



universidad
de León



Escuela de Ingenierías I.I.

Industrial, Informática y Aeroespacial

**GRADO EN INGENIERÍA
EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y
AUTOMÁTICA**

Trabajo de Fin de Grado

**LK Maquina de Control Numérico Portable
LKPCNM**

**LK Portable Control Numeric Machine
LKPCNM**

Autor: Angel Andrés Rodríguez

Tutor: Ángela Díez Díez

Tutor: Jesús Lozano Arias

(Julio, 2022)

UNIVERSIDAD DE LEÓN
Escuela de Ingenierías I.I.
GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA
INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA
Trabajo de Fin de Grado

ALUMNO: Angel Andrés Rodríguez

TUTOR: Ángela Diez Diez

TUTOR: Jesús Lozano Arias

TÍTULO: LK Maquina de Control Numérico Portable **LKPCNM**

TITTLE: LK Portable Control Numeric Machine **LKPCNM**

CONVOCATORIA: Julio 2022

RESUMEN: El objeto de este proyecto es el diseño, la creación y fabricación de un portaherramientas CNC de tres ejes con el que se pueda trabajar verticalmente, es decir, en una superficie perpendicular al suelo o al apoyo de la base de la máquina, además de que pueda portar cualquier tipo de herramienta con su debido soporte. A lo largo de la memoria, se va detallando tanto los cálculos como los componentes de los que se compone la máquina junto con los planos y las instrucciones de funcionamiento.

ABSTRACT: The object of this project is the design, creation and making of a three-axis CNC tool holder with which it is posible to work vertically, namely, on a surface perpendicular to the floor or to the base's support of the machine, also to being able to carry any type of tool with proper support. Throughtout th memory, both the calculations and the components of the machine besides the plans and the operating instructions.

Palabras clave: low cost, open source, CNC, control, Arduino

Firma del alumno:

V°B° Tutor:

V°B° Tutor:

Índice

Índice	3
Tabla de ilustraciones.....	4
Índice de tablas	7
1 Introducción	8
2 Historia de las CNC (Control Numérico Computarizado)	9
2.1 Primeras máquinas NC	9
2.2 Lenta adopción del control numérico computarizado	10
2.3 La proliferación de las CNC.....	10
2.4 La CNC en la actualidad	10
2.5 Ventajas de las CNC	12
2.6 Distintos tipos de máquinas herramienta:	12
2.6.1 Fresadoras	12
2.6.2 Plotter (trazador)	14
3 Máquina soporte CNC (3 ejes).....	16
3.1 Zona de trabajo	17
3.2 Materiales de la estructura.....	18
3.2.1 Materiales mecánicos	18
3.2.2 Materiales eléctricos y electrónicos	24
4 Cálculos	34
4.1 Cálculo de los motores	34
4.2 Cálculo de la vida útil de los rodamientos	38
5 Planificación	40
6 Fabricación de cada una de las piezas.....	42
6.1 Mesa 1	42
6.2 Patas	43
6.3 Mesa 2 y Tapa	45
6.4 Columna y Tapas columna	47
6.5 Carro-soporte.....	49

6.6	Varillas y husillos	50
7	Montaje	52
7.1	Fases	52
8	Software	62
8.1	Universal Gcode Sender (UGS).....	62
8.2	OpenCNC Pilot	62
8.3	GRBL.....	63
8.4	CNC Control	63
9	Presupuesto	64
10	Mejoras	65
11	Conclusiones	66
12	Bibliografía	67
13	Anexos	69
	ANEXO A. Planos.....	69
	ANEXO B. Datasheet Arduino	76
	ANEXO C. Datasheet fuente de alimentación	90
	ANEXO D. Datasheet motores NEMA 17	92

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1	Evolución de las CNC 1 (Arzola, 2019).....	11
Ilustración 2	Evolución de las CNC 2 (Arzola, 2019).....	11
Ilustración 3	Máquina soporte CNC	16
Ilustración 4	Carro soporte.....	16
Ilustración 5	Límites de la zona de trabajo de los ejes X y Z	17
Ilustración 6	Límites de la zona de trabajo de los ejes X y Z	17
Ilustración 7	Chapa de acero S275JR	19
Ilustración 8	Varilla calibrada F-114.....	20
Ilustración 9	Rodamientos lineales de recirculación de bolas	21
Ilustración 10	Rodamientos ensamblados con su varilla	21
Ilustración 11	Husillo trapezoidal	22

Ilustración 12 Disposición de los husillos y las varillas	22
Ilustración 13 Rodamientos radiales	23
Ilustración 14 Acoples.....	23
Ilustración 15 Arduino UNO Rev 3 (ARDUINOCC, s.f.)	27
Ilustración 16 Placa CNC Shield V3.....	28
Ilustración 17 Driver A4988.....	29
Ilustración 18 Posición de los drivers en la placa CNC Shield	30
Ilustración 19 Diagrama de conexiones mínimas para conectar los drivers a un microcontrolador y los drivers a los motores paso a paso. (Pololu, 2012)	30
Ilustración 20 Motor paso a paso	32
Ilustración 21 Diagrama de colocación de los terminales de los motores en la placa CNC Shield.....	32
Ilustración 22 Final de carrera.....	33
Ilustración 23 Fuente de alimentación S-360-12	33
Ilustración 24 Diámetro de la herramienta	34
Ilustración 25 Sección de corte de la herramienta	35
Ilustración 26 Representación de las fuerzas en los husillos	38
Ilustración 27 Cronograma	40
Ilustración 28 Listado de las tareas	40
Ilustración 29 Soporte mesa1 vista desde abajo	42
Ilustración 30 Soporte mesa1 vista desde arriba	43
Ilustración 31 Pata derecha vista desde parte de fuera	43
Ilustración 32 Pata derecha vista desde parte de dentro.....	44
Ilustración 33 Pata izquierda vista desde parte de dentro	44
Ilustración 34 Pata izquierda vista desde parte de fuera.....	45
Ilustración 35 Soporte mesa 2 vista desde abajo	45
Ilustración 36 Soporte mesa 2 vista desde arriba	46
Ilustración 37 Tapa mesa 2.....	46
Ilustración 38 Columna vista desde parte posterior	47
Ilustración 39 Columna vista desde parte de arriba y de abajo	48
Ilustración 40 Tapa columna	48

Ilustración 41 Soporte carro desde parte frontal	49
Ilustración 42 Soporte carro desde parte interior	49
Ilustración 43 Varilla soporte eje X.....	50
Ilustración 44 Varilla soporte eje Y.....	50
Ilustración 45 Varilla soporte eje Z.....	51
Ilustración 46 Fase 1 del montaje.....	52
Ilustración 47 Fase 2.1 del montaje	53
Ilustración 48 Fase 2.2 del montaje	53
Ilustración 49 Fase 3.1 del montaje	54
Ilustración 50 Fase 3.2 del montaje	54
Ilustración 51 Fase 3.3 del montaje	54
Ilustración 52 Fase 4 del montaje	55
Ilustración 53 Fase 5.1 del montaje	55
Ilustración 54 Fase 5.2 del montaje	56
Ilustración 55 Fase 6 del montaje	56
Ilustración 56 Fase 7 del montaje	57
Ilustración 57 Fase 8.1 del montaje	57
Ilustración 58 Fase 8.2 del montaje	58
Ilustración 59 Fase 9 del montaje	58
Ilustración 60 Fase 10.1 del montaje.....	59
Ilustración 61 Fase 10.2 del montaje.....	59
Ilustración 62 Fase 11.1 del montaje.....	60
Ilustración 63 Fase 11.2 del montaje.....	60
Ilustración 64 Paso nº12 del montaje	61

Índice de tablas

Tabla 1 CARACTERÍSTICAS DE LA CHAPA DE ACERO S275JR	18
Tabla 2 CARACTERÍSTICAS DEL ACERCO F-114 (XC45)	20
Tabla 3 CARACTERÍSTICAS ARDUINO UNO	26
Tabla 4 CARACTERÍSTICAS DEL DRIVER A4988	29
Tabla 5 PARÁMETROS DE LA HERRAMIENTA	34
Tabla 6 CARACTERÍSTICAS SEGÚN CATALOGO SKF	39
Tabla 7 TIEMPOS DE LAS TAREAS	41
Tabla 8 PRESUPUESTO DESGLOSADO	64

1 Introducción

El objeto de este proyecto es el diseño, la creación o construcción, fabricación y montaje de un portaherramientas CNC (Control Numérico Computarizado) de tres ejes con el que se pueda trabajar verticalmente, es decir, en una superficie perpendicular al suelo o al apoyo de la base de la máquina.

Partiendo de la idea de que sea low cost o lo que es lo mismo lo más económica posible, dentro de una determinada calidad, lo más versátil posible que permita trabajar en distintas superficies, véase madera de baja dureza, y portable, que se pueda transportar por el menor número de personas y no exceda el peso.

Este proyecto estará financiado por la empresa LozKorp, ya que está constantemente abriendo las puertas a nuevas oportunidades, brindando oportunidades a los nuevos ingenieros, además de que, se dedica entre muchas otras cosas al campo de las nuevas tecnologías, a la impresión 3D y diseño de prototipos.

El control se llevará a cabo con un Arduino UNO y CNC Shield, que se encargaran del hardware y en su programación llevara las herramientas software necesarias para su funcionamiento mediante código programable que se cargara en la memoria del Arduino UNO.

Partiendo de las premisas predecesoras se llevará a cabo el diseño desde cero de todos los componentes que no se vendan directamente en el mercado, la fabricación de todas las piezas esenciales para poder funcionar correctamente y montaje de una máquina CNC de tres ejes.

2 Historia de las CNC (Control Numérico Computarizado)

‘CNC’ son las siglas de “control numérico computarizado” (en inglés “computer numerical control”) y se refiere principalmente al control automático de máquinas herramienta por medio de computadoras y programas especializados que controlan múltiples motores y servomecanismos, a diferencia del manejo manual con palancas o volantes. (Arzola, 2019)

El término de ‘CNC’ deriva primero del concepto de **Control Numérico** (NC) de maquinaria, que implica utilizar la lógica programable como pueden ser datos en forma de letras, números, símbolos, palabras o sus combinaciones, para automatizar el control automatizado de máquinas. Antes de su existencia, cualquier máquina era siempre manipulada manualmente por operadores humanos. Los primeros sistemas de control de maquinaria nacieron durante la revolución industrial con el uso de tarjetas perforadas en los telares mecánicos, y a finales del siglo XIX ya se utilizaban tarjetas perforadas para cálculo de datos de censo en Estados Unidos. (Arzola, 2019)

2.1 Primeras máquinas NC

Las primeras máquinas herramienta NC nacieron durante la década de 1940, siendo automatizadas por tarjetas perforadas como medio de almacenamiento de instrucciones preprogramadas, las cuales activaban servomecanismos que limitaban el avance de los motores y las herramientas (ideas derivadas directamente de las máquinas de telar). (Arzola, 2019)

Parsons Corporation en Traverse City, Michigan, desarrolló el sistema de producción de plantillas para la manufactura de hélices para helicópteros. John Parsons, quien fue fundador de la compañía, descubrió cómo poder calcular las coordenadas de la superficie aerodinámica a producir por medio de un multiplicador ‘IBM 602A’. Luego, logró introducir estos puntos de datos en un perforador de plantillas suizo a través de tarjetas perforadas. Hasta la fecha, esta se consideraba la primera máquina de control numérico real, ya que fabricaba productos (plantillas de hélices de helicóptero, en este caso) alimentadas por tarjetas perforadas en un sistema, y el sistema luego leía y producía las piezas con base a la información preprogramada. (Arzola, 2019)

Durante la década de los 40’s se fueron refinando los conceptos del moderno maquinado NC, acuñando el término en el año 1952 por el entonces Laboratorio de Servomecanismos del MIT (Michigan Institute of Technology). Las primeras verdaderas máquinas de control numérico computarizado (CNC) comerciales se presentaron por primera vez en la “Feria Nacional de Maquinaria de Chicago” (precursor del actual IMTS) en el año de 1955 en la ciudad de Chicago, Illinois, y varias de estas ya incluían lectores de cintas magnéticas. (Arzola, 2019)

2.2 Lenta adopción del control numérico computarizado

Aunque las máquinas CNC ya lograban entonces ahorrar costos, eran una tecnología novedosa. Y la gran novedad del concepto y falta de estándares causó que se tardara en adoptar por los fabricantes. Por lo que, con el fin de promover su adopción, el ejército de Estados Unidos compró 120 máquinas de control numérico computarizado y las facilitó a fabricantes para que su uso se volviera popular. (Arzola, 2019)

El siguiente problema era la larga y difícil creación de los programas, y que, si bien el mecanizado era más rápido y eficiente, la creación de los programas de control no era así. En 1957 La Fuerza Aérea, la Asociación de Industrias Aéreas y el MIT, se dieron a la tarea de crear un estándar de lenguaje, creando en 1956 las bases del lenguaje APT, siendo adoptado y adaptado por muchos otros fabricantes de maquinaria de entonces. Algunos ejemplos de adaptaciones son los lenguajes ExAPT, uniAPT, adAPT, RAPT, Robex, etc. A principios de los años 60's la Alianza de Industrias Electrónicas ('EIA' en inglés) creó el estándar "G-Code" (código 'G'), derivado de impresoras tipo 'plotter' y lo adaptó al uso de máquinas CNC. En la actualidad el 'código G' es el lenguaje predominante en programación de CNC. (Arzola, 2019)

2.3 La proliferación de las CNC

Durante los años 60, el precio de los productos de cómputo bajó rápidamente, debido a la introducción de las microcomputadoras tales como la PDP-8 o la IBM 1130. Permitiendo que el control de los motores por computadora en vez de ser por servomecanismos; reduciendo así el tamaño de los elementos de control de la máquina. Junto con esto, avances en la capacidad de cómputo ya permitían gráficos en pantalla. Estos nuevos modelos relativamente asequibles de computadoras permitieron facilitar la creación de diseños y programas de maquinado a través de software denominado CAD-CAM (Computer-aided design / Computer-aided manufacturing). (Arzola, 2019)

Durante los años 70's, nuevas compañías europeas y japonesas empezaron a competir creando nuevas tecnologías y estándares que redujeron aún más el costo de fabricación de máquinas CNC, contribuyendo aún más a su implementación a nivel mundial. (Arzola, 2019)

2.4 La CNC en la actualidad

Hoy en día no es raro encontrar máquinas CNC que aún operan con lectores de cinta perforada, esto debido a la larga vida útil de las máquinas, y que están conviviendo con modernos centros de maquinado de última

tecnología, tanto de pequeñas piezas de precisión como de enormes partes de la industria pesada. (Arzola, 2019)

Nuevos desarrollos tecnológicos llevan las capacidades del control numérico a nuevas fronteras, más preciso, más rápido, más grande; nuevas interfaces de programación y capacidades de maquinado complejo facilitan, hoy más que nunca la fabricación de piezas de increíble complejidad y enorme precisión, además que la interconectividad de las últimas tecnologías de cómputo permiten el control no solo de 1una máquina, sino de centros completos de producción con múltiples máquinas herramientas, todas controladas por sistemas de control numérico computarizado, o “CNC”. (Arzola, 2019)

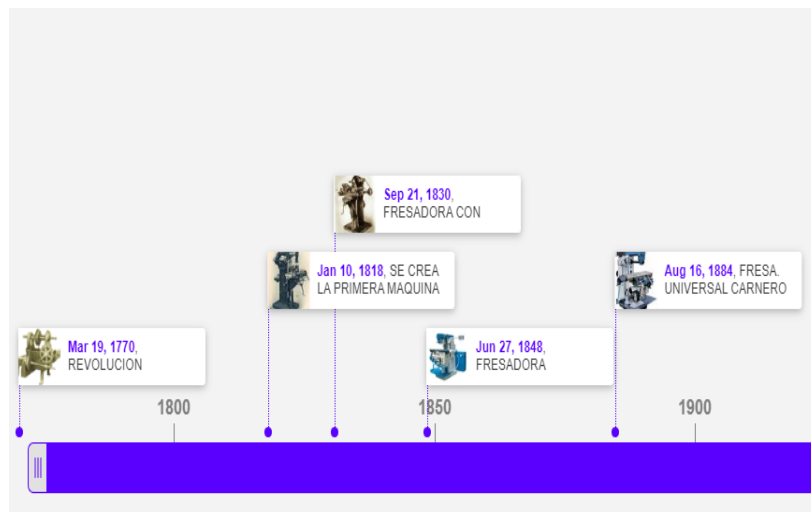


Ilustración 1 Evolución de las CNC 1 (Arzola, 2019)

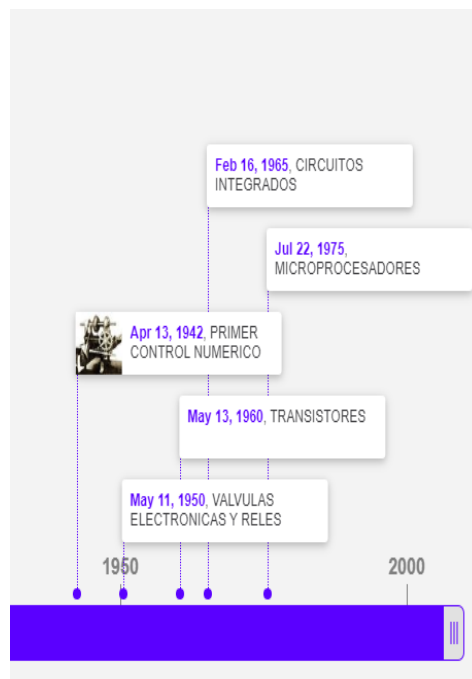


Ilustración 2 Evolución de las CNC 2 (Arzola, 2019)

2.5 Ventajas de las CNC

Reducción de los tiempos de trabajo. Repetitividad de las piezas y la reducción del número de utillajes empleados para el posicionamiento de las piezas. Mediante el CNC es la máquina quien se ocupa de este menester a través de mesas móviles, cabezales ... (OMIPESA, s.f.)

Pero si realmente tenemos que hablar de la principal ventaja, hemos de remontarnos a los orígenes del CN. Esta ventaja no es otra que la capacidad de realizar mecanizados realmente complejos con gran precisión. (OMIPESA, s.f.)

2.6 Distintos tipos de máquinas herramienta:

2.6.1 Fresadoras

2.6.1.1 *Historia*

La primera fresadora universal equipada con plato divisor que permitía la fabricación de engranajes rectos y helicoidales fue fabricada por Brown & Sharpe en 1853, por iniciativa y a instancias de Frederick W. Howe, y fue presentada en la Exposición Universal de París de 1867. En 1884 la empresa americana Cincinnati construyó una fresadora universal que incorporaba un carnero cilíndrico posicionado axialmente. (Dicochea, 2012)

En 1874, el constructor francés de máquinas-herramienta Pierre Philippe Huré diseñó una máquina de doble husillo, vertical y horizontal que se posicionaban mediante giro manual. (Dicochea, 2012)

En 1894 el francés R. Huré diseñó un cabezal universal con el que se pueden realizar diferentes mecanizados con variadas posiciones de la herramienta. Este tipo de cabezal, con ligeras modificaciones, es uno de los accesorios más utilizados actualmente en las fresadoras universales. (Dicochea, 2012)

En 1938 surge la compañía Bridgeport Machines, Inc. en Bridgeport, Connecticut, la cual en las décadas posteriores se hace famosa por sus fresadoras verticales de tamaño pequeño y mediano. (Dicochea, 2012)

2.6.1.2 *Introducción del control numérico*

El primer desarrollo en el área del control numérico por computadora (CNC) lo realizó el inventor norteamericano John T. Parsons (Detroit 1913-2007) junto con su empleado Frank L. Stulen, en la década de 1940. El concepto de control numérico implicaba el uso de datos en un sistema de referencia para definir las superficies de contorno de las hélices de un helicóptero. La aplicación del control numérico abarca gran variedad de procesos. Se dividen las aplicaciones en dos categorías: las aplicaciones con máquina herramienta, tales como taladrado, fresado, laminado o torneado; y las aplicaciones sin máquina herramienta, tales como el ensamblaje, trazado, oxicorte, o metrología. (Dicochea, 2012)

El principio de operación común de todas las aplicaciones del control numérico es el control de la posición relativa de una herramienta o elemento de procesado con respecto al objeto a procesar. Al principio los desplazamientos eran de punto a punto, y se utilizaban básicamente en taladradoras. La invención de las funciones de interpolación lineal y circular y el cambio automático de herramientas hizo posible la construcción de una generación de máquinas herramientas con las que se taladra, rosca, fresa e incluso se tornea y que han pasado a denominarse centros de mecanizado en lugar de fresadoras propiamente dichas. (Dicochea, 2012)

2.6.1.3 *Control numérico por computadora en fresadoras*

Las fresadoras con control numérico por computadora (CNC) permiten la automatización programable de la producción. Se diseñaron para adaptar las variaciones en la configuración de productos. Su principal aplicación se centra en volúmenes de producción medios de piezas sencillas y en volúmenes de producción medios y bajos de piezas complejas, permitiendo realizar mecanizados de precisión con la facilidad que representa cambiar de un modelo de pieza a otra mediante la inserción del programa correspondiente y de las nuevas herramientas que se tengan que utilizar, así como el sistema de sujeción de las piezas. El equipo de control numérico se controla mediante un programa que utiliza números, letras y otros símbolos, por ejemplo, los llamados códigos G (movimientos y ciclos fijos) y M (funciones auxiliares). Estos números, letras y símbolos, los cuales llegan a incluir &, %, \$ y " (comillas), están codificados en un formato apropiado para definir un programa de instrucciones para desarrollar una tarea concreta. Cuando la tarea en cuestión varía se cambia el programa de instrucciones. En las grandes producciones en serie, el control numérico resulta útil para la robotización de la alimentación y retirada de las piezas mecanizadas. (Dicochea, 2012)

Las fresadoras universales de hoy en día cuentan con visualizadores electrónicos donde se muestran las posiciones de las herramientas, según un sistema de coordenadas, y así se facilita mejor la lectura

de cotas en sus desplazamientos. Asimismo, a muchas fresadoras se les incorpora un sistema de control numérico por computadora (CNC) que permite automatizar su trabajo. Además, las fresadoras copiadoras incorporan un mecanismo de copiado para diferentes perfiles de mecanizado. (Dicochea, 2012)

Existen varios lenguajes de programación CNC para fresadoras, todos ellos de programación numérica, entre los que destacan el lenguaje normalizado internacional ISO y los lenguajes HEIDENHAIN, Fagor y Siemens. Para desarrollar un programa de CNC habitualmente se utilizan simuladores que, mediante la utilización de una computadora, permiten comprobar la secuencia de operaciones programadas. (Dicochea, 2012)

2.6.1.4 *Campo de aplicación del control numérico*

La aplicación de sistemas de control numérico por computadora en las máquinas-herramienta permite aumentar la productividad respecto a las máquinas convencionales y ha hecho posible efectuar operaciones de conformado que son imposibles de realizar con un elevado grado de precisión dimensional en máquinas convencionales, por ejemplo, la realización de superficies esféricas. El uso del control numérico incide favorablemente en los costos de producción al propiciar la reducción del número de tipos de máquinas utilizadas en un taller de mecanizado, manteniendo o mejorando su calidad. (Dicochea, 2012)

Los procesos que utilizan máquinas-herramienta de control numérico tienen un coste horario superior a los procesos que utilizan máquinas convencionales, pero inferior a los procesos que utilizan máquinas especiales con mecanismos de transferencia (transfert) que permiten la alimentación y retirada de piezas de forma automatizada. En el mismo sentido, los tiempos de preparación para un lote son mayores en una máquina de control numérico que en una máquina convencional, pues se necesita preparar la programación de control numérico de las operaciones del proceso. Sin embargo, los tiempos de operación son menores en una máquina de control numérico que en una máquina convencional, por lo cual, a partir de cierto número de piezas en un lote, el mecanizado es más económico utilizando el control numérico. Sin embargo, para lotes grandes, el proceso es más económico utilizando máquinas especializadas con mecanismos de transferencia. (Dicochea, 2012)

2.6.2 *Plotter (trazador)*

El primer Plotter fue inventado en 1953 por Remington-Rand. Se utilizó junto con la computadora UNIVAC para crear dibujos técnicos. (IMPRESO, s.f.)

En la década de 1970, los Plotters eran el único medio para reproducir imágenes de alta resolución desde computadoras. Los datos se entregaron a la

máquina mediante cinta magnética. En ese momento, las impresoras de formato solo podían producir resoluciones de 72 a 100 puntos por pulgada o ppp. Los Plotters de lápiz, utilizados principalmente para dibujos arquitectónicos y diseño asistido por computadora, o CAD, aumentaron la resolución gráfica equivalente a 1,000 ppp. Similar a una impresora láser, los Plotters electrostáticos crearon imágenes monocromáticas a 400 ppp. (IMPRESO, s.f.)

El primer tipo de Plotter fue el plotter mecánico. Sería como un robot de dibujo. Sostiene un bolígrafo y puede moverse a través de una superficie de papel en un eje XY. Uno de los primeros plotters comerciales, el CalComp 565 fue un plotter de tambor. Para usarlo, debe cargar un rollo de papel en el que la máquina podría avanzar o retroceder, moviéndose en el eje Y. El bolígrafo se mueve por la superficie del papel y se mueve sobre el eje X. Las impresoras de tambor como la CalComp 565 permitían que se alimentaran rollos continuos de papel, lo que permitía hasta 120 pies de superficie continua, lo que la hacía ideal para diagramas grandes o continuos. (IMPRESO, s.f.)

Otra variedad fueron los plotters de superficie plana. Como sugiere el nombre, la superficie sobre la que se dibujaría se colocaría plana, en lugar de enrollarla en un tambor. Este era el tipo de trazador preferido para los casos en los que necesitaba ver la pieza completa a medida que se trazaba en tiempo real, o si necesitaba trazar en varias superficies o papel que no se podía cargar en un tambor. También se fabricaron plataformas planas. Es fácil actualizar los dibujos revisándolos en múltiples pasadas, donde imagino que sería una pesadilla alinear si estuviera en un trazador de tambor. (IMPRESO, s.f.)

Y luego estaban los plotters electrónicos o de microfilm. Funciona de manera similar al plotter mecánico, pero en lugar de un bolígrafo, utiliza un haz de electrones y en lugar de papel, “dibuja” en un microfilm. La idea es trazar un haz de electrones en un tubo de rayos catódicos, pasarlo por un sistema de lentes de cámara, que registra estos haces en un microfilm. El microfilm se puede ver a través de un lector de microfilmes, imprimir o incluso animar. (IMPRESO, s.f.)

El plotter de microfilmes tuvo un lugar especial en Bell Labs y se utilizó en una serie de aplicaciones creativas en colaboración con sus ingenieros y artistas residentes. (IMPRESO, s.f.)

Dispositivos análogos a los plotters que todavía se utilizan hoy en día son las máquinas CNC, las cortadoras láser y las impresoras 3D. También es interesante notar que el término “plotter” todavía se usa hoy para referirse a las impresoras de gran formato, aunque ahora funcionan con mecanismos de inyección de tinta o basados en tóner. A partir de 2013, la tecnología de inyección de tinta se utiliza tanto en Plotters de alta gama como en impresoras de formatos. (IMPRESO, s.f.)

3 Máquina soporte CNC (3 ejes)

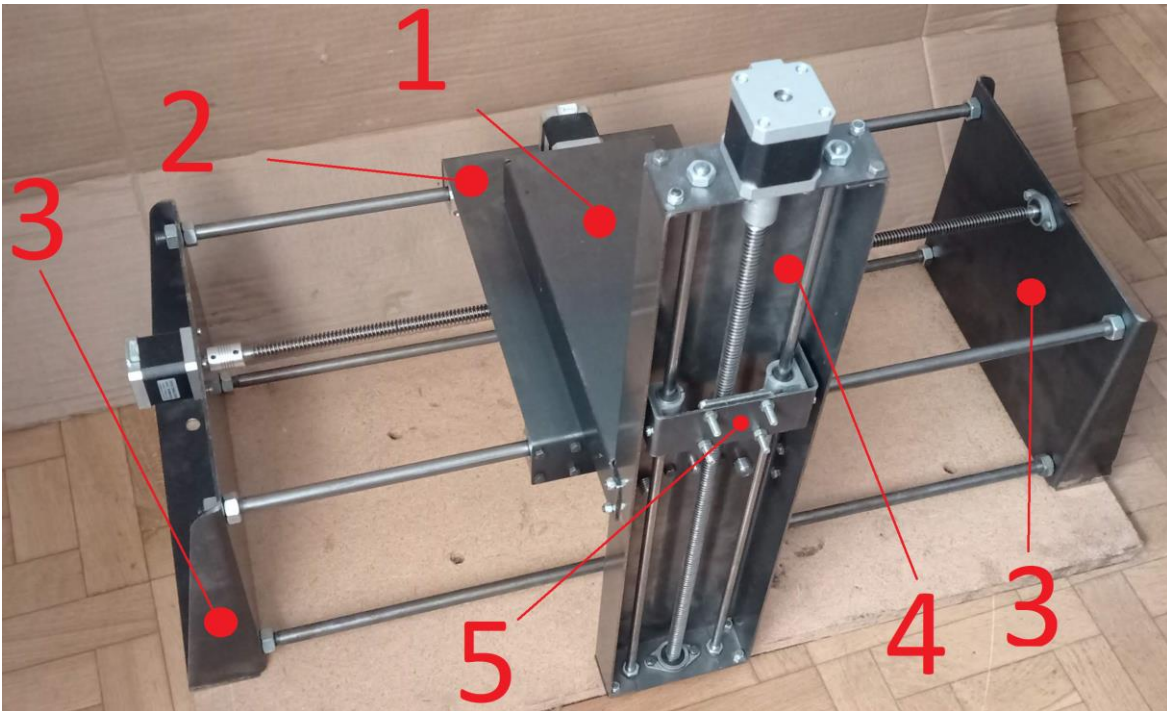


Ilustración 3 Máquina soporte CNC

(1) Mesa 2 (2) Mesa 1 (3) Patas (4) Columna (5) Carro soporte herramienta

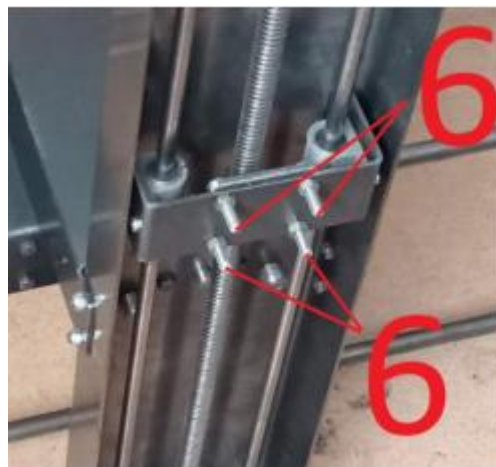


Ilustración 4 Carro soporte

En el carro soporte quedan 4 tornillos largos y libres para poder acoplar el cabezal indicado en cada momento, que variará dependiendo de la herramienta que se quiera utilizar en cada momento (6).

3.1 Zona de trabajo

La zona de trabajo está formada por tres ejes que se desplazan cubriendo las tres dimensiones del espacio, está diseñada para montar sobre ella diversas herramientas tales como una fresa, un láser, un plotter ... por lo que podrá trabajar en muy distintas superficies tales como: madera, metal, piedra y otros materiales.

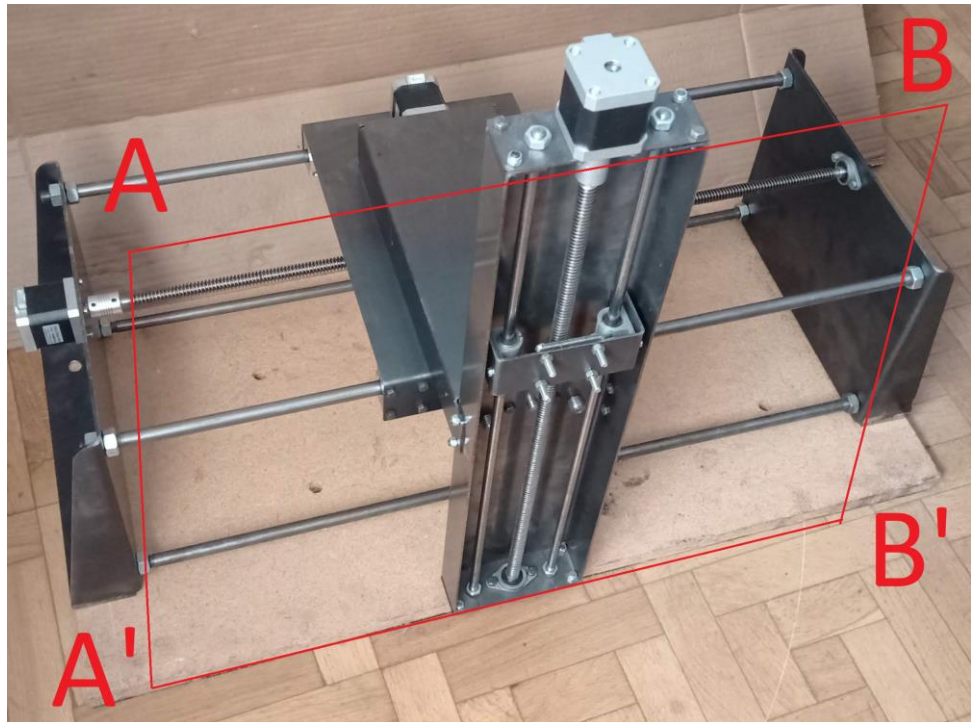


Ilustración 5 Límites de la zona de trabajo de los ejes X y Z



Ilustración 6 Límites de la zona de trabajo de los ejes X y Z

La zona de trabajo, tanto para los ejes X y Z, viene delimitada por los puntos que están representados en la ilustración 4, A-A'-B-B' y para el eje Y, viene delimitada por los puntos representados en la ilustración 5, C-C'.

El eje X tiene un recorrido máximo de 570mm, desplazándose entre los puntos A y B o A' y B'.

El eje Y tiene un recorrido máximo de 65mm, desplazándose entre los puntos C y A o C y B.

El eje Z tiene un recorrido máximo de 500mm, desplazándose entre los puntos A y A' o B y B'.

3.2 Materiales de la estructura

En este apartado enumeraremos los distintos materiales de los que se compondrá la estructura de la mesa, tanto los materiales mecánicos como los materiales eléctricos y electrónicos.

Se parte de la premisa de diseñar y montar una mesa portaherramientas económica o low cost, ligera y resistente para portar distintas herramientas.

3.2.1 Materiales mecánicos

Elementos de tres tipos (estructurales, de maniobra y de fijación)

3.2.1.1 Estructurales

3.2.1.1.1 Placas acero plegado

Se utilizará un tipo de chapa de acero S275JR, unas de 2mm, de 3mm y de 4 mm y con el fin de hacer a las chapas más resistentes tanto a los esfuerzos como a la torsión se las realizaran pliegues con dicho propósito.

Tabla 1 CARACTERÍSTICAS DE LA CHAPA DE ACERO S275JR

Espesor nominal (mm)	Límite elástico mínimo (MPa)	Límite de resistencia (MPa)
<3	275	430-580
≥3 ≤16	275	410-560

Se ha utilizado este tipo de material por sus características mecánicas, resistente a los esfuerzos y a la torsión aun así se le realizaran pliegues para fortalecer todo lo posible cada pieza debido a que se utilizara chapa de 2mm en la mayoría de las piezas con el fin de no hacerla demasiado pesada.

Se realizarán los anclajes con tornillería que ira perforada en cada una de las placas de acero preferentemente a la soldadura, que también llevara, pero en casos excepcionales.



Ilustración 7 Chapa de acero S275JR

3.2.1.2 *De maniobra:*

3.2.1.2.1 Varillas de deslizamiento, rodamientos de desplazamiento lineal

Como se ha dicho en el apartado anterior estas varillas irán fijadas en las placas de acero mediante tuercas que irán puestas en las roscas realizadas en los extremos de cada una de las varillas.

Se utilizarán varillas de acero calibrado ya que al ser calibradas vienen de fabrica con un acabado superficial ya preparadas para poder montar, su superficie exterior no va a sufrir deformaciones apreciables, por lo que no hace falta realizar ningún proceso de mecanización para su utilización en esta máquina, a excepción de la mecanización necesaria realizada en los extremos de cada una de las varillas con el fin de anclarlas a la estructura de la máquina.



Ilustración 8 Varilla calibrada F-114

Se utilizará acero f-114 por sus características:

Tabla 2 CARACTERÍSTICAS DEL ACERCO F-114 (XC45)

Características	Unidades	Valor
Resistencia a la tracción	N/mm ²	686-834
Alargamiento	%	14-16
Dureza Brinell HB	Kg/mm ²	200-240

Ya que son varillas calibradas con una alta dureza, por lo que se comporta adecuadamente a la fricción, además de sus características mecánicas, se ajustan muy bien a este proyecto debido a su precio más asequible con respecto a la relación de calidad y precio.

Para los rodamientos que se destinaran al deslizamiento se utilizaran carros con rodamientos lineales con recirculación de bolas de un diámetro de 12mm y 8mm, como las varillas, para las dos mesas se destinaran las varillas y los rodamientos lineales de 12mm y para la columna las varillas y los rodamientos lineales de 8mm.



Ilustración 9 Rodamientos lineales de recirculación de bolas



Ilustración 10 Rodamientos ensamblados con su varilla

3.2.1.2.2 Husillos, rodamientos soportes de los husillos, tuerca de husillo, acoples motor-husillo

Los husillos son ejes roscados que transforman el movimiento circular rotatorio en movimiento lineal hacia delante o hacia atrás, son los encargados del movimiento de las mesas.

Ya que se pretende construir una maquina low cost se opta por el montaje de unos husillos de una calidad relativamente media, pero lo suficientemente buenos para este proyecto ya que, además de una buena calidad, se busca que sea low cost.

Lo mejor sería el montaje de husillos con tuercas de recirculación de bolas debido a que el rozamiento sería muy bajo además de ser muy preciso, pero sería más complicado el mantenimiento además del coste elevado.

Por lo tanto, los husillos elegidos serán de rosca trapezoidal con una sola entrada, un avance de 3mm y un diámetro de 12 mm, con sus respectivas tuercas que transmitirán el movimiento mediante fricción.



Ilustración 11 Husillo trapezoidal

Partiendo de que hay 3 ejes distintos en los que se realiza movimiento se montaran 3 husillos.

Cada uno de los husillos ira montado en paralelo a las varillas guías mediante rodamientos radiales que irán situados en los extremos de los husillos y fijados a cada una de las mesas de movimiento.



Ilustración 12 Disposición de los husillos y las varillas



Ilustración 13 Rodamientos radiales

A su vez los motores irán acoplados mediante chapas soporte debidamente diseñadas a las mesas y a los extremos de los husillos para así transmitir el movimiento a estos mismos.

Los husillos irán unidos mediante unos acoples que harán solidarios tanto los ejes de los motores como a los husillos.



Ilustración 14 Acoples

Para la transmisión del movimiento del husillo a las mesas se diseñarán y crearán unas tuercas especiales las cuales transformaran el movimiento circular de los husillos en movimiento lineal, en los respectivos ejes de coordenadas, para lo cual constaran de una rosca característica como la de los husillos, trapezoidal y de 3mm de avance, además se anclarán a las mesas mediante un soporte que unirá la mesa correspondiente con cada una de las tuercas.

3.2.1.3 De fijación

3.2.1.3.1 Tornillos y tuercas

Se montarán dichos componentes para la sujeción de todos los componentes en sus determinadas localizaciones y para cada una su medida.

Se busca a la hora de la fijación el uso de tornillería por encima de la soldadura debido a que será más fácil desmontar-montar y transportar la máquina ya que además de low cost se busca una maquina versátil, funcional y ligera.

Con la tornillería como tipo de fijación lo que conseguimos es más versatilidad a la hora de montarla y por consiguiente a la hora de transportarla y el peso pudiéndola llevar en piezas más pequeñas y ligeras, también en el caso de una avería será más sencillo su reparación y mantenimiento.

Aun así, se utilizará fijación mediante soldadura en unas esquinas de las patas por mayor estabilidad, ya que, en esta parte de la máquina no influye para su versatilidad la utilización de soldadura, sin embargo, con tornillería sería más costoso y menos funcional.

Se utilizarán tornillos de métrica de 5mm (M5) y 3mm (M3). Los de M5 se utilizarán para la estructura y sujeción de los rodamientos a la estructura y los de M3 se destinarán para la sujeción de los motores a la estructura.

Para los tornillos de M5 se utilizarán tuercas de su misma medida, en cambio para los tornillos de M3, destinados en los motores, no hará falta tuerca ya que se roscarán al chasis de los motores.

También se necesitará tuercas de M12 y M8 para sujetar las varillas de deslizamiento cada una para el diámetro de varilla correspondiente.

3.2.2 Materiales eléctricos y electrónicos

En este apartado enumeraremos los distintos materiales de los que se compondrá la estructura de la mesa, los materiales eléctricos y electrónicos.

3.2.2.1 Placa controladora Arduino Uno

Arduino nació en 2005 en Italia, se creó para los estudiantes del Instituto de Diseño Interactivo de IVREA que utilizaban microcontroladores BASIC Stamp, los cuales tenían un coste elevado. El objetivo principal era crear unas

herramientas sencillas y económicas que facilitase la creación de proyectos digitales. Este proyecto se basó en uno previo, de 2003, llamado Wiring, que era una plataforma de desarrollo de hardware que constaba de una placa de circuito impreso (PCB) con un microcontrolador. (ARDUINOCC, s.f.)

Arduino es un proyecto de creación de software y hardware libre, flexible y fácil de utilizar para los usuarios, ya sean creadores o desarrolladores. Que sea open source permite el acceso total al diseño por parte de los usuarios. Esto permite a cualquier usuario estudiar, modificar, repetir y materializar proyectos alrededor de dichos softwares o hardwares de forma libre, sin ninguna restricción por parte de Arduino. (ARDUINOCC, s.f.)

Un proyecto que promueve la filosofía 'learning by doing', que es lo mismo que, se aprende haciendo o probando. (ARDUINOCC, s.f.)

Para entender el concepto de código abierto u open source, hay que entender que significa tanto hardware libre como software libre:

Hardware libre se puede entender como los dispositivos cuyas especificaciones y esquemas son de acceso público, con lo que cualquier usuario sea capaz de reproducirlos, esto quiere decir que Arduino ofrece las bases de funcionamiento a cualquier usuario o empresa pudiendo así reproducirlas o modificarlas como quieran.

Software libre se puede entender como los programas informáticos el cual su código es de acceso público. Arduino ofrece la plataforma Arduino IDE (Entorno de Desarrollo Integrado), que es un entorno de programación con el que cualquiera puede crear aplicaciones para las placas Arduino, de manera que se les puede dar todo tipo de utilidades.

Gracias a esta transparencia en cuanto al diseño y la libertad para utilizarlo sin restricciones se favorece la creación y crecimiento de comunidades de usuarios que basan sus proyectos en software y hardware Arduino. Esto se retroalimenta, ya que cuantas más personas utilicen y trabajen sobre esta plataforma más fácil se hace el encontrar información o ayuda para un proyecto propio, lo que favorecerá la elección de Arduino por parte de todos los nuevos usuarios en un futuro. Al ser open source hay muchas empresas que también crean sus placas basadas en Arduino y que permiten interacción incluso la sustitución con los productos oficiales sin ninguna objeción.

Existen alrededor de 20 placas diferentes de Arduino, cada placa tiene un diseño enfocado a un tipo de proyecto y con unas características diferentes.

La placa de Arduino es una placa de circuito impreso o PCB, con un microcontrolador, el cual, consta de un circuito integrado que permite grabar instrucciones para luego interactuar con los circuitos de la placa. Dichas instrucciones tienen que estar escritas en el correspondiente lenguaje de programación. Arduino utiliza un lenguaje basado en C++ y trabaja en el entorno Arduino IDE, esto permite crear programas propios que interactúan con dicha placa mediante los pines de entrada o pines de salida. (ARDUINOCC, s.f.)

Arduino es una placa con todos los elementos necesarios para conectar periféricos a las entradas y salidas de un microcontrolador, y que puede ser programada tanto en Windows como macOS y GNU/Linux.

El microcontrolador de Arduino posee lo que se llama una interfaz de entrada, que es una conexión en la que podemos conectar en la placa diferentes tipos de periféricos. La información de estos periféricos que conectes se trasladará al microcontrolador, el cual se encargará de procesar los datos que le lleguen a través de ellos.

También cuenta con una interfaz de salida, que es la que se encarga de llevar la información que se ha procesado en el Arduino a otros periféricos. Estos periféricos pueden ser además de reproductores de los datos de salida de la placa como pueden ser otras placas o controladores.

Para este proyecto se utilizará una de las placas más comunes y comercializadas, la Arduino UNO Rev 3.

Tabla 3 CARACTERÍSTICAS ARDUINO UNO

Arduino UNO Rev 3	
Microcontrolador	ATmega328
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada (min-max)	6-20V
Voltaje entrada (recomendado)	7-12V
Pines de E/S digitales	14(6 de ellos salida PWN)
Pines de entrada analógicas	6
Corriente DC por pin E/S	40mA
Corriente DC para pin 3.3V	50mA
Memoria Flash	32 KB (0,5 KB ocupados por bootloader)
SRAM	2 KB (Atmega328)
EEPROM	1 KB (Atmega328)
Velocidad de reloj	16MHZ
Tamaño	68,6 mm x 53,4 mm

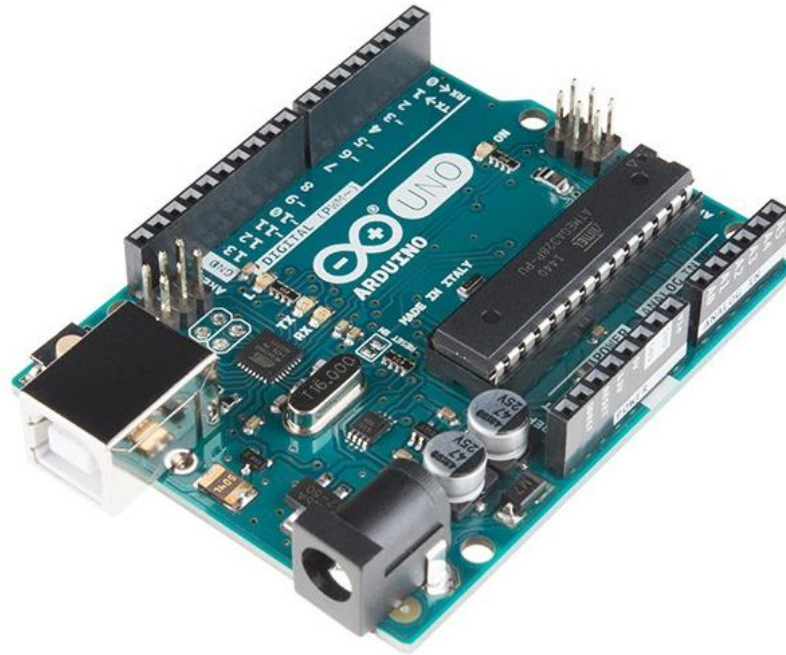


Ilustración 15 Arduino UNO Rev 3 (ARDUINOCC, s.f.)

3.2.2.2 Placa de expansión CNC Shield

La CNC Shield es un circuito impreso en una placa que se conecta a la placa Arduino, con el fin de complementar o ampliar las capacidades o funciones base del Arduino.

Existen gran variedad de placas CNC Shield con lo que hay que buscar una placa acorde con las necesidades de este proyecto y que se pueda conectar al Arduino, en este caso para poder conectar 3 drivers para controlar 3 motores paso a paso. Cada placa se tiene que alimentar por separado sin poder superar los 500mA, ya que es la corriente que es capaz de suministrar el Arduino.

Si bien para cada Arduino ya vienen preparadas diversas placas con sus correspondientes pines para la correcta conexión sin fallos asegurándose de que ningún pin se destine a funciones iguales. En este caso se ha optado por la CNC Shield V3, que ya viene preparada para este tipo de proyectos, véase impresoras 3D, grabadoras laser, fresadoras y más.

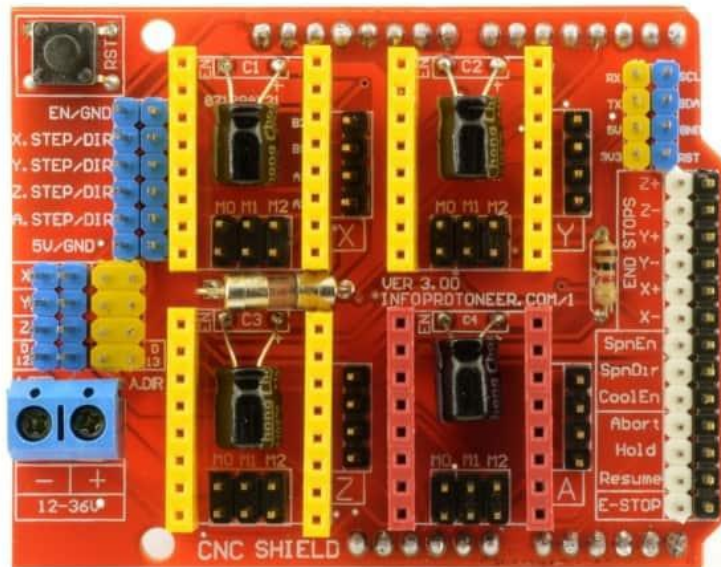


Ilustración 16 Placa CNC Shield V3

Hay que tener en cuenta que la CNC Shield no es imprescindible para el proyecto ya que se puede hacer las conexiones desde el Arduino directamente a los drivers, aun así, es mucho más cómodo y versátil la utilización de esta placa para el proyecto.

- Ayudando a la correcta conectividad entre los pines de tanto el Arduino como de los drivers además de disponer de sistemas de seguridad para proteger los drivers mediante un circuito electrónico formado por resistencias y condensadores.
- Al ser un circuito impreso ayuda al ahorro del espacio, reduciendo el cableado y por consiguiente el tamaño final de la electrónica.
- También permite la implementación de finales de carrera además de un botón de parada de emergencia para evitar dentro de todo lo posible cualquier fallo en el código o choque de la máquina.

3.2.2.3 Drivers

Para que Arduino sea capaz de alimentar correctamente a los motores se necesita de drivers o controladores. Actuarán de intermediario entre el Arduino y los motores permitiendo el paso de corriente entre la fuente de alimentación externa a las bobinas de los motores después de que el Arduino mande la señal de activación.

Los drivers o controladores son capaces de separar la corriente que alimenta a los motores de la que alimenta al Arduino, permitiendo controlar las altas intensidades y voltajes de los motores protegiendo así la electrónica.

Existen distintos tipos de drivers según el motor a controlar, no son iguales los drivers para un motor bipolar como para uno unipolar. Como en este proyecto se van a utilizar motores paso a paso bipolares habrá que elegirlos de acuerdo a dichos motores.

Para este proyecto se han elegido los drivers A4988 debido a que son compatibles con los motores, además, de ser baratos y fáciles de manipular.



Ilustración 17 Driver A4988

Tabla 4 CARACTERÍSTICAS DEL DRIVER A4988

Driver A4988	
Voltaje mínimo de funcionamiento	8 V
Voltaje máximo de funcionamiento	35 V
Corriente continua por fase	1 A
Corriente máxima por fase	2 A
Voltaje lógico mínimo	3 V
Máximo voltaje lógico	5.5 V
Resolución de micro pasos	full, 1/2, 1/4, 1/8 y 1/16
Dimensiones	15.5 mm × 20.5 mm

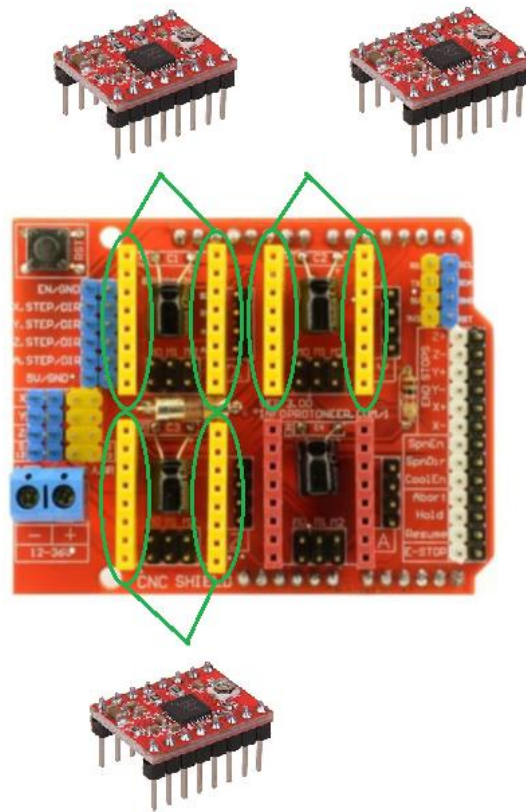


Ilustración 18 Posición de los drivers en la placa CNC Shield

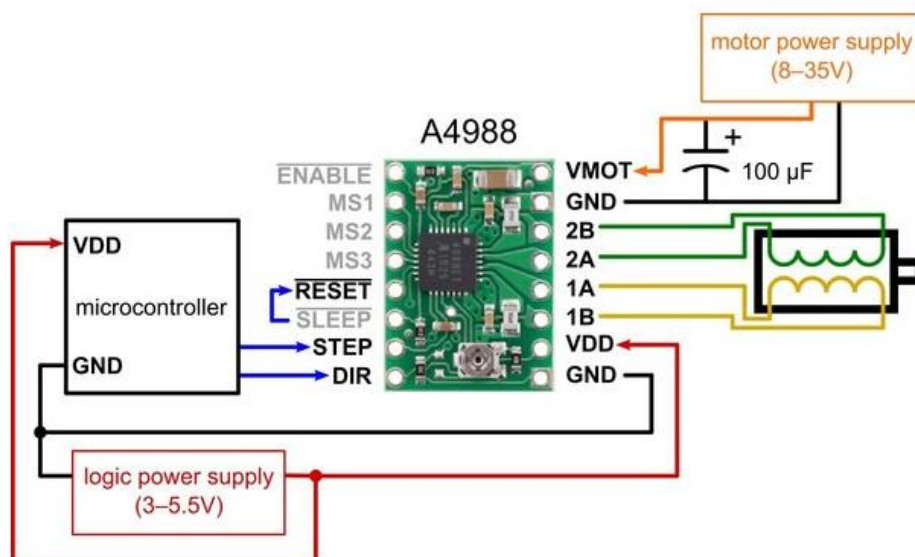


Ilustración 19 Diagrama de conexiones mínimas para conectar los drivers a un microcontrolador y los drivers a los motores paso a paso. (Pololu, 2012)

Para establecer el límite de corriente se debe calcular el voltaje de referencia que corresponde a su límite de corriente deseado y luego ajustar el potenciómetro de límite de corriente hasta que mida ese voltaje en

el pin **VREF**. Se puede acceder al voltaje del pin VREF en una vía que está rodeada por un círculo en la serigrafía inferior de la placa de circuito. El límite de corriente, I_{MAX} , se relaciona con el voltaje de referencia de la siguiente manera: (Pololu, 2012)

$$V_{REF} = 8 * I_{METROUnax} * R_{CS}$$

Donde:

R_{CS} =resistencia de detección de 68 mΩ

3.2.2.4 Motores paso a paso

Para el control del movimiento de la máquina se han elegido este tipo de motores debido a sus características.

Como su propio nombre indica, paso a paso, realizan su movimiento giratorio mediante “pasos” o lo que es lo mismo que cada vez que se les manda una señal realizan un “paso” o giro de un determinado Angulo en este caso se van a utilizar unos motores NEMA 17 que tienen un avance de 200 pasos por vuelta o lo que es lo mismo 1’8° de giro del eje por paso.

Este tipo de motores es perfecto para este tipo de proyectos ya que ofrecen un mayor control, precisión y resolución de avance. Pero deben ser controlados y no alimentados directamente por ello necesitan de drivers para su preciso control.

Así por ejemplo si se conectan a un husillo de 3 mm de avance y el motor ofrece una resolución de 200 pasos por vuelta, llegaría a tener una precisión de 3mm/200pasos por vuelta = 0.015 mm.

Estos motores constan de un rotor que está formado por un eje motriz solidario a un imán y de un estator que a su vez consta de dos bobinas. Realizan su giro alimentando cíclicamente las bobinas que a su vez hacen girar dicho imán cambiando de polaridad cada una de las bobinas. Para conseguir controlar precisamente este giro lo que se hace es mandar una señal de alimentación a cada una de las bobinas en el momento preciso.

Dichos motores estas diseñados para funcionar con un alto par, pero bajas velocidades de giro o r.p.m. Tienen una velocidad media máxima de 600 r.p.m. debido a que a mayores velocidades el par que pueden llegar a suministrar descende muy notablemente.

Los motores que se han elegido, los NEMA 17, ofrecen un par de 0,53 N.m trabajando a una intensidad de 1.8 A ideales para ser controlados por los drivers previamente seleccionados.



Ilustración 20 Motor paso a paso

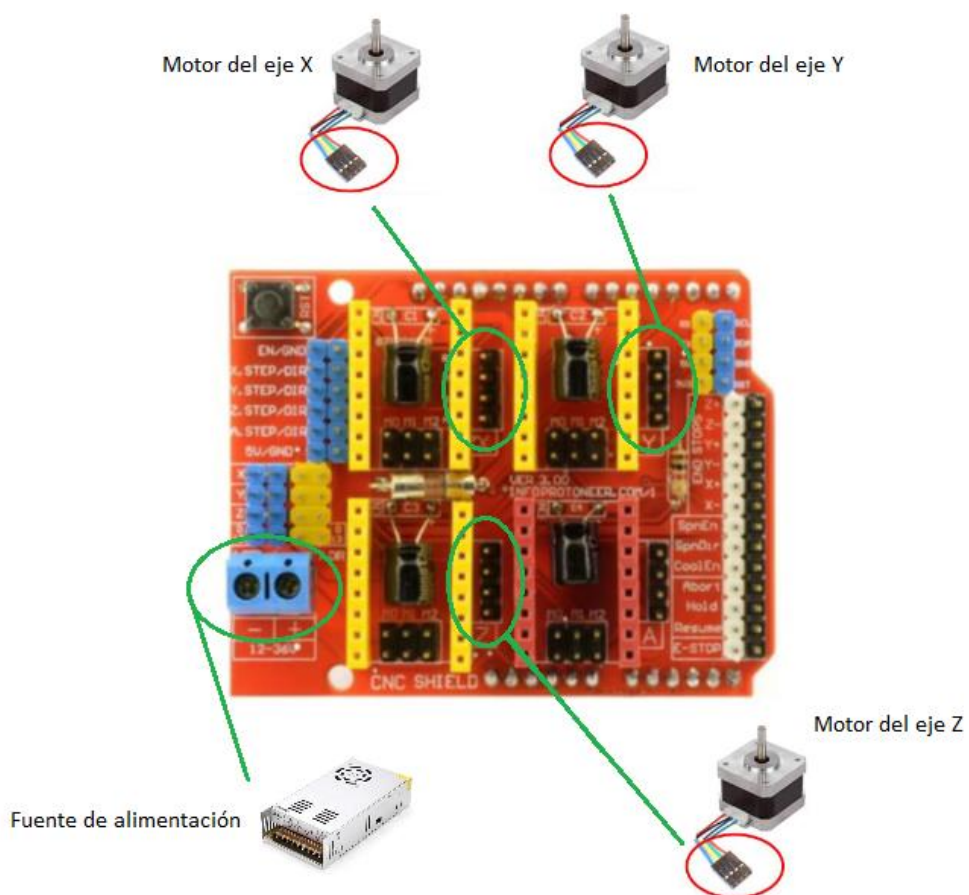


Ilustración 21 Diagrama de colocación de los terminales de los motores en la placa CNC Shield

3.2.2.5 Finales de carrera

Se le colocaran finales de carrera a la maquina con el fin aumentar la seguridad en los desplazamientos de los elementos de la máquina, son recomendables su montaje para evitar cualquier problema mecánico de choque estructural, en un posible error de código.



Ilustración 22 Final de carrera

3.2.2.6 Fuente de alimentación

Se trata de una fuente de alimentación S-360-12 conmutado de 12V y 30A.



Ilustración 23 Fuente de alimentación S-360-12

Convierte corriente alterna (CA) de 220 V a corriente continua (DC) de 12 V y 30 A lo que puede llegar a suministrar 360 W de potencia.

Consta de protección contra sobretensiones, cortocircuitos y sobrecalentamiento, de dichas protecciones se encargan los circuitos electrónicos que vienen montados en el interior de la carcasa de la fuente.

4 Cálculos

4.1 Cálculo de los motores

La fuerza de corte ha sido obtenida empíricamente a través de un ensayo realizado por parte de la empresa de LozKorp, llegando a una aproximación de la fuerza máxima que tendría que soportar y vencer los motores.

Para poder calcular los valores de las fuerzas que van a tener que soportar los motores se ensaya con la herramienta que más resistencia va a ofrecer, que es la fresadora.

Tabla 5 PARÁMETROS DE LA HERRAMIENTA

Geometría	Diámetro (mm)	N.º de dientes	Profundidad de corte (mm)
Cilíndrica	3	8	0,5



Ilustración 24 Diámetro de la herramienta

En este ensayo se ha llevado a cabo con un valor de 10.000 revoluciones por minuto (r.p.m.) y una herramienta de $\varnothing=3$ mm.

Entonces:

$$V_c \left(\frac{m}{min} \right) = \frac{\pi * \varnothing(mm) * N(rpm)}{1000}$$

Donde:

V_c = velocidad de corte

\emptyset = diámetro de la herramienta

N = revoluciones de giro de la herramienta

Para la herramienta de corte, con estas r.p.m. y la herramienta usada la velocidad de corte es de $V_c = 94,25$ m/min. Esta velocidad se aproxima a las óptimas de funcionamiento proporcionadas por el fabricante, proporcionando un mecanizado sin ningún efecto negativo ni riesgo apreciable tanto para la herramienta como para la pieza a mecanizar.

Para la velocidad de avance se selecciona un valor medio de trabajo de 250 mm/min, ya que con esta velocidad de avance no se produce una vibración en los motores apreciable:

$$V_f = f_z * z * N$$

Donde:

V_f = velocidad de avance de la herramienta

f_z = avance de cada filo de la herramienta

z = número de dientes de la herramienta

N = revoluciones a las que rota la herramienta

Lo que conlleva un avance por diente de $f_z = 0.003125$ mm.

El fresado es un proceso en el cual, la sección de corte se va modificando cilíndricamente a medida que la herramienta rota y se adentra en el material. La herramienta usada trabaja en un ángulo de 90° con respecto a la pieza que se va a mecanizar con lo que la sección mayor de trabajo será:

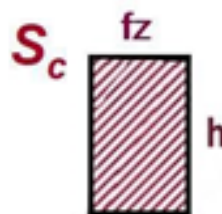


Ilustración 25 Sección de corte de la herramienta

Para los cálculos se utiliza la sección de mayor valor ya que es la más desfavorable.

Entonces la sección será (S_c):

$$S_c = f_z * h$$

Donde:

f_z = avance por diente

h = profundidad el corte

Entonces la fuerza de corte (F_{corte}) será:

$$F_c(N) = P_s(Mpa) * S_c(mm^2)$$

Donde:

F_c = fuerza de corte

P_s = presión de corte

S_c = sección de trabajo

La presión de corte P_s no es valor constante ya que depende de varios parámetros complicados de obtener, por lo que se utiliza un valor medio para la madera de 1050 Mpa.

Se obtendrá un valor para la fuerza de corte (F_{corte}):

$$F_c = 1.65 \text{ N}$$

Los motores elegidos para este proyecto, los NEMA 17 generan un par de 0.53 N*m y una intensidad de funcionamiento de 1.8 A.

Se utilizarán un motor para cada uno de los ejes necesitando así 3.

Cálculo del par motor: (microPaP, s.f.)

$$T(N * m) = \frac{F(N) * p(mm)}{2 * \pi * 1.000 * \eta}$$

Donde:

T=Torque o par motor

F=fuerza lineal

p=paso del husillo

η =rendimiento del husillo

La rosca del husillo es de tipo trapezoidal así que el rendimiento será de aproximadamente 0,5 y el paso del husillo es de 3 mm.

El par de frenado de los motores es de 0,6 N.m con lo que el par de funcionamiento deberá ser algo inferior, como el fabricante solo suministra el par de frenado se supondrá un valor de aproximadamente 0,53 N.m.

$$F = 555N$$

Esta sería la fuerza teórica que podrían desarrollar cada uno de los motores.

Las fuerzas a vencer serían las propias de la máquina de rozamiento y peso (Frozamiento) además de las que pueda ofrecer las herramientas (Fcorte).

$$F(teorica) = F(rozamiento) + F(corte) = 555N$$

$$F(rozamiento) = Mt * g * \mu = 20N$$

Donde:

Mt=masa total de la maquina=4 Kg

g=gravedad=9.81 m/s²

μ =índice de rozamiento del husillo con la tuerca=0.5

F(corte)=1.65 N

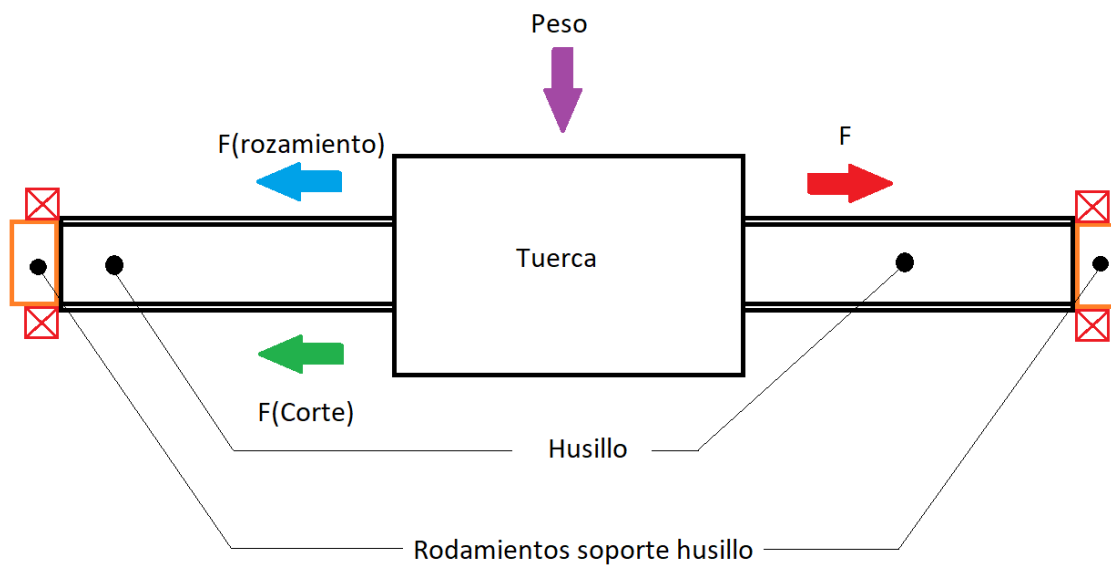


Ilustración 26 Representación de las fuerzas en los husillos

$$F(\text{necesaria}) = F(\text{rozamiento}) + F(\text{corte}) \approx 22N$$

Donde observamos que:

$$F(\text{necesaria}) < F(\text{teorica})$$

Viendo los resultados calculados se puede concluir con que los motores soportaran debidamente las fuerzas necesarias para poder realizar todas las maniobras para las que ha sido diseñada esta máquina correctamente.

4.2 Cálculo de la vida útil de los rodamientos

Para los rodamientos rígidos de bolas de diámetro interior de 8mm y exterior de 22mm:

Tabla 6 CARACTERÍSTICAS SEGÚN CATALOGO SKF

Características	Magnitud	Valor
Capacidad de carga dinámica básica	C	3,45 kN
Capacidad de carga estática básica	C _o	1,37 kN
Carga límite de fatiga	P	0,0057 kN
Velocidad de referencia		75000 r/min
Velocidad límite		48000 r/min

Para los rodamientos su vida útil:

$$L_{10h} = \frac{1.000.000}{60 * n} \left(\frac{C}{P}\right)^p \gggg L_{10h} = \frac{1.000.000}{60 * n} * L_{10}$$

Donde:

L_{10} = vida nominal en millones de revoluciones

L_{10h} = vida nominal expresada en horas

C = capacidad de carga dinámica

P = carga dinámica equivalente

p = exponente de la fórmula de la vida = 3

n = revoluciones por minuto = r.p.m. = 600 r.p.m. máximas de los motores

Sustituyendo los valores correspondientes de los rodamientos según la tabla 5, sale un valor para la vida útil expresada en horas (L_{10h}) de:

$$L_{10h} = 2 * 10^5 \text{ h}$$

Con lo que partiendo de un funcionamiento normal de la máquina además de un seguimiento para detectar posibles fallos se llega a la conclusión de que tendrá una durabilidad muy alta.

5 Planificación

En este apartado se hablará de como se ha ido llevando a cabo las distintas actividades de las que han sido necesarias para llevar a cabo este proyecto a lo largo del tiempo.

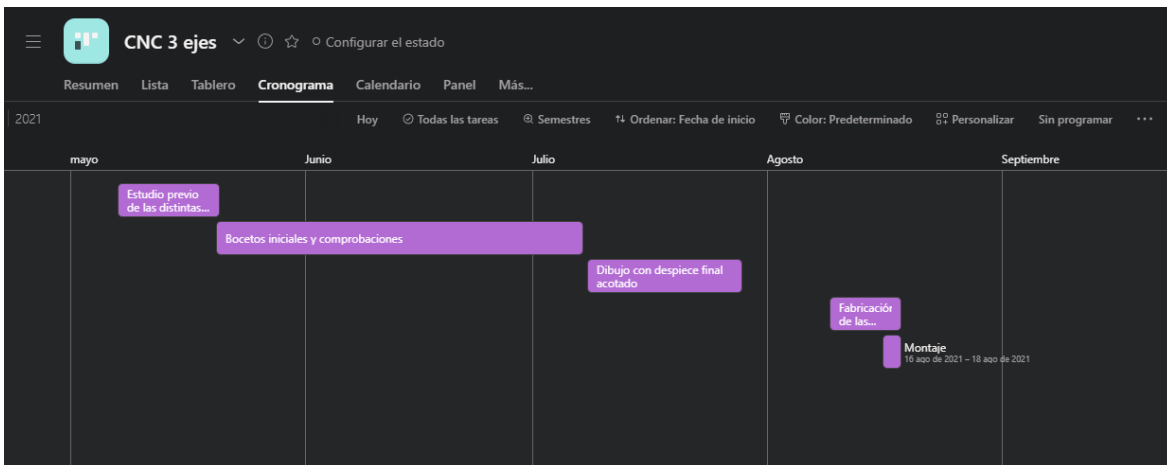


Ilustración 27 Cronograma

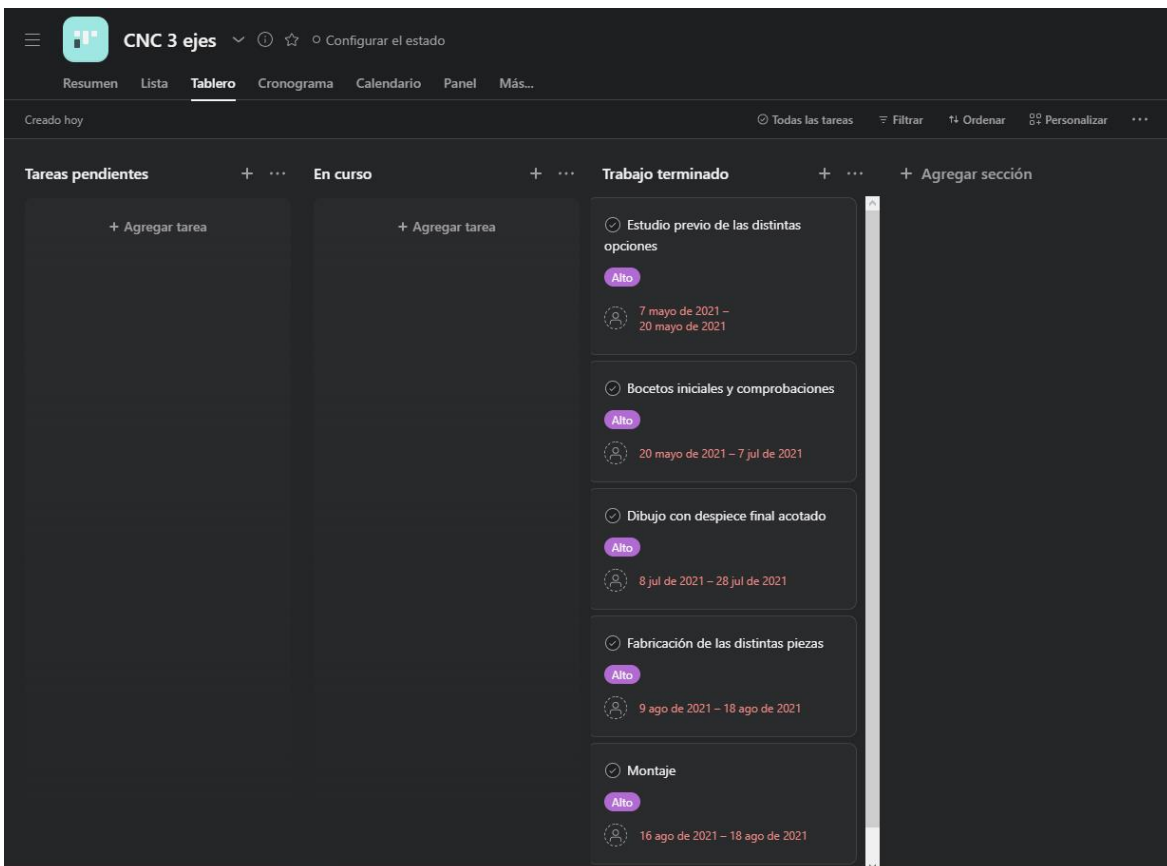


Ilustración 28 Listado de las tareas

Tabla 7 TIEMPOS DE LAS TAREAS

Actividades/fase	duración (días)	duración (horas/día)	horas totales (h)
Estudio previo de las distintas opciones	10	8	80
Diseño:			
Bocetos iniciales y comprobaciones	40	8	320
Dibujo con despiece final acotado	15	8	120
Fabricación	7,5	8	60
Montaje	2	8	16
	74,5		596

Las distintas actividades o fases se han llevado a cabo secuencialmente ya que sin las predecesoras no se podría seguir con el proceso, exceptuando la fase de fabricación junto con la de montaje.

Estas dos fases se han llevado a cabo prácticamente a la vez siempre, obviamente, la de fabricación por delante, debido a que, a medida que se iba fabricando las distintas partes de la maquina se iba montando para comprobar que se ajustaban a los planos finales además de funcionar correctamente.

A mayores después de tener la idea final de la máquina y haber acabado de dibujar todos los planos finales, se ha comenzado a buscar y pedir todas las piezas necesarias, lo que conlleva tanto el tiempo de espera de llegada de los pedidos por vía mensajería como el tiempo de la recogida en tienda, debido a que no todas ellas han sido suministradas por vía mensajería.

6 Fabricación de cada una de las piezas

En este apartado se hablará de como se ha llevado a cabo la fabricación de las piezas de la máquina, las cuales no se han comprado directamente y se han creado a partir de los diseños propios.

6.1 Mesa 1

Se compone de chapa de acero de 2 mm S275JR a la cual se la ha cortado y realizado unos agujeros según el plano nº1. Posteriormente se ha plegado los bordes para darle la forma final. Los agujeros de las alas son para alojar los tornillos de los rodamientos lineales que se destinarán al movimiento del eje X (1).

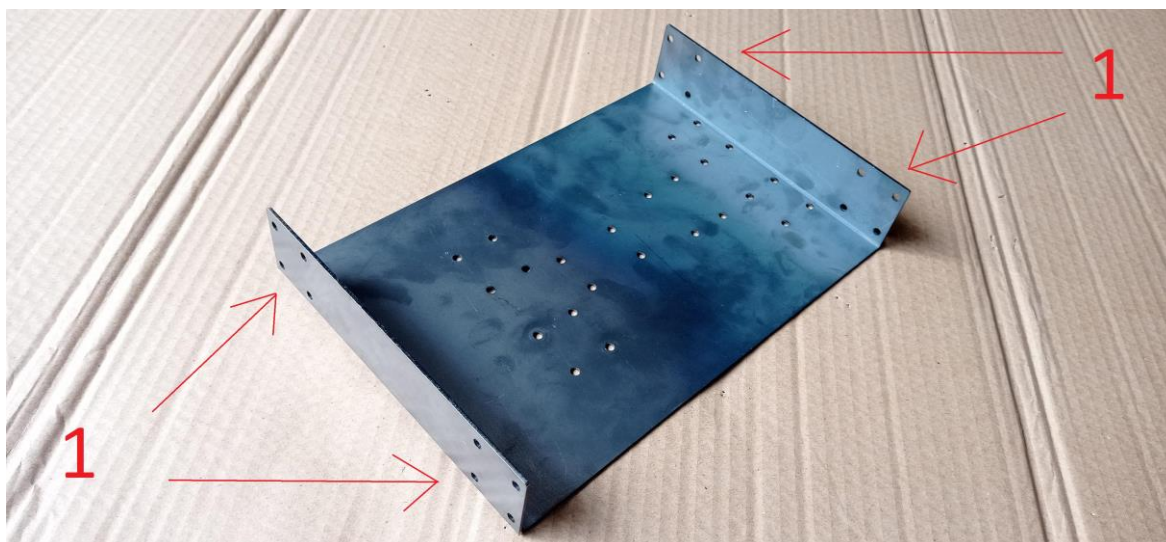


Ilustración 29 Soporte mesa1 vista desde abajo

Los agujeros de la parte recta se destinarán a los tornillos de los rodamientos lineales que se destinarán al movimiento del eje Y (2) y a los soportes de las tuercas tanto de los husillos del eje X como el del eje Y (3).

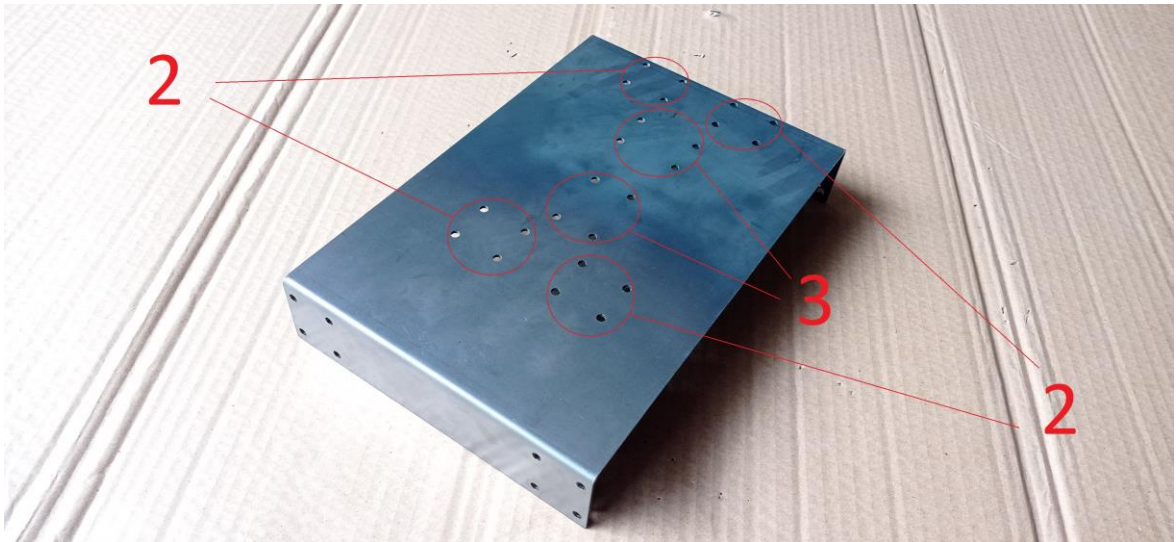


Ilustración 30 Soporte mesa1 vista desde arriba

6.2 Patas

Se compone de chapa de acero de 3 mm S275JR a la cual se la ha cortado y realizado unos agujeros según el plano n°2. Posteriormente se ha plegado los laterales y la parte de abajo para darle la forma final.



Ilustración 31 Pata derecha vista desde parte de fuera

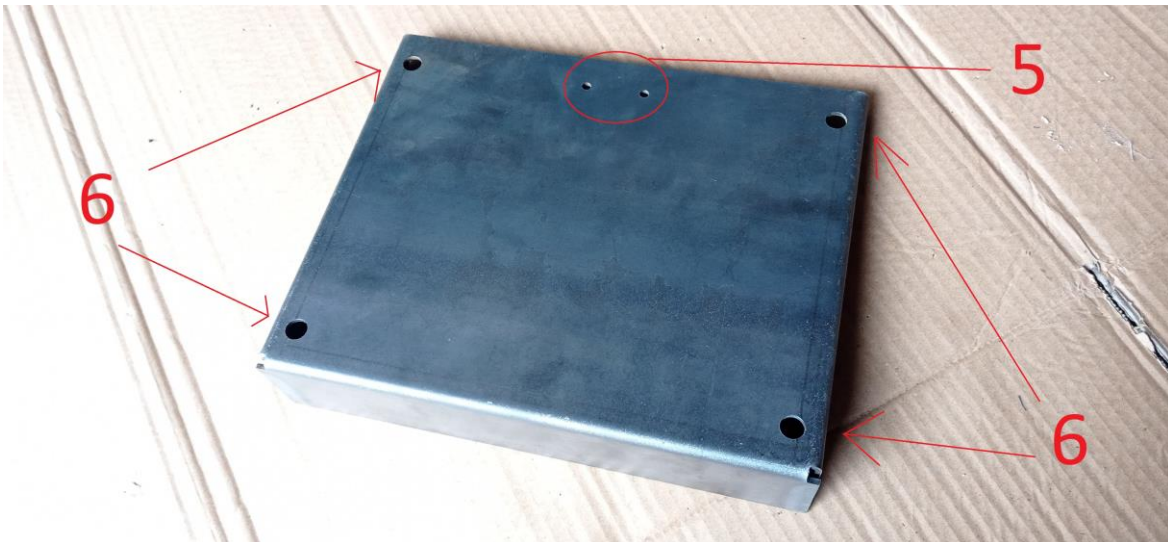


Ilustración 32 Pata derecha vista desde parte de dentro

Los agujeros de diámetro 5 mm son para alojar los tornillos del rodamiento que se destinara a la sujeción del husillo del eje X (5).

Los otros agujeros de diámetro 12 mm de la parte superior se destinan a la sujeción de las varillas de deslizamiento del eje X (6), los de la parte inferior son para darle más estabilidad colocando en ellos otras varillas de unión (6).



Ilustración 33 Pata izquierda vista desde parte de dentro

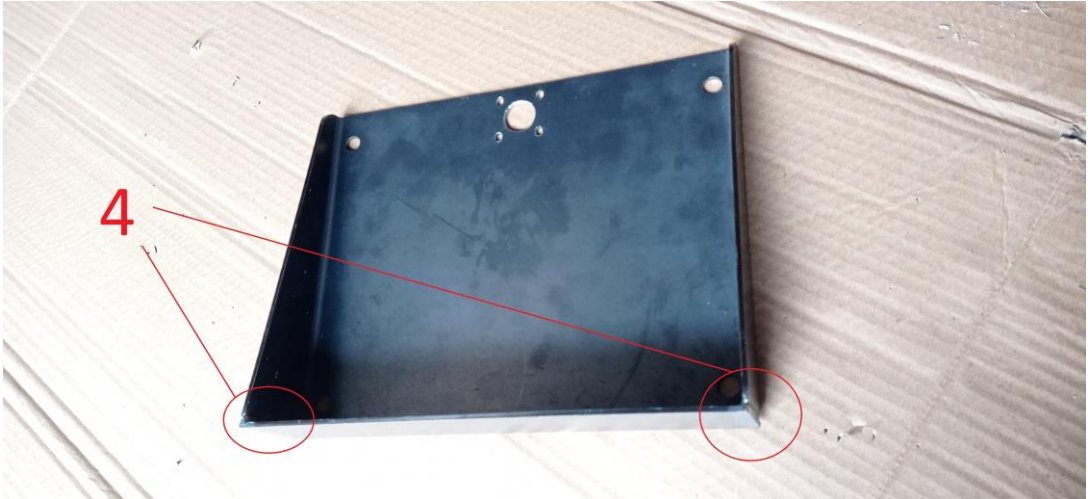


Ilustración 34 Pata izquierda vista desde parte de fuera

La segunda pata sería igual que la anterior salvo que en vez de llevar los agujeros para el rodamiento del husillo, lleva los agujeros para colocar el motor que acabará enfrentado con el rodamiento (7).

Además, estas son las únicas piezas que serán soldadas, se unirá mediante soldadura la parte inferior en la unión de los pliegues dados con anterioridad para unir permanentemente dichos pliegues (4).

6.3 Mesa 2 y Tapa

Se compone de chapa de acero de 2 mm S275JR a la cual se la ha cortado y realizado unos agujeros según el plano nº3. Posteriormente se ha plegado los bordes además de la parte posterior para darle la forma final.

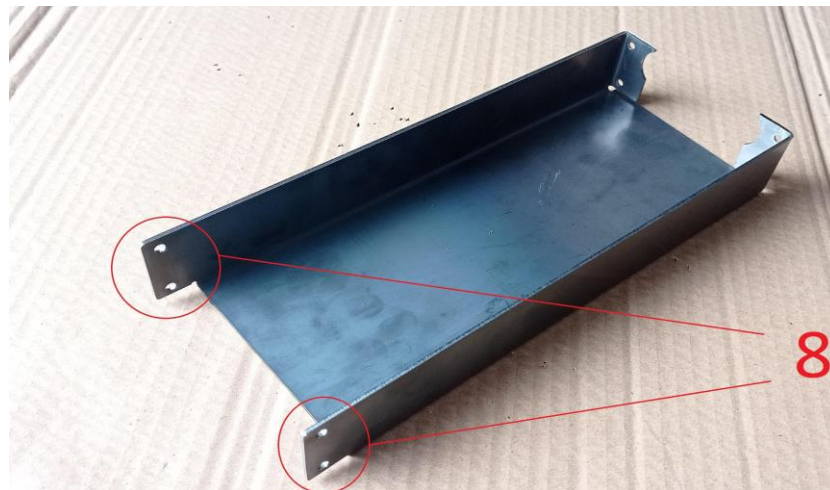


Ilustración 35 Soporte mesa 2 vista desde abajo



Ilustración 36 Soporte mesa 2 vista desde arriba

Esta chapa consta de 4 agujeros en la parte delantera (8) destinados al ensamblaje con la chapa de la columna que previamente se tendrá que enfrentar y centrar correctamente para que tanto las varillas como el husillo queden en su posición correcta.

Estas aletas que sobresalen de la U de la mesa 2 acabaran abrazando a la columna por la parte de fuera (8).

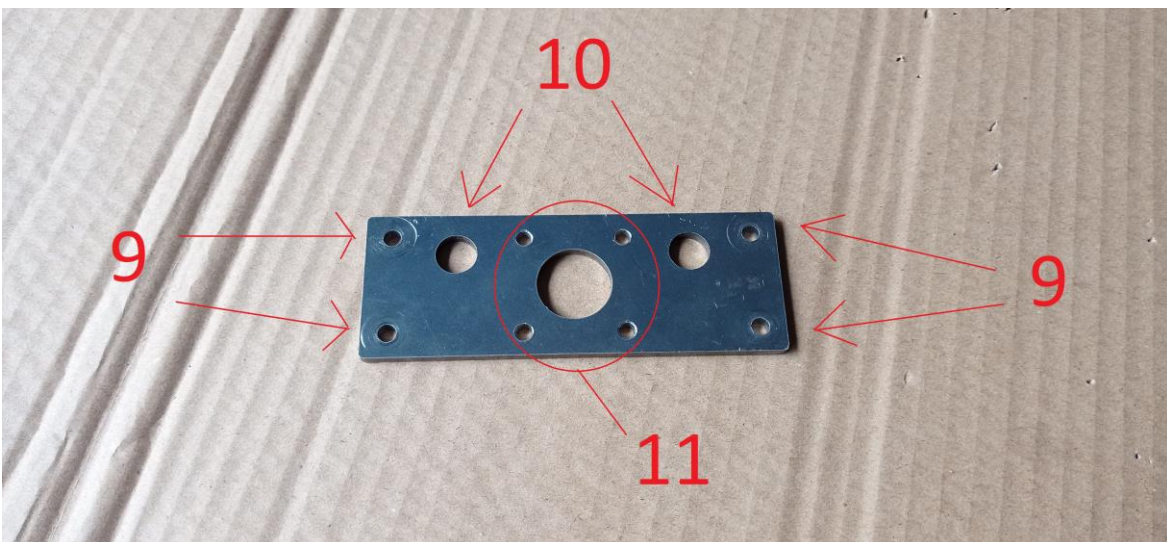


Ilustración 37 Tapa mesa 2

Las aletas de la parte posterior son destinadas a la colocación de una tapa de chapa de acero de 4 mm SC275JR a la cual se le han realizado unos taladros los cuales 4, son destinados a fijación con la mesa 2, de diámetro 5 mm (9) y los otros para la colocación tanto de las varillas de deslizamiento (10) como el soporte del motor destinado al eje Y (11), según el plano n°3, los cuales van enfrentados con los agujeros realizados en la columna que deberán estar perfectamente alineados.

6.4 Columna y Tapas columna

Se compone de chapa de acero de 2 mm S275JR a la cual se le ha cortado y realizado unos agujeros según el plano n°4. Posteriormente se ha plegado los bordes además de la parte de arriba y la de abajo para darle la forma final.

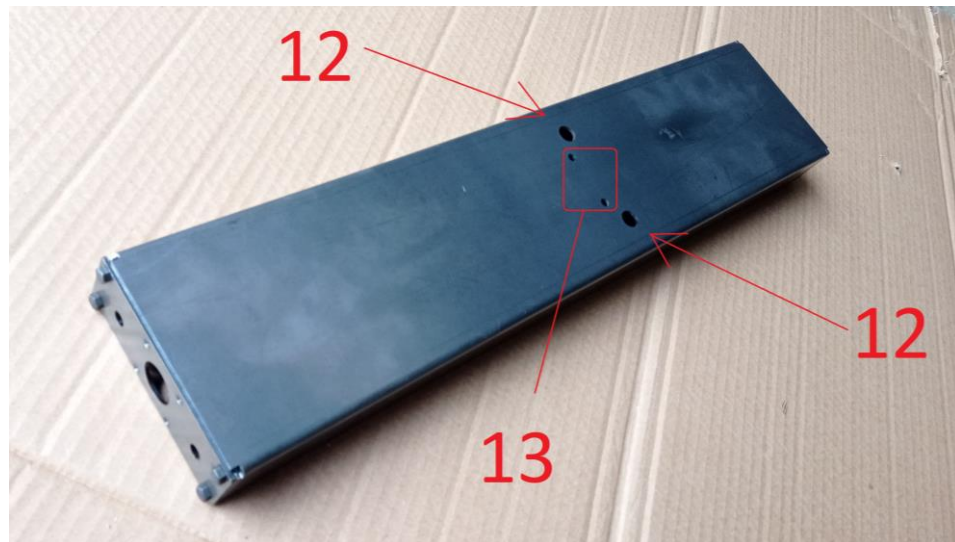


Ilustración 38 Columna vista desde parte posterior

Los 4 agujeros de la parte posterior de la U son destinados a la colocación de las varillas de desplazamiento (12), como al rodamiento de soporte del husillo del eje Y (13), los cuales tienen que quedar enfrentados con los de la tapa de la mesa 2.

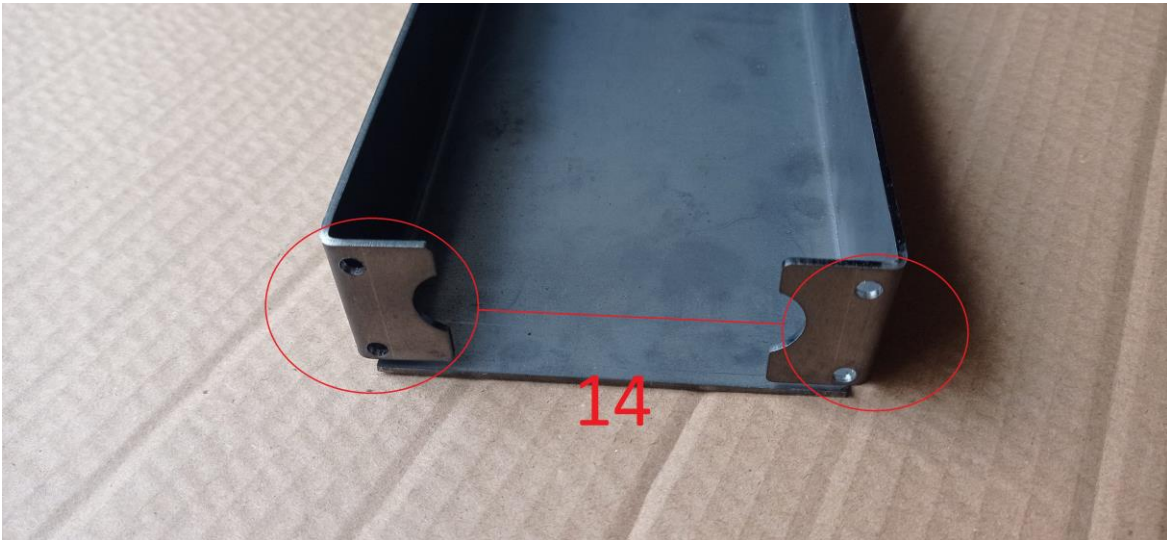


Ilustración 39 Columna vista desde parte de arriba y de abajo

Tanto la parte de arriba como en la de abajo llevan las aletas plegadas y perforadas igual, en las cuales van atornilladas las tapas correspondientes (14).

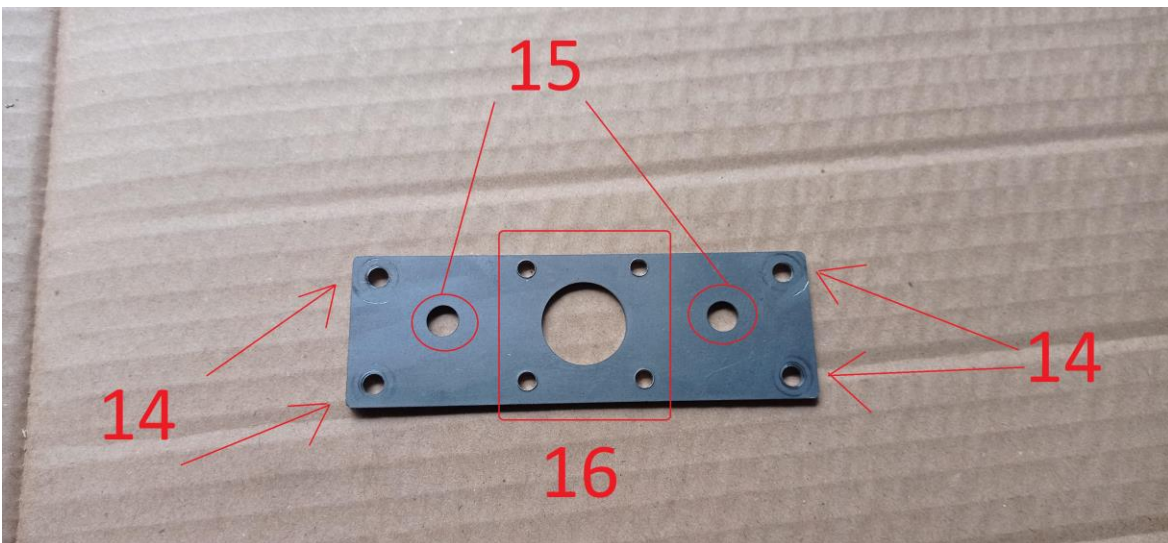


Ilustración 40 Tapa columna

A la tapa superior se le realizan los agujeros destinados al anclaje con la columna (14), los destinados a las varillas de deslizamiento (15) y a los destinados al soporte del motor del eje Z (16).

A la tapa inferior se le realizaran los agujeros destinados al anclaje con la columna, los destinados a las varillas de deslizamiento y a los destinados al rodamiento del husillo del eje Z.

Los agujeros de estas dos tapas deberán ir correctamente enfrentados según plano nº6.

6.5 Carro-soporte

Se compone de chapa de acero de 2 mm S275JR a la cual se la ha cortado y realizado unos agujeros según el plano nº5. Posteriormente se ha plegado los bordes darle la forma final.

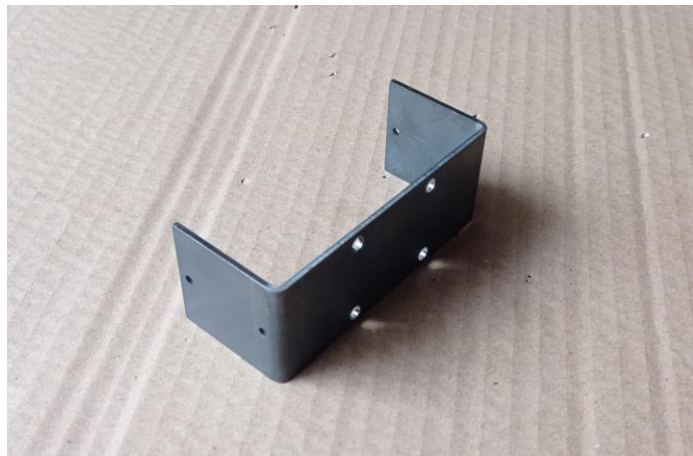


Ilustración 41 Soporte carro desde parte frontal

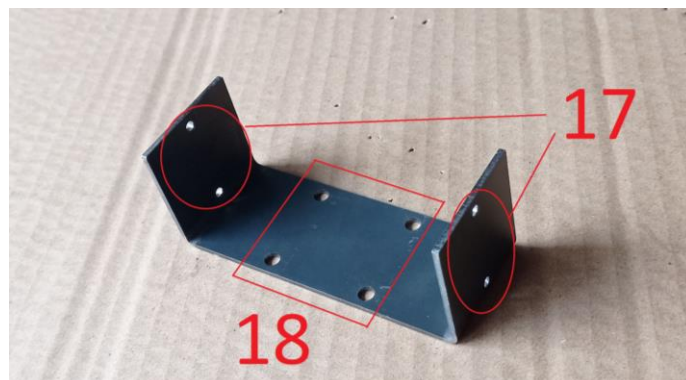


Ilustración 42 Soporte carro desde parte interior

Los agujeros de las aletas están destinados a la colocación de los rodamientos lineales de deslizamiento del eje Z (17).

Los otros 4 agujeros se destinan a la fijación de la herramienta que se quiera utilizar (18).

6.6 Varillas y husillos

Las varillas del eje X son de material f114 de diámetro 12mm y cortadas a una longitud de 800 mm para posteriormente mecanizarlas en ambos extremos realizando un proceso de roscado a M12 de unos 5 mm para la fijación con las patas.



Ilustración 43 Varilla soporte eje X

Las varillas del eje Y serán de material f114 de diámetro 12mm y cortadas a una longitud de 350 mm para posteriormente mecanizarlas en ambos extremos realizando un proceso de roscado a M12 de unos 5 mm para la fijación con la mesa 2 y la columna.



Ilustración 44 Varilla soporte eje Y

Las varillas del eje Z serán de material f114 de diámetro 8mm y cortadas a una longitud de 600 mm para posteriormente mecanizarlas en ambos extremos realizando un proceso de roscado a M12 de unos 5 mm para la fijación con las dos tapas de la columna.



Ilustración 45 Varilla soporte eje Z

Las demás piezas que no han tenido que ser fabricadas han sido suministradas por la empresa de LozKorp.

Véase rodamientos tornillos, tuercas, como toda la electrónica: motores, placa Arduino, CNC Shield y drivers.

7 Montaje

En este apartado se hablará de los pasos que se han seguido a la hora de montar la máquina.

Se dividirán en cuatro secciones y se empezará por la base hasta llegar al soporte de la herramienta.

Será muy secuencial debido a su diseño en forma de torre.

7.1 Fases

Empezaremos atornillando las 4 varillas de deslizamiento con las tuercas de M12 (una por cada lado de la pata) a una de las patas o placas plegadas, se sigue atornillando el rodamiento axial de apoyo del husillo a la misma pata con los tornillos de M5, se sigue con la colocación del husillo apoyándolo en el rodamiento y fijándolo al rodamiento con los tornillos presillas.



Ilustración 46 Fase 1 del montaje

A continuación, se montan atornillando los rodamientos lineales, tanto del eje Y como los del eje X, a la mesa 1 con los tornillos de M5 junto con las respectivas tuercas de los husillos.

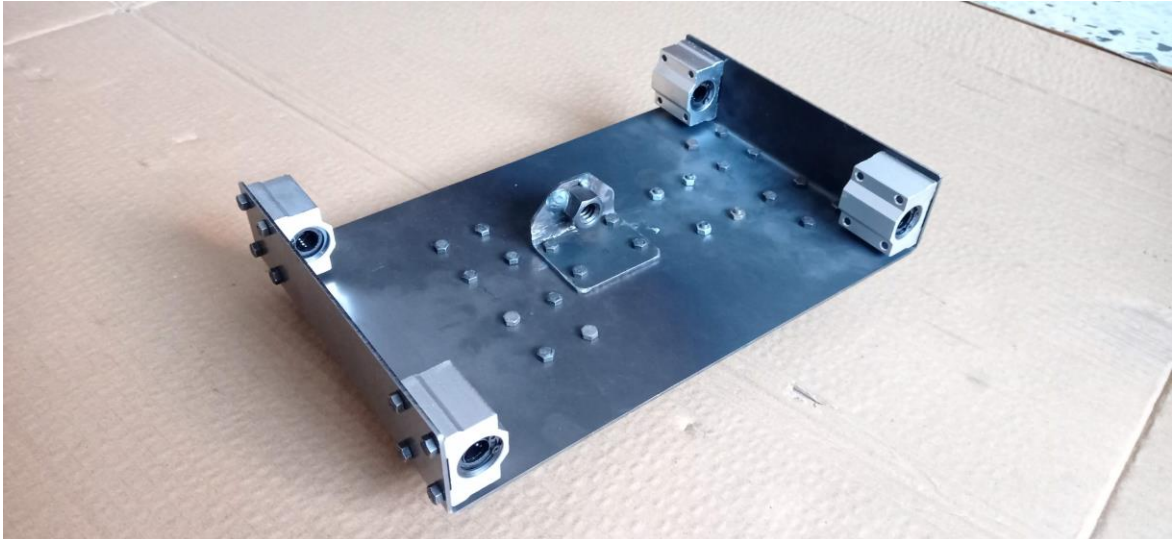


Ilustración 47 Fase 2.1 del montaje



Ilustración 48 Fase 2.2 del montaje

Se continua con el montaje de la mesa 2, atornillando la tapa de la mesa 2, con 4 tornillos y tuercas de M5, a la parte posterior de la mesa 2, además de anclar el motor destinado al movimiento del eje Y con 4 tornillos de M3, el acople del motor con e husillo y las varillas destinadas al movimiento del eje Y con las 4 tuercas e M12, a la tapa de la mesa 2.



Ilustración 49 Fase 3.1 del montaje



Ilustración 50 Fase 3.2 del montaje



Ilustración 51 Fase 3.3 del montaje

También se colocará el husillo, destinado al movimiento del eje Y, al acople del motor.



Ilustración 52 Fase 4 del montaje

Acto seguido se ensamblará la mesa 1, ya con todos los elementos atornillados a ella, a la mesa 2, haciendo pasar las varillas de deslizamiento por los rodamientos lineales además de enroscar el husillo con su respectiva tuerca.



Ilustración 53 Fase 5.1 del montaje

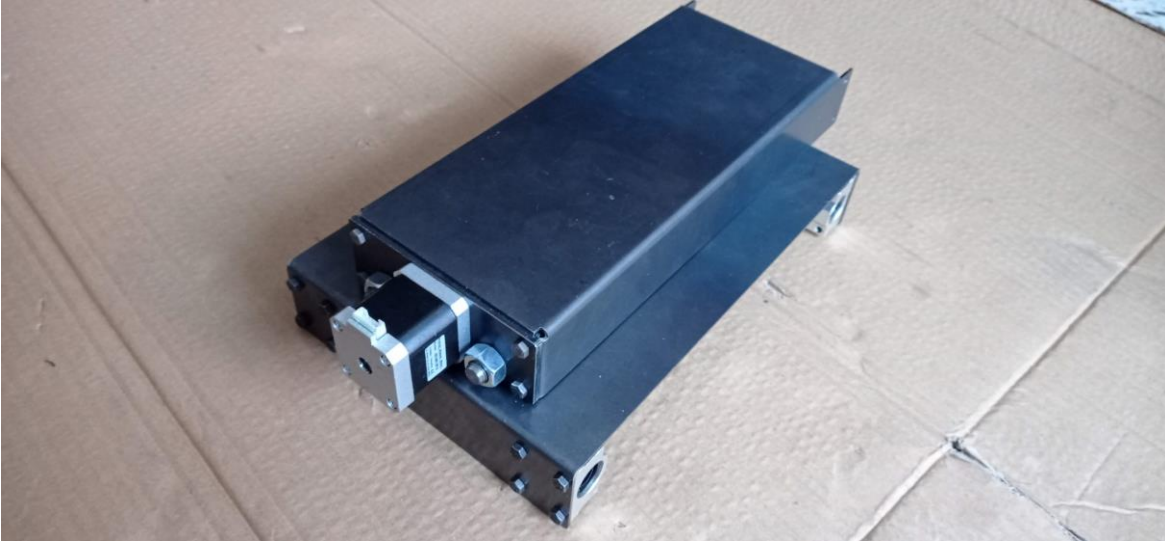


Ilustración 54 Fase 5.2 del montaje

Con la mesa 1 ensamblada con la mesa 2, se lleva dicho bloque de mesa 1/2 hacia las varillas de deslizamiento previamente montadas en una de las patas haciendo coincidir la tuerca de la mesa 1 con el husillo del eje X mientras se desplaza el bloque mesa 1/2 por las varillas de deslizamiento de 12mm.



Ilustración 55 Fase 6 del montaje

Para concluir la base y el eje X acabamos con el montaje de la pata sobrante a las varillas de deslizamiento además de atornillar el motor destinado al eje X junto con el acople haciéndolo coincidir con el husillo.



Ilustración 56 Fase 7 del montaje

Se sigue montando la tuerca del husillo, destinado al eje Z que ira colocada en la columna, al carro soporte con 4 tornillos y tuercas de M5, también se atornillaran los rodamientos lineales de diámetro 8mm a las aletas del carro soporte con 2 tornillos y tuercas de M3 para cada uno de los rodamientos lineales.



Ilustración 57 Fase 8.1 del montaje

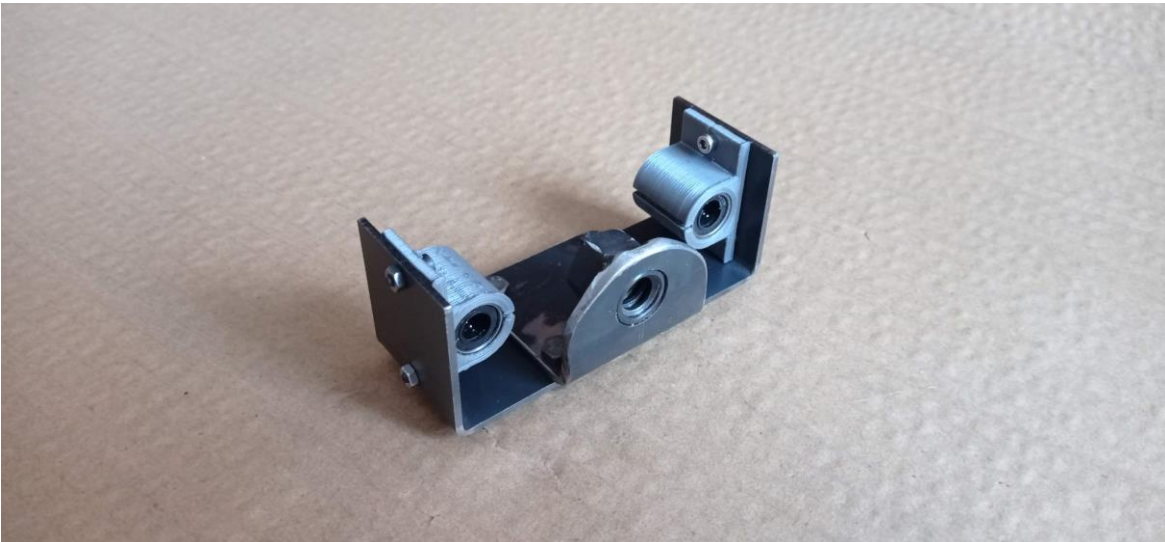


Ilustración 58 Fase 8.2 del montaje

Se monta la tapa de la parte inferior de la columna con los 4 tornillos y tuercas de M5 y a dicha tapa inferior se le ensambla tanto las varillas de deslizamiento de 8mm con 4 tuercas de M8, como el rodamiento del husillo con dos tornillos y tuercas de M5, por último, se coloca el husillo al rodamiento axial fijándolo con los tornillos presilla.



Ilustración 59 Fase 9 del montaje

Después el carro soporte totalmente ensamblado se lleva hacia las varillas de deslizamiento previamente montadas en una la columna haciendo coincidir la tuerca del carro soporte con el husillo del eje Z mientras se desplaza el carro soporte por las varillas de deslizamiento de diámetro 8mm.

Colocando la tapa superior de la columna atornillándola las varillas de deslizamiento con las tuercas de M8, junto con el motor que a su vez se le ensamblará con el acople y a su vez con el husillo y para finalizar con el eje Z se le atornillará la tapa superior a la columna con los 4 tornillos y tuercas de M5.



Ilustración 60 Fase 10.1 del montaje



Ilustración 61 Fase 10.2 del montaje

Para acabar con toda la parte de montaje de la mecánica se concluye con la colocación de la columna atornillándola a la mesa 2 con 4 tornillos y tuercas de M5 además de 2 tuercas para las varillas de deslizamiento del eje Y.



Ilustración 62 Fase 11.1 del montaje

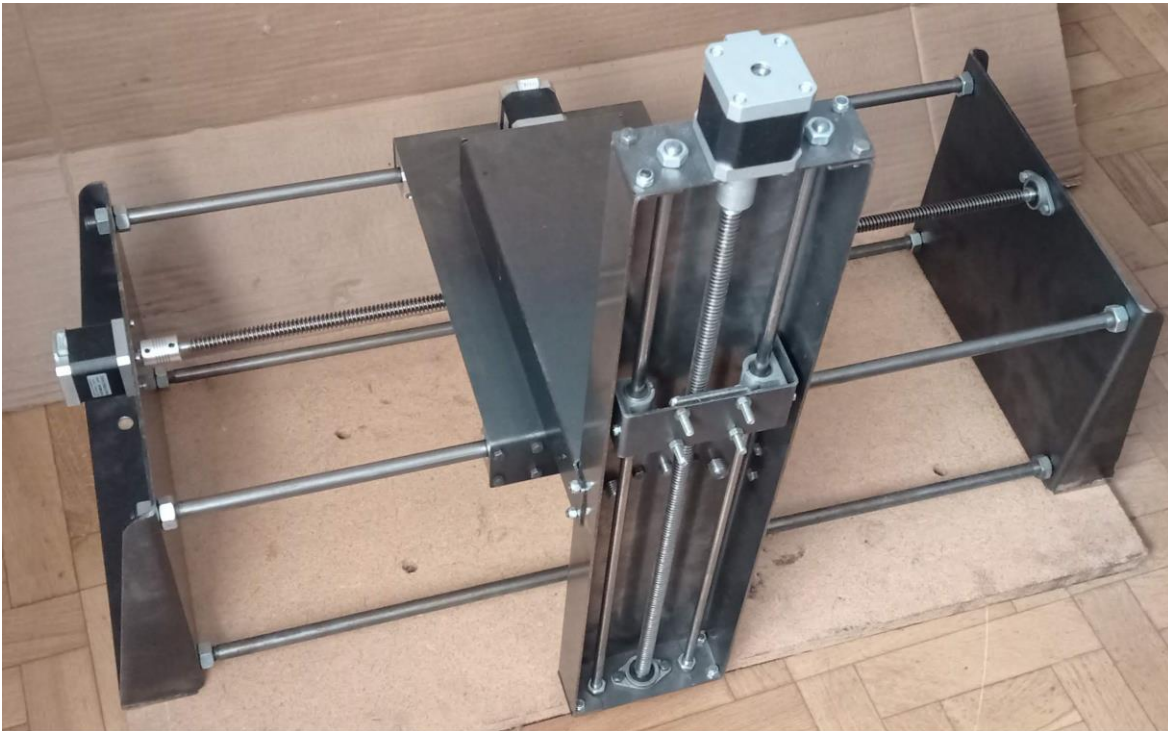


Ilustración 63 Fase 11.2 del montaje

Así estaría montada la parte final de la maquina solo quedaría conectar la herramienta deseada.

Por último, se coloca la parte electrónica y eléctrica, véase, la placa Arduino la placa CNC Shield, los finales de carrera con sus respectivos cables hacia el Arduino, los drivers, los cables conectores de los drivers con los motores y la fuente de alimentación con su respectivo cableado para alimentar a la placa Arduino y todos los demás componentes.



Ilustración 64 Paso n°12 del montaje

8 Software

Existen un gran número de programas de control de CNC por lo que hay que escoger entre los distintos programas a los que hay acceso.

Para este proyecto se busca un tipo de programa que permita una buena comunicación con el Arduino, que conste de un panel de control intuitivo que sea de fácil comprensión y utilización entre otras cosas, pero la más importante es que sea de código abierto o opensource, lo que viene a ser gratuito para cualquier usuario que desee utilizarlo.

A continuación, se exponen algunos de estos programas:

8.1 Universal Gcode Sender (UGS)

UGS es una plataforma de lenguaje Gcode, que consta de todas las funciones necesarias para poder comunicarse con los controladores de CNC, como GRBL, TinyG, g2core y Smoothieware. Universal Gcode Sender es una aplicación que está basada Java, disponiendo de las herramientas necesarias para poder utilizarse en distintos sistemas operativos, tales como, Windows, MacOSX o Linux.

Permite controlar la Máquina CNC mediante un panel de control interactivo como, cargar un archivo de Gcode para el movimiento de los ejes de la máquina.

8.2 OpenCNCPilot

OpenCNCPilot está basado en lenguaje C# por lo que no es compatible con todos los sistemas operativos, véase, Linux.

Es una plataforma que solamente permite controlar la máquina, aunque de una forma bastante buena y precisa, destacando así por su maniobrabilidad y precisión en las superficies curvas, haciendo de su característica principal su capacidad para sondear determinadas áreas, primeramente, definidas por el operario, en busca de deformaciones, siendo su zona de aplicación principal las placas PCB.

8.3 GRBL

GRBL está basado en el lenguaje de programación C altamente optimizado ofreciendo así una sincronización precisa. Es un firmware sencillo para el control de máquinas CNC, limitando dicho control a solamente máquinas de 3 ejes.

Las principales características son que es fácil de configurar además de no generar problemas a la hora de producir resultados finales.

8.4 CNC Control

CNC Control permite el movimiento de los ejes de una maquina CNC de forma manual o de forma automática mediante la ejecución de un programa en lenguaje Gcode. También dispone de un editor con el que poder escribir o modificar archivos escritos en dicho lenguaje, así como un entorno de visualización de archivos en 3D. Para la protección de la maquina CNC Control dispone de sistemas para controlar los límites físicos de todos los ejes de la máquina, así como sistemas de movimiento de seguridad. Para facilitar el manejo de este tipo de máquinas, CNC Control dispone de asistentes que ayudan en ciertas tareas, como la configuración o colocación de piezas, también dispone de sistemas para paliar las deficiencias de montaje de las maquinas no profesionales. (CNCControl, 2013)

Viendo las características de cada uno de los programas de control de las maquinas CNC, además de las prestaciones, la dificultad de configuración, la comunicación de usuario-interfaz, la complejidad de obtención como de instalación y que sea de código abierto o opensource, se ha decidido la utilización de CNC Control para el control de la máquina.

CNC Control a través de su página oficial deja a la dispersión de cualquier usuario tanto los archivos necesarios para la ejecución del programa como un manual de configuración en castellano.

Manual CNC Control:

<http://cncontrolapp.com/descargas/Manual%20CNC%20Control%20v2.4.pdf>
(CNCControl, 2013)

9 Presupuesto

En este apartado se estudiará la viabilidad económica de dicha máquina, partiendo de la idea de diseñar y crear una maquina que sea fácil de transportar, todo lo barata posible dentro de una determinada calidad y lo más versátil posible en cuanto a las distintas zonas de trabajo que se puedan llegar a dar.

Tabla 8 PRESUPUESTO DESGLOSADO

Objeto	Cantidad	Precio	Total
placas de acero plegadas: (IVA y transporte incluidos)	Ud.	€	€
chapa 4mm tapa mesa 2	1	6	6
chapa 3mm pata	2	58,5	117
chapa 2mm tapas columna	2	3,75	7,5
chapa 2mm columna	1	32,5	32,5
chapa 2mm mesa 1	1	27,5	27,5
chapa 2mm mesa 2	1	19,5	19,5
chapa 2mm carro/soporte	1	7,5	7,5
varillas de deslizamiento f114 (IVA, transporte y roscado incluidos)	m	€/m	€
eje x \varnothing =12mm (4 x eje)	0,8	11,768	47,072
eje y \varnothing =12mm (2 x eje)	0,35	10,7735	21,547
eje z \varnothing =8mm (2 x eje)	0,6	11,11	22,22
husillos y tuerca de husillo (IVA y transporte incluidos)	m	€/m	€
eje x \varnothing =12mm x 3mm	0,7	36,19	25,333
eje y \varnothing =12mm x 3mm	0,5	36,19	18,095
eje z \varnothing =12mm x 3mm	0,3	36,19	10,857
rodamientos (IVA y transporte incluidos)	Ud.	€	€
rodamientos de deslizamiento lineal \varnothing 8mm	2	3,25	6,5
rodamientos de deslizamiento lineal \varnothing 12mm	8	1,25	10
rodamientos de bolas axial 8mm	3	1,1	3,3
tornillería varia (IVA y transporte incluidos)	Ud.	€	€
tornillos (M5) (M3)	150	5	5
tuercas (M12) (M8) (M5)	100	9	9
electrónica (IVA y transporte incluidos)	Ud.	€	€
placa Arduino Uno	1	9,05	9,05
placa de expansión	1	12	12
motores paso a paso	3	15	45
drivers	3	1	3
finales de carrera	6	10	60
fuelle de alimentación	1	20	20
botón de parada de emergencia	1	8	8
TOTAL			553,474

10 Mejoras

En este apartado abordaremos algunas posibles mejoras que se podrían llevar a cabo con tal de mejorar el funcionamiento y la eficiencia de la máquina.

Una de las posibles mejoras sería aumentar el tamaño, más versatilidad y todo lo posible más económica, haciéndola más precisa además de potente para poder trabajar en cualquier superficie.

Cabezal rotativo en la herramienta: el objetivo sería subsanar las distancias a las que no llega la herramienta por culpa del diseño dándole el alcance suficiente para remediar esas pérdidas de zona de trabajo o incluso conseguir acceder a lugares más recónditos.

Acoplar un dispositivo de absorción de desechos para posibles virutas y desechos producidos por las herramientas: como producto de algunas operaciones, como el fresado de superficies, se llegarán a producir restos, como virutas y restos inservibles de material, que si no se controlan podrían llegar a obstruir alguno de los mecanismos conllevando al mal funcionamiento o peor a una avería grave.

Con lo que colocando unos cepillos alrededor de la herramienta, para que no se dispersen los desechos, junto a una manguera aspiradora que acabara en un filtro o depósito para su debido tratamiento.

Grupo de sensores de proximidad de la herramienta: el objetivo sería colocar alrededor de la herramienta un grupo de sensores que lleven a cabo un barrido para salvar cualquier irregularidad de la superficie de trabajo, haciendo así una herramienta más precisa y versátil en un mayor número de superficies de trabajo.

Distintos tipos de sujeciones de la máquina para todo tipo de superficies: realizar un nuevo o varios diseños capaces de anclar la máquina a las distintas superficies, ya que es complicado diseñar una sola máquina que sea capaz de adaptarse a todas las superficies de trabajo que se puedan llegar a dar.

Se puede llegar a pensar en anclajes del tipo ventosa, magnético, mediante perforaciones y luego atornillado a la superficie deseada y más.

11 Conclusiones

Partiendo de las premisas iniciales que se buscaban para el diseño, fabricación y montaje de esta máquina que eran buscar una máquina low cost, versátil y portable, se puede llegar a la conclusión de que todas esas premisas han sido no solo alcanzadas sino en algunos aspectos mejoradas.

En la parte de ligereza se ha conseguido una máquina realmente robusta con materias de primera calidad además de suficientemente ligera como para que una persona media pueda manejarla de un sitio a otro sin mayor complicación y lo suficientemente fuerte como para resistir esfuerzos mayores de los que una máquina de este mismo precio en el mercado.

Al haber conseguido una máquina ligera de unos 15 Kg, se puede considerar portable además de que, debido a su diseño, tiene varias partes de las cuales se la puede agarrar con la idea de sujetarla en el aire para poder llevarla de un lado a otro sin mayor dificultad para una persona adulta.

Con respecto a la versatilidad se buscaba una máquina que solo portase una única herramienta, pero con el soporte adecuado podría portar cualquier tipo de herramienta hasta cierto volumen y peso.

En la parte de presupuesto, ha acabado siendo una máquina económica, pero a la vez muy robusta y funcional comparándola con máquinas de este mismo precio del mercado actual se puede decir que es barata para lo robusta y versátil que ha acabado siendo.

A la hora de observar el software se puede concluir que viendo las características de cada uno de los programas de control de las máquinas CNC, además de las prestaciones, la dificultad de configuración, la comunicación de usuario-interfaz, la complejidad de obtención como de instalación y que sea de código abierto o opensource, el programa de control seleccionado, CNC Control, es muy versátil además de intuitivo con lo que facilita su utilización para cualquier usuario.

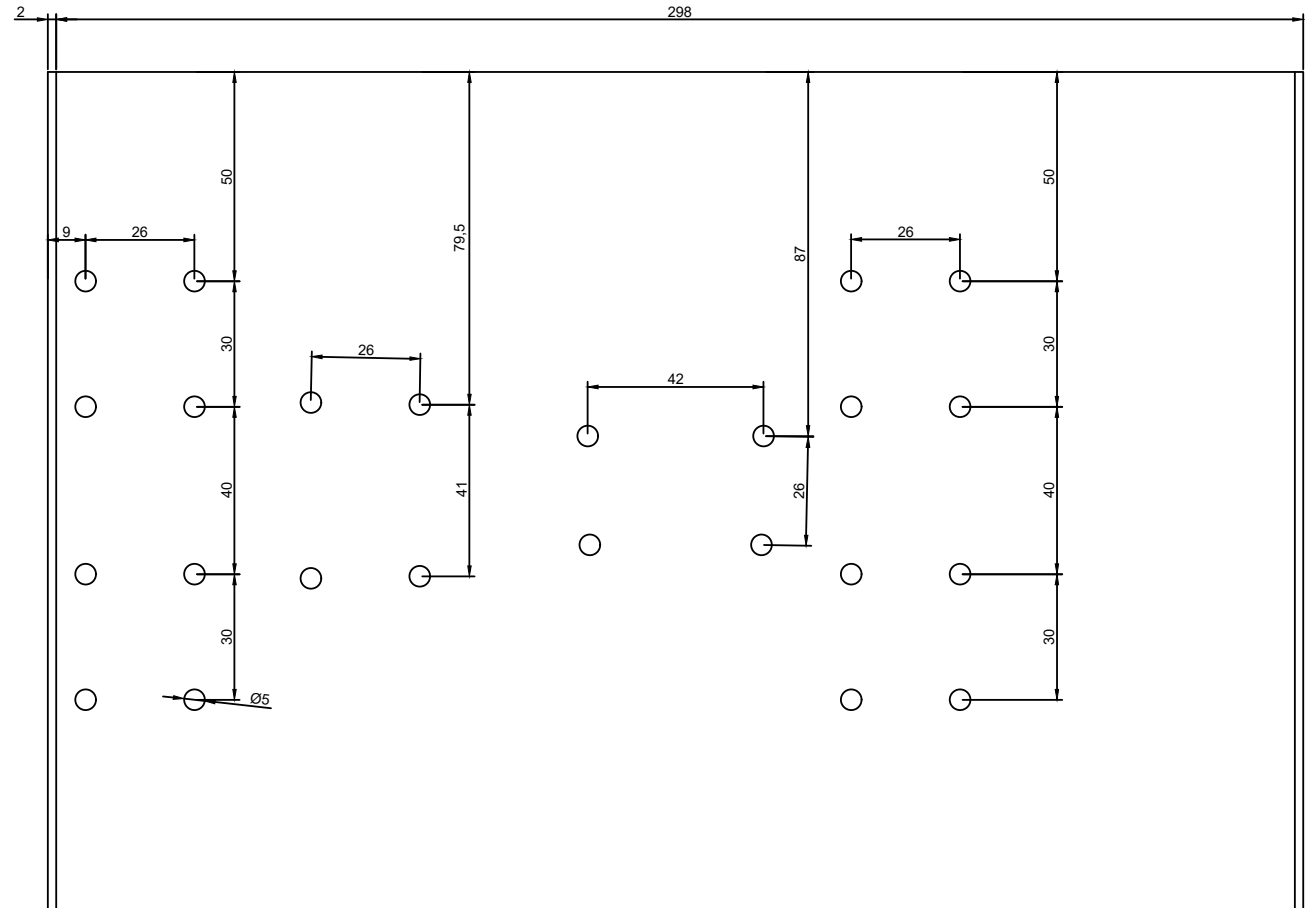
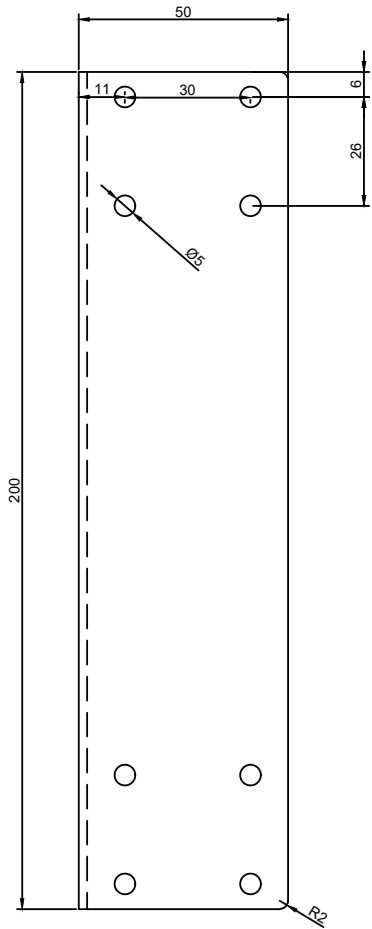
Al ser de código abierto o opensource ayuda tanto en la parte de presupuesto, ya que código abierto significa que es gratuito y esta disponible para cualquier usuario como en la parte de, como en la parte de mejoras ya que todo aquel que quiera puede añadir o mejorar dicho programa.

12 Bibliografía

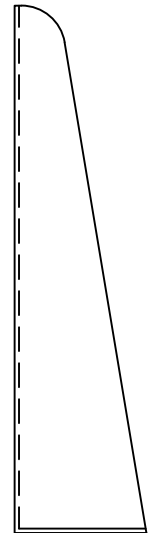
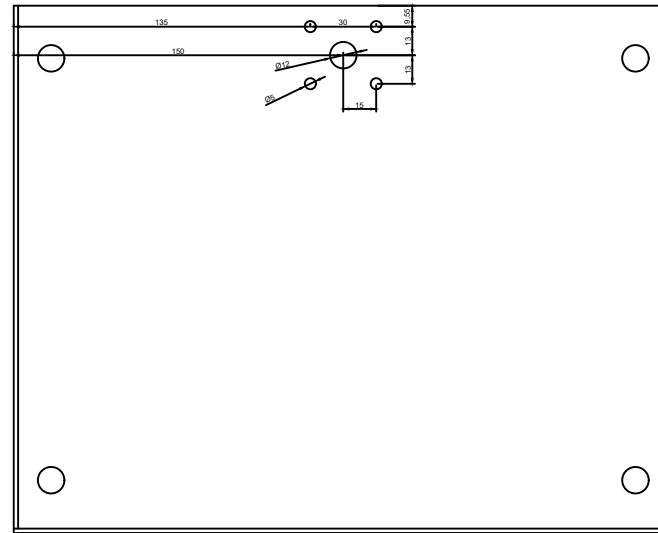
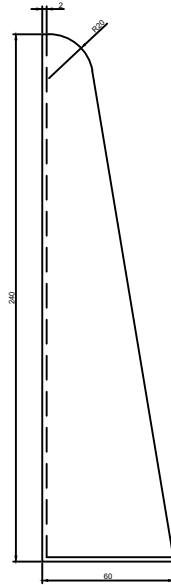
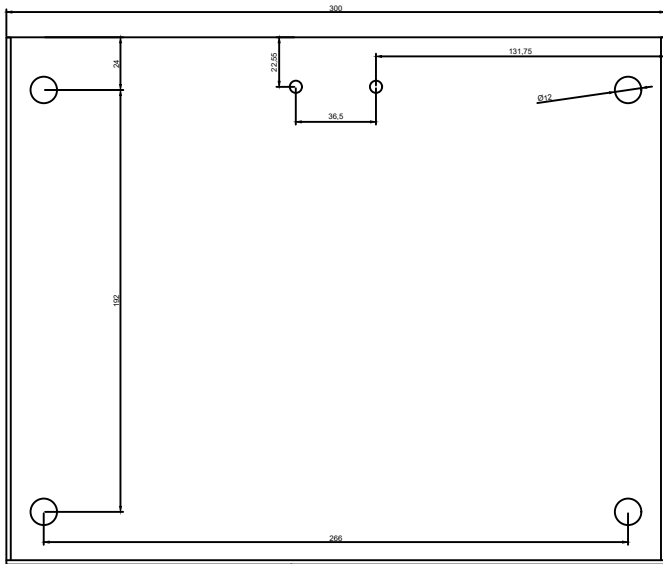
- ARDUINOCC. (s.f.). *ARDUINO CC*. Recuperado el Mayo de 2021, de ARDUINO CC: <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>
- Arzola, L. D. (15 de Noviembre de 2019). *YAMAZEN MEXICANA*. Recuperado el 20 de Junio de 2021, de <https://yamazen.com.mx/blog/cutting-tool/control-numeric-computarizado.html>
- CNCControl. (2013). *CNCControl*. Recuperado el julio de 2021, de CNCControl: <https://www.cnccontrolapp.com/index.html>
- Dicochea, D. E. (28 de Mayo de 2012). *HISTORIA DE LA FRESADORA*. Recuperado el 22 de Junio de 2021, de <https://sites.google.com/site/deod2107f9/historia-de-la-fresadora>
- IMPRESO, M. (s.f.). *MUNDO IMPRESO*. Recuperado el 26 de Junio de 2021, de <https://mundoimpreso.mx/2021/03/19/cuando-fue-inventado-el-plotter-historia-del-plotter/>
- microPaP*. (s.f.). Recuperado el 30 de Mayo de 2021, de https://www.micropap.com/manuales/UP_TECNICA_02_HUSILLOS.pdf
- OMIPESA. (s.f.). *OMIPESA GRUPO EMPRESARIAL*. Recuperado el 2 de Julio de 2021, de <https://www.mipesa.es/la-historia-del-control-numeric-cnc/>
- Pololu. (2012). *Pololu Robotics and Electronics*. Recuperado el 23 de Junio de 2021, de <https://www.pololu.com/product/1182>
- unileon. (2019). *INDUSTRIAL, INFORMÁTICA Y AEROESPACIAL*. Recuperado el Febrero de 2021, de INDUSTRIAL, INFORMÁTICA Y AEROESPACIAL: <https://ingenierias.unileon.es/>

13 Anexos

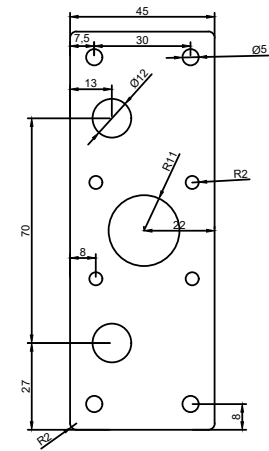
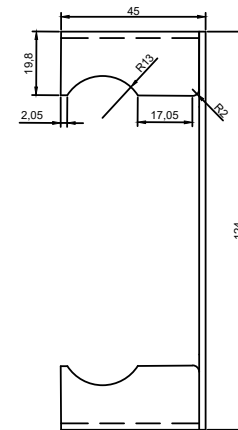
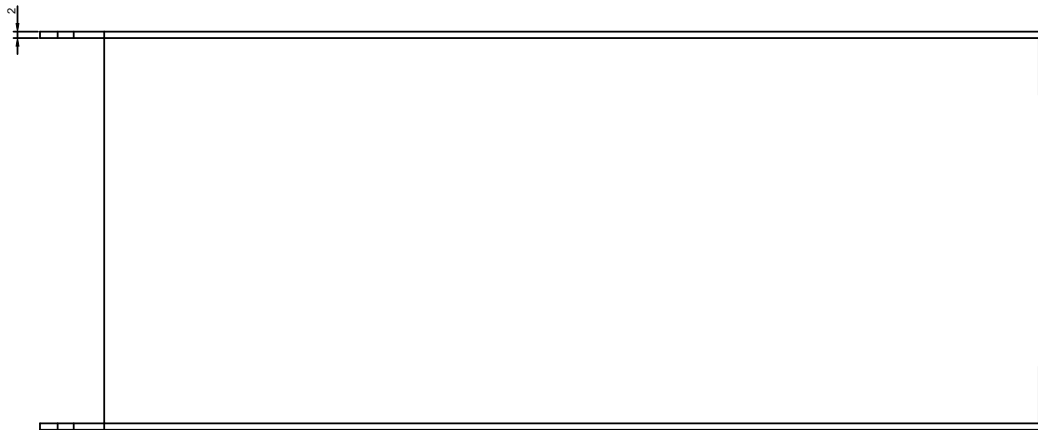
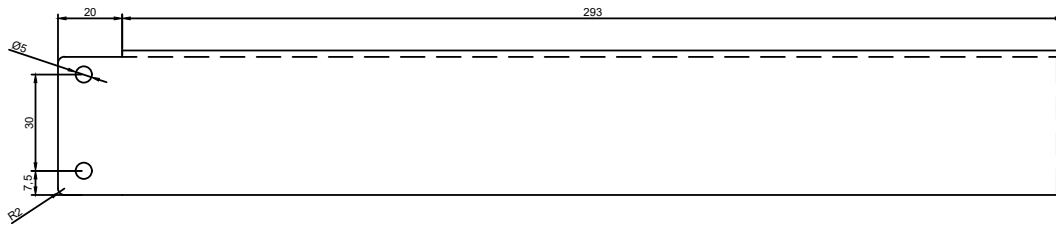
ANEXO A. PLANOS



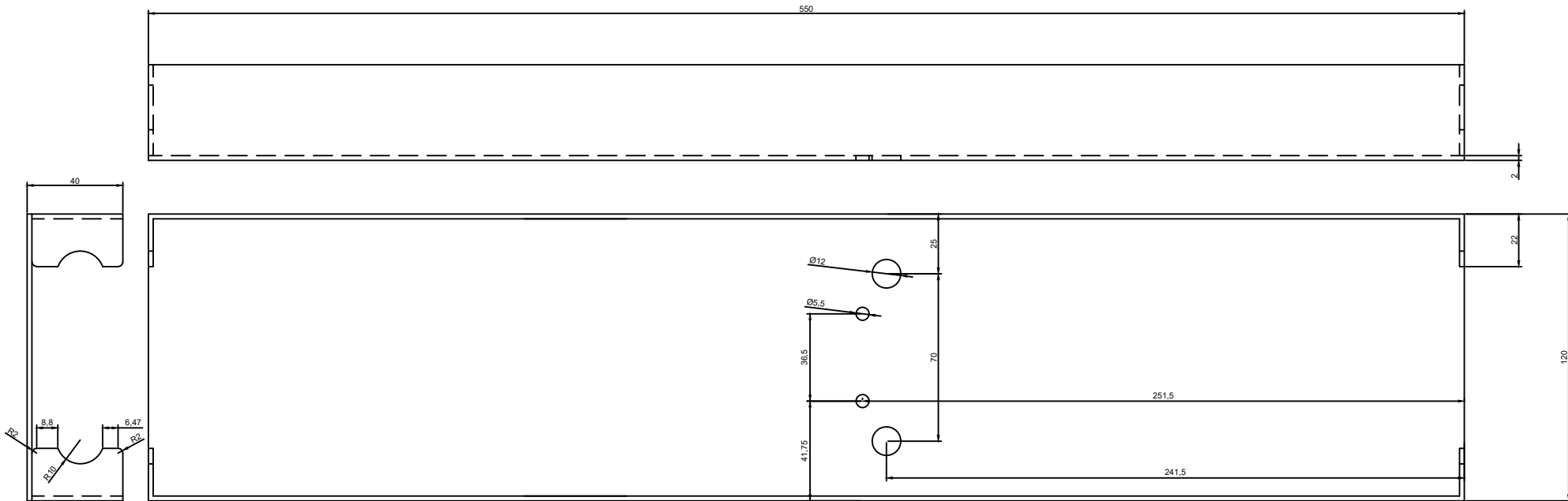
UNIVERSIDAD DE LEON ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIAL, INFORMATICA Y AEROSPAECIAL		PROYECTO:
TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERIA ELECTRONICA		ESCALA:
ALUMNO:	ANGEL ANDRÉS RODRÍGUEZ	FECHA:
		20/02/2021
		Nº PLANO: 1



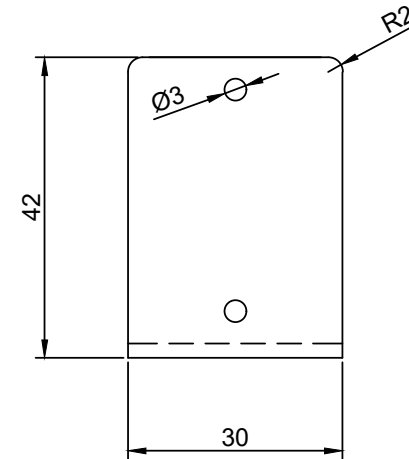
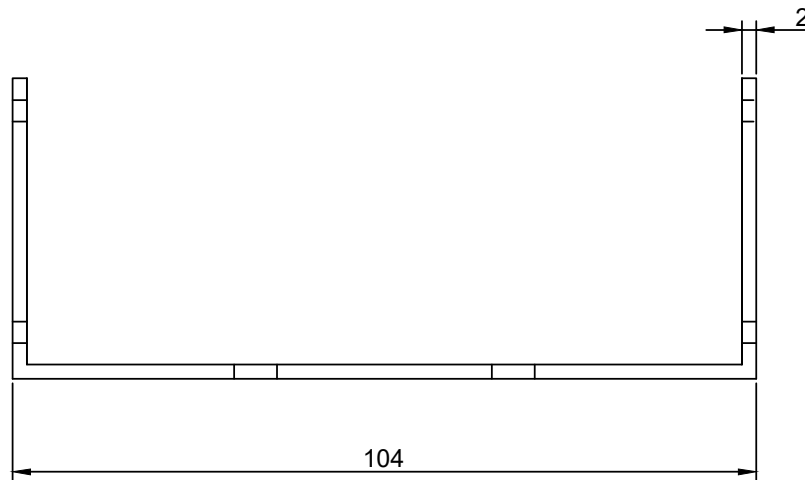
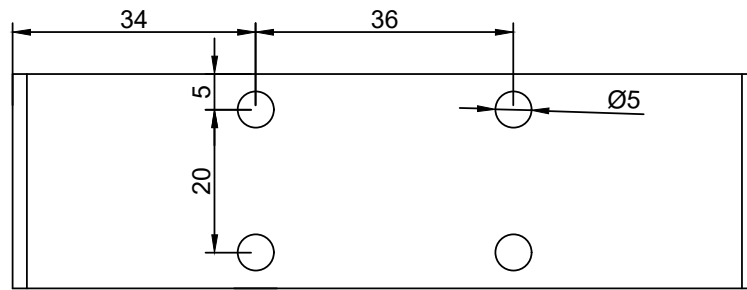
UNIVERSIDAD DE LEON ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIAL, INFORMATICA Y AEROSPAECIAL		PROYECTO:
TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERIA ELECTRONICA		ESCALA:
ALUMNO:	ANGEL ANDRÉS RODRÍGUEZ	FECHA:
		20/02/2021
		2



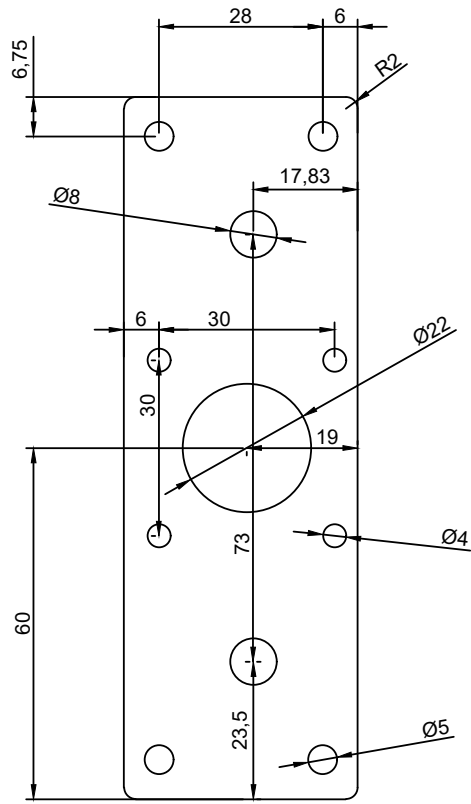
UNIVERSIDAD DE LEON ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIAL, INFORMATICA Y AEROSPAECIAL		PROYECTO:
TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERIA ELECTRONICA		ESCALA:
ALUMNO:	ANGEL ANDRÉS RODRÍGUEZ	FECHA:
		20/02/2021
		3



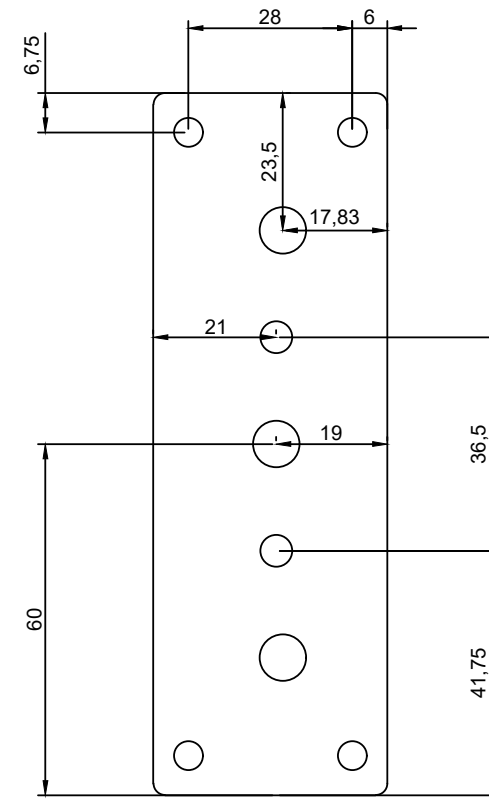
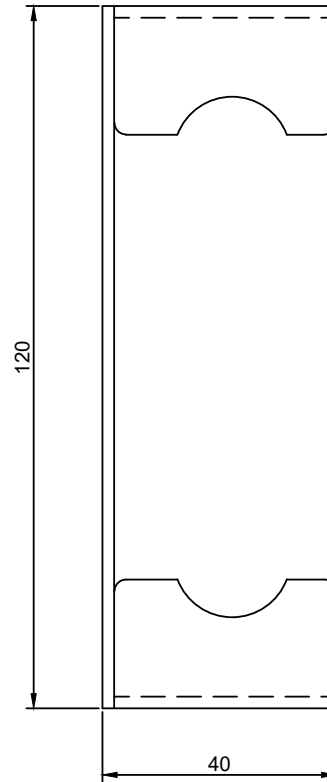
UNIVERSIDAD DE LEON ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIAL, INFORMATICA Y AEROSPAECIAL		PROYECTO:
TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERIA ELECTRONICA		ESCALA:
ALUMNO:	ANGEL ANDRÉS RODRÍGUEZ	FECHA:
		20/02/2021
		Nº PLANO: 4



UNIVERSIDAD DE LEON ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIAL, INFORMATICA Y AEROSPAECIAL		PROYECTO:
TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERIA ELECTRONICA		ESCALA:
ALUMNO:	ANGEL ANDRÉS RODRÍGUEZ	FECHA:
		20/02/2021
		5



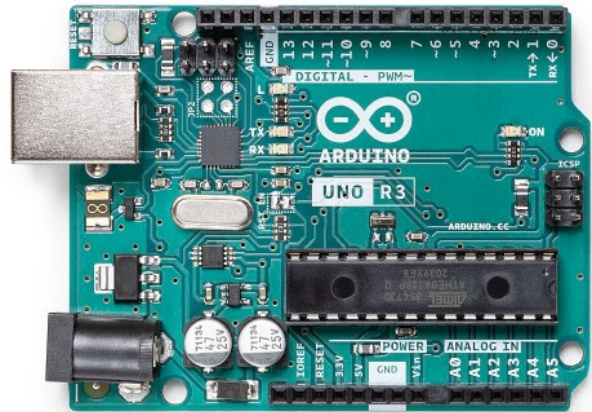
TAPA SUPERIOR



TAPA INFERIOR

UNIVERSIDAD DE LEON ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIAL, INFORMATICA Y AEROSPAECIAL		PROYECTO:
TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERIA ELECTRONICA		ESCALA:
ALUMNO:	ANGEL ANDRÉS RODRÍGUEZ	FECHA:
		20/02/2021
		N° PLANO: 6

ANEXO B. DATASHEET ARDUINO



Description

The Arduino UNO R3 is the perfect board to get familiar with electronics and coding. This versatile microcontroller is equipped with the well-known ATmega328P and the ATmega 16U2 Processor. This board will give you a great first experience within the world of Arduino.

Target areas:

Maker, introduction, industries



Features

- **ATMega328P Processor**
 - **Memory**
 - AVR CPU at up to 16 MHz
 - 32KB Flash
 - 2KB SRAM
 - 1KB EEPROM
 - **Security**
 - Power On Reset (POR)
 - Brown Out Detection (BOD)
 - **Peripherals**
 - 2x 8-bit Timer/Counter with a dedicated period register and compare channels
 - 1x 16-bit Timer/Counter with a dedicated period register, input capture and compare channels
 - 1x USART with fractional baud rate generator and start-of-frame detection
 - 1x controller/peripheral Serial Peripheral Interface (SPI)
 - 1x Dual mode controller/peripheral I2C
 - 1x Analog Comparator (AC) with a scalable reference input
 - Watchdog Timer with separate on-chip oscillator
 - Six PWM channels
 - Interrupt and wake-up on pin change
- **ATMega16U2 Processor**
 - 8-bit AVR® RISC-based microcontroller
- **Memory**
 - 16 KB ISP Flash
 - 512B EEPROM
 - 512B SRAM
 - debugWIRE interface for on-chip debugging and programming
- **Power**
 - 2.7-5.5 volts



CONTENTS

1 The Board	4
1.1 Application Examples	4
1.2 Related Products	4
2 Ratings	4
2.1 Recommended Operating Conditions	4
2.2 Power Consumption	5
3 Functional Overview	5
3.1 Board topology	5
3.2 Processor	6
3.3 Power Tree	6
4 Board Operation	7
4.1 Getting started - IDE	7
4.2 Getting started - Arduino Web Editor	7
4.3 Getting started - Arduino IoT Cloud	7
4.4 Sample Sketches	7
4.5 Online Resources	7
4.6 Board Recovery	8
5 Connector Pinouts	8
5.1 JANALOG	9
5.2 JDIGITAL	9
5.3 Mechanical Information	10
5.4 Board Outline & Mounting Holes	10
6 Certifications	11
6.1 Declaration of Conformity CE DoC (EU)	11
6.2 Declaration of Conformity to EU RoHS & REACH 211 01/19/2021	11
6.3 Conflict Minerals Declaration	12
7 FCC Caution	12
8 Company Information	13
9 Reference Documentation	13
10 Revision History	13



1 The Board

1.1 Application Examples

The UNO board is the flagship product of Arduino. Regardless if you are new to the world of electronics or will use the UNO as a tool for education purposes or industry-related tasks.

First entry to electronics: If this is your first project within coding and electronics, get started with our most used and documented board; Arduino UNO. It is equipped with the well-known ATmega328P processor, 14 digital input/output pins, 6 analog inputs, USB connections, ICSP header and reset button. This board includes everything you will need for a great first experience with Arduino.

Industry-standard development board: Using the Arduino UNO board in industries, there are a range of companies using the UNO board as the brain for their PLC's.

Education purposes: Although the UNO board has been with us for about ten years, it is still widely used for various education purposes and scientific projects. The board's high standard and top quality performance makes it a great resource to capture real time from sensors and to trigger complex laboratory equipment to mention a few examples.

1.2 Related Products

- Starter Kit
- Tinkerkit Braccio Robot
- Example

2 Ratings

2.1 Recommended Operating Conditions

Symbol	Description	Min	Max
	Conservative thermal limits for the whole board:	-40 °C (-40°F)	85 °C (185°F)

NOTE: In extreme temperatures, EEPROM, voltage regulator, and the crystal oscillator, might not work as expected due to the extreme temperature conditions



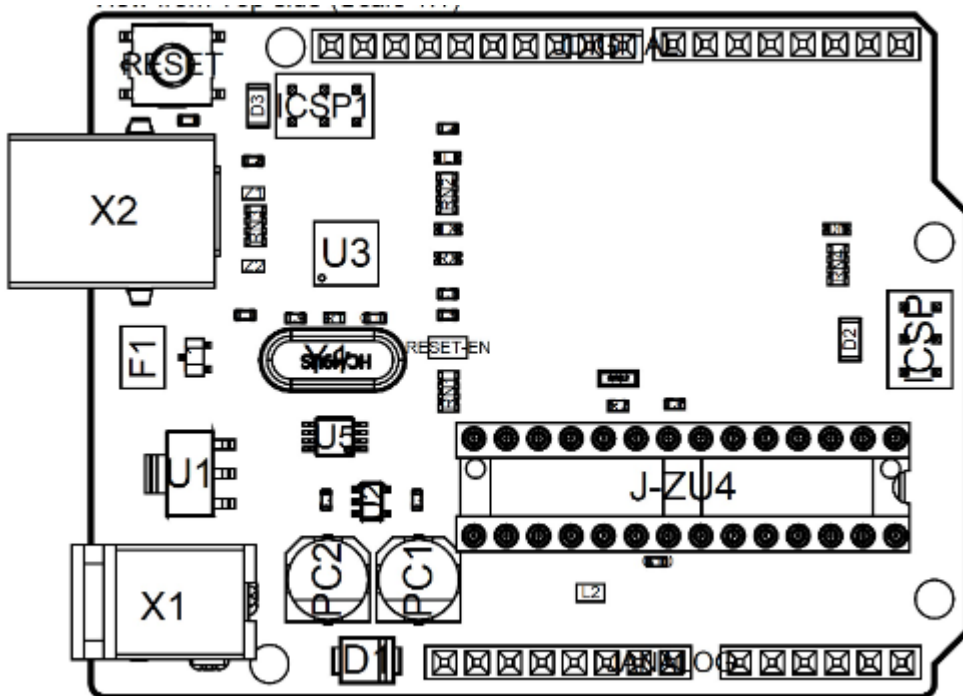
2.2 Power Consumption

Symbol	Description	Min	Typ	Max	Unit
VINMax	Maximum input voltage from VIN pad	6	-	20	V
VUSBMax	Maximum input voltage from USB connector		-	5.5	V
PMax	Maximum Power Consumption	-	-	xx	mA

3 Functional Overview

3.1 Board topology

Top view



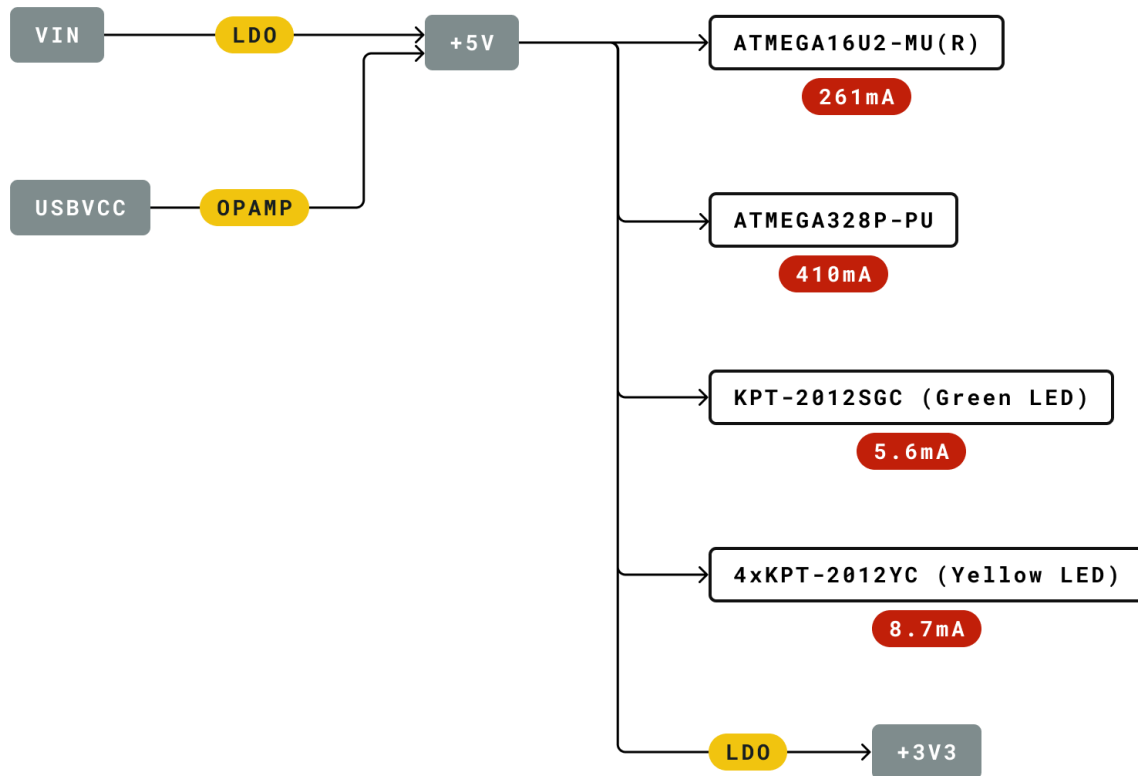
Board topology

Ref.	Description	Ref.	Description
X1	Power jack 2.1x5.5mm	U1	SPX1117M3-L-5 Regulator
X2	USB B Connector	U3	ATMEGA16U2 Module
PC1	EEE-1EA470WP 25V SMD Capacitor	U5	LMV358LIST-A.9 IC
PC2	EEE-1EA470WP 25V SMD Capacitor	F1	Chip Capacitor, High Density
D1	CGRA4007-G Rectifier	ICSP	Pin header connector (through hole 6)
J-ZU4	ATMEGA328P Module	ICSP1	Pin header connector (through hole 6)
Y1	ECS-160-20-4X-DU Oscillator		

3.2 Processor

The Main Processor is a ATmega328P running at up to 20 MHz. Most of its pins are connected to the external headers, however some are reserved for internal communication with the USB Bridge coprocessor.

3.3 Power Tree



Legend:

- Component
- Power I/O
- Conversion Type
- Max Current
- Voltage Range

Power tree



4 Board Operation

4.1 Getting started - IDE

If you want to program your Arduino UNO while offline you need to install the Arduino Desktop IDE [1] To connect the Arduino UNO to your computer, you'll need a Micro-B USB cable. This also provides power to the board, as indicated by the LED.

4.2 Getting started - Arduino Web Editor

All Arduino boards, including this one, work out-of-the-box on the Arduino Web Editor [2], by just installing a simple plugin.

The Arduino Web Editor is hosted online, therefore it will always be up-to-date with the latest features and support for all boards. Follow [3] to start coding on the browser and upload your sketches onto your board.

4.3 Getting started - Arduino IoT Cloud

All Arduino IoT enabled products are supported on Arduino IoT Cloud which allows you to Log, graph and analyze sensor data, trigger events, and automate your home or business.

4.4 Sample Sketches

Sample sketches for the Arduino XXX can be found either in the “Examples” menu in the Arduino IDE or in the “Documentation” section of the Arduino Pro website [4]

4.5 Online Resources

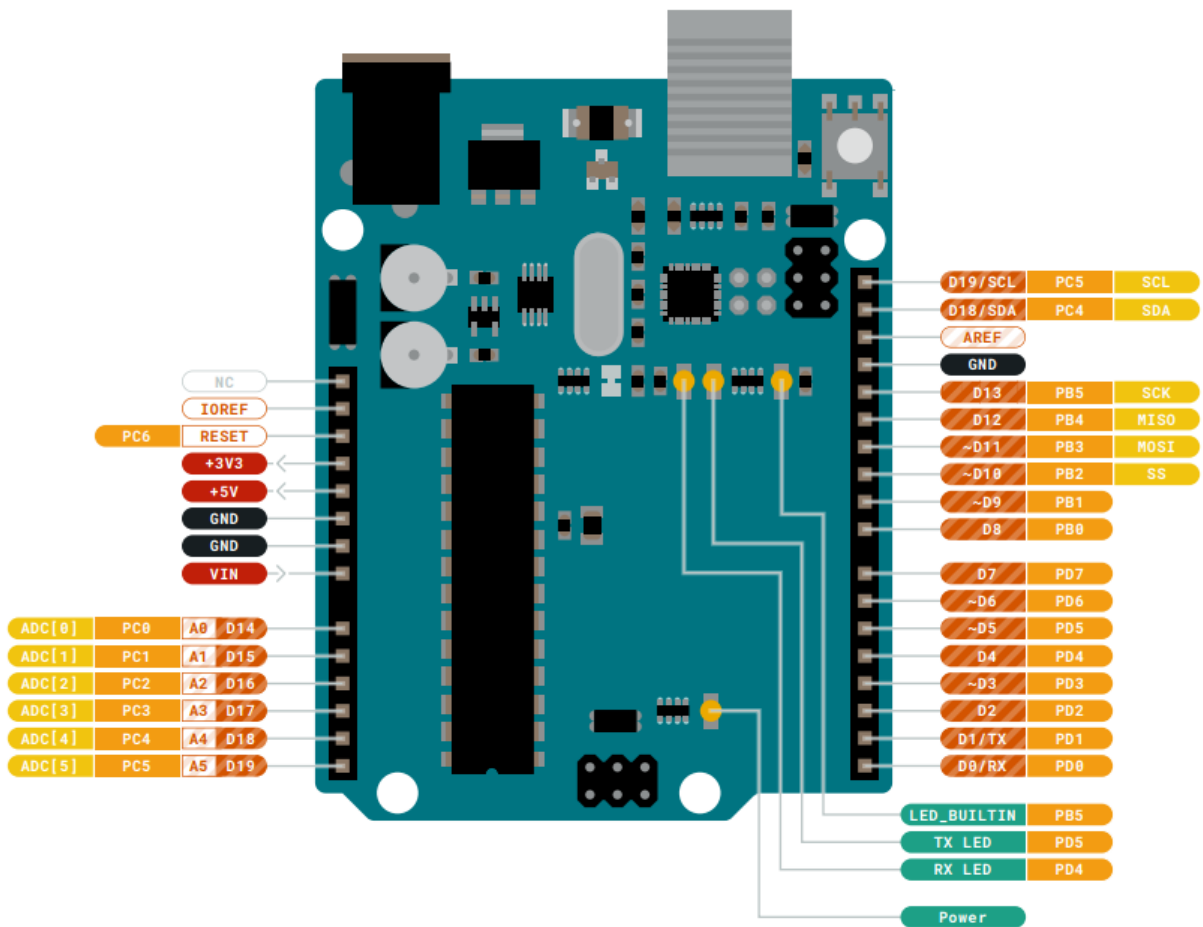
Now that you have gone through the basics of what you can do with the board you can explore the endless possibilities it provides by checking exciting projects on ProjectHub [5], the Arduino Library Reference [6] and the online store [7] where you will be able to complement your board with sensors, actuators and more



4.6 Board Recovery

All Arduino boards have a built-in bootloader which allows flashing the board via USB. In case a sketch locks up the processor and the board is not reachable anymore via USB it is possible to enter bootloader mode by double-tapping the reset button right after power up.

5 Connector Pinouts



Pinout



5.1 JANALOG

Pin	Function	Type	Description
1	NC	NC	Not connected
2	IOREF	IOREF	Reference for digital logic V - connected to 5V
3	Reset	Reset	Reset
4	+3V3	Power	+3V3 Power Rail
5	+5V	Power	+5V Power Rail
6	GND	Power	Ground
7	GND	Power	Ground
8	VIN	Power	Voltage Input
9	A0	Analog/GPIO	Analog input 0 /GPIO
10	A1	Analog/GPIO	Analog input 1 /GPIO
11	A2	Analog/GPIO	Analog input 2 /GPIO
12	A3	Analog/GPIO	Analog input 3 /GPIO
13	A4/SDA	Analog input/I2C	Analog input 4/I2C Data line
14	A5/SCL	Analog input/I2C	Analog input 5/I2C Clock line

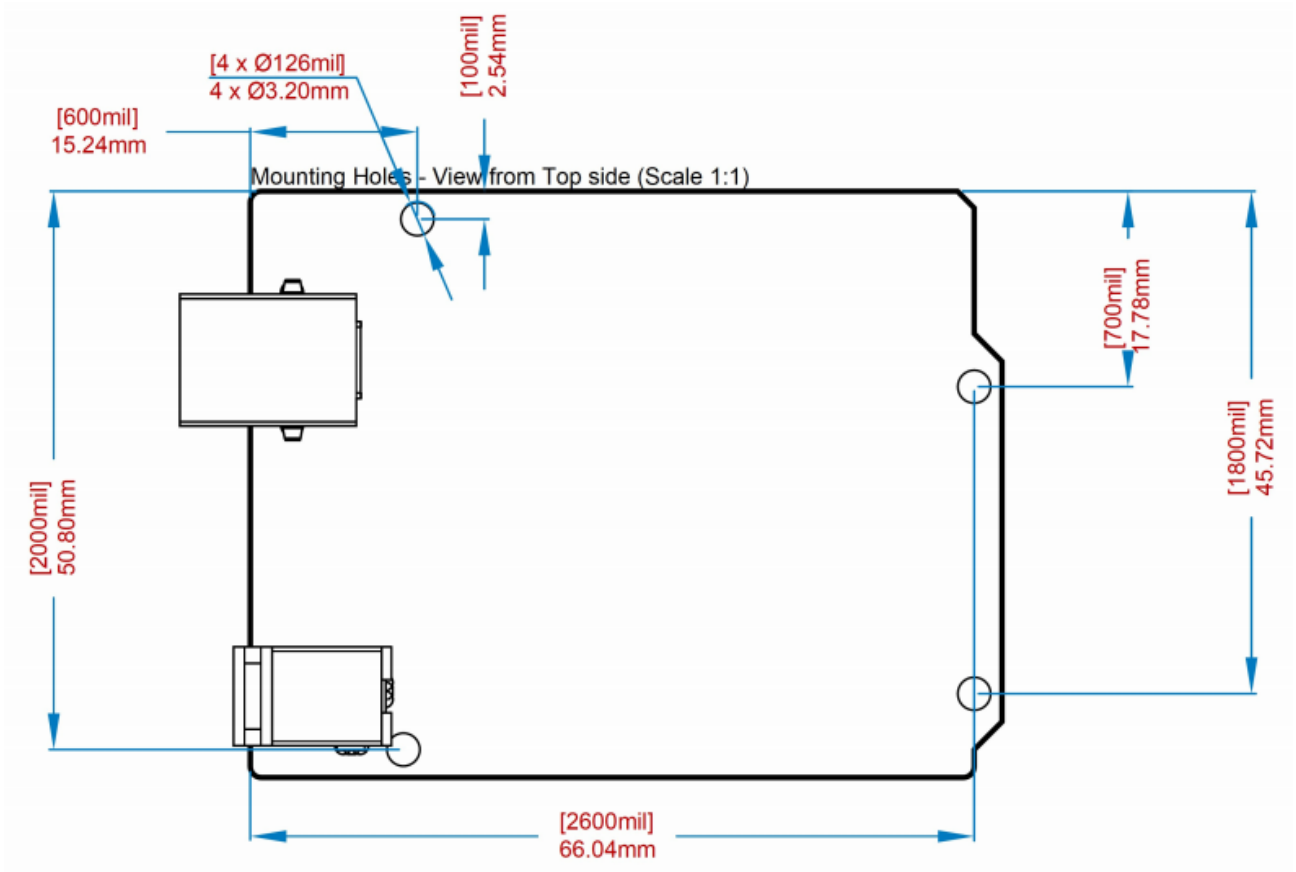
5.2 JDIGITAL

Pin	Function	Type	Description
1	D0	Digital/GPIO	Digital pin 0/GPIO
2	D1	Digital/GPIO	Digital pin 1/GPIO
3	D2	Digital/GPIO	Digital pin 2/GPIO
4	D3	Digital/GPIO	Digital pin 3/GPIO
5	D4	Digital/GPIO	Digital pin 4/GPIO
6	D5	Digital/GPIO	Digital pin 5/GPIO
7	D6	Digital/GPIO	Digital pin 6/GPIO
8	D7	Digital/GPIO	Digital pin 7/GPIO
9	D8	Digital/GPIO	Digital pin 8/GPIO
10	D9	Digital/GPIO	Digital pin 9/GPIO
11	SS	Digital	SPI Chip Select
12	MOSI	Digital	SPI1 Main Out Secondary In
13	MISO	Digital	SPI Main In Secondary Out
14	SCK	Digital	SPI serial clock output
15	GND	Power	Ground
16	AREF	Digital	Analog reference voltage
17	A4/SD4	Digital	Analog input 4/I2C Data line (duplicated)
18	A5/SD5	Digital	Analog input 5/I2C Clock line (duplicated)



5.3 Mechanical Information

5.4 Board Outline & Mounting Holes



Board outline



6 Certifications

6.1 Declaration of Conformity CE DoC (EU)

We declare under our sole responsibility that the products above are in conformity with the essential requirements of the following EU Directives and therefore qualify for free movement within markets comprising the European Union (EU) and European Economic Area (EEA).

ROHS 2 Directive 2011/65/EU	
Conforms to:	EN50581:2012
Directive 2014/35/EU. (LVD)	
Conforms to:	EN 60950-1:2006/A11:2009/A1:2010/A12:2011/AC:2011
Directive 2004/40/EC & 2008/46/EC & 2013/35/EU, EMF	
Conforms to:	EN 62311:2008

6.2 Declaration of Conformity to EU RoHS & REACH 211 01/19/2021

Arduino boards are in compliance with RoHS 2 Directive 2011/65/EU of the European Parliament and RoHS 3 Directive 2015/863/EU of the Council of 4 June 2015 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment.

Substance	Maximum limit (ppm)
Lead (Pb)	1000
Cadmium (Cd)	100
Mercury (Hg)	1000
Hexavalent Chromium (Cr6+)	1000
Poly Brominated Biphenyls (PBB)	1000
Poly Brominated Diphenyl ethers (PBDE)	1000
Bis(2-Ethylhexyl} phthalate (DEHP)	1000
Benzyl butyl phthalate (BBP)	1000
Dibutyl phthalate (DBP)	1000
Diisobutyl phthalate (DIBP)	1000

Exemptions: No exemptions are claimed.

Arduino Boards are fully compliant with the related requirements of European Union Regulation (EC) 1907 /2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals (REACH). We declare none of the SVHCs (<https://echa.europa.eu/web/guest/candidate-list-table>), the Candidate List of Substances of Very High Concern for authorization currently released by ECHA, is present in all products (and also package) in quantities totaling in a concentration equal or above 0.1%. To the best of our knowledge, we also declare that our products do not contain any of the substances listed on the "Authorization List" (Annex XIV of the REACH regulations) and Substances of Very High Concern (SVHC) in any significant amounts as specified by the Annex XVII of Candidate list published by ECHA (European Chemical Agency) 1907 /2006/EC.



6.3 Conflict Minerals Declaration

As a global supplier of electronic and electrical components, Arduino is aware of our obligations with regards to laws and regulations regarding Conflict Minerals, specifically the Dodd-Frank Wall Street Reform and Consumer Protection Act, Section 1502. Arduino does not directly source or process conflict minerals such as Tin, Tantalum, Tungsten, or Gold. Conflict minerals are contained in our products in the form of solder, or as a component in metal alloys. As part of our reasonable due diligence Arduino has contacted component suppliers within our supply chain to verify their continued compliance with the regulations. Based on the information received thus far we declare that our products contain Conflict Minerals sourced from conflict-free areas.

7 FCC Caution

Any Changes or modifications not expressly approved by the party responsible for compliance could void the user's authority to operate the equipment.

This device complies with part 15 of the FCC Rules. Operation is subject to the following two conditions:

- (1) This device may not cause harmful interference
- (2) this device must accept any interference received, including interference that may cause undesired operation.

FCC RF Radiation Exposure Statement:

1. This Transmitter must not be co-located or operating in conjunction with any other antenna or transmitter.
2. This equipment complies with RF radiation exposure limits set forth for an uncontrolled environment.
3. This equipment should be installed and operated with minimum distance 20cm between the radiator & your body.

English: User manuals for license-exempt radio apparatus shall contain the following or equivalent notice in a conspicuous location in the user manual or alternatively on the device or both. This device complies with Industry Canada license-exempt RSS standard(s). Operation is subject to the following two conditions:

- (1) this device may not cause interference
- (2) this device must accept any interference, including interference that may cause undesired operation of the device.

French: Le présent appareil est conforme aux CNR d'Industrie Canada applicables aux appareils radio exempts de licence. L'exploitation est autorisée aux deux conditions suivantes :

- (1) l'appareil n' doit pas produire de brouillage
- (2) l'utilisateur de l'appareil doit accepter tout brouillage radioélectrique subi, même si le brouillage est susceptible d'en compromettre le fonctionnement.

IC SAR Warning:

English This equipment should be installed and operated with minimum distance 20 cm between the radiator and your body.

French: Lors de l' installation et de l' exploitation de ce dispositif, la distance entre le radiateur et le corps est d' au moins 20 cm.



Important: The operating temperature of the EUT can't exceed 85°C and shouldn't be lower than -40°C.

Hereby, Arduino S.r.l. declares that this product is in compliance with essential requirements and other relevant provisions of Directive 2014/53/EU. This product is allowed to be used in all EU member states.

8 Company Information

Company name	Arduino S.r.l
Company Address	Via Andrea Appiani 25 20900 MONZA Italy

9 Reference Documentation

Reference	Link
Arduino IDE (Desktop)	https://www.arduino.cc/en/Main/Software
Arduino IDE (Cloud)	https://create.arduino.cc/editor
Cloud IDE Getting Started	https://create.arduino.cc/projecthub/Arduino_Genuino/getting-started-with-arduino-web-editor-4b3e4a
Arduino Pro Website	https://www.arduino.cc/pro
Project Hub	https://create.arduino.cc/projecthub?by=part&part_id=11332&sort=trending
Library Reference	https://www.arduino.cc/reference/en/
Online Store	https://store.arduino.cc/

10 Revision History

Date	Revision	Changes
xx/06/2021	1	Datasheet release

ANEXO C. DATASHEET FUENTE DE ALIMENTACION

Fuente de alimentación S-360-12

The main parameters

Output current range: 12V, 0~30A

Nominal power: 360W

Input voltage range: 220V (185-265V)

Adjustable output voltage range: $\pm 3\%$

Frequency: 50-60Hz

Efficiency > 83%

Range difference: $\pm 1\%$

Upload, keep: 200ms, 50ms, 20ms

Working temperature and humidity: $-10^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$, 20% ~ 90% RH

Temperature and storage humidity: $-20^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$, 10% ~ 95% RH "

Product size: 215 * 115 * 50mm

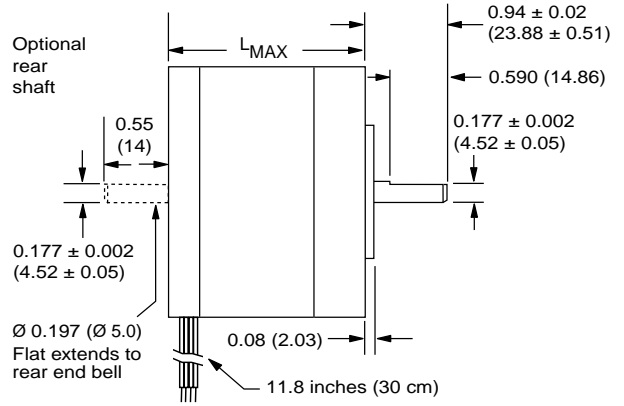
Product weight: 0.9kg

ANEXO D. DATASHEET MOTORES NEMA 17

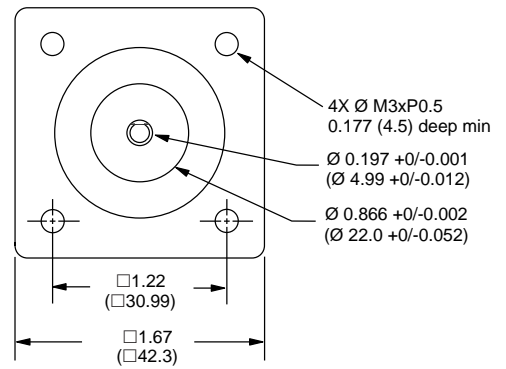
Quick Reference **NEMA size 17 1.8°**
2-phase stepper motor



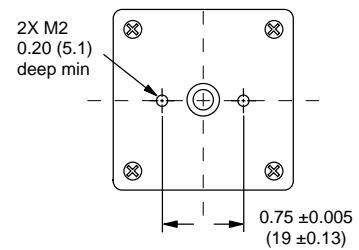
Mechanical Specifications
Dimensions in inches (mm)



FRONT VIEW



REAR VIEW (Reduced)



Motor stack length inches (mm)	Single	Double	Triple
LMAX	1.34 (34.0)	1.57 (40)	1.89 (48)



Notes and Warnings

Installation, configuration and maintenance must be carried out by qualified technicians only. You must have detailed information to be able to carry out this work.

- Unexpected dangers may be encountered when working with this product!
- Incorrect use may destroy this product and connected components!

For more information, go to www.imshome.com

Specifications

1.5 Amp motors		Single length	Double length	Triple length
Part number		M-1713-1.5 • (1)	M-1715-1.5 • (1)	M-1719-1.5 • (1)
Holding torque	oz-in	32	60	75
	N-cm	23	42	53
Detent torque	oz-in	1.7	2.1	3.5
	N-cm	1.2	1.5	2.5
Rotor inertia	oz-in-sec ²	0.000538	0.0008037	0.0011562
	kg-cm ²	0.038	0.057	0.082
Weight	oz	7.4	8.1	12.7
	grams	210	230	360
Phase current	amps	1.5	1.5	1.5
Phase resistance	ohms	1.3	2.1	2.0
Phase inductance	mH	2.1	5.0	3.85

(1) Indicate S for single-shaft or D for double-shaft. Example M-1713-1.5S

Wiring and Connections

Signals and wire colors	
Phase A	Red
Phase /A	Blue
Phase B	Green
Phase /B	Black

Part Numbers

Example:	M - 1 7 1 3 - 1.5 S
Stepper motor frame size	M - 1 7 1 3 - 1.5 S
M-17 = NEMA 17 (1.7"/42 mm)	
Motor length	M - 1 7 1 3 - 1.5 S
13- = single stack	
15- = double stack	
19- = triple stack	
Phase current	M - 1 7 1 3 - 1.5 S
1.5 = 1.5 Amps	
Shaft	M - 1 7 1 3 - 1.5 S
S = single, front shaft only	
D = double, front and rear shafts	
Optional optical encoder (1)	M - 1 7 1 3 - 1.5 E S 1 0 0
ES = Single-end	
ED = Differential	
Line count	
100, 200, 250, 400, 500 or 1000 (2)	

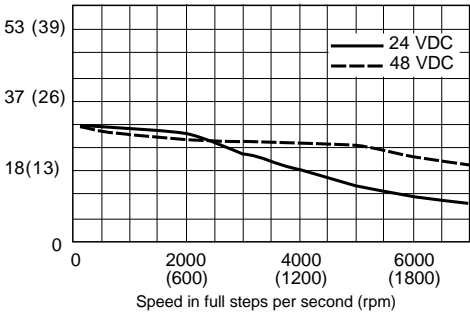
(1) An encoder replaces the shaft designator in the part number.

(2) All encoders have an index mark, except the 1000 line count version.

Torque-speed performance
Measured at 1.5 Amps RMS

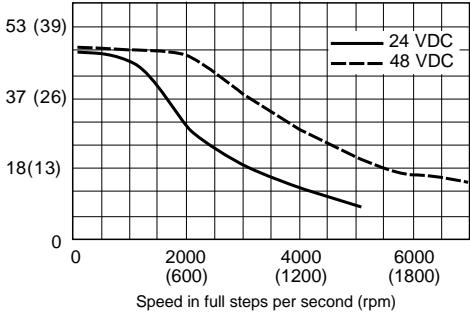
M-1713-1.5

Torque in oz-in (N-cm)



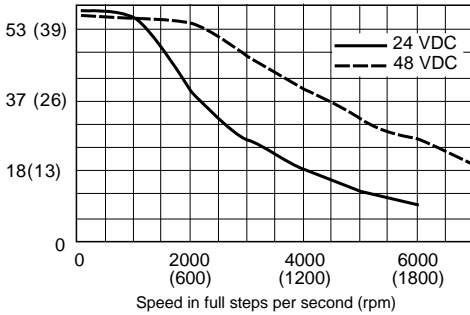
M-1715-1.5

Torque in oz-in (N-cm)



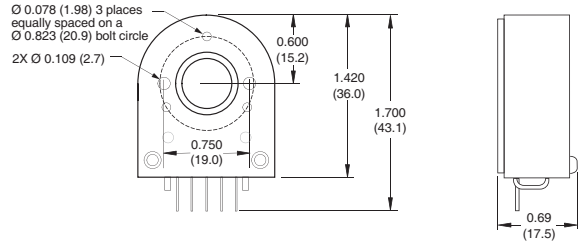
M-1719-1.5

Torque in oz-in (N-cm)



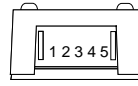
Optical Encoder Option

Dimensions in inches (mm)



Connectivity

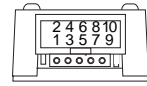
single-end encoder



wire	function
1 Brown	Ground
2 Violet	Index
3 Blue	Channel A
4 Orange	+5 VDC input
5 Yellow	Channel B

optional interface cable available: ES-CABLE-2

differential encoder

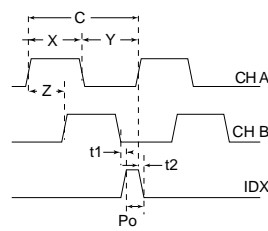


pin function	pin function
1 no connect	6 Channel A+
2 +5 VDC input	7 Channel B-
3 Ground	8 Channel B+
4 no connect	9 Index-
5 Channel A-	10 Index+

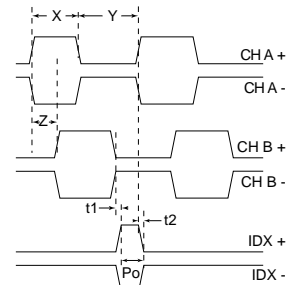
interface cable included

Timing

single-end encoder



differential encoder



Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Units
Cycle error			3	5.5	$^{\circ}$ e
Symmetry		130	180	230	$^{\circ}$ e
Quadrature		40	90	140	$^{\circ}$ e
Index pulse width	Po	60	90	120	$^{\circ}$ e
Index rise (after Ch A or B rise)	t1	-300	100	250	ns
Index fall (after Ch A or B fall)	t2	70	150	1000	ns

C One cycle: 360 electrical degrees ($^{\circ}$ e).
 X/Y Symmetry: the measure of the relationship between X and Y, nominally 180 $^{\circ}$ e.
 Z Quadrature: the phase lead or lag between channels A and B, nominally 90 $^{\circ}$ e.
 Po Index pulse width, nominally 90 $^{\circ}$ e.
 NOTE: Rotation is as viewed from the cover side of the encoder.