el software CATIA.

4.1 Base

La base de la estructura principal del sistema está compuesta a partir de perfil de aluminio V-Slot 2020. La cuál irá ensamblada utilizando soporte de esquina con alojamiento para tornillo de métrica 4.

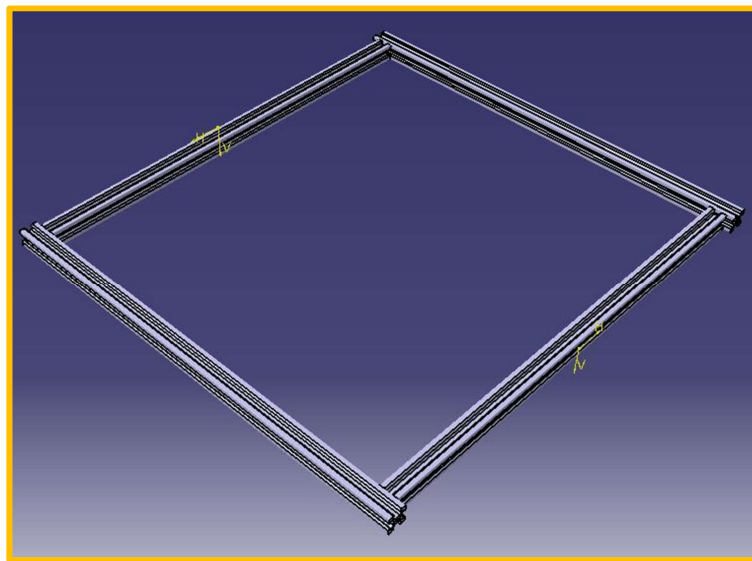


Figura 19. Base de perfiles

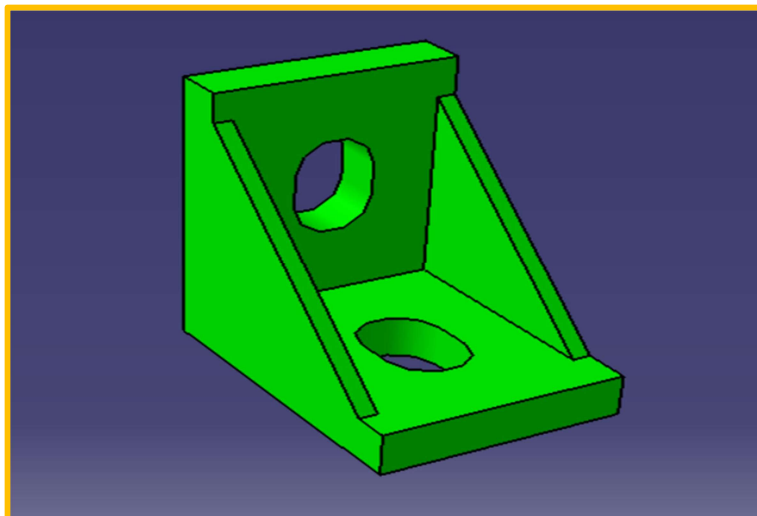


Figura 20. Soporte de esquina

4.2 Soporte de la base

Una vez diseñada la base de nuestra máquina, se ha procedido al diseño de los soportes en las esquinas para obtener una distancia entre el suelo y la base con el objetivo de facilitar la transmisión del movimiento a lo largo del perfil de aluminio.

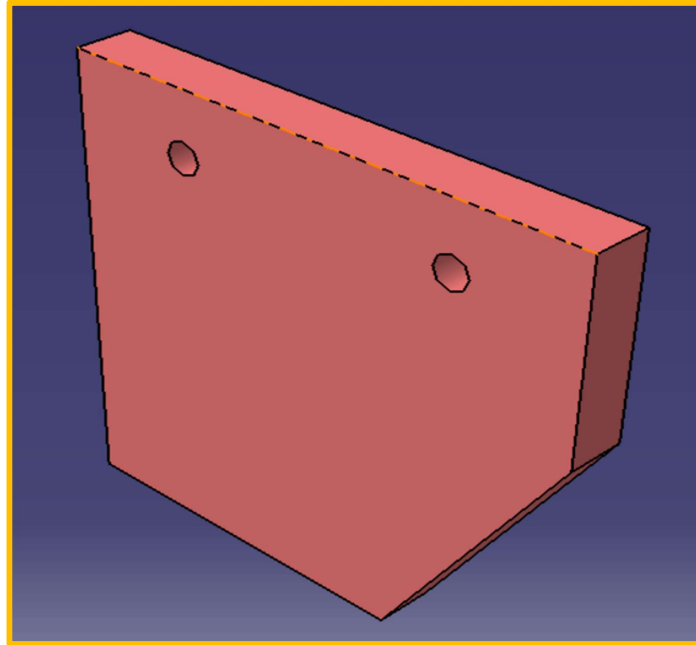


Figura 21. Soporte de la base

4.3 Soporte de motor y mecanismo de transmisión

Hemos seguido el diseño que mejor se ajusta a nuestra máquina, ya que en el soporte se acopla el motor paso a paso y también se monta el perfil de aluminio del eje X, además en el mismo se han integrado las guías de la polea y las ruedas sobre las cuales pasa la correa.

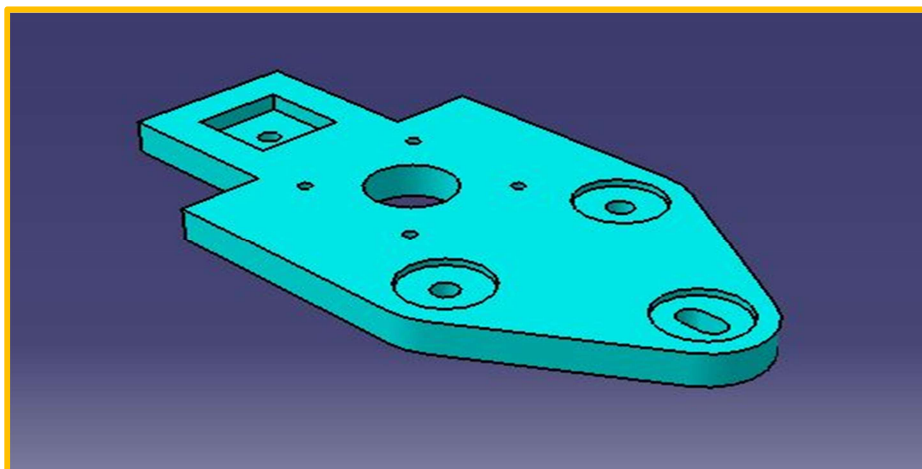


Figura 22. Primer soporte de motor

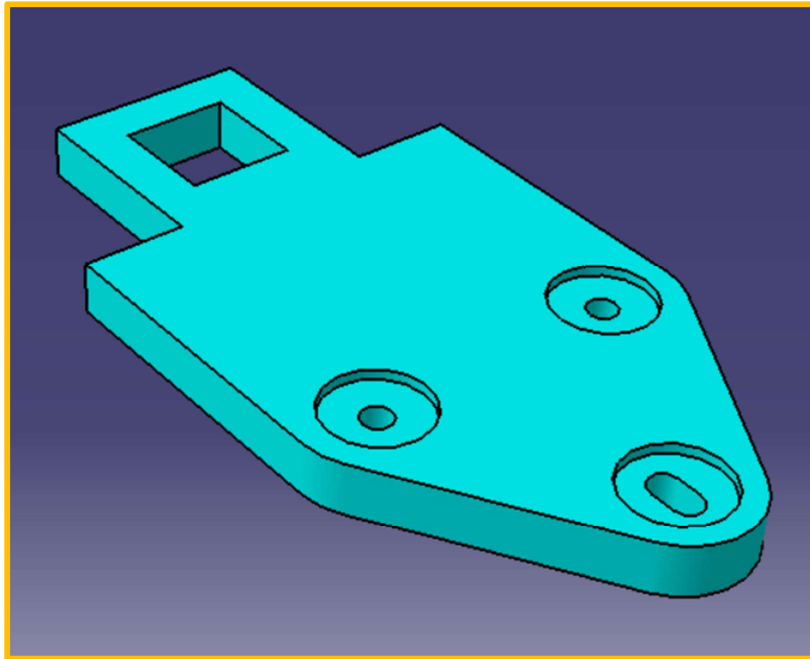


Figura 23. Segundo Soporte

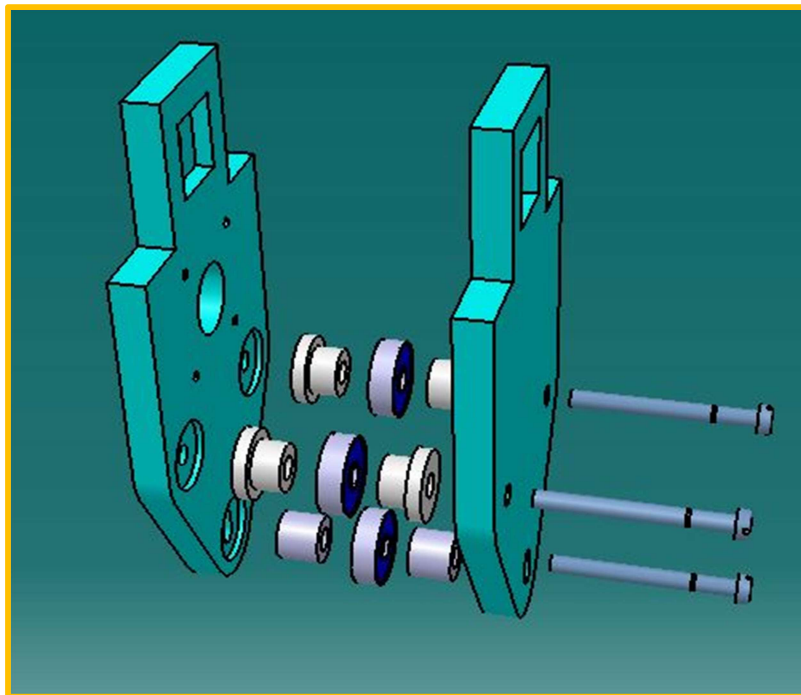


Figura 24. Montaje de mecanismo de transmisión

Como podemos ver, se ha creado dos soportes, en el que se lleva a cabo todo el mecanismo del movimiento. En la figura anterior vemos la posición de cada elemento (separadores, ruedas, tornillos...), de esta manera seguimos que la unión sea robusta y nos aseguramos la estabilidad a la hora de accionar el motor.

4.4 Soporte del módulo láser

Esta parte se ha diseñado con el fin de fijar el modulo láser en su alojamiento utilizando dos tornillos M5 y M3.

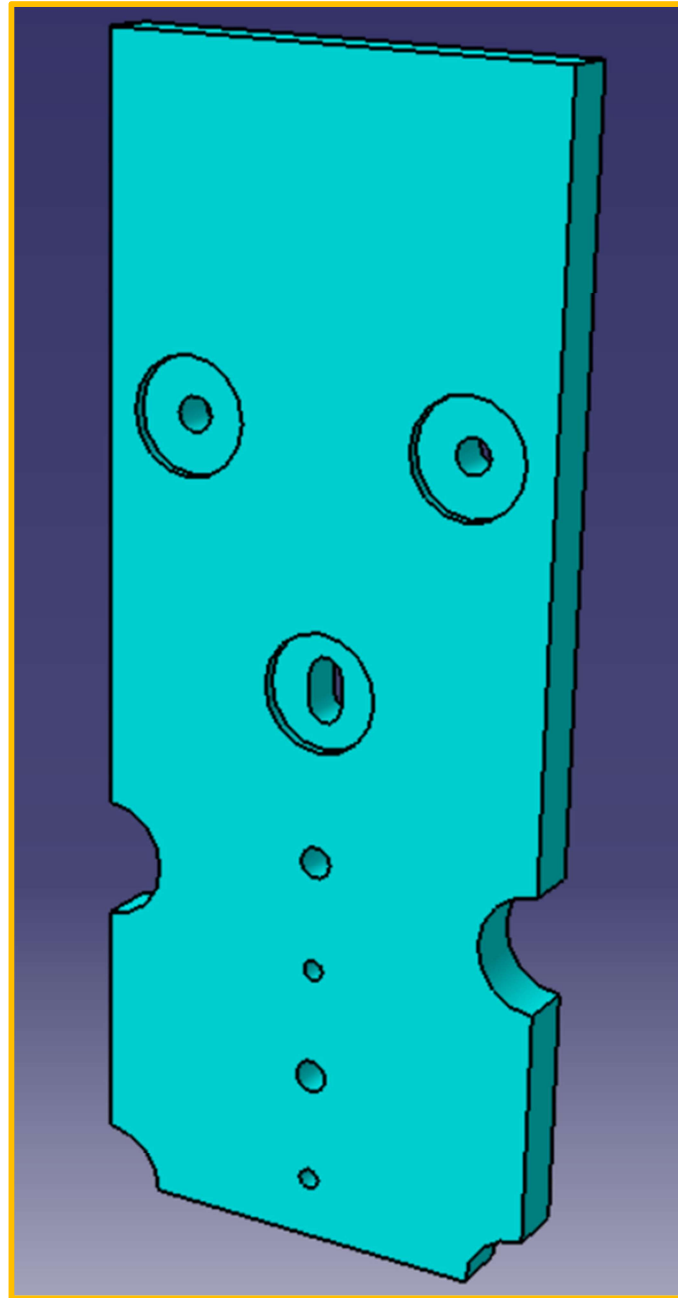


Figura 25. Soporte del módulo láser

4.5 Ejes

Las guías de desplazamiento para los dos ejes X y Y están compuestas por:

- Motores paso a paso de tipo Nema 17



Figura 26. Diseño del motor de tipo Nema 17

- Poleas

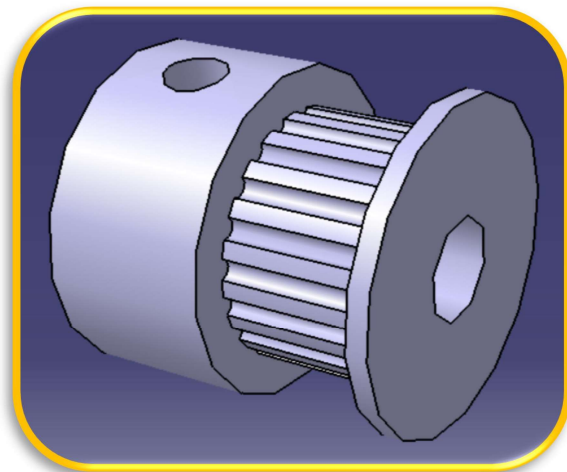


Figura 27. Diseño de la polea

- Correa GT2

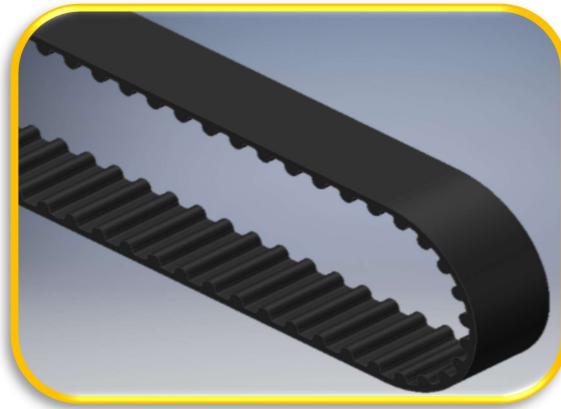


Figura 28. Diseño de la correa GT2

- Ruedas

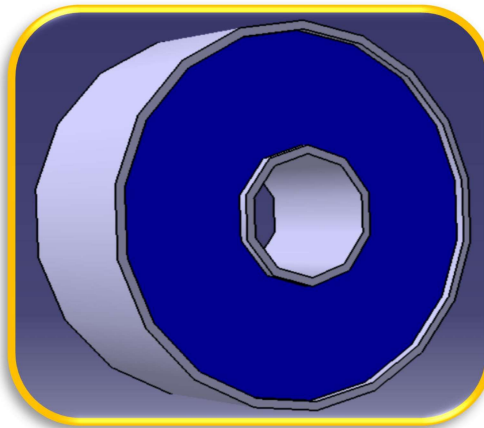


Figura 29. Diseño de la rueda

- Separadores

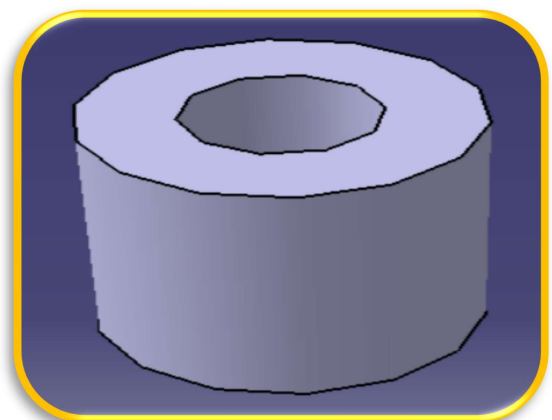
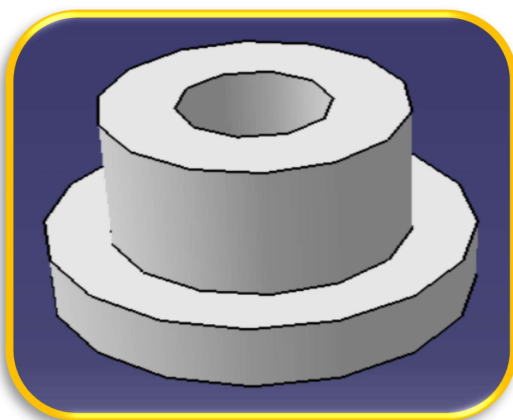


Figura 30. Separador de arriba y abajo

- Tornillos

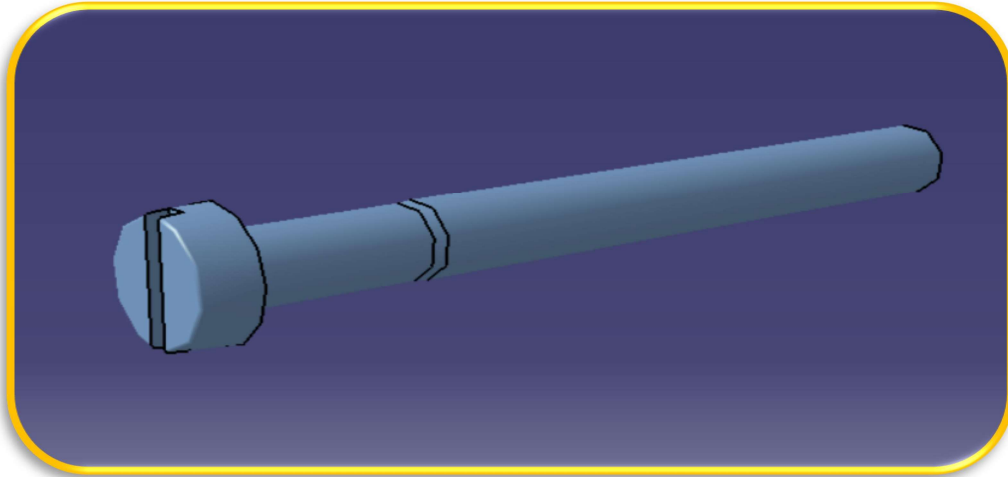


Figura 31. Tornillo M5

4.6 Ensamblaje de la máquina CNC

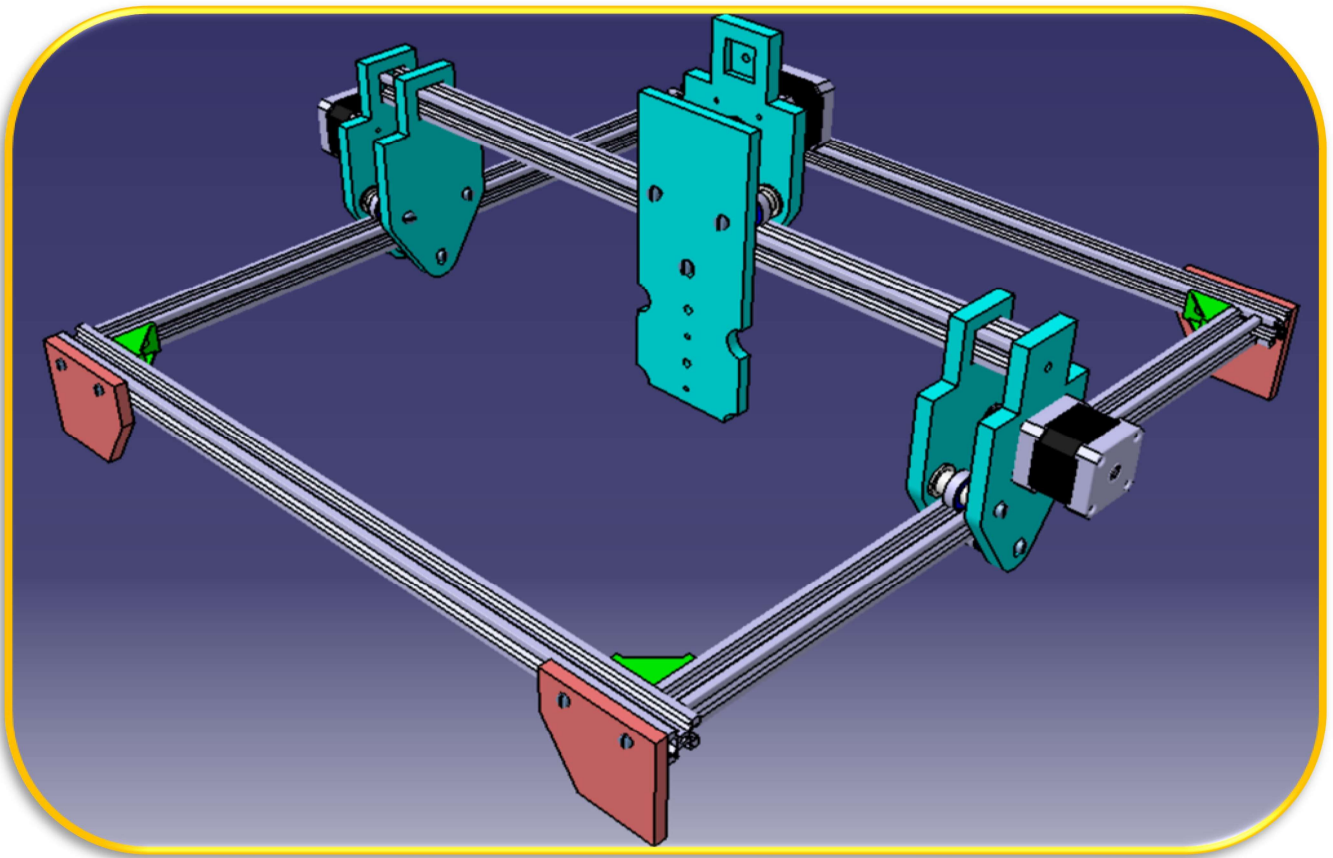


Figura 32. Vista isométrica

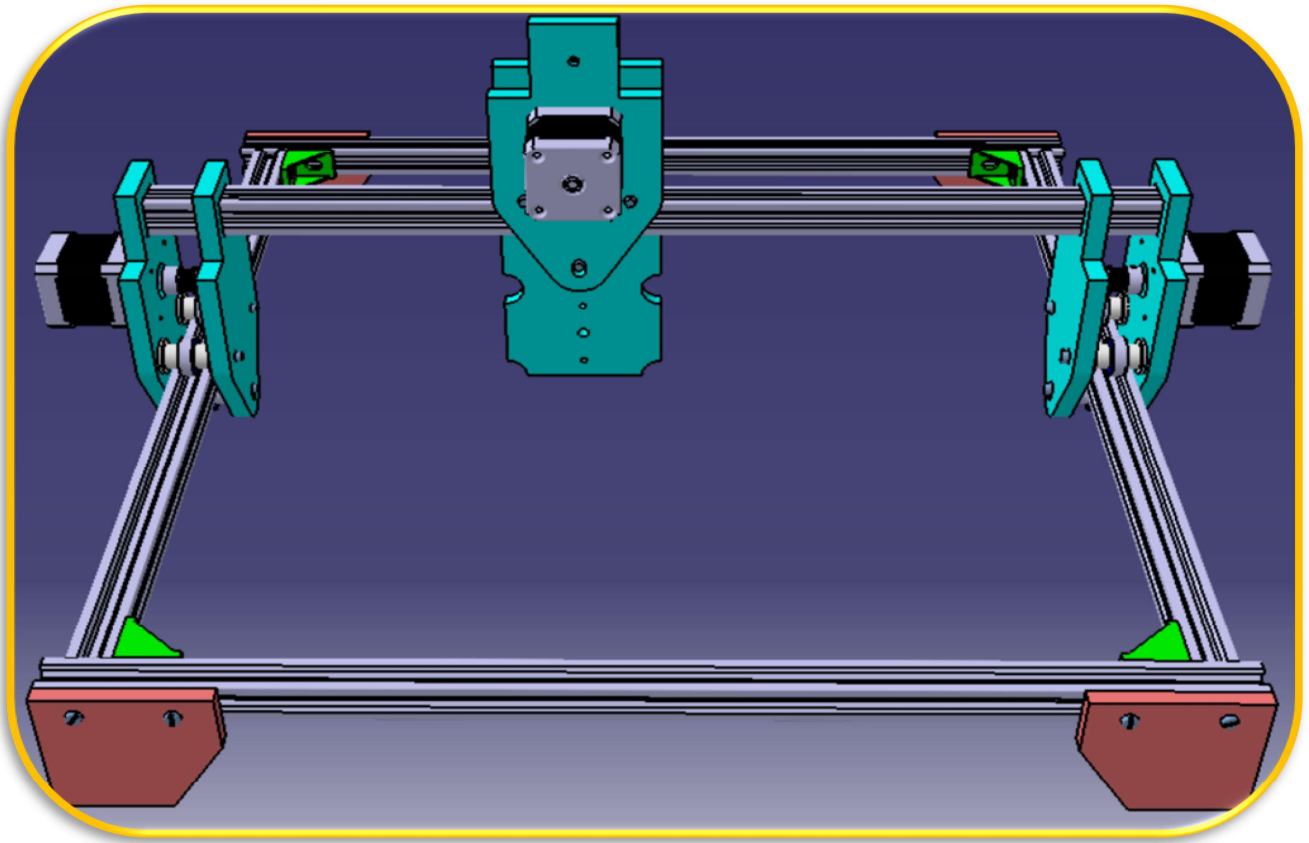


Figura 33. Vista trasera

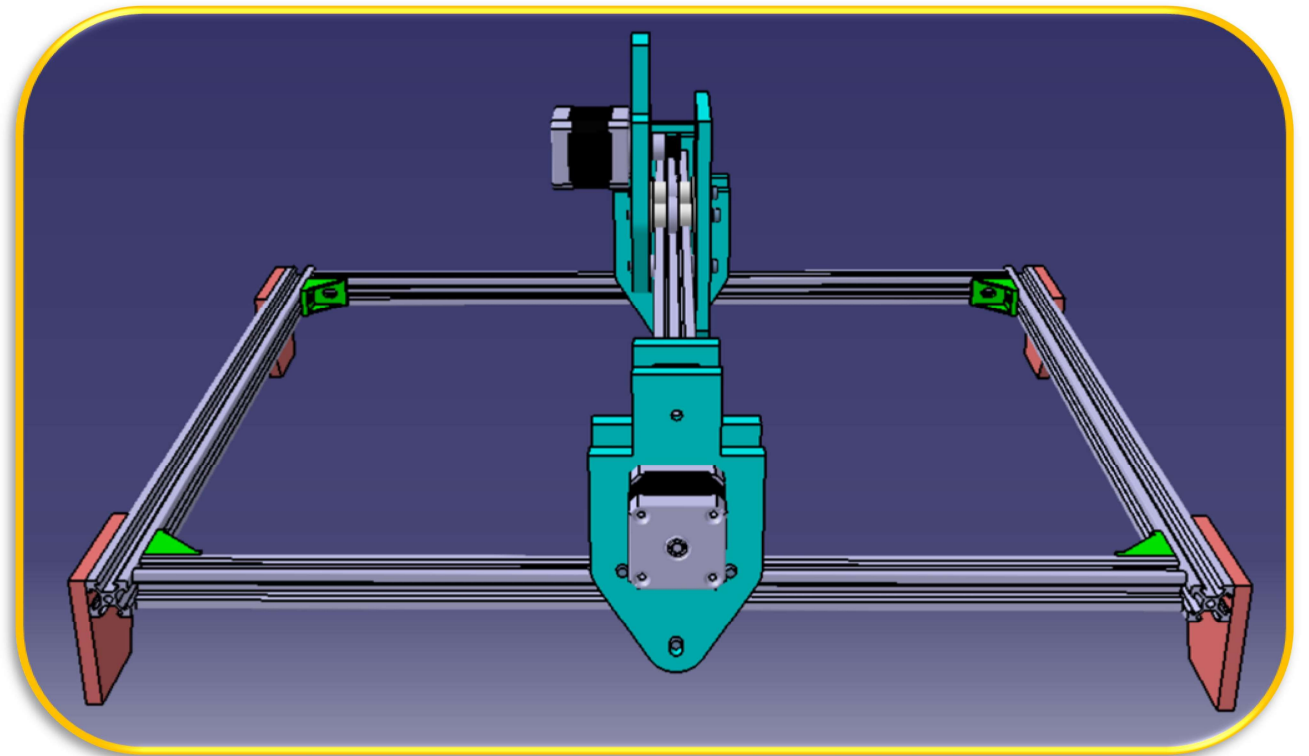


Figura 34. Vista izquierda

5. Montaje del sistema

En continuación se va detallar al máximo el montaje usando las fotos para describir cada fase durante el proceso del montaje.

5.1 Eje Y

El eje Y consta de dos lados que se montan exactamente igual, así que se va haciendo el trabajo por duplicado. Primero, se ha comenzado atornillando una polea de tipo GT2 20 dientes en cada motor asegurando que se ha fijado.

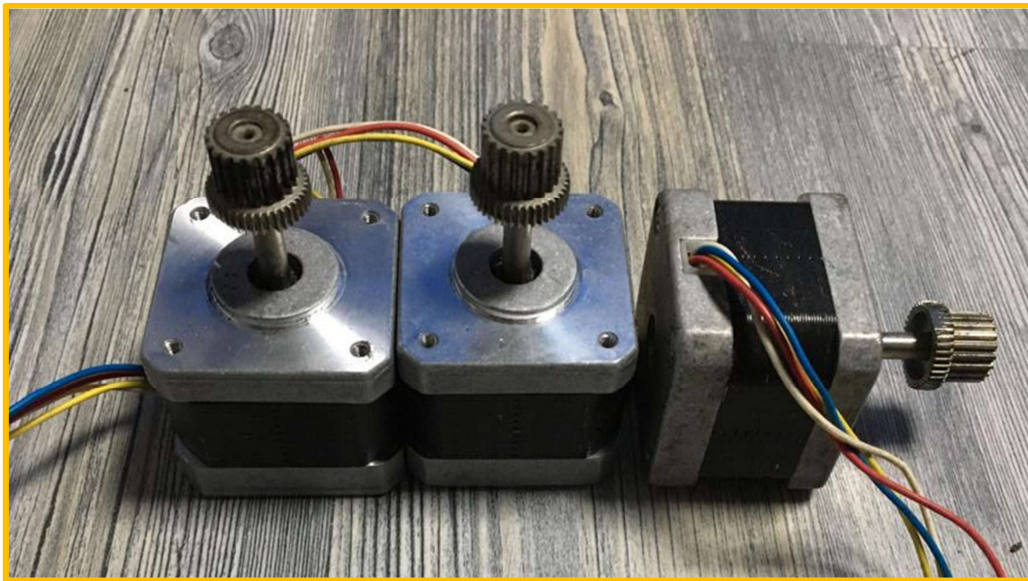


Figura 35. Motores paso a paso NEMA17

Una vez puesta la polea, atornillamos el motor a la pieza que los soporta con 4 tornillos M3x10.



Figura 36. Ensamblaje soporte y motor

El siguiente paso ha sido colocar los separadores cada uno en su posición adecuada.



Figura 37. Separadores



Figura 38. Colocación de los separadores en la pieza del soporte

En continuación, se ha puesto 3 tornillos M5x60 en cada agujero pasando por los tres separadores. Luego se ha añadido una rueda en cada tornillo, 3 en total, y justo después de la rueda se ha colocado otro separador.



Figura 39. Tornillo M5x60



Figura 40. Las ruedas

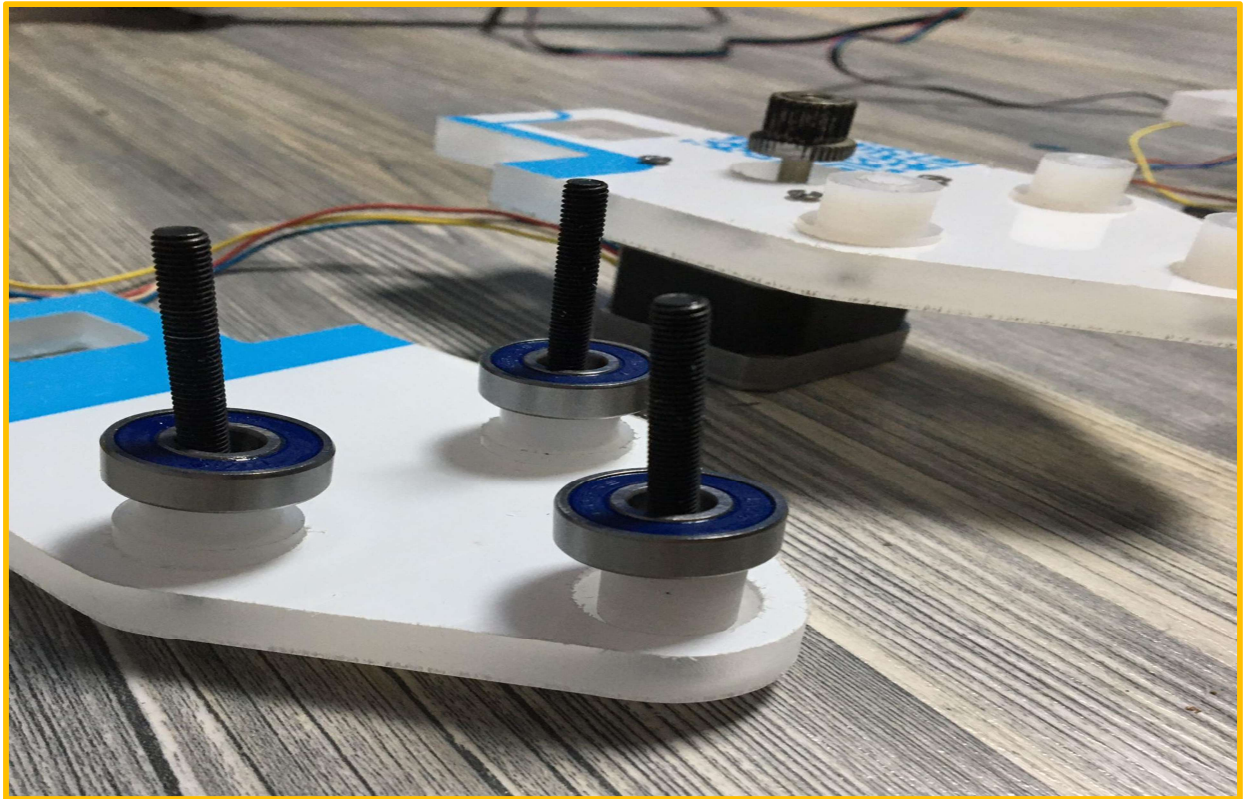


Figura 41. Colocación de tornillos y ruedas en la pieza del soporte

Posteriormente, se ha colocado la otra pieza de soporte añadiendo una o dos arandelas por tornillo y también una tuerca autoblocante por tornillo, apretar lo justo para que las ruedas corran con libertad y que la estructura se firme.

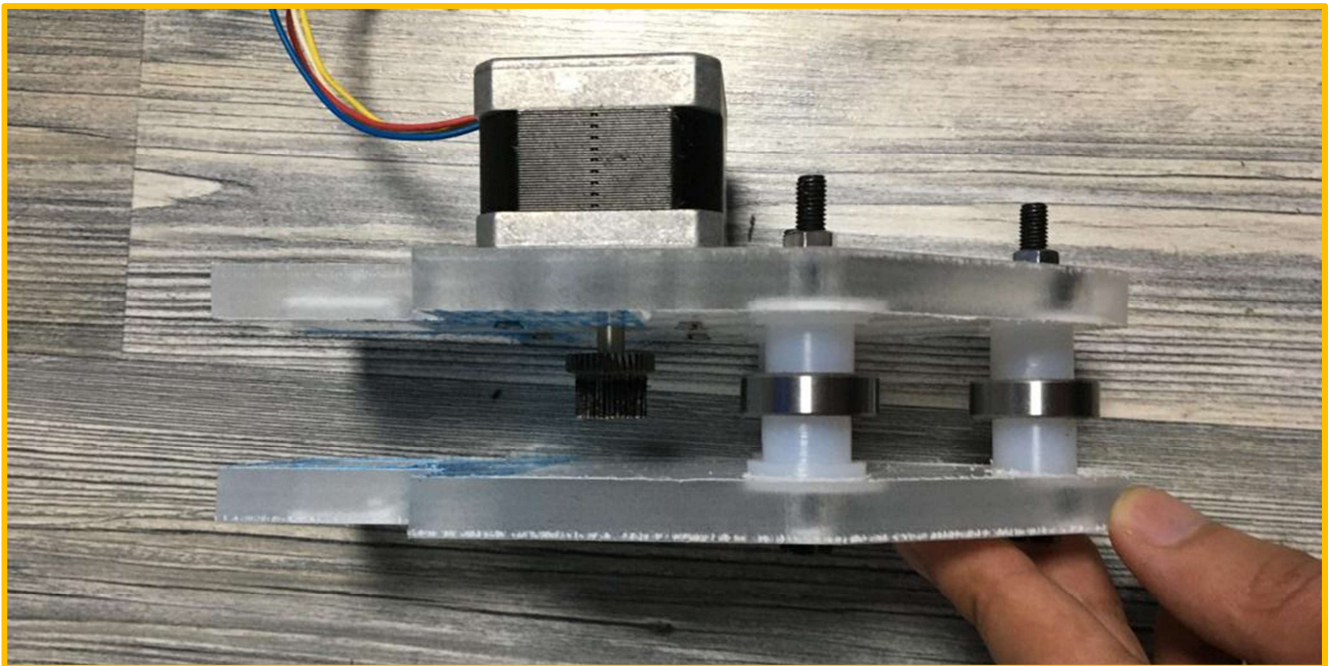


Figura 42. El montaje completo de las piezas del soporte con el motor

5.2 Eje X

Se ha seguido los mismos pasos del eje Y para montar las piezas del soporte en el eje X menos el otro lado del soporte, que se ha puesto en su lugar el soporte del módulo láser.



Figura 43. Soporte del módulo láser

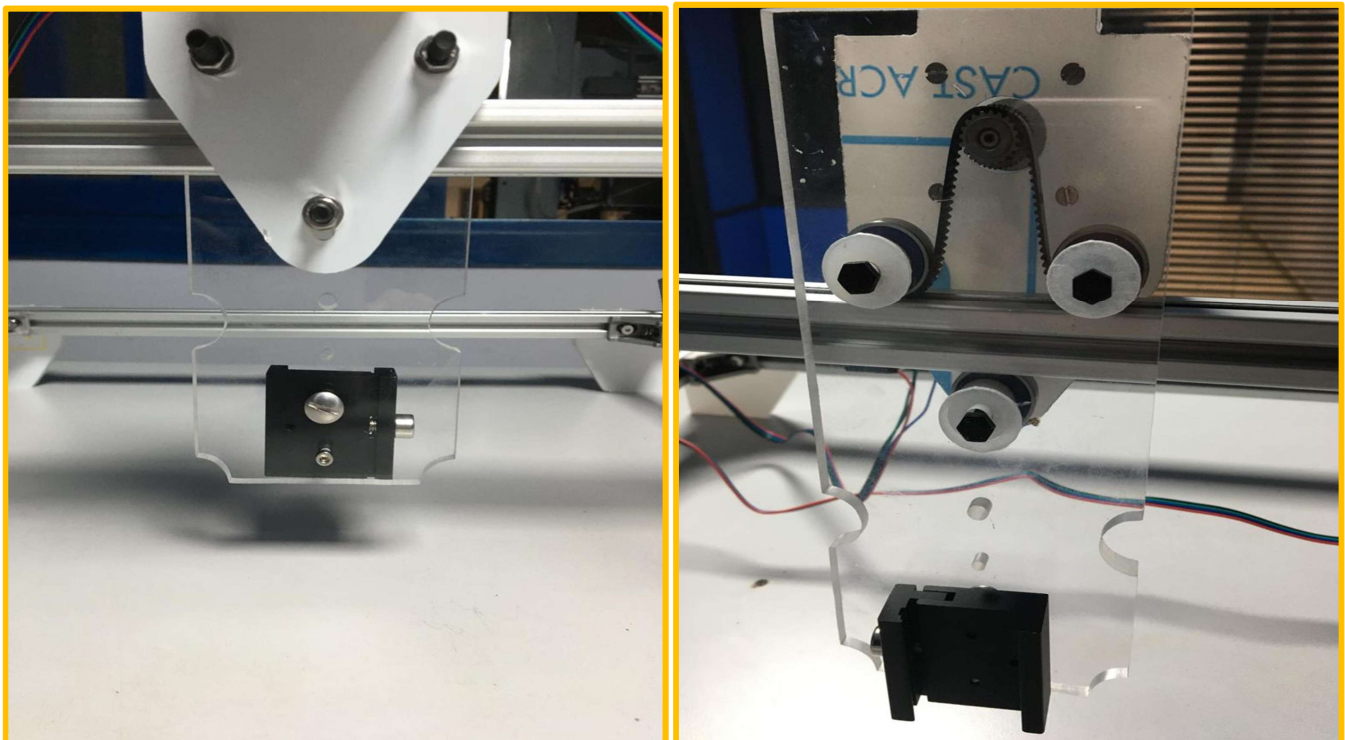


Figura 44. El montaje completo del soporte del módulo láser

Para hacer la unión entre los dos ejes, ha sido necesario roscar dos agujeros en los dos lados del perfil del aluminio en el eje X con el objetivo de apretar el eje X con el eje Y el máximo posible.

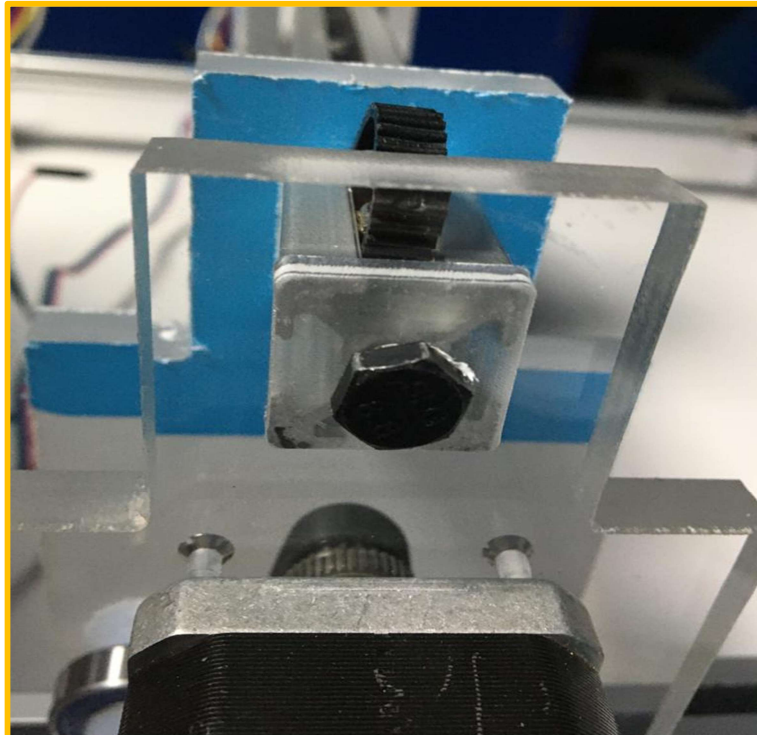


Figura 45. La unión entre el eje Y y X

5.3 Montaje de la correa

Para el mecanismo de transmisión, se ha usado 3 fragmentos de correa GT2 de unos 50 cm de largo o más para que tengamos donde agarrar a la hora de tensar la propia correa.

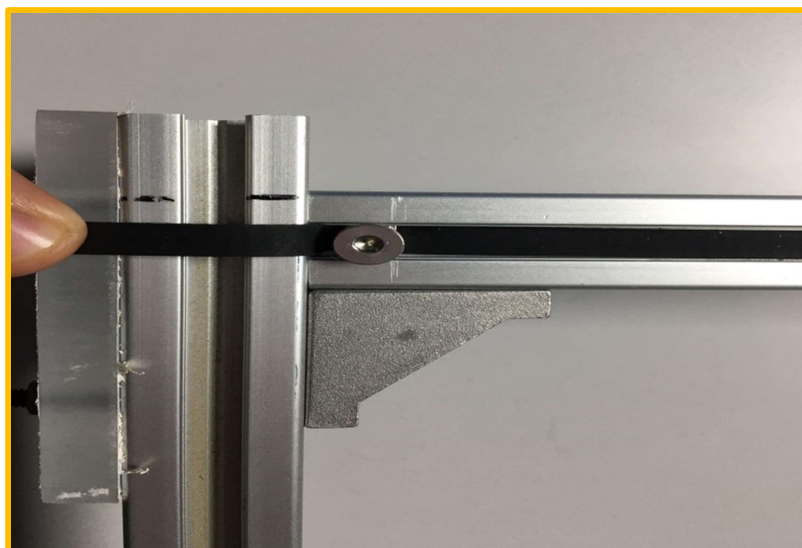


Figura 46. Anclaje de la correa en el extremo del eje Y

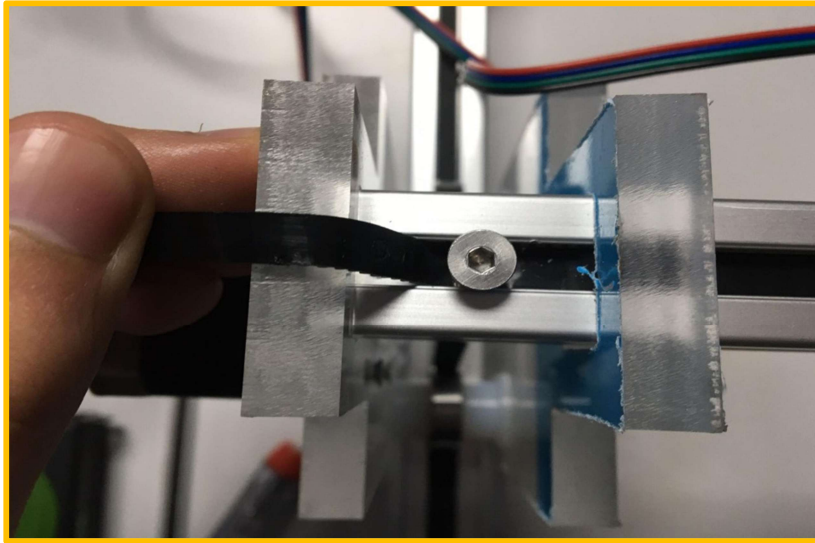


Figura 47. Anclaje de la correa en el extremo del eje X

Por eso ha sido necesario anclar la correa a uno de los extremos del eje, y con el otro extremo de la correa se ha seguido el siguiente camino, pasando por debajo de la primera rueda, subiendo y pasando por encima de la polea (asegurando de que los dientes de la correa estén orientados a los dientes de la polea) y pasando por debajo de la segunda rueda, al final de este camino se ha tensado la correa con la mano y estando tensa se ha apretado el tornillo en el otro extremo del eje.

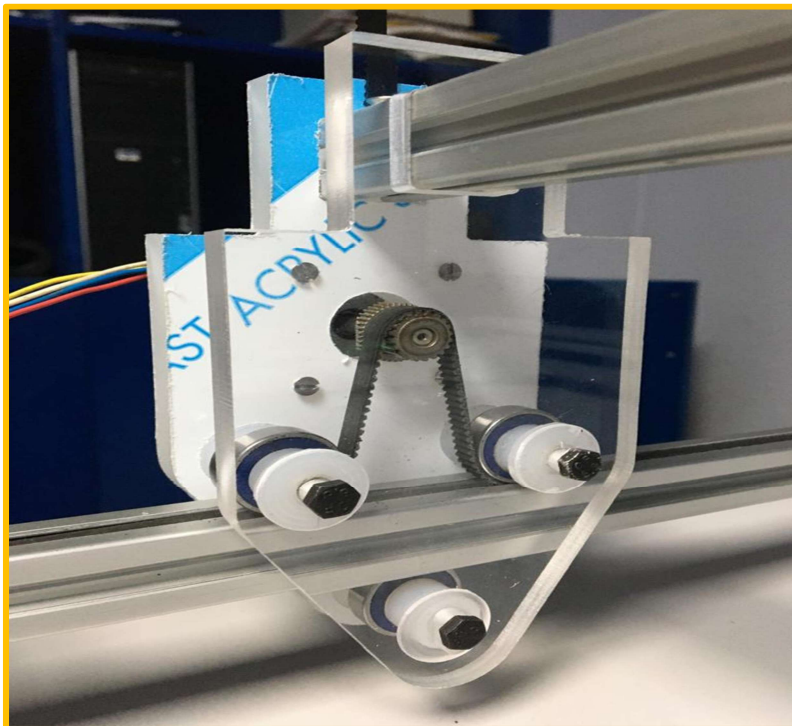


Figura 48. Camino de la correa entre las ruedas y la polea

5.4 Base de la estructura

Después de finalizar el montaje de los ejes, ha sido importante preparar la base por eso se ha añadido dos perfiles de aluminio más para cerrar la estructura, con el objetivo de unir los dos ejes de transmisión, con los perfiles de aluminio se ha colocado unos esquinas de aluminio de tamaño 20x28 mm en cada esquina.



Figura 49. Esquina de aluminio 2028

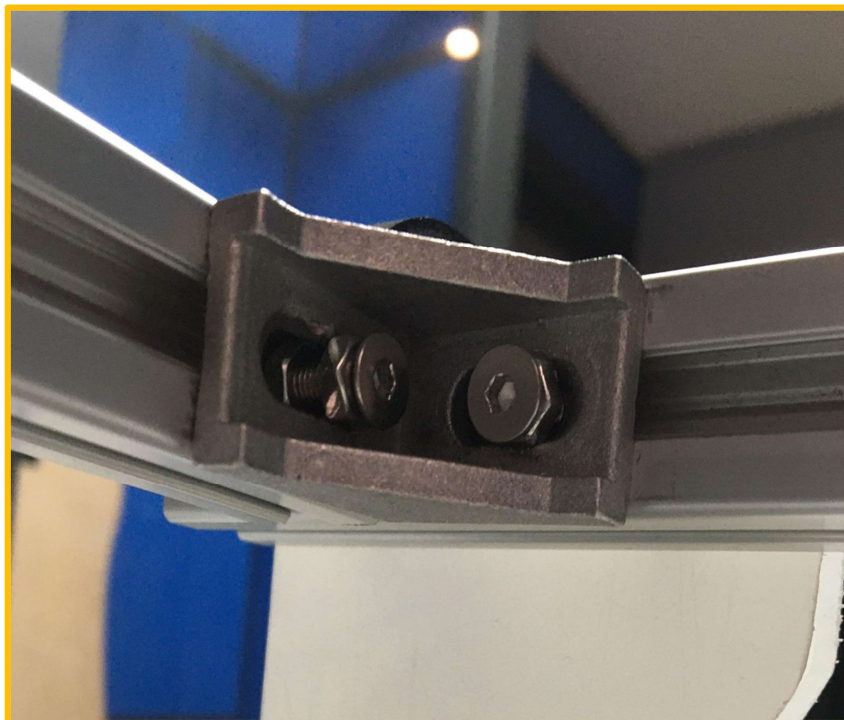


Figura 50. La unión entre los dos perfiles de aluminio

Al final de todo en el montaje se ha colocado unas piernas en las esquinas para dar un poco de altura a la maquina CNC.

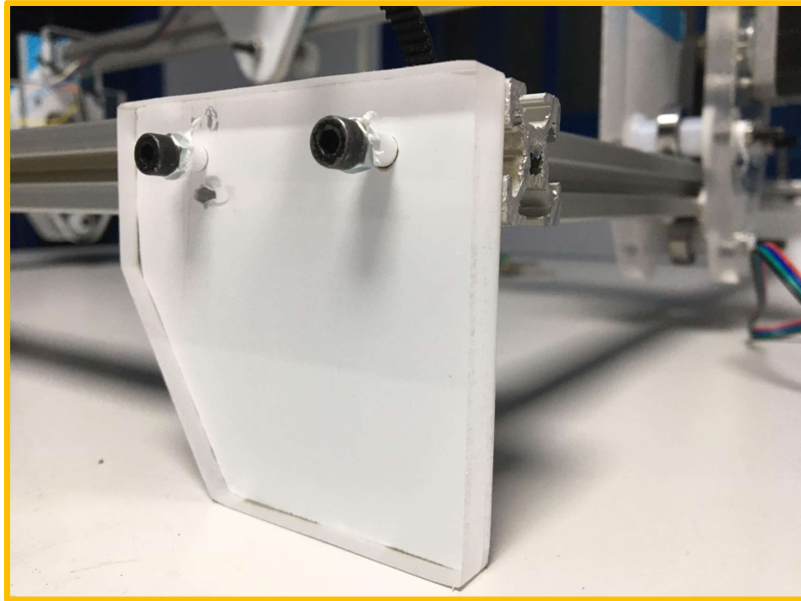


Figura 51. Colocación de la pierna en la esquina de la máquina

5.5 Fijación del módulo láser

Mediante el soporte que lleva el kit del módulo láser que se ha comentado antes se puede modificar la altura del dicho módulo ajustando el tornillo como muestra la siguiente figura.

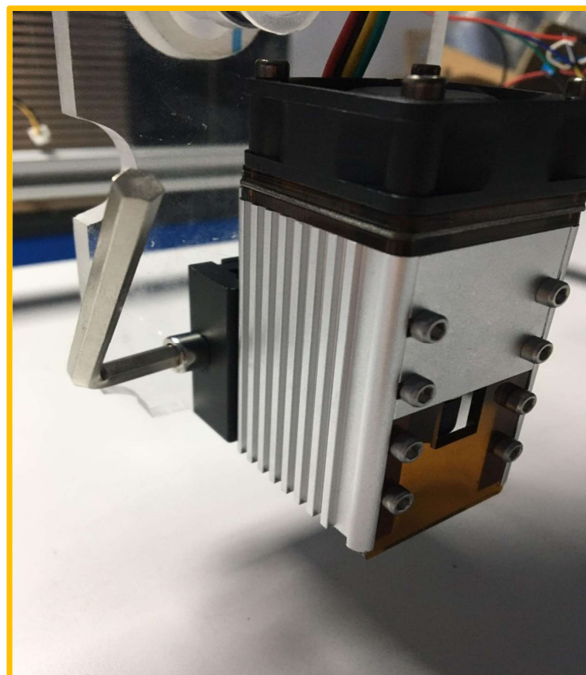


Figura 52. Módulo láser

5.6 Estructura final de la maquina CNC

Finalmente, el conjunto de las distintas partes de la máquina CNC quedaría como se muestra en las figuras siguientes.

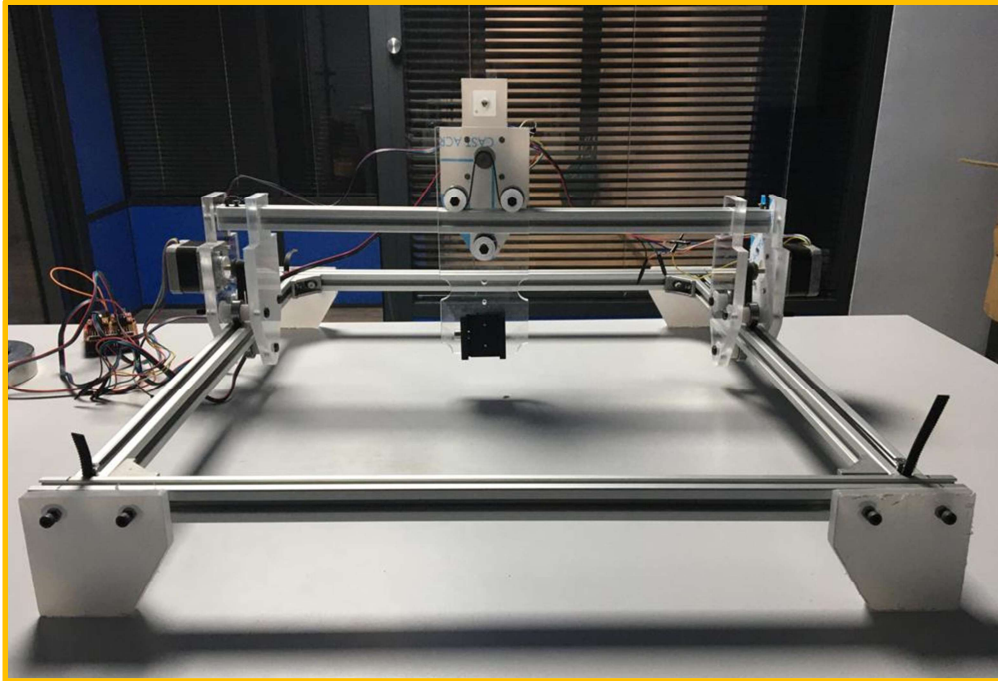


Figura 53. Vista general de la máquina CNC

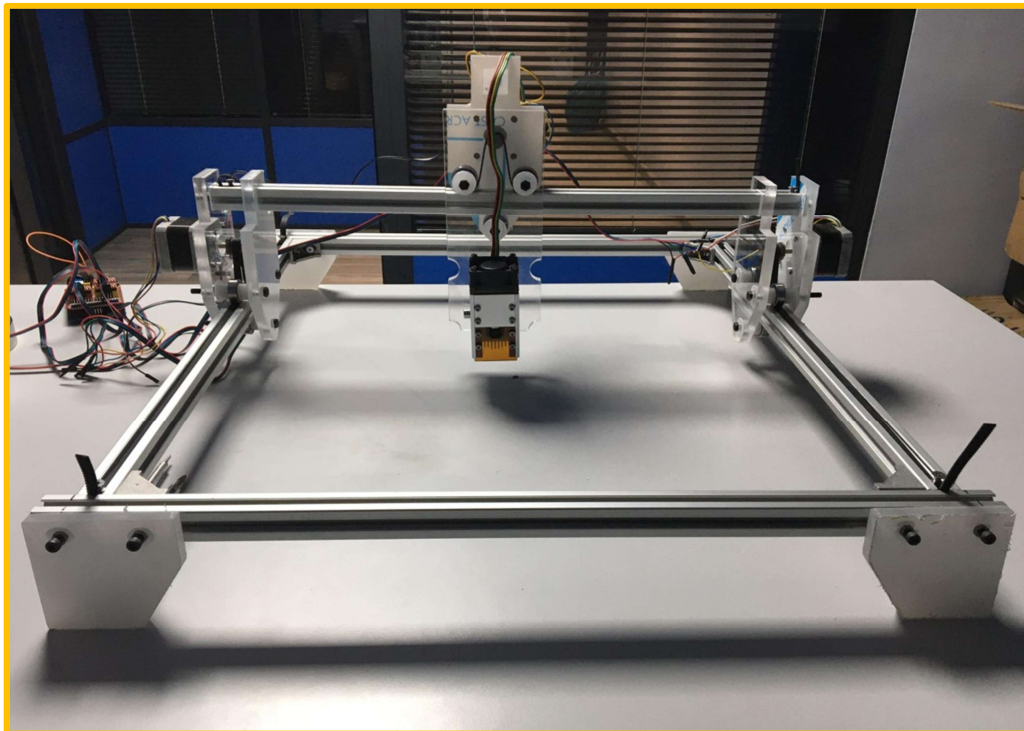


Figura 54. Vista general de la máquina CNC con el módulo láser

6. Desarrollo

6.1 Arduino

Arduino es una plataforma de desarrollo abierta, concebida para la creación de prototipos y aplicaciones Hardware. Arduino fue creado inicialmente para estudiantes, ya que antes de esto las placas que existían eran caras y tenían una arquitectura cerrada, lo que no las hacía atractivas ni a la comunidad de estudiantes, ni a los aficionados a la electrónica en general.

Con la creación de Arduino como un sistema de desarrollo abierto (no necesita licencias) y la constitución de un lenguaje de programación propio, en el que prima la sencillez en la programación, dio como resultado un entorno de desarrollo muy cercano a la gente, que facilita el uso de la electrónica en proyectos de todo tipo, haciendo esta plataforma muy atractiva y constituyendo entorno a ella una de las comunidades más grandes de desarrollo que existen en internet actualmente.

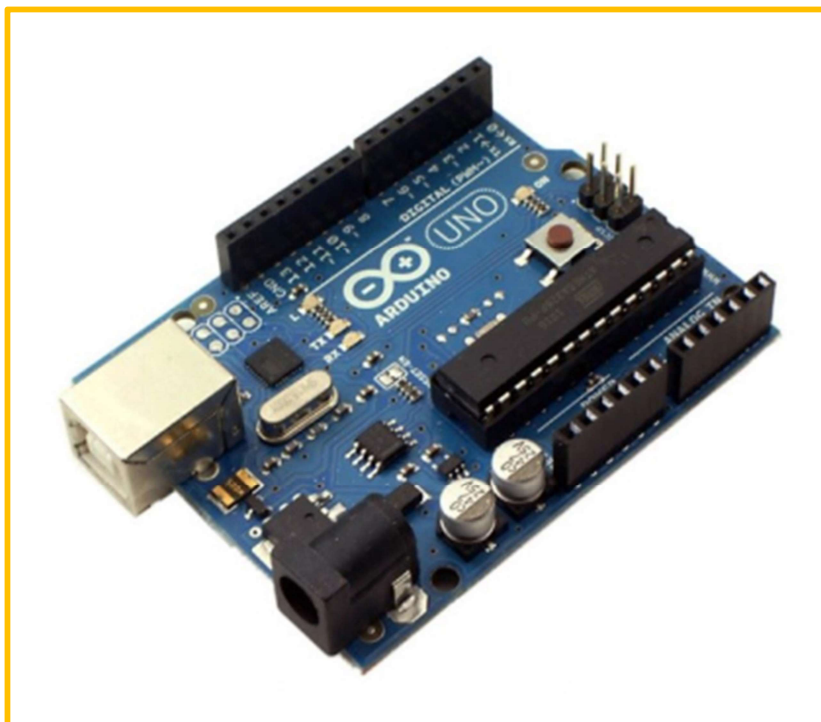


Figura 55. Placa de arduino Uno

Como vemos en la imagen anterior, clicamos sobre “Add .ZIP Library” para cargar la librería que necesitamos. Con lo que una vez hecho esto, nos aparecerá en nuestro menú de librerías los drivers deseados.

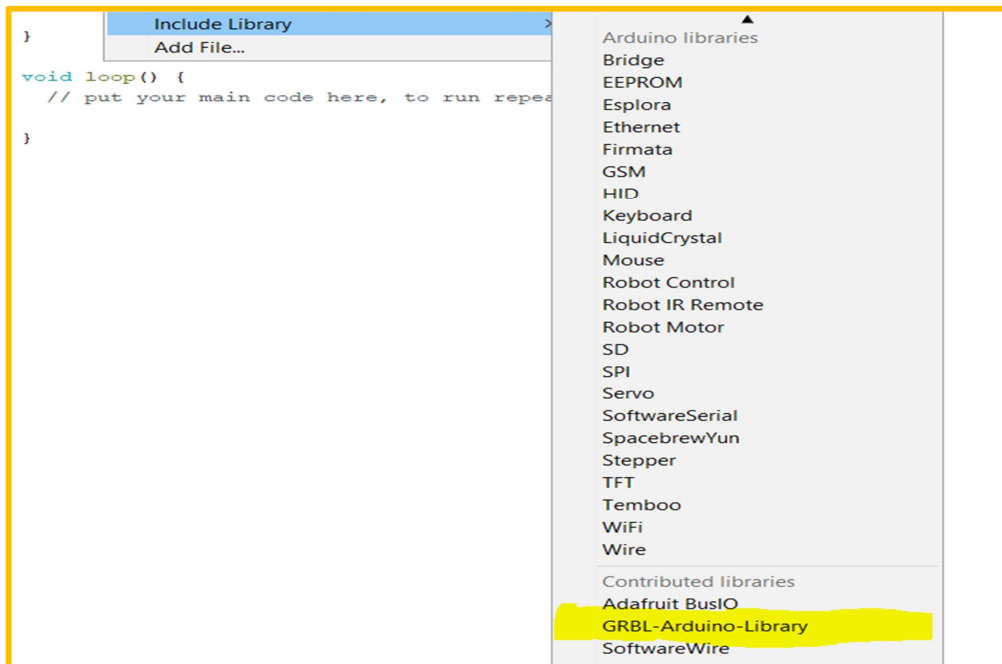


Figura 58. Menú de librerías

Una vez cargada la librería de drivers nos aparecerá en pantalla las líneas de código que se encuentran dentro del paquete de drivers. Llegados a este punto, y ver que la adición de la librería se ha llevado de forma correcta, se procederá a cargar dichos drivers en nuestro hardware Arduino.

Para realizar este proceso, colocamos el puerto COM donde se encuentra nuestra placa después pinchamos sobre el botón verificar y una vez ha realizado la última comprobación, pinchamos sobre el botón “upload” para volcar los datos.

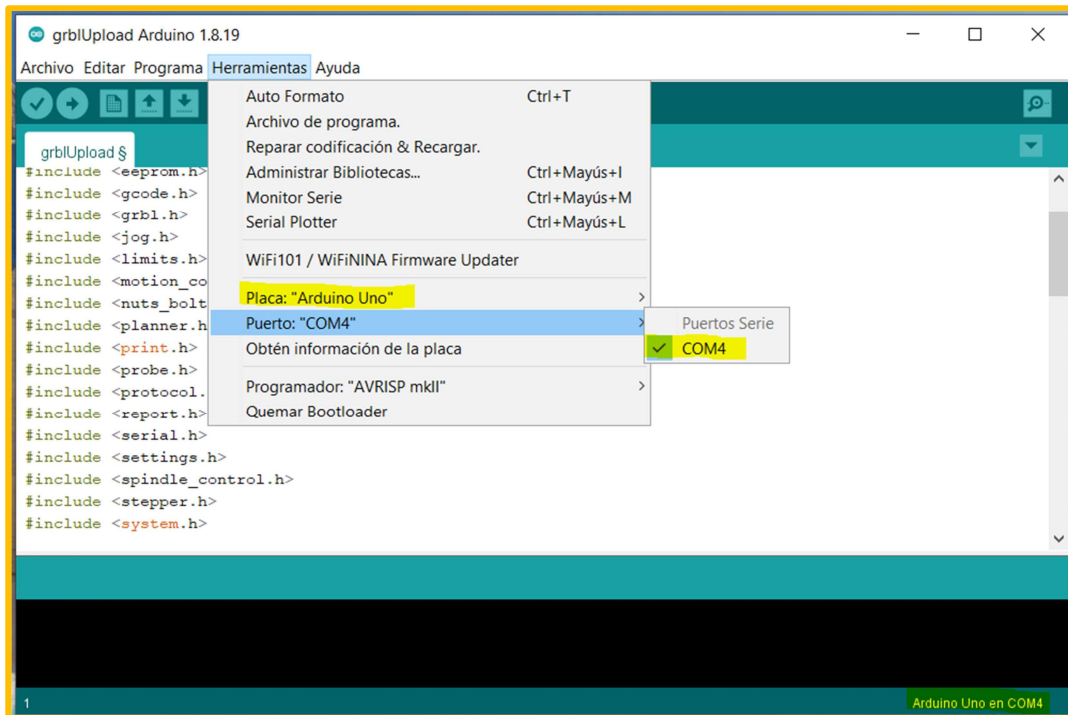


Figura 59. Elección del puerto COM

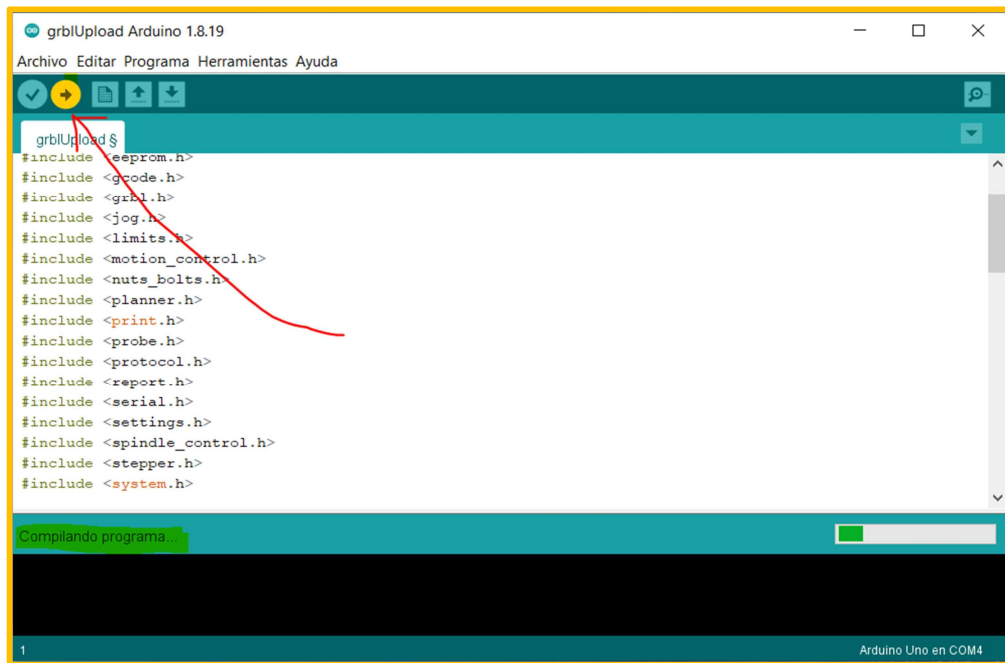


Figura 60. Compilación de los datos en el hardware Arduino

Una vez realizado este proceso, nos aparecerá una barra la cual muestra el estado del proceso de compilación (Figura 60). Durante este proceso observaremos que en nuestro Arduino los leds empezarán a describir una secuencia de encendido y apagado. Por lo que podemos decir que el proceso de carga del software ha sido completado y realizado correctamente.

se ha usado el eje Z, por lo que solo se hace uso de 3 drivers, uno para el eje X y lo demás para duplicar la fuerza y mantener la estabilidad del eje Y durante el movimiento.

Teóricamente la placa está diseñada para trabajar con hasta 36V, pero hay que llevar cuidado ya que si los drivers no están preparados para soportar esta alimentación serán destruidos cuando se alimente. En este trabajo se han empleado los drivers A4988, fijando la alimentación en 12V.

La forma de configurar algunos parámetros de la placa es mediante el uso de jumpers y no mediante programación. En concreto, los jumpers son empleados para configurar el uso del cuarto eje (duplicación de un eje ya existente para aumentar la potencia motriz), micropasos de los drivers y los finales de carrera.

b) Configuración de los drivers A4988

El driver Pololu A4988 permite controlar motores paso a paso bipolares de hasta 2ª. Basado en el chip Allegro A4988. Ampliamente utilizado con placas de control de impresoras 3D y Máquinas CNC Open Source, como: RAMPS y CNC Shield. Es conocido con el nombre de “Pololus” o “controlador Pololu”.

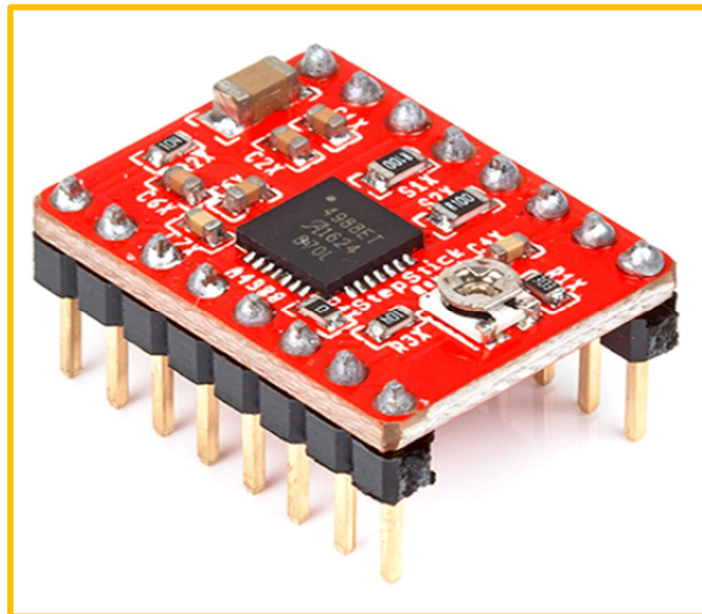


Figura 62. Driver Pololu A4988

Cada eje puede ser configurado mediante diferentes micropasos. Es recomendable que todos los ejes tengan la misma configuración. Los jumpers deben de ser situados en las siguientes posiciones:

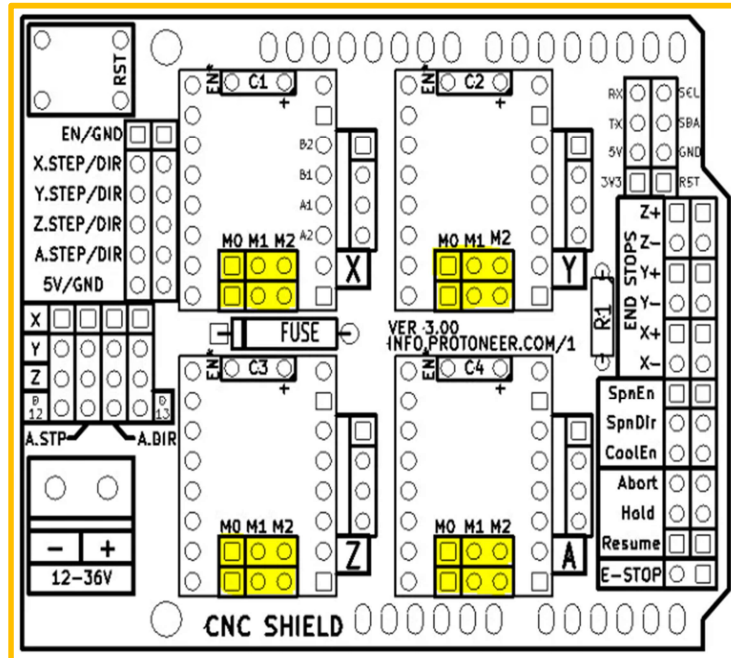


Figura 63. Configuración micropasos CNC shield

Los pines están conectados a tierra o GND mediante resistencias pull-up, por lo que si no se conecta nada estarán siempre a LOW o 0. Para cambiar ese valor habrá que forzar un valor 1 o HIGH. Los valores de M0, M1, M2 respectivamente a los que tienen que estar según la resolución, la siguiente tabla muestra la configuración para cada resolución:

Resolución	MS0	MS1	MS2
1	BAJO	BAJO	BAJO
1/2	ALTO	BAJO	BAJO
1/4	BAJO	ALTO	BAJO
1/8	ALTO	ALTO	BAJO
1/16	ALTO	ALTO	ALTO

Tabla 1: Configuración de las resoluciones

Al probar todas las resoluciones posibles, se ha notado que el movimiento es más suave y continuo cuando se ha empleado la resolución de $\frac{1}{4}$ por eso se ha decidido usarla, mientras se pierda el par del motor cuando se ha aumentado la resolución al $\frac{1}{8}$ o $\frac{1}{16}$.

c) El ángulo del paso

La configuración de la resolución juega un papel muy importante en el movimiento del motor, de hecho el motor gira más continuo y suave cuanto más pequeños son los pasos, además se minimiza mucho el ruido esto implica que el movimiento gana mucha precisión.

Los motores Nema normalmente vienen físicamente dotados de un paso de $1,8^\circ$, esto quiere decir que para dar una vuelta completa (360°) necesitamos entregar 200 pulsos desde nuestro control.

Si utilizamos medios pasos, el ángulo de cada paso se reduce a la mitad, $0,9^\circ$ es decir, para dar una vuelta completa (360°) necesitamos entregar 400 pulsos desde nuestro control.

- Con cuartos de paso: Ángulo de paso $0,45^\circ$, necesitamos entregar 800 pulsos para hacer girar el motor 360° .
- Con octavos de paso: Ángulo de paso $0,225^\circ$, necesitamos entregar 1600 pulsos para hacer girar el motor 360° .
- Con dieciseisavos de paso: Ángulo de paso $0,1125^\circ$, necesitamos entregar 3200 pulsos para hacer girar el motor 360° .

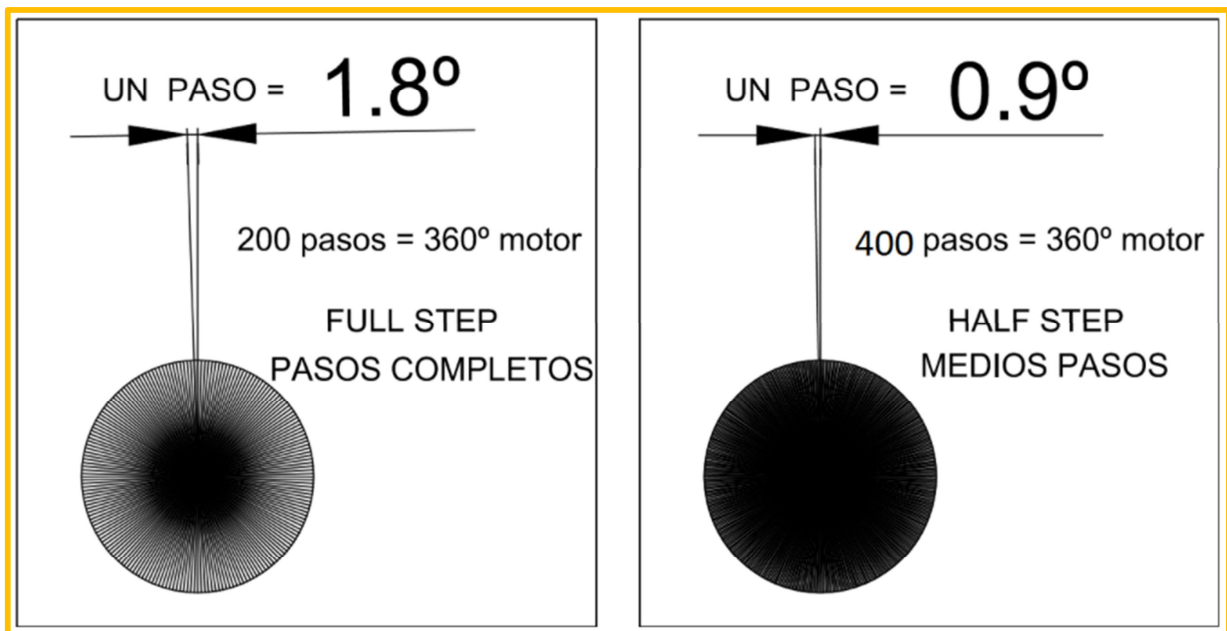


Figura 64. Ángulo del paso en pasos completos y medios pasos

d) Configuración para duplicar la fuerza motriz en un eje

Usando dos jumpers se puede clonar el eje X, Y o Z. En nuestro caso se ha duplicado la fuerza motriz en el eje Y o sea se ha empleado dos motores paso a paso para la transmisión a lo largo del dicho eje.

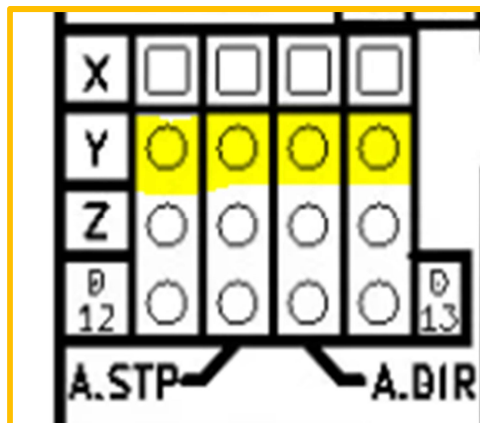


Figura 65. Configuración para clonar eje Y

e) Calibración del driver

Ubicar los drivers es una tarea realmente sencilla, simplemente hay que conectarlos con los pines adecuadamente.

El driver presenta un potenciómetro que permite regular la intensidad que suministra a cada bobina. La forma hacer esto no resulta sencilla y por eso se ha considerado necesario aclarar cómo hacerlo en este documento.

Para que el motor no pierda pasos ni se pueda quemar por un exceso de corriente, tenemos que ajustar el voltaje de referencia del driver, y para hallar este valor necesitamos conocer 2 datos:

- Corriente máxima del motor que vamos a utilizar (Nuestro caso: 1,5 amperio)
- Valor de las resistencias de sensibilidad del driver (Nuestro caso: 0,1 ohmio)

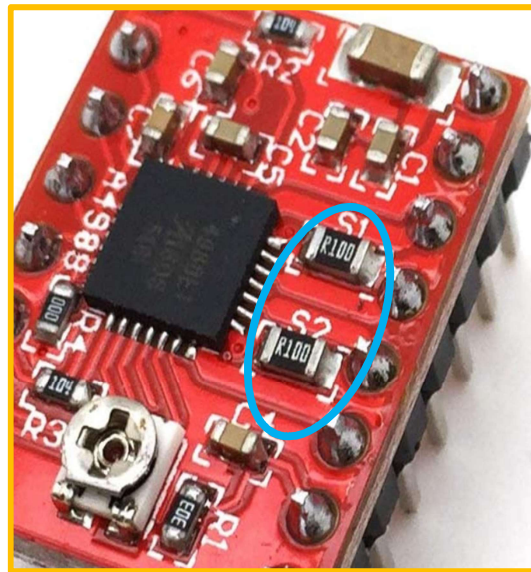


Figura 66. Resistencia de sensibilidad

Estas son las resistencias de sensibilidad son resistencias de tipo SMD.

SMD resistor code calculator

Marking on the SMD resistor:

Calculated resistance value: **0.1Ω**

Figura 67. Valor de resistencia

La fórmula dice que la corriente máxima = voltaje de referencia dividido entre 8 por la resistencia de sensibilidad.

Por lo tanto:

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

$$V_{ref} = 1,5 \times (8 \times 0,1)$$

Vref = 1,2 V

Según la hoja técnica del fabricante, tenemos que limitar esta tensión al 70 %, que es lo máximo que va a entregar el driver si vamos a trabajar en pasos completos. Pero como se ha comentado antes nosotros hemos empleado una resolución de ¼ por eso no hace falta limitar esta tensión.

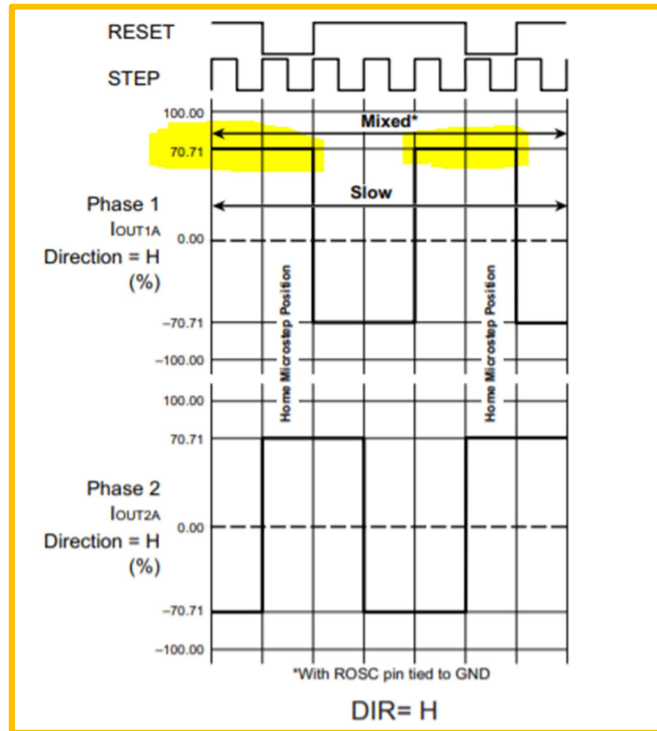


Figura 68. Modo de incrementos en paso completo

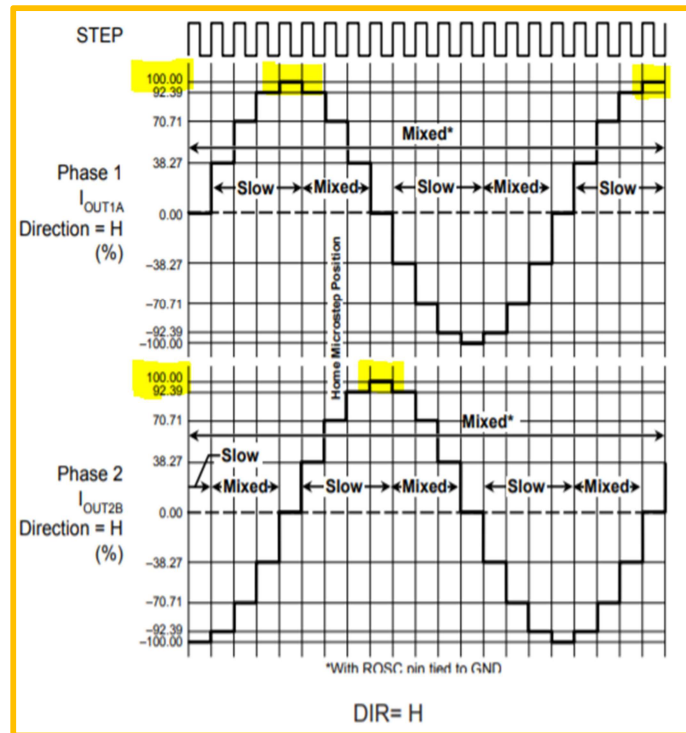


Figura 69. Modo de incrementos en paso de cuarto 1/4

Con la ayuda de un polímetro en corriente continua, tenemos que medir la tensión que hay entre GND y el potenciómetro de ajuste, tenemos que girar este hasta conseguir el voltaje que nos ha dado el resultado de la operación.

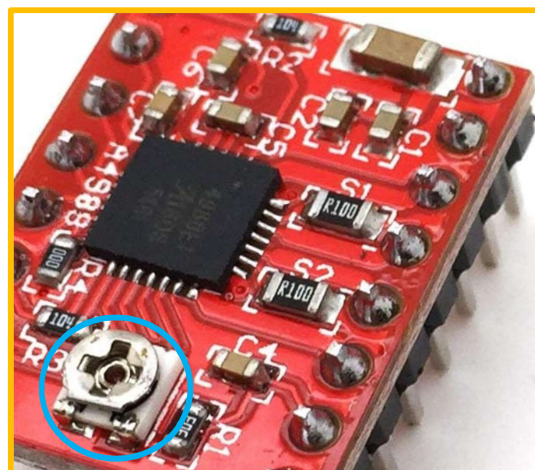


Figura 70. Ajuste del potenciómetro

Sobre los drivers, tal y como recomienda el fabricante, se han situado disipadores de aluminio de 9x9x7 milímetros con un adhesivo termoconductor.

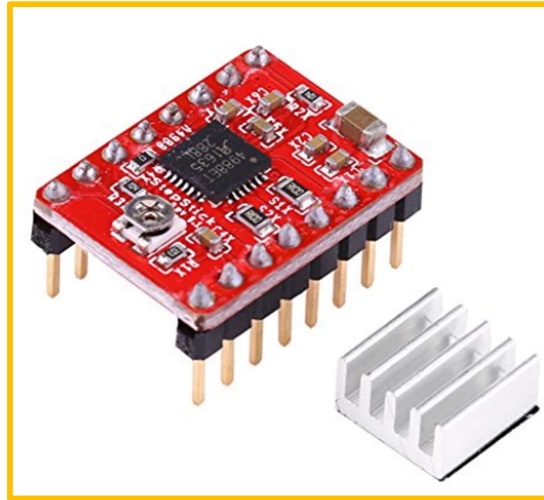


Figura 71. Disipador de calor

f) Alimentación

Para alimentar todo el conjunto se ha optado por emplear dos fuentes de alimentación de 12 voltios, una para los motores y sus drivers y otra para el modulo láser.



Figura 72. Fuente de alimentación para los motores con salida de 12 V / 5 A



Figura 73. Fuente de alimentación para el modulo láser con salida de 12 V / 4 A

6.3 LáserGRBL

De acuerdo a la página web oficial, LaserGRBL puede transmitir código G-Code a Arduino y grabar imágenes, fotografías o logos con la ayuda de una herramienta de conversión interna. El desarrollador creó a LaserGRBL para utilizarlo en su propio grabador, al que fabricó reciclando las partes de un viejo CD-ROM.

En continuación se describe cómo usar este software para grabar una imagen (logo de la Universidad de Jaén).

Después de instalar el software, se abre el software LaserGRBL, se selecciona el puerto COM (excepto COM1, puede enchufar y desenchufar el cable USB para ver cuál es) y la velocidad en baudios (generalmente establecida en 115200), luego se pincha en la conexión, el color del botón cambiará se vuelve más oscuro después de que la conexión sea exitosa.

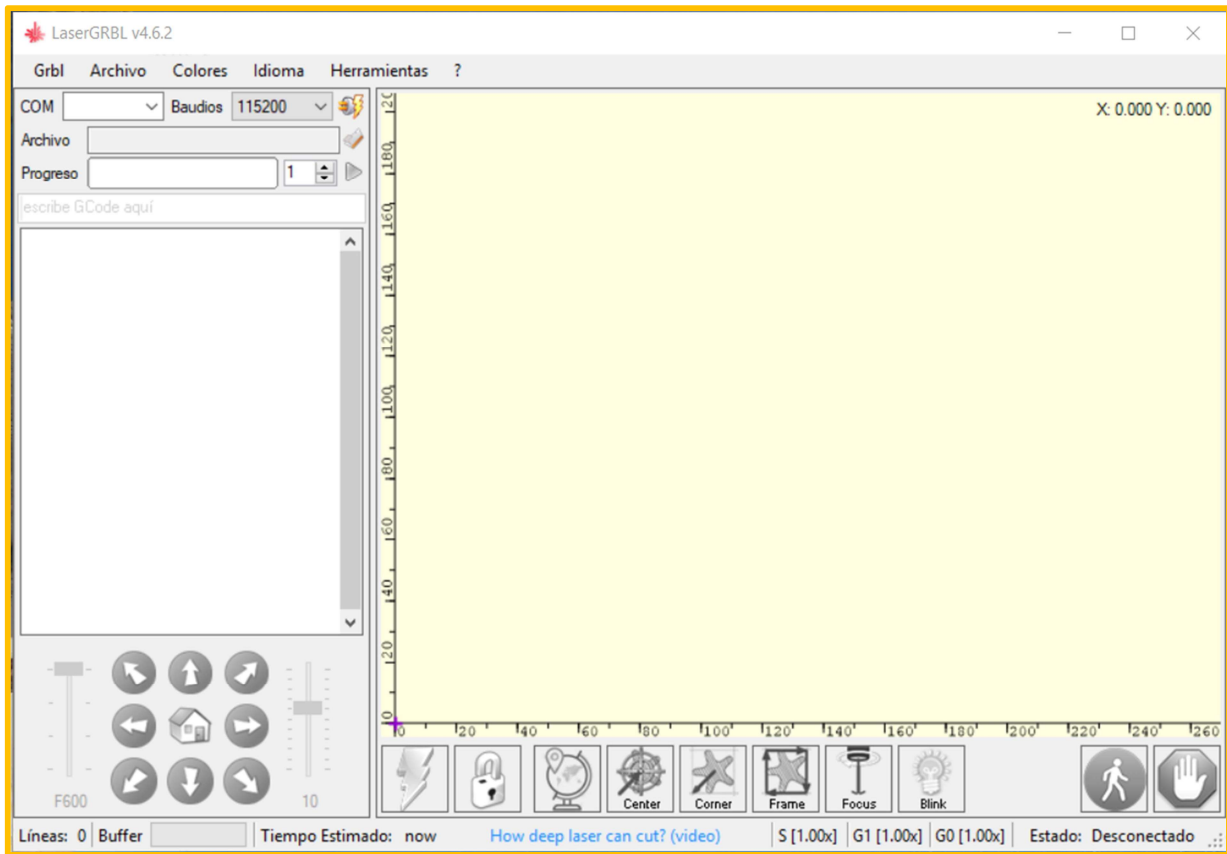


Figura 74. Interfaz del software LaserGRBL

Después de que la conexión sea exitosa, se pincha en “Archivo” en la barra de menú de la interfaz para ingresar a la interfaz de selección de archivos, se selecciona “Abrir archivo”, se elige la imagen para tallar, etc.

En la figura siguiente se muestra toda la configuración del modo de grabado y algunos otros parámetros de grabado. Se hace clic en “Siguiente” después de la configuración.

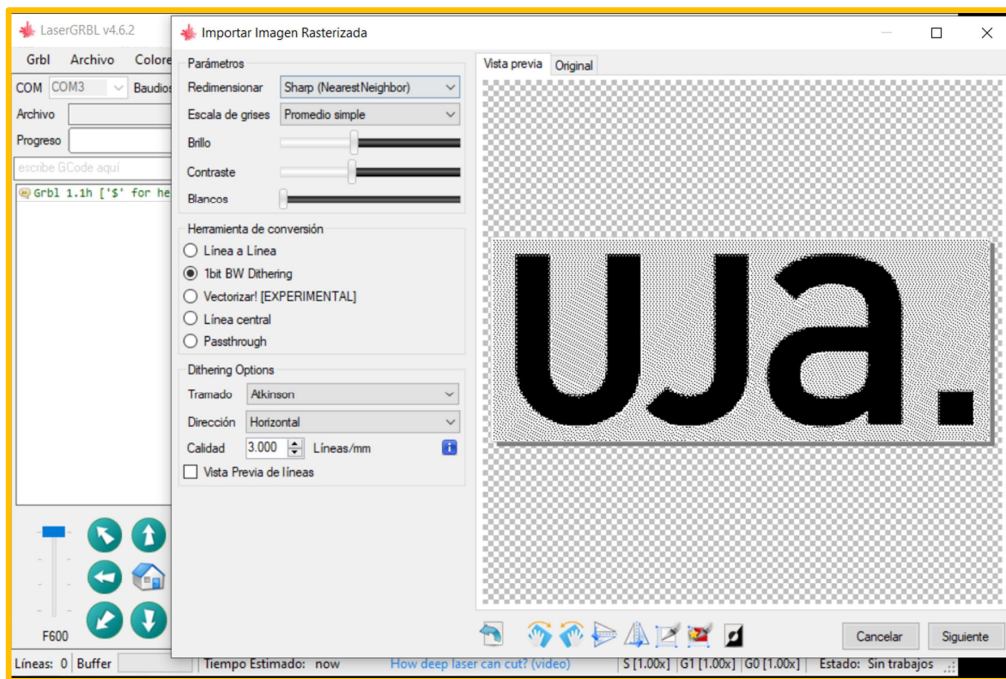


Figura 75. Configuración del modo de grabado

Al pinchar en “Siguiete” para abrir el cuadro de diálogo “Imagen objetivo”, donde puede establecer la velocidad de grabado, la potencia mínima y máxima y la longitud y el ancho de la imagen que se grabará y desplazará.

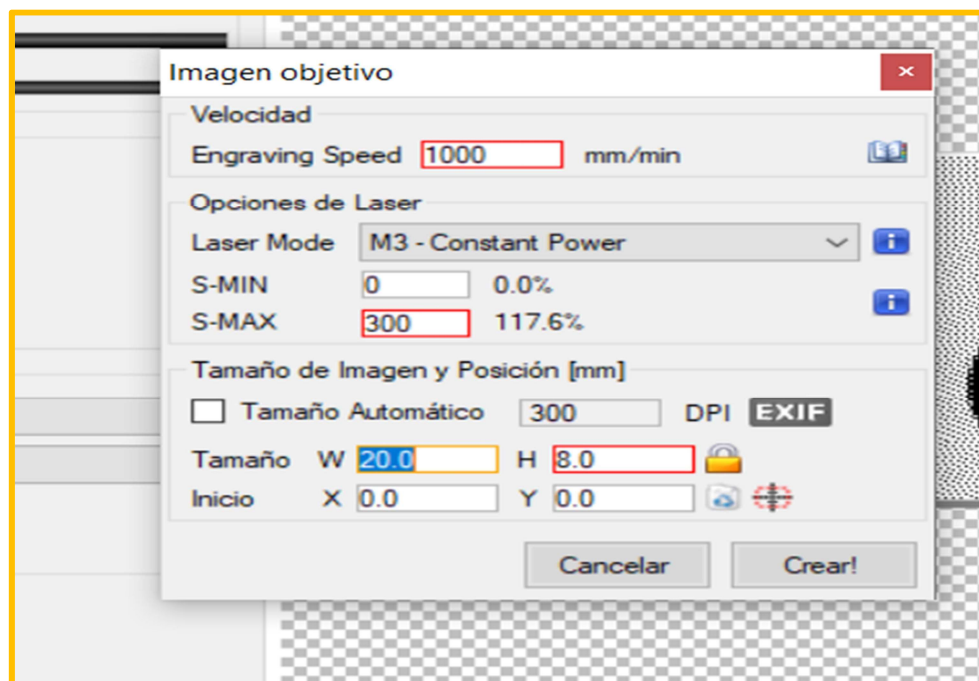


Figura 76. Configuración de la potencia de láser y tamaño de imagen

Antes de empezar la grabación se puede mover a la posición que desea grabar, mediante los botones de “Posición” (la posición donde se encuentra el cabezal del láser en la esquina

inferior izquierda del patrón grabado), también se puede establecer el número de veces que desea grabar y al final se pincha en “Ejecutar Programa” para iniciar el grabado. Una vez finalizado el grabado, la máquina vuelve a la posición cero.

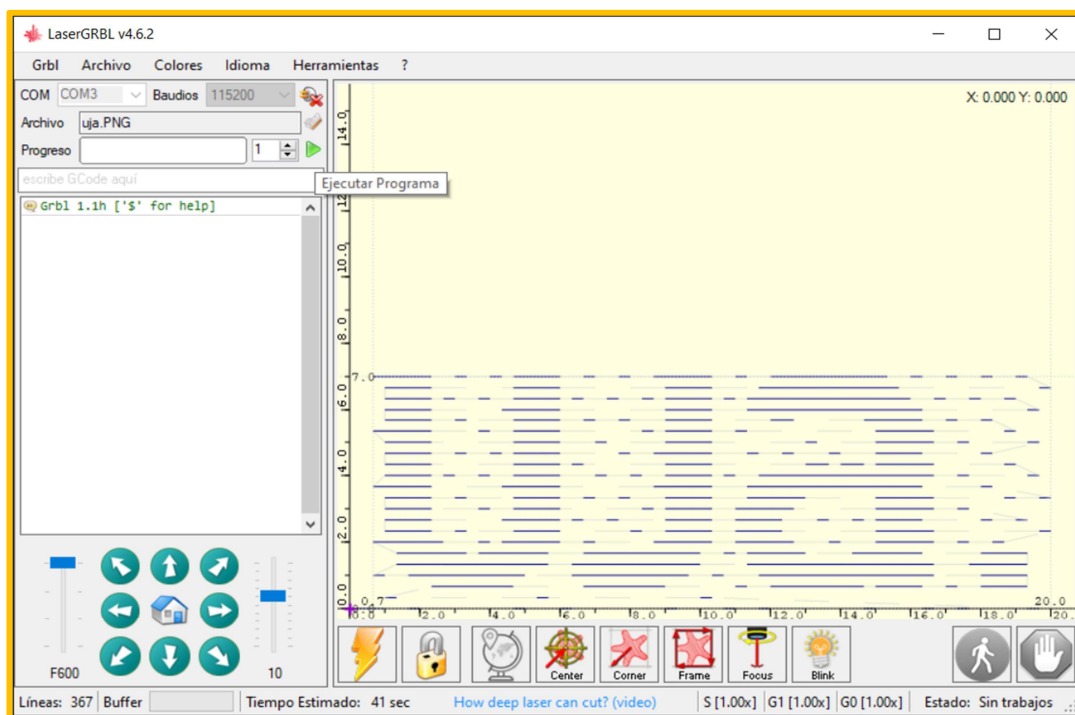


Figura 77. Interfaz de grabación

7. Herramienta del sistema CNC

Un dispositivo de control numérico es un aparato de propósito general. Las limitaciones se encuentran en la cantidad de ejes de interpolación y en la herramienta. La forma de obtener superficies, se puede efectuar mediante deposición de material (impresión 3D), o mediante eliminación de material. A continuación se muestra la herramienta empleada, un análisis sobre ella y las diferentes características de su resultado.

7.1 Módulo láser NEJE A40630

El mecanizado por láser ofrece tantas ventajas, que ha resultado irresistible de probarlo en esta máquina, aunque sea de forma experimental. Antes de explicar el láser empleado, se va a describir muy resumidamente en qué consiste esta tecnología y sus ventajas con respecto a métodos de fabricación convencionales.

Esta tecnología se basa en la generación de un rayo láser de alta potencia incidente sobre una pieza, consiguiendo una elevada densidad de potencia que produce la volatilización del material. El rayo láser erosiona el material en múltiples capas obteniendo la geometría y profundidad requerida.

Se trata de un procedimiento de fabricación no convencional mediante mecanizado de índole térmica. Es una tecnología costosa de reciente aplicación en la industria, pero debido a sus grandes virtudes, cada vez está siendo más utilizada. Una de las industrias que mayormente absorbe esta actividad es la industria del automóvil y la industria auxiliar del automóvil.

El proceso se basa en ubicar una alta densidad de potencia de un rayo láser enfocado sobre el material a procesar. El calor necesario para la vaporización es aproximadamente 10 veces superior al calor que hay que suministrar para conseguir la fusión de un material.

La generación del láser se basa en el fenómeno de la emisión inducida o estimulada para generar un haz de luz coherente. Las principales características del haz láser son:

- ❖ Monocromía: solo posee una longitud de onda. Los láseres con mayor rendimiento son los que emiten en el rango de infrarrojo y en el rango de ultravioleta.
- ❖ Coherencia: todas las ondas se encuentran en fase.
- ❖ Dirección: conservación de la energía a lo largo de la trayectoria.

Es necesario acompañar este tipo de mecanizado con un flujo de gas que elimina el material fundido y protege las lentes focalizadoras.

Normalmente este gas suele ser aire, para materiales no metálicos, ya que no existe peligro de oxidación. Para materiales metálicos se suelen emplear gases inertes como por ejemplo el argón.

Las principales ventajas del láser son:

- ❖ No se produce desgaste, rotura ni colisión de la herramienta.
- ❖ Es posible mecanizar casi todo tipo de materiales, desde aceros, aleaciones termoresistentes, cerámicas, silicio, etcétera.
- ❖ No se produce viruta.
- ❖ Se pueden obtener formas complejas.
- ❖ No se precisa de cambio de herramienta.
- ❖ Proceso limpio y rápido.
- ❖ Mejor aprovechamiento del material debido a que la anchura del surco generado es mínima.
- ❖ La pieza producida no precisa ningún tratamiento posterior ni limpieza.
- ❖ No se generan residuos tóxicos o agresivos

Puesto que no todo pueden ser ventajas, a continuación se citan los mayores problemas que surgen en el empleo del láser:

- ❖ Coste elevado de la instalación.
- ❖ Algunos materiales tales como oro, plata, o cobre, son difícilmente mecanizables por láser debido a la alta reflectividad y conductividad térmica que presentan.
- ❖ Generalmente no se usa para espesores de más de 20 mm, ya que a partir de allí es muy difícil enfocar el láser.
- ❖ Hay que tener grandes precauciones. Existen dos factores principales de riesgo:
 - Electricidad
 - Exposición a la luz láser (ESPECIALMENTE PELIGROSOS LOS RAYOS LÁSER NO VISIBLES POR EL OJO HUMANO).

Hecho este repaso general sobre la tecnología láser, su aplicación en este proyecto no ha sido, dicho de alguna forma, excesivamente profesional por motivos económicos. Pero sí enriquecedor y apasionante. El simple hecho de pensar que se está mecanizando con luz, es apasionante.

Para llevarlo a cabo, se ha hecho la compra online en la plataforma Aliexpress. En concreto el modelo A40630 con una longitud de onda de 450nm.



Figura 78. Módulo láser NEJE A40630

Lista de paquetes de Kits de módulos A40630 contiene:

- 1 x módulo láser (A40630)
- 1 x ranura para tarjeta deslizante
- 1 x llave en L
- 1 x llave pequeña en forma de L
- 1 x placa adaptadora de interfaz
- 1 x tablero de prueba de pantalla de tubo digital
- 1 x línea láser de 4 pines
- 1 x Línea de control TTL de 2 pines
- 1 x adaptador de corriente de 12V
- 1 x gafas

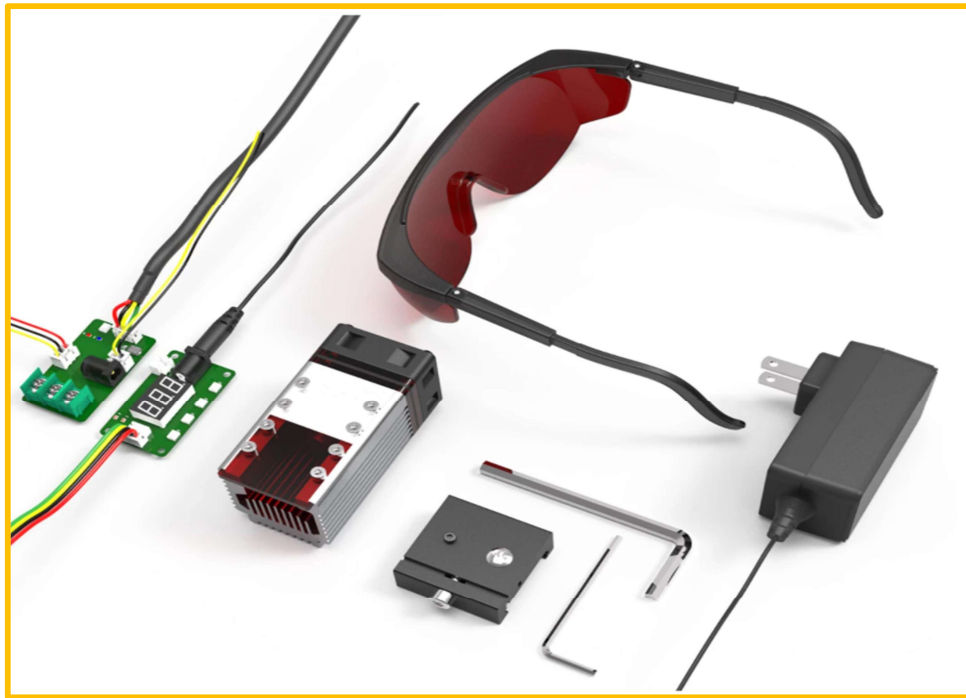


Figura 79. El kit del paquete

7.2 Características del módulo láser

- Diseñado para máquina de grabado láser, cortadora láser, impresora 3D, fresado CNC, proyecto arduino.
- Enfoque 2 en 1, lente ajustable y longitud focal fija en un módulo.
- Salida de potencia óptica de 5,5 W, adecuada para grabado y corte.
- ¡Más seguridad, vidrio protector integrado para proteger los ojos! Incluso sin usar gafas protectoras, el funcionamiento es más cómodo.
- Asistente de aire láser modificado, evita daños por humo en la lente.
- La unidad inteligente y más silenciosa ajusta la velocidad del ventilador de refrigeración de acuerdo con la temperatura del láser.
- Fácil de usar, generador de señal de pulso de onda PWM Digital Placa de ciclo de trabajo de frecuencia ajustable para módulo láser neje.
- Se proporciona una ranura deslizante para un fácil ajuste del enfoque.
- Modo de refrigeración: sensor de temperatura de control inteligente + ventilador de refrigeración de 40mm de 10000 rpm.

- Puede grabar: Metal/ Aceroinoxidable/ MDF/ Papel/ Madera/ Tela/ Plástico/ Cuero/ Madera contrachapada/ Aluminio anodizado.
- Peso del módulo: 202g (cuanto más ligero sea el peso, más pequeña será la inercia móvil, mejor será el rendimiento).
- Compatible con modulación TTL y PWM para controlar la potencia del láser mediante la placa del CNC Shield.

8. Pruebas del sistema

8.1 Pruebas para cortar papel

Se usó el logo de la universidad de Jaén para hacer la prueba del corte láser, se ha importado mediante el software LaserGRBL y se ha procedido a realizar la prueba tal como lo muestra las figuras siguientes.

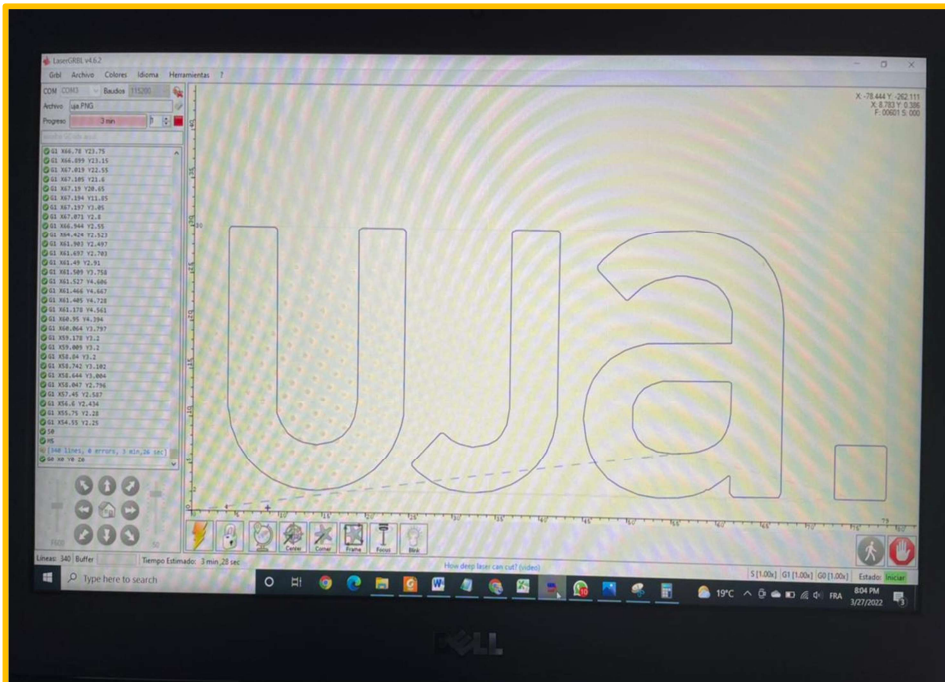


Figura 80. Interfaz gráfica del software LaserGRBL

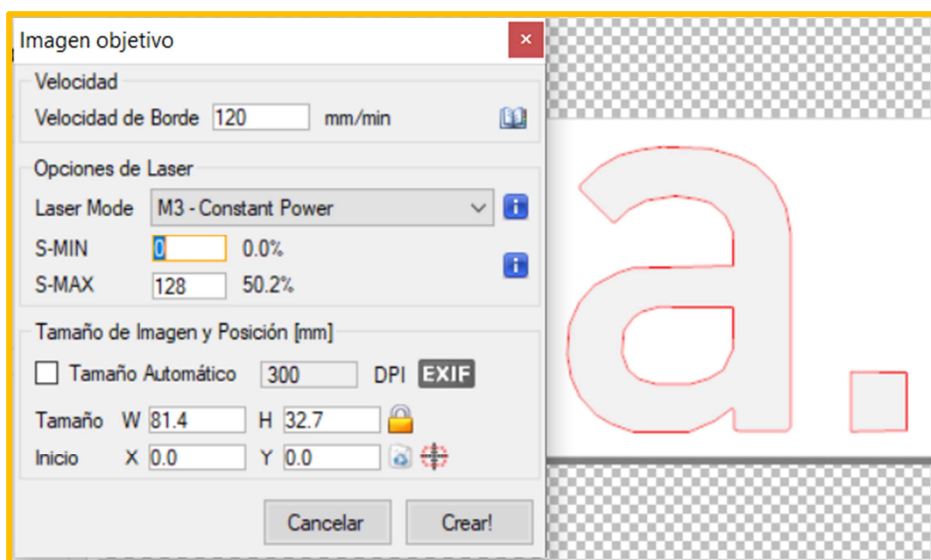


Figura 81. Configuración de los parámetros



Figura 82. Proceso del corte láser en papel

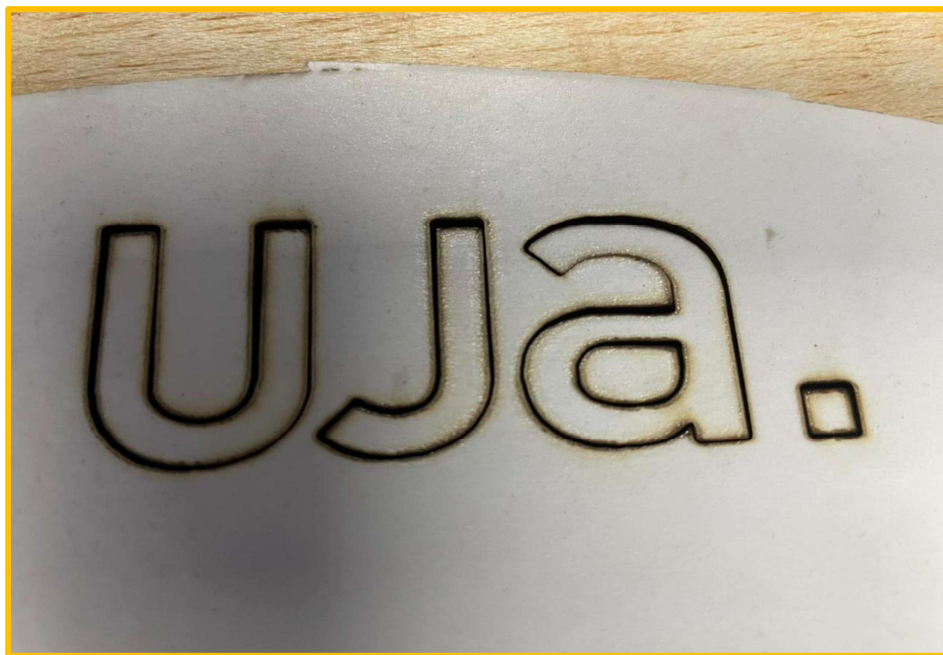


Figura 83. Resultado del corte láser en papel

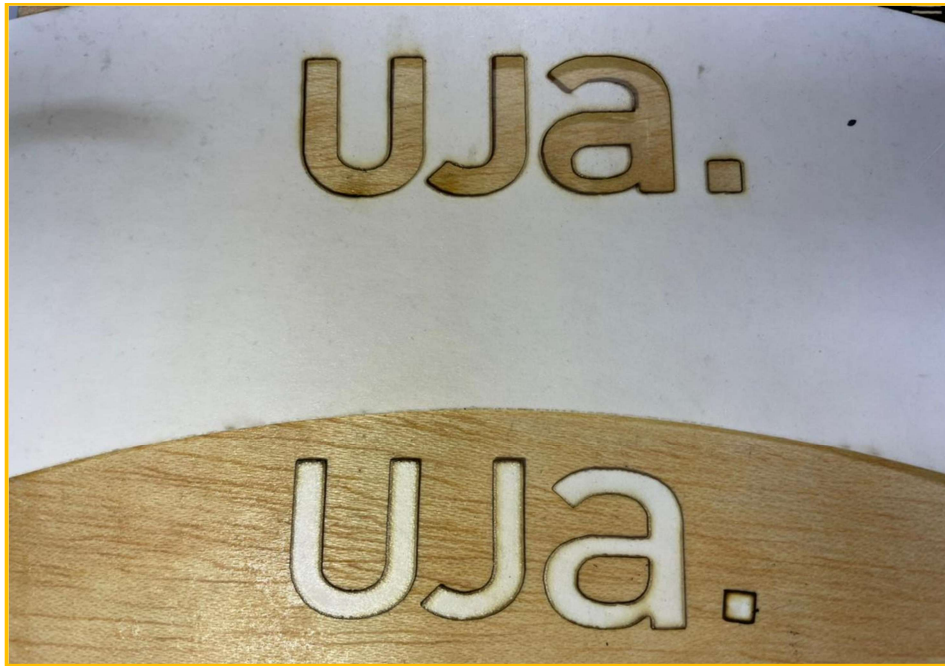


Figura 84. Resultado final del corte láser en papel

Gracias al láser usado se ha logrado cortar papel sin ningún problema con una potencia de 50 por ciento de la potencia máxima que posee el módulo láser, y también se puede observar que el corte realizado es de acuerdo a las medidas ingresadas.

8.2 Pruebas para grabar madera

Se utilizó el mismo fichero para probar el grabado en madera y se ha procedido a realizar la prueba tal como lo muestra las figuras siguientes.



Figura 85. Grabado en proceso



Figura 86. Resultado de grabado en madera

Se puede observar que láser usado se ha logrado grabar madera sin ningún problema con una potencia de 50 por ciento de la potencia máxima que posee el módulo láser, y también se nota que el grabado realizado es de acuerdo a las medidas ingresadas.

8.3 Pruebas para cortar madera

En esta prueba se ha utilizado un tablero de 90 mm por 90 mm de madera contrachapada de un espesor de 2 mm para comprobar la potencia de nuestro módulo láser en cortar madera, usando el mismo fichero tal como muestra las figuras siguientes.

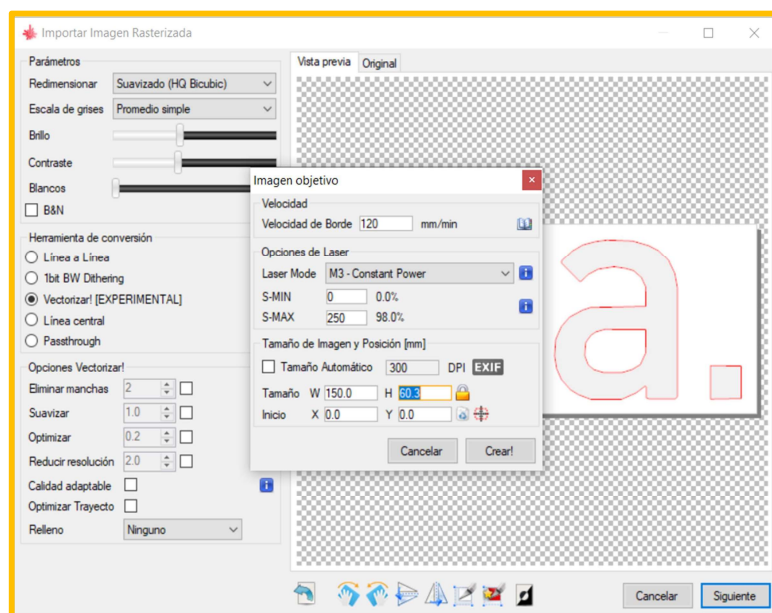


Figura 87. Configuración del módulo láser

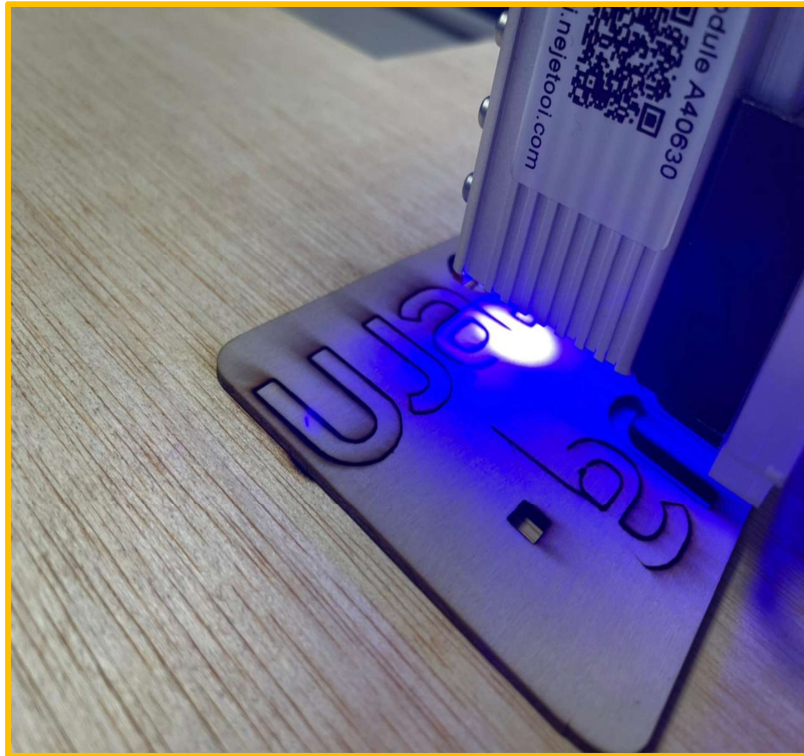


Figura 88. Corte láser en proceso

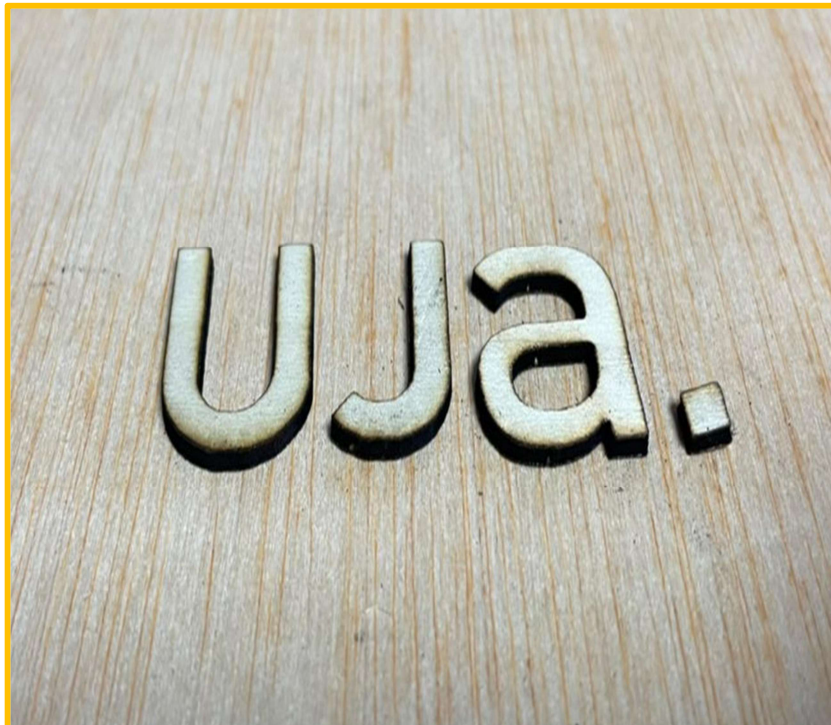


Figura 89. Resultado del corte en madera



Figura 90. Resultado final del corte láser en madera

Se puede observar que láser usado se ha logrado cortar madera sin ningún problema con una potencia de 98 por ciento de la potencia máxima que posee el módulo láser realizando dos pasos de corte, y también se nota que el corte realizado es de acuerdo a las medidas ingresadas.

9. Mejoras del sistema

Una vez finalizado el sistema y verificado su funcionamiento, se comprueba que cumple con todos los requisitos y objetivos marcados al principio del trabajo. Sin embargo, que cumpla con los objetivos no supone que el sistema no pueda ser mejorado, al contrario existen muchas posibilidades de mejora que podrían llevarse a cabo. Algunas de las posibles mejoras son:

9.1 Instalación de un sistema de aire comprimido

Con el fin de poder impulsar el material derretido para fuera de la ranura de corte, enfriar la zona de influencia del calor en el punto focal y también proteger la lente óptica de la suciedad. Se podría añadir un sistema de aire comprimido.

9.2 Implementación de un sistema láser de CO₂

Para aumentar el rango del espesor que se puede cortar la máquina CNC se podría implementar una fuente de láser más potente basada en fuentes de haz láser cerradas y con un llenado de mezcla de gas CO₂, diferente al láser de diodo.

9.3 Instalación de finales de carrera en cada eje

Con el objetivo de evitar posibles colisiones en el caso de sobrepasar la área de trabajo de la máquina se implementaría unos finales de carrera en los extremos de los ejes.

9.4 Implementación del eje Z

Para futuras actualizaciones del diseño se procedería a implementar un eje Z con el fin de colocar una fresadora que nos permitirá dar una gran libertad de movimiento para realizar cortes, tallados y fresados sobre la madera sin dañarla.

10. Presupuesto

10.1 Introducción

Uno de los objetivos del trabajo es valorar económicamente la facilidad del trabajo, por ello es necesario realizar un presupuesto sobre el sistema. En este capítulo se va a reflejar en forma de factura una estimación del coste todos los elementos presentes a la hora de diseñar y fabricar el sistema CNC. También se tendrá en cuenta el precio de mano de obra para el desarrollo del proyecto.

10.2 El detalle del presupuesto

El desarrollo del presupuesto se ha dividido en dos partes, correspondientes a los materiales usados para la construcción y la mano de obra invertida.

a) Materiales

❖ Parte mecánica

Elemento	Precio (€/unidad)	Cantidad	Precio total (€)
Correa GT2 6mm	2,5	3	7,5
Perfil de Aluminium 2020 T-Slot 500mm	5,5	4	22
Soporte de esquina en Aluminium	1,2	4	4,8
Polea GT2 20 dientes	1,6	3	4,8
Rueda 606 RS	1	9	9
Planchas Metacrilato transparente de 10 mm 49*49cm	56	1	56
Barra redonda de Nylon 8mm 100cm	3,5	1	3,5
Importe total (€)			107,6

Tabla 2. Listado de materiales mecánicos y su presupuesto



Parte electrónica

Elemento	Precio (€/unidad)	Cantidad	Precio total (€)
Motor paso a paso NEMA17	16	3	48
Modulo Láser NEJE Master A40630	195	1	195
Cable del motor paso a paso XH2.54 100cm	1,4	3	4,2
CNC shield con los drivers	16,19	1	16,19
Arduino Uno	10,69	1	10,69
12V 5A AC DC Adaptador de fuente de alimentación	9	1	9
Importe total (€)			283,08

Tabla 3. Listado de materiales electrónicos y su presupuesto

b) Mano de obra

La mano de obra del trabajo se ha tenido en consideración la construcción de piezas de nylon y metacrilato transparente en la fresadora CNC.

TIPO	Cantidad (Horas)	Precio unitario (€/hora)	Precio total (€)
Construcción de piezas de nylon y metacrilato	6	12	72
Importe total (€)			72

Tabla 4. Presupuesto de la mano de obra

10.3 El presupuesto final

TIPO	Importe total (€)
Materiales	390,68
Mano de obra	72
Total	462,68

Tabla 5. Presupuesto final del coste de la máquina CNC

11. Conclusiones

El principal objetivo de este trabajo era, como su propio título indica, Diseño y fabricación de una maquina CNC láser con plataformas de desarrollo abiertas. Y una vez terminado se puede decir que cumple con su finalidad.

La idea era llevar a cabo un sistema simplificado de maquina CNC que contenga una diversidad de elementos, tanto mecánicos como electrónicos, que lo conviertan en un sistema de ingeniería mecatrónica.

Se trata de un trabajo que engloba todos los conocimientos adquiridos a lo largo del Máster de Ingeniería Mecatrónica. Durante su realización se han puesto a prueba conocimientos informáticos, a la hora de programar el microcontrolador junto con el resto de dispositivos, conocimiento mecánicos, a la hora de construir la estructura o el diseño de piezas necesarias, y conocimientos en electrónica, para la conexión y uso de todos los dispositivos electrónicos presentes en el sistema.

Además, se ha logrado programar el sistema con plataformas de desarrollo abiertas usando Arduino y un firmware propio, basado en GRBL, combinando el código de control de los motores utilizado por los drivers junto al intérprete de comandos "G-code" programado. Gracias a esta simplificación se facilitará la comprensión del GRBL, que es la base de toda máquina CNC, independientemente de su función.

Una vez finalizado se puede decir que se han superado todos los retos que suponía el desarrollo del sistema de forma satisfactoria.

12. Bibliografía

<https://howtomechatronics.com/projects/simplest-cnc-machine-with-minimum-parts-possible-diy-laser-engraver/>

<https://www.srferrete.es/cnc-laser>

<https://www.luisllamas.es/que-es-el-g-code-y-su-importancia-en-la-impresion-3d/>

<https://spiritdude.wordpress.com/tag/alu-extrusion/>

<http://industriasyempresas.com.ar/node/2088>

<https://inoxform.eu/es/tipos-de-maquinas-cnc/>

<https://www.joseangelmercado.com/blog/lo-necesita-saber-corte-laser/>

<https://www.troteclaser.com/es-us/faqs/tipos-de-laser/>

<https://www.stanser.com/cortadora-cnc-laser-beneficios-ventajas-y-utilidades/>

<http://fabacademy.org/archives/2014/students/begle.moritz/week13.html>

<https://www.hwlibre.com/drv8825/#:~:text=Un%20driver%20para%20motores%20es,controlar%20la%20velocidad%20de%20giro.>

<https://www.rs-online.com/designspark/stepper-motors-and-drives-what-is-full-step-half-step-and-microstepping>

<https://www.areatecnologia.com/mecanismos/engranajes.html>

<https://sites.google.com/site/mecanismos1oima03sap2/elementos-de-maquinas/mecanismo-tornillo-sin-fin-corona?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1>

<http://www.javierarnedo.com/driver-a4988-nema-17-ajuste-voltaje-referencia/>

<https://www.hobby-hour.com/electronics/smdcalc.php>

<https://www.neoteo.com/lasergrbl-programa-open-source-para-hacer-grabados-laser-diy/>

<http://diylasercnc.com/lasergrbl>

<https://www.eurolaser.com/es/sistemas-laser/componentes-del-sistema/boquillas-de-corte>

D

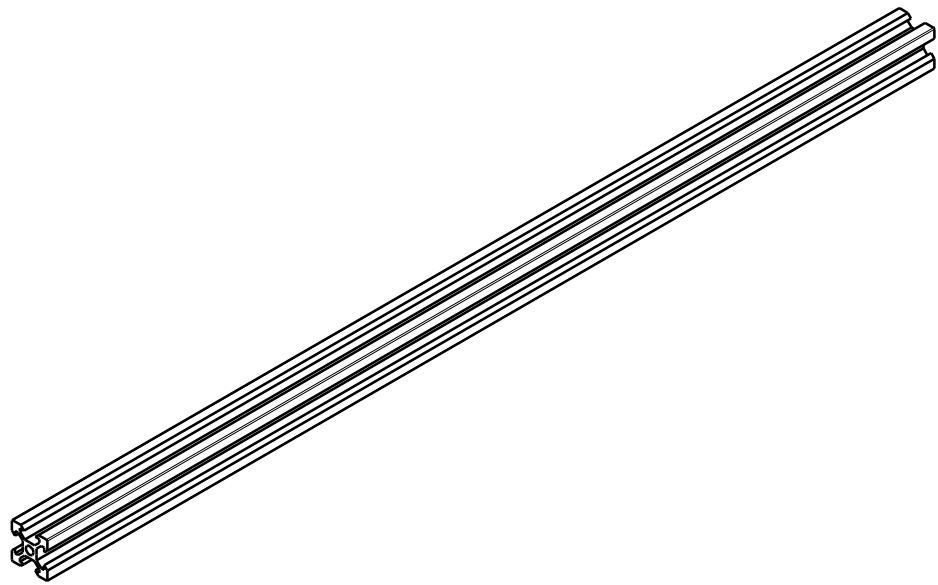
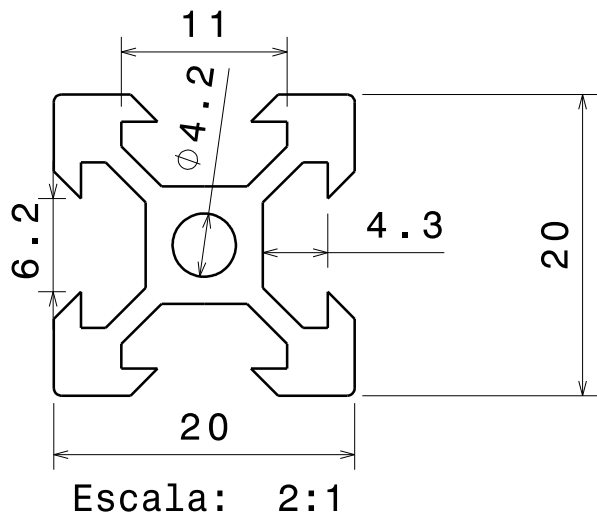
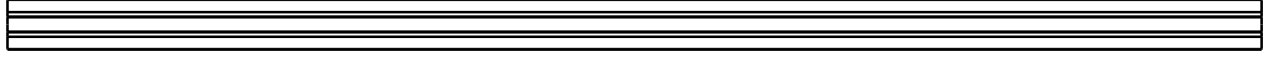
C

B

A

13. Anexos

13.1 Anexo A: Planos piezas diseñadas



Proyecto : Diseño y fabricación de una maquina CNC láser con plataformas de desarrollo abiertas

DESCRIPCION

Perfil_Aluminium_2020

Elaborado
MEHDI DALOUZI

Fecha
1/19/2022

Tamaño

Material :

A4

Aluminium

Revisado
XXX

Fecha
XXX

Escala 1:3

N° de hoja : 1/1

D

A

4

4

3

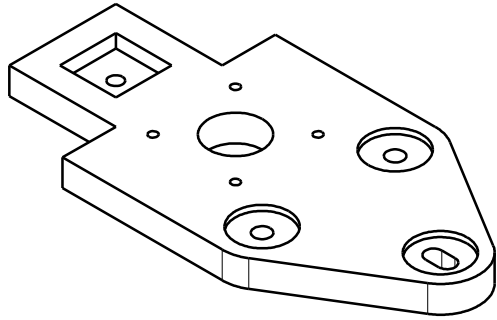
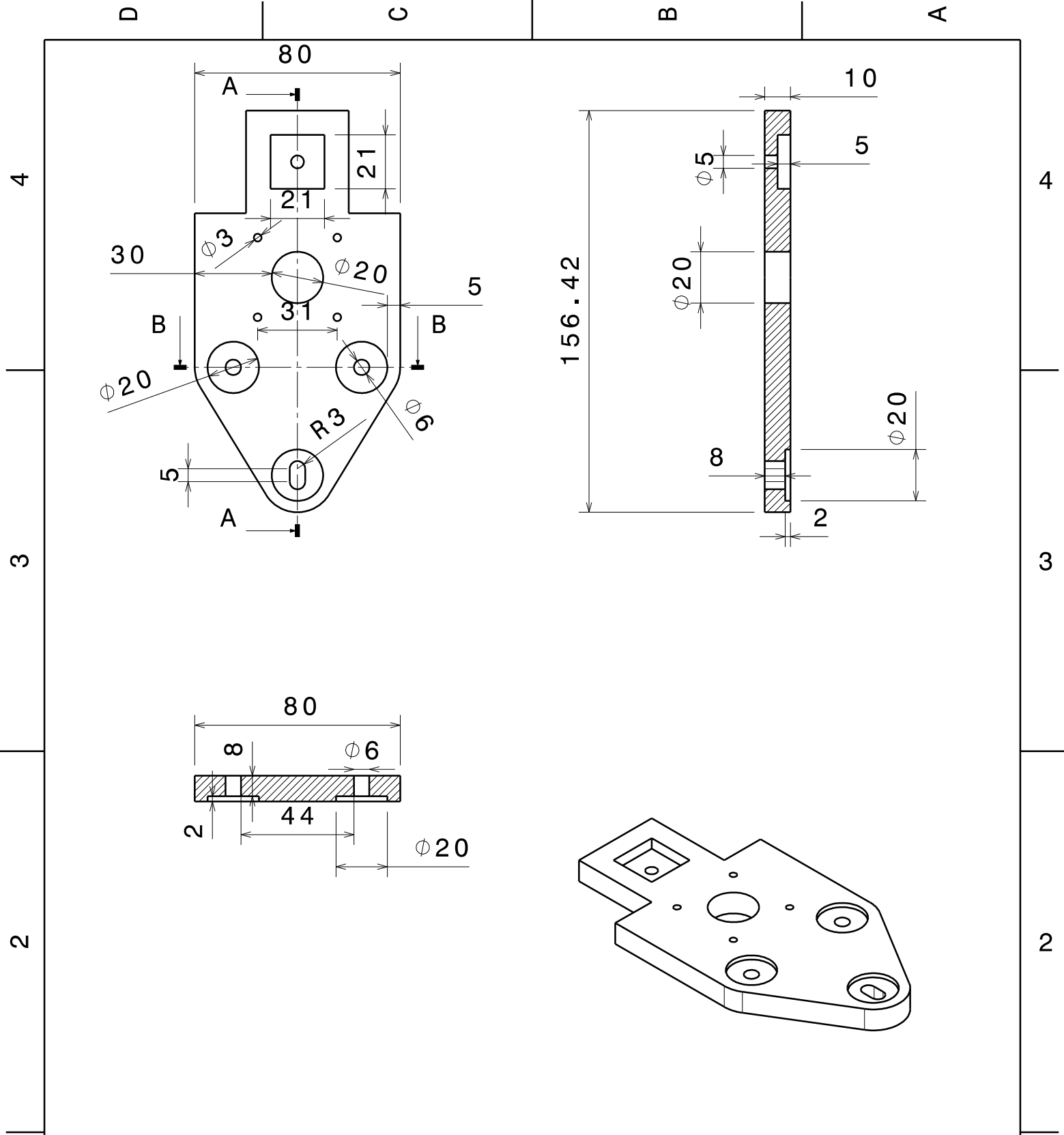
3

2

2

1

1



Proyecto : Diseño y fabricación de una maquina CNC láser con plataformas de desarrollo abiertas

DESCRIPCION

Pieza_Soporte_N1

Elaborado
MEHDI DALOUZI

Fecha
1/19/2022

Revisado
XXX

Fecha
XXX

Tamaño
A4

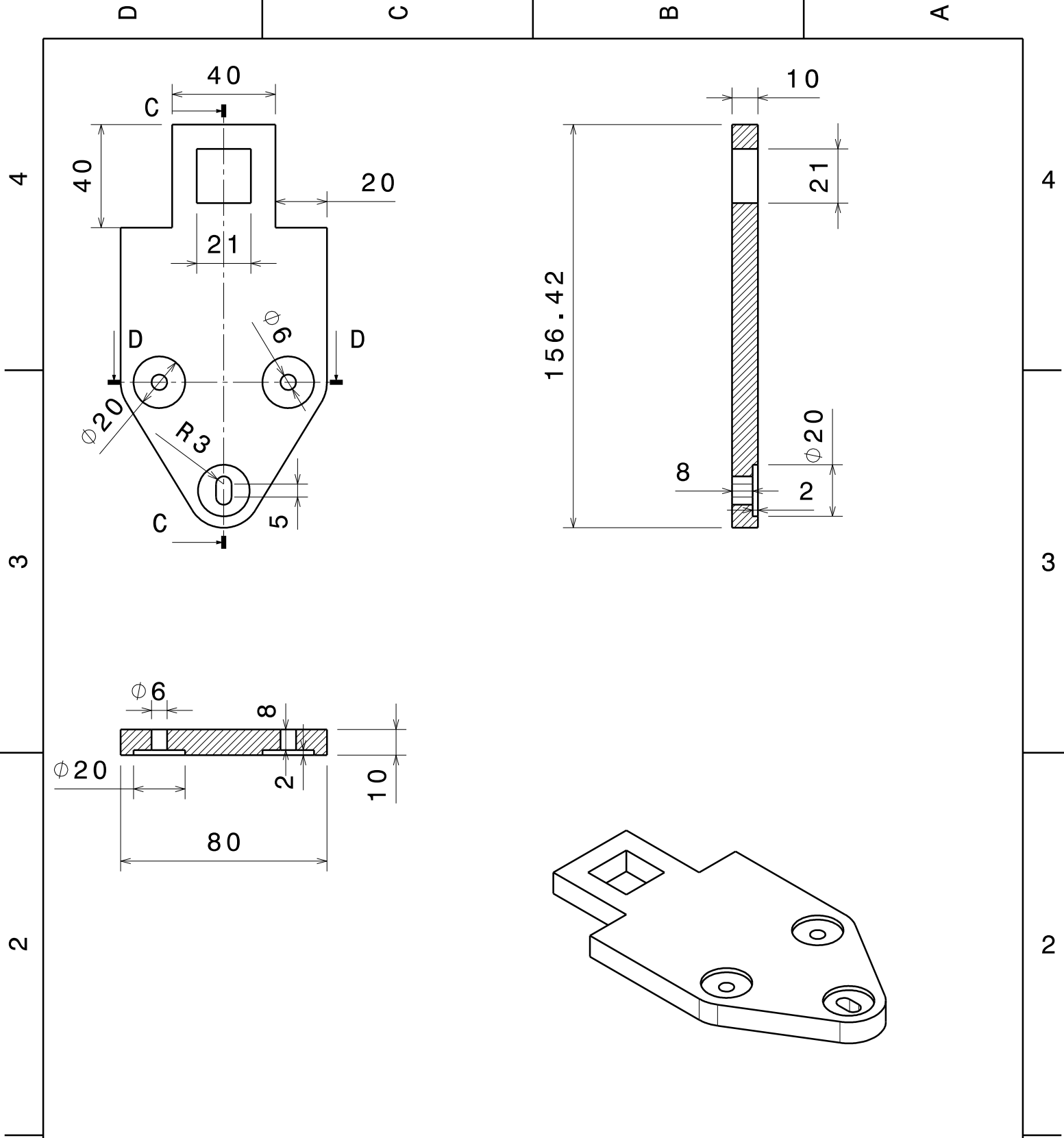
Material :
Metacrilato Plexiglas Transparente

Escala 1:2

N° de hoja : 1/1

D

A



Proyecto : Diseño y fabricación de una maquina CNC láser con plataformas de desarrollo abiertas

DESCRIPCION

Pieza_Soporte_N2

Elaborado
MEHDI DALOUZI

Fecha
1/19/2022

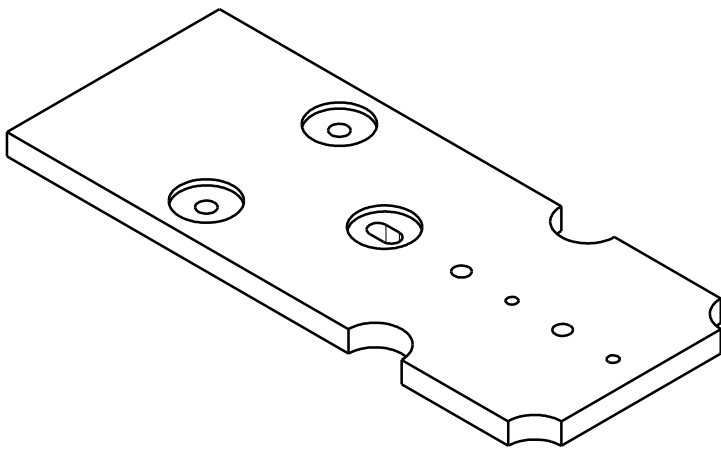
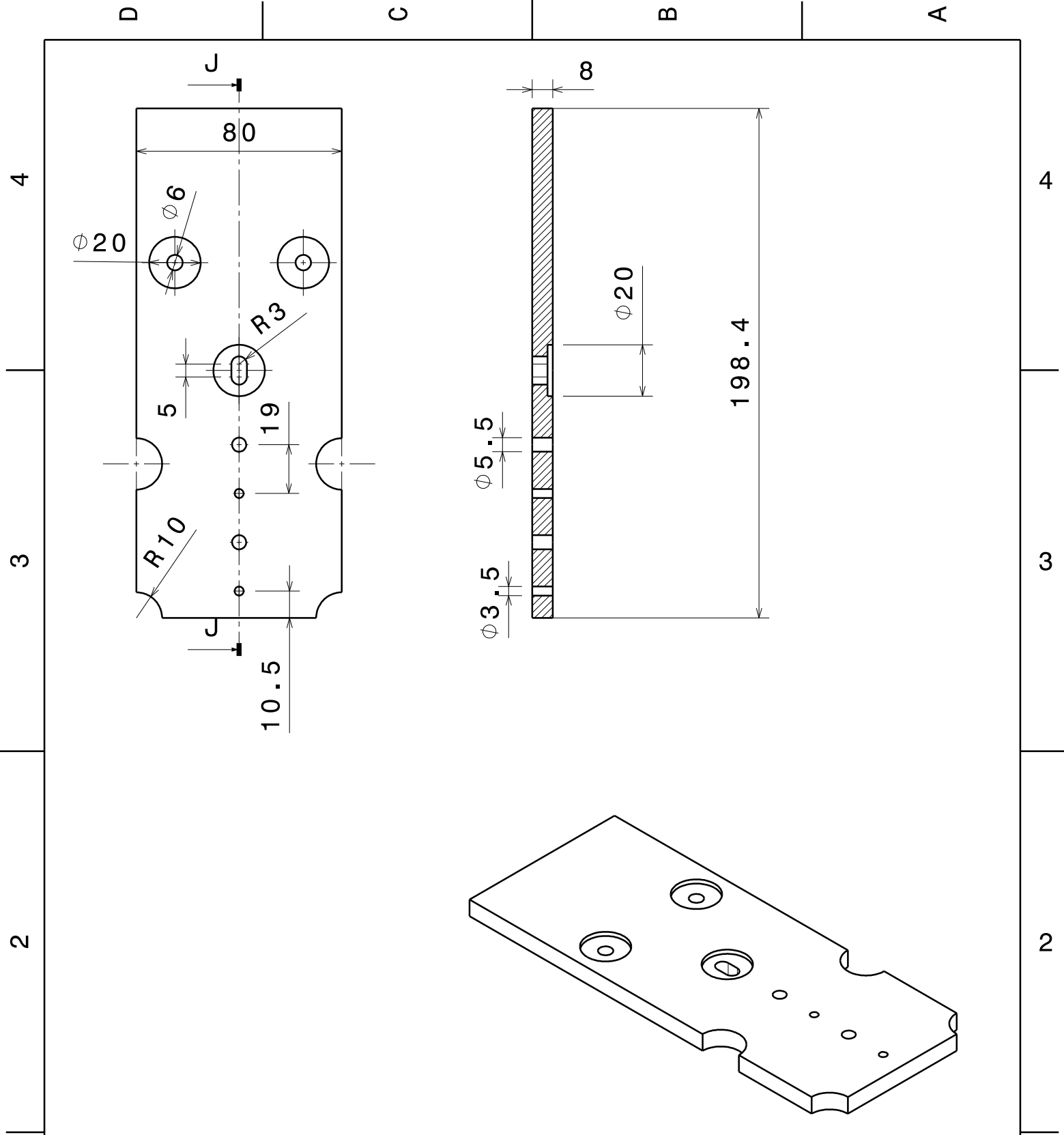
Tamaño
A4

Material :
Metacrilato Plexiglas Transparente

Revisado
XXX

Fecha
XXX

Escala 1:2 N° de hoja : 1/1



Proyecto : Diseño y fabricación de una maquina CNC láser con plataformas de desarrollo abiertas

DESCRIPCION

Pieza_Soporte_Laser

Elaborado
MEHDI DALOUZI

Fecha
1/19/2022

Revisado
XXX

Fecha
XXX

Tamaño
A4

Material :
Metacrilato Plexiglas Transparente

Escala 1:2

N° de hoja : 1/1

D

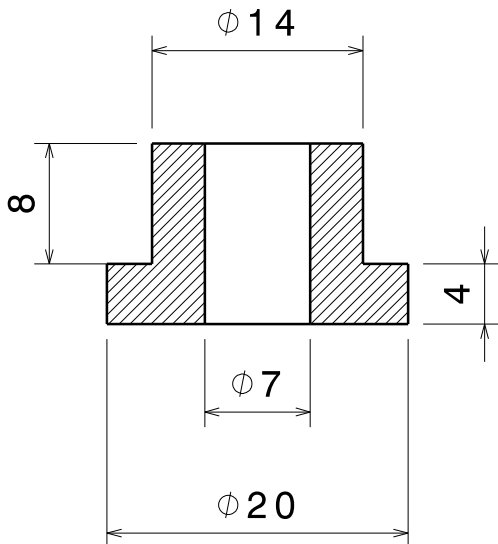
C

B

A

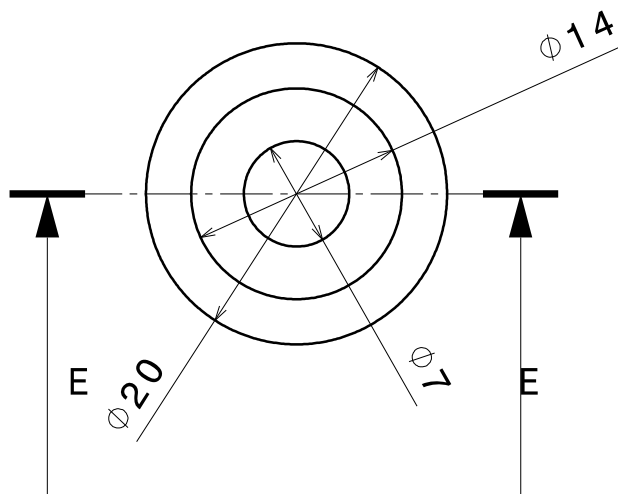
4

4



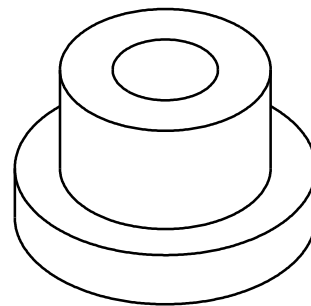
3

3



2

2



Proyecto : Diseño y fabricación de una maquina CNC láser con plataformas de desarrollo abiertas

DESCRIPCION :

Separador_Superior

1

1

Elaborado
MEHDI DALOUZI

Fecha
1/19/2022

Tamaño

Material :

A4

Nylon

Revisado
XXX

Fecha
XXX

Escala 2:1

N° de hoja : 1/1

D

A

D

C

B

A

4

4

3

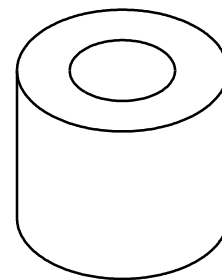
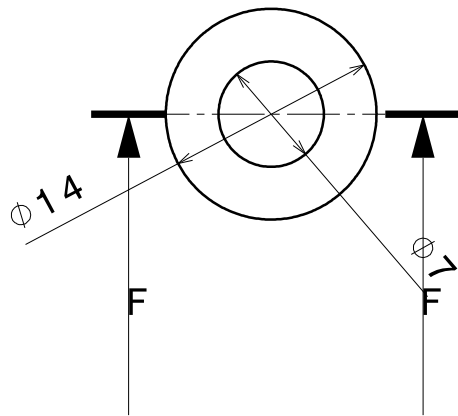
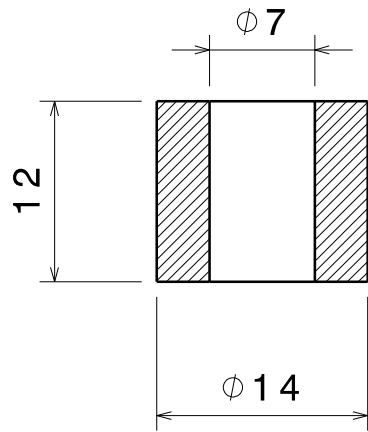
3

2

2

1

1



Proyecto : Diseño y fabricación de una maquina CNC láser con plataformas de desarrollo abiertas

DESCRIPCION

Separador_Inferior

Elaborado
MEHDI DALOUZI

Fecha
1/19/2022

Tamaño

Material :

A4

Nylon

Revisado
XXX

Fecha
xxx

Escala 2:1

N° de hoja : 1/1

D

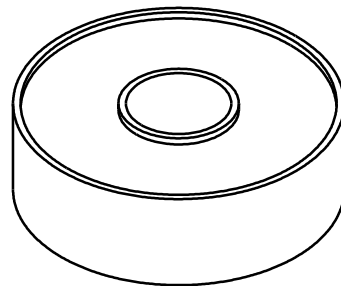
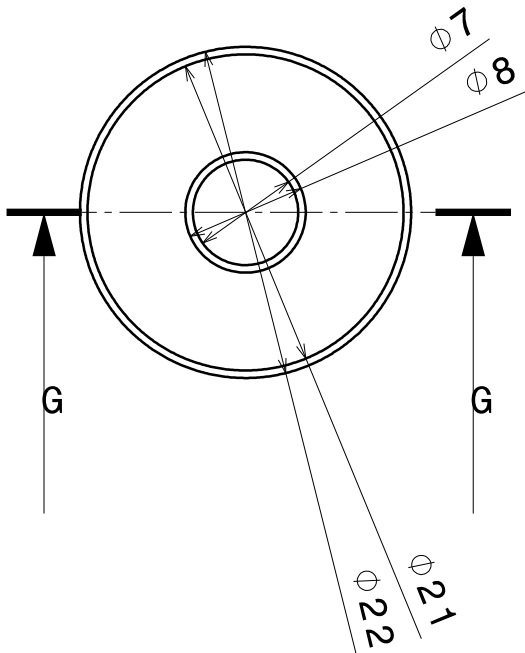
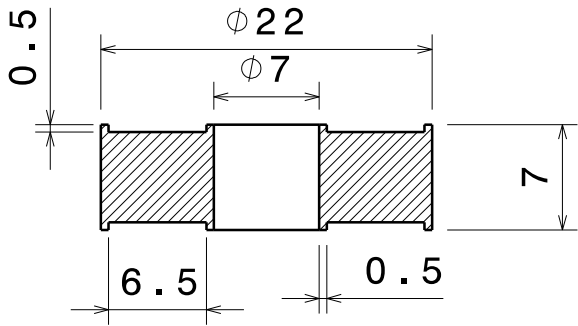
A

D

C

B

A



Proyecto : Diseño y fabricación de una maquina CNC láser con plataformas de desarrollo abiertas

DESCRIPCION :

Rueda

Elaborado
MEHDI DALOUZI

Fecha
1/19/2022

Revisado
XXX

Fecha
xxx

Tamaño
A4

Material :

Escala 2:1

N° de hoja : 1/1

D

A

4

4

3

3

2

2

1

1

D

C

B

A

4

4

3

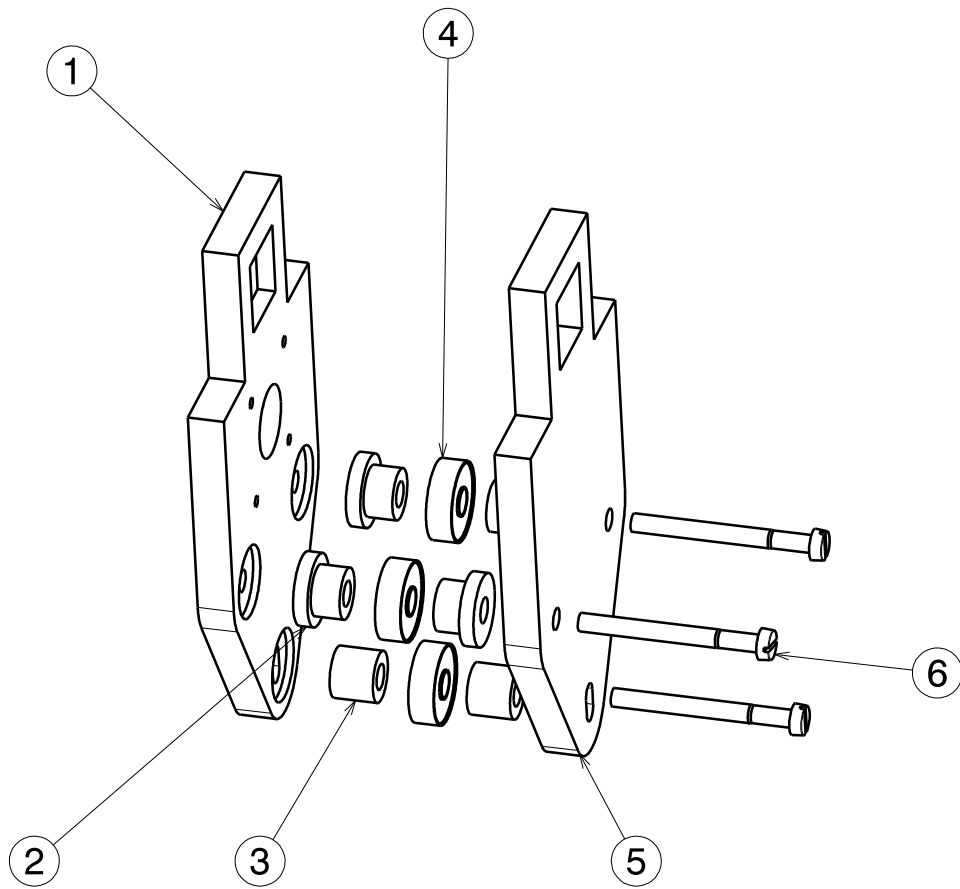
3

2

2

1

1



N° de pieza	Nombre de pieza	Cantidad
1	Pieza_Extremo_N1	1
2	Separador_Superior	4
3	Separador_Inferior	2
4	Rueda	3
5	Pieza_Extremo_N2	1
6	Tornillo M5x60	3

UJa.
Universidad de Jaén

Proyecto : Diseño y fabricación de una
maquina CNC láser con plataformas de
desarrollo abiertas

DESCRIPCION :

Mechanismo de translación CNC

Elaborado
MEHDI DALOUZI

Fecha
1/19/2022

Tamaño

Material :

Revisado
XXX

Fecha
XXX

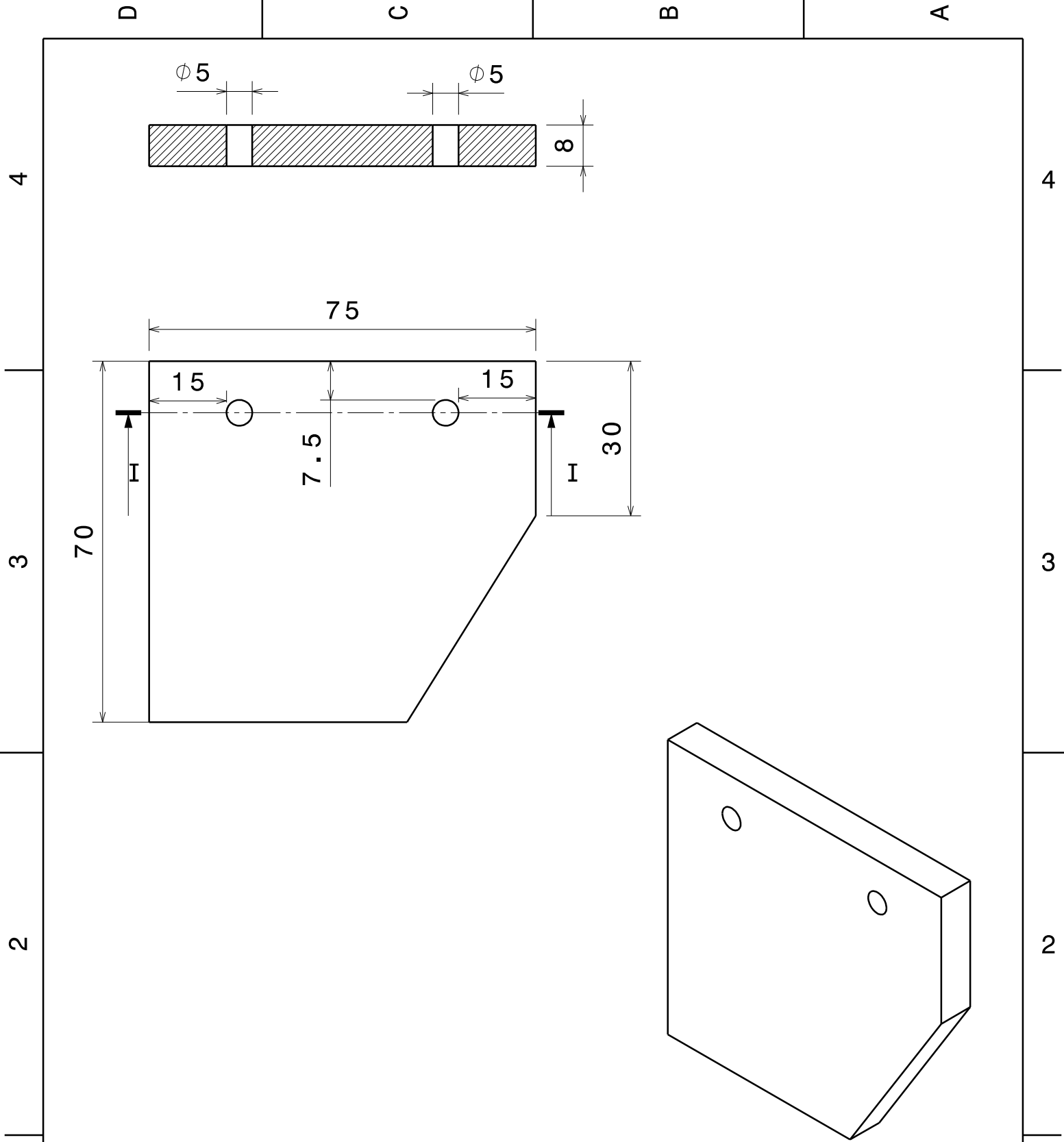
A4

Escala 1:2

N° de hoja : 1/1

D

A



Proyecto : Diseño y fabricación de una maquina CNC láser con plataformas de desarrollo abiertas

DESCRIPCION :

Pierna_CNC

Elaborado
MEHDI DALOUZI

Fecha
1/19/2022

Revisado
XXX

Fecha
XXX

Tamaño
A4

Material :
Metacrilato Plexiglas Transparente

Escala 1:1

N° de hoja : 1/1

D

A

D

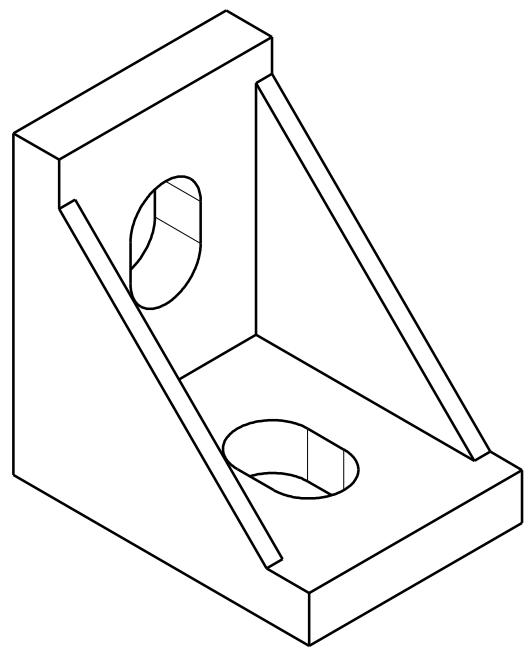
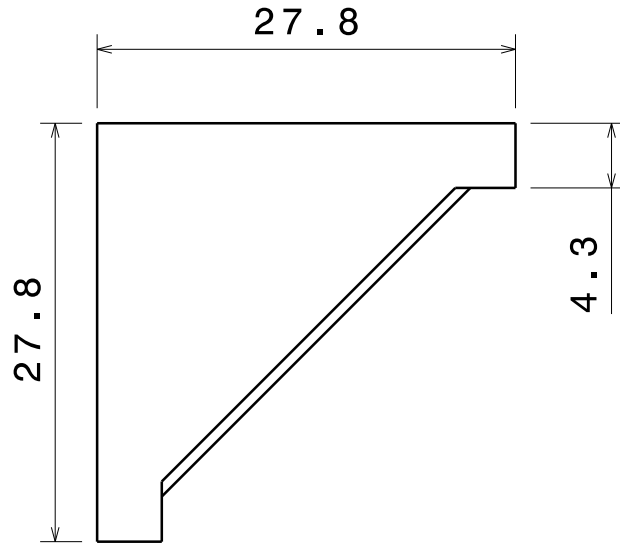
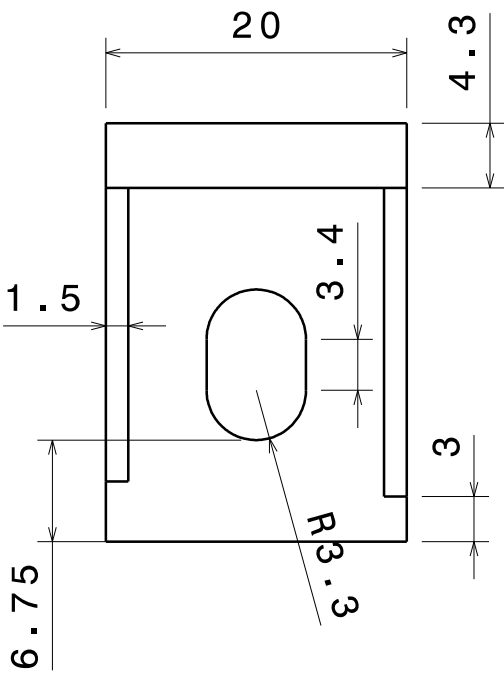
C

B

A

4

4



3

3

2

2



Proyecto : Diseño y fabricación de una maquina CNC láser con plataformas de desarrollo abiertas

DESCRIPCION :

Esquina_2028_Perfil_Aluminium

Elaborado
MEHDI DALOUZI

Fecha
1/19/2022

Tamaño

Material :

A4

Aluminium

Revisado
XXX

Fecha
XXX

Escala 1:2

N° de hoja : 1/1

D

A

1

1