



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA


ETSI Aeroespacial y Diseño Industrial

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial
y Diseño Industrial

CONVERSIÓN DE UNA FRESA MANUAL HBM BF 25
PROFI VARIO A UNA MAQUINA CNC AUTOMATIZADA
MEDIANTE ARDUINO Y CONTROLADA POR
SOFTWARE

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Mecatrónica

AUTOR/A: Pascual Griñán, Ferran

Tutor/a: Llopis Albert, Carlos

Cotutor/a: Orti Estiguin, Jesús

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA


Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Conversión de una fresa manual HBM BF 25 Profi Vario a una máquina CNC automatizada mediante Arduino y controlada por software

Trabajo final de máster

Máster en Ingeniería Mecatrónica

Autor: Pascual Griñán, Ferran

Tutor: Llopis Albert, Carlos

Segundo tutor: Orti Estiguin, Jesús

Curso académico: 2023/2024

Agradecimientos

Quiero agradecer a los profesores que he tenido estos dos años, a mis compañeros de empresa y a mis tutores de este trabajo. Agradecer también a mis amigos. Agradecer al amor de mi vida Noemí.

Resumen

En el presente Trabajo Final de Máster se muestra la conversión a CNC de una máquina fresadora manual incluyendo las modificaciones necesarias, diseño mecánico, eléctrico y electrónico, fabricación y montaje de nuevas partes así como la programación del software necesario para automatizar el movimiento de la máquina.

Se dispone del modelo HBM BF 25 Profi Vario con tres ejes de movimiento a husillo manuales los cuales se van a sustituir por motores paso a paso controlados mediante un microcontrolador Arduino. Además, es necesario realizar varias modificaciones mecánicas para obtener una buena precisión en la máquina. El movimiento podrá ser controlado desde el ordenador a través de una aplicación.

Actualmente la máquina dispone de marcado CE, pero debido a que se van a realizar cambios sustanciales en ella será necesario tener en cuenta lo establecido en la Directiva 2006/42/CE a la hora de realizar el nuevo diseño. De esta manera aseguramos que la máquina cumple con los requisitos de seguridad y salud marcados por la normativa.

Todo el desarrollo se ha realizado en la empresa GRUPO TICE INGENIEROS, una empresa dedicada al desarrollo de soluciones técnicas innovadoras para el sector industrial.

Palabras clave: Diseño mecánico; CNC; fresadora manual a CNC; automatización; microcontrolador; Arduino; marcado CE; Directiva de máquinas; Directiva 2006/42/CE.

Abstract

In this Master's Final Project, the conversion to CNC of a manual milling machine is demonstrated, including the necessary modifications, mechanical, electrical and electronic design, manufacturing and assembly of new parts, as well as the programming of the software needed to automate the machine's movement.

The HBM BF 25 Profi Vario model with three manual spindle movement axes will be replaced by stepper motors controlled by an Arduino microcontroller. Additionally, several mechanical modifications are necessary to achieve good precision in the machine. The movement can be controlled from the computer through an application.

Currently, the machine has CE marking, but since substantial changes will be made to it, it will be necessary to take into account the provisions of Directive 2006/42/EC when carrying out the new design. This ensures that the machine complies with the safety and health requirements set by the regulations.

The entire development has been carried out at GRUPO TICE INGENIEROS, a company dedicated to the development of innovative technical solutions for the industrial sector.

Keywords: Mechanical design; CNC; manual milling machine to CNC; automation; microcontroller; Arduino; CE marking; Machinery Directive; Directive 2006/42/EC.

Resum

En aquest Treball Final de Màster es mostra la conversió a CNC d'una màquina fresadora manual incloent les modificacions necessàries, disseny mecànic, elèctric i electrònic, fabricació i muntatge de noves peces així com la programació del software necessari per automatitzar el moviment de la màquina.

Es disposa del model HBM BF 25 Profi Vario amb tres eixos de moviment a broca manuals els quals es substituiran per motors pas a pas controlats mitjançant un microcontrolador Arduino. A més, és necessari realitzar diverses modificacions mecàniques per obtenir una bona precisió en la màquina. El moviment podrà ser controlat des de l'ordinador a través d'una aplicació.

Actualment la màquina disposa de marcat CE, però com es realitzaran canvis substancials en ella serà necessari tindre en compte l'establert en la Directiva 2006/42/CE a l'hora de realitzar el nou disseny. D'aquesta manera assurem que la màquina compleix amb els requisits de seguretat i salut marcats per la normativa.

Tot el desenvolupament s'ha realitzat a l'empresa GRUP TICE INGENIERS, una empresa dedicada al desenvolupament de solucions tècniques innovadores per al sector industrial.

Paraules clau: Disseny mecànic; CNC; fresadora manual a CNC; automatització; microcontrolador; Arduino; marcat CE; Directiva de màquines; Directiva 2006/42/CE.

Índice

Índice de ilustraciones.....	11
Índice de tablas.....	13
Memoria.....	15
1. Objetivos.....	17
1.1. Objetivo general.....	17
1.2. Objetivos específicos.....	17
1.3. Alcance del trabajo.....	17
2. Introducción.....	18
2.1. Marco histórico.....	18
2.2. Mercado CE.....	20
2.2.1 Procedimiento de evaluación de conformidad de las máquinas.....	20
2.2.2. Evaluación de riesgos.....	21
2.3. Fresa manual HBM BF 25 Profi Vario.....	21
3. Materiales para la conversión.....	24
3.1. Definición de los husillos.....	24
3.2. Motores paso a paso.....	26
3.3. Drivers.....	32
3.4. Microcontrolador.....	33
3.5. Fuente de alimentación.....	34
3.6. Sensores.....	34
3.7. Software.....	36
3.8. G-CODES.....	38
4. Diseño mecánico.....	40
4.1. Modelo 3D inicial de la fresadora.....	40
4.1.1. Croquis de piezas.....	40
4.1.2. Diseño en SolidWorks.....	41
4.2. Parámetros de corte fresadora.....	44
4.3. Elección de motores para husillo a bolas en eje horizontal y vertical.....	45
4.4. Diseño de los soportes para los husillos y los motores.....	47
4.4.1. Eje X.....	47
4.4.2. Eje Y.....	50

4.4.3. Eje Z.....	52
4.5. Modelo final fresadora CNC.....	54
5. Diseño eléctrico y electrónico.....	56
5.1. Características de los dispositivos.....	56
5.2. Conexión eléctrico.....	57
5.3. Integración del cuadro eléctrico.....	58
6. Programación software.....	59
7. Evaluación de conformidad.....	60
8. Conclusiones.....	62
BIBLIOGRAFÍA.....	63
PLIEGO DE CONDICIONES.....	65
B.1. Condiciones de los materiales.....	66
B.2. Condiciones de ejecución.....	66
B.3. Condiciones de uso y mantenimiento.....	66
B.4. Puesta en servicio.....	67
PRESUPUESTO.....	69
P.1. Coste de recursos humanos.....	70
P.2. Coste de materiales.....	71
P.3. Coste de Software.....	71
P.4. Coste total.....	71
ANEXO I. PLANOS.....	73

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Máquina CNC antigua.....	19
Ilustración 2. Máquina de impresión 3D.....	19
Ilustración 3. Máquina de corte láser	19
Ilustración 4. Máquina fresadora HBM BF 25 Profi Vario.....	21
Ilustración 5. Husillo roscado trapezoidal.....	24
Ilustración 6. Partes husillo roscado trapezoidal	25
Ilustración 7. Husillo a bolas.....	26
Ilustración 8. Motor paso a paso	27
Ilustración 9. Esquema motor paso a paso de reluctancia variable	28
Ilustración 10. Esquema motor paso a paso híbrido.....	28
Ilustración 11. Esquema motor paso a paso unipolar	29
Ilustración 12. Esquema motor paso a paso bipolar	29
Ilustración 13. Regulador en bucle abierto.....	30
Ilustración 14. Encoder	31
Ilustración 15. Patrón encoder.....	31
Ilustración 16. Regulador en bucle cerrado.....	31
Ilustración 17. Driver motor paso a paso	32
Ilustración 18. Conexión señal de control al driver.....	33
Ilustración 19. Microcontrolador.....	33
Ilustración 20. Fuente de alimentación.....	34
Ilustración 21. Sensor final de carrera.....	35
Ilustración 22. Sensor inductivo.....	35
Ilustración 23. Sensor magnético	35
Ilustración 24. Entorno de trabajo de SolidWorks	36
Ilustración 25. Flujo de creación de una pieza mediante fresadora CNC	36
Ilustración 26. Entorno de trabajo de MACH3	37
Ilustración 27. Entorno de trabajo de SolidWorks Electrical	37
Ilustración 28. Croquis pieza.....	40
Ilustración 29. Operaciones de SolidWorks	41
Ilustración 30. Subensamblaje eje X 3D	42
Ilustración 31. Subensamblaje eje Y 3D	43
Ilustración 32. Subensamblaje eje Z 3D.....	43
Ilustración 33. Ensamblaje principal 3D.....	44
Ilustración 34. Plano motor 34HS86-5090A.....	47
Ilustración 35. Vista explosionada conexión motor	48

Ilustración 36. Vista explosionada parte izquierda conexionado	49
Ilustración 37. Vista inferior subensamblaje X	49
Ilustración 38. Vista explosionada conexión motor eje Y	51
Ilustración 39. Vista seccionada ensamblaje Y	51
Ilustración 40. Vista explosionada y de sección eje Z	53
Ilustración 41. Modelo fresadora CNC	54
Ilustración 42. Configuración de corriente para driver	56
Ilustración 43. Configuración de subdivisiones driver	57
Ilustración 44. Montaje eléctrico	58
Ilustración 45. Modelo fresadora CNC con cuadro eléctrico integrado	58
Ilustración 46. Display MACH3	59

Índice de tablas

Tabla 1. Partes de la fresadora	22
Tabla 2. Precisiones estándar husillos a bolas.....	25
Tabla 3. G-Codes	38
Tabla 4. M-Codes	38
Tabla 5. Medidas husillos.....	45
Tabla 6. Componentes eje X 1	47
Tabla 7. Componentes eje X 2	48
Tabla 8. Antes y después eje X	50
Tabla 9. Componentes eje Y 1	50
Tabla 10. Antes y después eje Y	52
Tabla 11. Componentes eje Z.....	52
Tabla 12. Antes y después eje Z.....	54
Tabla 13. Características componentes eléctricos.....	57

Parte I
Memoria

1. Objetivos

1.1. Objetivo general

El objetivo principal de este proyecto es realizar la conversión de la fresadora manual modelo HBM BF 25 Profi Vario a una máquina CNC¹ completamente automatizada. Los ejes de la máquina pasarán de ser controlados manualmente por el operador a ser controlados mediante microcontrolador y software.

1.2. Objetivos específicos

- Diseño del modelo 3D de la máquina fresadora actual.
- Cálculo y elección de los nuevos husillos, motores paso a paso y otros componentes.
- Diseño y fabricación de los soportes para las nuevas piezas.
- Diseño eléctrico y electrónico para el control de los motores.
- Programación del software para la automatización de la fresadora.
- Diseñar y fabricar conforme a los requisitos esenciales de seguridad y salud marcados por la Directiva 2006/42/CE.

1.3. Alcance del trabajo

El trabajo se afronta como un proyecto de ingeniería siguiendo el proceso de toma de datos, diseño y posterior fabricación. Una vez cumplidos con los objetivos del proyecto, la máquina resultante será una máquina fresadora CNC automatizada accionada por motores y controlada mediante software capaz de realizar mecanizados de precisión. Además, la máquina dispondrá del marcado CE que garantiza el uso seguro para los trabajadores y podrá ser comercializada si se desea en un futuro.

¹ CNC: Control numérico por computadora

2. Introducción

2.1. Marco histórico

Se desconoce el origen exacto de la máquina fresadora, pero lo que se sabe es que supuso un gran paso en la industria y revolucionó la metodología para realizar mecanizados.

La evolución de la industria impulsó la creación de la máquina fresadora como forma de agilizar y mejorar la producción de las empresas. Fue creada para realizar piezas idénticas de manera repetitiva, además aportaba gran flexibilidad a la hora de cambiar los diseños y mecanizar diferentes tipos de patrones. El material que más se trabajaba era el hierro ya que era la manera más simple de poder mecanizarlo para crear diseños que de otra forma parecían imposibles.

Se dice que la máquina fresadora mantuvo sus características iniciales durante largo tiempo ya que su diseño era tan bueno que la ingeniería no era capaz de mejorar su funcionalidad con los recursos de los que se disponía. No obstante, nos encontramos en una era de progreso constante y es inevitable el cambio.

La evolución de la máquina fresadora fue la máquina de control numérico por computadora o de manera abreviada CNC.

Hasta ese punto, la máquina fresadora se había estado utilizando de forma manual por los operarios de las fábricas. El control numérico permitió automatizar estos equipos para realizar los trabajos de forma autónoma, mejorando no solo la productividad si no también la precisión en el mecanizado de las piezas.

La creación de estas máquinas CNC fue un arduo trabajo. La primera máquina de este tipo fue creada en el Instituto Tecnológico de Massachusetts en 1952. La llamaban fresadora Cincinnati.

La evolución de la industria ha ido mejorando cada vez más las máquinas CNC. La aparición del microcontrolador permitió dar un gran salto en el control de las máquinas fresadora, haciéndolas más sencillas de controlar, dotándolas de más precisión y disminuyendo el tamaño total de máquina.

A continuación en la Ilustración 1 se puede ver una imagen de una de las primeras máquinas CNC. Se destaca la magnitud de los componentes de control necesarios en comparación con la actualidad.

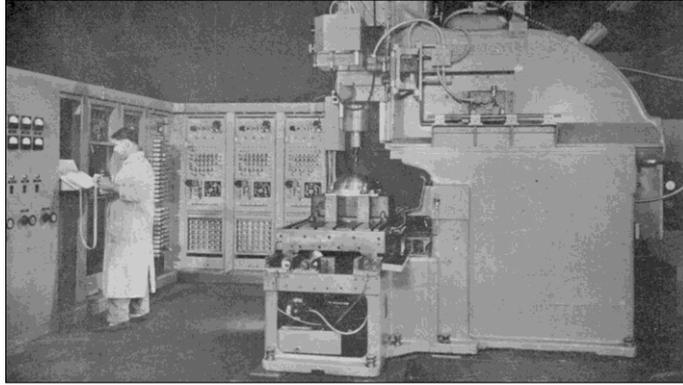


Ilustración 1. Máquina CNC antigua

Pero el control numérico no es algo que se limita a las máquinas fresadoras, también es utilizado en tornos, máquinas de corte láser o impresora 3D.

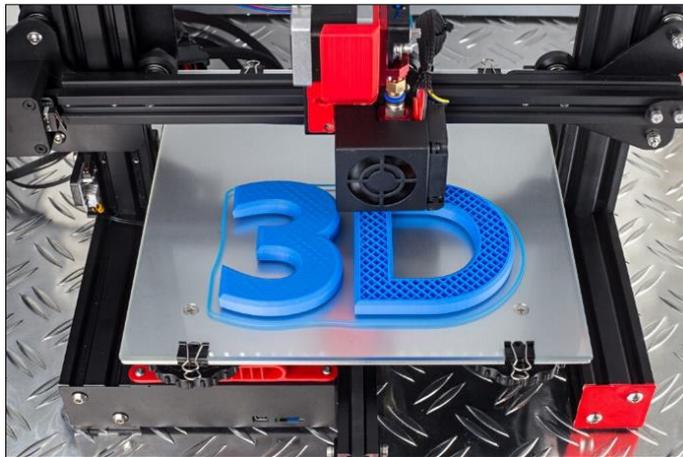


Ilustración 2. Máquina de impresión 3D



Ilustración 3. Máquina de corte láser

Actualmente el camino se centra en la automatización a gran escala en combinación con la denominada Industria 4.0.

2.2. Mercado CE

El mercado CE es una certificación europea necesaria para comercializar diferentes tipos de productos dentro de la comunidad. Este mercado garantiza que los productos y equipos cumplen con una serie de requisitos esenciales de seguridad y salud marcados por la legislación de la Unión Europea. El fabricante o su representante autorizado es el responsable de certificar la conformidad de su producto con los requisitos del mercado CE.

En este caso se dispone de una máquina fresadora la cual ya tenía un marcado CE asociado. Al tratarse de una máquina², la legislación aplicable es la Directiva 2006/42/CE también conocida como Directiva de Máquinas.

2.2.1 Procedimiento de evaluación de conformidad de las máquinas

Dado que se van a realizar cambios sustanciales en el equipo será necesario realizar nuevamente el marcado CE.

Según el artículo 12 de la Directiva 2006/42/CE: *“Para certificar la conformidad de una máquina con las disposiciones de la presente Directiva, el fabricante o su representante autorizado aplicará uno de los procedimientos de evaluación de la conformidad descritos en los apartados 2, 3 y 4”*.

Lo primero que se debe comprobar es si se trata de una máquina que figura en el *anexo IV* de la directiva. Se revisa el listado y se comprueba que no se trata de una máquina de las nombradas en el anexo IV. Por tanto, según el procedimiento de la directiva *“se debe realizar el procedimiento de evaluación de conformidad con control interno de fabricación de la máquina previsto en el anexo VIII”*.

En este caso de deben tener en cuenta dos puntos:

- Elaboración del expediente técnico descrito en el anexo VII con relación a las máquinas.
- En caso de fabricación en serie, se deberá garantizar que el proceso de fabricación se desarrolle de modo que se cumpla con la conformidad de todos los equipos.

El expediente técnico son una serie de documentos que demuestran la conformidad de la máquina con los requisitos de la Directiva 2006/42/CE. Consta de:

- Una descripción general de la máquina
- Planos de la máquina, tanto eléctricos como referentes al diseño
- Evaluación de riesgos
- Normativa aplicable
- Informe o ensayos necesarios
- Manual de instrucciones
- Declaración CE de conformidad

² Máquina: conjunto de partes o componentes vinculados entre sí, de los cuales al menos uno es móvil, asociados para una aplicación determinada, provisto o destinado a estar provisto de un sistema de accionamiento distinto de la fuerza humana o animal.

Tras finalizar la conversión de la fresadora a una máquina CNC será necesario realizar el procedimiento descrito. En los próximos puntos se detallará el proceso.

2.2.2. Evaluación de riesgos

La evaluación de riesgos es un método utilizado para verificar los requisitos esenciales de seguridad y salud relativos al diseño y la fabricación de las máquinas. Se trata de un proceso iterativo de identificación, evaluación y reducción o eliminación de riesgos. De esta manera se garantiza el uso seguro por los usuarios de la máquina.

Para realizar esta evaluación de riesgos se deben tener en cuenta dos puntos:

- Normativa UNE EN ISO 12100:2012. Referente a seguridad de las máquinas. Principios generales para diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo.
- Anexo I de la Directiva 2006/42/CE. Referente a los requisitos esenciales de seguridad y de salud relativos al diseño y la fabricación de las máquinas.

En la empresa Grupo TICE Ingenieros se ha desarrollado un proceso propio de evaluación de riesgos que más adelante se utilizará para evaluar la máquina fresadora.

2.3. Fresa manual HBM BF 25 Profi Vario

La máquina base desde donde se parte es una fresadora manual modelo HBM BF 25 Profi Vario.

Se trata de una fresadora manual de tres ejes a husillo, con una interfaz de control desde donde se acciona y se controla la velocidad y una pantalla frontal que controla de forma más precisa la posición de los útiles de mecanizado.



Ilustración 4. Máquina fresadora HBM BF 25 Profi Vario

Tabla 1. Partes de la fresadora

Parte	Aspecto	Descripción
Manivela y carro eje X		Manivela que permite controlar el movimiento del plato principal a lo largo del eje X
Manivela y carro eje Y		Manivela que permite controlar el movimiento del plato principal a lo largo del eje Y
Manivela y carro eje Z		Manivela que permite controlar el movimiento del plato principal a lo largo del eje Z
Órganos de accionamiento		<p>Desde estos controles se modifica la velocidad de giro del útil de fresado gracias al variador de frecuencia.</p> <p>Se dispone de un botón de marcha/paro y un pulsador de parada de emergencia.</p> <p>La velocidad de giro de la herramienta también se puede controlar.</p>

<p>Control de la posición del útil de fresado</p>		<p>Desde la pantalla frontal se puede ajustar la posición exacta a la que se encuentra el útil para mecanizar. De esta forma se consigue gran precisión en el acabado de las piezas.</p>
<p>Motor</p>		<p>Se trata de un motor asíncrono trifásico de jaula de ardilla. Sus características a 50 Hz son:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Potencia (KW): 0,75 kW - Voltaje (V): 230/400 Δ/Y - Intensidad (A): 3,11/1,8 Δ/Y - Velocidad (RPM): 2480

3. Materiales para la conversión

El objetivo es realizar una conversión total de una máquina fresadora manual a una máquina de control numérico por computadora. Para ello será necesario incluir nuevos componentes en el equipo inicial. Los sistemas para realizar la conversión son variados y amplios, desde el punto de vista de diseño se pretende simplificar lo máximo posible los elementos necesarios sin poner en compromiso el correcto funcionamiento del equipo.

Se necesita que el equipo quede completamente automatizado variando lo menos posible la estructura inicial de la máquina.

Una vez se finalice el proceso de conversión, la máquina se utilizará para pequeños y medianos mecanizados de piezas de materiales variados (plásticos, hierros y aluminios).

Los dos factores clave serán la precisión y el control.

A continuación se describen los elementos nuevos que se implementarán.

3.1. Definición de los husillos

Un husillo es un actuador mecánico que permite convertir un movimiento de rotación (el movimiento de la manivela) en un movimiento lineal (movimiento de los carros o ejes). Se dispone de una parte fija llamada tuerca donde se aloja el husillo. La tuerca suele ir atornillada a alguna parte fija de la máquina y es el propio husillo el que se mueve a través de la tuerca desplazando el carro correspondiente.



Ilustración 5. Husillo roscado trapecoidal



Ilustración 6. Partes husillo roscado trapezoidal

Actualmente el movimiento de los tres ejes de la máquina viene dado por husillos roscados trapezoidales accionados a través de las manivelas manuales. Presentan un movimiento suave y ligero pero no disponen de la precisión requerida para una máquina CNC.

La desviación de paso actual de los husillos es de 0,1 mm sobre 300 mm, es decir, por cada 300 mm de desplazamiento el error que se puede cometer en la medida es de 0,1 mm.

$$v_{300pi} = 0,1 \text{ mm}$$

Este es el primer problema que se presenta a la hora de la conversión. Las máquinas CNC garantizan una precisión superior. El rango de tolerancia de una máquina CNC varía dependiendo del tipo y modelo pero pueden alcanzar los $\pm 0,005 \text{ mm}$.

$$v_{300pi} = 0,1 \text{ mm} > \pm 0,005 \text{ mm}$$

Por tanto, el primer objetivo es encontrar unos husillos que puedan garantizar una precisión menor a la actual.

Cabe destacar que es posible conseguir mayores precisiones pero no es el objetivo del presente trabajo dada la funcionalidad que se busca. Una precisión de alrededor $\pm 0,05 \text{ mm}$ será suficiente.

En general los husillos utilizados para las máquinas de este tipo son los husillos a bolas. El mecanismo es similar al de husillo roscado pero esta vez la tuerca dispone de un camino de rodadura helicoidal donde se alojan las bolas que permite el movimiento del eje por rotación. De esta manera el rozamiento que se produce entre partes es menor.

El catálogo de husillos a bolas es amplio y presenta diferentes tipos de precisión:

Tabla 2. Precisiones estándar husillos a bolas

Desviación de paso (mm)	T3	T5	T7	T10
v_{300p}	0,018	0,023	0,052	0,21



Ilustración 7. Husillo a bolas

Se han estudiado las diferentes opciones y se ha elegido escoger un husillo a bolas con precisión T7 lo que supone un error de $\pm 0,052$ mm por cada 300 mm de recorrido. El paso de este husillo es de 5 mm.

Las medidas de cada husillo se presentan más adelante en el apartado de diseño mecánico.

Para el acoplamiento entre el eje del husillo y el eje del motor se utiliza un acoplamiento CM30C.



Ilustración 8. Acoplamiento motor-husillo

3.2. Motores paso a paso

Para automatizar los ejes de la fresadora es necesario incluir motores eléctricos que sustituyan la acción humana.

Para la elección de los motores se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- Precisión
- Control
- Par

En este caso la velocidad no supone un factor importante a tener en cuenta ya que los movimientos que se buscan van a ser en gran medida lentos.

Los motores más utilizados para las máquinas de control CNC en general son los motores paso a paso dado el funcionamiento preciso, la facilidad en el control de su posición y el bajo coste en comparación con otro tipo.

Dentro de las máquinas de mayor precisión se utilizan los servomotores ya que poseen mayores prestaciones que los motores paso a paso.

Las características más importantes de los servomotores con respecto a los motores paso a paso son:

- Mayor rango de potencia y par dada su construcción
- Curva par/velocidad constante. Mismo par a diferentes velocidades
- Mayor precisión
- Electrónica compleja
- Coste alto

Como se observa los servomotores son en general mejor opción que los motores paso a paso, sin embargo para la presente aplicación no es necesario disponer de las características que ofrece un servomotor. Con motores paso a paso se puede alcanzar la precisión y el control deseados a un menor precio y con una instalación más sencilla.



Ilustración 9. Motor paso a paso

Un motor paso a paso funciona mediante la ejecución de pulsos que se convierten en un movimiento angular. El microcontrolador envía el pulso al driver del motor que vuelve a enviar el pulso requerido al motor.

Como cualquier otro motor eléctrico dispone de dos partes, el rotor y el estator. El estator es una bobina fija por la cual fluye la corriente que excita el rotor que es la parte móvil que forma el eje del motor.

Normalmente el ángulo de rotación por pulso de los motores paso a paso es de $1,8^\circ$ por tanto, para realizar un giro completo sería necesario dar 200 pulsos.

$$200 \times 1,8^\circ = 360^\circ$$

De forma general se puede dividir a los motores paso a paso en dos grupos: motores paso a paso de imanes permanentes y sin imanes permanentes.

Motor paso a paso de reluctancia variable

Dentro de los motores paso a paso sin imanes permanentes se encuentran los de reluctancia variable. El estator y el rotor de este tipo de motores está formado por hierro dulce, la interacción magnética cuando se excita el estator es lo que provoca el movimiento en el roto. Dada su construcción este tipo de motores disponen de bajo par y precisión. Además, el ángulo de rotación varía desde $3,6^\circ$ a 30° .

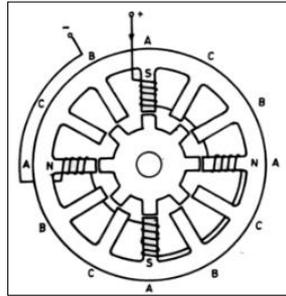


Ilustración 10. Esquema motor paso a paso de reluctancia variable

Motor paso a paso híbrido

Se trata del modelo más popular en la industria. La diferencia principal es que los imanes permanentes del rotor se encuentran magnetizados axialmente. Estos imanes se encuentran entre dos anillos dentados de 50 dientes. El estator por su parte cuenta con 8 polos de 5 dientes cada uno.

Estas características le conceden al motor una gran fiabilidad, par, par de arranque y precisión. Como aspectos negativos cuenta con gran inercia debido a su peso y el rendimiento va ligado en gran medida a la fuerza de los campos magnéticos.

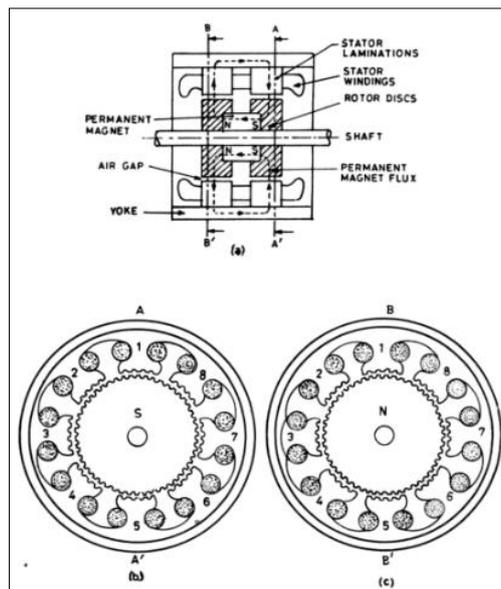


Ilustración 11. Esquema motor paso a paso híbrido

Motor paso a paso unipolar y bipolar

Los motores paso a paso pueden dividirse también en unipolares y bipolares. El motor unipolar cuenta con dos bobinas de línea común que funcionan con una única polaridad mientras que el motor bipolar cuenta con dos bobinas independientes.

Generalmente los motores bipolares ofrecen mejores prestaciones ya que disponen de mayor par y menor coste a costa de un control complejo.

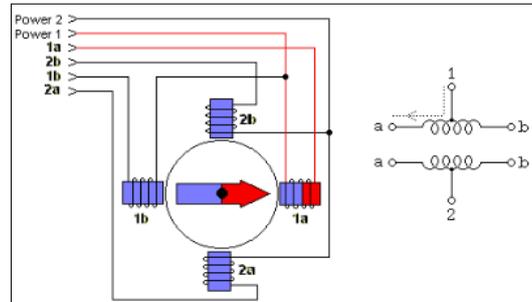


Ilustración 12. Esquema motor paso a paso unipolar

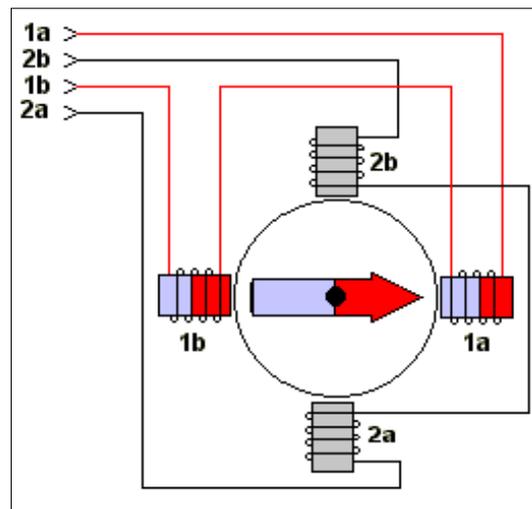


Ilustración 13. Esquema motor paso a paso bipolar

Regulación del motor

Un motor eléctrico es un accionamiento electromecánico capaz de transformar la energía eléctrica en mecánica manteniendo un control gracias a la regulación de alguna de sus variables mecánicas (velocidad, posición y par).

Para realizar esta acción de control se utilizan lo que se llaman sistemas de regulación. Dentro de estos sistemas distinguimos dos variables, sistemas de regulación en bucle abierto y sistemas de regulación en bucle cerrado. Dentro de los dos sistemas se puede añadir lo que se denomina un controlador. Este controlador modifica la señal de entrada para obtener un mejor comportamiento final. Este tipo de reguladores pueden ser de tipo P, PI o PID. En este trabajo no se hace hincapié en los controladores ya que no es un punto importante del cual se vaya a modificar nada.

Bucle abierto:

Se trata del sistema de control más simple. La variable de referencia o entrada determina directamente la variable de salida y no se dispone de realimentación para regular el sistema. En este caso las perturbaciones pueden producir una desviación del valor de salida ya que en ningún momento se llega a conocer el estado final.

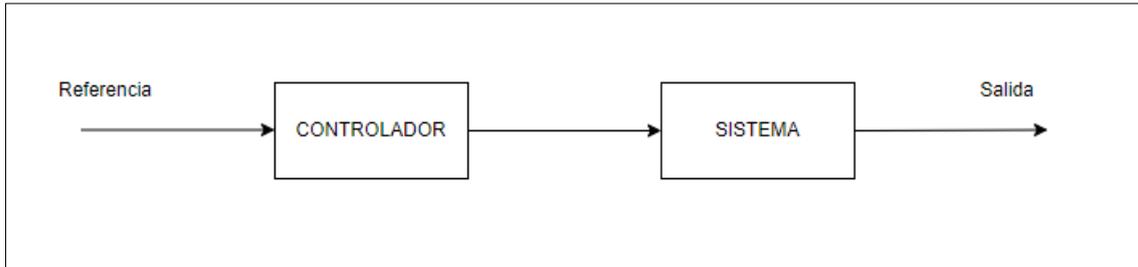


Ilustración 14. Regulador en bucle abierto

Bucle cerrado

En este sistema de control se dispone de un canal de realimentación que permite conocer el estado de la variable de salida. De esta manera se puede calcular la diferencia entre la variable de entrada (valor deseado) y la variable de salida (valor real). La diferencia de estos dos valores es lo que se conoce como error.

Ante perturbaciones el sistema se puede regular para no verse afectado y mantener la precisión en el control.

La manera de conocer el estado de la variable de salida es mediante un encoder. El encoder es un sensor electromecánico que es capaz de convertir la posición angular en una señal eléctrica digital. Se basa en la detección de un fotorreceptor de la luz emitida por un fotodiodo a través de un disco que gira solidario al eje y que dispone de diversas ranuras.

Dentro de los encoder se puede medir la posición de manera incremental o absoluta.

El encoder incremental proporciona una serie de pulsos según el número de ranuras de las que se disponga. Para poder determinar su posición es necesario añadir un contador de pulsos y para poder conocer el sentido de giro es necesario utilizar dos canales desfasados 90°.

El encoder absoluto permite conocer la posición angular y sentido de giro del eje mediante una salida codificada. La anchura y distribución de las ranuras son las que determinan la señal codificada. Se puede utilizar un disco con marcas a partir del código Gray o código binario.



Ilustración 15. Encoder

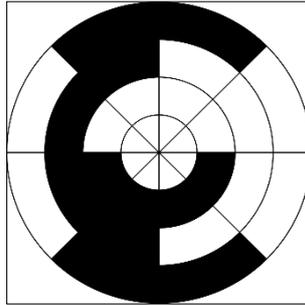


Ilustración 16. Patrón encoder

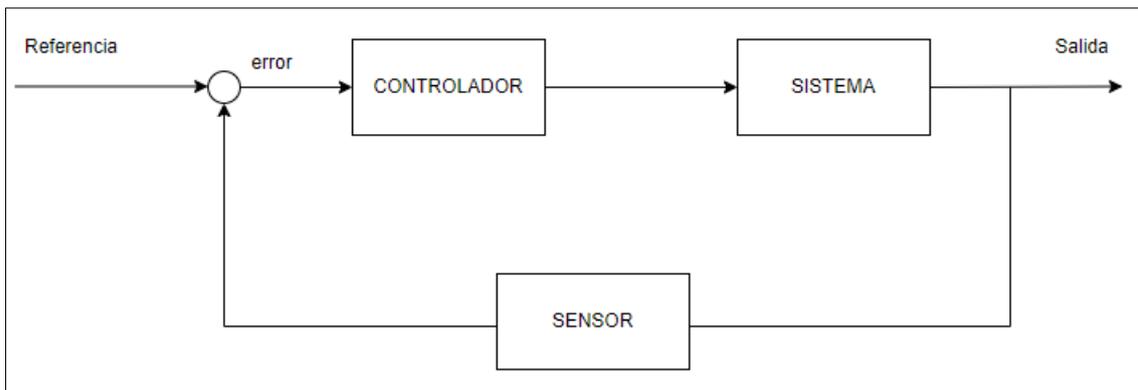


Ilustración 17. Regulador en bucle cerrado

Elección de motor

Presentadas y estudiadas las diferentes opciones se escoge utilizar los motores paso a paso híbridos dadas sus características, además, son los tipos más comunes que se pueden encontrar en el mercado.

En concreto se utiliza el modelo NEMA 34 con control por bucle abierto.

Se elige un control en bucle abierto ya que no se espera que se presenten perturbaciones en la máquina durante su funcionamiento.

Una vez elegido el tipo se debe calcular el par necesario que deberá tener el motor para poder mover cada uno de los ejes. Este cálculo se muestra más adelante.

3.3. Drivers

Los drivers son un punto esencial en el control de los motores eléctricos. Sin ellos, el motor no sabría interpretar correctamente las señales que envía el microcontrolador. Para escoger los drivers del motor es necesario tener en cuenta diversos aspectos:

- Tensión de entrada (V)
- Corriente de salida (A)
- Corriente de entrada de señal (mA)
- Tipo de motor compatible

Todos estos aspectos deben ser compatibles con las características del motor y el microcontrolador.

El aspecto de un driver se puede apreciar en la Ilustración 18. En la parte superior posee los pines dedicados al conexionado que llega desde el microcontrolador. Desde esos pines se controlan los pulsos del motor, la dirección de giro y la habilitación del motor. Además se puede conectar desde el controlador de dos formas, cátodo común o PNP y ánodo común o NPN. En la Ilustración 19 se aprecian los dos métodos (cátodo común arriba y ánodo común debajo).

Internamente el driver dispone de unos interruptores (SW1 a SW6) que dependiendo de su posición (ON y OFF) el driver adoptará una configuración u otra.

Los pines inferiores son los que se conectan al motor paso a paso y a una fuente de alimentación.



Ilustración 18. Driver motor paso a paso

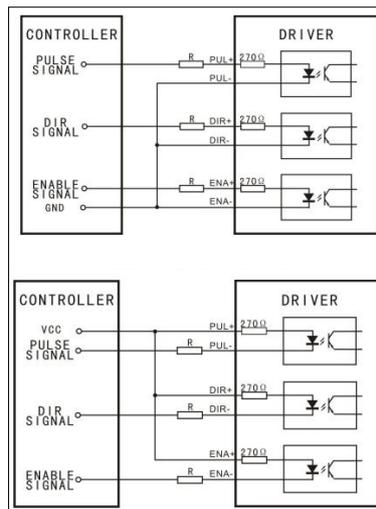


Ilustración 19. Conexión señal de control al driver

3.4. Microcontrolador

Un microcontrolador es un circuito integrado diseñado para ejecutar ordenes grabadas. La combinación del software y hardware que forma el microcontrolador es a su vez un sistema embebido. Se puede afirmar que un microcontrolador es un ordenador.

Estos dispositivos son de gran utilidad para controlar todo tipo de procesos dada su gran variedad de entradas y salidas digitales desde las que puede tanto recibir como transmitir información.

En este caso el microcontrolador servirá para interpretar las órdenes recibidas del programa “MACH3” (que más adelante se expone) y transmitir esas mismas órdenes a los motores pasando por los drivers.

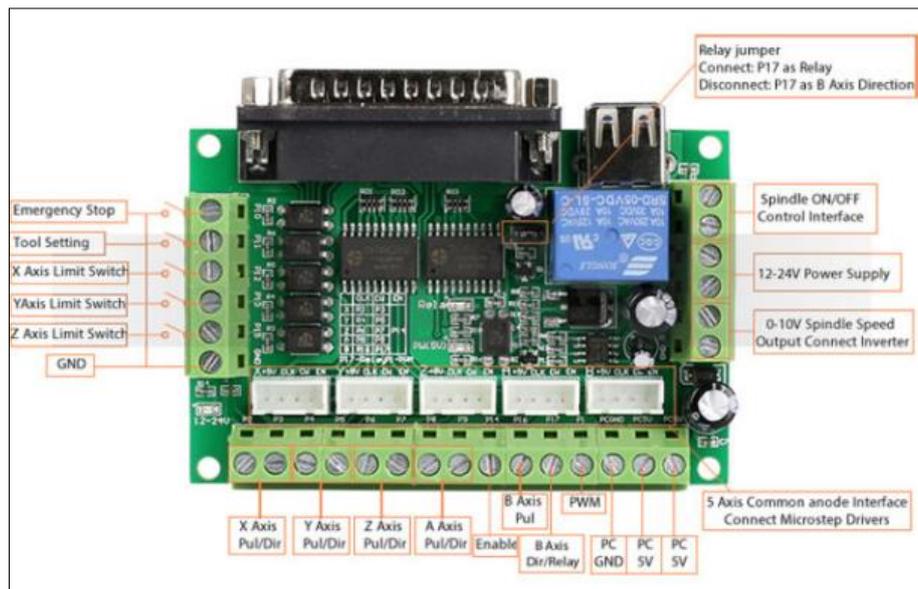


Ilustración 20. Microcontrolador

Tal y como muestra la Ilustración 20, en la parte inferior de la placa se alojan los pines de salida para los controles del motor. A la izquierda se disponen los dispositivos de seguridad y a la derecha los periféricos del taladro.

Se ha escogido este microcontrolador ya que cumple con los requerimientos y además es compatible con el programa que se utiliza.

3.5. Fuente de alimentación

La fuente de alimentación es capaz de adaptar las características de la red eléctrica a los componentes a los que vaya conectado. Será necesaria para poder conectar todos los dispositivos anteriormente mencionados.

Se pretende añadir una fuente de alimentación por cada eje con motor. Para escoger una se debe tener en cuenta la tensión, la intensidad y la potencia de esta. Una vez escogidos los modelos exactos de los motores se podrá elegir una fuente de alimentación apropiada.

En el apartado de diseño eléctrico se mostrará la elección.



Ilustración 21. Fuente de alimentación

3.6. Sensores

Los sensores son una parte fundamental de la construcción para poder controlar correctamente el proceso.

Tal y como se ha planteado el control de los ejes será necesario añadir sensores externos. Su función será la de garantizar un posicionamiento inicial correcto de los tres ejes y evitar que los ejes se salgan del límite del recorrido. En la puesta en marcha los ejes se moverán uno por uno hasta la detección del sensor, en ese momento el programa entenderá que se encuentra en la posición “0” de cada eje. A partir del punto conocido se puede controlar el movimiento.

Internamente el sensor conmutará entre dos posiciones, una normalmente abierta y otra normalmente cerrada. Cuando sean accionados se mandará la orden de posición “0” y se parará el movimiento del eje y se pasará al siguiente.

Dentro de los sensores que se pueden aplicar para esta función encontramos:

- Final de carrera: sensor mecánico que funciona por el empuje de su vástago



Ilustración 22. Sensor final de carrera

- Sensor inductivo: sensor eléctrico que detecta presencias en su cara frontal



Ilustración 23. Sensor inductivo

- Sensor magnético: sensor eléctrico que funciona por proximidad y magnetismo



Ilustración 24. Sensor magnético

Cualquiera de las tres opciones es válida. El cableado e instalación de los tres es similar y no supone un factor diferencial. La diferencia más grande es el precio de cada uno. Los sensores de final de carrera suelen ser más asequibles dada su construcción. Si bien es cierto que los demás sensores disponen de mayor precisión, este punto no resulta crítico en este apartado.

Los sensores elegidos son seis finales de carrera mecánicos.

Dentro del apartado de diseño eléctrico se mostrarán las conexiones de los sensores.

3.7. Software

A continuación se explican los programas que se han usado para realizar el proyecto.

SOLIDWORKS

SolidWorks es un programa de diseño asistido por ordenador (CAD). Desde el programa es posible diseñar todo tipo de piezas así como realizar análisis o simulaciones varias. Se trata de un programa completo que cuenta también con parte de diseño eléctrico.

Se ha elegido SolidWorks porque es un programa conocido con el que se ha trabajado durante los años de estudio.

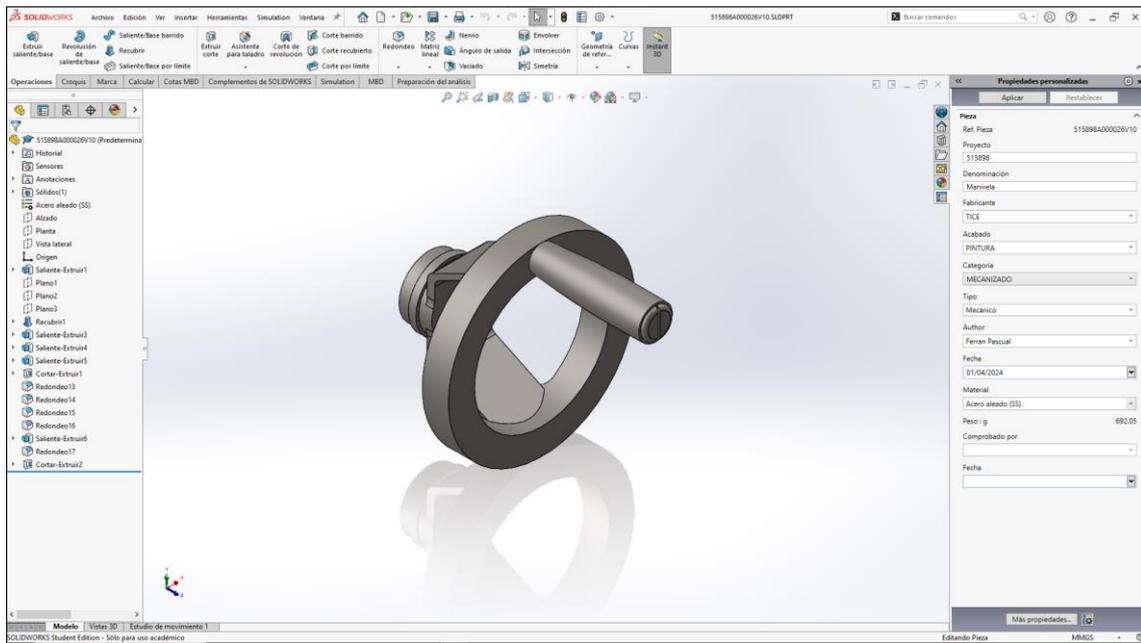


Ilustración 25. Entorno de trabajo de SolidWorks

MACH3

MACH3 es un software gratuito para aplicaciones CNC. Dispone de programa CAM y CNC.

La función del software de control CAM es la de traducir archivos de modelos 3D CAD en instrucciones de control numérico por ordenador.

El software CNC es capaz de interpretar el archivo de G-Codes CAM y mandar las instrucciones necesarias a través del microcontrolador a los diferentes motores.

El programa permite controlar tanto manualmente los ejes como cargar archivos de piezas y ejecutarlos automáticamente.

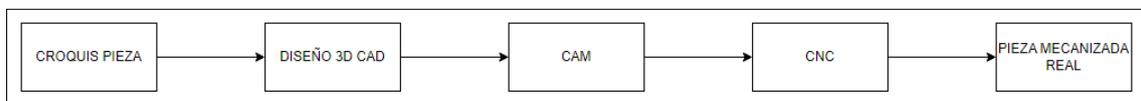


Ilustración 26. Flujo de creación de una pieza mediante fresadora CNC

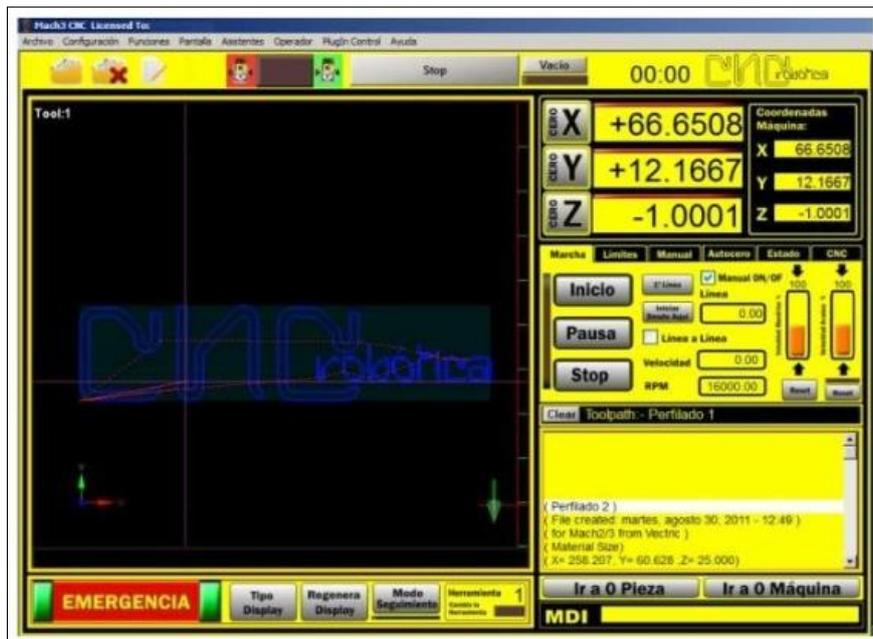


Ilustración 27. Entorno de trabajo de MACH3

SOLIDWORKS ELECTRICAL

SolidWorks Electrical es un programa enfocado en los aspectos eléctricos, de automatización y de mecatrónica de la ingeniería (CAE). Este software permite la creación de diseños de esquemas eléctricos con todo tipo de componentes.

Será necesario su uso para diseñar el conexionado de los diferentes componentes eléctricos y electrónicos necesarios. De esta forma se puede agilizar el proceso de montaje futuro y se puede comprobar que las conexiones son las adecuadas gracias a simulaciones.

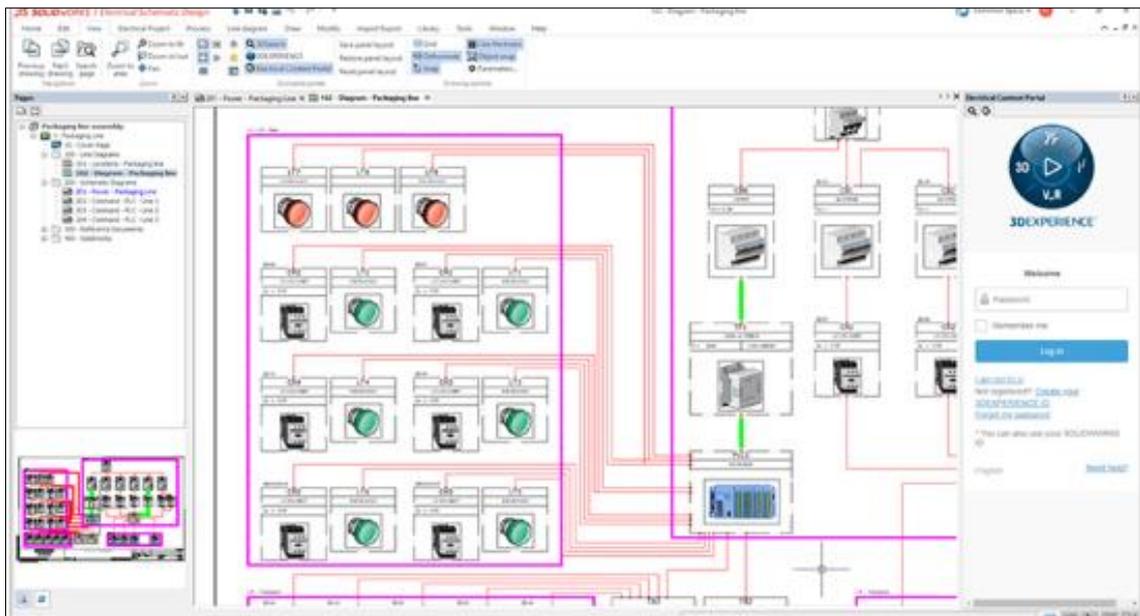


Ilustración 28. Entorno de trabajo de SolidWorks Electrical

3.8. G-CODES

El G-Code es el lenguaje de programación que se utiliza dentro del control numérico. Este lenguaje contiene toda la información necesaria para trazar la trayectoria deseada en la máquina así como especificaciones sobre las velocidades, repetición de ciclos y otros parámetros útiles a la hora de mecanizar piezas. El aspecto de un programa de G-Codes es similar al de una sucesión de líneas de código. La sucesión de las líneas con diferentes g-codes forman el programa y la instrucción que seguirá la máquina.

El listado de g-codes es extenso y puede variar en función del programador o empresa que realice el programa. Algunos de los más comunes son los siguientes:

Tabla 3. G-Codes

G-Code	Función
G00	Posicionamiento rápido
G01	Interpolación lineal
G21	Unidades métricas
G28	Posición home

Sería necesario complementar los g-codes con elementos como los ejes (X, Y, Z y medidas).

También existen los M-Codes que son códigos que no actúan sobre el movimiento de la máquina sino sobre aspectos como la parada del programa, el cambio de herramienta o activación de refrigerantes. Tienen una estructura similar a los g-codes.

Tabla 4. M-Codes

M-Code	Función
M00	Detener programa
M16	Cambio de herramienta
M95	Modo reposo

Un programa en lenguaje g-code podría ser el siguiente:

Para un cuadrado de 10 mm de lado: G21 (Configurar unidades en mm) G90 (Modo de posicionamiento absoluto) G0 Z5.0 (Mover la herramienta 5 mm en el eje Z) G0 X0 Y0 (Mover a la posición inicial) M3 S1000 (Encender el husillo a 1000 RPM) G1 Z-1.0 F100 (Bajar a la profundidad de corte de -1 mm)

```
G1 X10.0 F200 (Cortar el primer lado)
G1 Y10.0 (Cortar el segundo lado)
G1 X0.0 (Cortar el tercer lado)
G1 Y0.0 (Cortar el cuarto lado y volver al origen)

G0 Z5.0 (Eleva la herramienta)
M5 (Apagar el husillo)
G0 X0 Y0 (Mover a la posición inicial)
M30 (Fin del programa)
```

En definitiva, los g-codes indican a la máquina el proceso que tiene que seguir para mecanizar una pieza tal y como se desea.

4. Diseño mecánico

En el siguiente apartado se muestra el desarrollo mecánico completo necesario para convertir la fresadora en una máquina CNC. Se detallará el diseño 3D del modelo inicial, el cálculo de los motores necesarios para mover cada uno de los ejes y el diseño de las nuevas piezas necesarias para adaptar los husillos a bolas y los motores.

4.1. Modelo 3D inicial de la fresadora

En este apartado se muestra el proceso que se ha seguido para crear el diseño 3D de la máquina fresadora en su estado inicial.

4.1.1. Croquis de piezas

Primeramente se procede a desmontar completamente la máquina fresadora. Una vez desmontada se pueden tomar medidas y realizar los croquis de cada una de las piezas. Estos croquis se utilizarán para modelar la máquina en SolidWorks.

A continuación se muestra uno de los croquis.

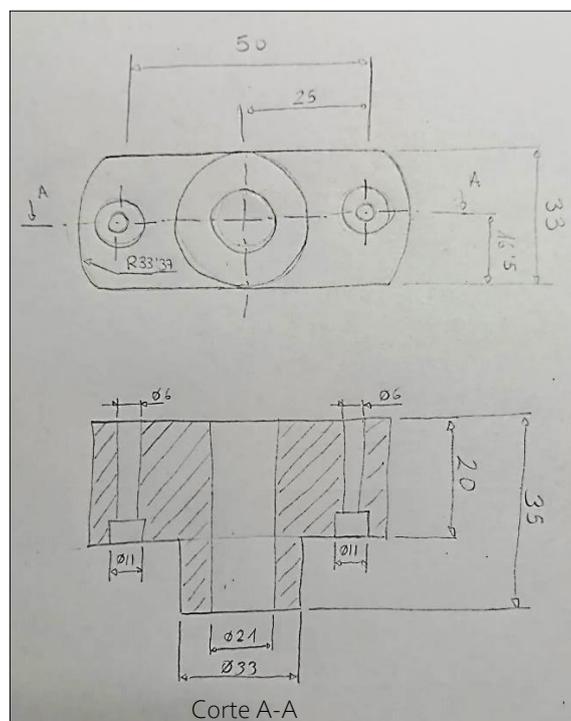


Ilustración 29. Croquis pieza

4.1.2. Diseño en SolidWorks

Una vez definidas en croquis todas y cada una de las piezas que conforman actualmente la fresadora se procede a modelarlas una a una en SolidWorks. Este modelaje a seguido un orden definido por los tres ejes.

- Modelado y subensamblaje del eje X
- Modelado y subensamblaje del eje Y
- Modelado y subensamblaje del eje Z
- Ensamblaje del conjunto de la máquina

Dentro de cada subensamblaje se encuentran definidas las relaciones de posición de cada uno de los elementos individuales. El ensamblaje principal define las relaciones de posición generales de los tres subensamblajes. Más adelante se detallan algunas de las relaciones de posición más importantes.

Subensamblaje eje X

El subensamblaje del eje X forma el carro principal que se utiliza de base para sujetar la piezas que se quiera mecanizar. Las partes principales que forman el conjunto son:

- Plato principal
- Tapas para apoyo del husillo
- Manivelas
- Husillo roscado
- Soporte de husillo fijo

También dispone de diversos rodamientos, una regla para medir distancias, dos limitadores de posición, chavetas para transmitir el movimiento de la manivela al eje y un par de tuercas para fijar el eje.

Las operaciones que se han usado en SolidWorks han sido sobre todo extrusiones, cortes, taladros, revoluciones y relaciones de posición.

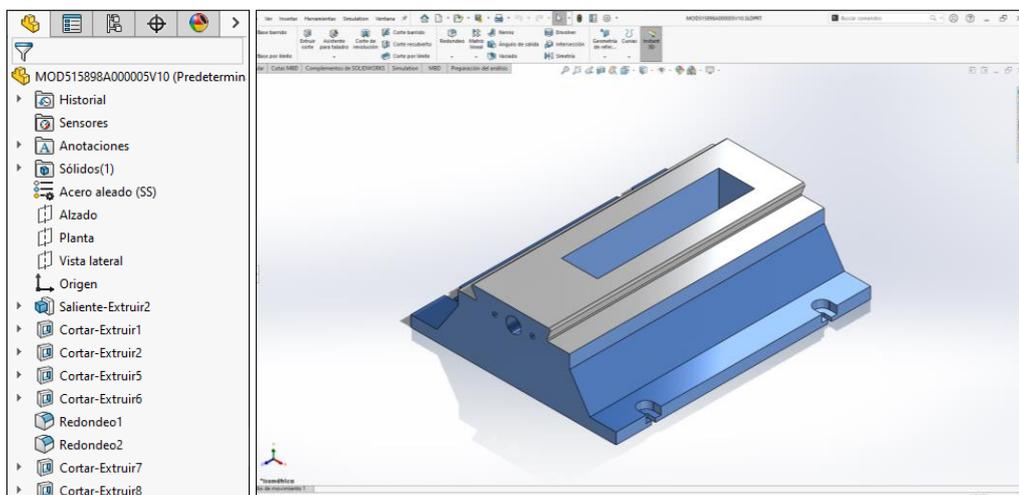


Ilustración 30. Operaciones de SolidWorks

Dentro de las relaciones de posición cabe destacar la relación de tornillo que permite simular el movimiento del husillo perfectamente.

En la Ilustración 31 se observa el ensamblaje completo del denominado eje X.

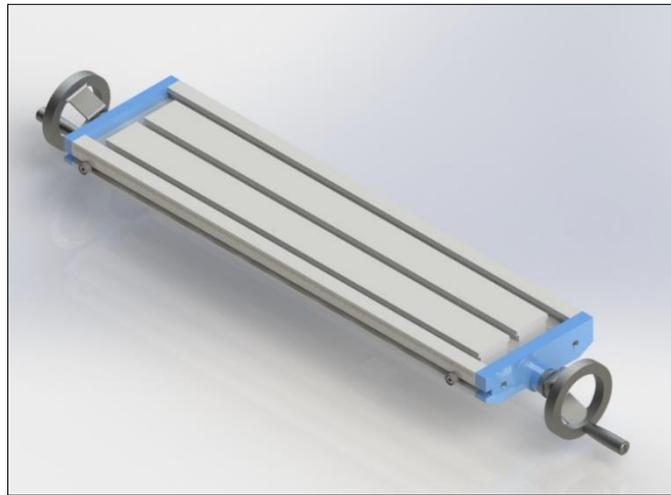


Ilustración 31. Subensamblaje eje X 3D

Subensamblaje eje Y

En este caso se presenta el ensamblaje para el movimiento en el eje Y. Se puede observar que se trata de la base de la máquina y sobre ella va montado el carro que da movimiento al eje. Las partes principales que forman el conjunto son:

- Carro Y
- Base
- Acople manivela husillo
- Manivela
- Husillo roscado
- Soporte de husillo fijo

También dispone un rodamientos, un medidor de posición, una chaveta para transmitir el movimiento de la manivela al eje y una tuerca para fijar el eje.

Las operaciones usadas para modelar las piezas y las relaciones de posición son similares a las del punto anterior.

En la Ilustración 32 se observa el ensamblaje completo del denominado eje Y.

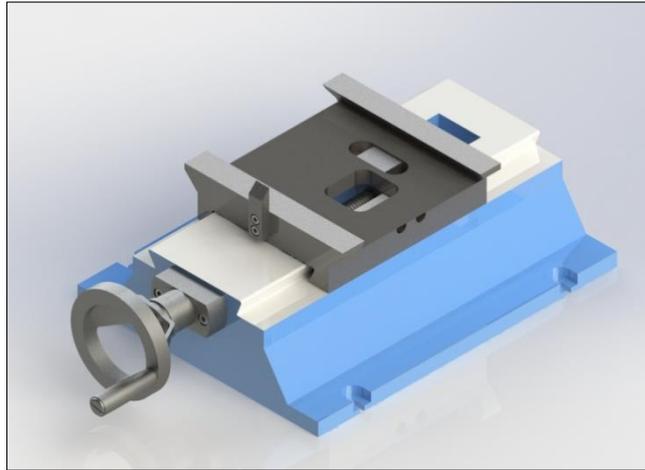


Ilustración 32. Subensamblaje eje Y 3D

Subensamblaje eje Z

Este eje controla la subida y bajada de la herramienta. Sobre el conjunto se monta el motor que energiza la herramienta de mecanizado, el portaherramientas con sus ajustes y el cuadro de control o cuadro de mando.

Las partes principales que forman el conjunto son:

- Eje vertical
- Carro eje Z
- Motor
- Herramienta
- Cuadro de mando
- Husillo roscado
- Soporte husillo fijo

Dentro de la estructura se dispone de dos engranajes cónicos que permiten transmitir el movimiento lateral de la manivela al movimiento de giro del husillo.

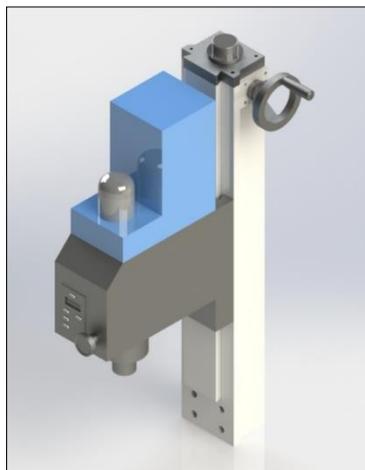


Ilustración 33. Subensamblaje eje Z 3D

Ensamblaje principal

Una vez conformados los tres subensamblajes se ensambla el principal respetando las relaciones de posición necesarias.

Este ensamble es fiel a la máquina real y permitirá tomarlo de referencia para diseñar las nuevas piezas.

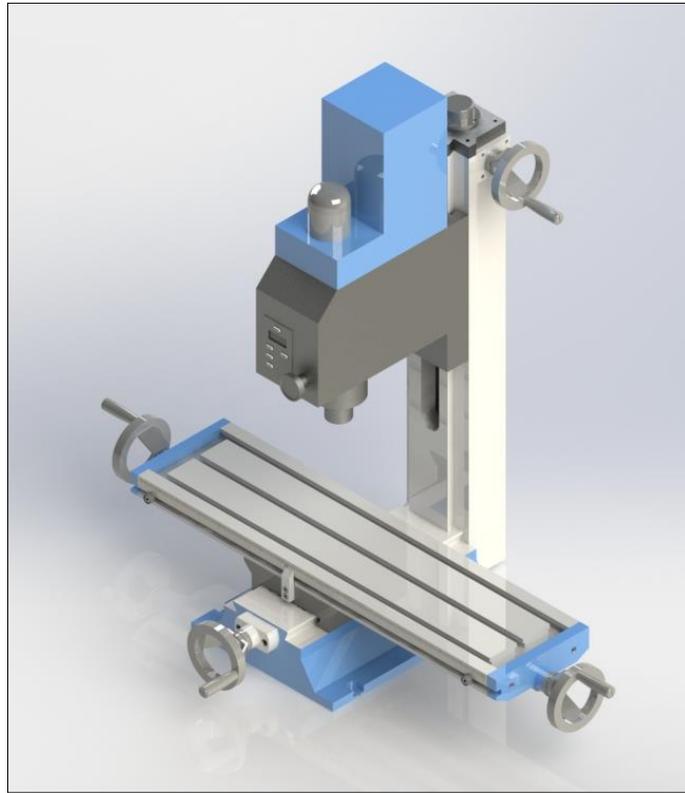


Ilustración 34. Ensamblaje principal 3D

En este caso no se han obtenido planos del modelo antiguo de la fresadora ya que no se son necesarios para el desarrollo. Del modelo nuevo que más adelante se expone sí que se cuenta con los planos ya que será necesario la fabricación de algunas piezas.

4.2. Parámetros de corte fresadora

Se pretende calcular la velocidad a la que girarán los motores para proporcionar unos parámetros de corte óptimos para los materiales que se pretenden mecanizar.

Para calcular la velocidad de avance de fresado se utiliza la siguiente fórmula:

$$V_f = n \cdot f_z \cdot Z$$

n – velocidad de giro (RPM); *f_z* – avance por diente (mm); *z* – numero de dientes

Para el tipo de material que se va a mecanizar la velocidad de corte (Vc) normalmente suele estar entre 25-40 m/min (metros por minuto). Para fresa helicoidal de 4 dientes y 10 mm de diámetro:

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{\pi \cdot 10 \cdot n}{1000} \rightarrow n = \frac{40 \cdot 1000}{\pi \cdot 10} = 1273 \text{ rpm}$$

Para fresas helicoidales, el avance por diente recomendado suele rondar entre 0,12-0,2 mm/diente.

$$V_f = n \cdot f_z \cdot Z = 1300 \cdot 0,2 \cdot 4 = 1040 \text{ mm/min}$$

Si el paso de los husillos es de 5mm/rev:

$$V_{motor} = V_f \cdot paso = 1040 \cdot 5 = 208 \text{ rev/min}$$

4.3. Elección de motores para husillo a bolas en eje horizontal y vertical

La elección de los motores para cada uno de los ejes es una parte fundamental del diseño mecánico ya que una elección incorrecta desencadenaría en un mal funcionamiento o incluso la falta de movimiento de algún eje.

Debemos distinguir entre cálculo para eje horizontal y eje vertical. La diferencia será la aparición de la fuerza de la gravedad en el eje vertical lo que provocará una elección más restrictiva y requerirá un motor con mayor par.

Las medidas y el paso originales de cada husillo se mantendrán constantes y simplemente se cambia la construcción. La longitud total será lo único que se modificará.

Tabla 5. Medidas husillos

Eje	Diámetro eje (mm)	Paso (mm)	Denominación
X	16	5	1605
Y	16	5	1605
Z	20	5	2005

Se van a realizar los cálculos para el eje Z ya que es el eje más restrictivo por cargar un mayor peso y hacerlo verticalmente. La elección de motor para este eje también cumplirá y desempeñará un buen papel en el eje X e Y.

Primero se deben definir algunos parámetros conocidos:

$\mu \rightarrow$ Rozamiento eje

$m \rightarrow$ Masa eje

$ren \rightarrow$ rendimiento del 50%

$a \rightarrow$ aceleración del motor

Las pérdidas que se producen en el husillo son las siguientes;

- Pérdidas por rozamiento:

$$f_{roz} = \mu \cdot N = \mu \cdot g \cdot m = 0,01 \cdot 9,81 \cdot 56 = 5,49 \text{ N}$$

$$M_{roz} = f_{roz} \cdot paso = 5,49 \cdot \left(\frac{0,05}{2 \cdot \pi}\right) = 0,043 \text{ Nm}$$

- Pérdidas por inercia:

$$J_{husillo} = ren \cdot m_{husillo} \cdot r^2 = 0,5 \cdot 1,4 \cdot 0,02^2 = 0,00028 \text{ kgm}^2$$

$$F_{ine} = m \cdot a = 56 \cdot 4,5 = 252 \text{ N}$$

$$M_{ine} = J_{husillo} \cdot \frac{a}{paso} = 0,00028 \cdot \frac{4,5}{\left(\frac{0,05}{2 \cdot \pi}\right)} = 0,158 \text{ Nm}$$

$$M_{ine_total} = M_{ine} + F_{ine} \cdot paso = 0,158 + 252 \cdot \left(\frac{0,05}{2 \cdot \pi}\right) = 2,16 \text{ Nm}$$

- Pérdidas por rozamiento viscoso:

$$J_{motor} = 0.000365 \text{ kgm}^2$$

$$M_{ine_motor} = J_{motor} \cdot \frac{a}{paso} = 0,000365 \cdot \frac{4,5}{\left(\frac{0,05}{2 \cdot \pi}\right)} = 0,2 \text{ Nm}$$

- Pérdidas totales:

$$M_{perdidas} = M_{roz} + M_{ine_total} + M_{ine_motor} = 0,043 + 2,16 + 0,2 = 2,4 \text{ Nm}$$

Para seleccionar el motor se debe tener en cuenta que:

$$M_{motor} > F_{ef} \cdot paso + M_{perdidas}$$

$$F_{ef} = m \cdot a + m \cdot g = 56 \cdot 4,5 + 56 \cdot 9,81 = 801,36 \text{ N}$$

$$M_{motor} > F_{ef} \cdot paso + M_{perdidas} = 801,36 \cdot \left(\frac{0,05}{2 \cdot \pi}\right) + 2,4 = 8,77 \text{ Nm}$$

Se debe escoger un motor que entregue al menos 8,77 Nm de par.

Se elige el motor NEMA 34HS86-5090A que entrega un par estático de 8,82 Nm.

Destacar que para el eje X e Y no es necesario un par tan elevado y se podría utilizar un motor de menor par. Investigando posibles componentes se ha encontrado un kit donde se proporciona la mayoría de los materiales que se necesitan en el proyecto. Dado que en ese kit vienen incluidos tres motores NEMA 34HS86-5090A, se van a utilizar los tres para los tres ejes.

4.4. Diseño de los soportes para los husillos y los motores

Dada la implementación de motores eléctricos los soportes de las manivelas antiguos no son válidos para encajar los nuevos husillos y los propios motores. Por ello se debe diseñar de nuevo los anclajes de los motores y los soportes de las tuercas de bolas.

Para diseñar correctamente los soportes debemos tener en cuenta las medidas de los motores. En la Ilustración 35 se aprecian las medidas de los motores elegidos.

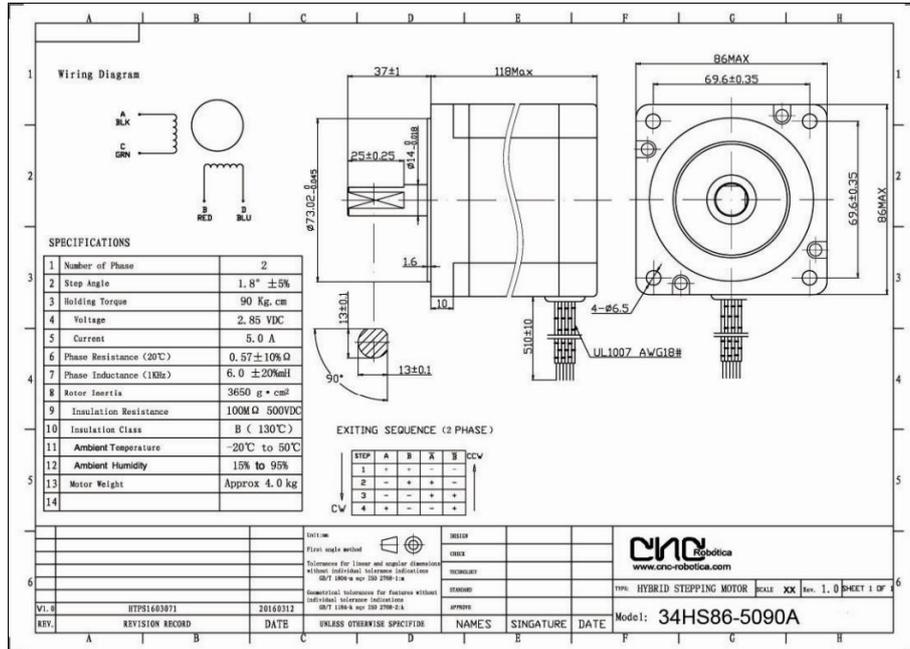


Ilustración 35. Plano motor 34HS86-5090A

4.4.1. Eje X

El eje X cuenta originalmente con dos manivelas y por tanto dos puntos de apoyo o soportes del husillo. En este caso solo se pretende añadir un motor en uno de los lados.

Las piezas coloreadas en verde son piezas que se van a fabricar y que por tanto no son comerciales.

Las piezas que forman esta parte son:

Tabla 6. Componentes eje X 1

Ref. Pieza	Denominación	Color
MOD515898A000001V10	Plato principal	Gris
515898B000001V10	Husillo a bolas X. L = 740 mm	Naranja
Acoplamiento CM30C 1014	Acoplamiento CM30C 1014	Amarillo
MOD515898B000050V10	Tapa derecha MOD	Verde

MOD515898B000051V10	Acoplamiento motor eje X	Verde
NEMA 34 5090	Motor NEMA 34 5090	Negro
Tornillería	Tor. ALLEN DIN 912 M6	Gris

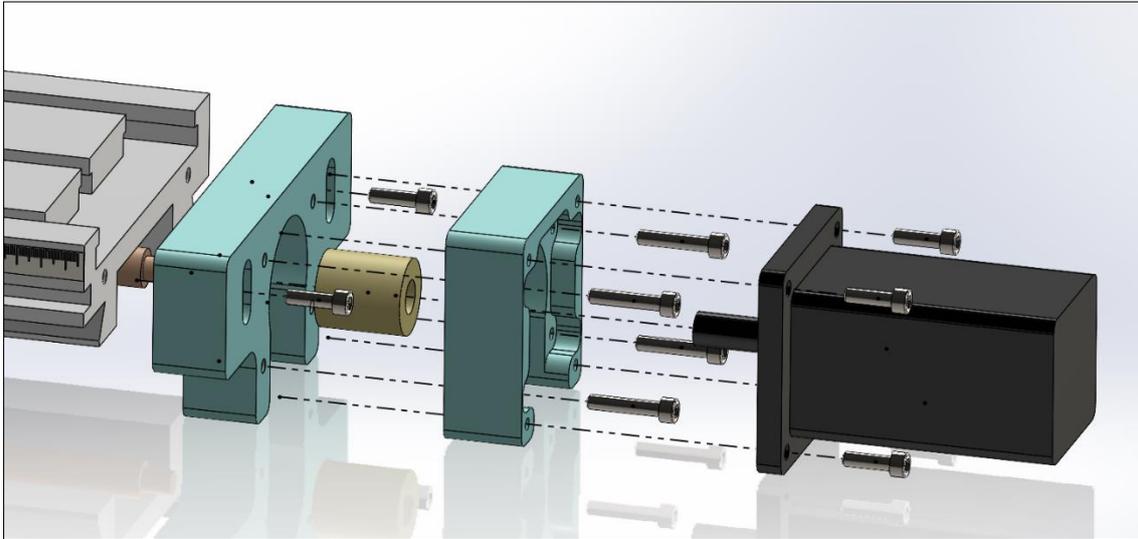


Ilustración 36. Vista explosionada conexión motor

Tabla 7. Componentes eje X 2

Ref. Pieza	Denominación	Color
MOD515898A000001V10	Plato principal	Gris
515898B000001V10	Husillo a bolas X	Naranja
Rodamiento a bolas	Rodamiento a bolas	Gris
MOD515898B000030V10	Tapa izquierda soporte X	Verde
Tuerca	Terca M12	Gris
MOD515898B000040V10	Tapa eje	Verde
Tornillería	Tor. ALLEN DIN 912 M6	Gris

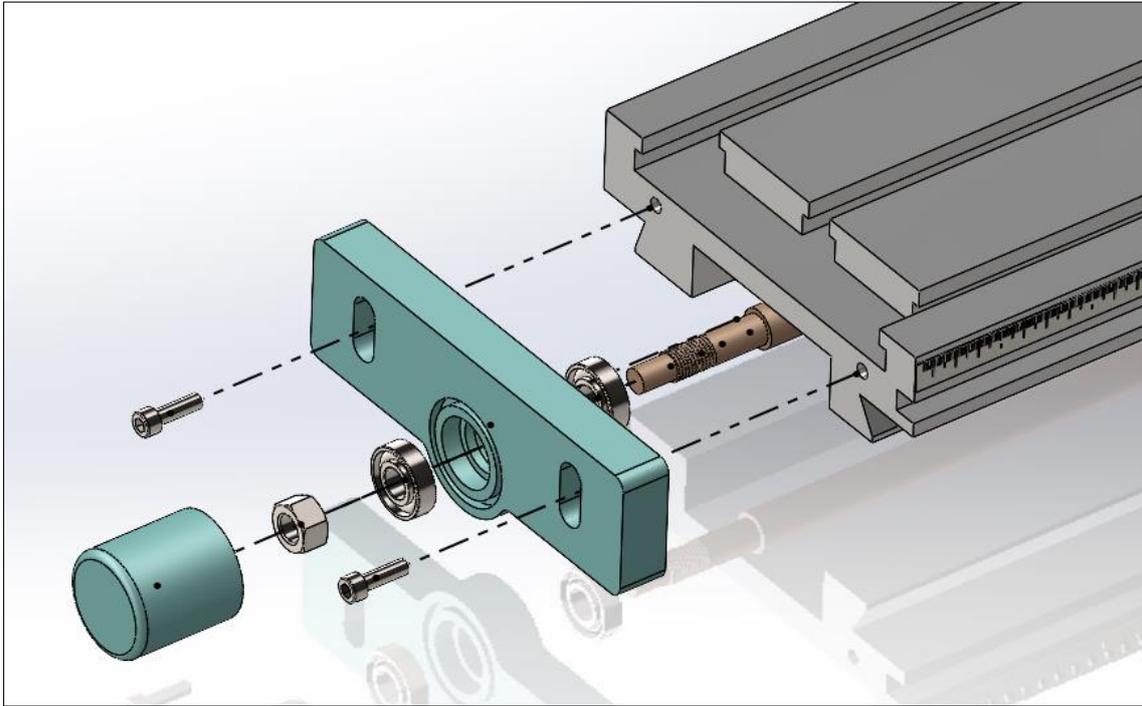


Ilustración 37. Vista explosionada parte izquierda conexionado

La pieza MOD515898B000040V10 será fabricada mediante impresión 3D para ocultar el eje de movimiento.

En la Ilustración 38, desde la parte inferior se puede apreciar la tuerca de bolas por donde el husillo hace su movimiento. Los dos tornillos que se pueden observar en la imagen son los puntos de anclaje al subensamblaje del eje Y. De esta manera se consigue el punto fijo y es el husillo el que se desplazará sobre la tuerca.

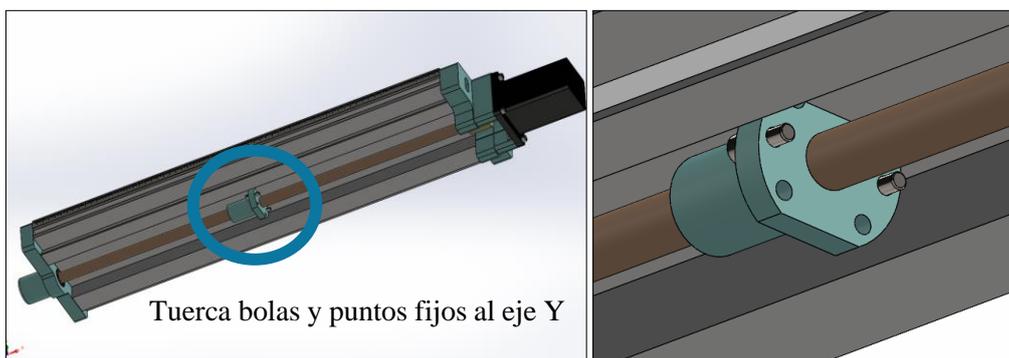
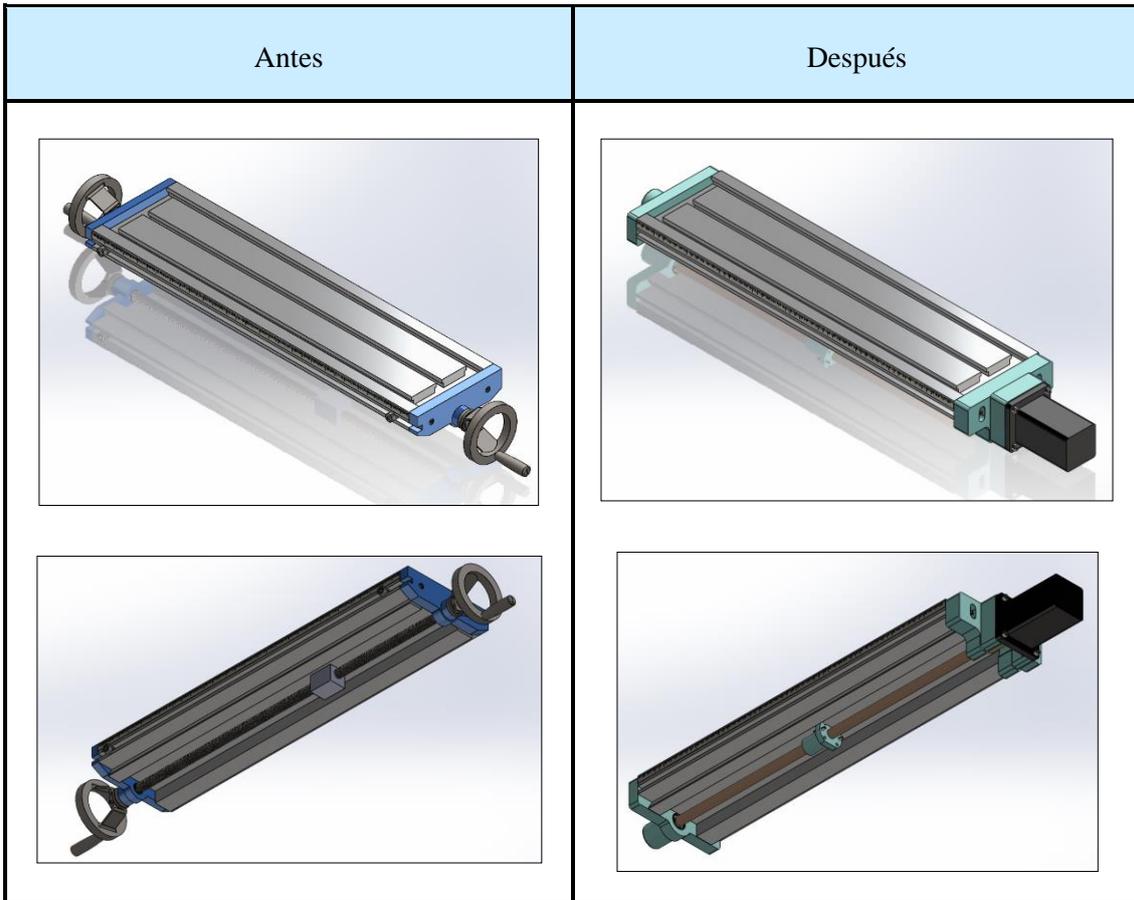


Ilustración 38. Vista inferior subensamblaje X

Una vez finalizado el diseño de las nuevas piezas y ensambladas con las piezas antiguas que no se modifican el resultado es el siguiente:

Tabla 8. Antes y después eje X



4.4.2. Eje Y

El eje Y se controlaba mediante una manivela en la parte frontal. De igual manera que en el eje X se pretende colocar un motor.

Las piezas coloreadas en verde son piezas que se van a fabricar y que por tanto no son comerciales.

Las piezas que forman esta parte son:

Tabla 9. Componentes eje Y 1

Ref. Pieza	Denominación	Color
MOD515898A000005V10	Base	Azul
515898B000002V10	Husillo a bolas Y. L = 345 mm	Gris
Rodamiento a bolas	Rodamiento a bolas	Gris

MOD515898B000070V10	Soporte motor eje Y	Verde
Tuerca	Terca M12	Gris
Acoplamiento CM30C 1014	Acoplamiento CM30C 1014	Amarillo
MOD515898B000040V10	Acoplamiento motor eje Y	Verde
NEMA 34 5090	Motor NEMA 34 5090	Negro
Tornillería	Tor. ALLEN DIN 912 M6	Gris

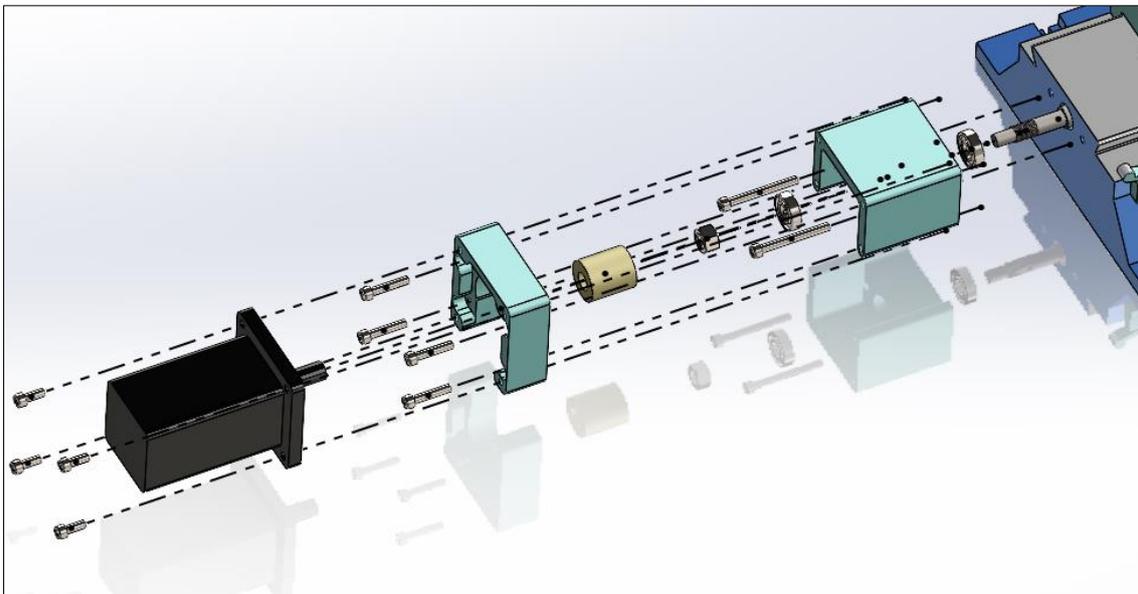


Ilustración 39. Vista explosionada conexión motor eje Y

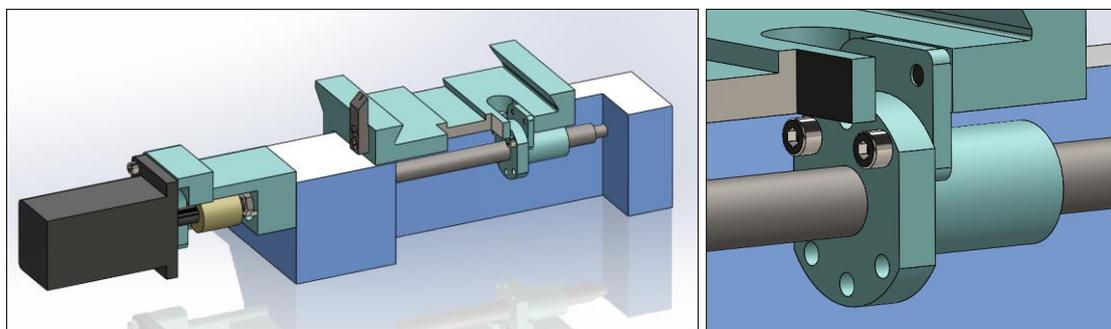
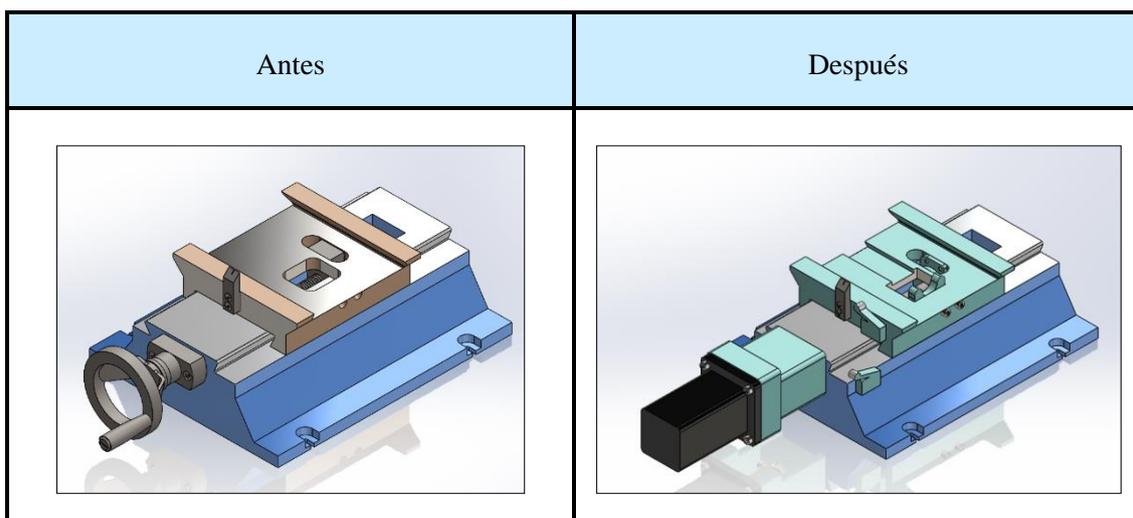


Ilustración 40. Vista seccionada ensamblaje Y

Tabla 10. Antes y después eje Y



4.4.3. Eje Z

El eje Z estaba formado únicamente por una manivela en su parte superior y se transmitía el movimiento a través de engranajes cónicos. Se diseñó en eje para que ya no sea necesario la transmisión por engranajes al husillo y se acople directamente el motor.

Las piezas coloreadas en verde son piezas que se van a fabricar y que por tanto no son comerciales.

Las piezas que forman esta parte son:

Tabla 11. Componentes eje Z

Ref. Pieza	Denominación	Color
MOD515898A000006V10	Torre eje Z	Blanco
MOD515898A000007V10	Carro eje Z	Blanco
515898B000003V10	Husillo a bolas Z. L = 625 mm	Gris
Rodamiento a bolas	Rodamiento a bolas	Gris
MOD515898B000008V10	Acople motor eje Z	Verde
Tuerca	Tuerca M12	Gris
Acoplamiento CM30C 1014	Acoplamiento CM30C 1014	Gris
MOD515898B0000051V10	Acoplamiento motor eje Z	Verde

NEMA 34 5090	Motor NEMA 34 5090	Negro
Tornillería	Tor. ALLEN DIN 912 M6	Gris
MOD515898B000020V10	Soporte eje husillo Z	Verde

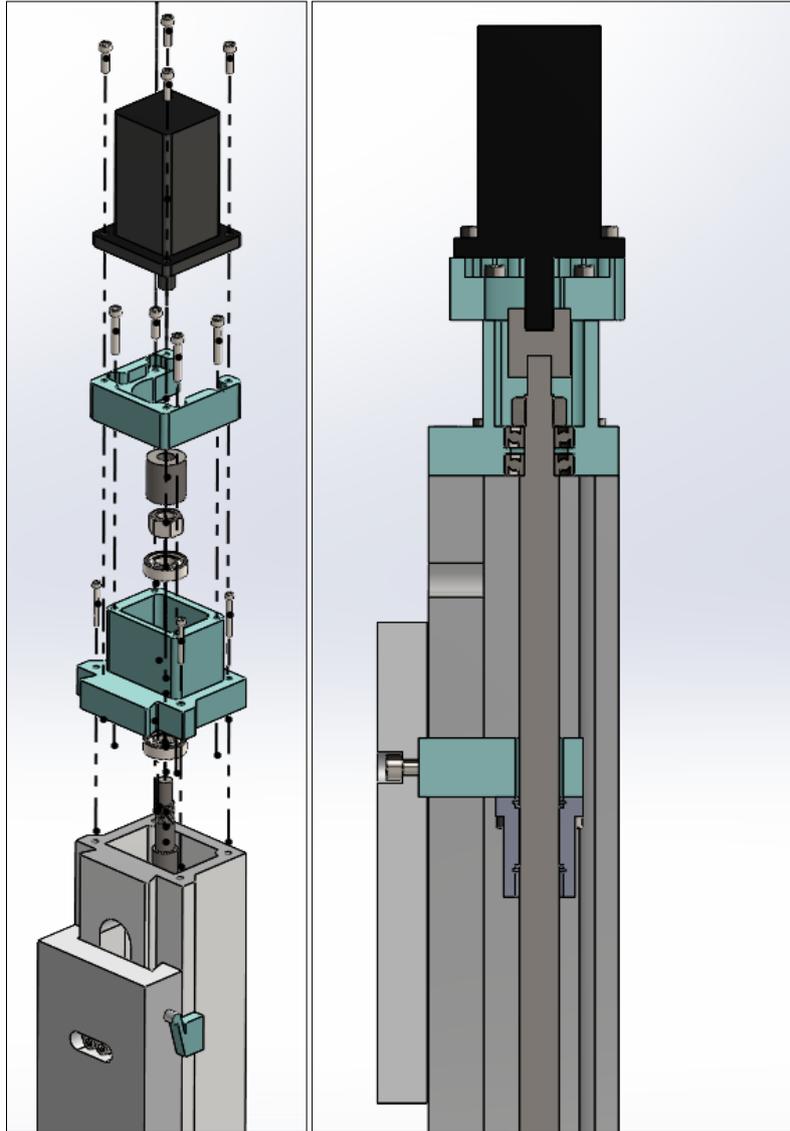
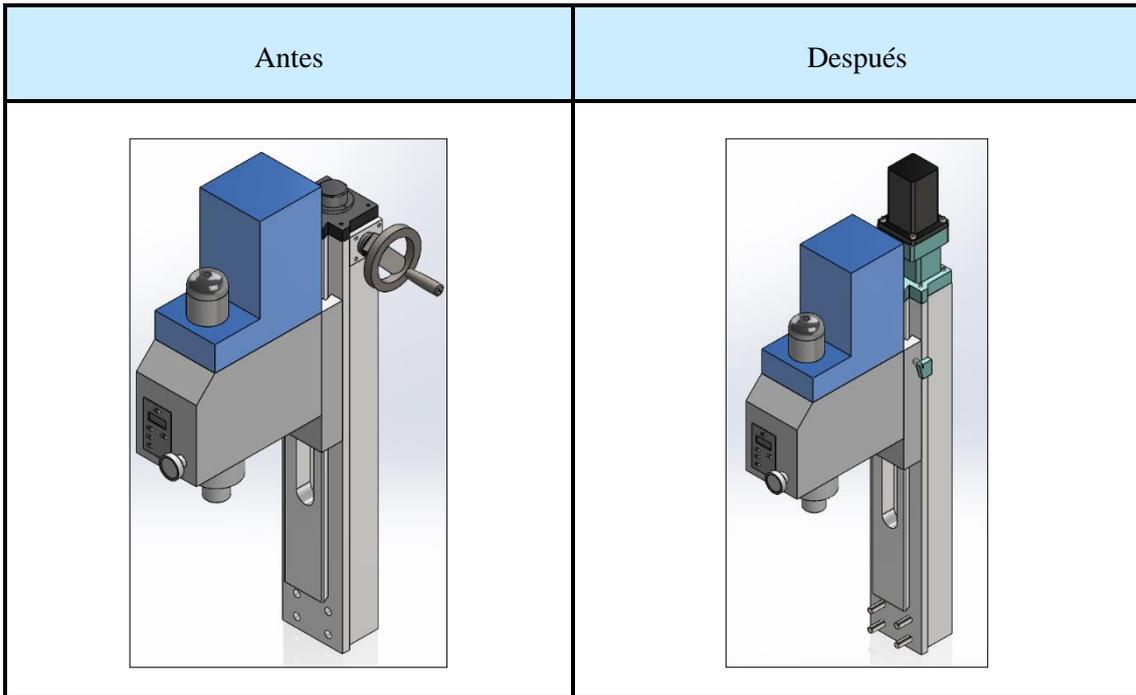


Ilustración 41. Vista explosionada y de sección eje Z

Tabla 12. Antes y después eje Z



Como se puede apreciar cada eje cuenta con al menos dos rodamientos en una de sus uniones al husillo. Estos rodamientos son rodamientos de bolas y se montan en pareja para limitar el movimiento tanto axial como radial. El sistema es el mismo que se utiliza en las ruedas de los trenes. Para fijar el rodamiento axialmente se utiliza una tuerca y se ajusta la tolerancia mediante arandela de precisión.

4.5. Modelo final fresadora CNC

Finalmente el modelo con las nuevas piezas es el siguiente:

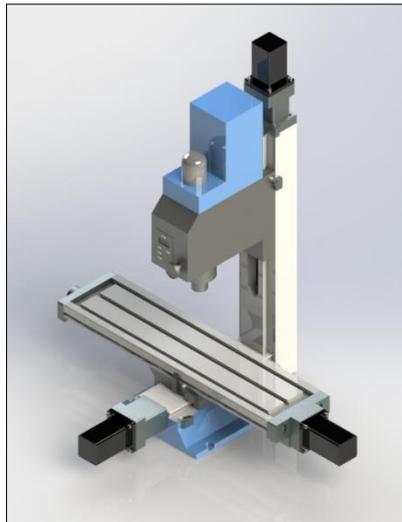


Ilustración 42. Modelo fresadora CNC

Las piezas anteriormente comentadas marcadas en verde se deben mecanizar. Estarán hechas a partir de un tocho de hacer.

Los planos generales, de subconjunto y de piezas se encuentran en el ANEXO I. PLANOS.

5. Diseño eléctrico y electrónico

A continuación se detalla el diseño eléctrico y electrónico necesario para el equipo. Se muestran las características de cada dispositivo y las conexiones necesarias entre ellos para el funcionamiento.

5.1. Características de los dispositivos

Se procede a detallar las características más importantes de cada dispositivo que se va a utilizar.

De la ficha técnica del driver elegido se observan las configuraciones dependiendo de los pines accionados. En este caso para el motor elegido viendo que la intensidad de funcionamiento es de 5 A, la configuración de switches es SW1 = ON, SW2 = ON, SW3 = OFF. Es importante no superar la tensión de trabajo ya que puede conllevar desgaste interno.

Current setting		Switch: ON=0;OFF=1		
PK current (A)	RMS (A)	SW1	SW2	SW3
1.8	1.29	1	1	1
2.7	1.93	0	1	1
3.6	2.57	1	0	1
4.6	3.29	0	0	1
5.5	3.93	1	1	0
6.4	4.57	0	1	0
7.3	5.21	1	0	0
8.2	5.86	0	0	0

Ilustración 43. Configuración de corriente para driver

De igual manera se pueden configurar los pulsos por revolución de los motores. En este caso se debe tener en cuenta:

- Paso de los husillos (5mm por vuelta)
- Ángulo de paso del motor (1,8° por pulso)
- Velocidad máxima motor paso a paso (1000 rpm)
- Velocidad avance fresado
- Frecuencia máxima de pulsos del driver (200 KHz)

Los cálculos de velocidades ya se han mostrado en un punto anterior.

Para una velocidad de motor de 208 rev/min todos los componentes son capaces de proporcionar un funcionamiento correcto.

El valor típico de pulsos/rev del driver para este tipo de motores es de 1600 pulsos/rev. Estos micro pasos aumentan la precisión del motor en 8 veces ya que antes era de 200 pulsos/rev. Destacar que este cálculo no es fiable al cien por cien ya que será necesario realizar test con los motores para determinar si la configuración de pulsos/revolución del driver es correcta.

Para configurar el driver los switches estarán en las posiciones de SW5=ON, SW6=OFF, SW7=OFF y SW8=ON.

subdivision	SW5	SW6	SW7	SW8
400	0	0	0	0
800	1	1	0	0
1600	0	1	1	0
3200	1	0	0	1
6400	1	0	1	1
1000	0	0	0	1
4000	0	1	0	1
5000	1	1	0	1
8000	0	0	1	1
20000	0	1	1	1

Ilustración 44. Configuración de subdivisiones driver

Tabla 13. Características componentes eléctricos

Motor NEMA 34HS86-5090A		Driver DM9082		Microcontrolador		Fuente alimentación		Final de carrera	
Tensión (V)	2.85	Tensión entrada (V)	24/90	Alimentación (V)	5	Tensión (V)	60	Tensión (V)	240
Intensidad (A)	5	Intensidad de salida (A)	0/8.2	Intensidad en pines (mA)	20	Intensidad (A)	6.66	Intensidad (A)	5
Par (Nm)	8.8	Frecuencia de la señal (kHz)	0/200	Pines digitales entrada/salida	14	Potencia (W)	400	Pines	NA NC
Peso (kg)	4	Entrada de intensidad (mA)	7/16	Entradas analógicas	6			Dimensiones (mm)	20x6,4x12
Unidades	3	Unidades	3	Unidades	1	Unidades	2	Unidades	3

5.2. Conexión eléctrico

Para alojar los dispositivos eléctricos se va a utilizar una cuadro eléctrico alojado en la parte izquierda de la máquina sustituyendo al actual. En este cuadro se integrarán tanto los dispositivos ya existentes (variador, marcha, paro y seta de emergencia) como los nuevos componentes que se han comentado anteriormente.

El conexionado eléctrico es el siguiente:

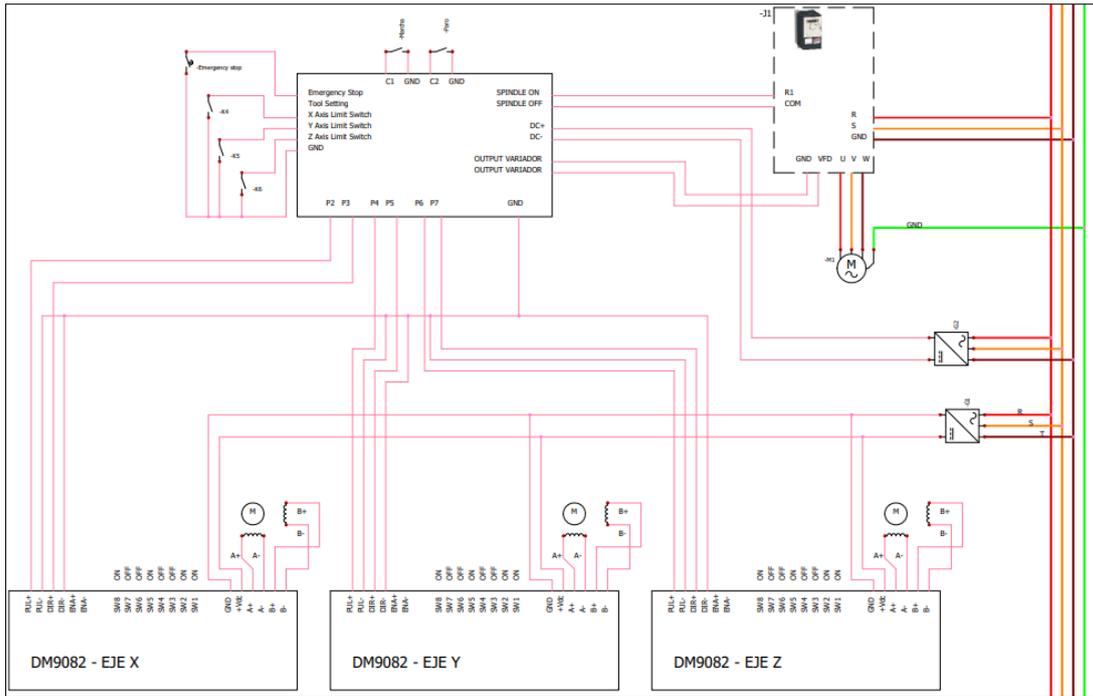


Ilustración 45. Montaje eléctrico

En el ANEXO I. PLANOS se encuentra el plano y se aprecian en más detalle las conexiones.

5.3. Integración del cuadro eléctrico

El cuadro eléctrico donde se encuentran los componentes se integra en la máquina fresadora. Se anclará en uno de los laterales del eje Z.

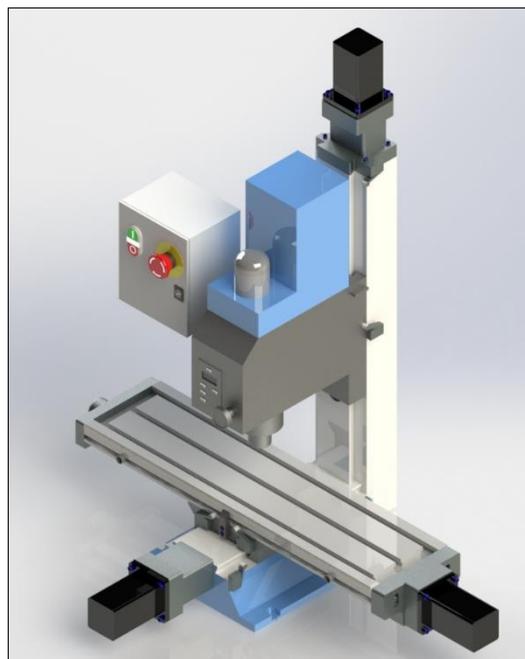


Ilustración 46. Modelo fresadora CNC con cuadro eléctrico integrado

6. Programación software

A pesar de ser un software sencillo, el MACH3 dispone de algunas funciones personalizadas para configurar su funcionamiento.

En el manual de usuario del programa se explica todo lo necesario para el uso correcto.

Normalmente el proceso a seguir dentro del programa para ejecutar un código sería el siguiente:

1. Pulsar el botón de emergencia de la interfaz para habilitarla.
2. Ejecutar la opción de máquina a posición “0”.
3. Abrir archivo de pieza.
4. Configuración de velocidades.
5. Configuración de límites.
6. Ejecución del programa.

Desde el propio display se podrá controlar el proceso.



Ilustración 47. Display MACH3

7. Evaluación de conformidad

Como se ha comentado anteriormente, la máquina dispone de marcado CE. Al realizar modificaciones sustanciales sobre ella es necesario realizar de nuevo el proceso para garantizar los requisitos mínimos de seguridad y salud que establece la Directiva 2006/42/CE.

Esta evaluación de conformidad revisa uno a uno los puntos necesarios marcado por la directiva para verificar si la máquina los cumple o no. Para obtener el marcado CE es necesario cumplir todos los puntos.

Para determinar los riesgos de las no conformidades se realiza una evaluación de riesgos. En esta evaluación de riesgos se evalúa el peligro siguiendo una serie de parámetros marcados por la normativa ISO 12100. Una vez evaluado el riesgo, el objetivo es eliminarlo o reducirlo si no fuera posible eliminarlo.

Verificando los puntos se encuentra una disconformidad.

Según el punto 1.3.7 del anexo I de la Directiva 2006/42/CE:

“1.3.7. Riesgos relacionados con los elementos móviles. Los elementos móviles de la máquina se deben diseñar y fabricar a fin de evitar los riesgos de contacto que puedan provocar accidentes o, cuando subsistan los riesgos, estarán provistos de resguardos o de dispositivos de protección.”

Evaluando la máquina se ve que no se cuenta con ningún resguardo que proteja el operario frente a posibles proyecciones de viruta o frente al acceso a la herramienta en movimiento.

Se distingue la valoración del riesgo entre:

- Riesgo bajo. No es necesario tomar medidas activas.
- Riesgo moderado. Se requieren medidas activas como formación a los operarios.
- Riesgo significativo. Se requieren medidas activas a corto plazo.
- Riesgo alto. Se requieren medidas inmediatas.

Según los parámetros daño posible, probabilidad, posibilidad de evitar y frecuencia de exposición se genera una valoración del riesgo:

Daño posible	Probabilidad	Posibilidad de evitar	Frecuencia exposición	Valoración
Desgarro mano	Posible	Posible	Constante	Riesgo significativo

Para eliminar el riesgo se propone instalar una pantalla frontal que cubra la herramienta y proteja al operario.

Solución propuesta

Antes



Después



Adoptando la medida propuesta se cumple con las directrices marcadas por la normativa.

8. Conclusiones

El objetivo principal de este proyecto era realizar la conversión de la fresadora manual modelo HBM BF 25 Profi Vario a una máquina CNC completamente automatizada. Los ejes de la máquina pasarán de ser controlados manualmente por el operador a ser controlados mediante microcontrolador y software.

Durante la memoria se han seguido todos los pasos necesarios para poder contar con un proyecto de ingeniería perfectamente definido para su posterior ejecución.

Se han aplicado conocimientos mecánicos, eléctricos y electrónicos para poder realizar el proyecto.

La mayor dificultad encontrada a la hora de desarrollar el proyecto ha sido la toma de medidas de la fresadora en su estado inicial. Se tuvo que desmontar entera, tomar medidas y volver a montar dejándola completamente funcional. En este proceso se valora la importancia de tener un modelo fiel al real ya que sin el sería imposible modelar nuevas piezas.

En cuanto a la parte de selección de componentes, durante la carrera se ha trabajado bastante con estos y no ha resultado un gran inconveniente.

Posibles mejoras que se pueden implementar en el proyecto sería la integración de servomotores en lugar de motores paso a paso. También el uso de un sistema de control en bucle cerrado con encoders en los motores para mejorar la precisión y un controlador PID para que la máquina disponga de un buen comportamiento ante perturbaciones.

La idea inicial era llevar a cabo la fabricación pero debido a limitaciones temporales, plazos de entrega de materiales y limitaciones económicas, no ha sido posible presentar esta ejecución a tiempo. Cabe destacar que está previsto que se ejecute durante el mes de agosto.

El aprendizaje obtenido durante este proceso se tendrá en cuenta para futuros proyectos.

En relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, este proyecto concuerda en grado alto con el de Industria, innovación e infraestructura ya que se ha desarrollado un proyecto de mejora industrial respetando la sostenibilidad e intentado aprovechar al máximo recursos. Por otra parte, la ejecución del proyecto implica un trabajo en equipo por lo que el grado de implicación de Alianzas para lograr objetivos es medio.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Directiva 2006/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de mayo de 2006, relativa a las máquinas y por la que se modifica la Directiva 95/16/CE (refundición).

[2] Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo. (ISO 12100:2010)

[3] V.V. Athani (2005). “Stepper Motors : Fundamentals, Applications And Design”. New Age International.

[4] Bricogeek. (2020, marzo 19). Cómo convertir una fresa Proxxon MF-70 a CNC con Arduino. Bricogeek Blog. <https://blog.bricogeek.com/noticias/arduino/como-convertir-una-fresa-proxxon-mf-70-a-cnc-con-arduino/>

[5] Apuntes asignatura accionamientos electromecánicos

[6] Apuntes asignatura máquinas eléctricas

[7] Manual de usuario para MACH3. CNC-Robótica.

Parte II
PLIEGO DE CONDICIONES

Pliego de condiciones

En el siguiente documento se establecen las condiciones de ejecución del proyecto entre las partes vinculantes haciendo referencia a los aspectos técnicos, calidad, normativa y seguridad.

Ante cualquier incumplimiento o modificación de alguno de los puntos, la parte proyectista no se hará responsable.

B.1. Condiciones de los materiales

Con el fin de garantizar un buen rendimiento y calidad de los materiales se deberá seguir un proceso para verificar las condiciones de los materiales.

Verificaciones técnicas:

Primero será necesario verificar las medidas correspondientes de las piezas con las medidas de su correspondiente plano. Los acabados y otro tipo de operaciones como roscados deberán coincidir con los mostrados en planos.

Una vez verificada la validez de la pieza, se deberá inspeccionar en busca de defectos que puedan comprometer el funcionamiento de esta.

Cualquier pieza que no cumpla con las verificaciones técnicas será descartada y se deberá sustituir.

Las piezas de repuesto deberán ser las mismas que se utilizan en este proyecto.

Verificación con la normativa:

Se deberá comprobar que las piezas comerciales cumplan con la normativa vigente por la que estén reguladas.

B.2. Condiciones de ejecución

El responsable de la ejecución del proyecto deberá ser un graduado universitario con conocimientos de la materia. Para el proceso de montaje del equipo se deberá contar con un técnico operario formado y cualificado para la realización de la tarea y supervisado por el responsable. Se deberán seguir los planos tanto mecánicos como eléctricos para un correcto montaje.

B.3. Condiciones de uso y mantenimiento

Los materiales están diseñados para trabajar en conjunto como fresadora CNC en un ambiente no extremo.

Bajo condiciones normales y con un mantenimiento programado la vida útil del equipo será de un mínimo de 5 años.

La máquina solo será operada por operarios cualificados que hayan recibido formación a cerca del funcionamiento de la máquina y de los posibles peligros que puedan surgir. Cualquier mal uso razonablemente previsible de la misma anulará las condiciones del contrato.

El mantenimiento al equipo deberá ser ejecutado conforme se expone a continuación. El mantenimiento solo se realizará por personas cualificadas que hayan recibido formación para tal hecho.

Tareas de mantenimiento:

- Limpieza de polvo – Diario
- Apriete de tornillería – Semanal
- Engrase de componentes – Semanal
- Verificación de correcto funcionamiento – Semanal
- Inspección eléctrica de componentes – Mensual
- Sustitución de componentes – Cuando proceda

El equipo deberá ser almacenado en un lugar fresco libre de humedad y protegido mediante mantas protectoras o similar.

B.4. Puesta en servicio

Previamente al encendido de la máquina se deberán verificar una serie de puntos para una correcta puesta en servicio.

1. Comprobar los anclajes a la superficie de apoyo.
2. Comprobar aprietes de tornillería y holgura entre piezas.
3. Comprobar el cableado eléctrico.
4. Comprobar que se encuentran montados los dispositivos de seguridad.
5. Comprobar que no hay piezas montadas sobre la fresadora.
6. Comprobar el correcto funcionamiento de los motores uno a uno.

Parte III
PRESUPUESTO

Presupuesto

A continuación se muestra el presupuesto necesario para la conversión de la fresadora manual a CNC. El precio final será el P.V.P al que se le habrá aplicado un aumento para tener margen de beneficio en el proyecto.

P.1. Coste de recursos humanos

El presupuesto de recursos humanos se compone del trabajo de un ingeniero y un operario de taller que ha dado apoyo en el montaje de los componentes. Se ha cogido un coste por hora aproximado según lo que dictan los respectivos convenios.

Personal	Tarea	Tiempo dedicado (h)	Coste (€/h)	Coste (€)
Ingeniero Junior	Investigación y documentación	30	34,74	1042,2
	Toma medidas y croquis	50		1737
	Diseño y modelado piezas	40		1389,6
	Diseño eléctrico	20		694,8
	Montaje	20		694,8
	Programación y control	30		1042,2
	Redacción de la memoria	110		3821,4
Operario taller	Montaje	20	24,74	494,8
Total		320 h	-	10.917 €

P.2. Coste de materiales

Coste de todos los materiales que se han comprado para realizar la conversión. En este caso no se tiene en cuenta el IVA ya que al tratarse de un trabajo en empresa se trabaja solo con el PVP.

Material	Coste	Unidades	Coste total (€)
Motores	79,50	3	238,5
Drivers	64,00	3	192
Fuente alimentación	42,00	2	84
Microcontrolador	13,50	1	13,5
Sensores	12,40	6	74,4
Mecanizados	41,78	6	250,68
Rodamientos	2,35	6	14,1
Husillos a bolas	35,00	3	105
Tuerca bolas	42,00	3	126
Cuadro eléctrico	24,99	1	24,99
Total			1.123,77

P.3. Coste de Software

Coste de los programas que se han utilizado. En el coste de la licencia de SolidWorks simplemente se ha tenido en cuenta el coste de las horas trabajadas.

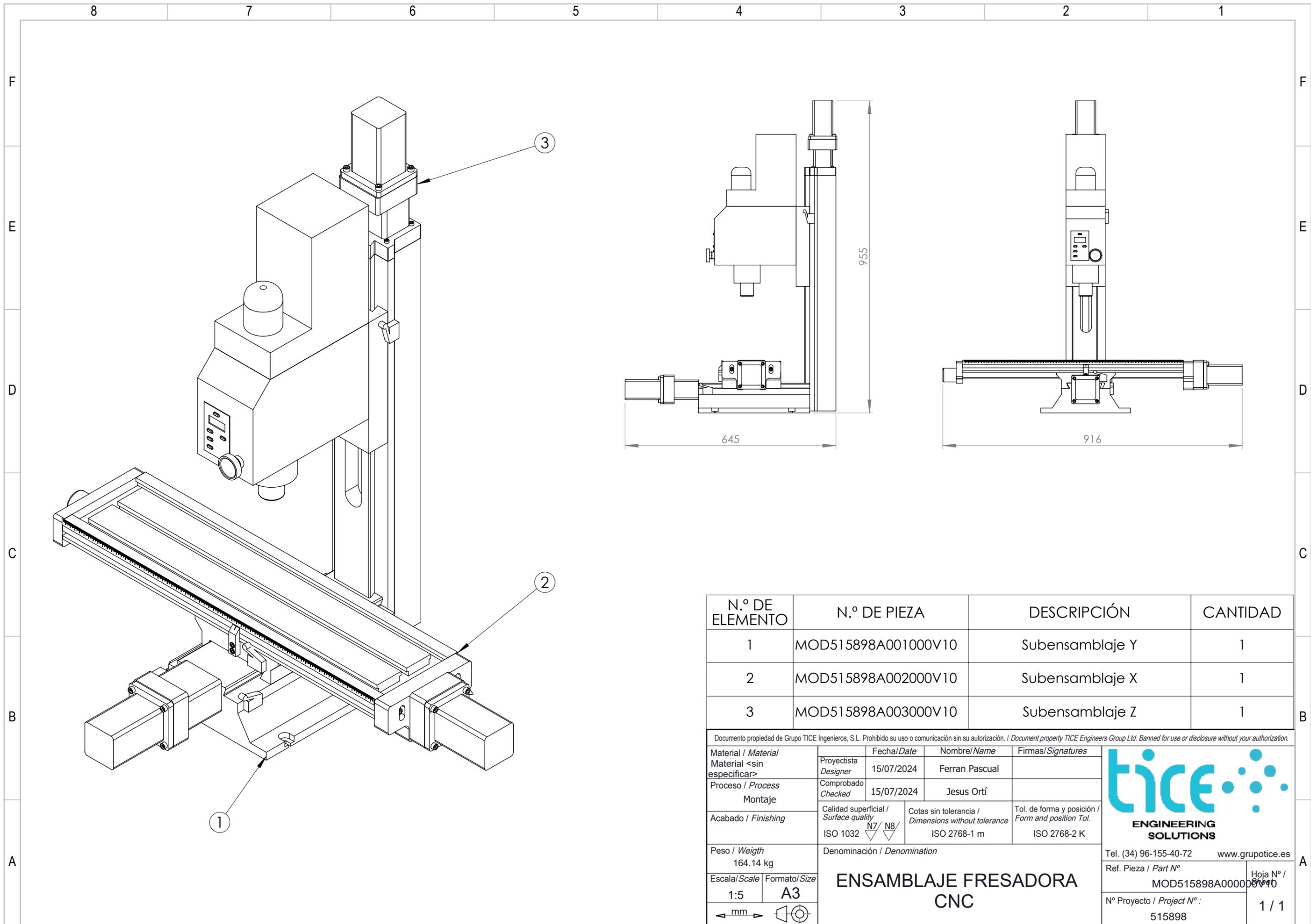
Software	Coste	Período	Coste total (€)
Mach3	33,50	Perpetuo	33,50
SolidWorks Profesional	4152	Anual	18,95
Total			52,45

P.4. Coste total

Coste total del proyecto.

	Coste total (€)
Recursos humanos	10.917
Materiales	1.123,77
Software	52,45
Total	12.093,22

ANEXO I. PLANOS



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	MOD515898A001000V10	Subensamblaje Y	1
2	MOD515898A002000V10	Subensamblaje X	1
3	MOD515898A003000V10	Subensamblaje Z	1

Documento propiedad de Grupo TICE Ingenieros, S.L. Prohibido su uso o comunicación sin su autorización. / Document property TICE Engineers Group Ltd. Banned for use or disclosure without your authorization.

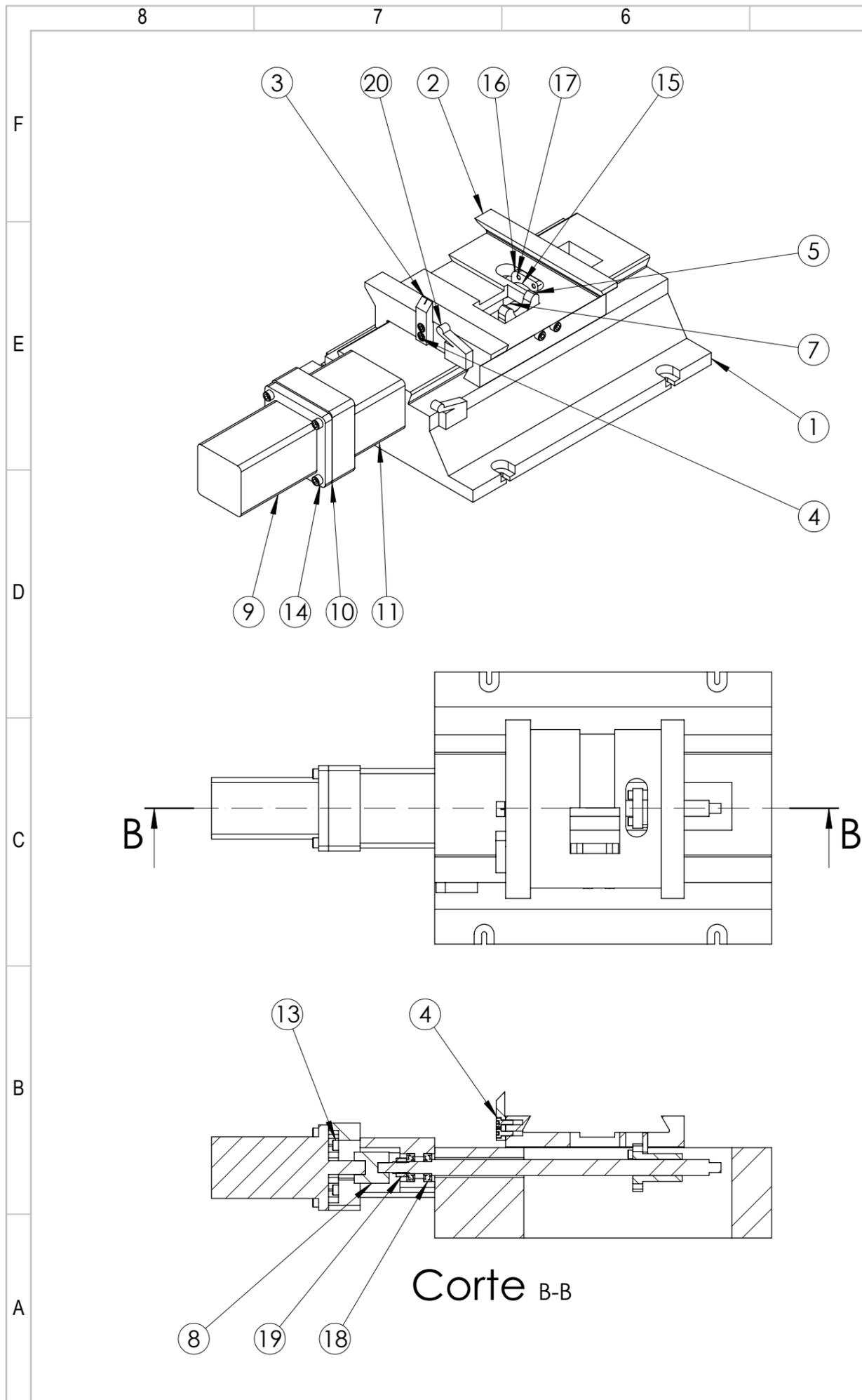
Material / Material Material <sin especificar>	Proyektista Designer	Fecha / Date	Nombre / Name	Firmas / Signatures
Proceso / Process Montaje	Comprobado Checked	15/07/2024	Ferran Pascual	
Acabado / Finishing	Calidad superficial / Surface quality	15/07/2024	Jesus Ortí	
	ISO 1032	N7 / N8	Cotas sin tolerancia / Dimensions without tolerance	Tol. de forma y posición / Form and position Tol.
			ISO 2768-1 m	ISO 2768-2 K
Peso / Weight 164.14 kg	Denominación / Denomination			
Escala / Scale 1:5	Formato / Size A3	ENSAMBLAJE FRESADORA CNC		

Tel. (34) 96-155-40-72 www.grupotice.es

Ref. Pieza / Part N°
MOD515898A00000V10

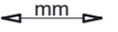
Nº Proyecto / Project N°:
515898

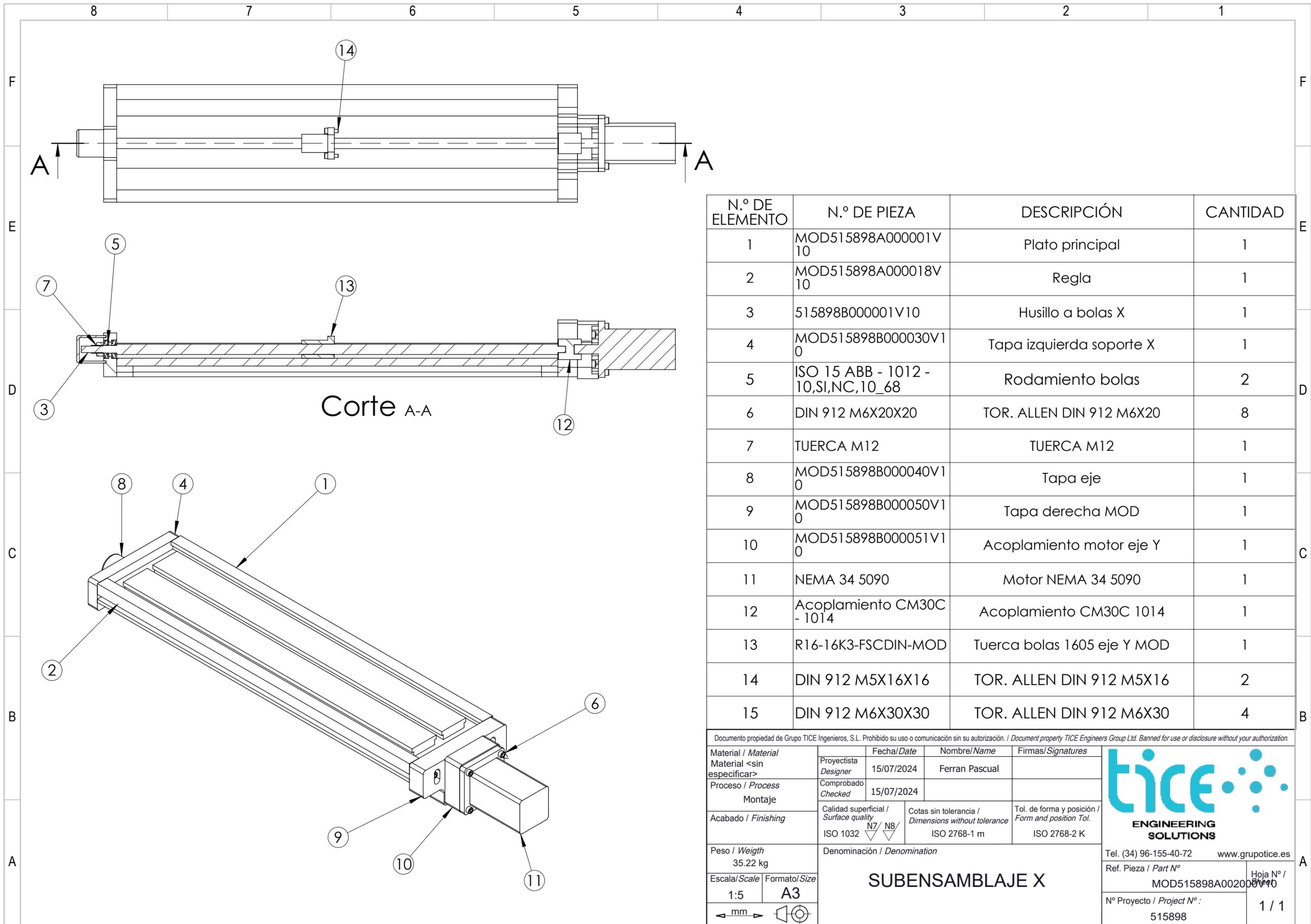
Hoja Nº /
1 / 1



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	MOD515898A000005V10	Base	1
2	MOD515898A000004V10	Carro Y	1
3	MOD515898A000027V10	Medidor	1
4	DIN 912 M5X12X12	TOR. ALLEN DIN 912 M5X12	4
5	MOD515898B000060V10	Soporte eje husillo X	1
6	DIN 912 M6X35X24	TOR. ALLEN DIN 912 M6X35	2
7	515898B000002V10	Husillo a bolas Y	1
8	Acoplamiento CM30C - 1014	Acoplamiento CM30C 1014	1
9	NEMA 34 5090	Motor NEMA 34 5090	1
10	MOD515898B000051V10	Acoplamiento motor eje Y	1
11	MOD515898B000070V10	Soporte motor eje Y	1
12	DIN 912 M6X55X55	DIN 912 M6X55X55	2
13	DIN 912 M6X30X30	TOR. ALLEN DIN 912 M6X30	4
14	DIN 912 M6X16X16	TOR. ALLEN DIN 912 M6X16	4
15	R16-16K3-FSCDIN	Tuerca bolas 1605 eje Y	1
16	MOD515898B000080V10	Soporte eje husillo X	1
17	DIN 912 M6X25X25	TOR. ALLEN DIN 912 M6X25	2
18	ISO 15 ABB - 1012 - 10,SI,NC,10_68	Rodamiento bolas	2
19	TUERCA M12	TUERCA M12	1
20	Final de carrera	Sensor final de carrera	2

Documento propiedad de Grupo TICE Ingenieros, S.L. Prohibido su uso o comunicación sin su autorización. / Document property TICE Engineers Group Ltd. Banned for use or disclosure without your authorization.

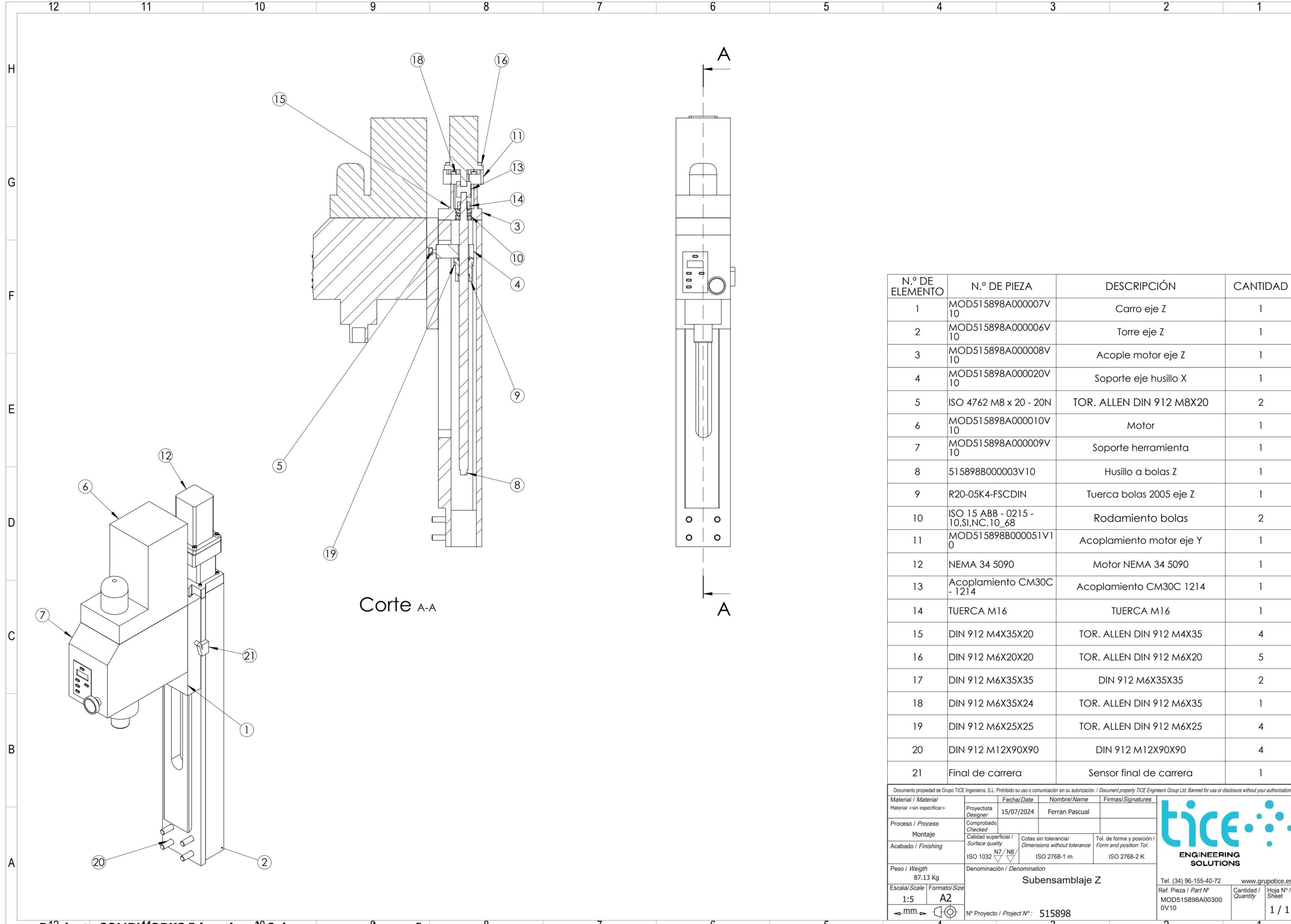
Material / Material	Proyectista / Designer	Fecha / Date	Nombre / Name	Firmas / Signatures
		15/07/2024	Ferran Pascual	
Proceso / Process Montaje	Comprobado / Checked	15/07/2024		
	Acabado / Finishing	Calidad superficial / Surface quality ISO 1032	Cotas sin tolerancia / Dimensions without tolerance ISO 2768-1 m	Tol. de forma y posición / Form and position Tol. ISO 2768-2 K
Peso / Weight 41.79 kg	Denominación / Denomination			 Tel. (34) 96-155-40-72 www.grupotice.es Ref. Pieza / Part N° MOD515898A001000V10 Nº Proyecto / Project N°: 515898 Hoja N° / 1 / 1
Escala / Scale 1:5	Formato / Size A3	SUBENSAMBLAJE Y		
 				



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	MOD515898A000001V10	Plato principal	1
2	MOD515898A000018V10	Regla	1
3	515898B000001V10	Husillo a bolas X	1
4	MOD515898B000030V10	Tapa izquierda soporte X	1
5	ISO 15 ABB - 1012 - 10,SI,NC,10_68	Rodamiento bolas	2
6	DIN 912 M6X20X20	TOR. ALLEN DIN 912 M6X20	8
7	TUERCA M12	TUERCA M12	1
8	MOD515898B000040V10	Tapa eje	1
9	MOD515898B000050V10	Tapa derecha MOD	1
10	MOD515898B000051V10	Acoplamiento motor eje Y	1
11	NEMA 34 5090	Motor NEMA 34 5090	1
12	Acoplamiento CM30C - 1014	Acoplamiento CM30C 1014	1
13	R16-16K3-FSCDIN-MOD	Tuerca bolas 1605 eje Y MOD	1
14	DIN 912 M5X16X16	TOR. ALLEN DIN 912 M5X16	2
15	DIN 912 M6X30X30	TOR. ALLEN DIN 912 M6X30	4

Documento propiedad de Grupo TICE Ingenieros, S.L. Prohibido su uso o comunicación sin su autorización. / Document property TICE Engineers Group Ltd. Banned for use or disclosure without your authorization.

Material / Material Material <sin especificar>	Proyectista / Designer Ferran Pascual	Fecha / Date 15/07/2024	Nombre / Name Ferran Pascual	Firmas / Signatures
Proceso / Process Montaje	Comprobado / Checked	15/07/2024		
Acabado / Finishing	Calidad superficial / Surface quality ISO 1032	Cotas sin tolerancia / Dimensions without tolerance ISO 2768-1 m	Tol. de forma y posición / Form and position Tol. ISO 2768-2 K	
Peso / Weight 35.22 kg	Denominación / Denomination SUBENSAMBLAJE X			
Escala / Scale 1:5	Formato / Size A3			
				 ENGINEERING SOLUTIONS Tel. (34) 96-155-40-72 www.grupotice.es Ref. Pieza / Part N° Hoja N° / MOD515898A002000V10 1 / 1 N° Proyecto / Project N° : 515898



Corte A-A

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	MOD515898A000007V10	Carro eje Z	1
2	MOD515898A000006V10	Torre eje Z	1
3	MOD515898A000008V10	Acople motor eje Z	1
4	MOD515898A000020V10	Soporte eje husillo X	1
5	ISO 4762 M8 x 20 - 20N	TOR. ALLEN DIN 912 M8X20	2
6	MOD515898A000010V10	Motor	1
7	MOD515898A000009V10	Soporte herramienta	1
8	515898B000003V10	Husillo a bolas Z	1
9	R20-05K4-FSCDIN	Tuerca bolas 2005 eje Z	1
10	ISO 15 ABB - 0215 - 10,SI,NC,10_68	Rodamiento bolas	2
11	MOD515898B0000051V10	Acoplamiento motor eje Y	1
12	NEMA 34 5090	Motor NEMA 34 5090	1
13	Acoplamiento CM30C - 1214	Acoplamiento CM30C 1214	1
14	TUERCA M16	TUERCA M16	1
15	DIN 912 M4X35X20	TOR. ALLEN DIN 912 M4X35	4
16	DIN 912 M6X20X20	TOR. ALLEN DIN 912 M6X20	5
17	DIN 912 M6X35X35	DIN 912 M6X35X35	2
18	DIN 912 M6X35X24	TOR. ALLEN DIN 912 M6X35	1
19	DIN 912 M6X25X25	TOR. ALLEN DIN 912 M6X25	4
20	DIN 912 M12X90X90	DIN 912 M12X90X90	4
21	Final de carrera	Sensor final de carrera	1

Documento propiedad de Grupo TICE Ingenieros, S.L. Prohibido su uso o comunicación sin su autorización. / Document property TICE Engineers Group Ltd. Banned for use or disclosure without your authorization.

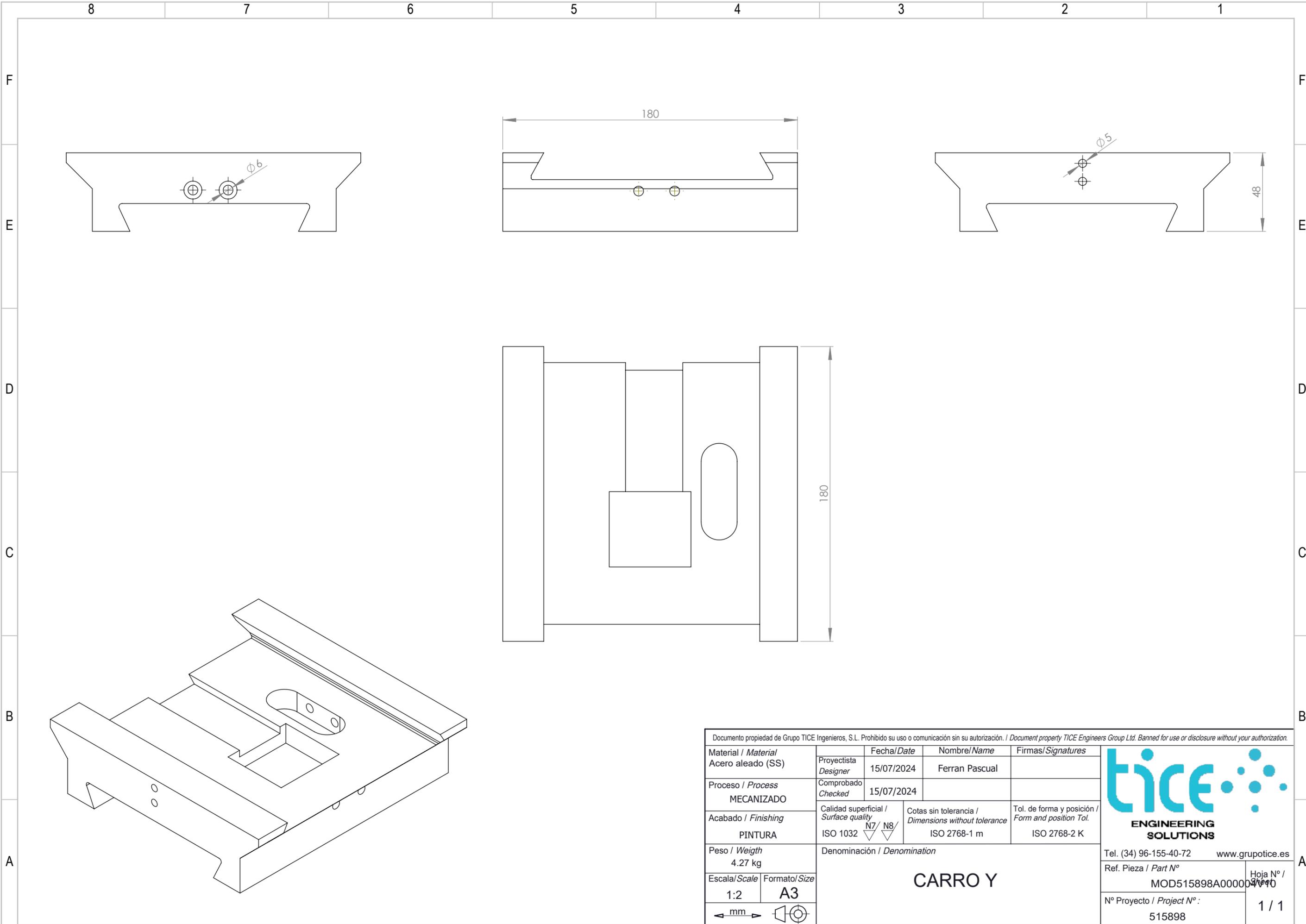
Material / Material	Proyectista / Designer	Fecha / Date	Nombre / Name	Firmas / Signatures
Material <sin especificar>	15/07/2024	Ferran Pascual		
Proceso / Process	Comprobado / Checked			
Montaje				
Acabado / Finishing	Calidad superficial / Surface quality	Cotas sin tolerancia / Dimensions without tolerance	Tol. de forma y posición / Form and position Tol.	
	ISO 1032 N7/N8	ISO 2768-1 m	ISO 2768-2 K	
Peso / Weight	Denominación / Denomination			
87.13 Kg	Subensamblaje Z			
Escala / Scale	Formato / Size	Nº Proyecto / Project Nº: 515898		
1:5	A2			



ENGINEERING SOLUTIONS

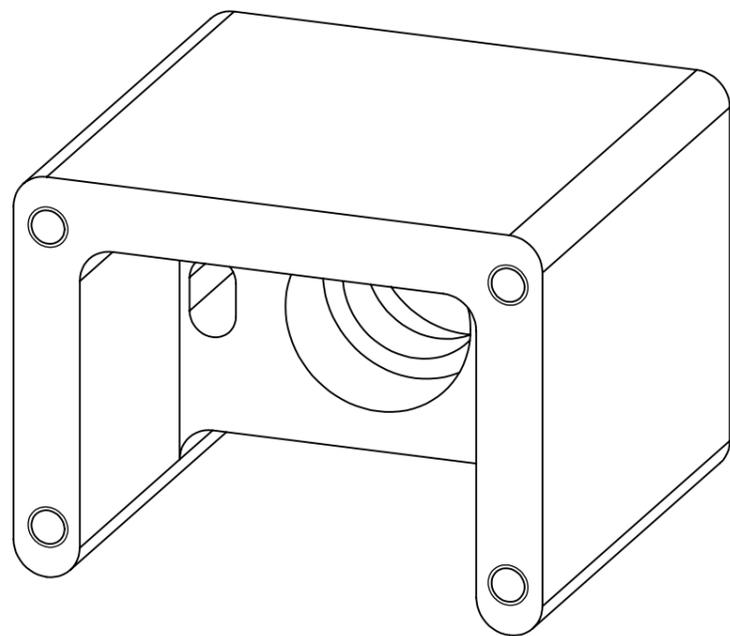
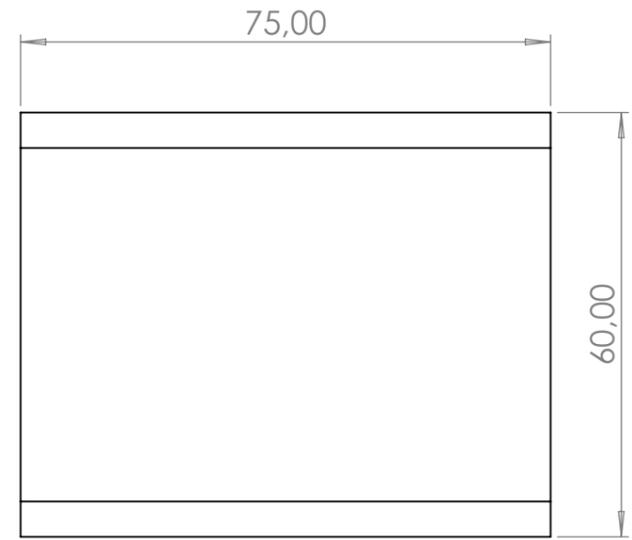
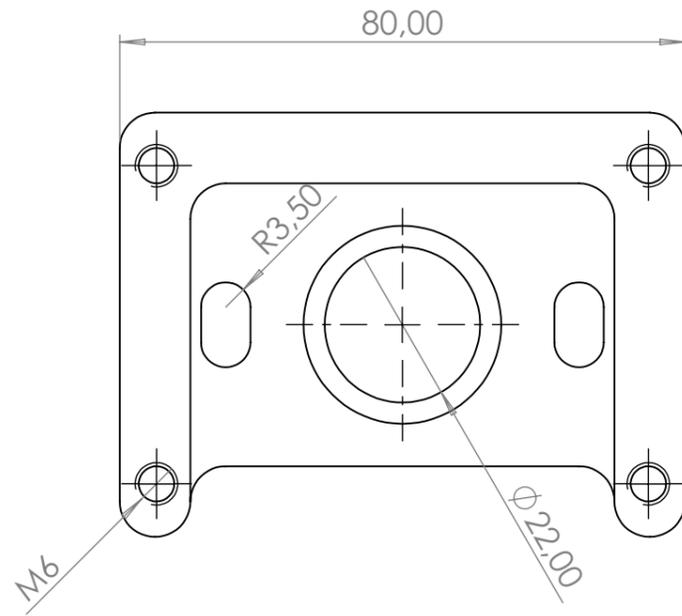
Tel. (34) 96-155-40-72 www.grupotice.es

Ref. Pieza / Part Nº	Cantidad / Quantity	Hoja Nº / Sheet
MOD515898A003000V10		1 / 1



Documento propiedad de Grupo TICE Ingenieros, S.L. Prohibido su uso o comunicación sin su autorización. / Document property TICE Engineers Group Ltd. Banned for use or disclosure without your authorization.

Material / Material Acero aleado (SS)	Proyectista Designer Ferran Pascual	Fecha / Date 15/07/2024	Nombre / Name Ferran Pascual	Firmas / Signatures
Proceso / Process MECANIZADO	Comprobado Checked	15/07/2024		
Acabado / Finishing PINTURA	Calidad superficial / Surface quality ISO 1032	N7 / N8 /	Cotas sin tolerancia / Dimensions without tolerance ISO 2768-1 m	Tol. de forma y posición / Form and position Tol. ISO 2768-2 K
Peso / Weight 4.27 kg	Denominación / Denomination CARRO Y			Tel. (34) 96-155-40-72 www.grupotice.es
Escala / Scale 1:2	Formato / Size A3			Ref. Pieza / Part N° MOD515898A00004140
N° Proyecto / Project N°: 515898				Hoja N° / 4140 1 / 1



Documento propiedad de Grupo TICE Ingenieros, S.L. Prohibido su uso o comunicación sin su autorización. / Document property TICE Engineers Group Ltd. Banned for use or disclosure without your authorization.				
Material / Material Acero aleado (SS)	Proyectista Designer	Fecha / Date 15/07/2024	Nombre / Name Ferran Pascual	Firmas / Signatures
	Proceso / Process MECANIZADO	Comprobado Checked	15/07/2024	
Acabado / Finishing NATURAL	Calidad superficial / Surface quality		Cotas sin tolerancia / Dimensions without tolerance	Tol. de forma y posición / Form and position Tol.
	ISO 1032 ∇ N7 / N8 /		ISO 2768-1 m	ISO 2768-2 K
Peso / Weight 1475.31 kg	Denominación / Denomination			
Escala / Scale 1:1	Formato / Size A3	SOPORTE MOTOR EJE Y		
Ref. Pieza / Part N° MOD515898B000078V40			Tel. (34) 96-155-40-72 www.grupotice.es	
N° Proyecto / Project N° : 515898			Hoja N° / 78V40 1 / 1	

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

C

B

B

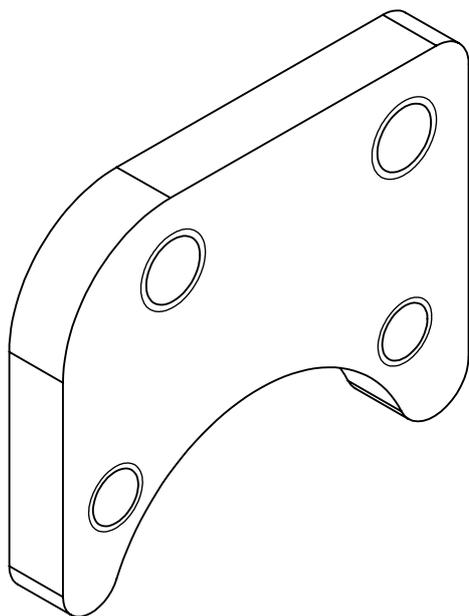
30,00

37,75

M6

M5

5,00



Documento propiedad de Grupo TICE Ingenieros, S.L. Prohibido su uso o comunicación sin su autorización. / Document property TICE Engineers Group Ltd. Banned for use or disclosure without your authorization.

Material / Material Acero aleado (SS)		Fecha/Date 15/07/2024	Nombre/Name Ferran Pascual	Firmas/Signatures
Proceso / Process MECANIZADO		Comprobado Checked		
Acabado / Finishing NATURAL		Calidad superficial / Surface quality ISO 1032 $\nabla_{N7} / \nabla_{N8}$	Cotas sin tolerancia / Dimensions without tolerance ISO 2768-1 m	Tol. de forma y posición / Form and position Tol. ISO 2768-2 K
Peso / Weight 31.75 kg		Denominación / Denomination SOPORTE EJE HUSILLO X		
Escalal/Scale 2:1	Formato/Size A4	Nº Proyecto / Project Nº : 515898		



Tel. (34) 96-155-40-72 www.grupotice.es

Ref. Pieza / Part Nº

Cantidad /
Quantity

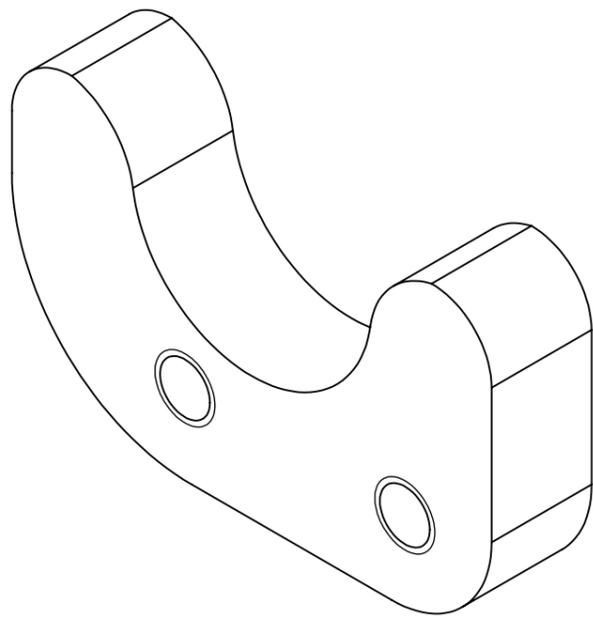
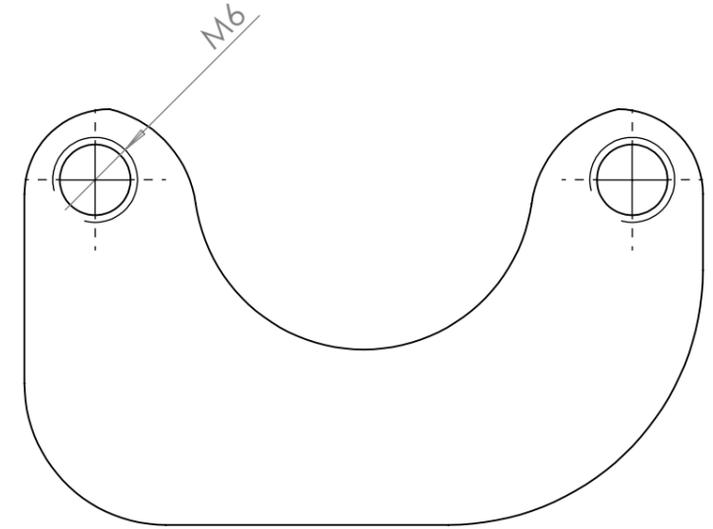
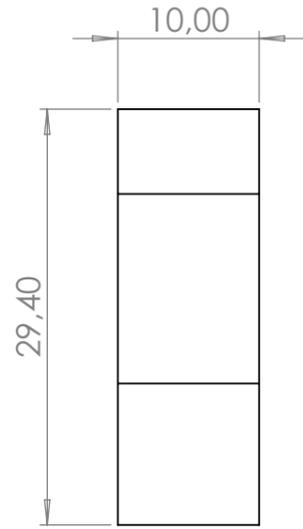
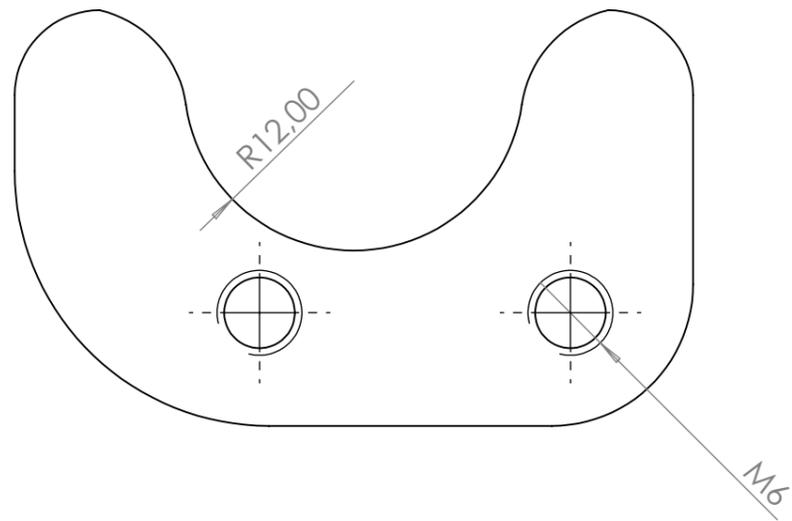
Hoja Nº /
Sheet

MOD515898B000080V10

1 / 1

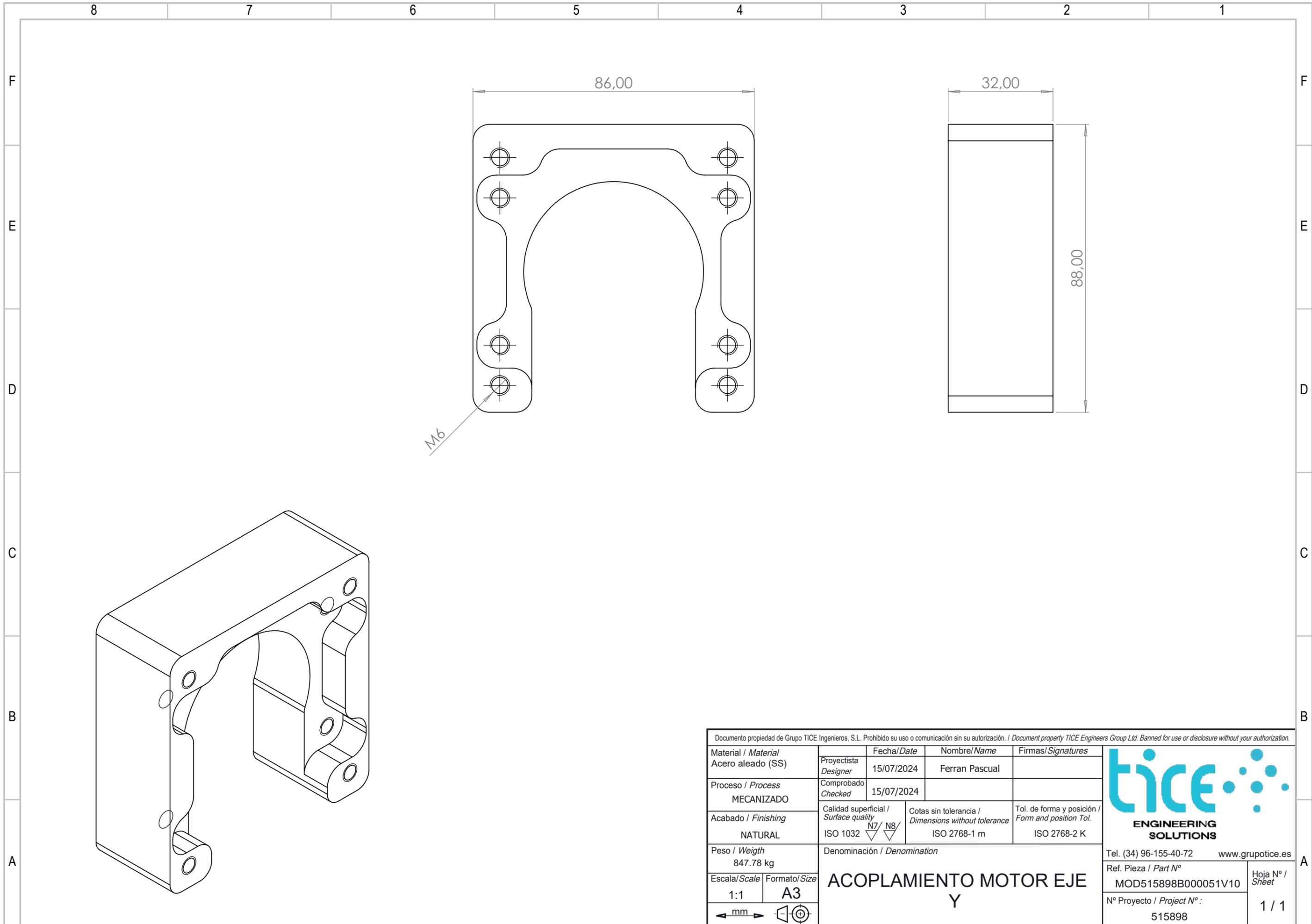
A

A



Documento propiedad de Grupo TICE Ingenieros, S.L. Prohibido su uso o comunicación sin su autorización. / Document property TICE Engineers Group Ltd. Banned for use or disclosure without your authorization.

Material / Material Acero aleado (SS)	Proyectista Designer	Fecha / Date 15/07/2024	Nombre / Name Ferran Pascual	Firmas / Signatures
	Proceso / Process MECANIZADO	Comprobado Checked	15/07/2024	
Acabado / Finishing NATURAL	Calidad superficial / Surface quality ISO 1032	Cotas sin tolerancia / Dimensions without tolerance ISO 2768-1 m	Tol. de forma y posición / Form and position Tol. ISO 2768-2 K	
Peso / Weight 68.17 kg	Denominación / Denomination SOPORTE EJE HUSILLO X			
Escala / Scale 2:1	Formato / Size A3	 		
				Tel. (34) 96-155-40-72 www.grupotice.es Ref. Pieza / Part N° MOD515898B00006040 N° Proyecto / Project N°: 515898
				Hoja N° / 1 / 1



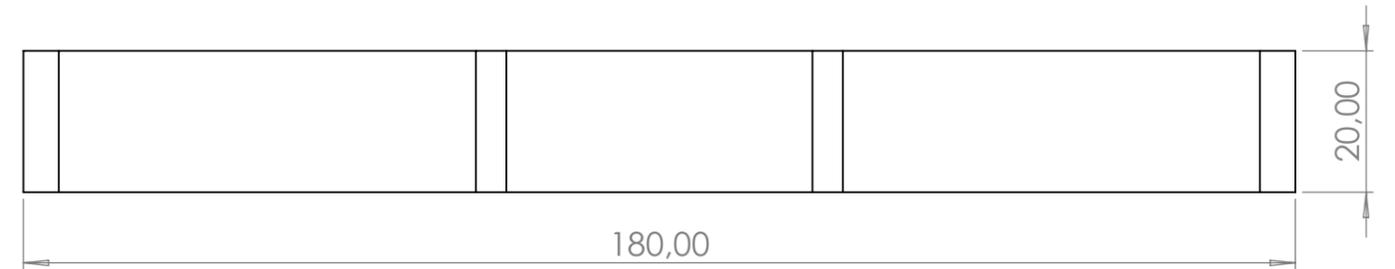
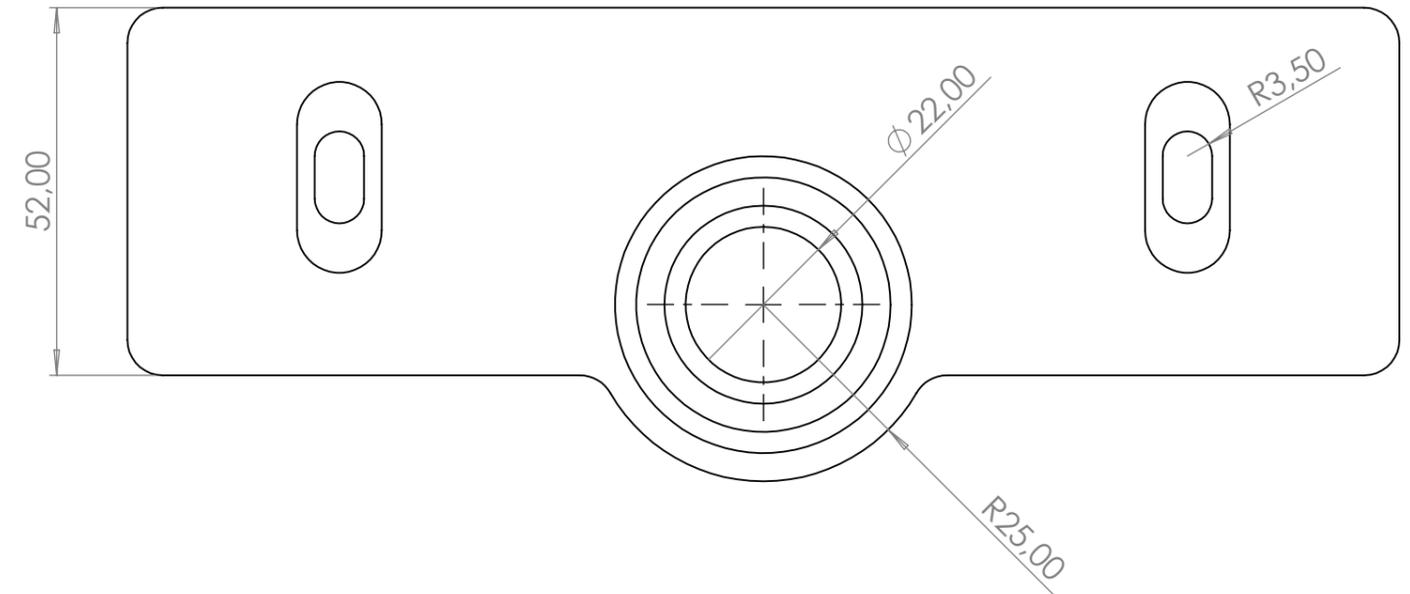
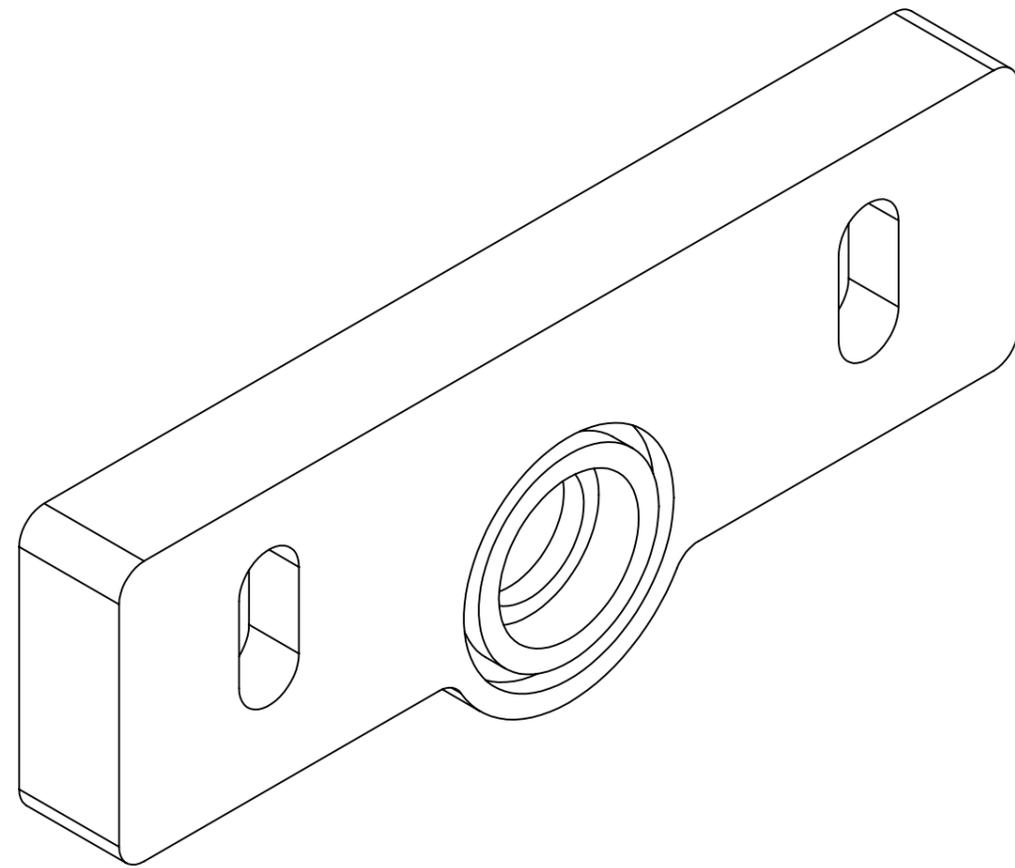
M6

86,00

32,00

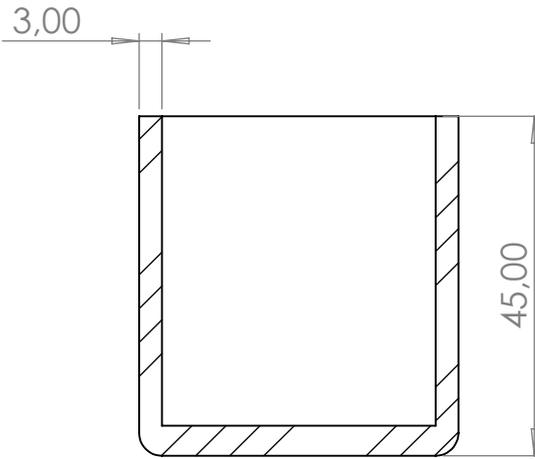
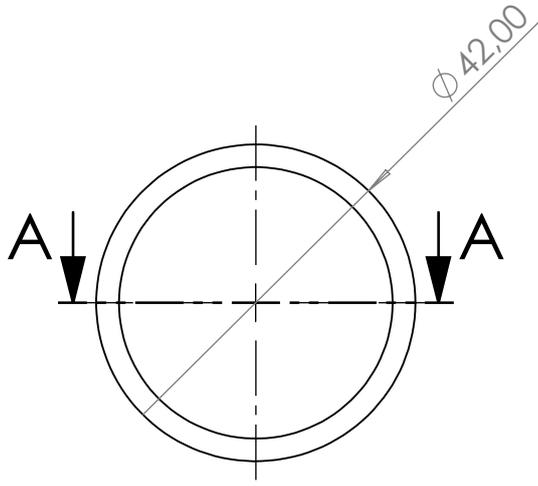
88,00

Documento propiedad de Grupo TICE Ingenieros, S.L. Prohibido su uso o comunicaci3n sin su autorizaci3n. / Document property TICE Engineers Group Ltd. Banned for use or disclosure without your authorization.				
Material / Material Acero aleado (SS)	Proyectista Designer	Fecha / Date 15/07/2024	Nombre / Name Ferran Pascual	Firmas / Signatures
	Proceso / Process MECANIZADO	Comprobado Checked	15/07/2024	
Acabado / Finishing NATURAL	Calidad superficial / Surface quality	Cotas sin tolerancia / Dimensions without tolerance		Tol. de forma y posici3n / Form and position Tol.
	ISO 1032	N7 / N8	ISO 2768-1 m	ISO 2768-2 K
Peso / Weight 847.78 kg	Denominaci3n / Denomination			Tel. (34) 96-155-40-72 www.grupotice.es
Escala / Scale 1:1	Formato / Size A3	ACOPLAMIENTO MOTOR EJE Y		Ref. Pieza / Part N ^o MOD515898B000051V10
mm				N ^o Proyecto / Project N ^o : 515898

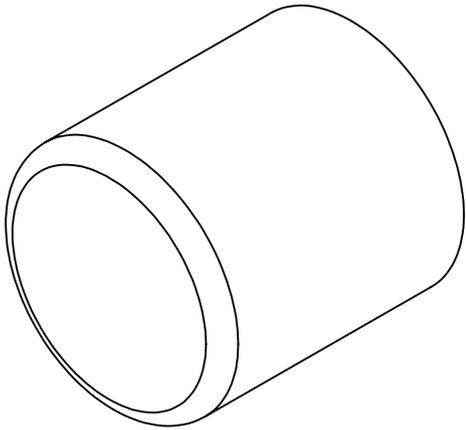


Documento propiedad de Grupo TICE Ingenieros, S.L. Prohibido su uso o comunicación sin su autorización. / Document property TICE Engineers Group Ltd. Banned for use or disclosure without your authorization.			
Material / Material Acero aleado (SS)	Proyectista Designer 15/07/2024	Fecha / Date	Nombre / Name Ferran Pascual
Proceso / Process MECANIZADO	Comprobado Checked 15/07/2024	Firmas / Signatures	
Acabado / Finishing NATURAL	Calidad superficial / Surface quality ISO 1032 N7 / N8 /	Cotas sin tolerancia / Dimensions without tolerance ISO 2768-1 m	Tol. de forma y posición / Form and position Tol. ISO 2768-2 K
Peso / Weigh 1358.47 kg	Denominación / Denomination TAPA IZQUIERDA SOPORTE X		Tel. (34) 96-155-40-72 www.grupotice.es
Escala / Scale 1:1	Formato / Size A3	Ref. Pieza / Part N° MOD515898B000030V40	
mm		N° Proyecto / Project N° : 515898	
		Hoja N° / 1 / 1	





SECCIÓN A-A

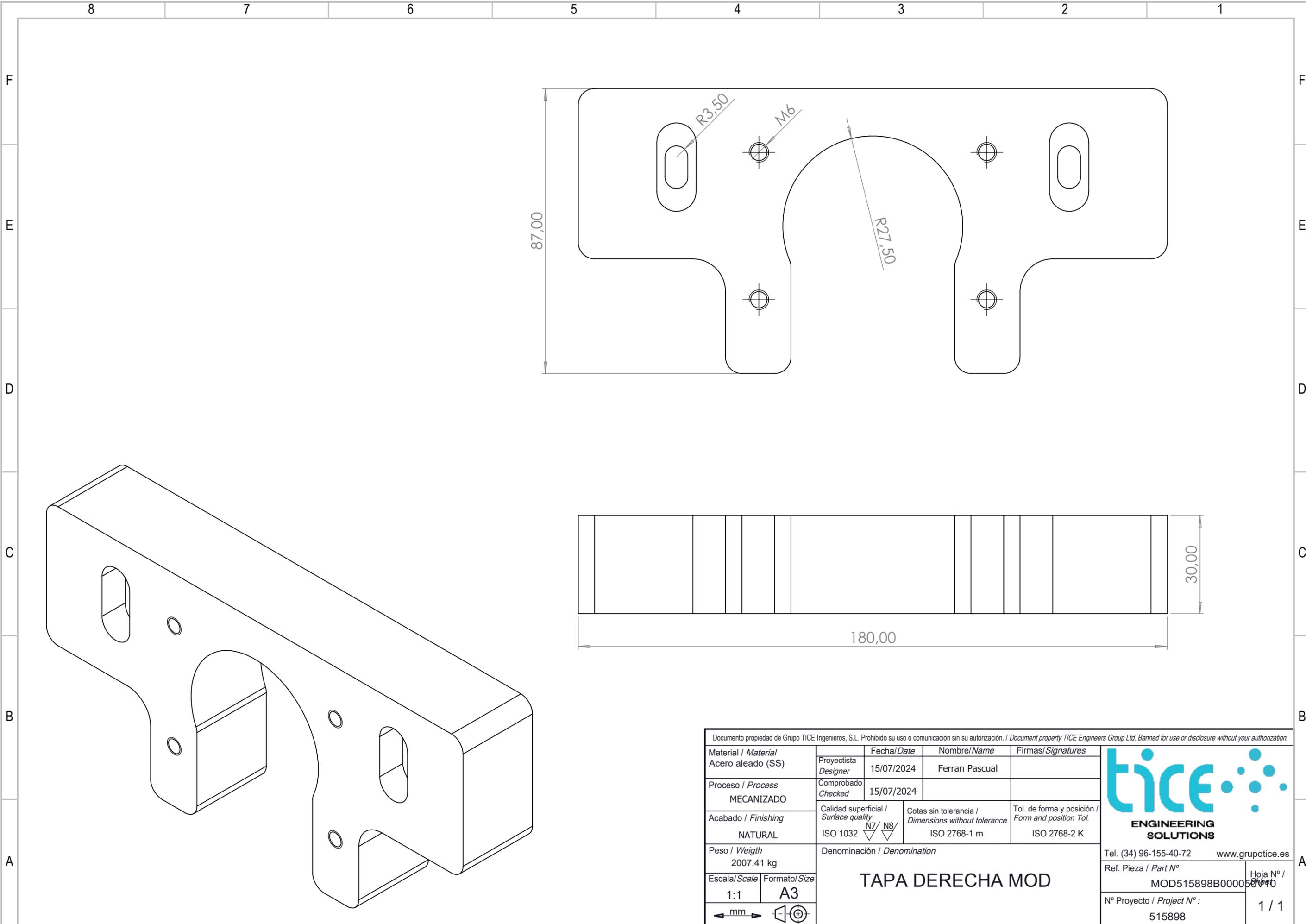


Documento propiedad de Grupo TICE Ingenieros, S.L. Prohibido su uso o comunicación sin su autorización. / Document property TICE Engineers Group Ltd. Banned for use or disclosure without your authorization.

Material / Material PET	Fecha / Date 15/07/2024	Nombre / Name Ferran Pascual	Firmas / Signatures
Proceso / Process IMP. 3D	Comprobado / Checked		
Acabado / Finishing NATURAL	Calidad superficial / Surface quality ISO 1032 $\nabla_{N7} / \nabla_{N8}$	Cotas sin tolerancia / Dimensions without tolerance ISO 2768-1 m	Tol. de forma y posición / Form and position Tol. ISO 2768-2 K
Peso / Weight 28.92 kg	Denominación / Denomination TAPA EJE		
Escal / Scale 1:1	Formato / Size A4	Nº Proyecto / Project Nº : 515898	



Tel. (34) 96-155-40-72	www.grupotice.es	
Ref. Pieza / Part Nº	Cantidad / Quantity	Hoja Nº / Sheet
MOD515898B000040V10	10	1 / 1



87,00

R3,50

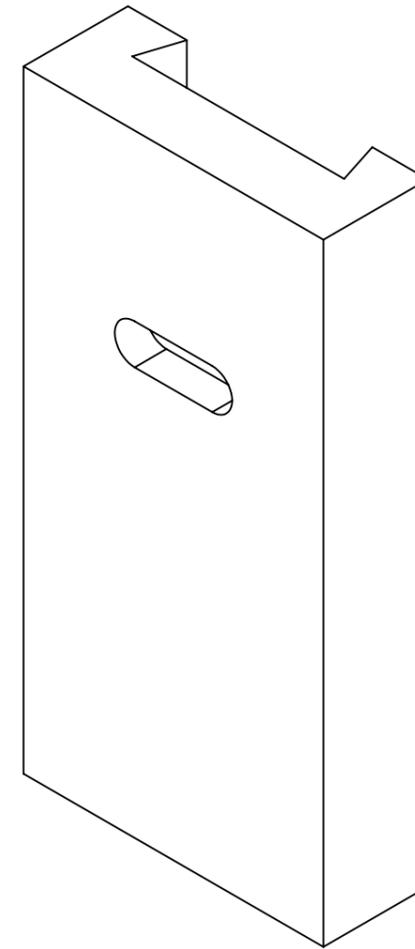
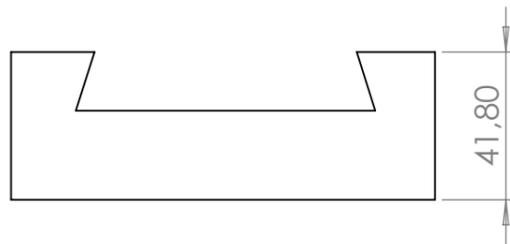
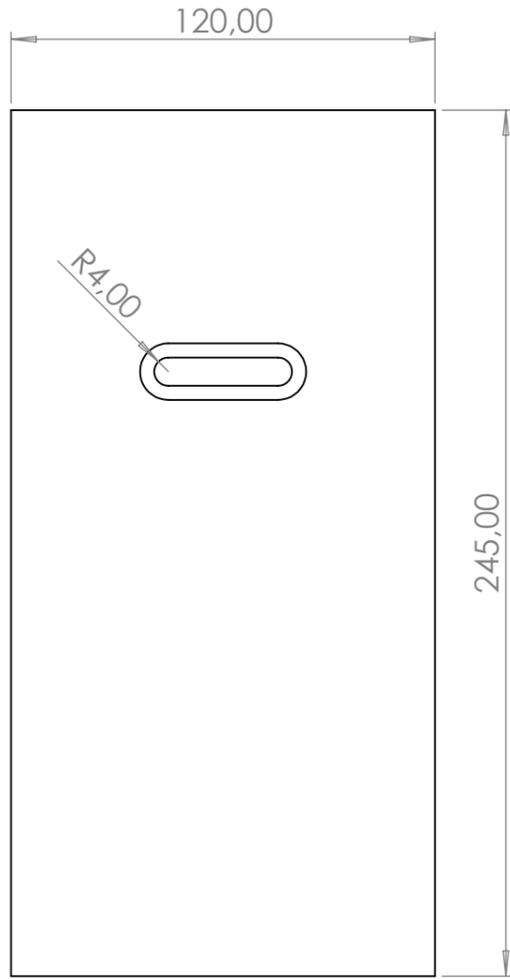
M6

R27,50

30,00

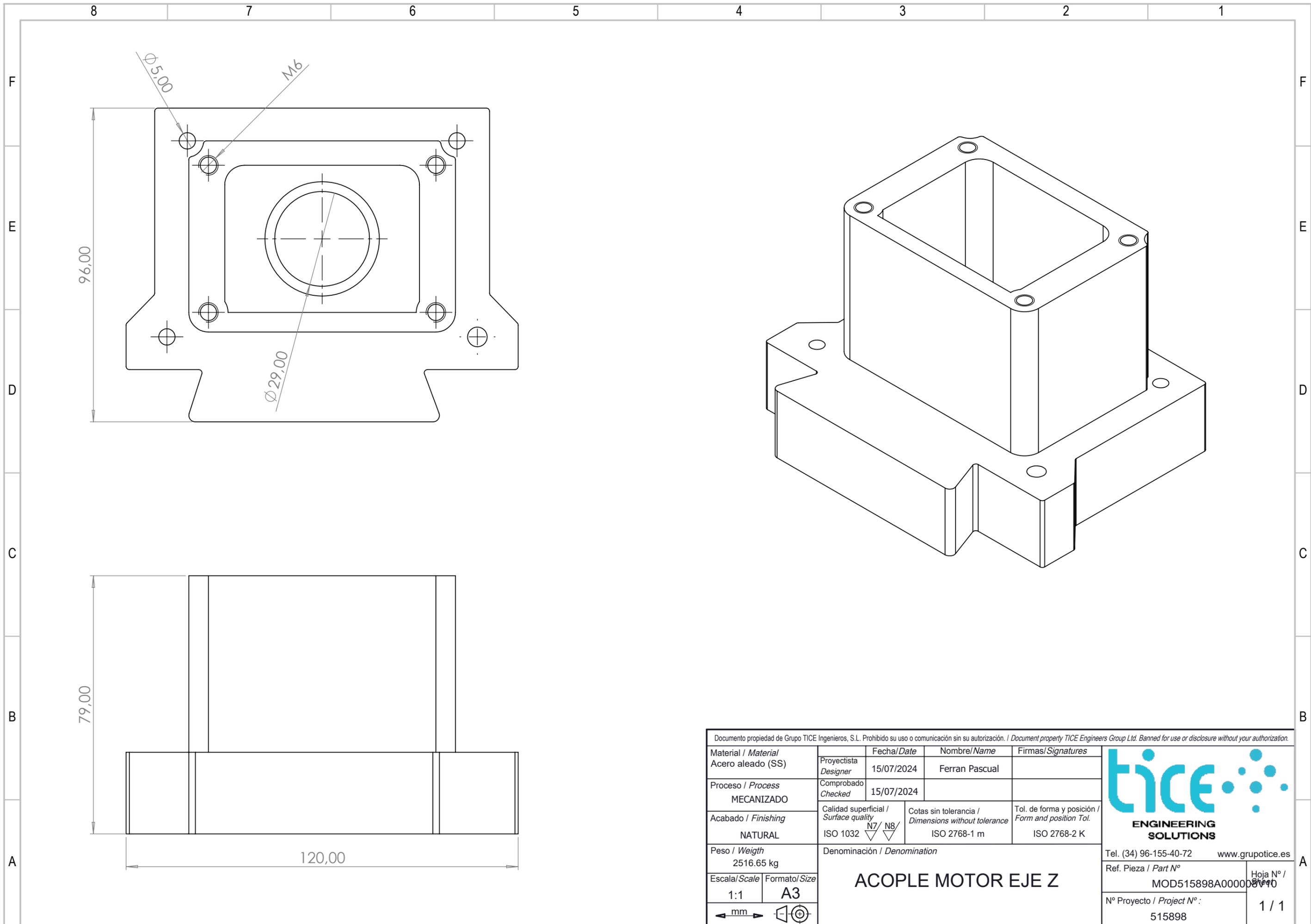
180,00

Documento propiedad de Grupo TICE Ingenieros, S.L. Prohibido su uso o comunicacion sin su autorizacion. / Document property TICE Engineers Group Ltd. Banned for use or disclosure without your authorization.			
Material / Material Acero aleado (SS)	Proyectista Designer	Fecha / Date 15/07/2024	Nombre / Name Ferran Pascual
	Comprobado Checked	15/07/2024	
Proceso / Process MECANIZADO			
Acabado / Finishing NATURAL	Calidad superficial / Surface quality	Cotas sin tolerancia / Dimensions without tolerance	Tol. de forma y posición / Form and position Tol.
	ISO 1032 N7/ N8/	ISO 2768-1 m	ISO 2768-2 K
Peso / Weight 2007.41 kg	Denominación / Denomination		
Escala / Scale 1:1	Formato / Size A3	TAPA DERECHA MOD	
		Tel. (34) 96-155-40-72 www.grupotice.es	
		Ref. Pieza / Part N° MOD515898B000050V40	
		N° Proyecto / Project N°: 515898	
		Hoja N° / 50V40 1 / 1	



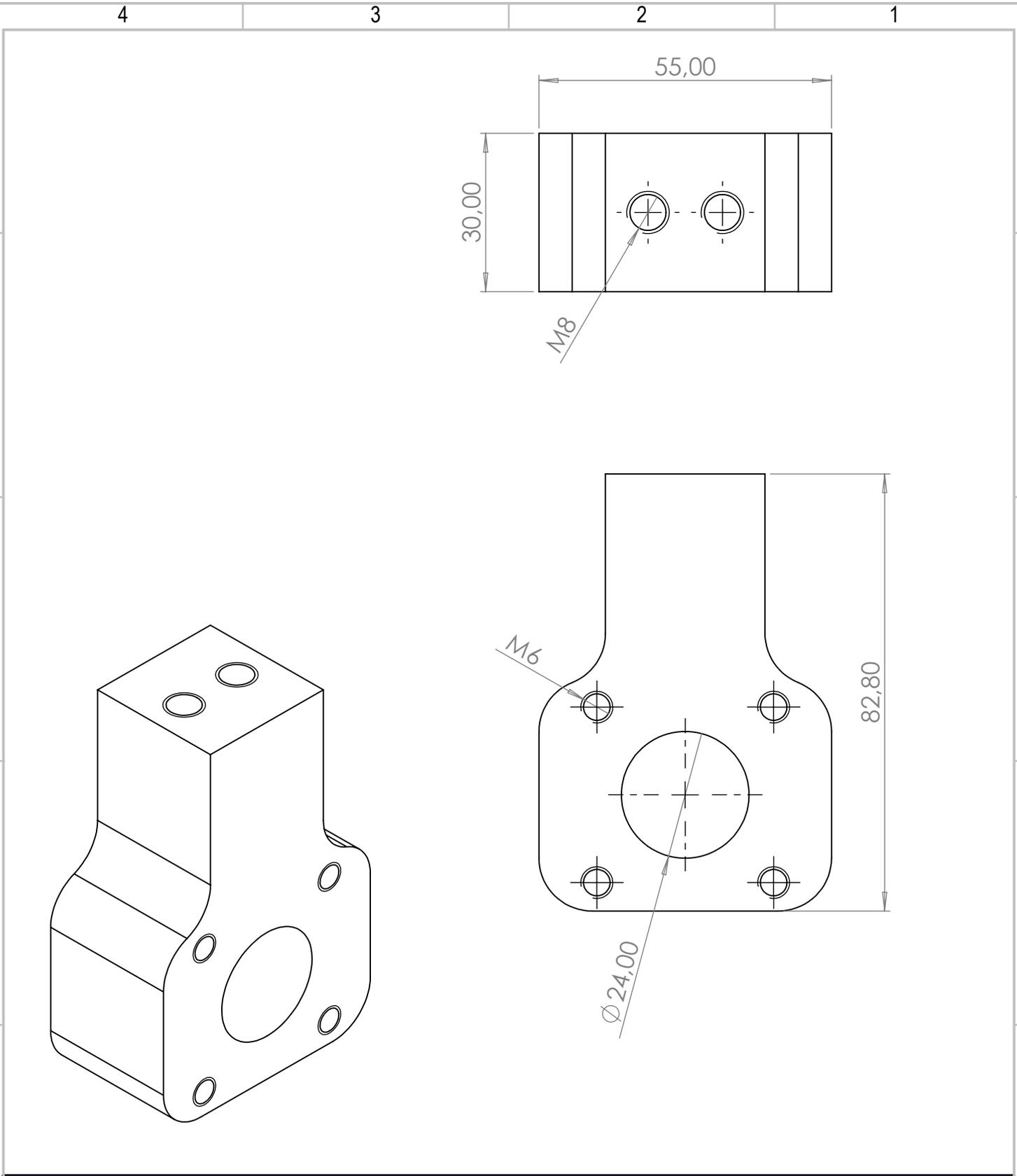
Documento propiedad de Grupo TICE Ingenieros, S.L. Prohibido su uso o comunicación sin su autorización. / Document property TICE Engineers Group Ltd. Banned for use or disclosure without your authorization.			
Material / Material Acero aleado (SS)	Proyectista Designer 15/07/2024	Fecha / Date 15/07/2024	Nombre / Name Ferran Pascual
Proceso / Process MECANIZADO	Comprobado Checked 15/07/2024	Firmas / Signatures	
Acabado / Finishing NATURAL	Calidad superficial / Surface quality ISO 1032	Cotas sin tolerancia / Dimensions without tolerance ISO 2768-1 m	Tol. de forma y posición / Form and position Tol. ISO 2768-2 K
Peso / Weigh 6844.82 kg	Denominación / Denomination CARRO EJE Z		
Escala / Scale 1:2	Formato / Size A3	Tel. (34) 96-155-40-72 www.grupotice.es	
← mm →		Ref. Pieza / Part N° MOD515898A0000	
		N° Proyecto / Project N° : 515898	
		Hoja N° / 9740 1 / 1	





Documento propiedad de Grupo TICE Ingenieros, S.L. Prohibido su uso o comunicación sin su autorización. / Document property TICE Engineers Group Ltd. Banned for use or disclosure without your authorization.

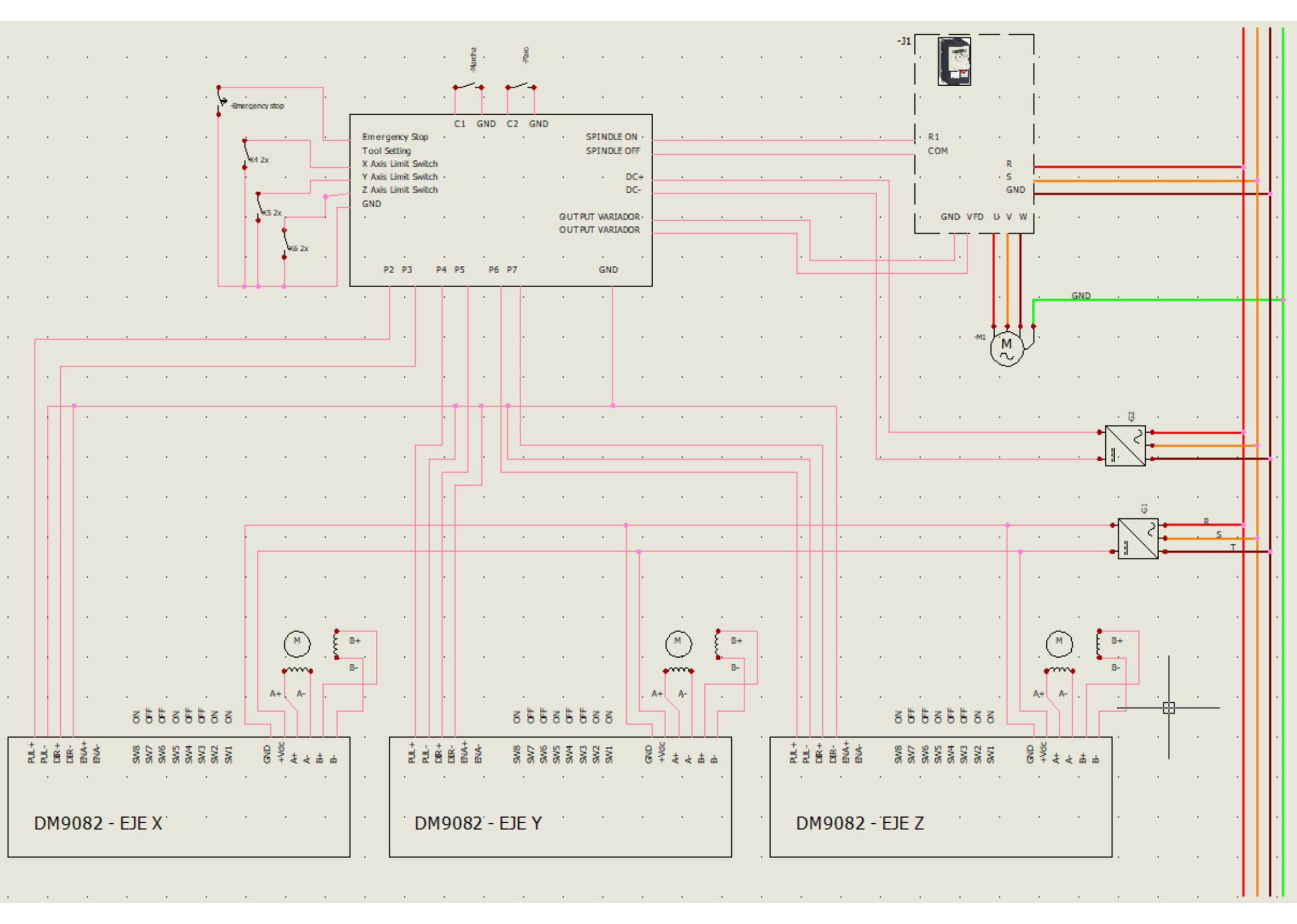
Material / Material Acero aleado (SS)	Proyectista Designer Ferran Pascual	Fecha / Date 15/07/2024	Nombre / Name	Firmas / Signatures
Proceso / Process MECANIZADO	Comprobado Checked	15/07/2024		
Acabado / Finishing NATURAL	Calidad superficial / Surface quality ISO 1032 N7/N8	Cotas sin tolerancia / Dimensions without tolerance ISO 2768-1 m	Tol. de forma y posición / Form and position Tol. ISO 2768-2 K	
Peso / Weight 2516.65 kg	Denominación / Denomination ACOPLE MOTOR EJE Z			
Escala / Scale 1:1	Formato / Size A3	Tel. (34) 96-155-40-72 www.grupotice.es		
		Ref. Pieza / Part N° MOD515898A000008440		Hoja N° / 8440
		N° Proyecto / Project N°: 515898		1 / 1



Documento propiedad de Grupo TICE Ingenieros, S.L. Prohibido su uso o comunicacion sin su autorizacion. / Document property TICE Engineers Group Ltd. Banned for use or disclosure without your authorization.

Material / Material Acero aleado (SS)		Fecha/Date 16/07/2024	Nombre/Name Ferran Pascual	Firmas/Signatures
Proceso / Process MECANIZADO		Comprobado Checked		
Acabado / Finishing NATURAL		Calidad superficial / Surface quality ISO 1032 $\nabla_{N7} / \nabla_{N8}$	Cotas sin tolerancia / Dimensions without tolerance ISO 2768-1 m	Tol. de forma y posición / Form and position Tol. ISO 2768-2 K
Peso / Weight 685.86 kg		Denominación / Denomination SOPORTE EJE HUSILLO Z		
Escal/Scale 1:1	Formato/Size A4	Nº Proyecto / Project Nº : 515898		

Tel. (34) 96-155-40-72 www.grupotice.es
 Ref. Pieza / Part Nº MOD515898A000020V10
 Cantidad / Quantity 10
 Hoja Nº / Sheet 1 / 1



FIN