



UNIVERSIDAD DE JAÉN

Escuela Politécnica Superior de Linares

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA FRESADORA CNC

Alumno: Jesús Alonso Contreras Anguita

Tutor: Prof. D. Mario Miró Barnés

Dpto: Ingeniería Mecánica



Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Linares
Departamento de Ingeniería Mecánica

Don **Mario Miró Barnés**, tutor del Proyecto Fin de Grado titulado: Diseño y fabricación de una fresadora CNC, que presenta **Jesús Alonso Contreras Anguita**, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Linares.

Linares, Septiembre de 2021

El alumno:

El tutor:

D. Jesús Alonso Contreras Anguita

D. Mario Miró Barnés

Índice

1.	Objetivos	1
1.1	Dispositivos básicos	1
1.2	Uso de plataformas libres.....	1
1.3	Obtención del diseño mediante software CAD	1
1.4	Implementación del sistema de CNC de tres ejes.....	1
1.5	Obtención de piezas mecanizadas.....	2
2.	Diseño	3
2.1	Base	3
2.2	Soportes para motores y rodamientos.....	4
2.3	Eje Y	6
2.4	Eje X.....	7
2.5	Eje Z.....	8
2.6	Conjunto final	9
3.	Tecnologías de fabricación utilizadas.....	10
3.1	Corte láser.....	10
3.1.1	Product Designer.....	10
3.1.2	ABE Planner	12
3.1.3	Blank CAM	14
3.2	Centro de mecanizado	20
4.	Fabricación.....	22
4.1	Base	22
4.2	Soportes para motores y rodamientos	23
4.3	Eje Y	24
4.4	Eje X.....	25
4.5	Eje Z.....	26

5.	Ensamblaje.....	27
6.	Configuración y conexiones eléctricas	30
7.	Posibles mejoras	42
	7.1 Instalación de módulo wifi	42
	7.2 Instalación de pantalla LCD	43
	7.3 Instalación de lector de tarjetas SD.....	43
	7.4 Instalación de finales de carrera en cada eje	43
	7.5 Instalación de pulsador de paro de emergencia.....	43
	7.6 Instalación de sistema de limpieza.....	43
8.	Conclusiones	44
9.	Bibliografía.....	45
10.	Anexos.....	46
10.1	Apéndice A. Listado de materiales	47
10.2	Apéndice B. Planos	49

1. Objetivos

El proyecto tiene como objetivo crear un dispositivo de fresado por control numérico computerizado (CNC) desde su diseño previo en 3D a través de un software CAD, su fabricación e implementación de la electrónica y configuración.

1.1 Dispositivos básicos

Se han usado componentes básicos para la creación de este tipo de máquina. Como son los motores paso a paso, husillos, mordazas, motor principal y controladores Arduino y GRBL.

1.2 Uso de plataformas libres

De este modo podemos tener acceso a software gratuito y hardware a un precio razonable. Además de la numerosa información que ofrece una amplia comunidad que aporta su ayuda de forma desinteresada.

1.3 Obtención del diseño mediante software CAD

Para ello se ha empleado el software de diseño Solid Edge ST10. Es necesario remarcar que el diseño es totalmente propio basado en otros dispositivos, los cuales presentaban algún punto débil.

1.4 Implementación del sistema de CNC de tres ejes

La tecnología está tremendamente extendida, esto conlleva a que la fabricación mediante métodos CNC sea un estándar en la mayoría de la industria.

Si analizamos los elementos de cualquier máquina CNC, presentan una estructura muy similar. Las principales diferencias son el número de ejes, tener la capacidad o no de cambio de herramientas y los sensores implementados.

En el caso de nuestro proyecto se cumple con el siguiente esquema:

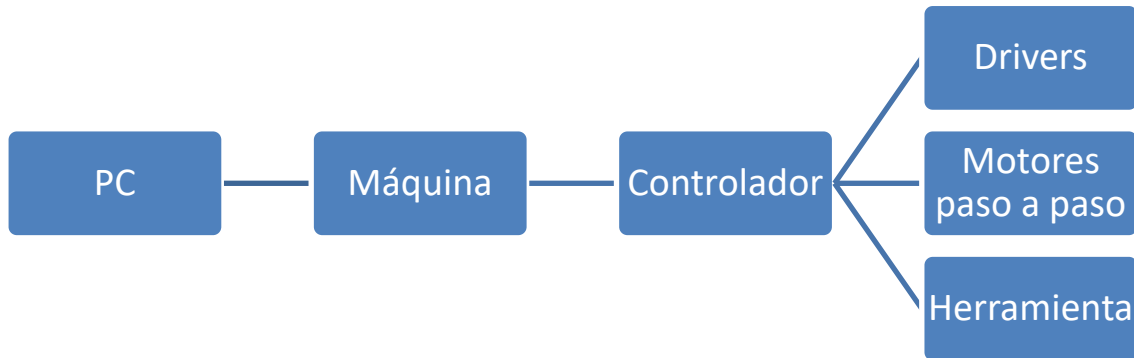


Figura 1. Esquema CNC.

1.5 Obtención de piezas mecanizadas

Tras ejecutar este proyecto demostraremos el correcto funcionamiento del conjunto mediante el mecanizado de piezas de ejemplo. A partir de dichas piezas se podrá comprobar la calidad dimensional resultante; en este sentido cabe destacar que dada la potencia de los motores para los ejes y del motor elegido para el husillo principal, esta máquina está pensada para ejecutar mecanizados con pequeña profundidad de carga (eje Z) y sobre materiales de baja dureza: plásticos y metales blandos.

El objetivo principal, por tanto, es comprender los fundamentos de las máquinas CNC y aplicarlos sobre materiales de fácil maquinabilidad.

2. Diseño

El software CAD se ha convertido en una herramienta informática de vital importancia para la ingeniería. Conocer a priori los aspectos fundamentales de un diseño sin necesidad de perder tiempo ni dinero en el taller es fundamental. Para nuestro proyecto, el diseño de la máquina se ha llevado a cabo mediante el software Solid Edge ST10.

2.1 Base

Comenzamos trabajando sobre la estructura creada a partir de perfil de aluminio ISO de 45x45mm. La cuál irá ensamblada utilizando escuadras con alojamiento para tornillo de métrica 6.

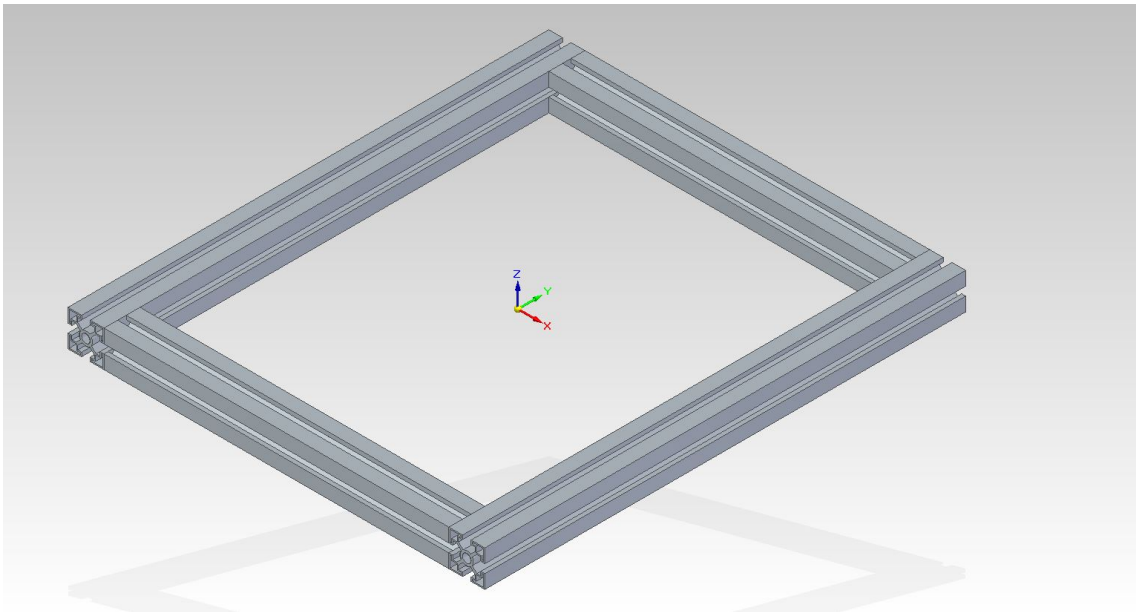


Figura 2. Base de perfiles ISO.

2.2 Soportes para motores y rodamientos

Una vez diseñada la base de nuestra máquina, se ha procedido al diseño de los soportes para los motores paso a paso.

Hemos seguido el diseño que mejor se ajusta a nuestra máquina, ya que en el mismo soporte además se han integrado las guías del eje sobre las cuales deslizan los rodamientos lineales del eje Y.

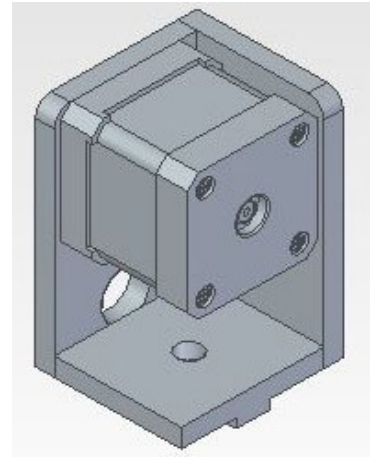
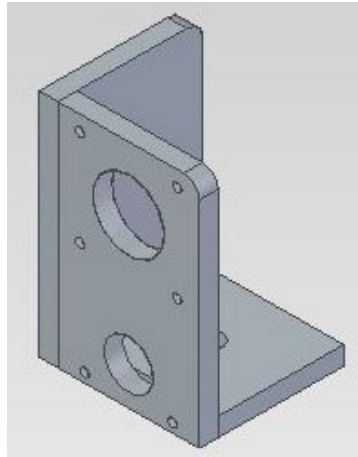
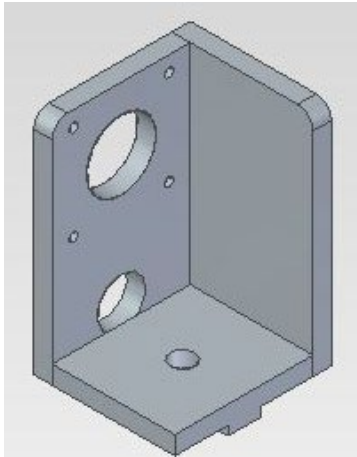


Figura 3. Soporte para motor Nema 17.

Como podemos ver, las partes se han creado a partir de piezas sólidas las cuales irán atornilladas utilizando tornillos de métrica 3. En la figura anterior vemos la posición en la que se acopla el motor al soporte. De esta manera conseguimos que la unión sea robusta y nos aseguramos que no aparezca ningún movimiento indeseado a la hora de accionar el motor.

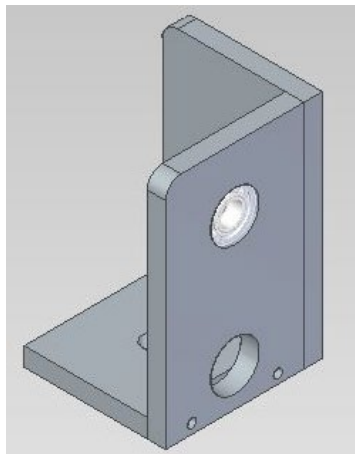


Figura 4. Soporte para rodamientos y guía.

En el extremo contrario al soporte del motor, nos encontramos con el soporte de la barra guía y el soporte del rodamiento para el husillo. (Figura 4)

El montaje del conjunto una vez ensamblados los soportes para rodamientos y motores quedaría como se muestra a continuación.

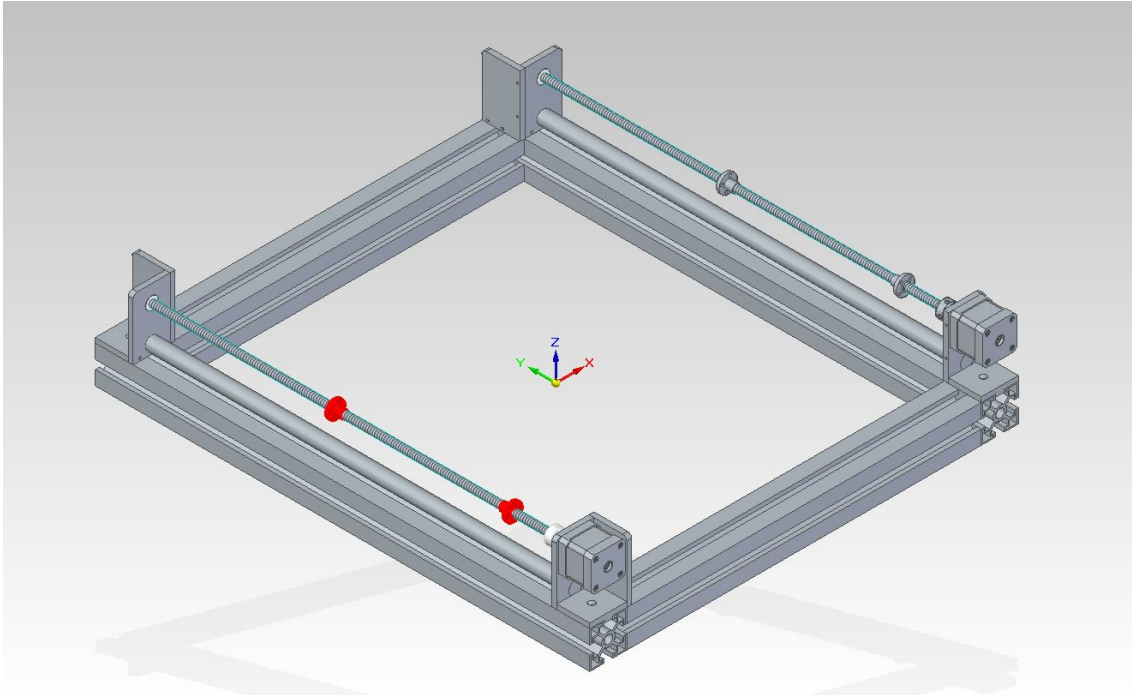


Figura 5. Conjunto con soportes para motores, rodamientos y guía ensamblados.

De esta manera quedaría el conjunto de guía y husillo montado. En cuanto al husillo, cuyas características son rosca cuadrada de diámetro 8mm y paso de 2mm, va fijado en el extremo cercano al motor a través de unos acoples semirrígidos. Éstos permiten absorber holguras y posibles desviaciones al ser accionado por el motor.

En el extremo opuesto se ha utilizado un rodamiento tipo 688zz de 16mm de diámetro.

Para la guía se ha tenido en cuenta utilizar barra calibrada de 16mm para dar la máxima rigidez al conjunto.

2.3 Eje Y

El siguiente paso seguido en el diseño de la máquina ha sido la creación del sistema de arrastre del eje Y. La creación de las distintas partes que componen el soporte de este eje han sido creadas para dar la máxima estabilidad y rigidez a la estructura.

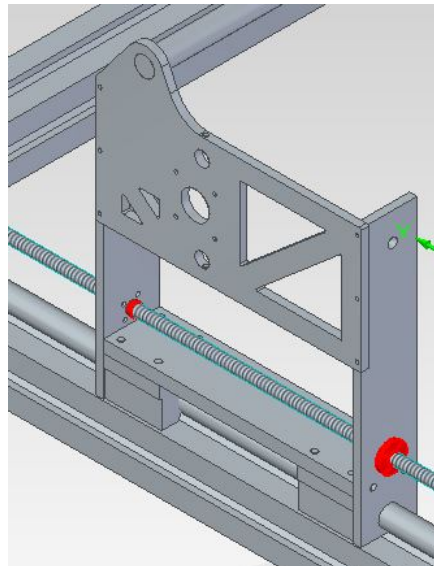


Figura 6. Soporte eje Y.

Como podemos ver, el conjunto consta de 4 placas atornilladas entre sí por medio de tornillos de métrica 3. En la figura 6 se observa como estas placas dan soporte a dos rodamientos lineales y a la fijación del eje al husillo. El motivo de dar más anchura al pilar radica en evitar el momento del conjunto superior al colocar el motor del husillo, que aporta a la estructura un peso extra situado en un extremo. Nuestro objetivo es aminorar al máximo posible el momento realizado por el motor en la estructura evitando así imprecisiones en el movimiento y vibraciones indeseables, las cuales podrían dañar las herramientas o la pieza mecanizada. Todo lo que se acaba de indicar se pudo observar en un diseño menos robusto que se hizo previamente, donde se observó un desplazamiento inapropiado de este conjunto como consecuencia de las fuerzas de mecanizado, razón por la que se rediseñó esta parte y se utilizó la que vemos actualmente.

En la parte inferior del conjunto se encuentran 2 rodamientos lineales del tipo SBR16 abiertos. Los cuáles se han atornillado en una placa de 8mm de espesor que a su vez, a esa placa se han atornillado las partes frontal y posterior.

Esta parte de la estructura es sumamente importante ya que es la encargada de soportar a la vez todo el sistema del eje X. Así como el motor de accionamiento y las guías del mencionado eje.

Para intentar reducir el peso de la estructura se ha creado los huecos que se ven en la figura 6 de manera que no comprometan la integridad del conjunto.

2.4 Eje X

En cuanto a esta parte de la máquina, se han añadido 3 barras para evitar el giro de conjunto suspendido. Podemos ver que las barras inferiores son de menor diámetro, concretamente barra calibrada de 12mm y están separadas lo máximo posible para aumentar la inercia del conjunto, evitando así el momento que va a introducir el motor.

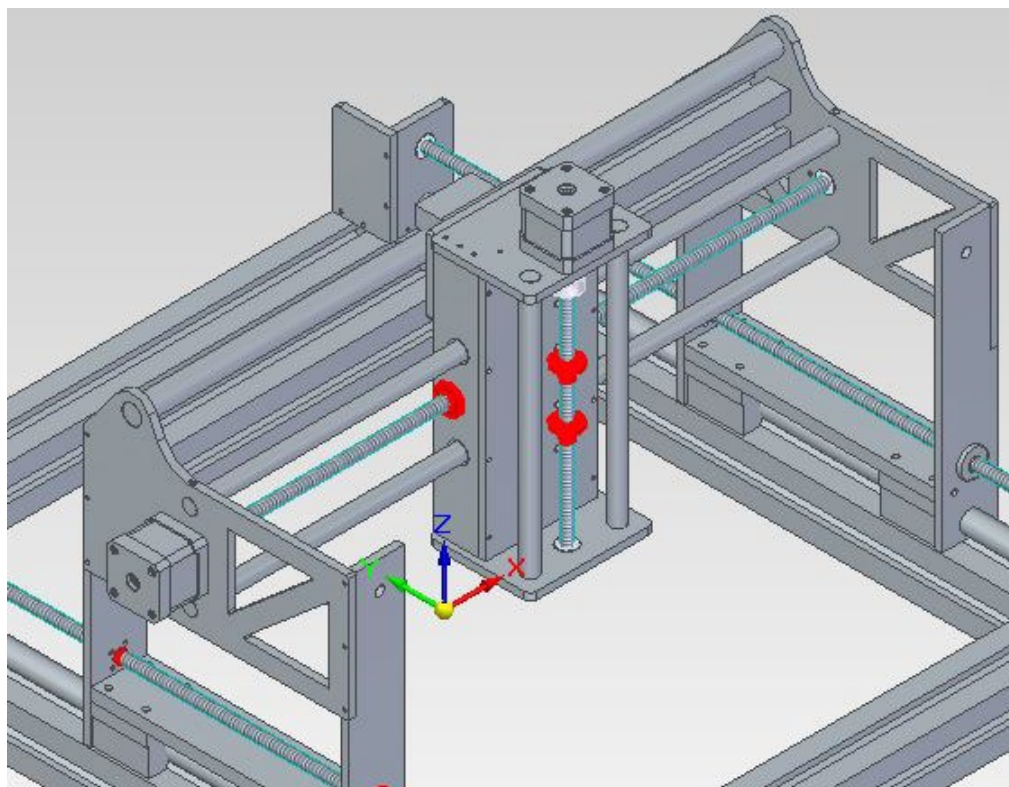


Figura 7. Conjunto eje X.

Este conjunto está formado por 5 partes independientes las cuales van atornilladas entre sí. En estas partes se alojará el motor de accionamiento del eje Z, las guías del mismo eje y el rodamiento para el husillo. Todo este conjunto permite a la máquina moverse a lo largo del eje transversal, cuyo arrastre lo facilitan las nueces que roscan sobre el husillo. Estas nueces, al igual que el husillo, son de rosca cuadrada de diámetro 8mm y 2mm de paso.

En el interior y parte posterior de la máquina encontramos 3 rodamientos lineales. Que para este caso se ha utilizado uno igual a los anteriores, SBR16 abierto, y 2 cerrados del tipo SCS12UU

2.5 Eje Z

Para la creación del sistema de arrastre de este eje nos apoyamos en las imágenes mostradas en la figura 8. En la que podemos ver cómo acoplamos el motor de accionamiento de este eje a la estructura y las guías.

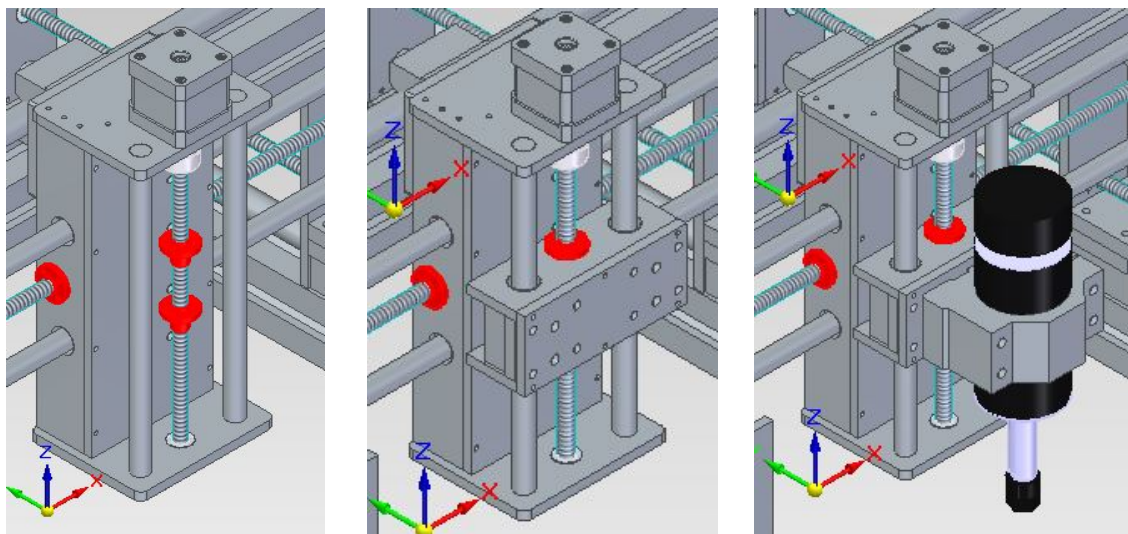


Figura 8. Conjunto eje Z.

Esta parte de la máquina está formada por 3 placas sólidas a las cuales se atornillan los rodamientos lineales de tipo cerrado, la nuez de arrastre y la mordaza del motor.

Todas las placas están pensadas para ser atornilladas entre sí mediante tornillos de métrica 3 excepto la mordaza, que se unirá al conjunto mediante varilla roscada de 8mm.

2.6 Conjunto final

Finalmente, el conjunto de la máquina quedaría como se muestra en la figura número 9. Una vez comprobado que no existe interferencia entre ninguna de las piezas existentes procedemos a la fabricación de las distintas partes.

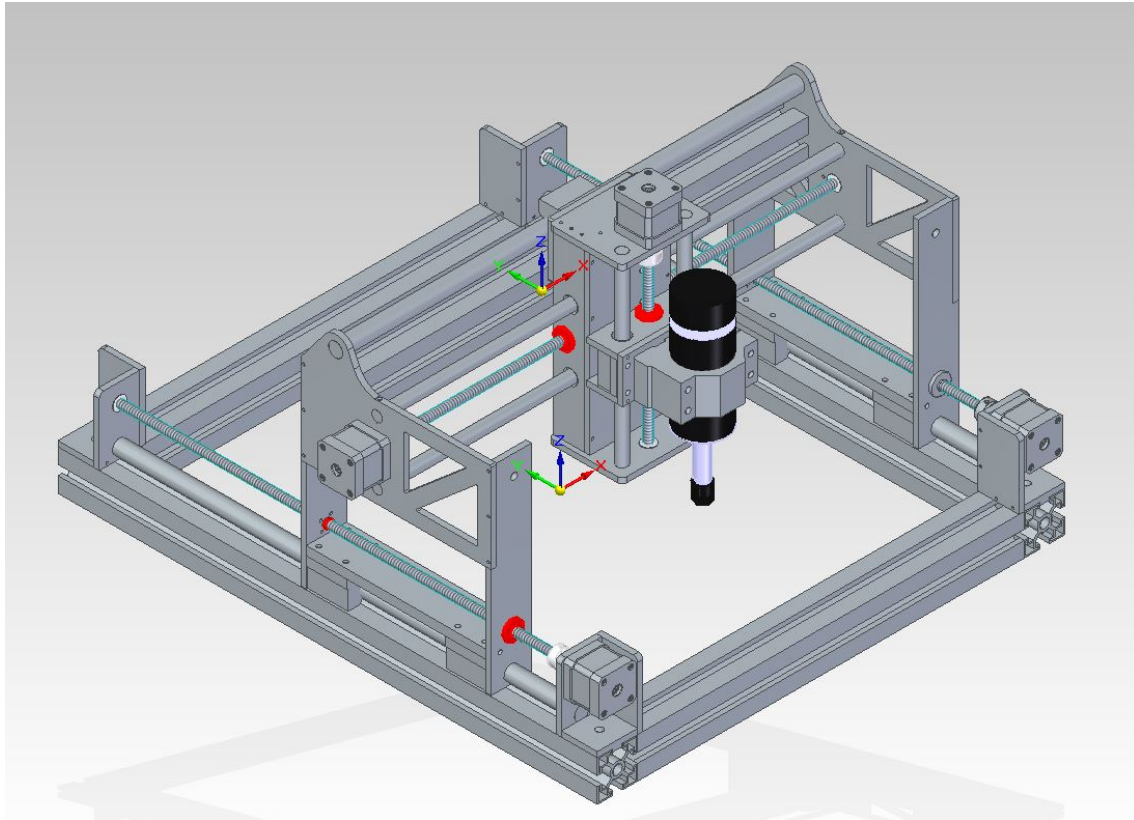


Figura 9. Vista general fresadora CNC.

3. Tecnologías de fabricación utilizadas

Una vez concluido el diseño 3D mediante el software Solid Edge ST10 se transformaron todas las piezas realizadas a formato dxf.

Esta transformación permite cargar la pieza en los programas de gestión de corte láser. De manera que podemos realizar un anidado con todas las piezas del conjunto para ser cortadas.

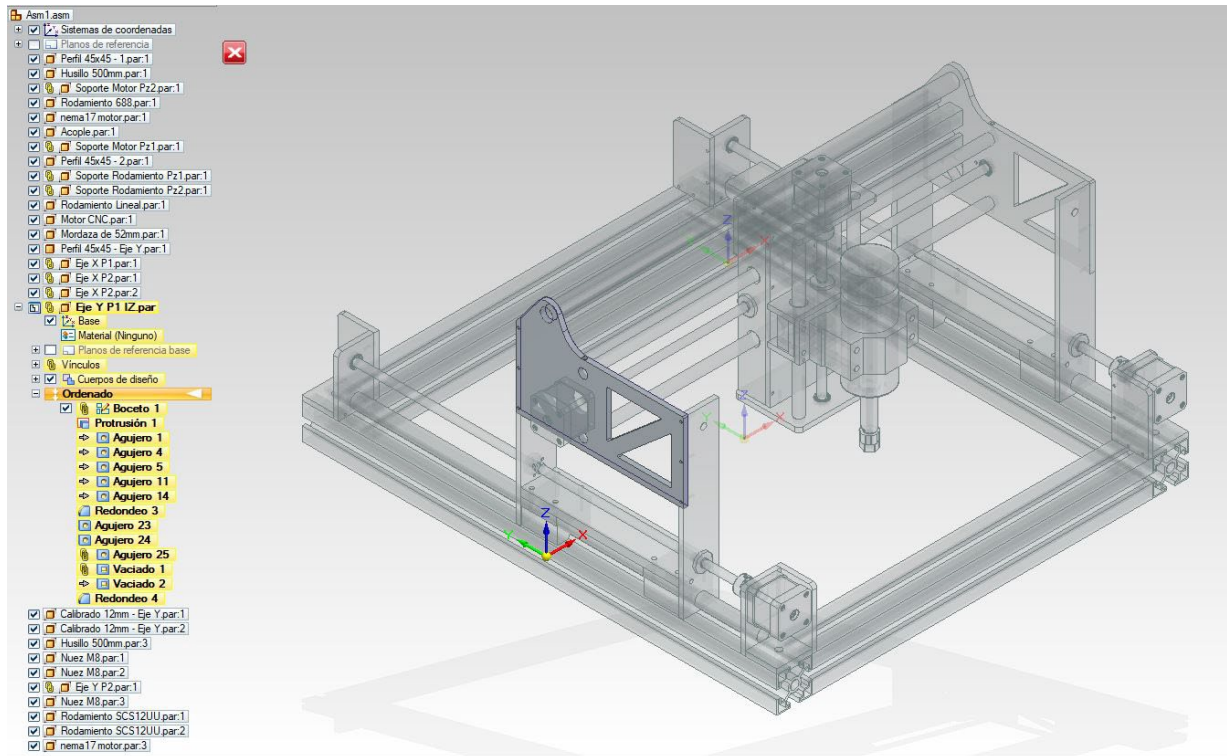


Figura 10. Vista general de una pieza del conjunto seleccionada.

3.1 Corte láser

El software utilizado para ello es el proporcionado por AMADA.

3.1.1 Product Designer

Con él se selecciona la geometría que se desea cortar. Asignando las distintas condiciones de corte a cada línea que conforma el boceto de la pieza. (Figura 11)

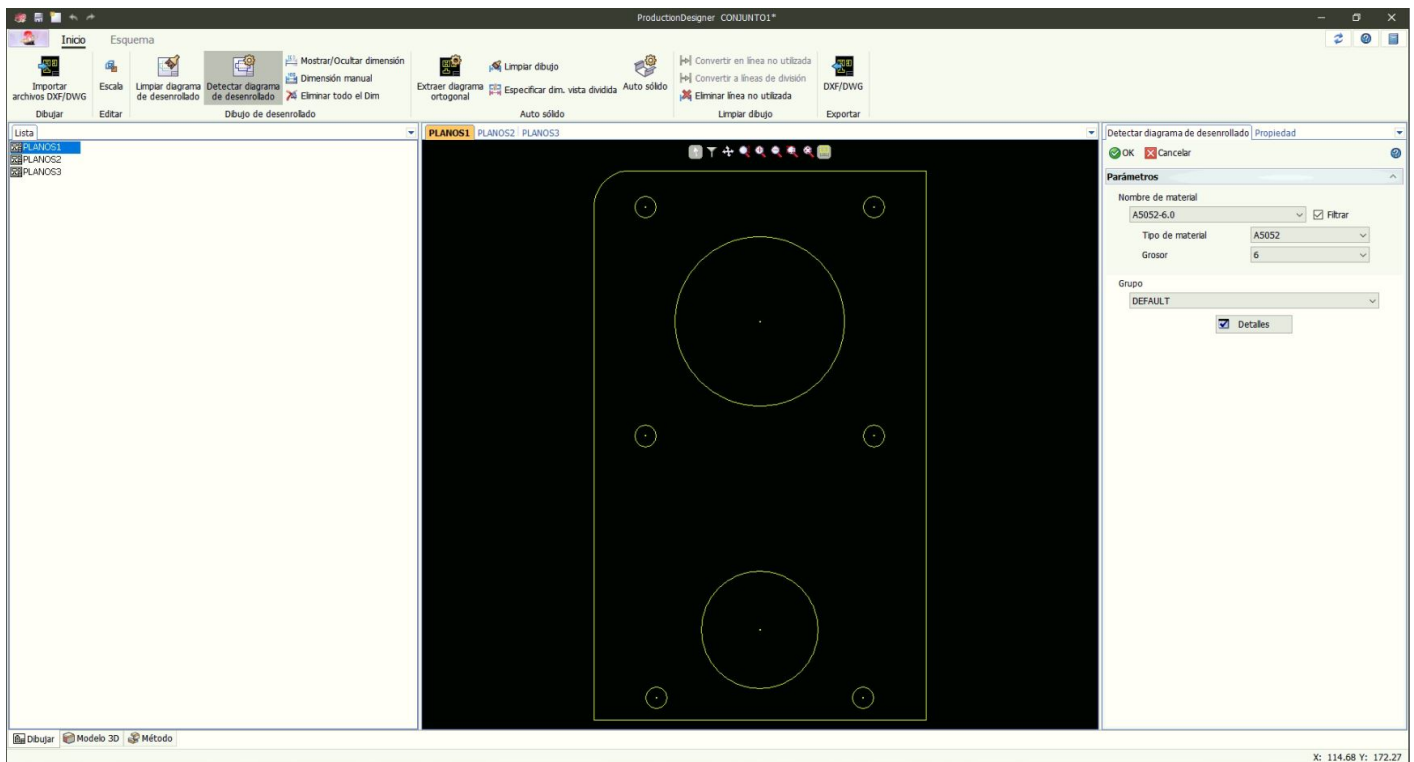


Figura 11. Production Designer.

En la figura podemos ver como en la parte izquierda se encuentran los distintos bocetos que hemos cargado. Cada boceto corresponde a una pieza independiente a la cual aplicaremos el filtro “extraer diagrama ortogonal”.

Este filtro separa las líneas de corte de las líneas de cota. Ya que en el archivo dxf se diferencia entre la capa de cotas, capa de líneas exteriores e interiores. Esta primera capa, es omitida del boceto quedando de esta manera limpio de líneas no deseadas para realizar el corte.

Una vez limpio el boceto 2D se aplica el material con los botones que se encuentran en la parte derecha de la pantalla. Es con ese menú con el que se aplica el tipo de material, en este caso aluminio y el espesor del mismo.

Para la fabricación de esta máquina se ha optado por un grosor de 6mm, ya que permite dar mayor rigidez al conjunto sin aportar un peso excesivo.

Una vez tenemos el material aplicado, guardamos y pasamos a la siguiente fase del proceso de corte. Creación del plan de producción.

3.1.2 ABE Planner

Para crear el llamado plan de producción se utiliza el software cuya interfaz vemos en la figura 12. Este software permite la creación del listado de piezas que se desea cortar.

Todo ello se realiza aplicando los filtros del material adecuados y unidades de cada una de las piezas requeridas.

Como vemos en la figura, tenemos todas las piezas de nuestro conjunto. Podemos utilizar el árbol de navegación de la parte izquierda de la pantalla para movernos por los distintos grupos de piezas. En este caso todas las piezas se han introducido en un solo grupo llamado CONJUNTO1.

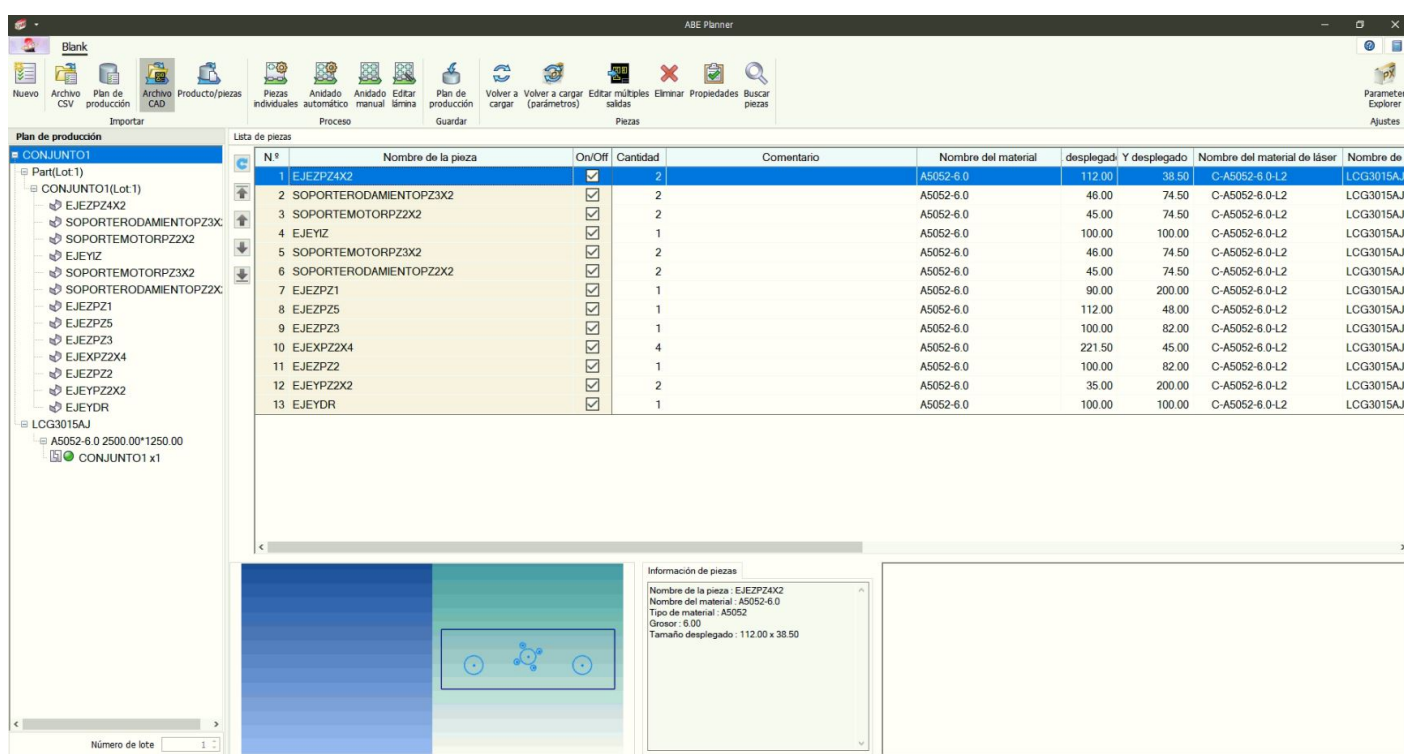


Figura 12. ABE Planner.

Una vez creado el grupo navegamos en la parte central de la pantalla, donde introducimos la cantidad de cada una de las piezas del conjunto. Además, se podría añadir un comentario, el cuál aparecería grabado en las mismas. Paso que en este caso omitiremos.

Podemos observar en la columna “Nombre de material”, el material asignado en el paso anterior. Podemos saber que está correcto ya que en todas

las casillas de la columna está el código A5052-6.0. Código que hace referencia al material, en este caso se trata de chapa de aluminio laminada de 6mm de espesor.

Otro dato importante que observamos son las dimensiones de cada una de las piezas. Esto permite tener una idea de la chapa que necesitamos y del hueco que las piezas ocuparán en esta.

Una vez vistas las columnas de material y de dimensiones. Observamos en la parte derecha de la imagen la columna con la máquina asignada a dicho corte. Para nuestra operación vemos que aparece la misma en todas las casillas, LCG3015AJ, esto se debe a que tenemos sólo una máquina disponible para operar en el sistema.

A continuación, una vez introducidos los parámetros anteriormente mencionados, procedemos a crear el anidado. Para ello pinchamos sobre el botón anidado automático. Donde pasaremos a la siguiente ventana de la aplicación para gestionar el corte.

3.1.3 Blank CAM

Este software nos permite realizar el anidado de las piezas en las posiciones adecuadas de la chapa para proceder a la operación de corte.

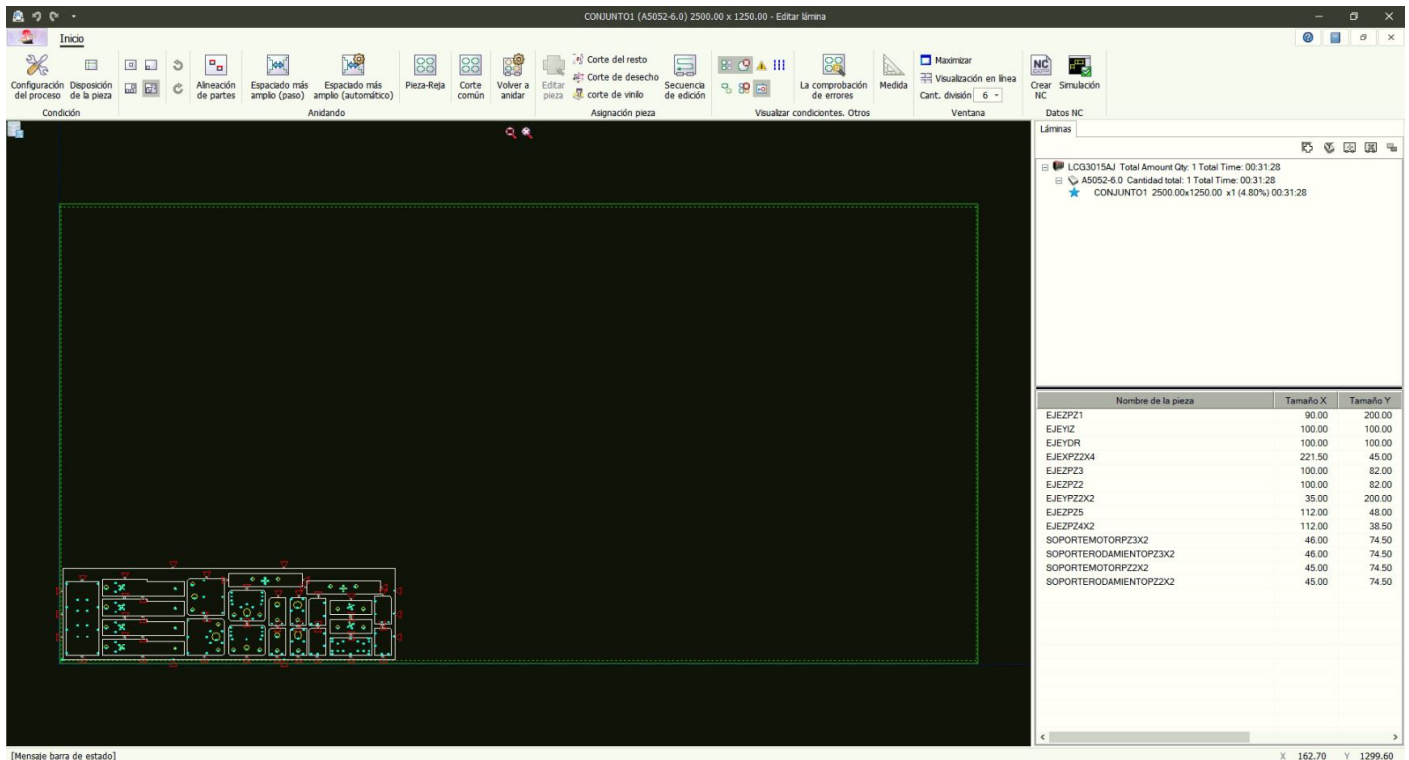


Figura 13. Blank CAM.

En la figura 13 se pueden ver las piezas de nuestra máquina de fresado acomodadas para aprovechar al máximo el formato de chapa. En esta fase se puede observar las distintas condiciones de corte aplicadas. Siendo las líneas amarillas a las que se aplica una velocidad de corte de 80%. Esto se utiliza para hacer los orificios de manera rápida, ya que este tipo de geometría no suele presentar problemas a la hora de realizar esta operación.

Los problemas que pueden aparecer son:

- Movimiento indeseado de la chapa en la bandeja de corte.
- Movimiento indeseado de las piezas ya cortadas. Es posible que las microuniones colocadas no sean suficientes, lo que da lugar a giros de las piezas. Esto lleva a que los sensores colocados en la punta del cabezal de la máquina de corte detecten el obstáculo y detengan la máquina antes de generar un problema mayor.

Es por este último motivo que los cortes perimetrales se hacen con una velocidad de corte entorno al 60%. Ya que a mayores longitudes la probabilidad de que aparezca un movimiento no deseado es mayor.

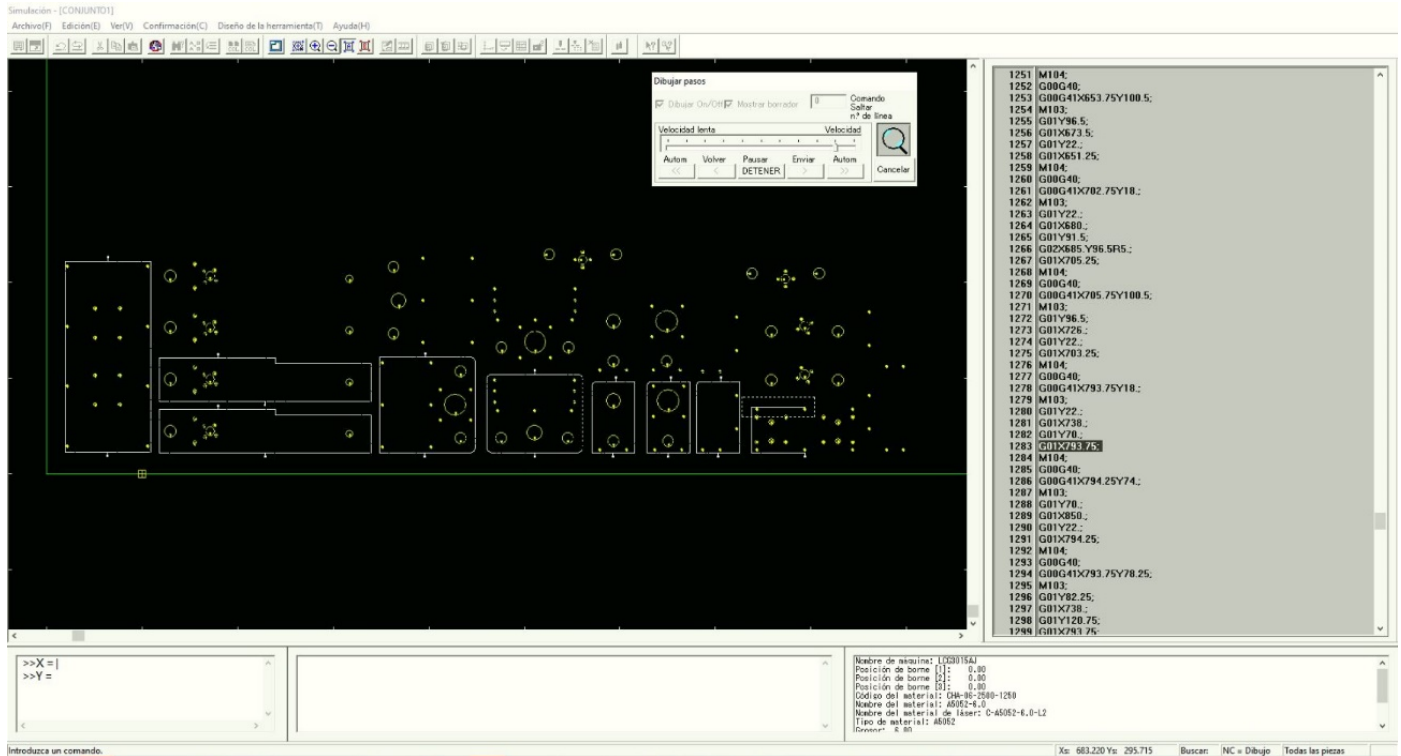


Figura 14. Simulación Blank CAM.

Una vez que hemos completado el anidado con todas las piezas de nuestro conjunto, procedemos a realizar la simulación de la operación de corte.

Podemos ver cómo en primer lugar se realizan las perforaciones y posteriormente las líneas perimetrales.

Los comandos del láser que podemos ver en la figura 14 son los siguientes:

M103: Inicio del corte.

M104: Fin del corte.

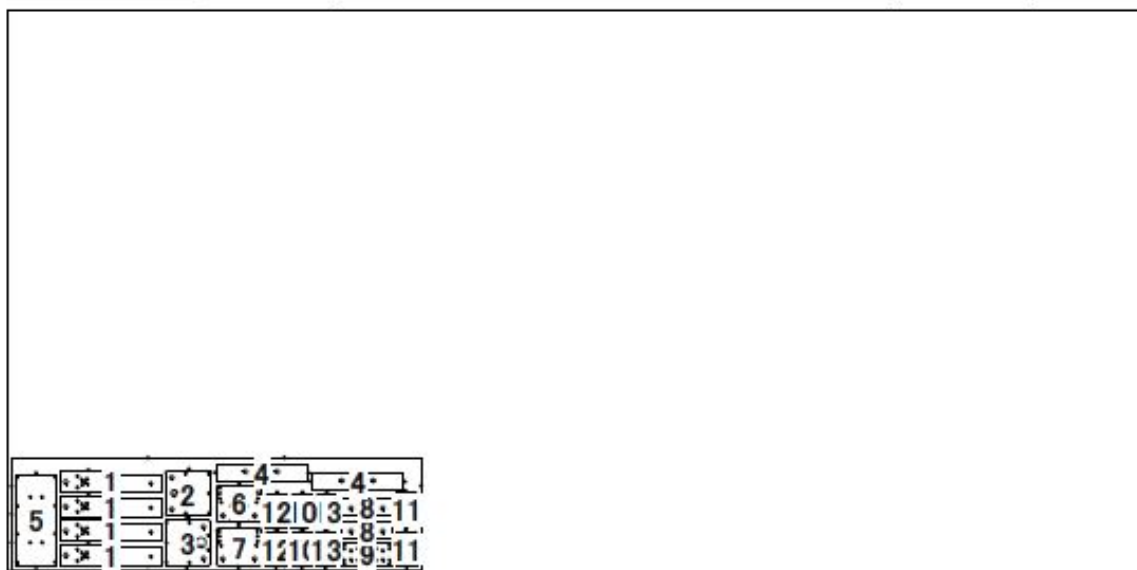
G00: Compensación del corte. Podemos compensar el diámetro de la boquilla de corte tanto por el exterior del perímetro (G41), por el interior del perímetro (G42) o justo por la línea de corte (G040).

G01: Posicionamiento del cabeza en las coordenadas indicadas.

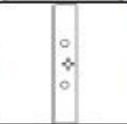
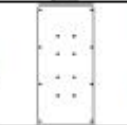
Tras completar el anidado y comprobar la simulación procedemos a generar el programa de corte, el cuál presentamos a continuación.

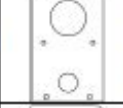
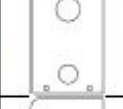
Informe de lámina		Nombre de datos		CONJUNTO1		Bandeja Carga		Bandeja Descarga	
						Plazo de vuelta		2020 / 12 / 17	
Nombre del material de láser		C-A5052-6.0-L2		Peso bruto		50.25		Cantidad de proceso	
Uso		4.80		Longitud de procesamiento		14113.00		Tiempo del proceso	
								00:31:28	

Procesando dibujo	Material	A5052-6.0	Tamaño	2500.00 x 1250.00	Grosor	6.00
	Código hoja	CHA-06-2500-1250	Tipo de lámina	Estándar		



Lista de piezas

No.	Dibujo	Información de configuración			
1		N.º de la pieza	EJEXPZ2X4		
		Comentario		Tamaño	221.50 x 45.00
		Peso(g)	145.20	Cantidad/Total/Plan	4 / 4 / -
		Tiempo del proceso	00:01:35	Doblar	No
2		N.º de la pieza	EJEYDR		
		Comentario		Tamaño	100.00 x 100.00
		Peso(g)	153.10	Cantidad/Total/Plan	1 / 1 / -
		Tiempo del proceso	00:01:23	Doblar	No
3		N.º de la pieza	EJEYZ		
		Comentario		Tamaño	100.00 x 100.00
		Peso(g)	149.20	Cantidad/Total/Plan	1 / 1 / -
		Tiempo del proceso	00:01:41	Doblar	No
4		N.º de la pieza	EJEYPZ2X2		
		Comentario		Tamaño	35.00 x 200.00
		Peso(g)	107.00	Cantidad/Total/Plan	2 / 2 / -
		Tiempo del proceso	00:01:21	Doblar	No
5		N.º de la pieza	EJEZPZ1		
		Comentario		Tamaño	90.00 x 200.00
		Peso(g)	286.90	Cantidad/Total/Plan	1 / 1 / -
		Tiempo del proceso	00:02:01	Doblar	No

Informe de lámina		Nombre de datos		CONJUNTO1		Bandeja Carga	Bandeja Descarga
No.	Dibujo	Información de configuración					
6		N.º de la pieza	EJEZP22				
		Comentario		Tamaño	100.00 x 82.00		
		Peso(g)	119.70	Cantidad/Total/Plan	1 / 1 / -		
		Tiempo del proceso	00:01:49	Doblar	No		
7		N.º de la pieza	EJEZP23				
		Comentario		Tamaño	100.00 x 82.00		
		Peso(g)	123.60	Cantidad/Total/Plan	1 / 1 / -		
		Tiempo del proceso	00:01:31	Doblar	No		
8		N.º de la pieza	EJEZP24X2				
		Comentario		Tamaño	112.00 x 38.50		
		Peso(g)	63.80	Cantidad/Total/Plan	2 / 2 / -		
		Tiempo del proceso	00:01:08	Doblar	No		
9		N.º de la pieza	EJEZP25				
		Comentario		Tamaño	112.00 x 48.00		
		Peso(g)	82.30	Cantidad/Total/Plan	1 / 1 / -		
		Tiempo del proceso	00:01:53	Doblar	No		
10		N.º de la pieza	SOPORTE MOTORPZ2X2				
		Comentario		Tamaño	45.00 x 74.50		
		Peso(g)	44.60	Cantidad/Total/Plan	2 / 2 / -		
		Tiempo del proceso	00:01:07	Doblar	No		
11		N.º de la pieza	SOPORTE MOTORPZ3X2				
		Comentario		Tamaño	46.00 x 74.50		
		Peso(g)	54.60	Cantidad/Total/Plan	2 / 2 / -		
		Tiempo del proceso	00:00:44	Doblar	No		
12		N.º de la pieza	SOPORTE RODAMIENTOPZ2X2				
		Comentario		Tamaño	45.00 x 74.50		
		Peso(g)	48.80	Cantidad/Total/Plan	2 / 2 / -		
		Tiempo del proceso	00:00:49	Doblar	No		
13		N.º de la pieza	SOPORTE RODAMIENTOPZ3X2				
		Comentario		Tamaño	46.00 x 74.50		
		Peso(g)	54.60	Cantidad/Total/Plan	2 / 2 / -		
		Tiempo del proceso	00:00:44	Doblar	No		

En él podemos encontrar un resumen de las piezas que tenemos en la chapa. Donde aparecen las dimensiones, cantidad, tipo de material y tiempo de corte.

Junto a estos datos, aparece también un código de barras asociado al programa. De manera que, para cargarlo y ejecutarlo sólo tenemos que leer ese código de barras con el lector de la máquina láser.

La máquina de corte láser utilizada es el modelo AMADA LCG3015.



Figura 15. LCG3015 con despaletizador ASLUL.

En la tabla de la figura 16 tenemos algunas de las características de la máquina utilizada para sacar las piezas de nuestra fresadora. Además de la máquina de corte se dispone de un despaletizador. El cuál permite cargar y descargar la máquina automáticamente sin necesidad de parar el corte.

Las chapas se colocan en las bandejas a las que se le asigna un número de programa, de donde el sistema las cogerá para introducirlas en el láser y una

vez concluida la operación de corte el sistema la descargará en la bandeja asignada anteriormente.

Tecnología láser de fibra
Material tratado para metal
Producto tratado de chapa
Sistema de control CNC
Recorrido X 3.070 mm, 4.070 mm (121 in)
Recorrido Y 1.550 mm, 2.050 mm (61 in)
Velocidad de corte 170.000 mm/min (111,549 in/s)
Potencia láser 3.000 W, 4.000 W, 6.000 W, 9.000 W

Figura 16. Características láser AMADA LCG3015.

3.2 Centro de mecanizado

Tras el corte láser ha sido necesario el mecanizado de algunas de las piezas requeridas. Esto se debe a que algunas de las perforaciones donde se alojan los motores, rodamientos y guías, presentaban un acabado rugoso e irregular.



Figura 17. Centro de mecanizado de 3 ejes LAGUN L650.

Para solucionar este problema procedemos a calibrar los diámetros para no tener problemas en el ensamblaje de la máquina.

Para ello se ha utilizado la máquina que mostramos a en la figura 17. Esta máquina nos ha permitido además del calibrado de los orificios para las guías, realizar algunos de los orificios roscados que han sido necesarios practicar para el ensamblaje mediante tornillos. Operación que nos hubiera llevado una gran cantidad de tiempo debido a la cantidad de orificios que ha sido necesario roscar. Todas estas perforaciones han sido realizadas a partir de los ciclos fijos de taladrado y roscado del centro de mecanizado.

A continuación, presentamos algunas de las características principales del centro de mecanizado Lagun L650.

MESA			CAMBIADOR AUTOMÁTICO HERRAMIENTAS		
Superficie de trabajo	mm	800 x 460	Nº de herramientas		16 (24)
Ranuras en T	mm	5 x 18 x 80	Sistema de selección		NO random (Random)
Peso máximo sobre la mesa	kg	400	Tiempo cambio de herramienta	s	6 (2,5)
Altura de la mesa al suelo	mm	915	Ø máximo con herramientas contiguas	mm	100 (80)
CURSOS			Ø máximo con herramientas alternas	mm	130 (150)
Curso Longitudinal X	mm	650	Max. longitud de herramienta	mm	250 (300)
Curso Transversal Y	mm	510	Max. peso de herramienta	kg	8
Curso Vertical Z	mm	610	PRECISIÓN		
CABEZAL			Posicionamiento	mm	± 0,005
Potencia motor principal S1/S6	kW	7,5 / 9	Repetibilidad	mm	± 0,003
Cono del eje porta-fresas		BT 40	INFORMACIÓN GENERAL		
Gama de velocidades	rpm	8.000 (10.000,12.000)	Superficie en planta	mm	2200 x 2370
Distancia mín/máx. del eje principal a la mesa	mm	100 ÷ 710	Altura máquina	mm	2660
Distancia del eje principal a la columna	mm	550	Presión de aire	kg/cm ²	6 ÷ 7
AVANCES RÁPIDOS			Peso neto de la máquina	kg	3700
Avances rápidos en los ejes X-Y-Z	m/min	36			

Figura 18. Tabla de características del centro de mecanizado.

En la figura 19 podemos ver el mecanizado de una de las partes que conforman el puente del eje Y. Para esta pieza fue necesario practicar 8 orificios de diámetro 8mm para poder atornillar los 2 rodamientos lineales abiertos que forman parte del conjunto de deslizamiento del eje.

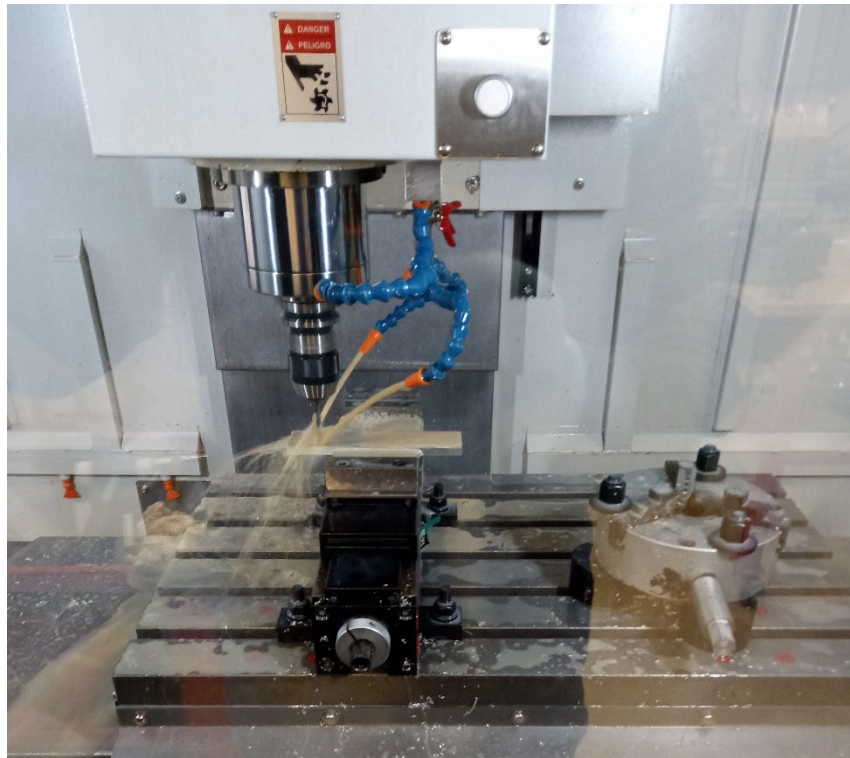


Figura 19. Ejemplo de mecanizado.

4. Fabricación

4.1 Base

Comenzamos preparando la base de la máquina. Para esta parte utilizaremos perfil ISO de 45x45mm que mencionamos anteriormente, el cual



Figura 20. Base.

aportará la rigidez suficiente sin añadir un peso excesivo a la estructura. Una vez cortados todos los perfiles en la sierra de cinta ensamblamos la base utilizando escuadras de 90 grados con orificio roscado de métrica 6. De esta manera nos aseguramos que todos los perfiles quedan posicionados en el lugar correcto. Aunque la fijación de estos se hará de manera provisional, ya que todavía tendremos que realizar los ajustes necesarios para poder ensamblar las siguientes partes de la máquina.

De manera adicional, se ha colocado un perfil central móvil en el cuál alojaremos la mordaza. De esta manera podemos desplazar tanto a lo largo como a lo ancho de la maquina el conjunto para poder posicionar la pieza en el lugar adecuado para realizar el mecanizado. Finalmente, la base quedaría como se muestra en la figura 20.

4.2 Soportes para motores y rodamientos

Para estos soportes se ha optado por utilizar chapa de aluminio de 6mm cortada por láser. Este material permite a la estructura tener la rigidez suficiente sin aportar un exceso de peso a la misma. Las 3 partes de los conjuntos soporte, están atornilladas entre sí mediante tornillos de métrica 3 roscados directamente

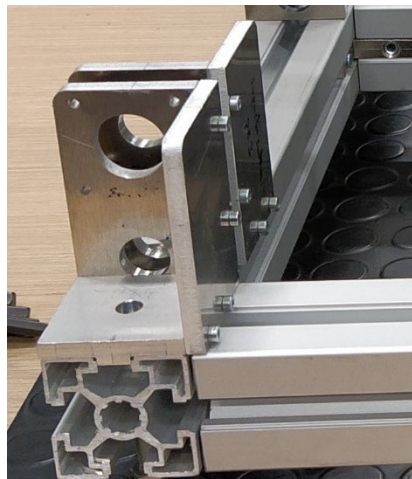


Figura 21. Soportes motores y rodamientos.

sobre las distintas partes sólidas. Por lo que ha sido necesario practicar perforaciones de 2,75mm de diámetro para crear la rosca en dichas partes.

4.3 Eje Y

A continuación, se procede a la fabricación de las partes que conforman el eje Y. Estas, han sido igualmente cortadas mediante corte láser en aluminio de 6mm. Las roscas creadas en ellas, mediante macho de métrica 3, permiten atornillar cada una de las partes en su lugar correcto. Este conjunto permite el acoplamiento del motor de accionamiento del eje X, las guías de 12mm



Figura 22. Conjunto eje Y.

y 16 mm mencionadas anteriormente, y el rodamiento de bolas para el husillo. Para la fijación de las guías, mencionar que se han utilizado unos pernos prisioneros de métrica 3 para bloquear estas partes en sus posiciones, de manera que no permitan desplazamientos indebidos.

En la figura 22 podemos apreciar la forma del diseño anteriormente mencionado para reducir el peso de la estructura. En un primer momento esos pilares se diseñaron con menos anchura, lo que se terminó rectificando para reducir el momento que produce el motor suspendido en la mordaza. Puede parecer que estos pilares tan gruesos interfieran con partes de la máquina, pero no es así. Ya que están al límite de la zona a la que podemos llegar con nuestra herramienta. Por lo que el aporte de rigidez es máximo sin comprometer el funcionamiento de la máquina, pudiendo llegar a todos los puntos de nuestra zona de trabajo.

4.4 Eje X

En este apartado mostramos el conjunto de arrastre del eje X. Éste, al igual que los anteriores está formado por placas de aluminio de 6mm para permitir el montaje mediante tornillo de las distintas partes. Se ha utilizado, al igual que en las anteriores, el proceso de roscado con un macho para métrica 3. En la fase de diseño se han repartido lo máximo posible los tornillos para evitar que interfieran los unos con los otros. De manera que las piezas queden unidas con la rigidez suficiente.

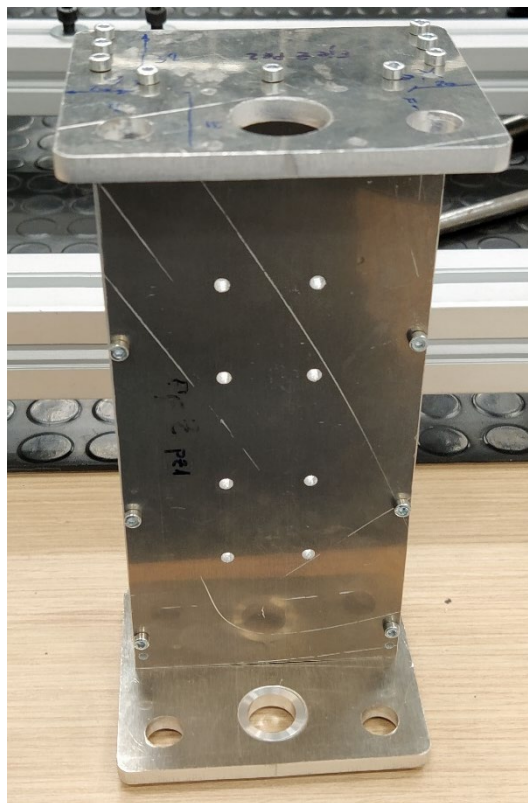


Figura 23. Conjunto eje X.

En la figura 23 podemos observar en la parte superior los orificios de acople para el motor Nema 17 y los alojamientos para las guías de 12mm de diámetro.

En cuanto a la parte inferior encontramos el alojamiento para el rodamiento de bolas utilizado en la fijación del husillo.

En esta parte ha sido necesaria la rectificación de los orificios tanto de guía como el de rodamiento en la fresadora de 3 ejes. Ya que nos encontramos con rebabas de material fundido que nos impedían el correcto alojamiento de los elementos.

4.5 Eje Z

La pieza que vemos en la figura número 24 permite el movimiento en el eje Z. Está compuesta por 3 placas atornilladas entre sí por tornillos de métrica 3

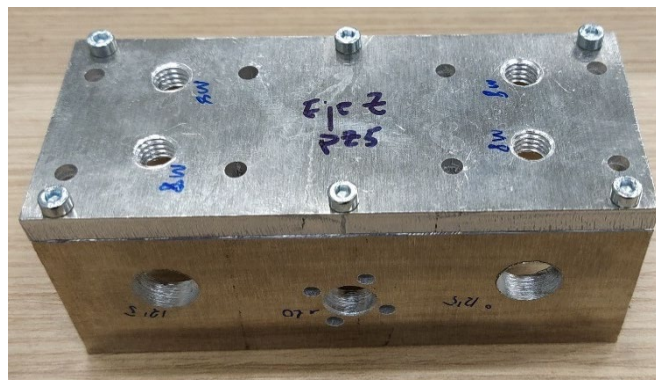


Figura 24. Conjunto eje Z.

al igual que las demás partes. También ha sido necesaria la creación de orificios roscados para permitir el ensamblaje de las distintas partes que lo conforman.

En la imagen se puede apreciar los orificios a través de los cuales pasan las guías de barra calibrada de 12mm. Así como los orificios donde fijaremos mediante tornillo y tuerca de métrica 3 la nuez de arrastre. Además, preparamos los orificios roscados para alojar la varilla roscada de 8mm para fijar la mordaza.

5. Ensamblaje

En primer lugar, se han instalado los soportes para los motores y rodamientos. Estos han sido fijados en sus posiciones finales, mediante tornillo y tuerca de métrica 8, a los cuales se han montado previamente los motores y los rodamientos en sus respectivos alojamientos para facilitar el montaje.

Una vez hecho esto, procedemos a montar la guía del eje Y en su alojamiento, ya que esta va a tope en los orificios practicados a tal efecto y a continuación colocamos el husillo. Podemos ver que este se encuentra fijado en el extremo cercano al motor por una acoplamiento semirrígido y en el extremo opuesto la fijación se realiza mediante un rodamiento de bolas.

En la figura 25 podemos ver cómo quedaría el montaje de las distintas partes de la máquina CNC.

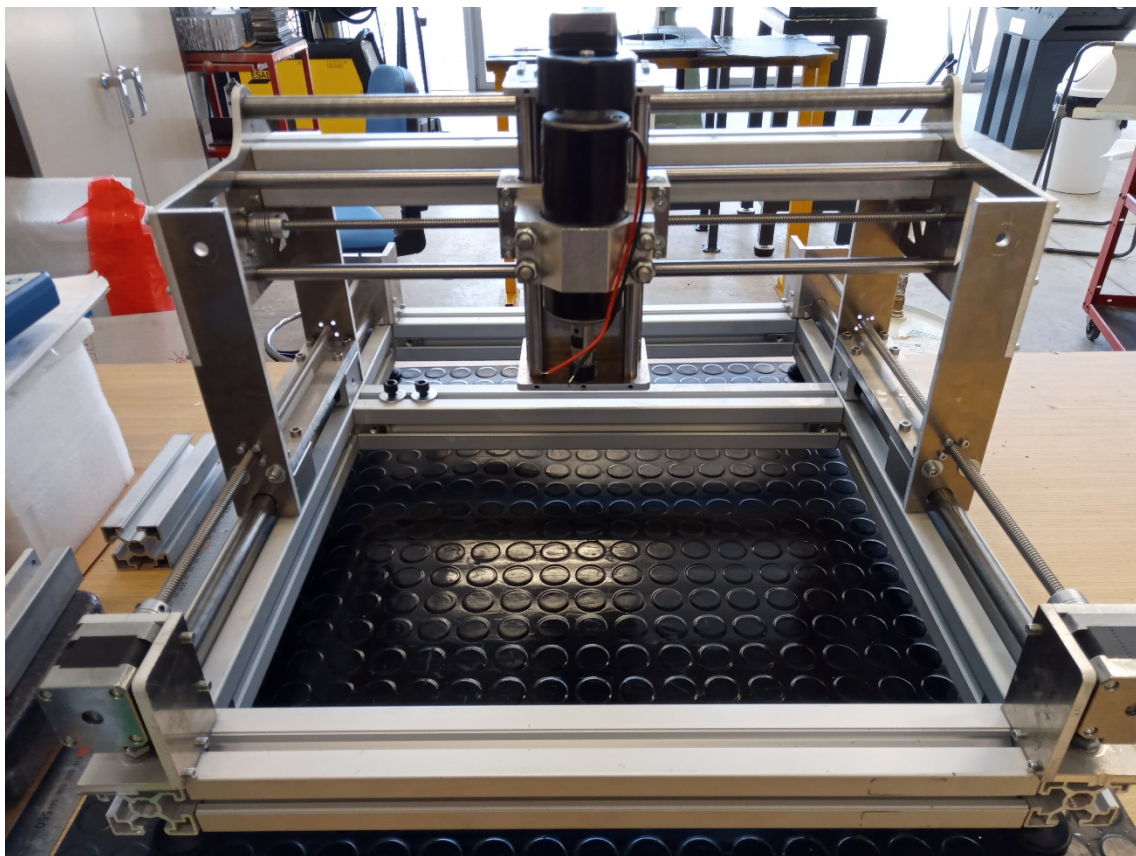


Figura 25. Vista frontal fresadora CNC.

El siguiente paso a seguir es montar la estructura superior correspondiente a los ejes X y Z. Para ello atornillamos las distintas partes en su posición.

Para el movimiento de los distintos ejes se han utilizado husillos de rosca cuadrada de diámetro 8 y paso 2 milímetros, con su correspondientes nueces. Éstas van fijadas a la estructura mediante 4 tornillos cuyo conjunto está formado por la propia tuerca (nuez), el casquillo de compresión y el muelle intermedio.

Como detalle podemos ver a continuación, en la figura 26, el acoplamiento de los rodamientos lineales sobre la guía de 16mm tanto en el eje Y como en el eje X.

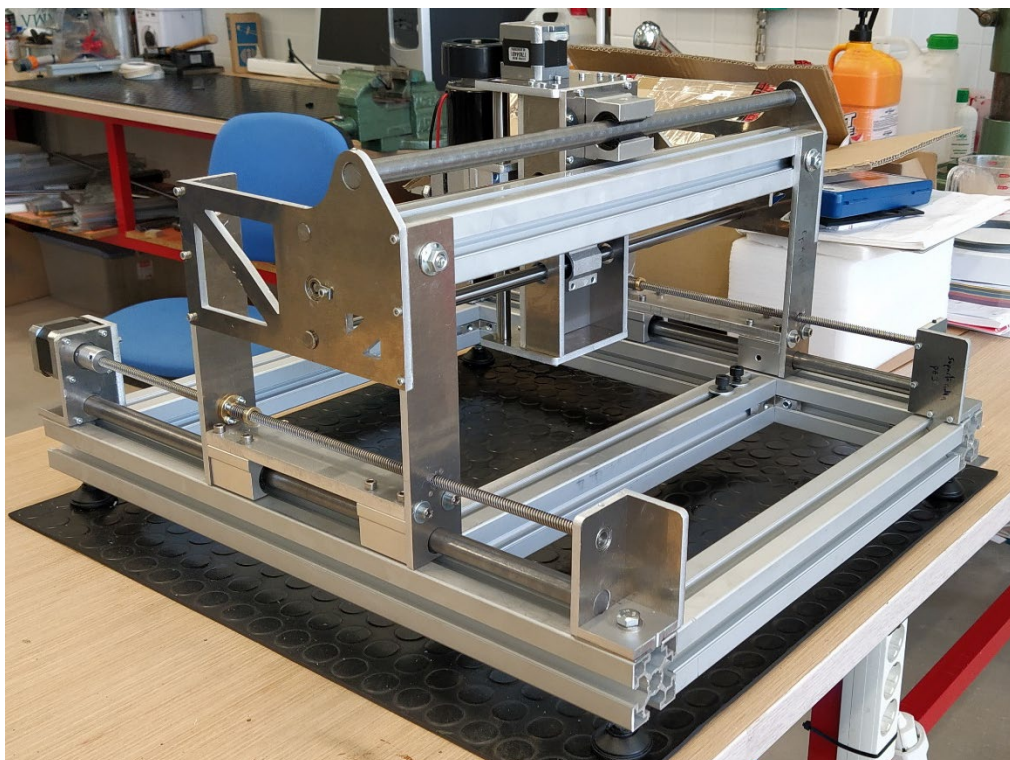


Figura 26. Vista posterior fresadora CNC.

También mencionar que añadimos un perfil en la parte superior de la máquina para dar mayor rigidez a la estructura, ya que el avance de la máquina al realizar las operaciones puede dar lugar a momentos que hagan flexionar ese eje. Por lo que se ha tomado la decisión de reforzarlo. Además de las barras que hacen la función de guías, también rigidizan la estructura.

Otro elemento añadido para disminuir esos momentos generados es el rodamiento lineal superior acoplado a su correspondiente guía de 16mm. Ya que al añadir el motor, observamos un movimiento de cabeceo de la estructura al desplazarse.

Una vez resuelto el problema del movimiento no deseado de la estructura se procede al montaje eje X. Como se puede ver en la figura 27 este se desliza a través de las barras accionado por el motor que se encuentra acoplado al husillo.

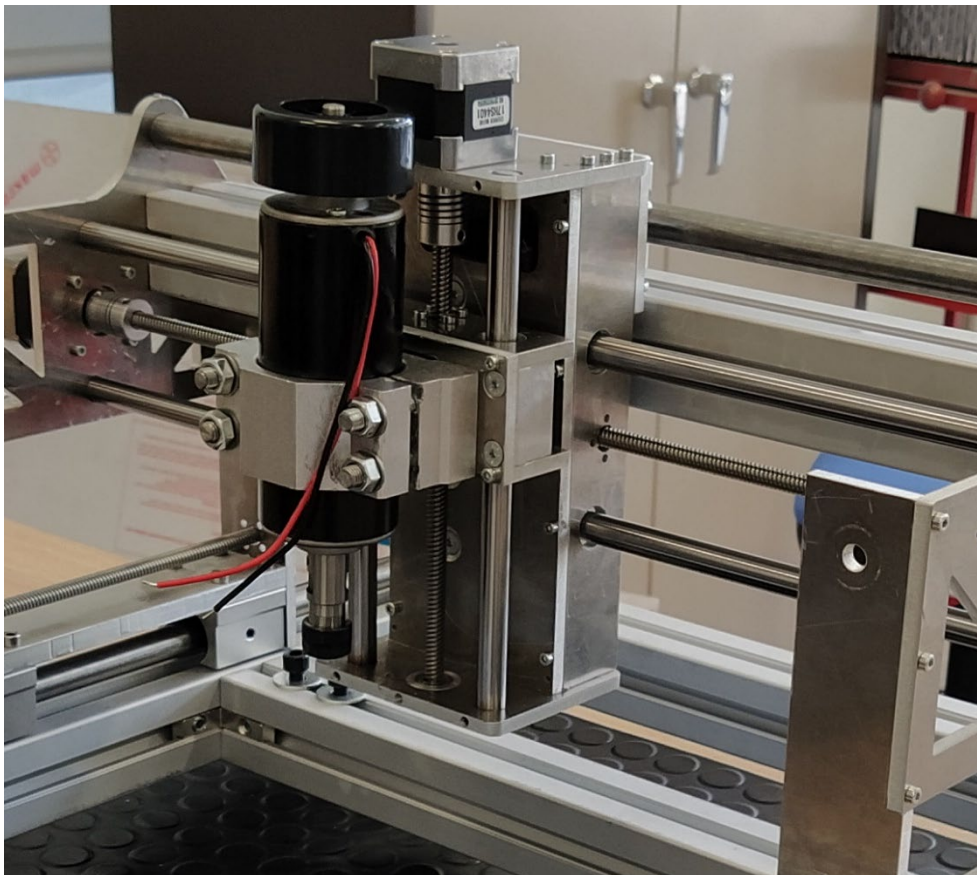


Figura 27. Conjunto eje z y eje x.

Para el eje Z vemos que las guías están recortadas a la medida adecuada, así como el husillo. Ya que los formatos de las barras eran mayores a los que se necesitaban para el montaje de la estructura. Todas estas barras han sido cortadas en la sierra de cinta utilizando como refrigerante una mezcla de agua y aceite comunmente conocido como taladrina.

La fijación de las guías y el rodamiento del husillo se ha realizado, al igual que en los casos anteriores, mediante tornillos prisioneros de métrica 3mm. Para

los cuales ha sido necesario ejecutar los correspondientes agujeros roscados pasando el macho adecuado para crear esa rosca.

Además de las barras guía y el husillo, se han cortado 4 varillas roscadas necesarias para colocar la mordaza del motor en su lugar, tal como podemos ver en la figura 27. La cuales han sido alojadas en orificios roscados para tal fin.

Finalmente una vez ajustados todos los ejes y comprobado que se mueven sin presentar problema alguno, procedemos a la colocación del motor, de manera que esté lo más centrado posible en la mordaza, así conseguimos que sea más sencillo tomar una referencia respecto a la punta de la herramienta.

6. Configuración y conexiones eléctricas

En esta sección trataremos la configuración y conexiones eléctricas de la máquina CNC. El material utilizado para la configuración de nuestra máquina consta de Arduino UNO y placa GRBL.

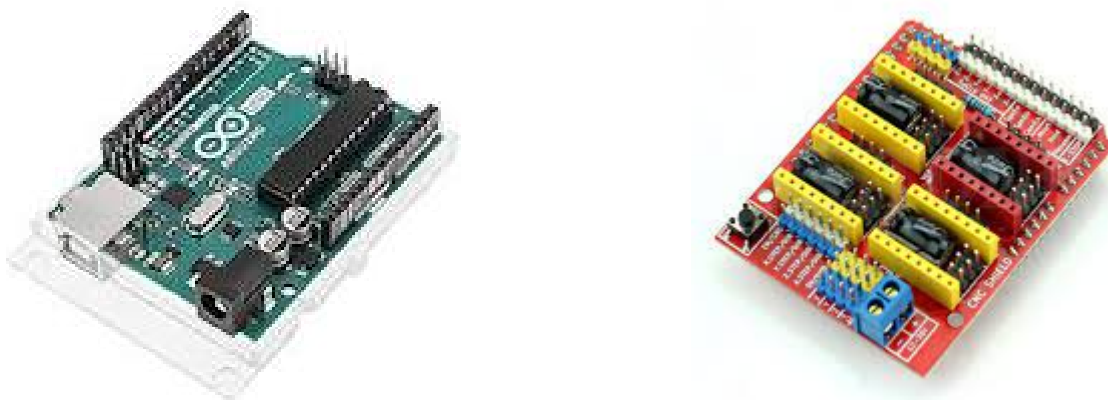


Figura 28. Arduino Uno y módulo GRBL.

En primer lugar, debemos instalar en nuestro Arduino el software que nos permite controlar el módulo GRBL. Para ello instalamos la aplicación Arduino IDE en nuestro PC y posteriormente conectamos mediante un cable USB nuestro Arduino.

Una vez iniciada la aplicación tenemos una interfaz como la que mostramos a continuación, en la figura 29.

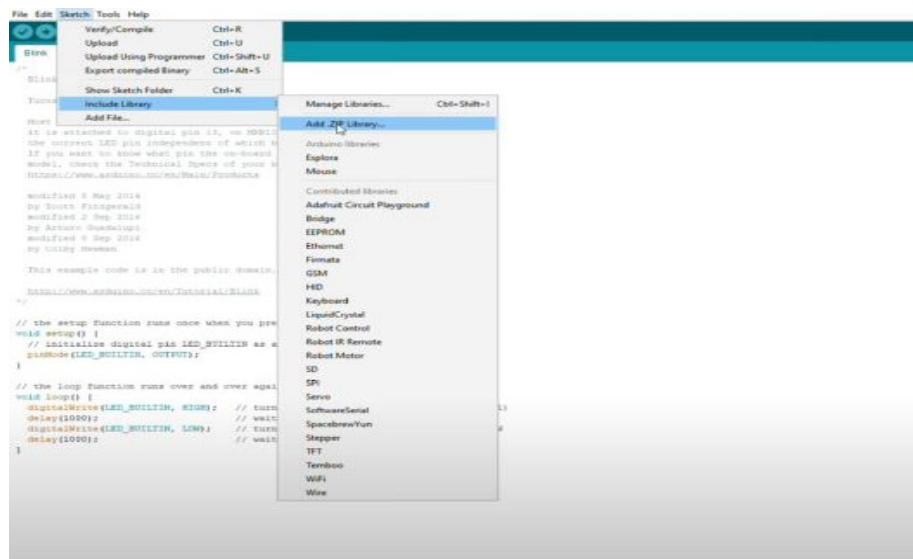


Figura 29. Arduino IDE.

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 30).

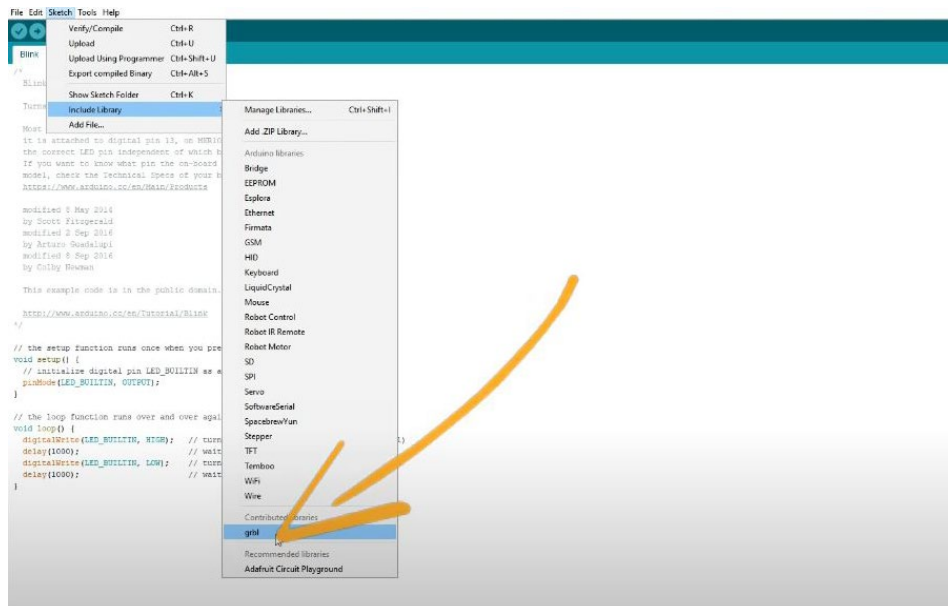


Figura 30. Menú de librerías.

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, pinchamos sobre el botón verificar y una vez ha realizado la última comprobación, pinchamos sobre el botón “upload” para volcar los datos.

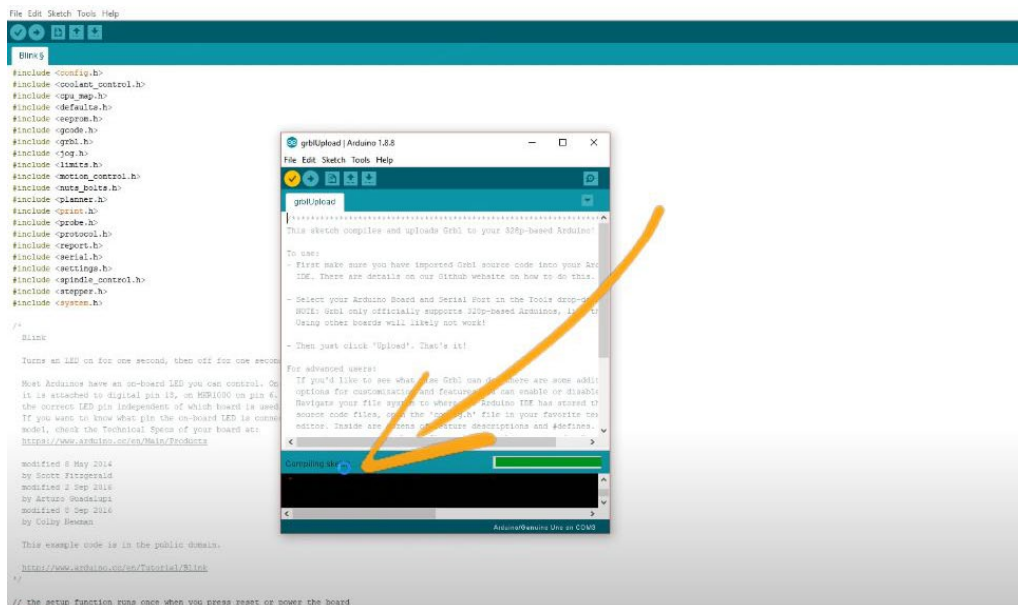


Figura 31. Compilación de los datos en el hardware Arduino.

Una vez realizado este proceso, nos aparecerá una barra la cuál muestra el estado del proceso de compilación (figura 31). 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.

A continuación, procedemos a conectar nuestro GRBL al Arduino. Los pines utilizados para la conexión son los mostrados en la figura 32.

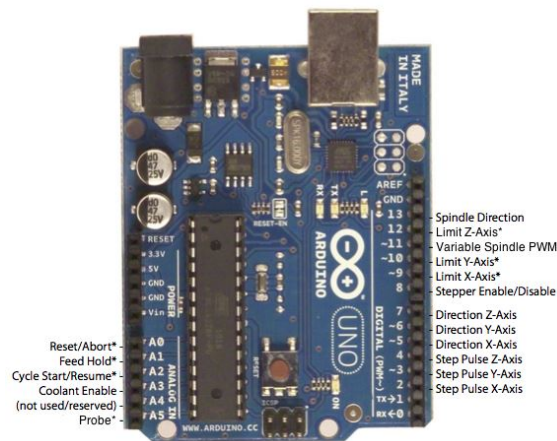


Figura 32. Pines para la conexión de GRBL 1.1.

Debemos mencionar, que el pin correspondiente a la activación de la refrigeración no será usado. Debido a que dejaremos para una posible mejora, la instalación de ventiladores para disipar el calor de nuestro sistema electrónico.

Nosotros utilizaremos los pines de dirección para cada uno de los ejes (pines del 5 al 7). Los pines de paso para cada uno de los ejes (pines del 2 al 4). Y los pines 9, 10, 12 para limitar los recorridos en cada uno de los ejes.

El siguiente paso a realizar es el montaje de nuestro controlador CNC sobre nuestro Arduino.

Además, debemos instalar los drivers para nuestros motores. Estos controladores simplifican el manejo de los motores paso a paso a través de un procesador, como es nuestro Arduino.

Nos permiten regular los voltajes e intensidades que requieren estos motores y proporcionan la protección necesaria para evitar que el conjunto electrónico pueda ser dañado.

Para su control únicamente se necesitan dos salidas digitales, una para indicar el sentido de giro y otra para ordenar el avance del motor un paso. Además, estos controladores, nos permiten realizar microstepping, una técnica para conseguir precisiones superiores al paso nominal del motor.

En nuestro proceso de fabricación de la máquina CNC utilizaremos el controlador DRV8825 el cuál ha alcanzado una gran popularidad en los últimos tiempos, ya que tiene unas características ligeramente superiores al resto de controladores.

Permite trabajar con tensiones de 45V e intensidades de 2,5A frente a los 35V y 2A con los que trabajan otros controladores como el A4988. Además, incorpora un modo de microstepping cuya relación es de 1/32 que no está presente en el resto de controladores.



Figura 33. Conexión de Arduino UNO con GRBL y DRV8825.

Una vez conectamos los 5 componentes procedemos a regular la intensidad de los controladores de los motores paso a paso. El motivo es que los motores de cierto tamaño y potencia, como los NEMA 17 utilizados en nuestro montaje. Necesitan tensiones superiores a las que podrían soportar las bobinas por su corriente nominal.

Supongamos que tenemos un motor NEMA 17 con 1,2A de intensidad nominal y 1,5Ohm de resistencia por fase. Según la ley de Ohm deberíamos aplicar 1,8V a cada bobina para que circule la intensidad nominal de 1,2A. Sin embargo, con esa tensión el motor no se movería.

Para que el motor funcione correctamente necesitamos aplicar una tensión superior. Pero si aplicamos 12 V directamente por la ley de Ohm pasarían 8A por la bobina, lo cual dañaría el motor.

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

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

El limitador interrumpe la señal proporcionando una señal pulsada PWM de forma que el valor promedio de la intensidad que atraviesa la bobina es la intensidad nominal del motor. El limitador de tensión aplicaría el pulso durante el 15% del tiempo y mantendrá el motor apagado el 85% restante. A este mecanismo de limitación de intensidad se le denomina chopping.

Para regular la intensidad que proporcionará el limitador y ajustarlo al valor del motor que vayamos a utilizar las placas disponen de un potenciómetro que regula la intensidad del limitador.

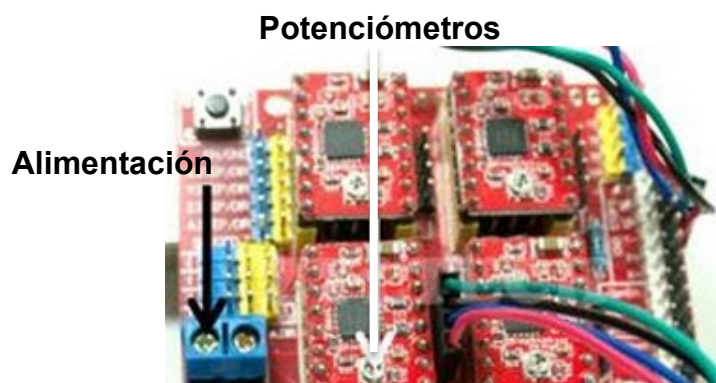


Figura 34. Módulo GRBL con controladores DRV8825.

Una forma de estimar la intensidad del regulador es medir la tensión V_{ref} entre el potenciómetro y el GND y aplicar una fórmula que depende del modelo.

Estas fórmulas dependen del valor R_s de las resistencias ubicadas en la placa que pueden variar en función del fabricante.

Para los valores de R_s que necesitamos tenemos que utilizar la fórmula recogida en la figura 35.

Modelo	R_s	Fórmula reducida
DRV8825	100	$I_{max} = 2 * V_{ref}$

Figura 35. Fórmula para nuestro controlador.

No obstante, el valor obtenido mediante esta medición es sólo una aproximación, por lo que lo emplearemos sólo como una calibración inicial, y

terminaremos el ajuste midiendo la corriente real que proporciona el controlador al motor mediante un amperímetro.

Para realizar la conexión entre los componentes debemos seguir los siguientes pasos.

- Conectar el controlador a tensión sin el motor y sin microstepping.
- Medir con un voltímetro la tensión entre GND y el potenciómetro.
- Ajustar el potenciómetro hasta que la tensión sea el valor proporcionado por la fórmula.
- Apagar el montaje.
- Conectar el motor, interponiendo en medio un amperímetro.
- Realizar el ajuste nuevamente hasta que la intensidad sea la nominal del motor.
- Apagar el montaje.
- Retirar el amperímetro y conectar los motores definitivamente.

Como se ha mencionado anteriormente, el hecho de que vayamos a usar posteriormente microstepping influye en el valor límite que debemos fijar al regular la intensidad.

Como en nuestro caso no vamos a usar este procedimiento, podemos aumentar el límite del regulador de intensidad hasta el 100% de la intensidad nominal del motor.

Una vez concluido el ajuste de los controladores de los motores. Pasamos a configurar el 4 eje, clonando el eje Y en nuestro caso. Ya que en nuestra máquina tenemos 2 motores en dicho eje y GRBL sólo soporta 3 ejes simultáneos.

Por lo tanto, utilizamos dos jumpers para configurarlo. De manera que, pueda funcionar como un cuarto eje individual usando el pin 12 para la señal de paso, y el pin 13 como señal de dirección.

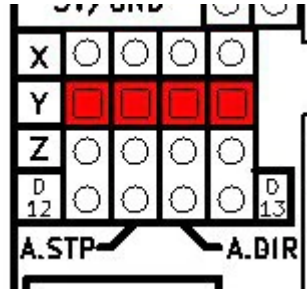


Figura 36. Eje Y clonado como cuarto eje.

Una vez realizado todo el conexionado de los ejes y clonado del eje y procedemos a la conexión de los motores paso a paso y de la fuente de alimentación. Para ello pasamos los cables de forma conveniente por la estructura de manera que no interfieran con ninguna de las partes móviles.

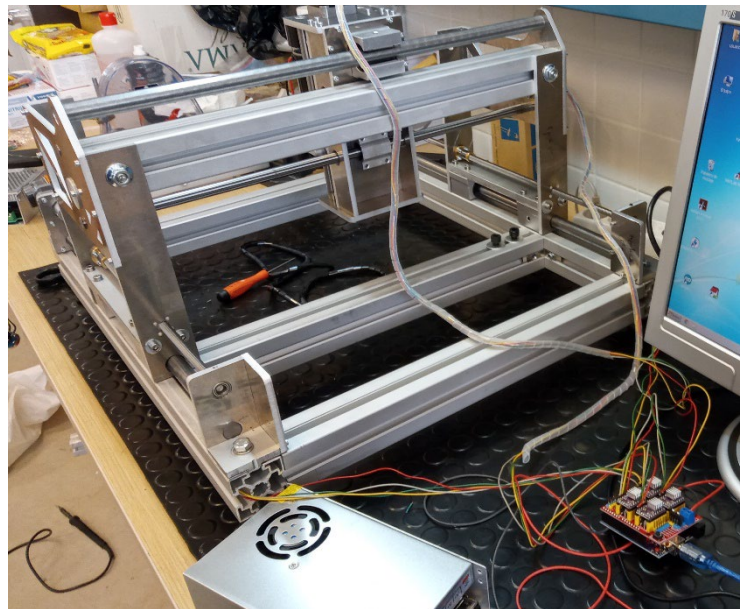
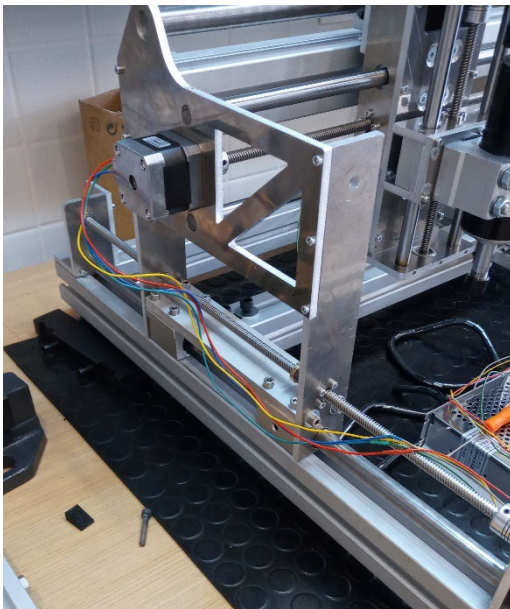


Figura 37. Conexiones de motores a módulo GRBL y fuente de alimentación.

Como podemos observar en la figura 37 utilizamos camisas para cables para mantenerlos a salvo mientras que la máquina se encuentre en movimiento.

La siguiente conexión que realizaremos será la del motor de mecanizado de la máquina. Para lo que dispondremos de una fuente de alimentación independiente con control de velocidad. De esta manera podremos controlar las revoluciones a las que gira la fresa durante el mecanizado. (Figura 38)

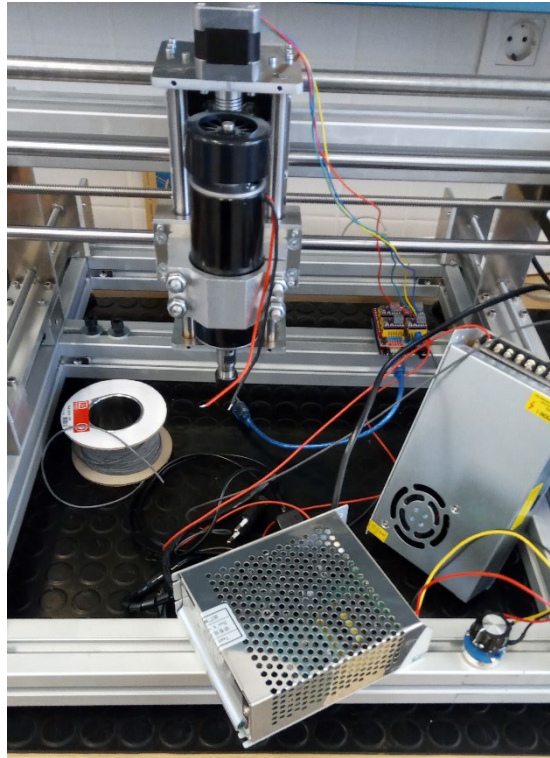


Figura 38. Conexión de motor CNC a fuente de alimentación con potenciómetro.

De esta manera, quedaría concluida la conexión de todos los elementos de la máquina.

Una vez realizadas todas las comprobaciones pertinentes procedemos a alojar cada una de las fuentes de alimentación en su lugar, y a acomodar los módulos Arduino y GRBL en una caja de protección diseñada para tal efecto.

A la hora de realizar el diseño de la caja para los módulos de control se ha tenido en cuenta la disipación del calor en el interior de la misma. Ya que es importante que exista circulación de aire a través de los componentes electrónicos, para su correcto funcionamiento y alargar su vida útil.

Para evitar que pueda introducirse suciedad dentro de los controladores, se ha dispuesto una rejilla. Y dejaremos para otras posibles mejoras la adición de un ventilador para aumentar el flujo de aire en el interior de la caja.

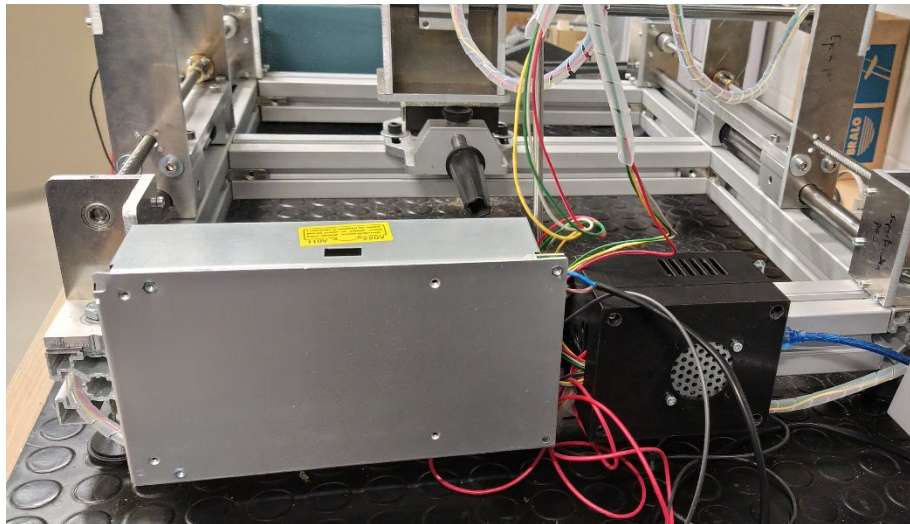


Figura 39. Alojamiento para fuente de alimentación y módulos de control.

Como podemos ver en la figura 39 la caja de protección de los módulos controladores se ha fabricado mediante impresión 3D y PLA como material de impresión.

Todos los cables se han dispuestos de manera ordenada evitando así que puedan producirse daños en los mismos mientras la máquina se encuentra en funcionamiento.

Además, esta integración de la parte electrónica, permite transportar la máquina de manera sencilla al lugar de trabajo que prefiramos si tener que desmontar componentes.

A continuación, es hora de configurar el módulo GRBL. Para ello conectamos el terminal al PC y abrimos el software UNIVERSAL GCODE SENDER. Este programa será el utilizado tanto para enviar el código G como para configurar la máquina CNC.

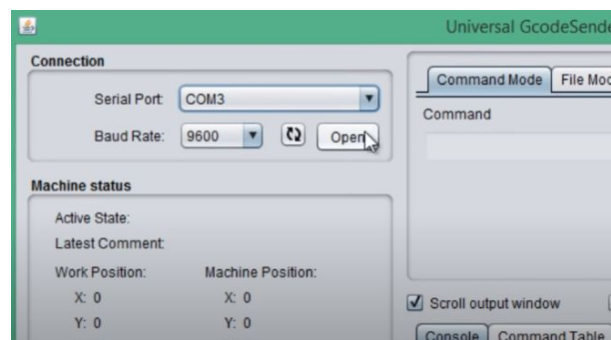


Figura 40. Universal Gcode Sender.

Lo primero que haremos será abrir la pestaña “connection”, en la que pinchamos sobre la pestaña “open” para abrir la conexión entre nuestro Arduino y nuestro PC. (Figura 40)

Aparecerá la barra de comandos, en la que escribimos \$\$ para acceder a la configuración de nuestro módulo GRBL.

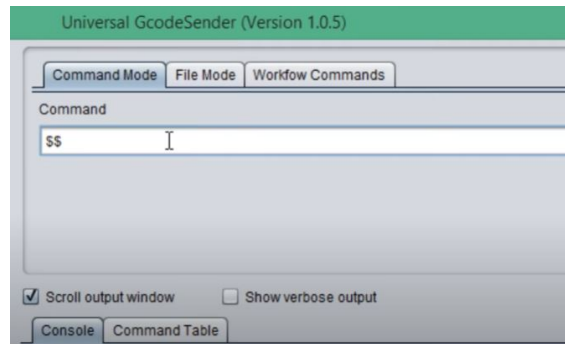


Figura 41. Universal GCode Sender.

Pulsamos intro, y en la consola nos aparece la configuración de GRBL. Comenzaremos con las 3 primeras opciones. Estas están numeradas del 0 al 2 con el símbolo del dólar previamente.

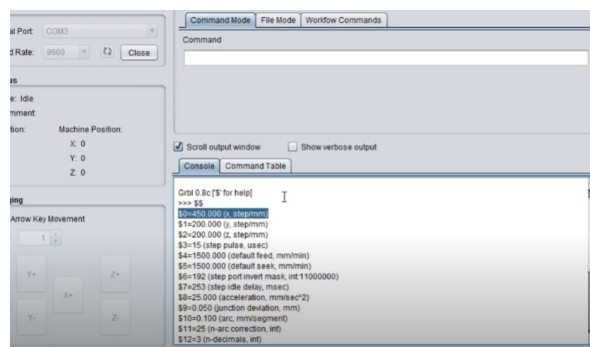


Figura 42. Universal GCode Sender.

La primera opción corresponde a pasos por milímetro. Cantidad de pasos que tiene que dar nuestro motor paso a paso para que nuestra CNC avance 1mm.

Depende del motor que estemos utilizando y de la varilla rosacada que tenemos. En nuestro caso disponemos de motores NEMA 17 el cual presenta 200 pasos por vuelta y un husillo con un paso de 2mm. Por lo tanto en nuestro caso para que la CNC avance 2mm el motor habrá de dar media vuelta, es decir,

100 pasos. Para aplicar este cambio, escribimos en la barra de comandos \$0=100 y pulsamos intro. De esta manera se nos guarda el valor de 100 pasos por vuelta en el eje X. Lo mismo tenemos que hacer con los valores de los ejes Z e Y cuyos valores son el 1 y 2 respectivamente.

Otra opción, sería la número 3, se utiliza para aumentar el ancho de pulso del Arduino. En este caso no es necesaria su modificación.

Pasamos a la opción número 4, corresponde a la velocidad de avance de la máquina en milímetros por minutos. Esta velocidad se aplica a los códigos G01, G02 y G03, es la velocidad por defecto. Para nuestro motor NEMA 17 lo ponemos a 350mm/min para asegurarnos que el motor responde adecuadamente.

En cuanto a la opción número 5. Corresponde a los movimientos rápidos de la máquina, códigos G00. Esta velocidad siempre debe ser superior o igual a la introducida en la opción número 4. En nuestro caso la configuramos a 500mm/min. Respecto a los demás parámetros los dejaremos por defecto.

Una vez configuramos todos los parámetros concluimos probando que el movimiento de la máquina es el adecuado realizando unos mecanizados de ejemplo sobre madera y aluminio. (Figuras 43 y 44)

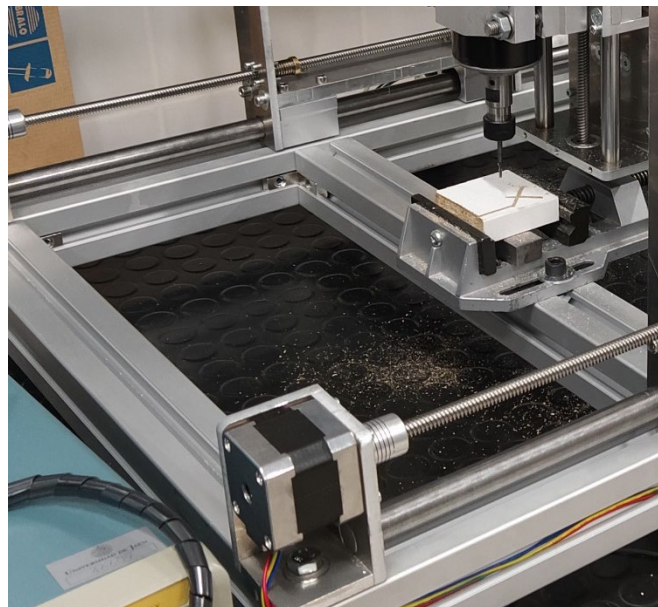


Figura 43. Ejemplo de mecanizado sobre madera.

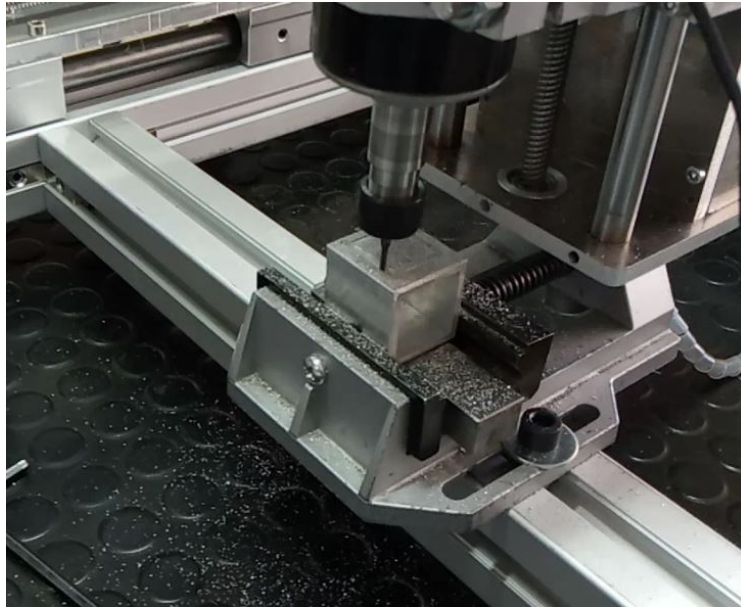


Figura 44. Ejemplo de mecanizado sobre aluminio.

7. Posibles mejoras

La propia naturaleza del ser humano hace casi imposible la implementación de lo infalible. Por lo que desde un primer momento todo aquello que diseñamos puede ser mejorado. Nuestro proyecto no iba a ser diferente. En esta etapa final del desarrollo podemos analizar las posibles mejoras y modificaciones con más claridad.

Dado que el tiempo para el desarrollo de este proyecto es limitado, igualmente reducido es el tiempo que tenemos para probar nuestra fresadora de control numérico, por lo que quedarán por salir a la luz posibles modificaciones. Sin embargo, en su breve tiempo de existencia podemos destacar algunas de las mejoras de las que nos hemos percatado hasta ahora.

7.1 Instalación de módulo wifi

Con el fin de poder prescindir de conexiones físicas entre la máquina y pc. Podríamos instalar un módulo wifi (tipo CH340) para transmitir las instrucciones desde el PC al controlador de la máquina.

7.2 Instalación de pantalla LCD

Si además, quisiéramos prescindir por completo de un PC adicional. Se requiere la instalación de una pantalla LCD con sus correspondientes pulsadores para poder manipular la máquina, por ejemplo, a través del software GRBL Controller. También mencionar, que existen pantallas táctiles en el mercado que facilitan la instalación y la manipulación ya que no es necesario pulsadores para movernos por los distintos menús.

7.3 Instalación de lector de tarjetas SD

Algo complementario a lo anterior sería el lector de tarjetas MicroSD. Esto permitiría cargar en la máquina, a través de su propia interfaz, los programas generados mediante software CAD/CAM.

7.4 Instalación de finales de carrera en cada eje

Esta mejora, nos llevaría tener un mayor control de los ejes, ya que podemos controlar la posición de estos a través de los finales de carrera. Evitando posibles colisiones con los topes físicos de la máquina.

7.5 Instalación de pulsador de paro de emergencia

Con el fin de poder detener el proceso de fresado rápidamente en caso de observar alguna anomalía. Se podría realizar la instalación de un botón de paro de emergencia.

7.6 Instalación de sistema de limpieza

Para futuras actualizaciones del diseño se procedería a la instalación de un sistema de aspiración, tipo coche, aprovechando la salida a 12V que ofrece la fuente de alimentación. Esto permitirá retirar la viruta que se va generando en el proceso de fresado.

8. Conclusiones

Por último, resta concluir este proyecto comprobando si el trabajo realizado ha sido plenamente coincidente con los objetivos establecidos al principio del mismo.

La máquina ha sido construida siguiendo técnicas de montaje sencillas, las cuales han permitido realizar un montaje rápido y fiable de todas sus partes. La estructura ha sido conformada como un armazón robusto y resistente. Capaz de mecanizar materiales duros sin ningún tipo de problema. Como efecto negativo a esto, hemos sacrificado cierto grado de velocidad en pro de esta rigidez adicional, velocidad que podríamos haber conseguido de haber usado transmisión por correas en todos los ejes.

Se ha invertido todo el tiempo posible en utilizar distintas tecnologías de fabricación como son el corte láser y el centro de mecanizado.

El desarrollo de este proyecto ha permitido introducirnos en el mundo CAD/CAM. Ya que no solamente se han utilizado plataformas como Solid Edge o Autodesk Fusion, muy útiles en el mundo de la industria. Sino que además el uso del centro de mecanizado, la máquina de corte láser, la impresión 3D y ahora, nuestra propia máquina CNC en pleno funcionamiento. Han contribuido a aumentar los conocimientos sobre este tipo de máquinas y procesos de fabricación, llegando a comprender las sutilezas de este mundo para entenderlo mejor.

9. Bibliografía

<https://www.twmetals.com/a5052-h32-05772.html>

<https://www.directindustry.es/prod/amada-sa/product-8254-1612915.html>

<http://www.lagunmachinery.com/>

<https://laserweb.yurl.ch/documentation/initial-configuration/31-grbl-1-1e>

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

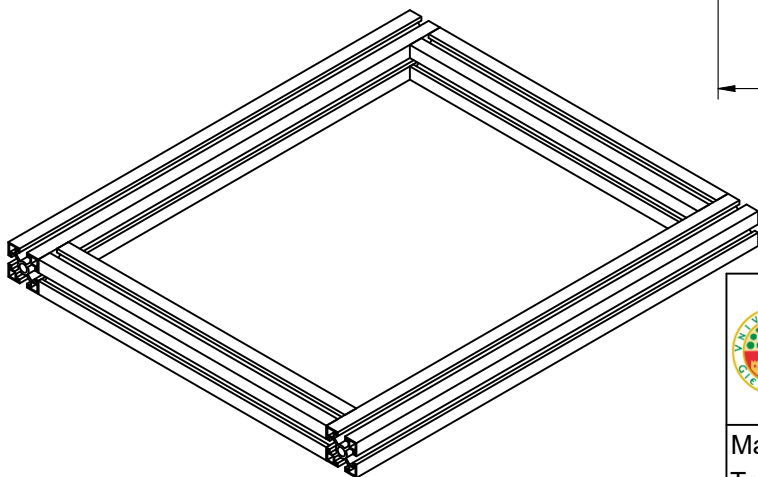
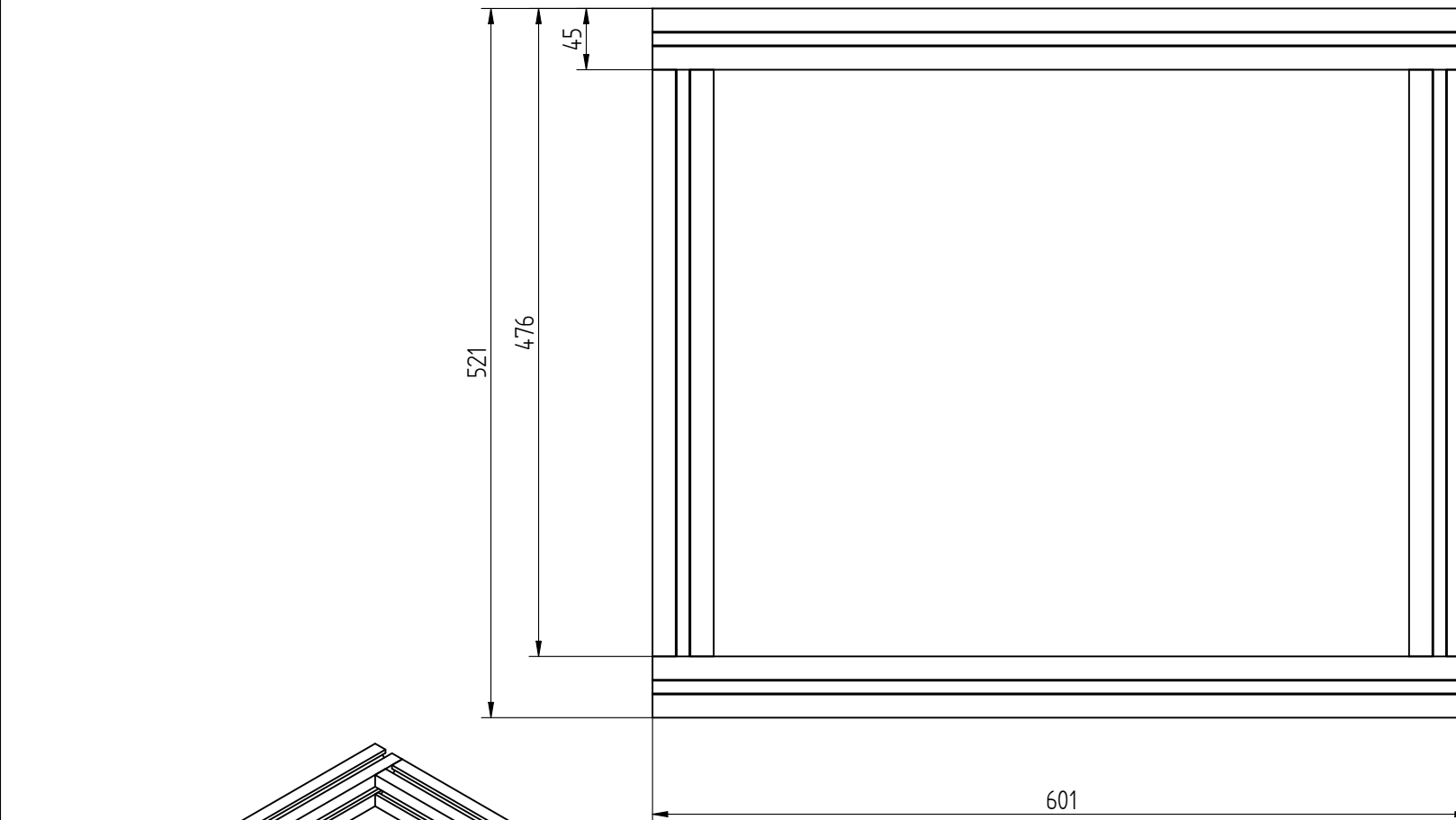
<https://www.zyltech.com/arduino-cnc-shield-instructions/>

10. Anexos

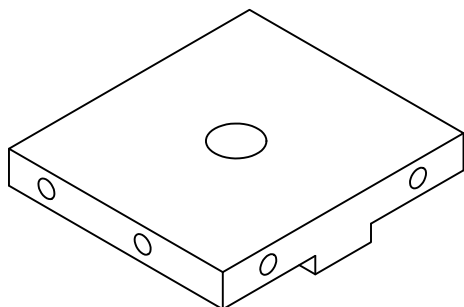
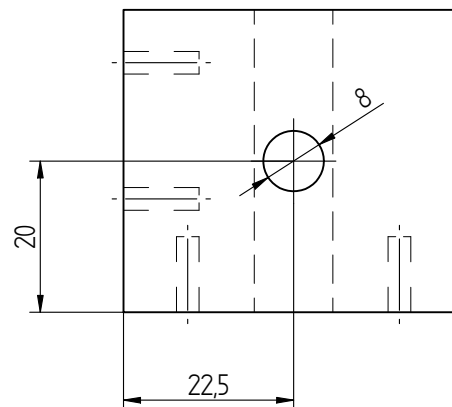
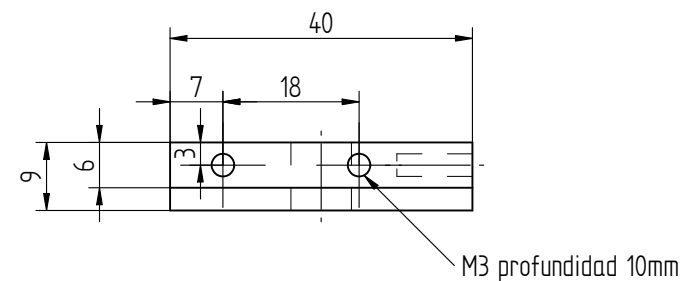
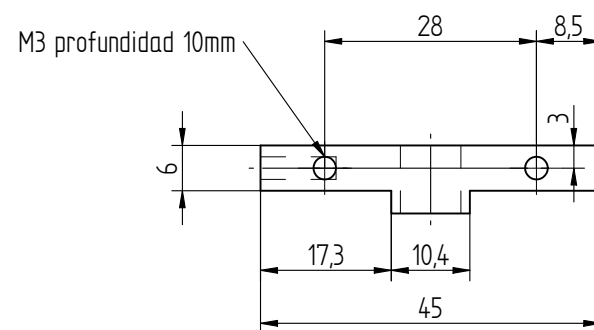
10.1 Apéndice A. Listado de materiales.

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
4	Motores Nema 17
1	Arduino Uno
1	Controlador GRBL
3	Drivers para motores DRV8825
1	Motor Er11 con fuente de alimentación regulable
1	Fuente de alimentación de 12V y 30 A
4	Rodamientos lineales SCS12UU cerrados
4	Rodamientos 688zz
4	Husillo de 8 mm de diámetro y paso 2mm
4	Roscas de 8 mm para husillo
5	Rodamientos lineales SBR16 abiertos
	2 metros de varilla calibrada 12mm
	3 metros de Perfil ISO 45x45
	Plancha de Aluminio de 6mm

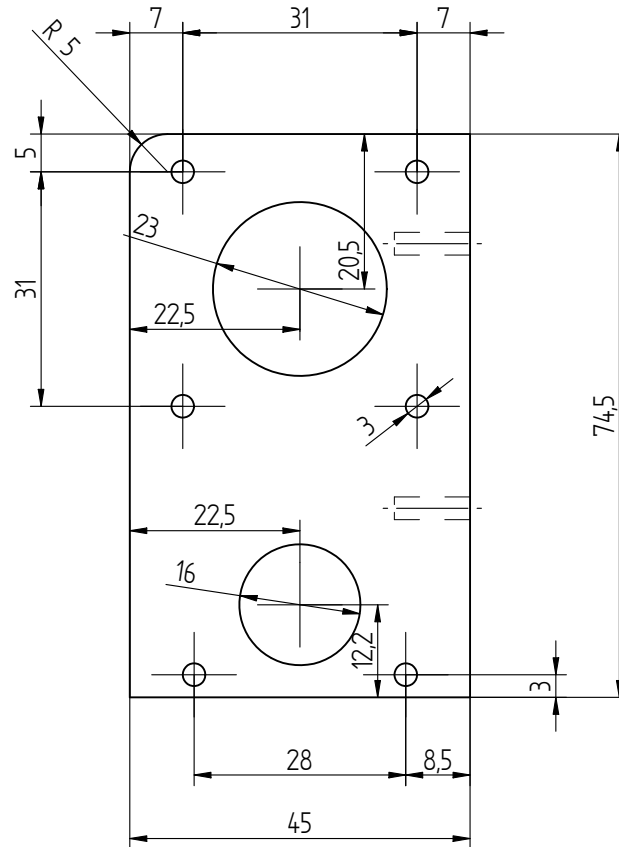
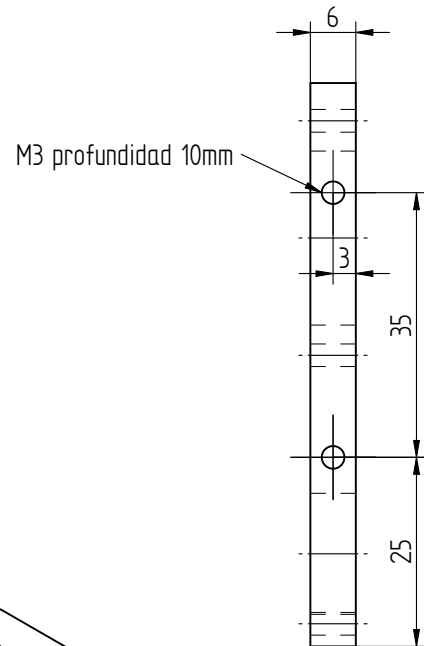
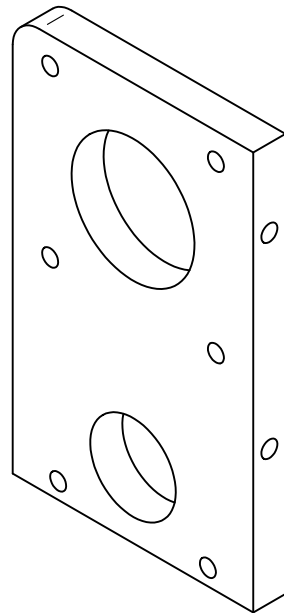
10.2 Apéndice B. Planos.



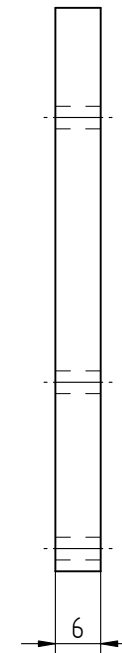
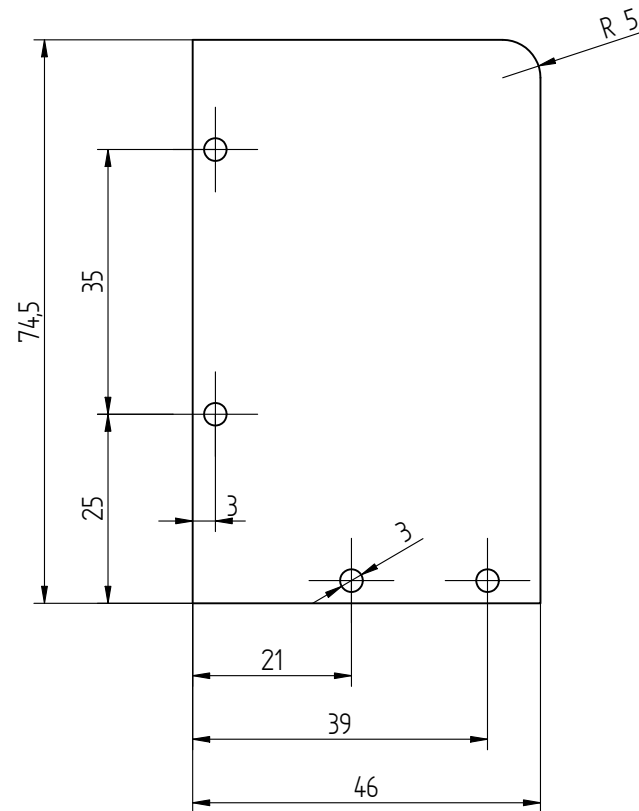
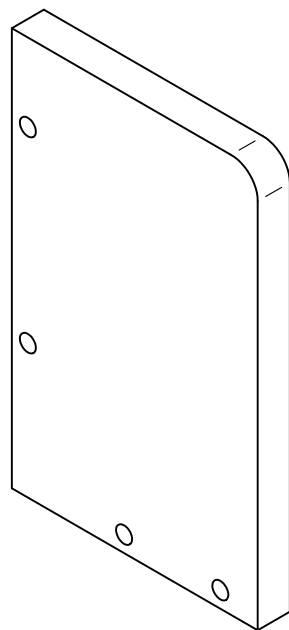
 UNIVERSIDAD DE JAÉN		Fecha	Nombre		Escuela Politécnica Superior Linares	Nº de hoja: Hoja 1 de 19
	Elaborado	25/08/21	J.C.A.			
	Revisado	25/08/21	M.M.B.		Proyecto: Fresadora CNC	Escala: 1:5
	Aprobado					
Material: Aluminio Tamaño de hoja: A4	TOLERANCIAS GENERALES:		DESCRIPCION:			Ref.Conjunto:
	Cotas en milímetros (mm) Ángulos en grados (°)		Base			



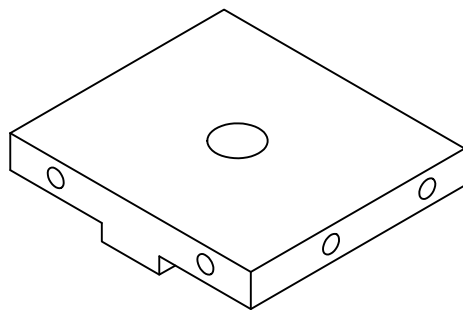
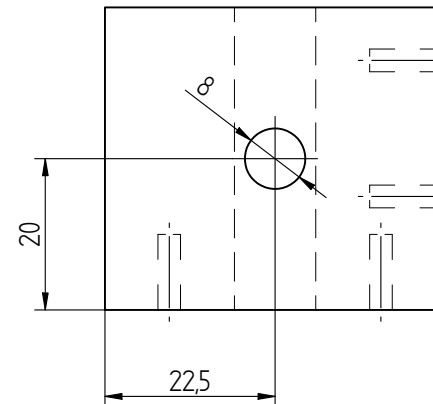
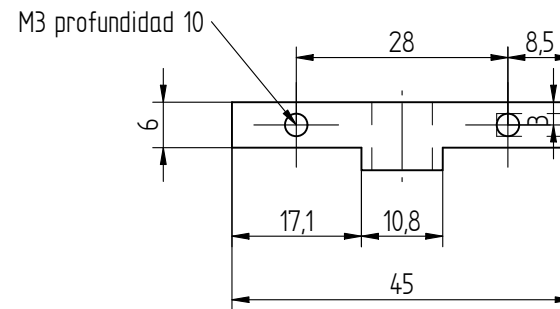
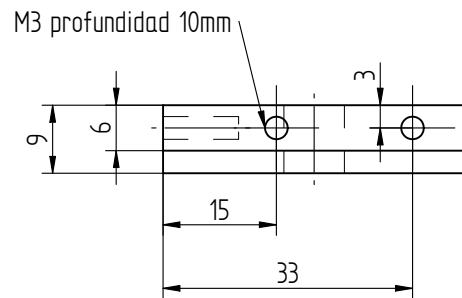
 UNIVERSIDAD DE JAÉN		Fecha	Nombre		Escuela Politécnica Superior Linares	Nº de hoja:
	Elaborado	25/08/21	J.C.A.			Hoja 2 de 19
	Revisado	25/08/21	M.M.B.		Proyecto: Fresadora CNC	Escala: 1:1
	Aprobado					
Material: Aluminio Tamaño de hoja: A4	TOLERANCIAS GENERALES:		DESCRIPCION: Soporte Motor Pz1			 Ref.Conjunto:
	Cotas en milímetros (mm) Ángulos en grados (°)					



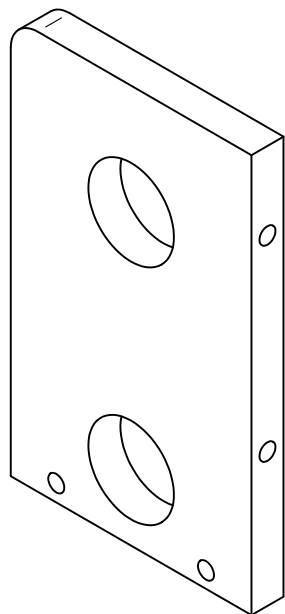
 UNIVERSIDAD DE JAÉN		Fecha	Nombre		Escuela Politécnica Superior Linares	Nº de hoja: Hoja 3 de 19
	Elaborado	25/08/21	J.C.A.			
	Revisado	25/08/21	M.M.B.		Proyecto: Fresadora CNC	Escala: 1:1
	Aprobado					
Material: Aluminio Tamaño de hoja: A4	TOLERANCIAS GENERALES: Cotas en milímetros (mm) Ángulos en grados (°)		DESCRIPCION: Soporte Motor Pz2			Ref.Conjunto:



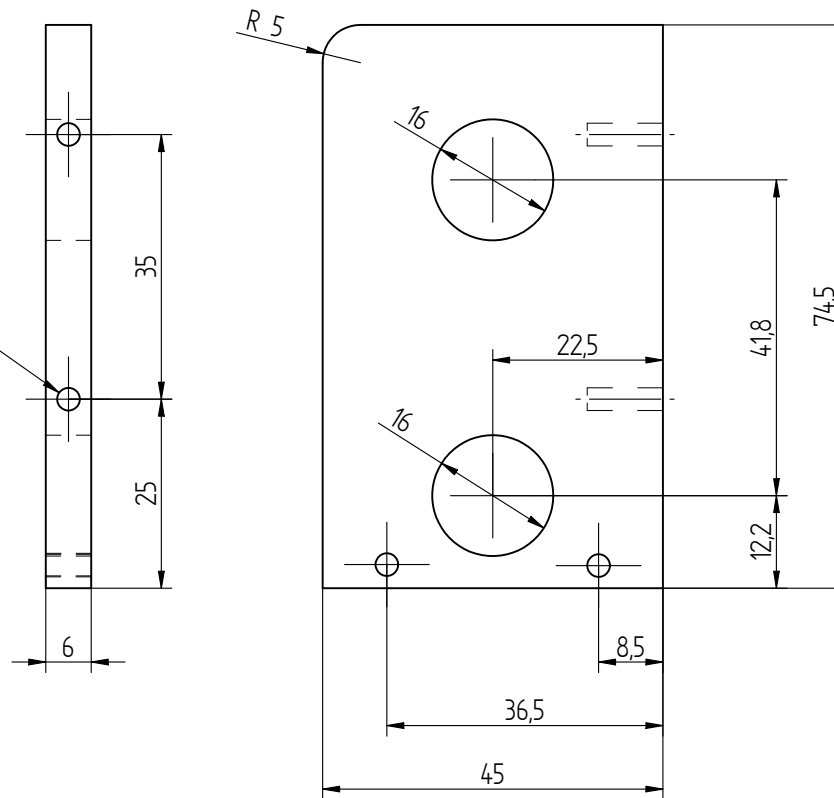
 UNIVERSIDAD DE JAÉN		Fecha	Nombre		Escuela Politécnica Superior Linares	Nº de hoja: Hoja 4 de 19
	Elaborado	25/08/21	J.C.A.			
	Revisado	25/08/21	M.M.B.		Proyecto: Fresadora CNC	Escala: 1:1
	Aprobado					
Material: Aluminio Tamaño de hoja: A4	TOLERANCIAS GENERALES: Cotas en milímetros (mm) Ángulos en grados (º)		DESCRIPCION: Soporte Motor Pz3			Ref.Conjunto:



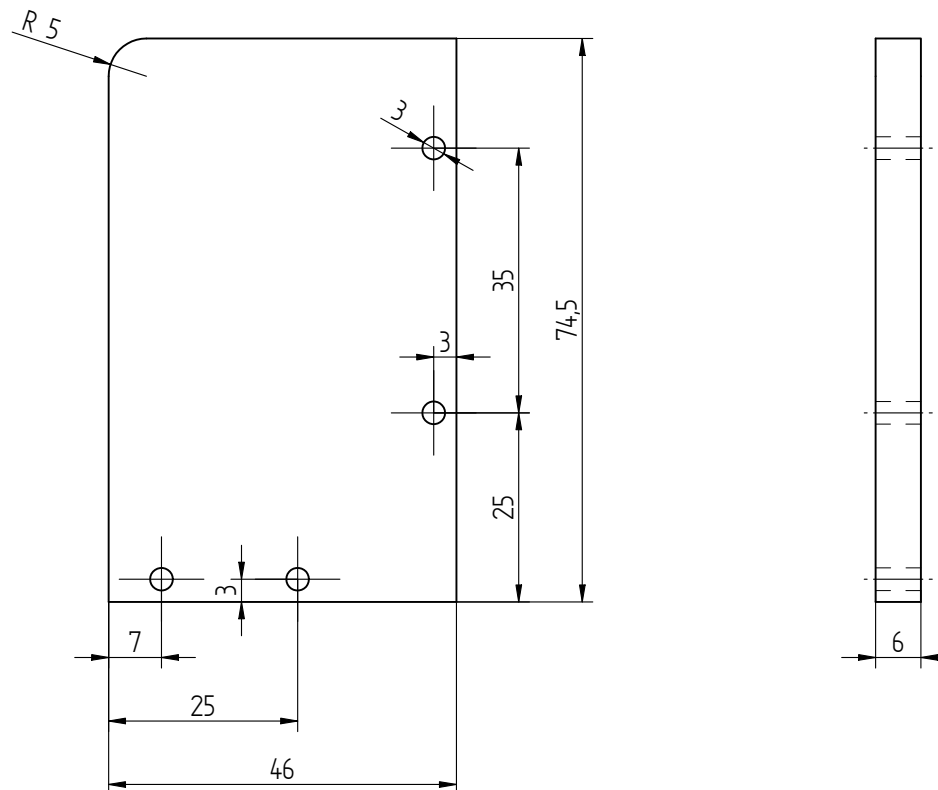
 UNIVERSIDAD DE JAÉN		Fecha	Nombre		Escuela Politécnica Superior Linares	Nº de hoja: Hoja 5 de 19
	Elaborado	25/08/21	J.C.A.			
	Revisado	25/08/21	M.M.B.		Proyecto: Fresadora CNC	Escala: 1:1
	Aprobado					
Material: Aluminio Tamaño de hoja: A4	TOLERANCIAS GENERALES: Cotas en milímetros (mm) Ángulos en grados (º)		DESCRIPCION: Soporte Rodamiento Pz1			Ref.Conjunto:



M3 profundidad 10mm

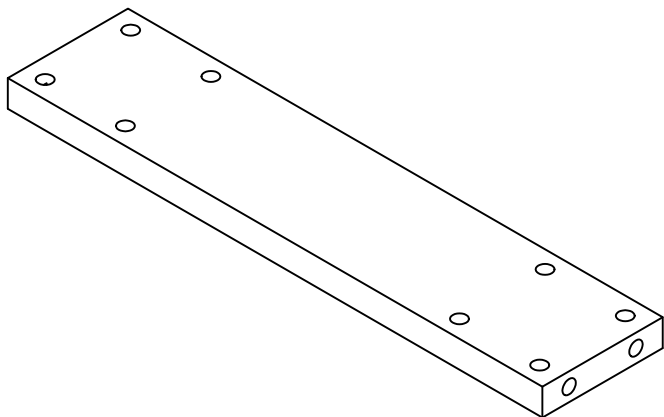
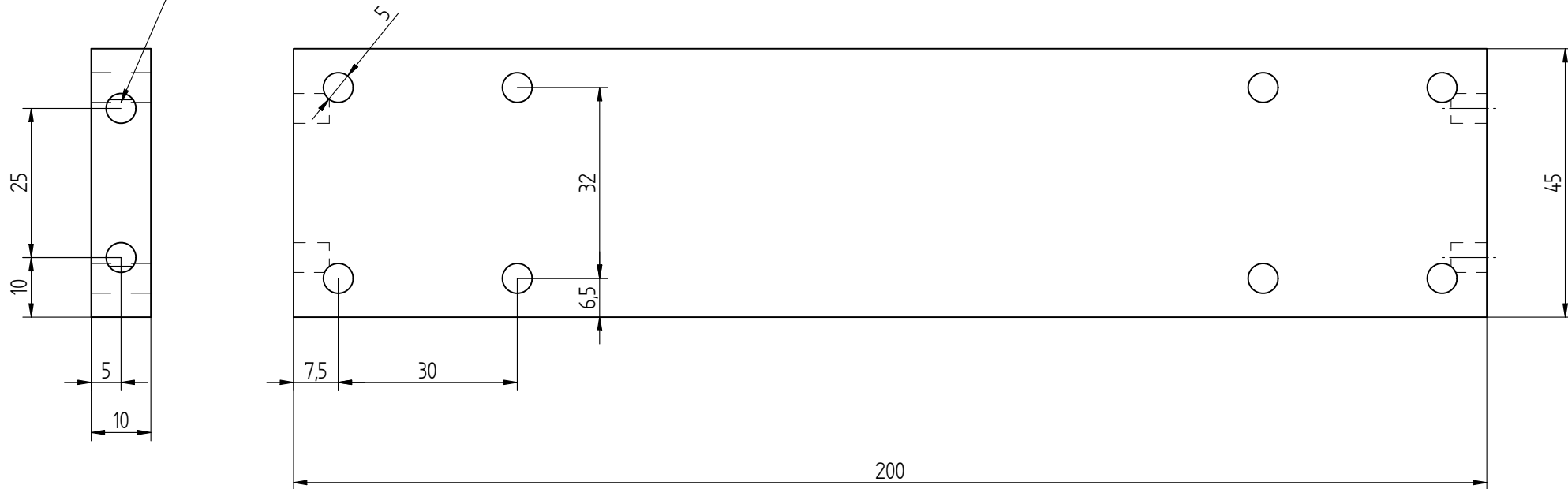


 UNIVERSIDAD DE JAÉN		Fecha	Nombre		Escuela Politécnica Superior Linares	Nº de hoja:
	Elaborado	25/08/21	J.C.A.			Hoja 6 de 19
	Revisado	25/08/21	M.M.B.		Proyecto: Fresadora CNC	Escala: 1:1
	Aprobado					
Material: Aluminio Tamaño de hoja: A4	TOLERANCIAS GENERALES: Cotas en milímetros (mm) Ángulos en grados (°)		DESCRIPCION: Soporte Rodamiento Pz2			Ref.Conjunto:

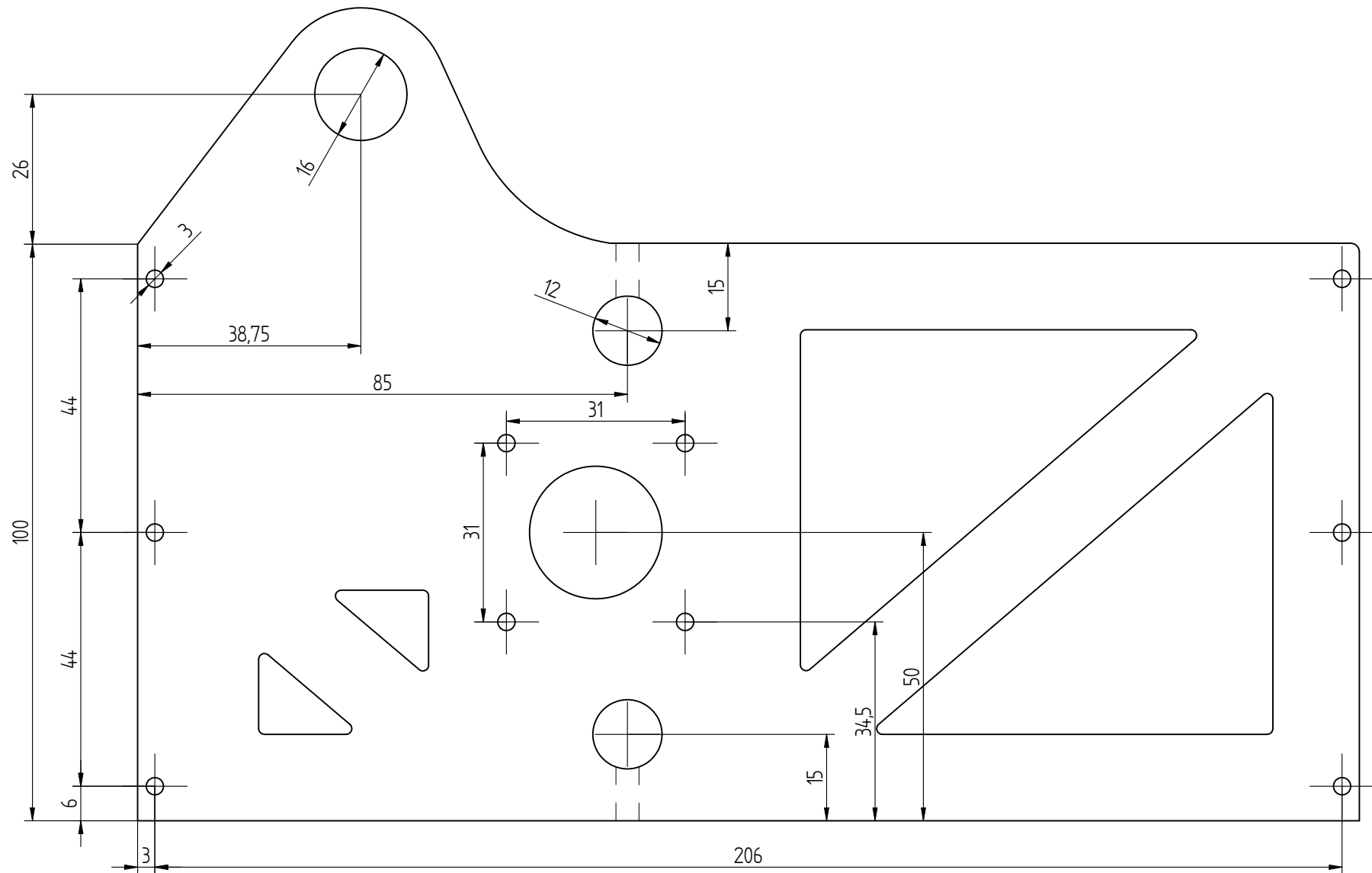


 UNIVERSIDAD DE JAÉN		Fecha	Nombre		Escuela Politécnica Superior Linares	Nº de hoja: Hoja 7 de 19
	Elaborado	25/08/21	J.C.A.			
	Revisado	25/08/21	M.M.B.		Proyecto: Fresadora CNC	Escala: 1:1
	Aprobado					
Material: Aluminio Tamaño de hoja: A4	TOLERANCIAS GENERALES: Cotas en milímetros (mm) Ángulos en grados (°)		DESCRIPCION: Soporte Rodamiento Pz3			 Ref. Conjunto:

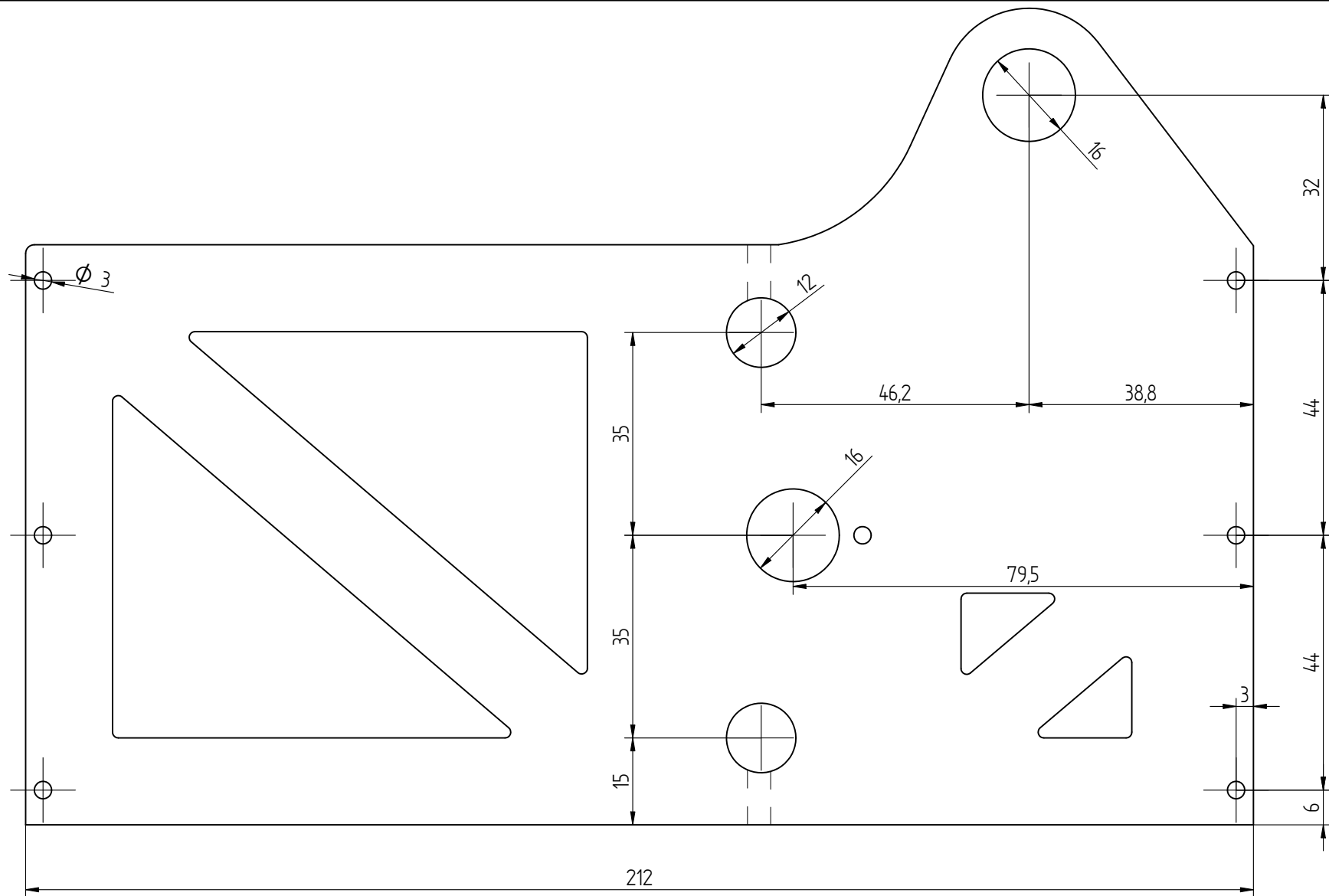
M5 profundidad 5mm



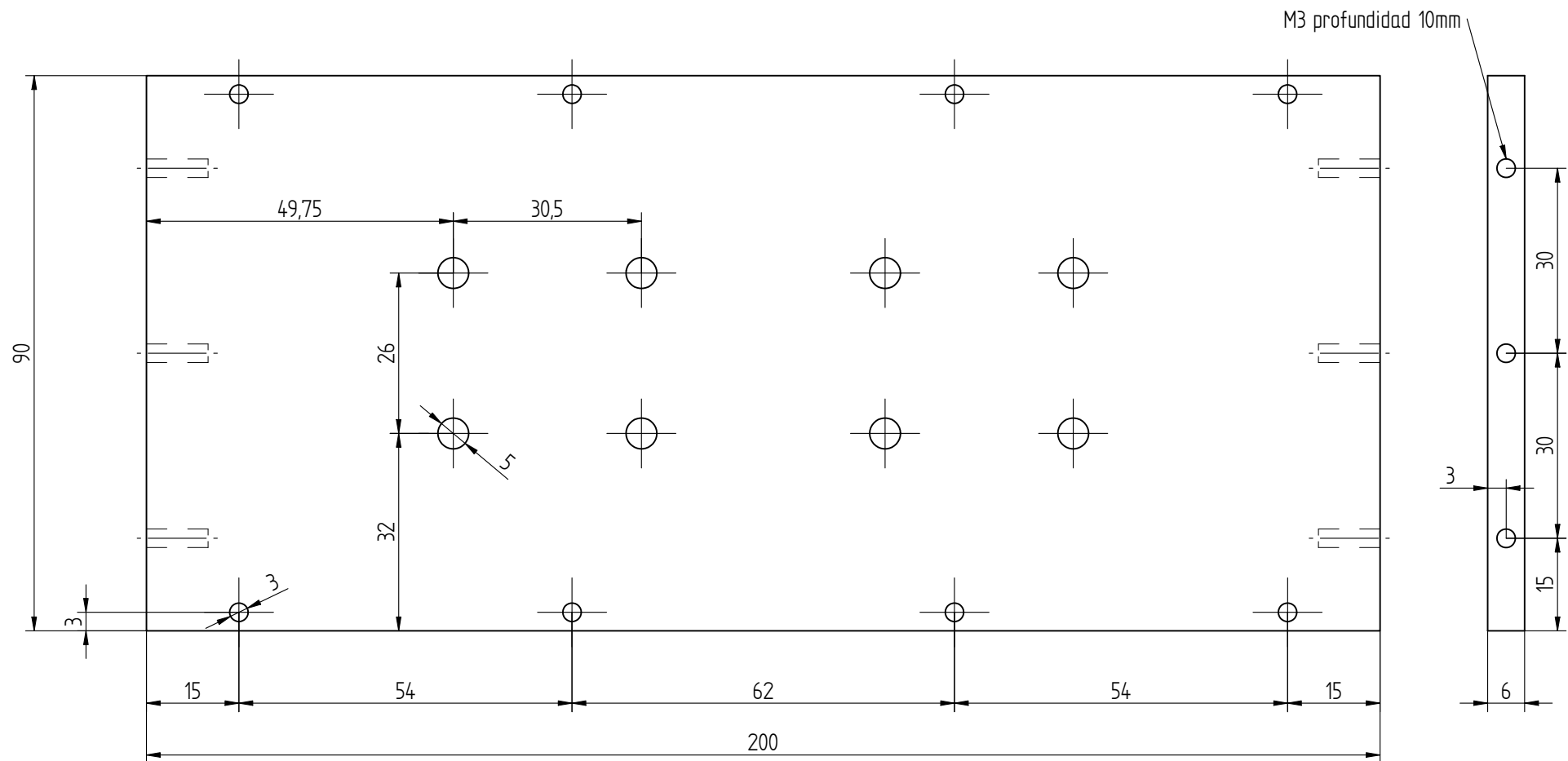
 UNIVERSIDAD DE JAÉN		Fecha	Nombre		Escuela Politécnica Superior Linares	Nº de hoja:
	Elaborado	25/08/21	J.C.A.			Hoja 8 de 19
	Revisado	25/08/21	M.M.B.		Proyecto: Fresadora CNC	Escala: 1:1
	Aprobado					
Material: Aluminio Tamaño de hoja: A4	TOLERANCIAS GENERALES: Cotas en milímetros (mm) Ángulos en grados (°)		DESCRIPCION: Eje X Pz1			Ref.Conjunto:



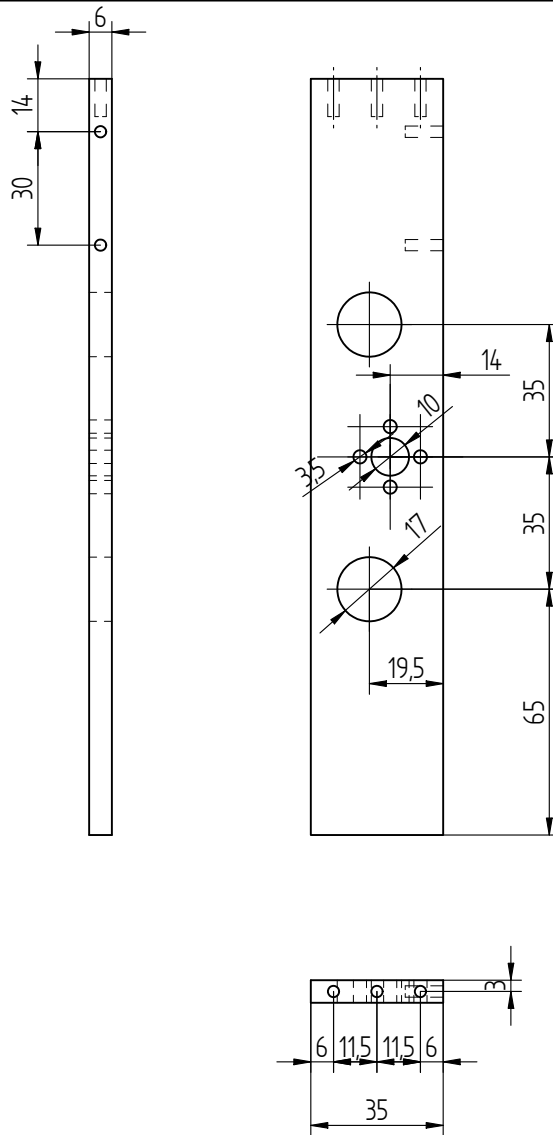
 UNIVERSIDAD DE JAÉN		Fecha	Nombre		Escuela Politécnica Superior Linares	Nº de hoja:
	Elaborado	25/08/21	J.C.A.			Hoja 10 de 19
	Revisado	25/08/21	M.M.B.		Proyecto: Fresadora CNC	Escala: 1:1
	Aprobado					
Material: Aluminio	TOLERANCIAS GENERALES:		DESCRIPCION: Eje Y Pz1 IZ			Ref.Conjunto:
Tamaño de hoja: A4	Cotas en milímetros (mm) Ángulos en grados (°)					



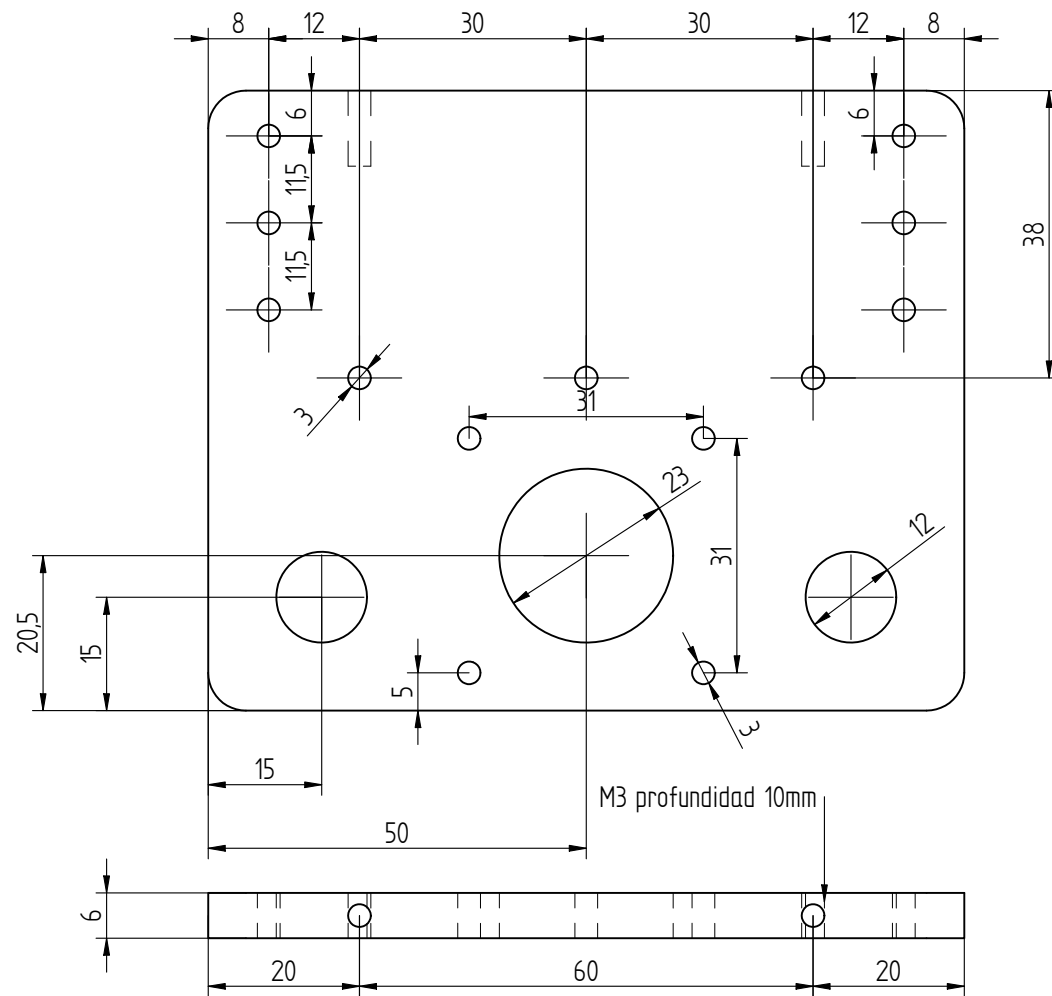
 UNIVERSIDAD DE JAÉN		Fecha	Nombre		Escuela Politécnica Superior Linares	Nº de hoja:
	Elaborado	25/08/21	J.C.A.			Hoja 11 de 19
	Revisado	25/08/21	M.M.B.		Proyecto: Fresadora CNC	Escala: 1:1
	Aprobado					
Material: Aluminio Tamaño de hoja: A4	TOLERANCIAS GENERALES: Cotas en milímetros (mm) Ángulos en grados (°)		DESCRIPCION: Eje Y Pz1 DR			Ref.Conjunto:



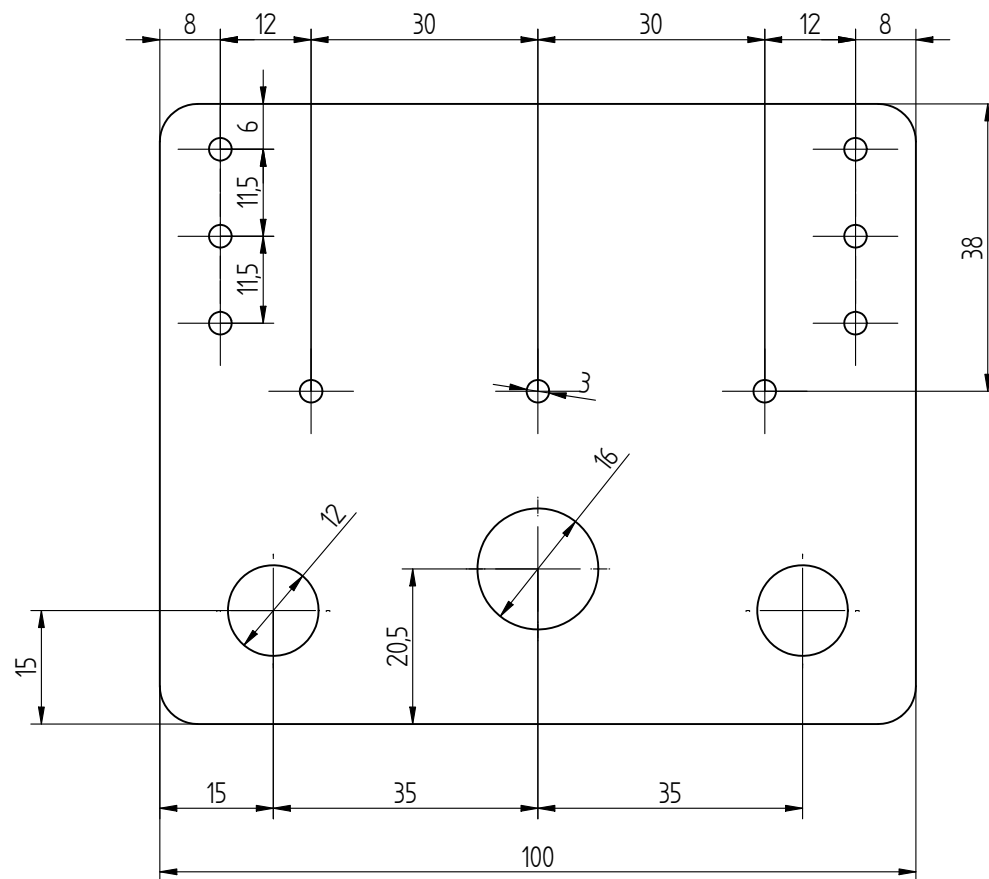
 UNIVERSIDAD DE JAÉN		Fecha	Nombre		Escuela Politécnica Superior Linares	Nº de hoja:
	Elaborado	25/08/21	J.C.A.			Hoja 12 de 19
	Revisado	25/08/21	M.M.B.		Proyecto: Fresadora CNC	Escala: 1:1
	Aprobado					
Material: Aluminio Tamaño de hoja: A4	TOLERANCIAS GENERALES: Cotas en milímetros (mm) Ángulos en grados (°)		DESCRIPCION: Eje Z Pz1			Ref. Conjunto:



 UNIVERSIDAD DE JAÉN		Fecha	Nombre		Escuela Politécnica Superior Linares	Nº de hoja: Hoja 13 de 19
	Elaborado	25/08/21	J.C.A.			
	Revisado	25/08/21	M.M.B.		Proyecto: Fresadora CNC	Escala: 1:2
	Aprobado					
Material: Aluminio Tamaño de hoja: A4	TOLERANCIAS GENERALES:		DESCRIPCION: Eje Y Pz2			 Ref.Conjunto:
	Cotas en milímetros (mm) Ángulos en grados (°)					

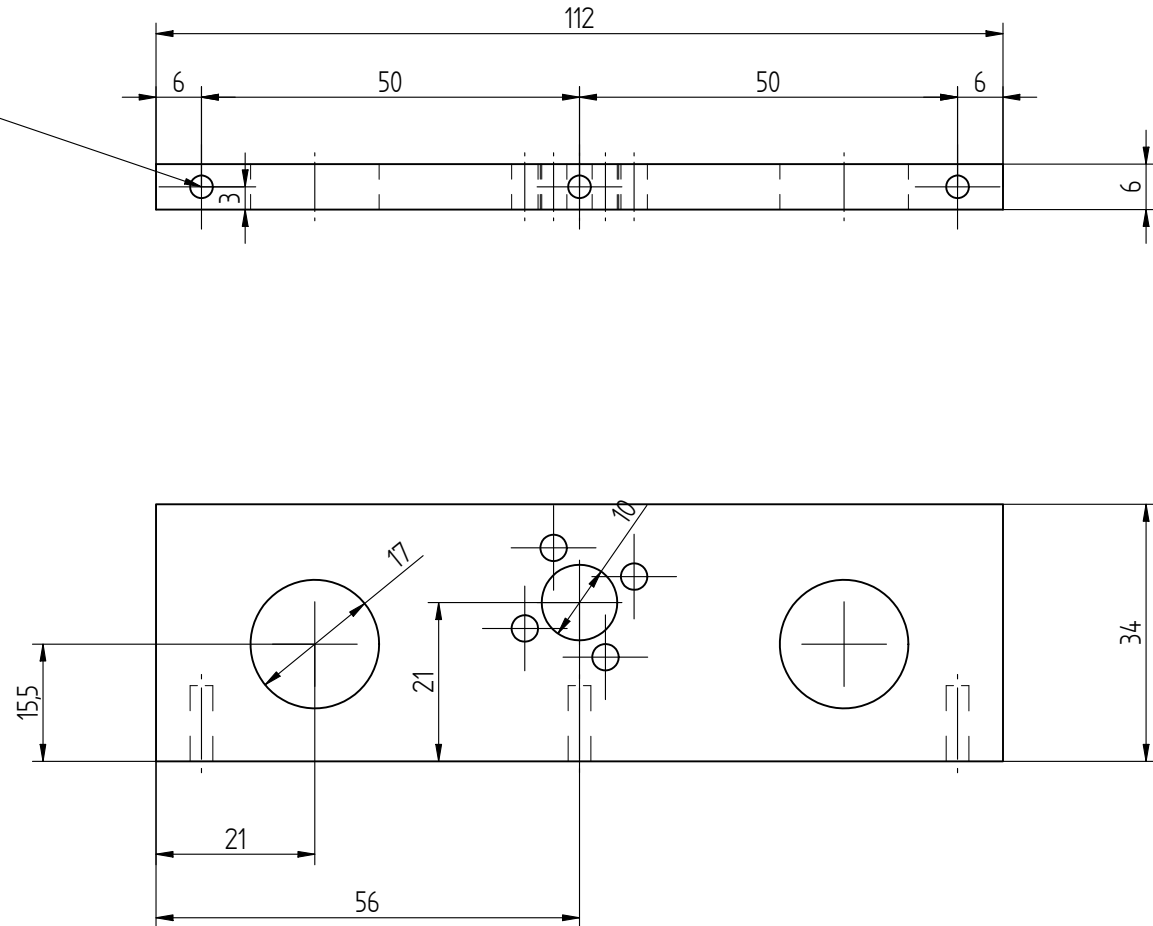


 UNIVERSIDAD DE JAÉN		Fecha	Nombre		Escuela Politécnica Superior Linares	Nº de hoja:
	Elaborado	25/08/21	J.C.A.			Hoja 14 de 19
	Revisado	25/08/21	M.M.B.		Proyecto: Fresadora CNC	Escala: 1:1
	Aprobado					
Material: Aluminio Tamaño de hoja: A4	TOLERANCIAS GENERALES: Cotas en milímetros (mm) Ángulos en grados (°)		DESCRIPCION: Eje Z Pz2			Ref.Conjunto:

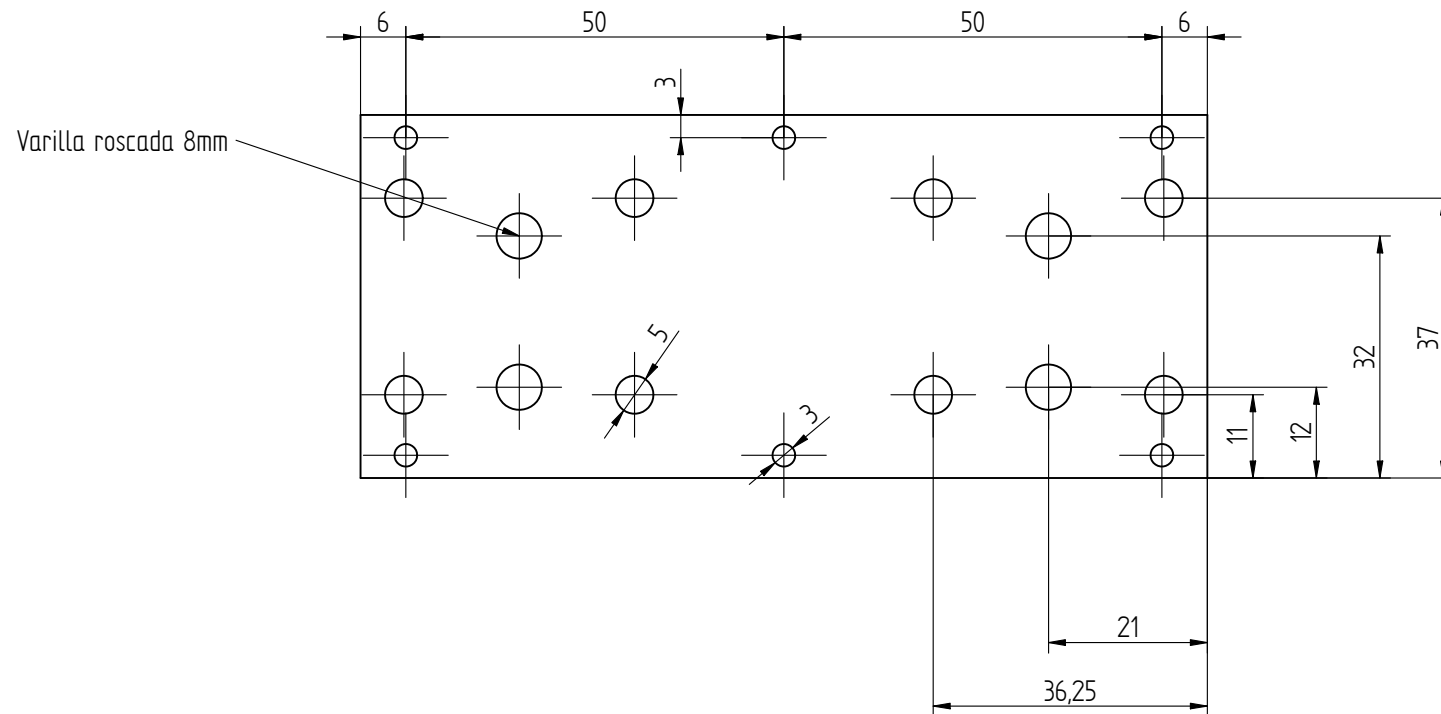


 UNIVERSIDAD DE JAÉN		Fecha	Nombre		Escuela Politécnica Superior Linares	Nº de hoja:
	Elaborado	25/08/21	J.C.A.			Hoja 15 de 19
	Revisado	25/08/21	M.M.B.		Proyecto: Fresadora CNC	Escala: 1:1
	Aprobado					
Material: Aluminio Tamaño de hoja: A4	TOLERANCIAS GENERALES:		DESCRIPCION: Eje Z Pz3			Ref.Conjunto:
	Cotas en milímetros (mm) Ángulos en grados (°)					

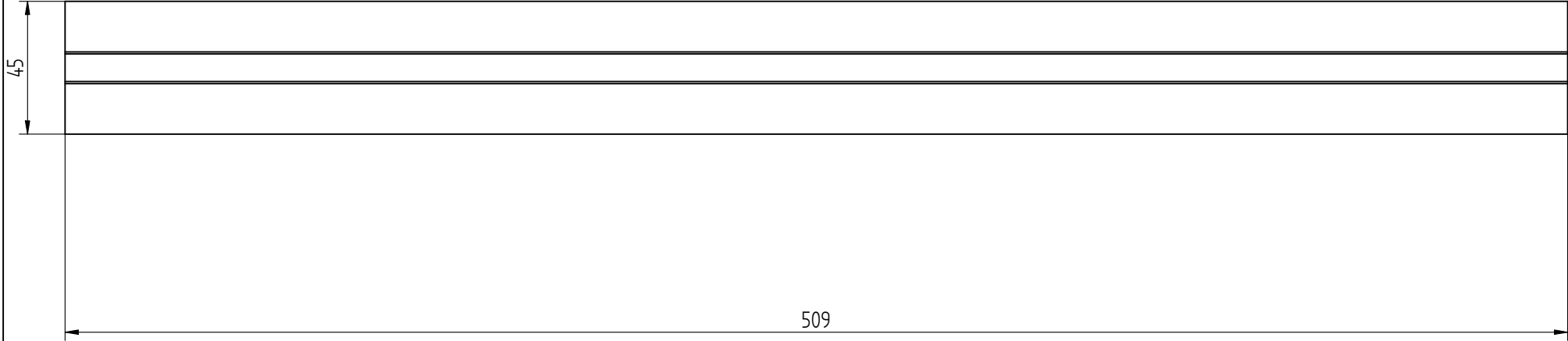
M 3 profundidad 10mm



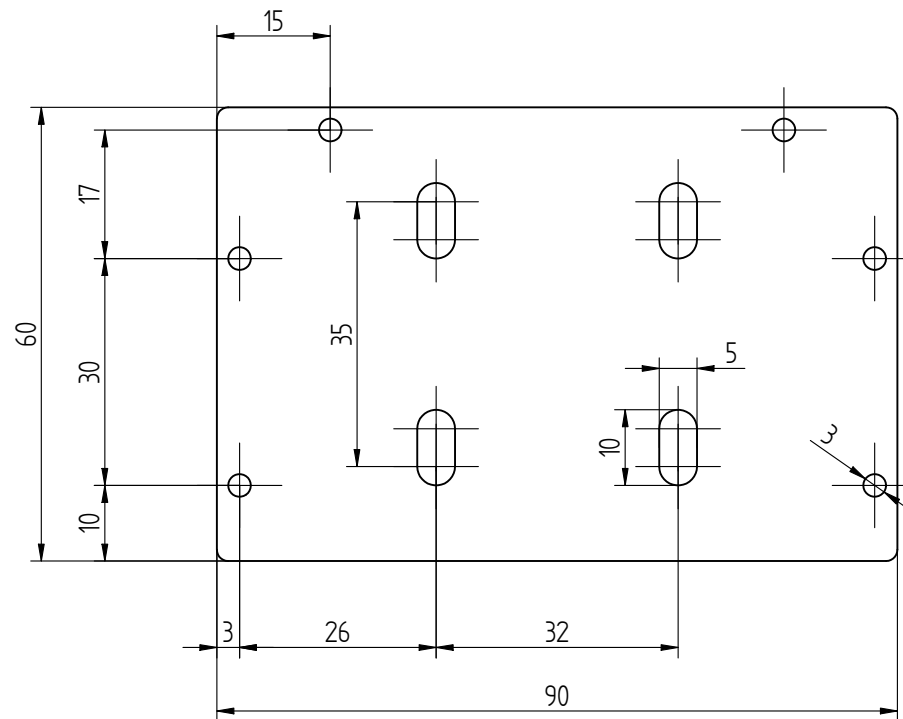
 UNIVERSIDAD DE JAÉN		Fecha	Nombre		Escuela Politécnica Superior Linares	Nº de hoja:
	Elaborado	25/08/21	J.C.A.			Hoja 16 de 19
	Revisado	25/08/21	M.M.B.		Proyecto: Fresadora CNC	Escala: 1:1
	Aprobado					
Material: Aluminio Tamaño de hoja: A4	TOLERANCIAS GENERALES:		DESCRIPCION: Eje Z Pz4			Ref.Conjunto:
	Cotas en milímetros (mm) Ángulos en grados (°)					



 UNIVERSIDAD DE JAÉN		Fecha	Nombre		Escuela Politécnica Superior Linares	Nº de hoja:
	Elaborado	25/08/21	J.C.A.			Hoja 17 de 19
	Revisado	25/08/21	M.M.B.		Proyecto: Fresadora CNC	Escala: 1:1
	Aprobado					
Material: Aluminio Tamaño de hoja: A4	TOLERANCIAS GENERALES: Cotas en milímetros (mm) Ángulos en grados (°)		DESCRIPCION: Eje Z Pz5			Ref.Conjunto:



 UNIVERSIDAD DE JAÉN		Fecha	Nombre		Escuela Politécnica Superior Linares	Nº de hoja: Hoja 18 de 19
	Elaborado	25/08/21	J.C.A.			
	Revisado	25/08/21	M.M.B.		Proyecto: Fresadora CNC	Escala: 1:1
	Aprobado					
Material: Aluminio Tamaño de hoja: A4	TOLERANCIAS GENERALES: Cotas en milímetros (mm) Ángulos en grados (°)		DESCRIPCION: Perfil 45X45 Eje Y			Ref.Conjunto:



 UNIVERSIDAD DE JAÉN		Fecha	Nombre		Escuela Politécnica Superior Linares	Nº de hoja:
	Elaborado	25/08/21	J.C.A.			Hoja 19 de 19
	Revisado	25/08/21	M.M.B.		Proyecto: Fresadora CNC	Escala: 1:1
	Aprobado					
Material: Aluminio Tamaño de hoja: A4	TOLERANCIAS GENERALES:		DESCRIPCION: Eje Y Pz3			Ref.Conjunto:
	Cotas en milímetros (mm) Ángulos en grados (°)					