

**ESCUELA POLITÉCNICA  
SUPERIOR DE CÓRDOBA**  
Universidad de Córdoba



**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

*Máster de Ingeniería Industrial.*

**DESARROLLO DE UN MECANISMO DE  
CONTROL DE ALTURA PARA MÁQUINA CNC**

**TOMO 1: ÍNDICE GENERAL**

**Autor:** Francisco González Dorado.

**Director:** Rafael Rubén Sola Guirado.



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA



# 1 Índice del tomo 1: Índice general

## Índice general

1	Índice del tomo 1: Índice general.....	I
2	Índice del tomo 2: Memoria.....	II
3	Índice del tomo 3: Anexos.....	IV
4	Índice del tomo 4: Planos.....	VI
5	Índice del tomo 5: Pliego de condiciones.....	VII
6	Índice del tomo 6: Mediciones y presupuesto.....	VIII

## 2 Índice del tomo 2: Memoria

### Índice de memoria

1	Identificación .....	1
1.1	Información del proyecto .....	1
1.2	Promotor del proyecto .....	1
1.3	Director del proyecto.....	1
1.4	Autor del proyecto.....	1
2	Introducción.....	2
3	Objetivos.....	3
4	Alcance.....	3
5	Antecedentes.....	4
6	Normas y referencias.....	10
6.1	Relación de normativa de referencia.....	10
6.2	Bibliografía.....	10
6.3	Programas de cálculo.....	12
6.4	Plan de gestión de la calidad.....	12
7	Definiciones y abreviaturas.....	14
8	Definición del diseño .....	15
8.1	Diseño de la plataforma de trabajo .....	15
8.2	Diseño del mecanismo elevador .....	16
8.3	Diseño del control digital .....	23
8.4	Prototipado del mecanismo elevador y sistema de control .....	26
9	Planificación de la ejecución.....	28
9.1	Obtención de los elementos materiales .....	28
9.2	Ensamblaje de los elementos individuales .....	28
9.3	Ensamblaje en máquina, calibrado y puesta en marcha.....	28
10	Conclusiones.....	29

**Índice de figuras**

Figura 1. Máquina CNC de corte y grabado láser. ....	2
Figura 2. Esquema de la trayectoria del haz laser (TEN-HIGH, 2021). ....	4
Figura 3. Mecanismo de elevación mediante husillo y tuerca, dirigido por guías lineales (Matthew, Kumar and Michael, 2019). ....	5
Figura 4. Esquema de un mecanismo elevador de tijera (Liu and Sun, 2009). ....	6
Figura 5. Esquema de un motor de corriente continua, escobillas e imán permanente (Zaccarian, 2005). .	7
Figura 6. Esquema de un motor paso a paso de corriente continua, sin escobillas e imán permanente (Ricci and Meacci, 2018). ....	8
Figura 7. CNC Shield de Arduino (Keystudio, 2021). ....	9
Figura 8. Casa de la calidad desarrollada para el QFD. ....	13
Figura 9. Estructura de la plataforma de trabajo. ....	16
Figura 10. Plataforma de trabajo finalizada. ....	16
Figura 11. Esquema del mecanismo elevador. ....	17
Figura 12. Apoyo fijo de la plataforma (izquierda) y apoyo fijo del chasis (derecha). ....	18
Figura 13. Soporte de la barra en la plataforma (izquierda) y en el chasis (derecha). ....	18
Figura 14. Apoyo móvil del lado de la plataforma. ....	19
Figura 15. Apoyo móvil del lado del chasis. ....	19
Figura 16. Pletina que conforma el mecanismo de tijera. ....	20
Figura 17. Soporte del motor (izquierda), y soporte para los rodamientos axiales (derecha). ....	20
Figura 18. Vista en detalle del montaje de acople motor y sujeción del mecanismo. ....	21
Figura 19. Vista en detalle del montaje del mecanismo elevador. ....	21
Figura 20. Detalle de la fijación del mecanismo a la máquina CNC láser. ....	22
Figura 21. Renderizado fotorrealista de la máquina terminada. ....	22
Figura 22. Conexionado de los componentes hardware. ....	24
Figura 23. Base de la caja de control. ....	25
Figura 24. Tapa de la caja de control. ....	25
Figura 25. Montaje del sistema de control. ....	26
Figura 26. Detalle del acople motor al mecanismo. ....	27
Figura 27. Imagen completa del prototipo finalizado. ....	27

### 3 Índice del tomo 3: Anexos

#### Índice de anexos

1	Documentación inicial.....	1
2	Cálculos y estudios realizados.....	2
2.1	Estudio cinemático.....	2
2.2	Estudio dinámico.....	2
2.3	Estudio estático.....	4
2.4	Otros cálculos.....	7
3	Código fuente del control.....	7
3.1	Código fuente del programa de calibrado.....	7
3.2	Código fuente del programa principal.....	10
4	Anexos de aplicación.....	15
4.1	Manual de seguridad y mantenimiento.....	15
4.2	Manual del usuario.....	15
5	Documentación de referencia.....	16
5.1	Hoja de características: Motor PAP nema 17 JK42HS40-1704-13A.....	17
5.2	Hoja de características: Controladores motor PAP A4988.....	19
5.3	Hoja de características: ABS de calidad industrial.....	40
5.4	Hoja de características: Aluminio extruido AW 6005A.....	41
5.5	Extracto de catálogo: Rodamiento lineal BA 5.....	42
5.6	Extracto de catálogo: Rodamiento de bolas axial LM8UU.....	43

**Índice de figuras**

Figura 1. Desplazamiento horizontal del apoyo móvil frente al vertical de la plataforma. ....	3
Figura 2. Par necesario en el movimiento de subida de la plataforma. ....	3
Figura 3. Fuerza de empuje de la varilla roscada sobre el apoyo móvil. ....	3
Figura 4. Tensiones resultantes en las vigas del mecanismo. ....	5
Figura 5. Tensiones resultantes en la estructura de la plataforma. ....	5
Figura 6. Deformaciones resultantes en la estructura de la plataforma. ....	5
Figura 7. Tensiones resultantes en el soporte de los rodamientos axiales. ....	6
Figura 8. Tensiones resultantes en el apoyo móvil acoplado al motor. ....	6

**Índice de tablas**

Tabla 1. Mediciones efectuadas en la máquina CNC láser. ....	1
--	---

## 4 Índice del tomo 4: Planos

### Índice de planos

1	Carcasa electrónica base .....	1
2	Carcasa electrónica tapa .....	2
3	Soporte barra fija .....	3
4	Soporte motor .....	4
5	Soporte rodamientos lineales .....	5
6	Apoyo fijo .....	6
7	Apoyo móvil .....	7
8	Apoyo móvil plataforma.....	8
9	Apoyo fijo plataforma .....	9
10	Soporte barra plataforma .....	10
11	Pletina .....	11
12	Mecanismo derecho completo .....	12
13	Ensamblaje plataforma .....	13
14	Plantilla para fijación.....	14



## 5 Índice del tomo 5: Pliego de condiciones

### Índice de pliego de condiciones

1	Condiciones facultativas .....	1
1.1	Director de obra.....	1
1.2	Instalador.....	1
1.3	Verificación de los documentos del proyecto.....	1
1.4	Trabajos no estipulados expresamente .....	1
1.5	Interpretaciones y aclaraciones en los documentos del proyecto .....	1
1.6	Orden de los trabajos.....	2
1.7	Trabajos defectuosos.....	2
1.8	Procedencia de los materiales y aparatos .....	2
1.9	Materiales no utilizables.....	2
1.10	Limpieza de las obras.....	2
1.11	Plazo de garantía .....	2
1.12	Mantenimiento durante el plazo de garantía.....	2
1.13	Prórroga del plazo de garantía.....	3
2	Condiciones económicas .....	4
2.1	Variaciones en los precios unitarios .....	4
2.2	Pagos a proveedores.....	4
2.3	Demora en los pagos .....	4
2.4	Seguro durante la ejecución .....	4
3	Condiciones técnicas para la ejecución y montaje .....	5
3.1	Condiciones generales .....	5
3.2	Fijaciones verticales.....	5
3.3	Fijaciones de montaje.....	5
3.4	Apriete de ejes.....	5
3.5	Conexiones eléctricas .....	5
3.6	Pruebas preliminares.....	5
3.7	Manipulación manual .....	5

## 6 Índice del tomo 6: Mediciones y presupuesto

### Índice de mediciones y presupuesto

1	Partidas de obra .....	1
1.1	Partida 01: Montaje de mecanismos.....	1
1.2	Partida 02: Montaje de plataforma.....	3
1.3	Partida 03: Ensamblaje y calibrado .....	3
2	Cuadro de precios .....	4
2.1	Cuadro de precios general .....	4
3	Presupuesto .....	7
3.1	Presupuesto de partida 01: Montaje de mecanismos .....	7
3.2	Presupuesto de partida 02: Montaje de plataforma.....	8
3.3	Presupuesto de partida 03: Ensamblaje y calibrado .....	8
3.4	Resumen del presupuesto.....	9

### Índice de tablas

Tabla 1.	Piezas mecanizadas bajo pedido. ....	1
Tabla 2.	Ensamblaje de mecanismos independientes.....	2
Tabla 3.	Ensamblaje de plataforma.....	3
Tabla 4.	Ensamblaje del sistema. ....	3
Tabla 5.	Puesta en marcha y calibrado.....	4
Tabla 6.	Cuadro de precios general.....	4
Tabla 7.	Presupuesto de partida 01. ....	7
Tabla 8.	Presupuesto de partida 02. ....	8
Tabla 9.	Presupuesto de la partida 03.....	8
Tabla 10.	Resumen del presupuesto.....	9

**ESCUELA POLITÉCNICA  
SUPERIOR DE CÓRDOBA**  
Universidad de Córdoba



**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

*Máster de Ingeniería Industrial.*

**DESARROLLO DE UN MECANISMO DE  
CONTROL DE ALTURA PARA MÁQUINA CNC**

**TOMO 2: MEMORIA**

**Autor:** Francisco González Dorado.

**Director:** Rafael Rubén Sola Guirado.



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA



**Universidad de Córdoba**  
**Escuela Politécnica Superior de Córdoba**

**Titulación:** Máster en ingeniería industrial

**Resumen:** El presente documento abarca el desarrollo de una máquina autónoma para el control de altura de una plataforma. Este control de altura es necesario para el enfoque del haz láser sobre la superficie del material en una máquina de grabado y corte previamente construida.

Se diseñará la estructura, mecanismo, acople del motor, electrónica y control del dispositivo mediante los métodos y procesos recabados durante el estudio del máster en ingeniería industrial, así como la información estudiada desde diferentes fuentes académicas. De esta forma, se analizará el diseño realizado para asegurar mediante simulaciones que sea funcional bajo las sollicitaciones presentes en su utilización real.

Para la realización de una simulación realista del dispositivo se realizará un escalado del diseño para la creación de una maqueta prototipo con el fin de comprobar el movimiento y funcionamiento de la máquina.

Por último, se presenta un estudio económico y de fabricación del dispositivo para finalizar el proyecto cumplimentando todo lo necesario para su construcción.

**Palabras clave:** Pantógrafo, mecanismo, control, PCB, sollicitaciones, par motor.

**Abstract:** the actual document encompasses the development of an autonomous machine to control a platform height. This height control is necessary to focus a laser beam over the surface of the material on a previously built engraving and cutting machine.

The structure, mechanism, motor couple, electronics and the device control will be designed through the methods and processes reunited during the industrial engineering master, as well as the studied information of a wide variety of academic sources. Thus, the design will be analysed through simulations to ensure its functionality under real sollicitations.

To perform a realistic simulation of the device, a design scaling will be made to create a prototype mock-up for the checking of the movement and function of the machine.

At last, an economic and manufacturing study will be made to end the project and fill in all the papers to its construction.

**Key words:** Pantograph, mechanism, control, PCB, sollicitations, torque.

Córdoba, 10 de febrero de 2021

## Agradecimientos

El presente trabajo de fin de máster ha sido realizado gracias a la supervisión de Rafael Rubén Sola Guirado, doctor ingeniero industrial, director del proyecto y uno de los mejores docentes de la escuela politécnica superior de Córdoba. Gracias a su guía y criterio he podido llevar a cabo este documento de una forma profesional y afín a los objetivos y competencias del máster.

Debo agradecer también el apoyo recibido por mi familia, padres, abuelos, tíos, en los buenos y malos momentos, su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera académica y el inicio de la que espero sea una larga carrera profesional, sus ánimos en todos los baches sufridos y las celebraciones de los éxitos hasta el día de hoy y con la culminación por el momento de mis estudios con el presente documento.

A mi pareja, la cual ha compartido conmigo más de un tercio de mi vida, que ha estado conmigo en todo momento creyendo en mí e infundiéndome un valor propio que no creía tener y por la que me impulso a ser mejor persona cada día.

A mis amigos y conocidos, que en mayor o menor medida han influido en mi pensamiento y forma de ser formando lo que soy hoy, estando para escuchar los problemas, compartiendo opiniones y ayudando a desconectar en los momentos de estrés.

A mis profesores por haber conseguido que hoy tenga la mayor parte de los conocimientos que poseo y mediante los cuales podré ejercer mi profesión.

Gracias a todos.

Quiero dejar como especial mención a mi abuela Frasquita que creyó en mis capacidades desde pequeño, cuidó y se preocupó de mí hasta sus últimos días. Espero que este sea el último paso para quitarle una de sus constantes inquietudes, que encuentre un buen trabajo y pueda vivir bien.

Te quiero y te recordaré siempre abuela.

## Índice de memoria

1	Identificación .....	1
1.1	Información del proyecto .....	1
1.2	Promotor del proyecto .....	1
1.3	Director del proyecto .....	1
1.4	Autor del proyecto .....	1
2	Introducción .....	2
3	Objetivos.....	3
4	Alcance .....	3
5	Antecedentes.....	4
6	Normas y referencias.....	10
6.1	Relación de normativa de referencia .....	10
6.2	Bibliografía.....	10
6.3	Programas de cálculo .....	12
6.4	Plan de gestión de la calidad .....	12
7	Definiciones y abreviaturas .....	14
8	Definición del diseño .....	15
8.1	Diseño de la plataforma de trabajo.....	15
8.2	Diseño del mecanismo elevador .....	16
8.3	Diseño del control digital.....	23
8.4	Prototipado del mecanismo elevador y sistema de control .....	26
9	Planificación de la ejecución .....	28
9.1	Obtención de los elementos materiales.....	28
9.2	Ensamblaje de los elementos individuales.....	28
9.3	Ensamblaje en máquina, calibrado y puesta en marcha.....	28
10	Conclusiones.....	29

## Índice de figuras

Figura 1. Máquina CNC de corte y grabado láser.....	2
Figura 2. Esquema de la trayectoria del haz laser (TEN-HIGH, 2021).....	4
Figura 3. Mecanismo de elevación mediante husillo y tuerca, dirigido por guías lineales (Matthew, Kumar and Michael, 2019).....	5
Figura 4. Esquema de un mecanismo elevador de tijera (Liu and Sun, 2009). ....	6
Figura 5. Esquema de un motor de corriente continua, escobillas e imán permanente (Zaccarian, 2005). .	7
Figura 6. Esquema de un motor paso a paso de corriente continua, sin escobillas e imán permanente (Ricci and Meacci, 2018). ....	8
Figura 7. CNC Shield de Arduino (Keystudio, 2021). ....	9
Figura 8. Casa de la calidad desarrollada para el QFD. ....	13
Figura 9. Estructura de la plataforma de trabajo. ....	16
Figura 10. Plataforma de trabajo finalizada. ....	16
Figura 11. Esquema del mecanismo elevador.....	17
Figura 12. Apoyo fijo de la plataforma (izquierda) y apoyo fijo del chasis (derecha). ....	18
Figura 13. Soporte de la barra en la plataforma (izquierda) y en el chasis (derecha). ....	18
Figura 14. Apoyo móvil del lado de la plataforma. ....	19
Figura 15. Apoyo móvil del lado del chasis.....	19
Figura 16. Pletina que conforma el mecanismo de tijera.....	20
Figura 17. Soporte del motor (izquierda), y soporte para los rodamientos axiales (derecha). ....	20
Figura 18. Vista en detalle del montaje de acople motor y sujeción del mecanismo.....	21
Figura 19. Vista en detalle del montaje del mecanismo elevador. ....	21
Figura 20. Detalle de la fijación del mecanismo a la máquina CNC láser.....	22
Figura 21. Renderizado fotorrealista de la máquina terminada. ....	22
Figura 22. Conexión de los componentes hardware.....	24
Figura 23. Base de la caja de control.....	25
Figura 24. Tapa de la caja de control.....	25
Figura 25. Montaje del sistema de control.....	26
Figura 26. Detalle del acople motor al mecanismo.....	27
Figura 27. Imagen completa del prototipo finalizado. ....	27



## 1 Identificación

A continuación, se presentan los datos básicos del proyecto y de los interesados en el mismo.

### 1.1 Información del proyecto

**Título:** Desarrollo de un mecanismo de control de altura para máquina CNC

**Código:** Sin código asignado

**Ubicación geográfica:** Ubicación geográfica no concreta, no procede

### 1.2 Promotor del proyecto

**Empresa:** Hermanos González C.B.

**Responsable:** Francisco González Pérez

**CIF:** B-14568974

**Dirección:** Bulevar los santos 35, Lucena, Córdoba, CP 14900

**Teléfono:** 957500184

**Email:** [oficina@hermanosgonzalez.es](mailto:oficina@hermanosgonzalez.es)

### 1.3 Director del proyecto

**Nombre:** Rubén Sola Girado

**Cargo:** Profesor universitario, Doctor ingeniero industrial

**Contacto:** [ir2sogur@uco.es](mailto:ir2sogur@uco.es)

### 1.4 Autor del proyecto

**Nombre:** Francisco González Dorado

**Cargo:** Estudiante universitario, Graduado ingeniero en electrónica industrial

**Contacto:** [p12godof@uco.es](mailto:p12godof@uco.es)

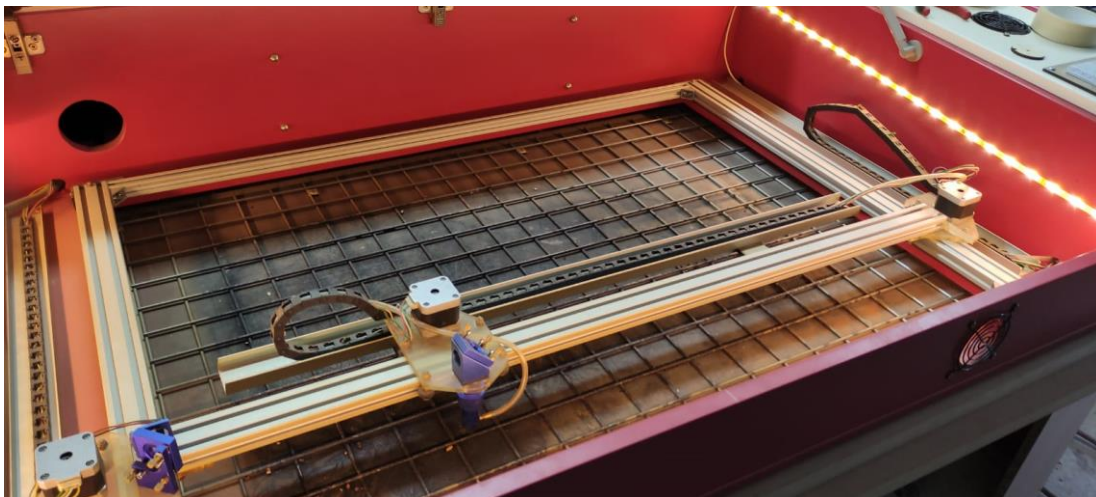
## 2 Introducción

Durante el presente proyecto se pretende diseñar y calcular un mecanismo capaz de variar la altura de la zona de trabajo de la máquina CNC de corte y grabado láser mostrada en la Figura 1. Con el equipo a desarrollar será posible adaptar la distancia entre la lente de enfoque del cabezal móvil y la superficie del material a trabajar. Además, se pretende que este mecanismo permita facilitar la carga de material por su parte inferior frontal, si fuese necesario, para paneles de mayor tamaño.

Esta máquina CNC actualmente tiene el inconveniente de que la distancia focal de la lente de enfoque en el cabezal es fija por lo que para realizar un cambio en el material de trabajo con distinto grosor se ha de variar la distancia vertical desde la lente de enfoque hasta el área de trabajo o ajustar manualmente el cabezal, ambas opciones de relativa complejidad y lentitud. Así mismo, la carga de material con dimensiones cercanas a las máximas del área de trabajo pone en riesgo la integridad y alineación del puente de la máquina. Estos inconvenientes actuales son la principal motivación del desarrollo del presente proyecto. Para comprender en mayor medida su funcionamiento se ha preparado un vídeo representativo de la máquina en el siguiente enlace: <https://youtu.be/CdKXuhuRJF0>

En este proyecto se pretende realizar toda la investigación, diseño, análisis y prototipado del mecanismo descrito para la solución de las necesidades presentadas en la máquina CNC, así como los distintos análisis de fabricación de la máquina diseñada para su proposición de fabricación industrial, aunque como objetivo principal esta la realización de un único dispositivo adaptado a la máquina CNC actual.

Por esto se puede calificar el presente proyecto como una solución interna dentro de una empresa para la mejora y actualización de uno de sus procesos productivos.



*Figura 1. Máquina CNC de corte y grabado láser.*

### 3 Objetivos

El objetivo principal del presente proyecto es el diseño, simulación y preparación para la fabricación de una máquina elevadora del área de trabajo adaptada a la máquina de corte CNC láser ya existente. Esta máquina debe ajustarse al área de trabajo y cargas supuestas de la máquina de grabado y corte láser para la que se necesita. Además, debe permitir el enfoque correcto del haz láser en la superficie de los materiales de grosores comprendidos entre 2 y 20mm.

Este objetivo principal se ha desglosado en función de objetivos secundarios para una mejor visión del desarrollo del proyecto de la siguiente forma:

- Recogida de información y selección de solución: En primer lugar, se realizará un estudio de las condiciones necesarias, posibles mecanismos que cumplan los requisitos, antecedentes sobre los que trabajar y se elegirá la opción más conveniente justificada a criterio del autor.
- Esbozo de la máquina: Bocetaje y prediseño del concepto a desarrollar.
- Diseño mecánico: Diseño, búsqueda y ensamblaje de los componentes necesarios para el diseño del área de trabajo, mecanismo elevador y acople motor, así como un estudio de simulación de su comportamiento.
- Diseño del control digital: Diseño, búsqueda y ensamblaje de los componentes necesarios para el control de altura de la plataforma, así como la elaboración del programa del mismo.
- Desarrollo de un prototipo: Escalado de un prototipo para comprobar el funcionamiento del sistema de control y el tipo de mecanismo seleccionados y diseñados.
- Descripción de componentes: Definición de método de fabricación, compra y precio de los componentes del diseño y su ensamblaje.

### 4 Alcance

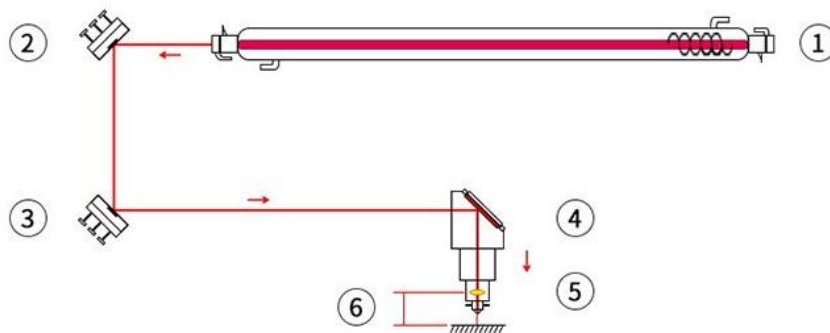
El presente proyecto tiene como fin la instalación del mecanismo personalizado en conjunto con la máquina CNC láser a la que se adapta. Así mismo, este proyecto tiene como ámbito únicamente la solución de una necesidad en una empresa privada, sin ánimo de comercialización o réplica del diseño en posteriores ocasiones. En caso de modificarse el diseño o el objetivo del dispositivo deberá adecuarse a la normativa específica y realizarse un nuevo proyecto.

## 5 Antecedentes

En este apartado se documenta la búsqueda de información relevante necesaria para el desarrollo del diseño. Esta toma de información se ha centrado en tres aspectos del diseño, la toma de información de la máquina CNC asociada, la información y selección del tipo de control e información y selección del tipo de mecanismo elevador..

En primer lugar, en cuanto a la máquina CNC de grabado y corte láser para la cual se desarrolla el dispositivo de este proyecto, se trata de una máquina CNC de dos ejes diseñada y construida por el autor de este proyecto. Esta máquina cuenta con un generador de haz láser mediante un tubo de CO<sub>2</sub> en la parte posterior el cual está dirigido al cabezal mediante espejos y enfocado en la superficie del material a trabajar por una lente de enfoque. Se puede observar un esquema del sistema en la Figura 2. Dado que la lente de enfoque tiene una distancia focal fija la máquina anexa del presente proyecto permitirá de forma semiautomática el ajuste de la distancia focal a la superficie del material a trabajar.

Esta máquina CNC tiene un área de trabajo de 40x80cm la cual se pretende aprovechar completamente. El grosor de los materiales a utilizar varía entre 2 y 20mm, pero se considera que el recorrido de la máquina elevadora debe añadir al menos 50mm adicionales para una posición de carga de material resultando en un recorrido de al menos 70mm en altura. Dado que la carga de material se realiza por la parte frontal de la mesa de trabajo, el lado de 80cm, y el espacio entre el cabezal móvil y la superficie de material debe quedar libre, los mecanismos de regulación de altura quedarán colocados en los lados cortos del área de trabajo y el motor y su acople deben quedar fuera de este espacio. Para terminar en cuanto a la toma de información de la máquina CNC se tiene que la carga máxima a soportar por la plataforma elevadora es de un tablero de madera de 40x80x2cm con un peso inferior a los 3kg. Así mismo, esta información, completada con las mediciones tomadas, se puede revisar en el apartado 1 del tomo 3: Anexos.



1. tubo láser
2. el primer espejo
3. el segundo espejo
4. el tercer espejo
5. lente focal
6. longitud focal: (distancia desde el lente focal hasta los materiales que graban o cortan)

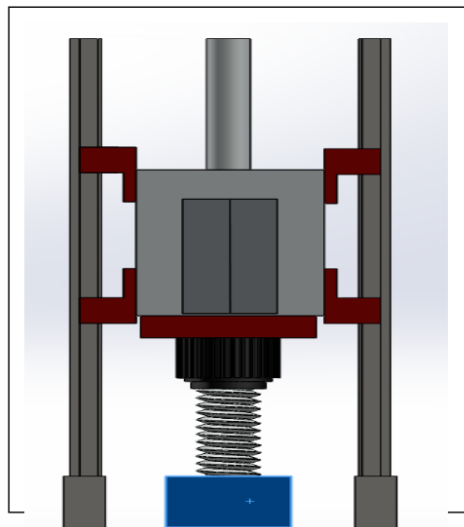
*Figura 2. Esquema de la trayectoria del haz laser (TEN-HIGH, 2021).*

En cuanto al estudio de los posibles mecanismos a implementar para la elevación de una plataforma de trabajo, se dispone de una amplia variedad de sistemas en la industria. De la amplia gama de mecanismos que pueden ajustarse a las necesidades del presente proyecto se puede destacar por su simplicidad y eficacia dos de ellos (Servomac, 2021):

- Un mecanismo basado en la elevación por el efecto de empuje de un tornillo sobre una tuerca (Matthew, Kumar and Michael, 2019), común en las prensas.
- Un mecanismo con forma de tijera (Liu and Sun, 2009), común en los andamios elevadores.

El primer sistema puede tener varias configuraciones entre las que destacan dos. La primera se representa en la Figura 3, en la cual la plataforma o dispositivo a elevar está guiado mediante ejes lineales e impulsado por el desplazamiento de la tuerca por el husillo. Este sistema no puede ser llevado a la práctica en este proyecto dado que el husillo interferiría con la zona de trabajo.

La segunda configuración, muy utilizada en el ámbito industrial, es la utilización de husillos robustos en los puntos de guía de la plataforma para ser usados tanto de eje como de impulsión y siendo estos sincronizados por el uso de una cadena y piñones o correa y rueda. Esta opción, a priori es bastante utilizada, pero con la condición de una sujeción correcta en los extremos de los husillos. En el caso que se ocupa, el mecanismo se debe conectar desde la parte inferior a una máquina de base plana la cual no crea ningún sustento inferior para los husillos pudiendo crear desniveles en la plataforma de trabajo.



**Figura 3. Mecanismo de elevación mediante husillo y tuerca, dirigido por guías lineales (Matthew, Kumar and Michael, 2019).**

Como segundo mecanismo se encuentra el mecanismo de tijera como el representado en la Figura 4. Este mecanismo permite un movimiento vertical de la plataforma mediante la apertura o cierre de las barras que actúan como una tijera. Esto permite una versatilidad en el tratamiento de la fuerza de empuje, siendo esta aplicable linealmente en la posición que muestra la Figura 4, horizontalmente en cualquiera de los apoyos móviles del esquema o angularmente en cualquiera de los cuatro apoyos del sistema.

En conclusión, se puede discernir que la mejor opción para este caso es el diseño de un mecanismo tipo tijera con las posiciones de la bancada y la plataforma intercambiadas con respecto a la Figura 4. Además, como método de acople con el motor que propulsará el mecanismo, se prevé el uso de un empuje horizontal del apoyo móvil de la bancada el cual se producirá por efecto de un husillo y una tuerca, permitiendo con esto una relación eficiente entre el par motor y la fuerza de empuje. Estas previsiones deben ser puestas a prueba en un posterior estudio cinemático y dinámico para comprobar la viabilidad de las suposiciones aquí expuestas.

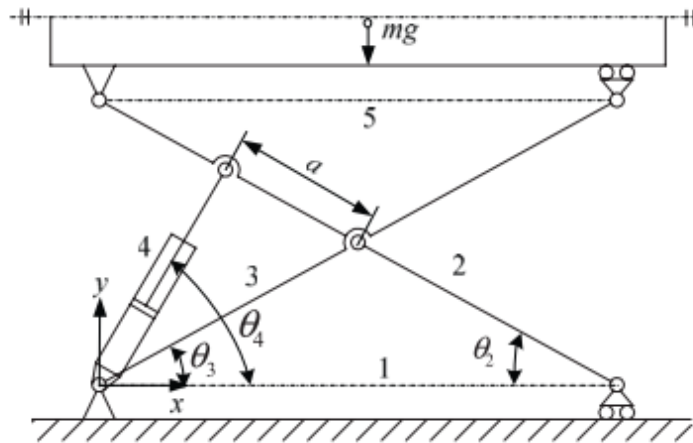


Figura 4. Esquema de un mecanismo elevador de tijera (Liu and Sun, 2009).

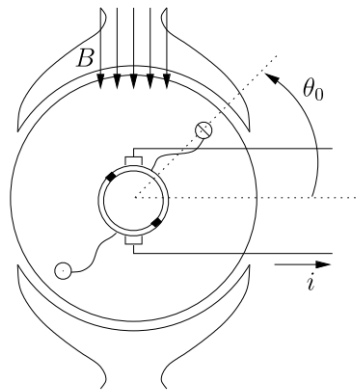
Prosiguiendo con el estudio del tipo de control, se presentan diversas opciones en cuestiones de motores, drivers, lazos de control y sensores.

Comenzando con el estudio para la selección de motores podemos encontrar en el mercado multitud de tipos de motores. En una revisión preliminar se puede eliminar de la selección los motores alimentados en corriente alterna, dada la complejidad de los drivers asociados y la reducida carga que deben movilizar. Por otro lado, dentro de los motores de corriente continua existen diversas clasificaciones entre las que se incluyen la implementación de escobillas, tipo de control, etc. Tras analizar diversos documentos en relación a los motores de corriente continua (Zaccarian, 2005; Kim, Shin and Chung, 2013; Ricci and Meacci, 2018) se puede observar un desarrollo de la tecnología de control de máquinas claramente enfocado en los tiempos modernos hacia el uso de motores paso a paso sin escobillas de imanes permanentes permitiendo un control preciso, sencillo y con una gran potencia.

Teniendo lo anterior en cuenta, en el presente proyecto caben dos opciones que a priori pueden competir en cuestión de precio:

- Un control en lazo cerrado, basado en un motor de corriente continua de imán permanente con escobillas.
- Un control en lazo abierto, basado en un motor paso a paso de corriente continua de imán permanente sin escobillas.

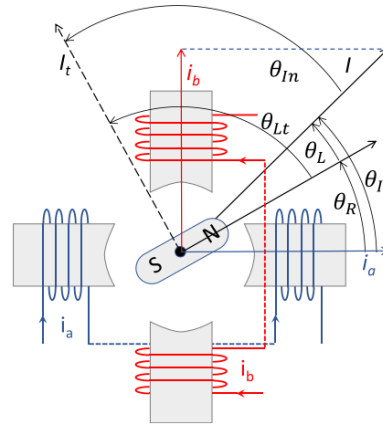
En el primer caso se dispone de un motor común de corriente continua, escobillas e imán permanente como el mostrado en la Figura 5, el cual gira a una velocidad dependiente de la tensión de alimentación del mismo. Este modo de funcionamiento hace que no se pueda regular de forma directa el ángulo de giro de su eje y sea necesario para su uso como motor para el mecanismo, un sistema de control PID en lazo cerrado que mida en todo momento la altura a la que se encuentra la plataforma como realimentación para la señal de error.



*Figura 5. Esquema de un motor de corriente continua, escobillas e imán permanente (Zaccarian, 2005).*

En el caso del motor paso a paso se encuentra un sistema el cual funciona, como su nombre indica, a pasos. Esto se consigue por la estructura del sistema siendo el rotor un imán permanente y estando conformado el estator por varios pares de electroimanes normalmente conectados en dos circuitos como se aprecia en la Figura 6. En este caso, los pares de electroimanes están conectados de forma que, al pasar corriente por uno de los circuitos, el rotor es atraído por ambos polos hasta alinearse con el par. Este sistema activado alternativa y secuencialmente produce el giro del rotor con un total control de la velocidad y la posición del eje. Pese a ser posiciones discretas, el ángulo de giro disminuye conforme aumenta el número de pares en serie de cada circuito, siendo el número más común el de 200 pasos por giro equivalente a  $1.8^\circ$  por paso.

Estos motores, correctamente dimensionados, pueden moverse unos grados concretos con muy buena repetitividad y velocidad sin necesidad de la instalación de sensores en lazo cerrado, únicamente instalando una referencia de partida al inicio de su funcionamiento.



**Figura 6. Esquema de un motor paso a paso de corriente continua, sin escobillas e imán permanente (Ricci and Meacci, 2018).**

Dadas las características anteriormente mencionadas y la clara ventaja actual que representan los motores paso a paso se confirma como opción de diseño seleccionada para el desarrollo del presente proyecto.

Tras la selección del motor se encuentra el estudio sobre el control del mismo. Teniendo en cuenta las características de los motores paso a paso, se encuentran en el mercado multitud de controladores disponibles para estos, los cuales se rigen por el mismo sistema de control. Constan de dos fuentes de corriente independientes con las que transmiten pulsos a los circuitos del motor para realizar su movimiento. Estos pulsos vienen dados por una lógica interna la cual recibe de tres entradas digitales los órdenes de funcionamiento. Estas entradas indican en orden, el encendido o apagado de la alimentación, la dirección de giro, y una entrada que al recibir un pulso realiza un paso del motor. En este sentido no es necesario seleccionar un controlador concreto dado que su elección es solo cuestión de dimensionamiento.

Por último, el sistema programable debe tener la capacidad de manejar las entradas digitales de los controladores anteriormente mencionadas, así como disponer de entradas para las señales de posiciones de referencia y comunicaciones para una interfaz de usuario. Dadas las anteriores necesidades se recurrirá a una plataforma Arduino con un 'CNC Shield' (Figura 7) el cual permite una rápida conexión de los componentes necesarios, así como una programación intuitiva y una capacidad de desarrollo en un tiempo corto y con costes reducidos.

Como sensores serán necesarios finales de carrera para marcar una referencia de posición, así como una botonera para la creación de una interfaz con el usuario.



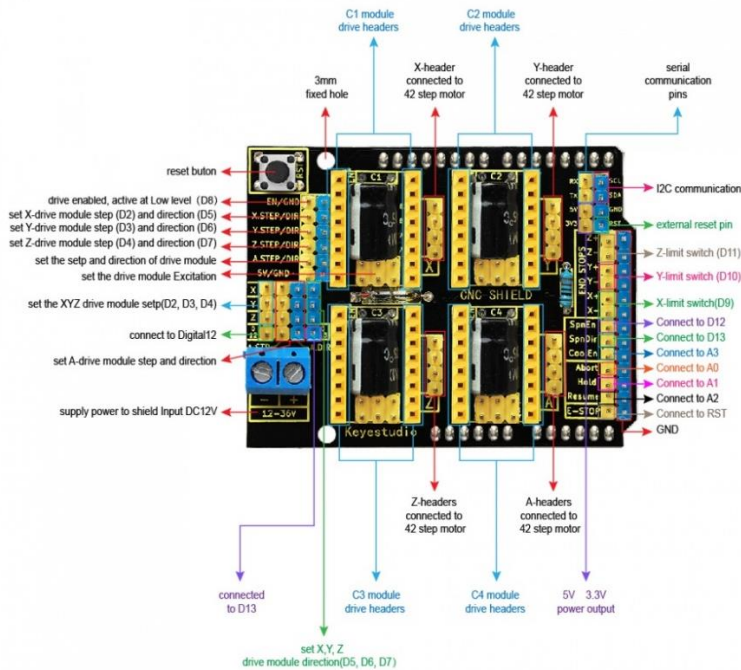


Figura 7. CNC Shield de Arduino (Keystudio, 2021).

Con esto queda concluido el estudio preliminar de soluciones posibles para el diseño del mecanismo elevador asociado a la máquina CNC láser. Se concluye que la mejor opción, dentro de lo estudiado a criterio del autor, se trata de un mecanismo de tipo tijera, con un acople motor de varilla roscada y tuerca con un motor paso a paso de corriente continua de imán permanente sin escobillas, controlado con un lazo abierto de control digital.

## 6 Normas y referencias

### 6.1 Relación de normativa de referencia

La siguiente relación recoge las directivas legales y normas de referencia a tener en cuenta en el diseño, redacción y ejecución del presente proyecto (Ministerio de empleo y seguridad social, 2004; Ministerio de la Presidencia, 2008; Ottogoernemann, 2016):

- UNE 157001:2014, Criterios generales para la elaboración de la documentación de un proyecto técnico.
- UNE 50132, Numeración de las divisiones y subdivisiones en los documentos escritos.
- UNE-ISO 690:2013, Directrices para la redacción de referencias bibliográficas y de citas de recursos de información.
- Real decreto 1644/2008, Normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas.
- UNE EN-ISO 12100:2012, Seguridad en máquinas.
- EN-ISO 13849-1, Nivel de prestaciones.
- EN 61508, Seguridad funcional de los sistemas de control.
- UNE EN 62061:2015, Seguridad funcional de los sistemas de mando.
- UNE EN-ISO 14738:2010, Requisitos antropométricos para el diseño de puestos de trabajo asociados a máquinas.
- UNE EN 894, Requisitos ergonómicos para el diseño de máquinas.

### 6.2 Bibliografía

Bitica, C. (2020) *M5 Nuts | 3D CAD Model Library | GrabCAD, Grabcad*. Available at: <https://grabcad.com/library/m5-nuts-1> (Accessed: 28 January 2021).

Fisher, S. (2019) *Jaw shaft coupler 5x8mm | 3D CAD Model Library | GrabCAD, Grabcad*. Available at: <https://grabcad.com/library/jaw-shaft-coupler-5x8mm-1> (Accessed: 20 January 2021).

Ghio, A. (2020) *Nuts and Washers M4 | 3D CAD Model Library | GrabCAD, Grabcad*. Available at: <https://grabcad.com/library/nuts-and-washers-m4-1> (Accessed: 26 January 2021).

Ibinsa (2021) *Casquillo de bronce sinterizado con valona, Ibinsa online*. Available at: [https://www.ibinsa.com/online/index.php?route=product/product&path=33\\_29&product\\_id=706&filter=4,130,253](https://www.ibinsa.com/online/index.php?route=product/product&path=33_29&product_id=706&filter=4,130,253) (Accessed: 24 January 2021).

Keystudio (2021) *Ks0160 keystudio CNC Shield V3 - Keystudio Wiki, Keystudio wiki*. Available at: [https://wiki.keystudio.com/Ks0160\\_keyestudio\\_CNC\\_Shield\\_V3](https://wiki.keystudio.com/Ks0160_keyestudio_CNC_Shield_V3) (Accessed: 21 January 2021).

Kim, W., Shin, D. and Chung, C. C. (2013) 'Microstepping with nonlinear torque modulation for permanent magnet stepper motors', *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 21(5), pp. 1971–1979. doi: 10.1109/TCST.2012.2211079.

Liu, T. and Sun, J. (2009) 'Simulative calculation and optimal design of scissor lifting mechanism', *2009 Chinese Control and Decision Conference, CCDC 2009*, pp. 2079–2082. doi: 10.1109/CCDC.2009.5192393.

Matthew, P. G., Kumar, A. B. and Michael, P. A. (2019) 'Literature study and simulation of screw-type elevators', *Journal of Physics: Conference Series*, 1362(1). doi: 10.1088/1742-6596/1362/1/012028.

Ministerio de empleo y seguridad social (2004) 'Normas técnicas sobre diseño de puestos de trabajo', *Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo*. Available at: [http://www.insht.es/Ergonomia2/Contenidos/Promocionales/Diseno del puesto/ficheros/NormasTecnicasDisenoPuestosTrabajo.pdf](http://www.insht.es/Ergonomia2/Contenidos/Promocionales/Diseno%20del%20puesto/ficheros/NormasTecnicasDisenoPuestosTrabajo.pdf).

Ministerio de la Presidencia (2008) 'Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas . Texto consolidado', *Boletín Oficial del Estado*, pp. 1–62.

Motedis (2021a) *Escuadra 20, Motedis*. Available at: <https://www.motedis.es/shop/Accesorios-para-Perfil-Ranurado/Singleparts/Bracket/Escuadra-20-tipo-B-ranura-6::999991062.html> (Accessed: 19 January 2021).

Motedis (2021b) *Perfil de aluminio 20x20 ranurado tipo B, Motedis*. Available at: <https://www.motedis.es/shop/Perfil-Ranurado/Perfil-20-Tipo-B-ranura-6/Perfil-20x20-Tipo-B-Ranura-6::999991.html> (Accessed: 19 January 2021).

Motedis (2021c) *Tornillo flangiato DIN 7380F, Motedis*. Available at: <https://www.motedis.es/shop/Basicos-Mecanica/Tornillos-DIN/Tornillo-flangiato-DIN-7380F::999992503.html> (Accessed: 19 January 2021).

Motedis (2021d) *Tuerca martillo 6, Motedis*. Available at: <https://www.motedis.es/shop/Accesorios-para-Perfil-Ranurado/Accesorios-Perfil-20-Tipo-B-Ranura-6/Tuercas-deslizantes-y-placas-roscadas-para-Ranura-6-Tipo-B/Oculto/Tuerca-cabeza-martillo-tipo-B-ranura-6-M4::99999555.html> (Accessed: 19 January 2021).

Ottogoernemann, E. (2016) *Seguridad de maquinaria con normas internacionales | Prevención Integral & ORP Conference, Prevencionintegral.com*. Available at: <https://www.prevencionintegral.com/canal-orp/papers/orp-2013/seguridad-maquinaria-con-normas-internacionales> (Accessed: 19 May 2021).

Pacas, P. (2020) 'Home' switch with LED for 3D printer | 3D CAD Model Library | GrabCAD, *Grabcad*. Available at: <https://grabcad.com/library/home-switch-with-led-for-3d-printer-1> (Accessed: 28 January 2021).

Ricci, S. and Meacci, V. (2018) 'Simple Torque Control Method for Hybrid Stepper Motors Implemented in FPGA', *IEEE*. doi: 10.3390/electronics7100242.

Robert, V. (2020) *AXIAL BALL BEARING DIN 711\_D\_85\_d\_45\_H\_28 | 3D CAD Model Library | GrabCAD, Grabcad*. Available at: [https://grabcad.com/library/axial-ball-bearing-din-711\\_d\\_85\\_d\\_45\\_h\\_28-1](https://grabcad.com/library/axial-ball-bearing-din-711_d_85_d_45_h_28-1) (Accessed: 28 January 2021).

Sab, R. (2013) *Hexagon nut DIN 6334 | 3D CAD Model Library | GrabCAD, Grabcad*. Available at: <https://grabcad.com/library/hexagon-nut-din-6334> (Accessed: 27 January 2021).

Santillan, M. (2012) *Stepper Motor Nema 17 | 3D CAD Model Library | GrabCAD, Grabcad*. Available at: <https://grabcad.com/library/stepper-motor-nema-17> (Accessed: 20 January 2021).

Servomac (2021) *Elevadores - Servomac, Servomac.es*. Available at: <http://www.servomac.es/elevadores/> (Accessed: 29 January 2021).

TEN-HIGH (2021) *Venta tubo laser CO2, Amazon.com*. Available at: <https://www.amazon.es/TEN-HIGH->

longitud-diámetro-Cortador-engraving/dp/B00BKWOS1E (Accessed: 19 January 2021).

Vitor, P. (2020) *LM8UU | 3D CAD Model Library | GrabCAD, Grabcad*. Available at: <https://grabcad.com/library/lm8uu-7> (Accessed: 20 January 2021).

Zaccarian, L. (2005) 'DC motors: dynamic model and control techniques', *Seminar handouts*, pp. 1–23. Available at: <http://control.disp.uniroma2.it/~zack/LabRob/DCmotors.pdf>.

### 6.3 Programas de cálculo

En este proyecto ha sido necesario el cálculo por software de los estudios dinámico, cinemático y estático mediante software CAE, así como una plataforma CAD para el diseño propio. Estas necesidades se han cubierto mediante el software SolidWorks 2020 el cual incluye diversos módulos para la realización de los estudios necesarios. Los resultados de dichos estudios y otros cálculos están descritos en el apartado 2 del tomo 3: Anexos.

### 6.4 Plan de gestión de la calidad

Para asegurar la calidad del proceso de diseño y el correcto cumplimiento de las necesidades del cliente se desarrolla a continuación un despliegue de la función de calidad (QFD) para asegurar la correcta interpretación de la información aportada por el cliente. Para dicho propósito se ha realizado la denominada 'casa de la calidad', realizada mediante el software EdrawMax de Wondershare, como queda representada en la Figura 8.

En primer lugar, se han tenido en cuenta los requerimientos recogidos en el apartado 1 del tomo 3: Anexos, para plasmar los requerimientos relacionados con la calidad del producto final, sin tener en cuenta los requerimientos obligatorios que deben cumplirse. Estos requerimientos han sido valorados por el cliente de 1 a 5 en función directa a su importancia.

En la parte superior se han agrupado las características del producto que guardan relación con las peticiones del cliente en post de su cumplimiento. Posteriormente se han valorado las relaciones existentes entre dichos requerimientos y características del producto. Esta relación se ha especificado en una escala del 0 (sin relación) al 9 (relación directa).

Continuando, se implementa en el 'tejado' de la gráfica la relación existente entre las características del producto, siendo + si se benefician mutuamente, - si la implementación o mejora de una de ellas empeora las características u obliga a la mejora de otra y 0 si no hay una relación significativa.

Por último, en las filas inferiores está determinado el grado de importancia total y en porcentaje de cada aspecto del diseño para la ejecución de los requisitos del cliente. Esta vista preliminar concluye en la principal importancia para la calidad de los siguientes aspectos: el diseño de la plataforma, mecanismo de elevación y sistema de acople motor para la resolución de los requisitos presentados en el proyecto.

		Importancia del requisito	Diseño de las piezas personalizadas	Tipo de acople motor	Potencia del motor	Interfaz con el usuario	Diseño de la plataforma	Diseño del mecanismo	Diseño del control
Requisitos del cliente	Precisión del movimiento	4	6	9	8	0	2	9	8
	Densidad de apoyos en el área de trabajo	3	0	0	0	0	9	3	0
	Recorrido máximo	3	5	5	7	0	0	9	7
	Aprovechamiento del área de trabajo	5	9	7	7	0	7	9	3
	Aprovechamiento de materiales propios	4	0	5	0	4	9	5	3
	Estética	1	9	4	0	9	6	6	0
Ratio de importancia	651	93	110	88	25	112	143	80	
Peso en %	100	14	17	13	4	17	22	13	
Ranking de importancia		4	3	5	7	2	1	6	

Figura 8. Casa de la calidad desarrollada para el QFD.

## 7 Definiciones y abreviaturas

En esta sección se definirán las abreviaturas y conceptos clave recogidos en el presente proyecto para la correcta interpretación de los mismos.

**Láser:** Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, Luz amplificada por emisión estimulada de radiación. El láser es un haz de luz coherente que transporta una concentración de energía usada para diversas funciones. En este caso el láser de CO<sub>2</sub> que usa la máquina CNC láser tiene la capacidad de marcar y cortar materiales no metálicos hasta 5 mm de espesor.

**Motor PAP:** Paso a paso. Motor descrito en la sección 5 del presente documento. Permite movimientos discretos de su eje (pasos).

**Final de carrera:** Interruptor o conmutador colocado en el inicio o final del recorrido de una máquina, esto permite conocer posiciones discretas de dicha máquina. Dispone de diferentes adaptadores para su activación con rodillos, palancas, de inducción, luminosos, infrarrojos.

**LCD:** Liquid crystal display, Pantalla de cristal líquido. Tipo de pantalla que imprime caracteres en celdas independientes. El número de celdas disponible viene descrito en función de número de columnas por número de filas y es accedido matricialmente.

**NO:** Normally open, Normalmente abierto. Designación de un interruptor que en reposo tiene sus contactos abiertos sin conexión.

**PID:** Proporcional integral derivativo. Descripción de las funciones que modifican la señal de error en un controlador para que el sistema siga referencias y rechace perturbaciones. Proporcional multiplica el error de forma constante, integral tiene en cuenta el sumatorio del error y derivativo limita la pendiente del error para limitar las sobrecompensaciones.

**QFD:** Quality function deployment, despliegue de la función de calidad. Sistema basado en la correcta transformación de las demandas del usuario en directrices útiles y que aporten calidad al diseño.

**PCB:** Printed circuit board, Placa de circuito impreso. Placa base de material aislante que contiene pistas de conexionado en una o ambas caras. Además, estas placas incluyen un aislamiento para las pistas, posiciones para la colocación de componentes electrónicos SMD, taladros para la inserción de componentes THT y otras características adicionales.

**SMD:** Surface mount device, dispositivo de montaje superficial. En el caso de las PCB se refieren a componentes electrónicos que se conectan a la placa mediante zonas de cobre al aire, sin necesidad de taladros.

**THT:** Through-Hole Technology, Tecnología a través de agujero. Sistema de montaje de componentes electrónicos mediante un agujero, con una superficie de cobre alrededor o metalizado, en el cual se inserta la patilla metálica del componente para su sujeción y posterior soldadura.

**CAD:** Computer aided design, diseño asistido por ordenador. Conjunto de herramientas software que existen para facilitar y mejorar la capacidad de diseño. Esto puede ser mediante interfaces gráficas y asistencia en los cálculos.

**CAE:** Computer aided engineering, Ingeniería asistida por ordenador. Conjunto de herramientas software que existen para la creación de modelos de comportamiento de los dispositivos o sistemas diseñados. Con estas herramientas se hace posible el estudio de los diseños ante diferentes situaciones ahorrando costes materiales.

**CAM:** Computer aided manufacturing, Fabricación asistida por ordenador. Conjunto de herramientas software que existen para la planificación de la fabricación, ayudando tanto a nivel logístico como a nivel máquina con la asistencia para la creación de programas de funcionamiento de las máquinas CNC.

**CNC:** Computer numeric control, control numérico por ordenador. Son las siglas que definen un sistema de control digital por ordenador de un proceso o máquina que necesite calcular las trayectorias que siguen sus actuadores.

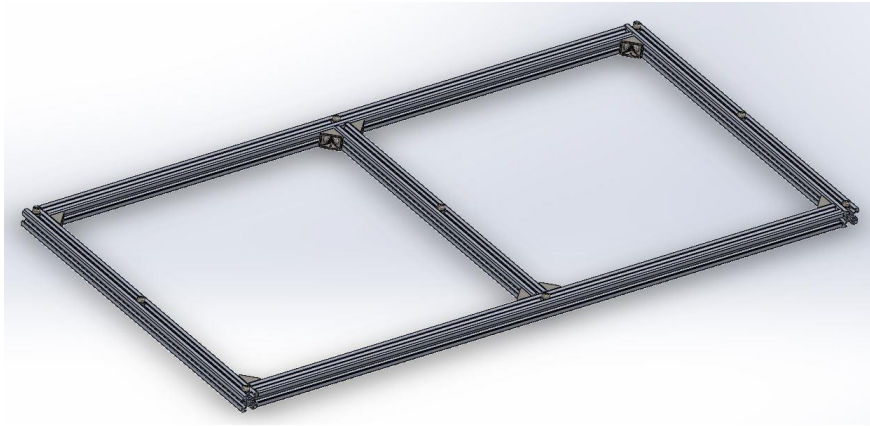
## 8 Definición del diseño

A continuación, se detallan las decisiones y proceso de diseño de los componentes que forman la máquina elevadora objeto del presente proyecto.

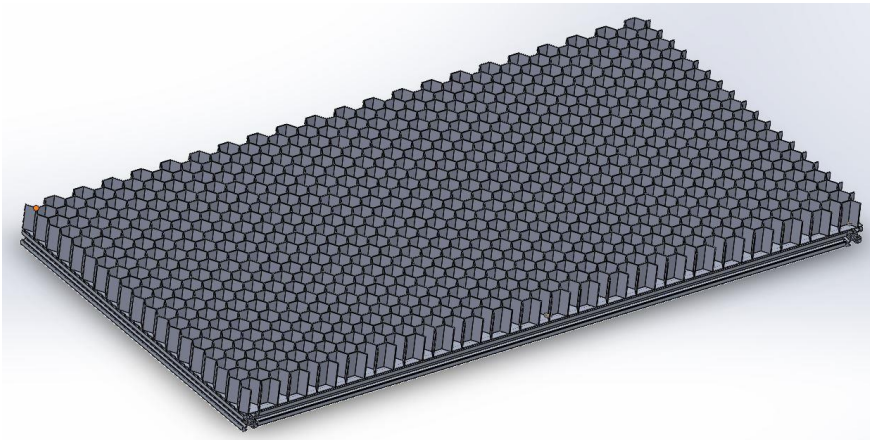
### 8.1 Diseño de la plataforma de trabajo

Para la plataforma de trabajo se ha realizado el diseño de una plataforma del tamaño especificado (80x40cm) mediante perfiles extruidos de aluminio de 20x20mm (Motedis, 2021b) a petición de la empresa cliente dado un stock propio de dicho perfil así como de sus herrajes relacionados.

El diseño consta de un marco realizado con cuatro barras del perfil seleccionado, con una barra de refuerzo central, todo ello unido mediante escuadras a 90° (Motedis, 2021a) en la parte interior de la estructura unidas mediante tornillos y tuercas de cabeza martillo (Motedis, 2021d, 2021c). Esta estructura se encuentra tapada en su parte superior por una chapa de aluminio laminado en frío de 0.8mm de espesor que cubre la zona de trabajo fijado a la estructura con los mismos tornillos y tuercas anteriormente mencionados. Esta chapa tiene como finalidad dar un final al haz láser, así como servir de sujeción para las partes restantes al marco. En la parte superior de la chapa debe acoplarse un mallado hexagonal de 3cm de grosor para dar a la zona de trabajo una superficie estable, pero de mínimo contacto para mejorar el acabado posterior de las piezas. Esta malla deberá soldarse en diversos puntos a la chapa para evitar el movimiento horizontal y asegurar la estabilidad. En las Figuras 9 y 10 se representan los resultados finales del diseño realizado de la plataforma de trabajo.



*Figura 9. Estructura de la plataforma de trabajo.*



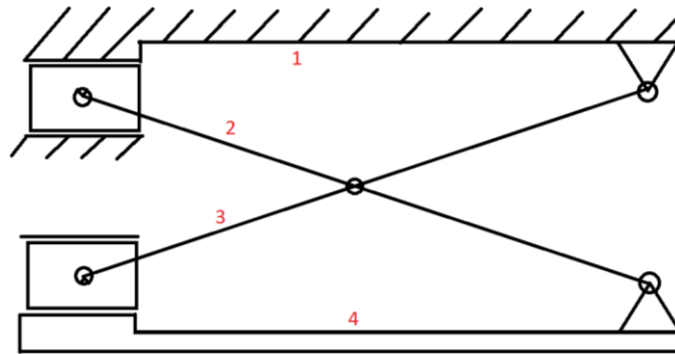
*Figura 10. Plataforma de trabajo finalizada.*

## 8.2 Diseño del mecanismo elevador

El mecanismo de elevación, como queda justificado en la sección 5 del presente documento, estará compuesto de un mecanismo de tijera con un acople al motor mediante husillo y tuerca. El mecanismo de tijera está compuesto por cuatro barras, tres juntas completas (1 GDL) y dos semi juntas (2 GDL) lo que según el criterio de Kutzbach deja en el mecanismo un grado de libertad, el cual se corresponde con el movimiento vertical de la plataforma. El boceto del mecanismo está representado en la Figura 11.

Identificando las partes se comprueba que en este caso la barra 1, el chasis, se trata de la parte inferior de la base de la máquina CNC láser a la que se fijarán la corredera y apoyo fijo superiores definidos más adelante. La barra 4, biela, serán ambos perfiles laterales de 40cm de la plataforma de trabajo. Dicho esto, el diseño desarrollado en este apartado abarca las piezas necesarias el funcionamiento de las correderas, apoyos fijos y barras 3 y 4, así como sus sujeciones al chasis y a la plataforma.





*Figura 11. Esquema del mecanismo elevador.*

Sobre el sistema de correderas se ha optado por el deslizamiento de un rodamiento lineal sobre un eje de acero rectificadado redondo de 8mm, permitiendo un movimiento rígido lineal de las mismas.

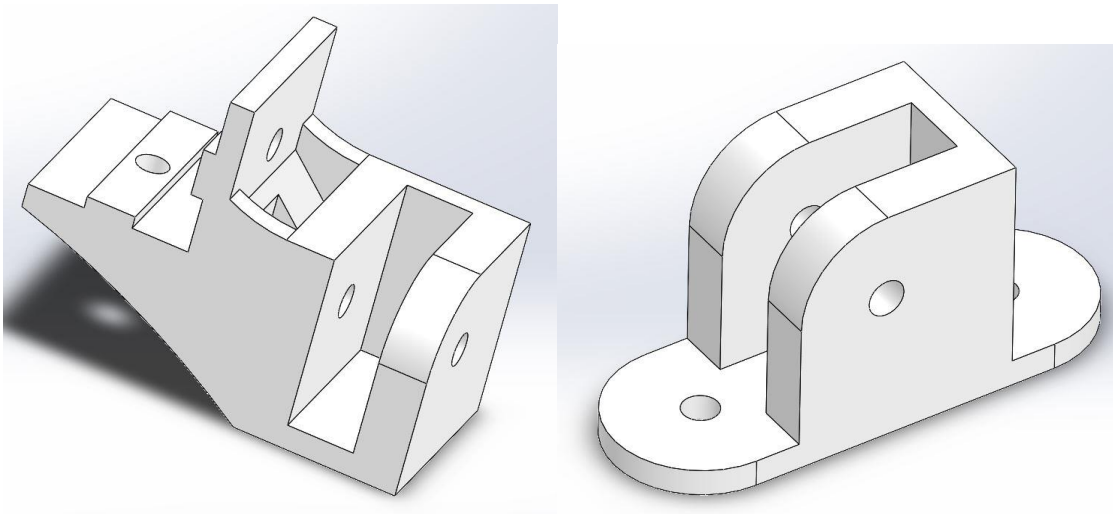
Sobre las uniones de rotación se han seleccionado unas uniones mediante casquillos auto lubricados (Ibinsa, 2021), dado que el giro en las articulaciones no es completo y se pretende reducir el mantenimiento necesario.

Sobre la estructura de las piezas diseñadas, se han buscado las distancias mínimas sin interferencias entre las sujeciones y el mecanismo con el fin de minimizar los esfuerzos resultantes, además se han realizado los diseños teniendo en cuenta su viabilidad para un proceso de fabricación mediante mecanizado y mediante impresión 3D, necesario para su prototipaje. Todos los componentes y ensamblajes están definidos en el tomo 4: Planos, del presente proyecto.

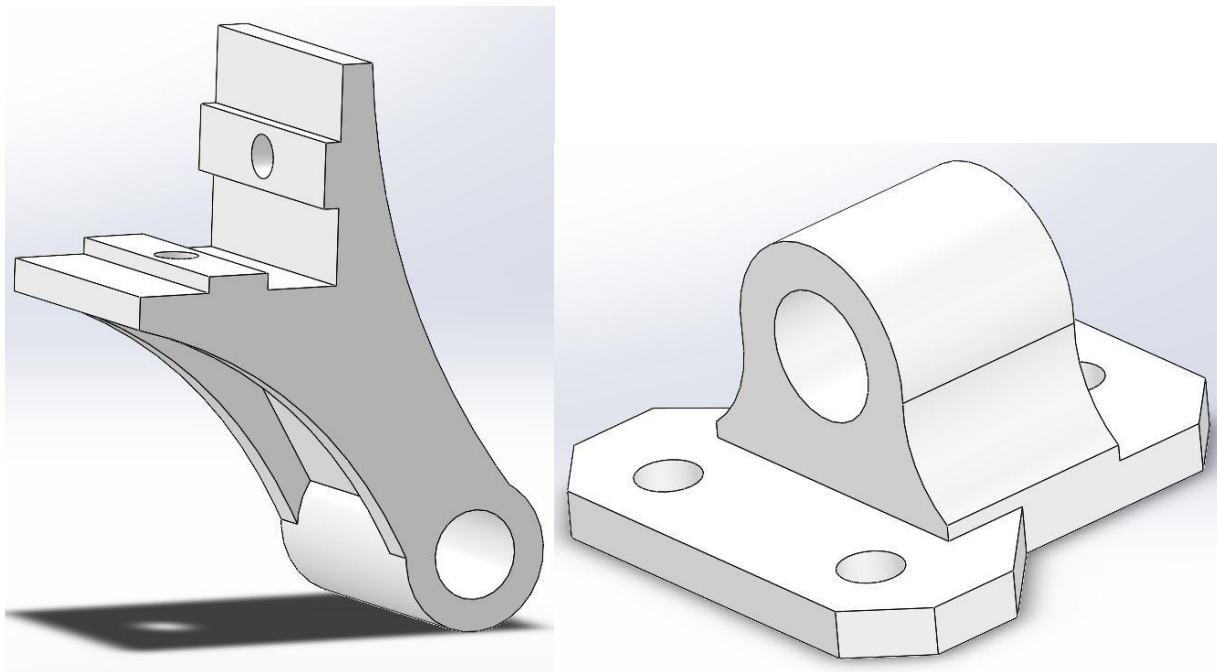
En primer lugar, los apoyos fijos de la plataforma y el chasis representados en la Figura 12 están diseñados para permitir una rotación de la barra de 90° y permitir una sujeción firme a las zonas necesarias. Estos apoyos tienen el orificio para el eje de rotación sobre el que irán montados los casquillos y su unión con la barra 2 y 3.

Continuando con las correderas, se han diseñado unos soportes para las barras de eje, de nuevo tanto para la plataforma como para el chasis, dando un soporte firme y ajustado a las barras sobre las que circularán los apoyos móviles. Estas sujeciones se encuentran representadas en la Figura 13. En estas representaciones se han obviado las piezas resultantes de la simetría, como los extremos de los soportes de la barra a la plataforma u otros casos posteriores.

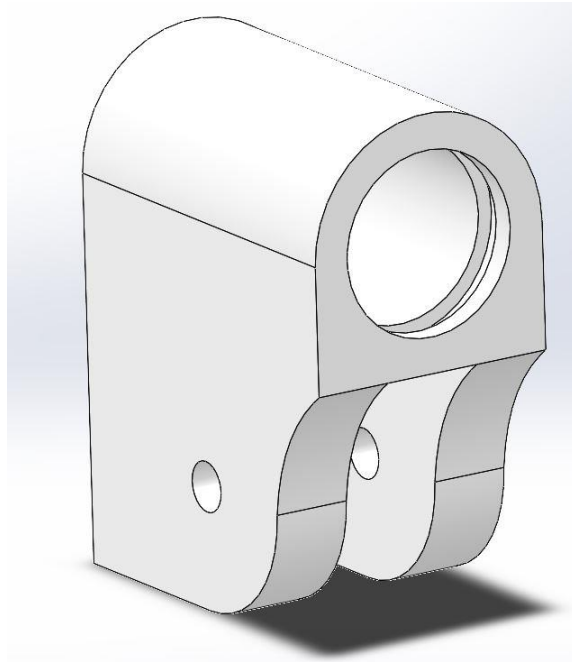
Para finalizar el mecanismo se realizó el diseño de ambos apoyos móviles que circulan por las barras. En el caso del apoyo móvil del lado de la plataforma se encuentra un diseño muy parecido al del apoyo fijo del lado del chasis con una adaptación para la inserción y fijación de un rodamiento lineal, el LM8UU. El apoyo móvil del lado del chasis incorpora además un acople para la inserción de una tuerca manguito de métrica 5 que formará parte del acople al motor. Estas piezas pueden observarse en las Figuras 14 y 15. Además, se diseñaron las pletinas que conforman las barras 2 y 3 del mecanismo en aluminio extruido AW 6005A. Este diseño se puede observar en la Figura 16.



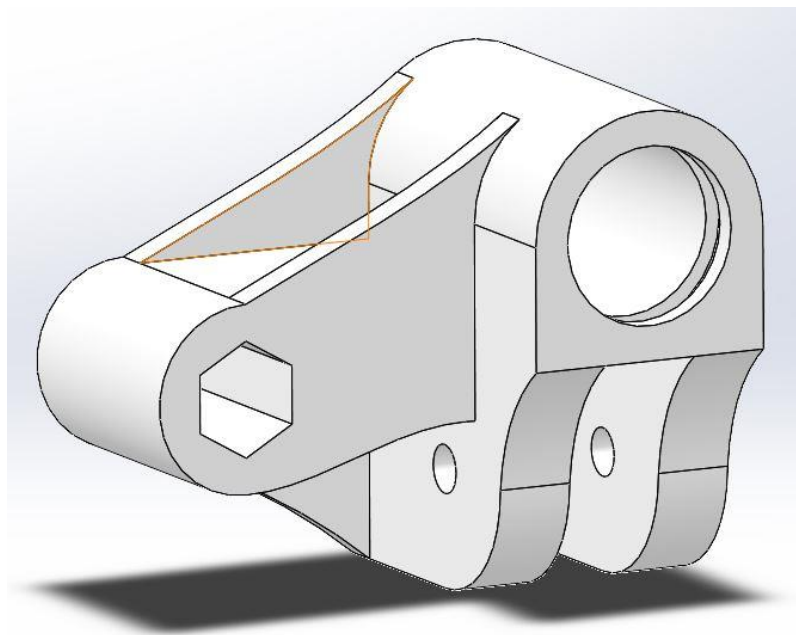
**Figura 12. Apoyo fijo de la plataforma (izquierda) y apoyo fijo del chasis (derecha).**



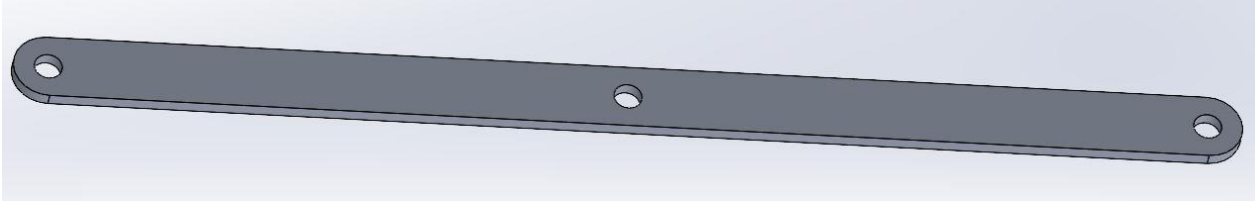
**Figura 13. Soporte de la barra en la plataforma (izquierda) y en el chasis (derecha).**



**Figura 14. Apoyo móvil del lado de la plataforma.**



**Figura 15. Apoyo móvil del lado del chasis.**

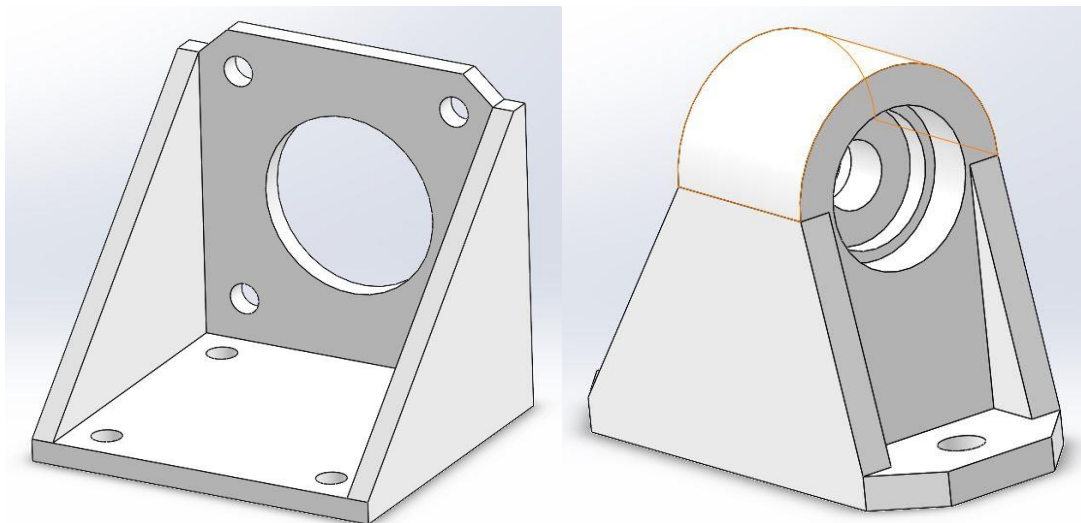


**Figura 16. Pletina que conforma el mecanismo de tijera.**

Para finalizar con el diseño mecánico se procederá a presentar la solución propuesta para el acople del motor que dará movimiento al mecanismo.

Como se ha nombrado anteriormente el acople del motor se basará en un sistema de husillo y tuerca los cuales, propulsado por el motor, empujarán el apoyo móvil por la corredera superior creando con ello el movimiento vertical de la plataforma de trabajo. Este mecanismo convierte el par de giro en movimiento lineal por lo que el husillo recibe una fuerza igual y opuesta de forma axial. Debido a las características del motor seleccionado, representadas en el apartado 5.1 del tomo 3: Anexos, el diseño debe incluir un sistema que absorba esa fuerza resultante para que no quede cargada en el eje del motor.

Para esta parte del mecanismo se han diseñado dos piezas personalizadas, el soporte para el motor PAP y el soporte para unos rodamientos de carga axial, los cuales soportarán las fuerzas axiales generadas. El soporte para el motor, siendo el motor seleccionado el NEMA 17, es sencillamente un adaptador para su agarre al chasis mientras que el soporte de los rodamientos axiales permite la implementación de dos de estos a ambos lados permitiendo así el giro del eje mientras recibe las fuerzas bidireccionalmente. Ambas piezas están representadas en la Figura 17.



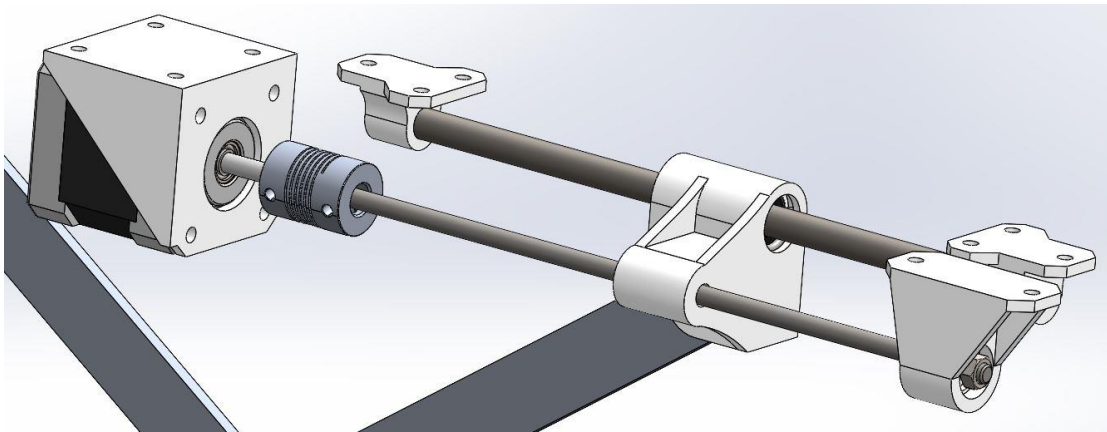
**Figura 17. Soporte del motor (izquierda), y soporte para los rodamientos axiales (derecha).**

En cuanto al resto del acople, este se basa en una pieza de acoplador comercial entre el eje del motor y el husillo que actúa de acople y absorbedor de variaciones en la alineación, un husillo de métrica 5 que se

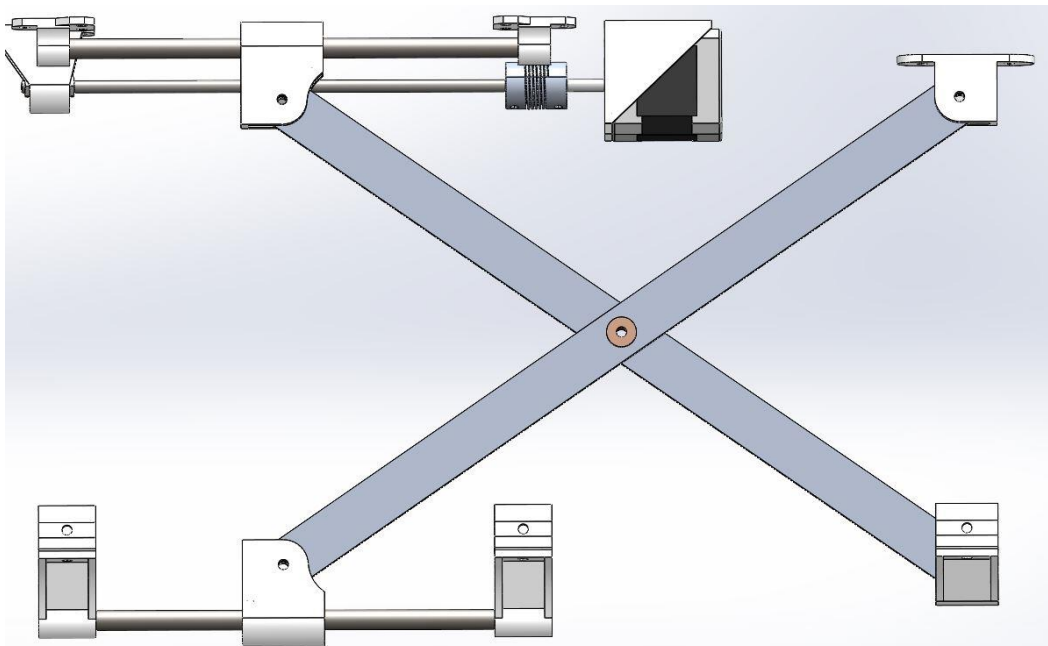
conecta al acople y enrosca en la tuerca del apoyo móvil superior atravesando en su terminación los rodamientos axiales en su soporte y fijándose a estos mediante dos tuercas a ambos lados.

Se pueden observar en mayor detalle los elementos descritos en su montaje en las Figuras 18 y 19 donde se representan dichos ensamblajes. Como se puede observar, la sujeción de los mecanismos a la máquina CNC láser se realiza mediante el atornillado de las piezas a la parte inferior de la base de la máquina quedando el mecanismo en suspensión.

Los componentes comerciales han sido sacados de aportaciones dentro de la comunidad de GrabCad (Santillan, 2012; Sab, 2013; Fisher, 2019; Bitica, 2020; Ghio, 2020; Pacas, 2020; Robert, 2020; Vitor, 2020)

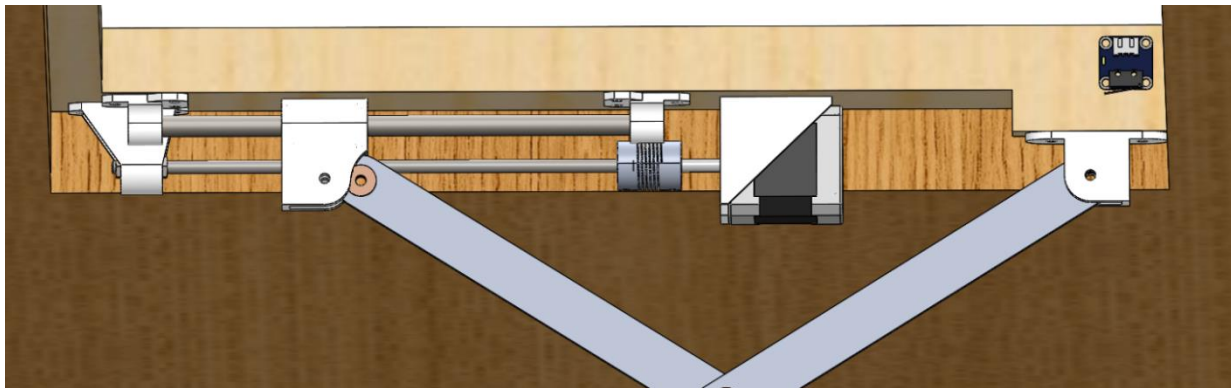


**Figura 18. Vista en detalle del montaje de acople motor y sujeción del mecanismo.**



**Figura 19. Vista en detalle del montaje del mecanismo elevador.**

Las Figuras anteriores muestran un mecanismo finalizado. La máquina consta de la plataforma de trabajo junto con dos mecanismos simétricos horizontalmente para una ascensión equilibrada, estando las cargas distribuidas uniformemente por estos. La unión de los mecanismos a la plataforma elevadora será mediante los mismos tornillos y tuercas de cabeza martillo usadas en su ensamblaje. En cuanto a la fijación a la base de la máquina CNC láser se realizará con tornillos rosca madera de 4x20mm en cada uno de los orificios existentes para tal fin posicionándose como se puede observar en la figura 20, estando representada la mesa de trabajo como madera oscura y la base de la máquina CNC láser como madera clara. El resultado final de la máquina aislada, el mecanismo acoplado a la base de la máquina láser CNC, puede apreciarse en la representación fotorrealista de la Figura 21.



*Figura 20. Detalle de la fijación del mecanismo a la máquina CNC láser.*



*Figura 21. Renderizado fotorrealista de la máquina terminada.*

### 8.3 Diseño del control digital

La última parte del diseño de la máquina es el control digital de los motores. Como se indicó en el apartado 5 este control será llevado a cabo mediante una plataforma comercial programable basada en Arduino y unos controladores de motores PAP. En este caso los controladores seleccionados son los A4988 los cuales pueden aportar la corriente necesaria para el funcionamiento de los motores.

La plataforma hardware del control viene definida por los siguientes elementos además de los cables y alimentación y ventilación del sistema:

- Plataforma programable Arduino uno
- Plataforma de conexionado CNC shield
- Controladores de motor paso a paso A4988
- Finales de carrera mecánicos NO
- Botonera de interfaz con usuario
- Pantalla de interfaz con usuario

La plataforma programable con el CNC shield permiten una rápida programación y puesta en funcionamiento del sistema de control ya que juntos aúnan una programación intuitiva y rápida y un acceso a los pines de control simplificado y adaptado a su uso en máquinas CNC.

Los controladores para motor paso a paso están descritos en el apartado 5 de este documento solo cabiendo añadir su adaptación por inserción a la plataforma CNC shield.

Los finales de carrera estarán conectados en el punto cero de la máquina, marcando el inicio del recorrido a ambos motores evitando así una posible desnivelación del sistema.

La botonera consistirá en tres botones (arriba, abajo e izquierda) mediante los cuales el usuario será capaz de subir y bajar la plataforma en pasos de distinta magnitud.

La pantalla consistirá en un LCD de 16x2 caracteres con el que se informará al usuario del estado de la máquina y de la altura actual de la plataforma.

El conexionado hardware del sistema será realizado en el CNC shield según el esquema mostrado en la Figura 22.



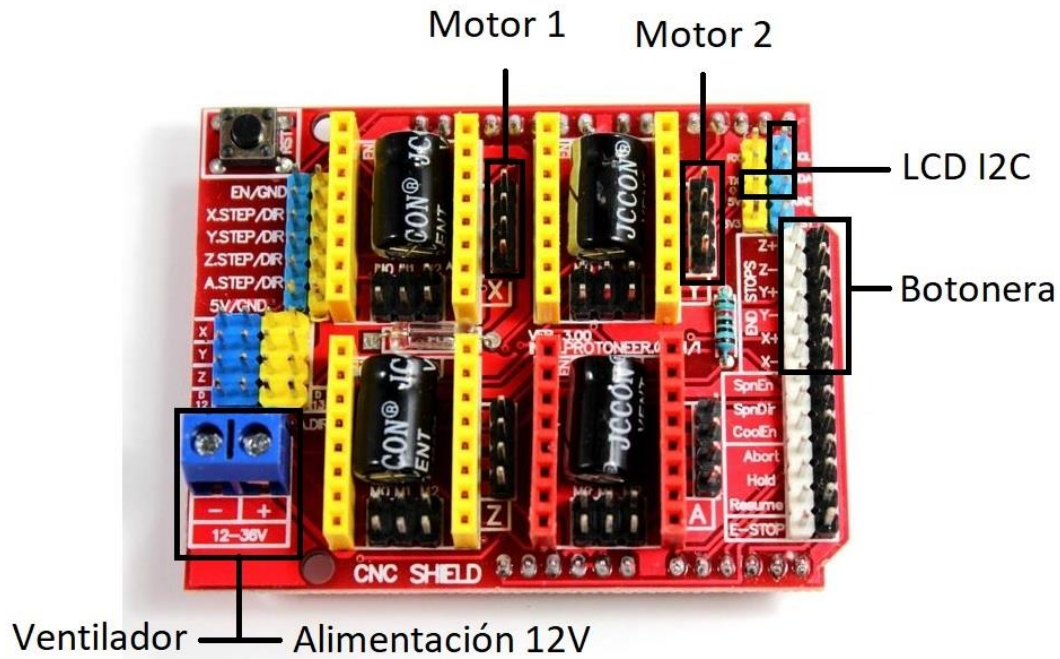
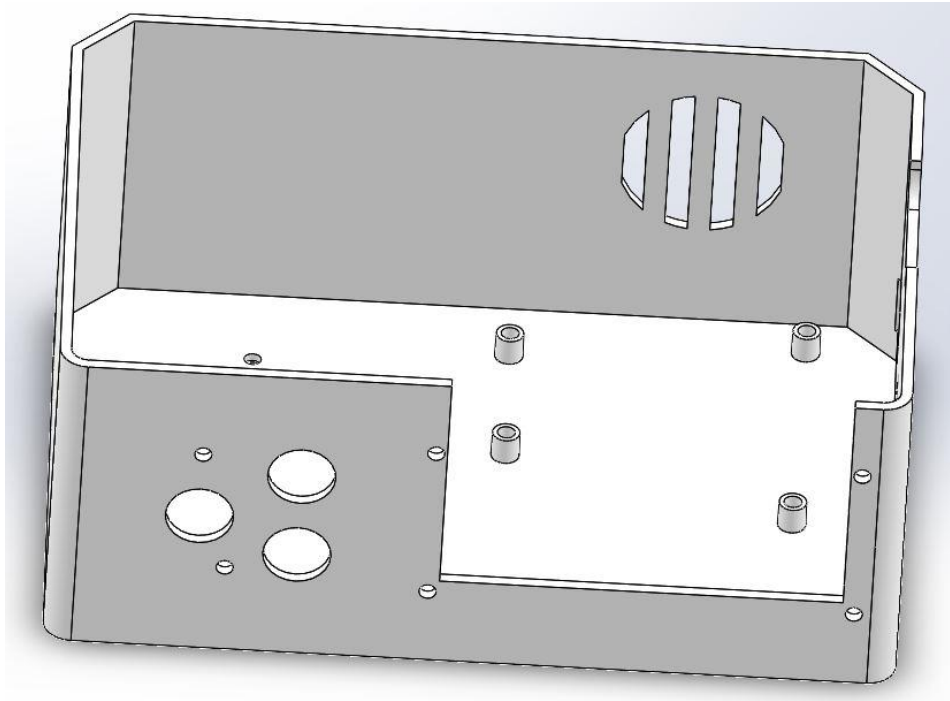


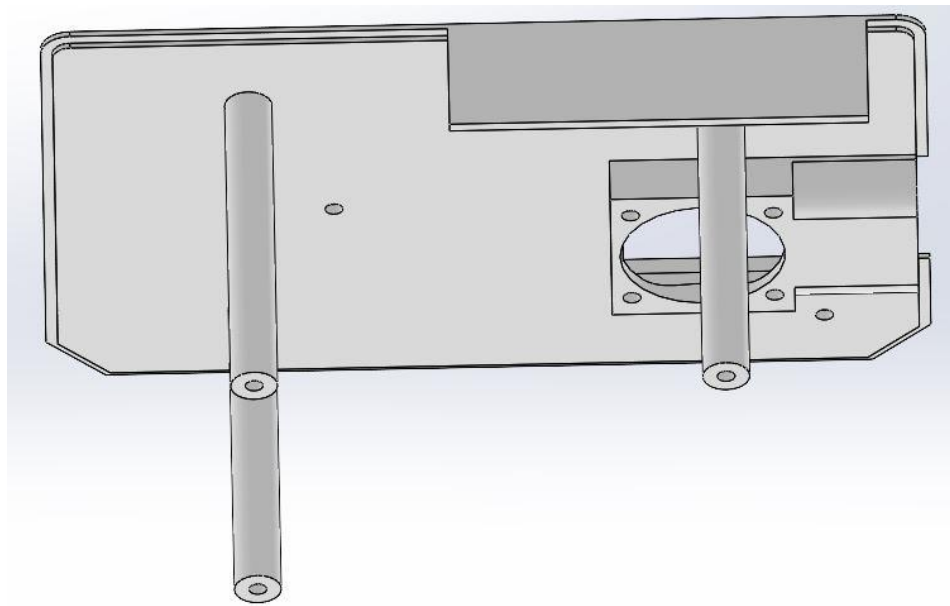
Figura 22. Conexión de los componentes hardware.

En cuanto al encapsulado del hardware se ha realizado el diseño de una caja que permita la sujeción y protección de los componentes, así como su colocación en la zona de trabajo y el soporte de la interfaz de usuario. Este encapsulado añade además un sistema de ventilación para mantener la temperatura de los controladores regulada y aporta acceso a la alimentación y el puerto USB de programación. La caja se ha diseñado para su fabricación mediante impresión 3D y está representada en las Figuras 23 y 24.





**Figura 23. Base de la caja de control.**



**Figura 24. Tapa de la caja de control.**

Por último, se definirá la lógica que debe seguir el programa para un funcionamiento correcto e intuitivo al usuario. El programa principal debe comenzar su funcionamiento con la ascensión de la plataforma hasta su punto cero mediante los finales de carrera, tras esto, la plataforma debe poder subir y bajar en rangos de distancia discretos y a distinta escala, permitiendo que la plataforma se mueva rápidamente en caso de

carga de material o uso de un material de mayor grosor y de forma más precisa en caso de ajustar la altura en décimas de milímetro, todo ello indicado mediante la pantalla LCD. Además, este programa debe convertir internamente el comando de altura deseado en el giro equivalente del motor con la función expresada en el análisis cinemático del tomo 3: Anexos.

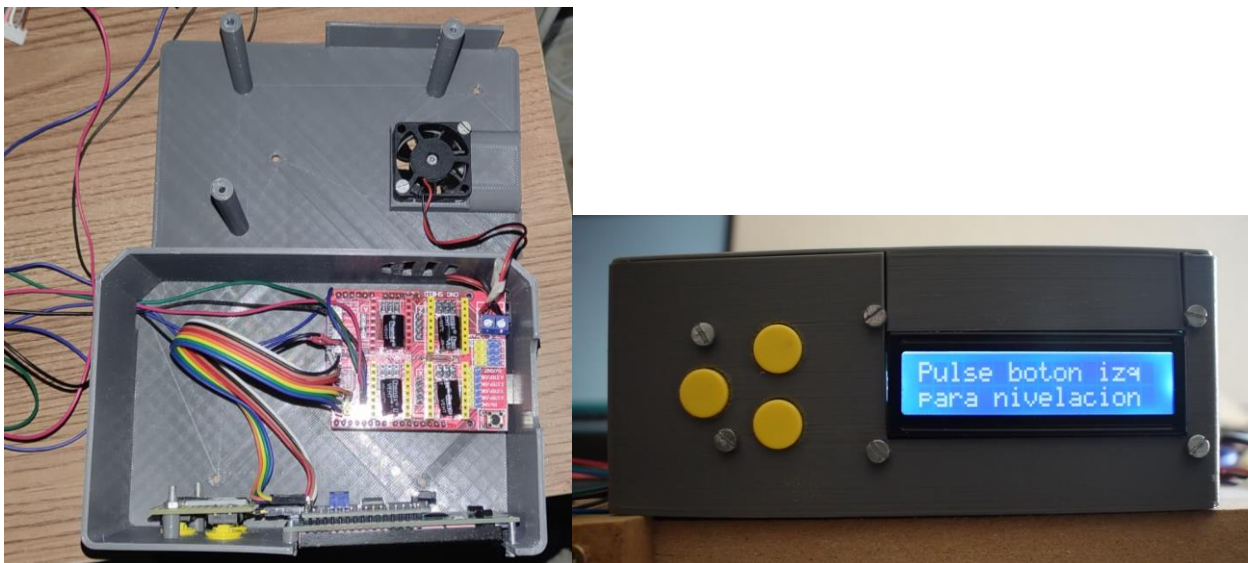
Dado que el análisis cinemático se basa en un mecanismo ensamblado idealmente se ha desarrollado otro programa para el calibrado del sistema una vez montado. Este programa debe realizar una puesta a cero mediante los finales de carrera tras lo cual debe permitir al usuario avanzar de milímetro en milímetro el apoyo móvil superior, permitiendo realizar una medición de altura de la plataforma para cada paso y realizando así la función a implementar en el programa principal. Este proceso en detalle, al igual que los programas diseñados, están disponibles en el tomo 3: Anexos.

#### 8.4 Prototipado del mecanismo elevador y sistema de control

Para la comprobación del diseño y cálculos realizados se ha desarrollado el prototipo del mecanismo elevador y el sistema de control.

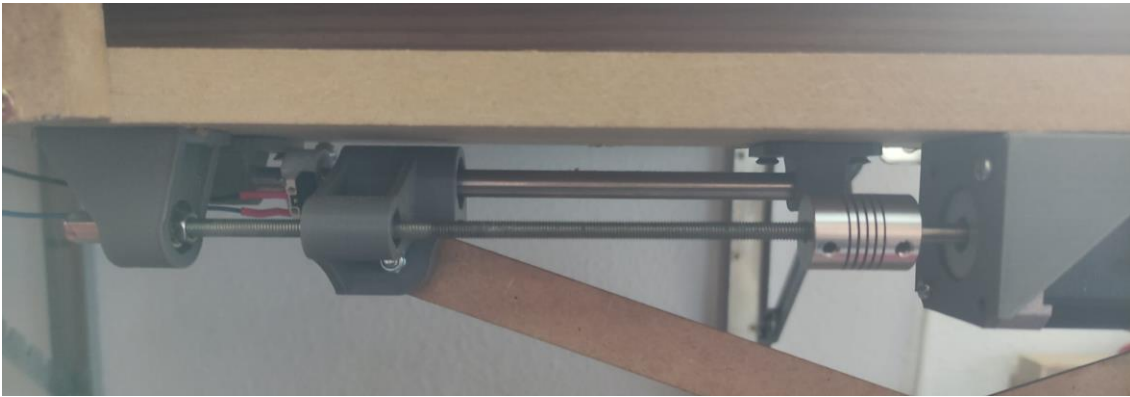
En el caso del sistema de control la ejecución del prototipo coincide con el dispositivo final por lo que el desarrollo del mismo se considera una ejecución previa del mismo, simplificando así la instalación en el sistema final. Las piezas de la carcasa han sido fabricadas mediante impresión 3D en ABS gris, la placa base se ha fijado a la carcasa y se han realizado las conexiones eléctricas pertinentes según el esquema del apartado anterior. También ha quedado fijado el ventilador a la tapa de la caja y se han atornillado la botonera y la pantalla LCD al frontal de la base quedando el resultado capturado en la Figura 25.

Tras esto se ha cerrado y fijado la tapa y se ha cargado el programa principal en la placa programable quedando con esto lista la base del sistema de control. Previamente a conectar los motores se ha realizado la prueba de alimentación, comprobando que el programa sigue respecto a lo estimado.

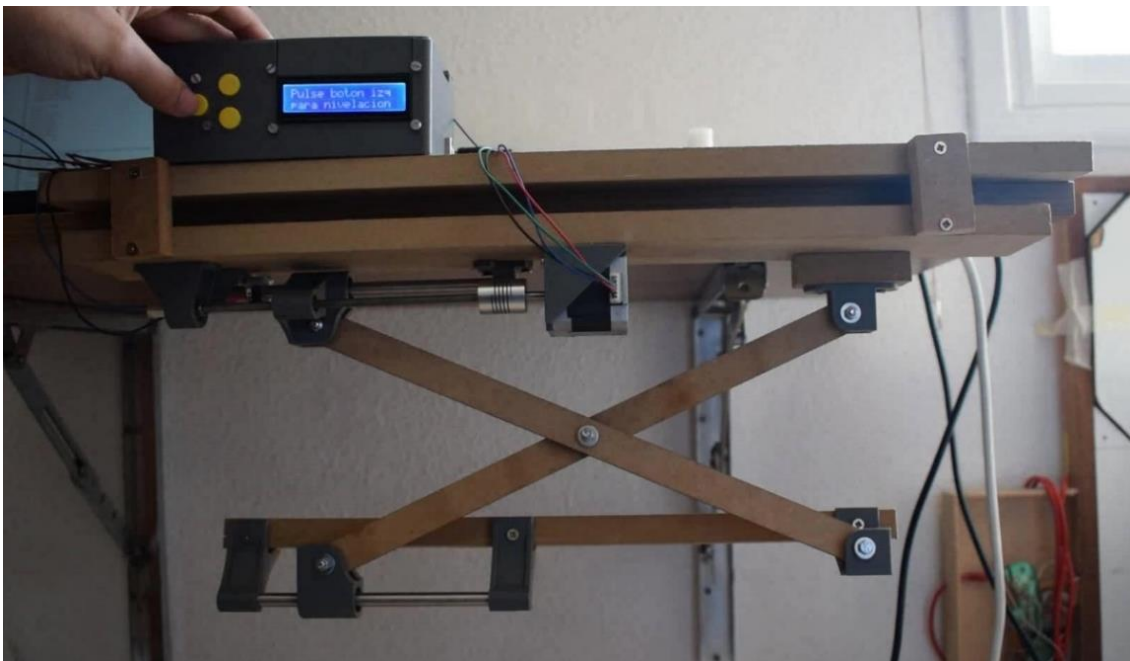


*Figura 25. Montaje del sistema de control.*

En cuanto al mecanismo, se ha realizado una versión a escala 1:1 del mecanismo, con los herrajes finales del sistema real. Este prototipo solo incluye uno de los dos mecanismos elevadores, no incluye la plataforma de trabajo y está montado sobre una sujeción preparada para su transporte y ajuste en una mesa. Además, las piezas diseñadas en el presente proyecto se han realizado mediante impresión 3D en ABS gris y las barras del mecanismo son de madera del mismo grosor que las piezas finales de aluminio. Esto permite no incurrir en sobrecostos en las piezas más susceptibles a modificaciones. El resultado del montaje completo del prototipo puede observarse en las Figuras 26 y 27. Una prueba completa de las funcionalidades esperadas otorga un resultado positivo de las funciones diseñadas y el visto bueno para el uso del diseño en el dispositivo final. Queda a disposición un vídeo con las pruebas de funcionamiento en el siguiente enlace: <https://youtu.be/nZAa1VFsu4Y>



*Figura 26. Detalle del acople motor al mecanismo.*



*Figura 27. Imagen completa del prototipo finalizado.*

## 9 Planificación de la ejecución

En esta última sección se desarrollan los planes de ejecución del presente proyecto de acuerdo a los documentos desarrollados y a los planos exportados. El comienzo de la ejecución del proyecto quedará a la espera de la aprobación y fechado por parte del promotor. En cuanto a la cronografía de la ejecución, aparecen dos momentos clave en la ejecución: el primer periodo de dos semanas para la obtención de los materiales y una jornada laboral para el montaje, calibración y tutorización del sistema. Dada la simpleza de ejecución no aporta mayor información el graficado de un cronograma.

### 9.1 Obtención de los elementos materiales

Los materiales para la fabricación del dispositivo, distintos a los utilizados en el prototipo, quedan detallados en el tomo 6: Mediciones y presupuesto y utilizados en los cálculos realizados en el tomo 3: Anexos, serán obtenidos de los diversos proveedores disponibles en la ciudad de Córdoba y mediante otros proveedores online, algunos de ellos ya citados en el presente documento. En cuanto a los elementos de diseño personalizado, será encargado su mecanizado a la empresa IMFERPLAS S.L. la cual tiene un tiempo de fabricación de dos semanas y serán realizados con los materiales especificados en los apartados 5.3 y 5.4 del tomo 3: Anexos para una previsión de vida útil suficiente y una adecuación a las solicitudes calculadas.

### 9.2 Ensamblaje de los elementos individuales

Una vez obtenidos todos los elementos materiales del dispositivo, el montaje de las diferentes partes del mismo se realizará por separado dejando preparados ambos mecanismos, la plataforma de trabajo y el sistema de control según los planos e información del presente proyecto. Esta fase de la ejecución junto con la siguiente tiene una duración conjunta estimada de una jornada laboral repartida como indica el tomo 6: Mediciones y presupuesto.

### 9.3 Ensamblaje en máquina, calibrado y puesta en marcha

Una vez obtenidos los elementos individuales del dispositivo se deberá ensamblar entre sí y en la base de la máquina CNC láser de acuerdo a los planos recogidos en el tomo 4: Planos. Posteriormente será necesario seguir el método de calibrado y puesta en marcha descrito en la sección 4.2 manual de usuario del tomo 3: Anexos. Para finalizar será necesario una sencilla introducción en el funcionamiento, mantenimiento y seguridad de la máquina al operario u operarios seleccionados para el mismo.

## 10 Conclusiones

Tras la redacción del presente proyecto se puede realizar una revisión completa sobre el desarrollo del mismo y la comprobación de los objetivos propuestos.

En primer lugar, con respecto a los objetivos marcados al inicio de este tomo, han sido cumplidos en su totalidad respecto a la siguiente lista:

- La recogida de información y selección de la solución está desarrollada y justificada en el apartado 5 del presente documento.
- El diseño mecánico y del control digital, junto con su bocetos y conceptos previos, han sido llevados a cabo satisfactoriamente respecto a las necesidades del cliente de forma justificada en el apartado 8 del presente documento junto con la información registrada en los tomos anexos del documento.
- El desarrollo de un prototipo se ha realizado respecto al diseño planteado y se ha comprobado la funcionalidad descrita, dando veracidad y viabilidad al diseño realizado para su ejecución.
- La descripción de los componentes, su método de fabricación, compra y precio están reflejados en el apartado 9.1 del presente documento, así como en el tomo 6: Mediciones y presupuesto.

Adicionalmente, según lo estipulado en el apartado 1 de documentación inicial del tomo 3: Anexos, han sido cumplidas con el diseño las especificaciones en ese punto descritas. La funcionalidad y dimensiones del sistema cumplen con los requisitos propuestos, han sido alcanzadas las cotas de precisión buscadas, el dispositivo solo está relacionado directamente con la máquina CNC láser y se han aprovechado materiales presentes en la empresa.

Como conclusión se puede afirmar que, a falta de realizar la ejecución, el proyecto ha cumplido completamente con las necesidades expuestas por el cliente de forma eficiente y con el menor coste estudiado posible.

**ESCUELA POLITÉCNICA  
SUPERIOR DE CÓRDOBA**  
Universidad de Córdoba



**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

*Máster de Ingeniería Industrial.*

**DESARROLLO DE UN MECANISMO DE  
CONTROL DE ALTURA PARA MÁQUINA CNC**

**TOMO 3: ANEXOS**

**Autor:** Francisco González Dorado.

**Director:** Rafael Rubén Sola Guirado.



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA



## Índice de anexos

1	Documentación inicial .....	1
2	Cálculos y estudios realizados .....	2
2.1	Estudio cinemático .....	2
2.2	Estudio dinámico .....	2
2.3	Estudio estático .....	4
2.4	Otros cálculos .....	7
3	Código fuente del control.....	7
3.1	Código fuente del programa de calibrado.....	7
3.2	Código fuente del programa principal.....	10
4	Anexos de aplicación .....	15
4.1	Manual de seguridad y mantenimiento .....	15
4.2	Manual del usuario.....	15
5	Documentación de referencia .....	16
5.1	Hoja de características: Motor PAP nema 17 JK42HS40-1704-13A .....	17
5.2	Hoja de características: Controladores motor PAP A4988.....	19
5.3	Hoja de características: ABS de calidad industrial.....	40
5.4	Hoja de características: Aluminio extruido AW 6005A .....	41
5.5	Extracto de catálogo: Rodamiento lineal BA 5 .....	42
5.6	Extracto de catálogo: Rodamiento de bolas axial LM8UU .....	43



## Índice de figuras

Figura 1. Desplazamiento horizontal del apoyo móvil frente al vertical de la plataforma. ....	3
Figura 2. Par necesario en el movimiento de subida de la plataforma. ....	3
Figura 3. Fuerza de empuje de la varilla roscada sobre el apoyo móvil. ....	3
Figura 4. Tensiones resultantes en las vigas del mecanismo. ....	5
Figura 5. Tensiones resultantes en la estructura de la plataforma. ....	5
Figura 6. Deformaciones resultantes en la estructura de la plataforma. ....	5
Figura 7. Tensiones resultantes en el soporte de los rodamientos axiales. ....	6
Figura 8. Tensiones resultantes en el apoyo móvil acoplado al motor. ....	6

## Índice de tablas

Tabla 1. Mediciones efectuadas en la máquina CNC láser. ....	1
--	---

## 1 Documentación inicial

Para el comienzo del desarrollo del presente proyecto se han realizado diversas mediciones y revisión de funcionalidades de la máquina de grabado y corte láser CNC en la que se implementará el dispositivo a diseñar mostrados esquemáticamente en la tabla 1. Así mismo, se recogen a continuación las especificaciones recogidas mediante la entrevista con el responsable de Hermanos González C.B. y las observaciones propias derivadas de la experiencia en el ámbito.

Las especificaciones que debe cumplir el mecanismo serán las siguientes:

- Utilización completa del área de trabajo designada de la máquina CNC láser.
- Superficie del área de trabajo resultante con apoyos para las piezas cada 5cm máximo.
- Superficie del área de trabajo con fondo metálico para bloquear la penetración del láser.
- Espacio libre entre la máquina CNC láser y la superficie del área de trabajo.
- Precisión en el control de altura de  $\pm 0.5\text{mm}$ .
- Capacidad de carga estimada de 3kg.
- Control digital semiautomático con alimentación a 230Vac o 12Vdc.
- Recorrido suficientemente amplio para poder cargar piezas.
- Capacidad de mantener la posición sin alimentación.
- Aprovechamiento de materiales y componentes ya presentes en la empresa.
- El mecanismo no debe estar ensamblado con ningún elemento externo a la máquina CNC láser.

*Tabla 1. Mediciones efectuadas en la máquina CNC láser.*

<b>Descripción</b>	<b>Medida</b>
Tamaño del área de trabajo	400x800mm
Tamaño de la base de la máquina CNC láser	1050x1530x25mm
Distancia desde la esquina inferior izquierda de la máquina a la esquina inferior izquierda del área de trabajo	175x200mm
Tamaño de la mesa de trabajo	1350x2130x31.5mm
Distancia focal 0, desde la base de la máquina CNC láser (lente de 5.7mm)	3mm
Altura de la mesa de trabajo	850mm
Espesor máximo de material	20mm

Todas las medidas de la tabla anterior han sido tomadas respecto al frontal de la máquina CNC láser y las medidas rectangulares han sido tomadas como medida vertical x medida horizontal x medida grosor en su caso.

## 2 Cálculos y estudios realizados

En este apartado se encuentran reflejados los cálculos y resultados de simulaciones mediante los que se justifica la correcta selección de la solución para los objetivos propuestos. Entre ellos se encuentran un estudio dinámico del movimiento del mecanismo en las condiciones de trabajo límites para conocer la relación entre el giro de los motores y la variación de altura de la plataforma, un estudio estático de las partes independientes de la máquina para comprobar que las piezas cumplen con las sollicitaciones de esfuerzos a las que se verán sometidas y un apartado de cálculos secundarios como la selección de rodamientos.

### 2.1 Estudio cinemático

Se ha realizado un estudio cinemático del mecanismo mediante el software SolidWorks con el fin de comprobar el correcto movimiento del mecanismo y la obtención de la función que relaciona la variable controlada del sistema (el giro del motor) con la variable objetivo (la altura de la plataforma).

Con el ensamblaje virtual de las piezas diseñadas y una vez realizado el estudio pertinente de animación de SolidWorks se obtuvo, además de las animaciones y la confirmación de la correcta movilidad del mecanismo, la función que relaciona el movimiento horizontal del apoyo móvil superior con la altura de la plataforma como se observa en la Figura 1. Esto permite la obtención de el giro necesario en el motor ya que el husillo tiene un paso de 0.8mm/vuelta y mueve directamente el apoyo móvil superior.

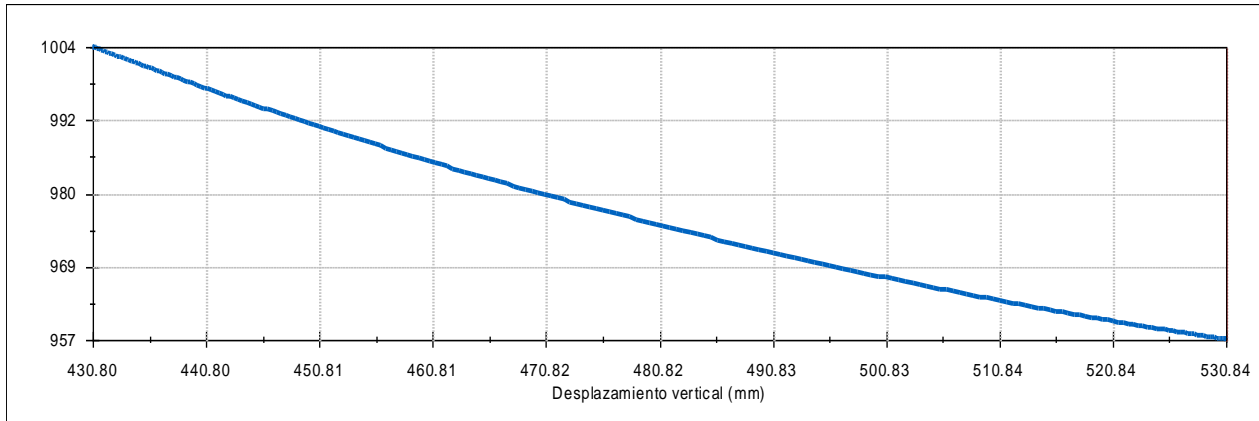
### 2.2 Estudio dinámico

El estudio dinámico del diseño realizado mediante el software SolidWorks se ha centrado en recoger, mediante el ensamblado virtual del mecanismo, los datos referentes al par necesario para impulsar el mecanismo en sentido ascendente, de mayor resistencia, y la fuerza horizontal de empuje que crea la varilla roscada y el apoyo móvil, los cuales están reflejados en las Figuras 2 y 3 respectivamente. Este estudio se ha realizado en uno de los mecanismos ensamblados simulando las cargas de peso propio y carga máxima del mecanismo.

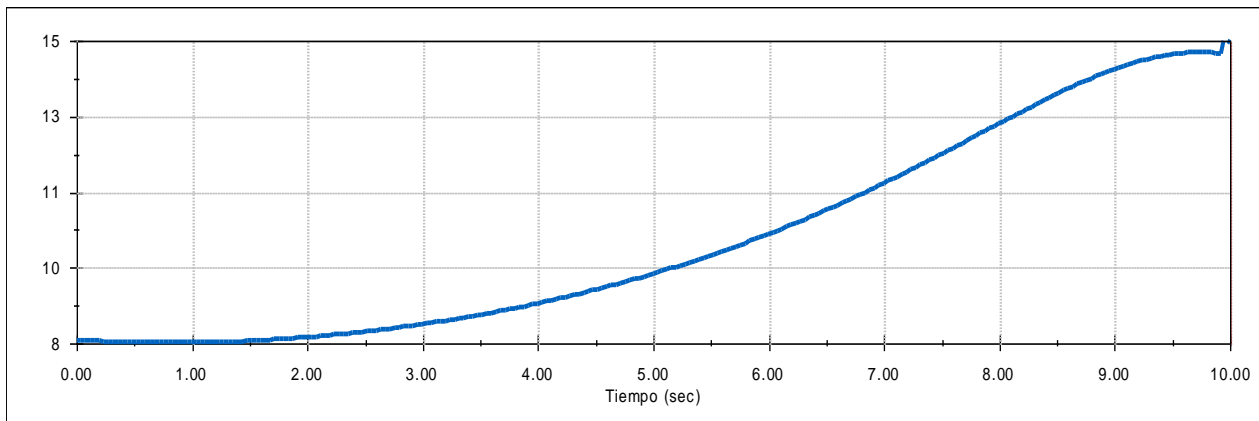
Con el dato de par máximo necesario durante el ascenso de la plataforma se puede comprobar el coeficiente de seguridad por la diferencia con el par máximo que puede aportar el motor PAP definido en el apartado 5.1 del presente documento. En la ecuación (1) queda confirmado un coeficiente de seguridad de 25.77 para el par motor en este diseño, lo que permite limitar la corriente del motor para evitar calentamientos innecesarios.

$$N_{Par} = \frac{T_{Motor}}{T_{max}} = \frac{4kg * cm * \frac{9.8N}{1kg} * \frac{10mm}{1cm}}{15.21N * mm} = \frac{392N * mm}{15.21N * mm} = 25.77 \quad (1)$$

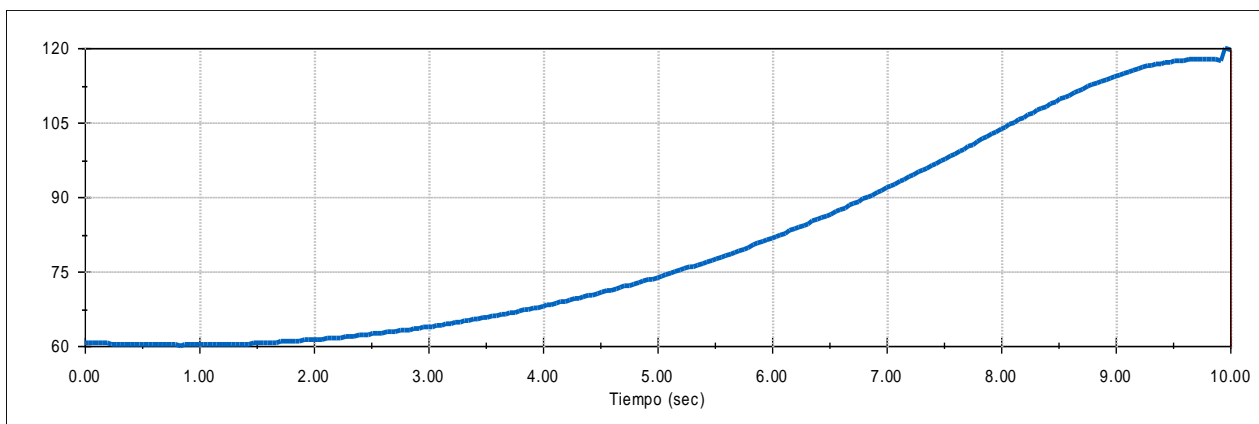
El dato de fuerza de empuje máxima es de 119.5N la cual será necesaria en los siguientes puntos para el análisis estático de las piezas clave, así como para la selección de los rodamientos axiales.



**Figura 1. Desplazamiento horizontal del apoyo móvil frente al vertical de la plataforma.**



**Figura 2. Par necesario en el movimiento de subida de la plataforma.**



**Figura 3. Fuerza de empuje de la varilla roscada sobre el apoyo móvil.**

## 2.3 Estudio estático

Partiendo de los datos obtenidos en el estudio dinámico del mecanismo se han sometido a un estudio estático las piezas clave, el conjunto del mecanismo y la plataforma de trabajo.

En primer lugar, se ha llevado a cabo un estudio estático de la estructura de la plataforma de trabajo para comprobar que cumple con los requisitos bajo la carga máxima estipulada. Como se puede observar en la Figura 4, se calcula una tensión máxima en el centro de las vigas de 1.609MPa muy inferior al límite elástico del material (270MPa) reflejado en su ficha técnica del apartado 5.4 del presente documento.

A continuación, en la Figura 5, se puede observar las tensiones que aparecen en la estructura de la plataforma de trabajo debida a la carga máxima que debe soportar, las cuales son muy inferiores a la tensión elástica límite. Además, se ha realizado un estudio de deformaciones absolutas en la plataforma para establecer la variación máxima que podemos suponer en su funcionamiento normal. Esta deformación tiene un máximo de 0.18mm en su zona central, como se observa en la Figura 6, lo que quedará aún más reducido ante el efecto de la rejilla de panel de aluminio.

Por otra parte, se ha realizado un estudio de las dos piezas que soportan una mayor carga debido al empuje entre husillo y tuerca que realiza el motor. Estas son el apoyo móvil de la parte superior y el soporte de los rodamientos axiales.

En el caso del soporte de los rodamientos axiales se puede comprobar en la Figura 7 que la fuerza de empuje no genera ningún esfuerzo a considerar crítico por lo que el diseño queda verificado.

Por último, dentro de las piezas críticas, se ha realizado un estudio estático sobre el apoyo móvil acoplado al motor. Esta pieza es la encargada tanto de realizar el movimiento horizontal como de transmitir el movimiento que recibe del acople con el motor al resto del mecanismo permitiendo la subida. En el estudio realizado representado en la Figura 8 se puede comprobar que, en el momento de máxima fuerza de empuje, la pieza constituida por el ABS descrito en el apartado 5.3 del presente documento soporta unas tensiones por debajo del límite elástico del material. Aunque la tensión máxima que se genera solo deja un coeficiente de seguridad de 1.88, esta tensión solo es soportada durante el movimiento ascendente y únicamente en un breve periodo de tiempo y en la zona más alta del recorrido, por tanto, se considera apto el diseño para este dispositivo.

En cuanto al resto de componentes del mecanismo podemos concluir que las tensiones son muy inferiores a los límites permitidos por lo que no es necesario su incorporación dentro de este apartado. Además, aunque las piezas restantes se encuentren sobredimensionadas, no se considera eficiente la optimización topográfica de las mismas o un cambio en el material dado que dichos cambios no repercutirían en un ahorro económico sino en una complicación de la geometría a mecanizar.

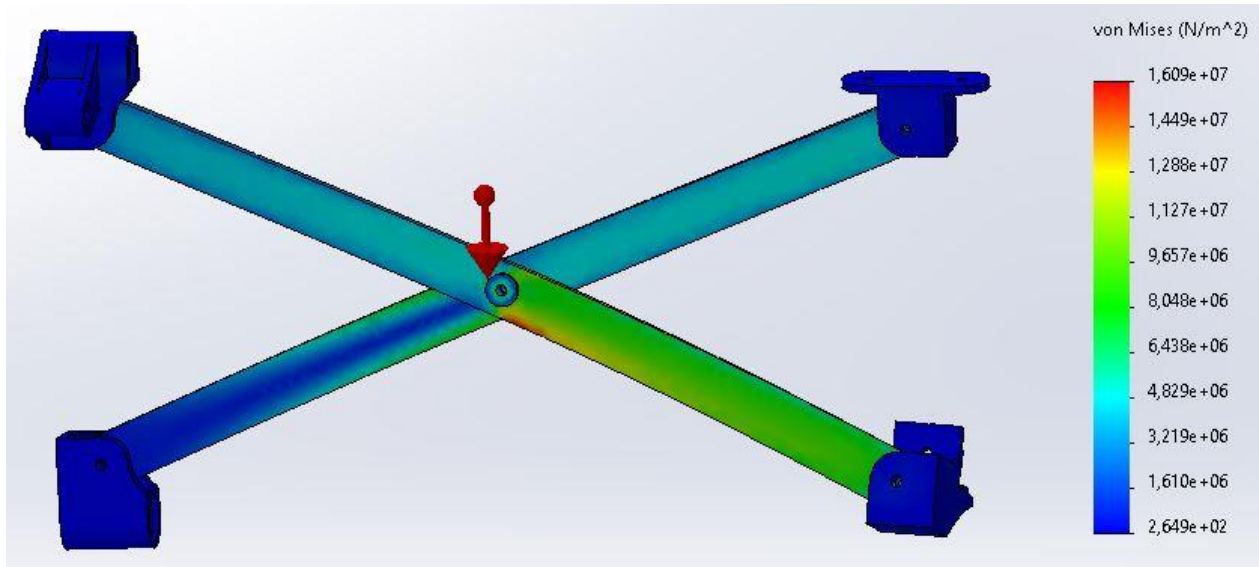


Figura 4. Tensiones resultantes en las vigas del mecanismo.

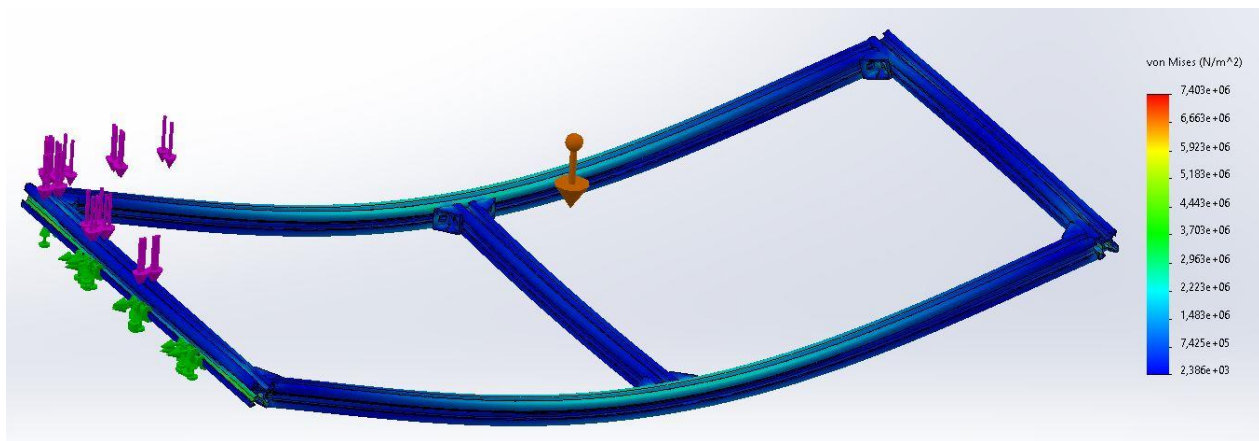


Figura 5. Tensiones resultantes en la estructura de la plataforma.

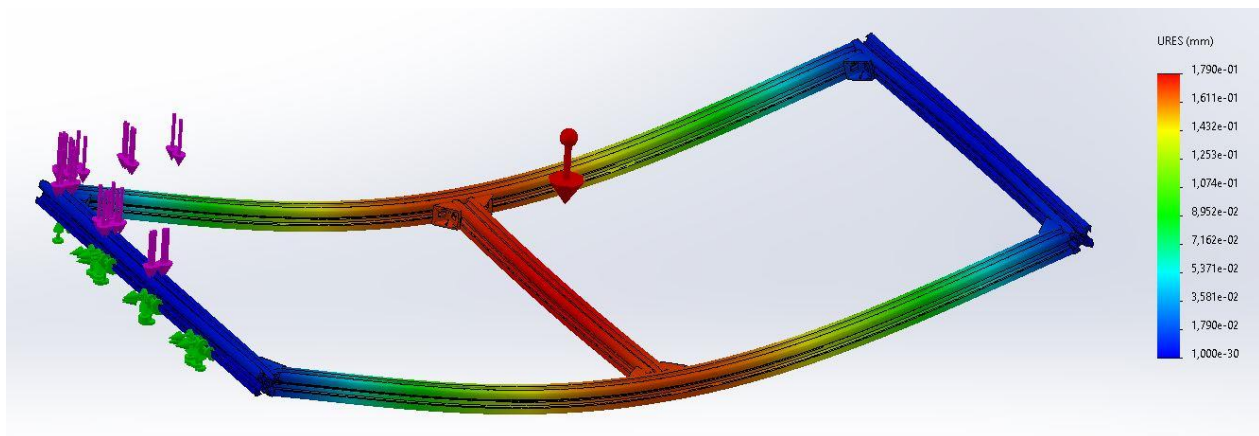
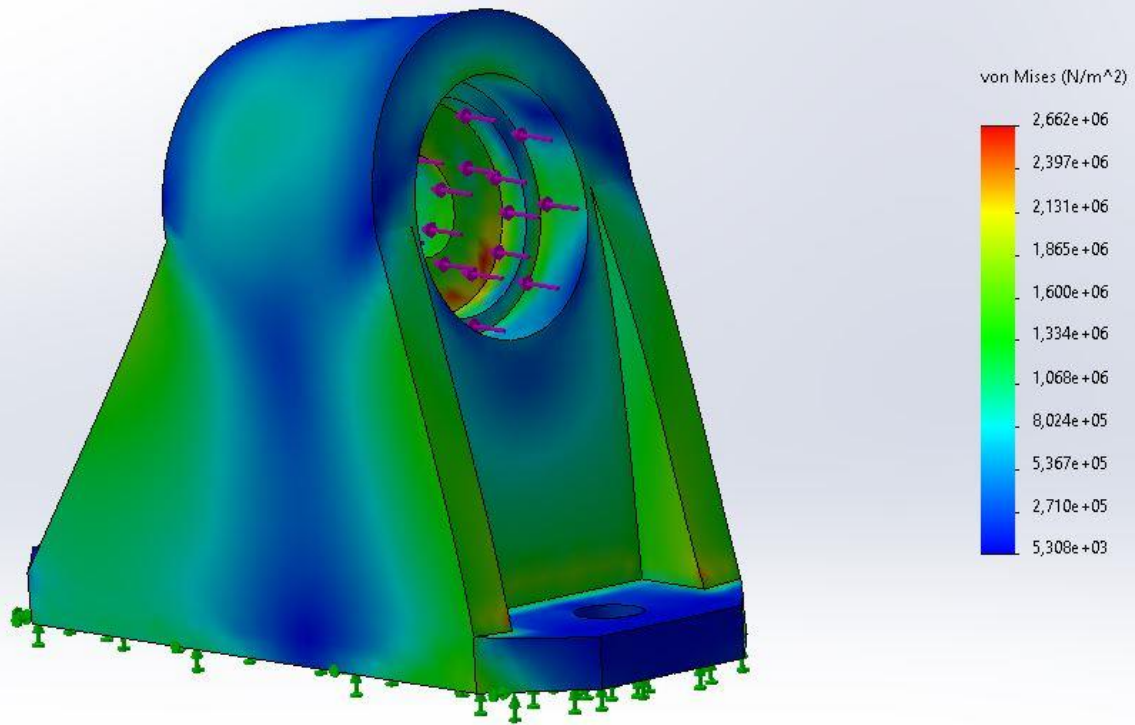
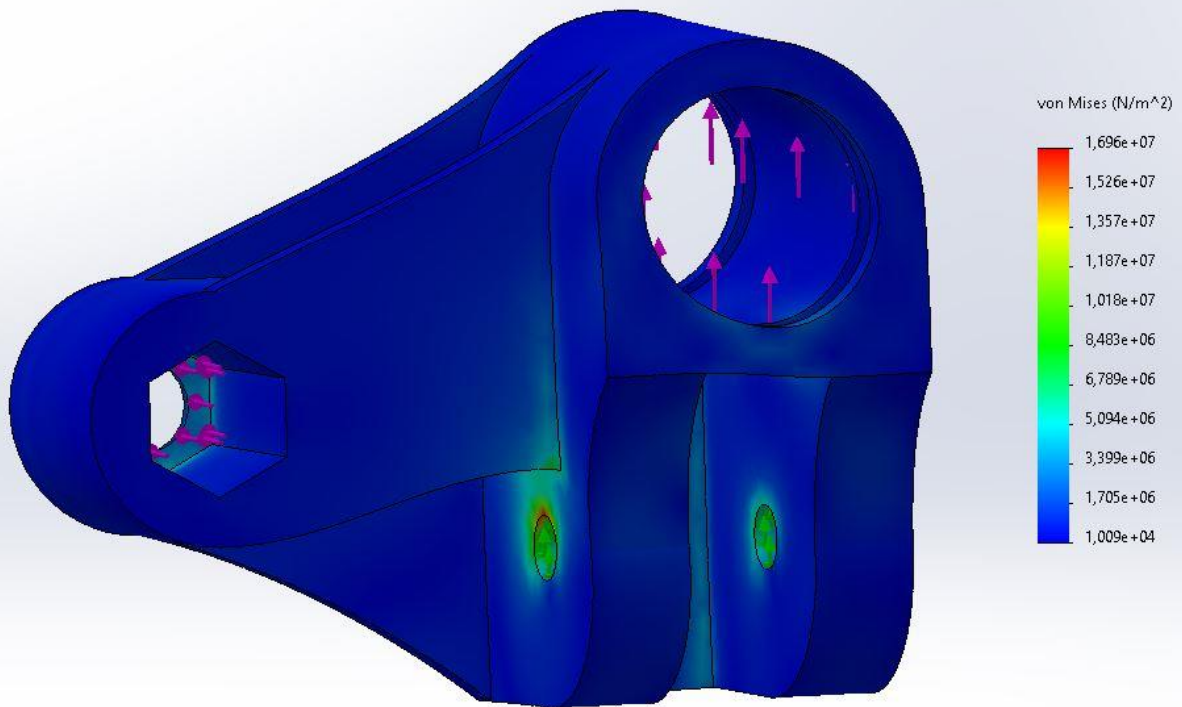


Figura 6. Deformaciones resultantes en la estructura de la plataforma.



*Figura 7. Tensiones resultantes en el soporte de los rodamientos axiales.*



*Figura 8. Tensiones resultantes en el apoyo móvil acoplado al motor.*

## 2.4 Otros cálculos

En este apartado vienen recogidos los cálculos de diseño realizados para la selección de los rodamientos axiales y lineales insertados en las piezas diseñadas. En el caso del mecanismo diseñado tenemos que los rodamientos lineales solo soportarán carga vertical dado que permiten el movimiento horizontal. En cuanto a los rodamientos axiales, son los encargados de soportar el empuje en lugar del eje del motor y solo soportarán cargas en la dirección para la que están diseñados.

Ambos rodamientos han sido escogidos debido a las dimensiones de los ejes asociados a ellos lo que resulta en unos esfuerzos mucho menores a sus capacidades de carga básicas reflejadas en los apartados 5.5 y 5.6 con lo que se asegura una vida útil de al menos  $10^6$  horas y no se encuentran limitaciones de diseño que contemplar.

## 3 Código fuente del control

A continuación, se detalla el código desarrollado para el sistema de control programable seleccionado para el montaje especificado en la memoria.

### 3.1 Código fuente del programa de calibrado

```
#include <Wire.h> //Librería I2C
#include <LiquidCrystal_I2C.h> //Librería LCD 16x2

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); //Inicializado del LCD
// Definición de variables
int puls=250; //tiempo en microsegundos de pulso por paso típico
int veloc=0; //tiempo en microsegundos para regular velocidad
//0=Vmax=8mm/s longitud; 500=V=4mm/s; 3500=V=1mm/s
int npasos=0; //número de pasos a dar
int unidad=0; //unidad seleccionada, 0-mm 1-dmm 2-cmm
int i=0; //contador genérico
float altura=00.00; //altura de la plataforma
float difalt=0.0; //diferencia de altura actual y altura solicitada
float longitud=0.0; //longitud de las barras lineales
float longitud2=0.0; //longitud de las barras lineales deseada
float diflong=0.0; //diferencia de la longitud actual y la longitud
solicitada

// Definición de entradas y salidas
int FC=12; //Entrada final de carrera
int Bizq=11; //Entrada botón izquierda
int Barr=10; //Entrada botón arriba
int Baba=9; //Entrada botón abajo
int MAS=2; //Step motor A
int MBS=3; //Step motor B
int MAD=5; //Dirección motor A
int MBD=6; //Dirección motor B
int ENA=8; //Habilitar motores

void setup() {
  // Inicialización de entradas y salidas
```



```
pinMode (FC, INPUT_PULLUP);
pinMode (Bizq, INPUT_PULLUP);
pinMode (Barr, INPUT_PULLUP);
pinMode (Baba, INPUT_PULLUP);
pinMode (MAS, OUTPUT);
digitalWrite (MAS, LOW);
pinMode (MBS, OUTPUT);
digitalWrite (MBS, LOW);
pinMode (MAD, OUTPUT);
digitalWrite (MAD, HIGH);
pinMode (MBD, OUTPUT);
digitalWrite (MBD, HIGH);
pinMode (ENA, OUTPUT);
digitalWrite (ENA, LOW);

//Inicialización LCD
lcd.init();
lcd.backlight();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Pulse boton izq");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("para nivelacion");

//Bucle de espera a nivelado
while (digitalRead(Bizq)==HIGH){
  delay(100);
}

//Mensaje de nivelación
lcd.clear();
lcd.setCursor(4,0);
lcd.print("Nivelando");
lcd.setCursor(2,1);
lcd.print("espere . . .");

//Subida de plataforma hasta FC a 4mm/s longitudinal
veloc=500;
while (digitalRead(FC)!=LOW){
  digitalWrite (MAS, HIGH);
  digitalWrite (MBS, HIGH);
  delayMicroseconds (puls);
  digitalWrite (MAS, LOW);
  digitalWrite (MBS, LOW);
  delayMicroseconds (puls);
  delayMicroseconds (veloc);
}
delay(100);
//Bajada 10mm
digitalWrite (MAD, LOW);
digitalWrite (MBD, LOW);
for (i=0;i<2000;i++){
  digitalWrite (MAS, HIGH);
  digitalWrite (MBS, HIGH);
  delayMicroseconds (puls);
  digitalWrite (MAS, LOW);
```

```

    digitalWrite (MBS, LOW);
    delayMicroseconds (puls);
    delayMicroseconds (veloc);
}
delay(100);
//Subida de plataforma hasta FC a 1mm/s longitudinal
veloc=1500;
digitalWrite (MAD, HIGH);
digitalWrite (MBD, HIGH);
while (digitalRead(FC) !=LOW) {
    digitalWrite (MAS, HIGH);
    digitalWrite (MBS, HIGH);
    delayMicroseconds (puls);
    digitalWrite (MAS, LOW);
    digitalWrite (MBS, LOW);
    delayMicroseconds (puls);
    delayMicroseconds (veloc);
}
//Pantalla inicial
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(" Var Y: ");
lcd.setCursor(9,0);
lcd.print(altura);
lcd.setCursor(13,0);
lcd.print(" mm");
lcd.setCursor(8,1);
lcd.print(" ^    ");
}

void loop() {
    //Subida unitaria de la unidad seleccionada en función de trayectoria del
    mecanismo
    if (digitalRead(Barr)==LOW){
        digitalWrite (MAD,HIGH);          //Dirección subir
        digitalWrite (MBD,HIGH);
        if (altura>0){
            difalt=-1.0;
            mueve();
        }
        lcd.setCursor(8,0); //Colocación del cursor según valor
        lcd.print(" ");
        lcd.setCursor(9,0);
        if (altura>=10.0){
            lcd.setCursor(8,0);
        }
        lcd.print(altura); //Actualización del valor
        delay(200); //Antirrebote del pulsador y espera a liberación
        while (digitalRead(Barr)==LOW);
    }
    if (digitalRead(Baba)==LOW){
        digitalWrite (MAD,LOW);          //Dirección bajar
        digitalWrite (MBD,LOW);
        if (altura<=64){
            difalt=1.0;

```

```

    mueve ();
}
lcd.setCursor(8,0); //Colocación del cursor según valor
lcd.print(" ");
lcd.setCursor(9,0);
if (altura>=10.0){
    lcd.setCursor(8,0);
}
lcd.print(altura); //Actualización del valor
delay(200); //Antirrebote del pulsador y espera a liberación
while (digitalRead(Baba)==LOW);
}
}
//Función encargada de calcular el número de pasos del motor y realizarlos
void mueve () {
    veloc=500; //Velocidad media estimada

    //Conversión de altura actual y diferencia buscada a longitud actual y
    diferencia en longitud
    altura=altura+difalt;
    difalt=abs(difalt);

    //Conversión de diferencia en longitud a número de pasos
    npasos=(difalt*200.0)/0.8; //factor de conversión 200 pasos por vuelta /
    0,8mm por vuelta

    //Movimiento del motor el número de pasos necesario
    for (i=0;i<npasos;i++){
        digitalWrite(MAS,HIGH);
        digitalWrite(MBS,HIGH);
        delayMicroseconds(puls);
        digitalWrite(MAS,LOW);
        digitalWrite(MBS,LOW);
        delayMicroseconds(puls);
        delayMicroseconds(veloc);
    }
}
}

```

### 3.2 Código fuente del programa principal

```

#include <Wire.h> //Librería I2C
#include <LiquidCrystal_I2C.h> //Librería LCD 16x2

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); //Inicializado del LCD
// Definición de variables
int puls=250; //tiempo en microsegundos de pulso por paso típico
int veloc=0; //tiempo en microsegundos para regular velocidad
//0=Vmax=8mm/s longitud; 500=V=4mm/s; 3500=V=1mm/s
int npasos=0; //número de pasos a dar
int unidad=0; //unidad seleccionada, 0-mm 1-dmm 2-cmm
int i=0; //contador genérico
float altura=00.00; //altura de la plataforma
float difalt=0.0; //diferencia de altura actual y altura solicitada
float longitud=0.0; //longitud de las barras lineales
float longitud2=0.0; //longitud de las barras lineales deseada

```

```
float diflong=0.0; //diferencia de la longitud actual y la longitud
solicitada

// Definición de entradas y salidas
int FC=12; //Entrada final de carrera
int Bizq=11; //Entrada botón izquierda
int Barr=10; //Entrada botón arriba
int Baba=9; //Entrada botón abajo
int MAS=2; //Step motor A
int MBS=3; //Step motor B
int MAD=5; //Dirección motor A
int MBD=6; //Dirección motor B
int ENA=8; //Habilitar motores

void setup() {
  // Inicialización de entradas y salidas
  pinMode(FC, INPUT_PULLUP);
  pinMode(Bizq, INPUT_PULLUP);
  pinMode(Barr, INPUT_PULLUP);
  pinMode(Baba, INPUT_PULLUP);
  pinMode(MAS, OUTPUT);
  digitalWrite(MAS, LOW);
  pinMode(MBS, OUTPUT);
  digitalWrite(MBS, LOW);
  pinMode(MAD, OUTPUT);
  digitalWrite(MAD, HIGH);
  pinMode(MBD, OUTPUT);
  digitalWrite(MBD, HIGH);
  pinMode(ENA, OUTPUT);
  digitalWrite(ENA, LOW);

  //Inicialización LCD
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Pulse boton izq");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("para nivelacion");

  //Bucle de espera a nivelado
  while (digitalRead(Bizq)==HIGH){
    delay(100);
  }
  //Mensaje de nivelación
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(4,0);
  lcd.print("Nivelando");
  lcd.setCursor(2,1);
  lcd.print("espere . . .");

  //Subida de plataforma hasta FC a 4mm/s longitudinal
  veloc=500;
  while (digitalRead(FC)!=LOW){
    digitalWrite(MAS, HIGH);
    digitalWrite(MBS, HIGH);
  }
}
```

```

    delayMicroseconds (puls);
    digitalWrite (MAS, LOW);
    digitalWrite (MBS, LOW);
    delayMicroseconds (puls);
    delayMicroseconds (veloc);
}
delay (100);
//Bajada 10mm
digitalWrite (MAD, LOW);
digitalWrite (MBD, LOW);
for (i=0;i<2000;i++){
    digitalWrite (MAS, HIGH);
    digitalWrite (MBS, HIGH);
    delayMicroseconds (puls);
    digitalWrite (MAS, LOW);
    digitalWrite (MBS, LOW);
    delayMicroseconds (puls);
    delayMicroseconds (veloc);
}
delay (100);
//Subida de plataforma hasta FC a 1mm/s longitudinal
veloc=1500;
digitalWrite (MAD, HIGH);
digitalWrite (MBD, HIGH);
while (digitalRead (FC) !=LOW) {
    digitalWrite (MAS, HIGH);
    digitalWrite (MBS, HIGH);
    delayMicroseconds (puls);
    digitalWrite (MAS, LOW);
    digitalWrite (MBS, LOW);
    delayMicroseconds (puls);
    delayMicroseconds (veloc);
}
//Pantalla inicial
lcd.clear ();
lcd.setCursor (0, 0);
lcd.print ("Altura: ");
lcd.setCursor (9, 0);
lcd.print (altura);
lcd.setCursor (13, 0);
lcd.print (" mm");
lcd.setCursor (8, 1);
lcd.print ("^      ");
}

void loop() {
    //Subida unitaria de la unidad seleccionada en función de trayectoria del
    mecanismo
    if (digitalRead (Barr) ==LOW) {
        digitalWrite (MAD, HIGH);          //Dirección subir
        digitalWrite (MBD, HIGH);
        if ((unidad==0) & (altura>=10.0)) {
            difalt=-10.0;
            mueve ();
        }
    }
}

```

```

if ((unidad==1)&(altura>=1.0)){
  difalt=-1.0;
  mueve();
}
if ((unidad==2)&(altura>=0.1)){
  difalt=-0.1;
  mueve();
}
if ((unidad==3)&(altura>=0.01)){
  difalt=-0.01;
  mueve();
}
lcd.setCursor(8,0); //Colocación del cursor según valor
lcd.print(" ");
lcd.setCursor(9,0);
if (altura>=10.0){
  lcd.setCursor(8,0);
}
lcd.print(altura); //Actualización del valor
delay(200); //Antirrebote del pulsador y espera a liberación
while (digitalRead(Barr)==LOW);
}

if (digitalRead(Baba)==LOW){
  digitalWrite(MAD,LOW); //Dirección bajar
  digitalWrite(MBD,LOW);
  if ((unidad==0)&(altura<=89.99)){
    difalt=10.0;
    mueve();
  }
  if ((unidad==1)&(altura<=98.99)){
    difalt=1.0;
    mueve();
  }
  if ((unidad==2)&(altura<=99.89)){
    difalt=0.1;
    mueve();
  }
  if ((unidad==3)&(altura<=99.98)){
    difalt=0.01;
    mueve();
  }
}
lcd.setCursor(8,0); //Colocación del cursor según valor
lcd.print(" ");
lcd.setCursor(9,0);
if (altura>=10.0){
  lcd.setCursor(8,0);
}
lcd.print(altura); //Actualización del valor
delay(200); //Antirrebote del pulsador y espera a liberación
while (digitalRead(Baba)==LOW);
}

//Cambio de unidad a variar al pulsar el botón izquierdo
if ((digitalRead(Bizq))==LOW){

```

```

unidad++;          //Rotación de identificador
if (unidad==4){
  unidad=0;
}
//Muestra gráfica de la unidad seleccionada
if (unidad==0){
  lcd.setCursor(8,1);
  lcd.print("^   ");
}
if (unidad==1){
  lcd.setCursor(8,1);
  lcd.print(" ^   ");
}
if (unidad==2){
  lcd.setCursor(8,1);
  lcd.print("  ^ ");
}
if (unidad==3){
  lcd.setCursor(8,1);
  lcd.print("   ^");
}
delay(200); //Antirrebote del pulsador y espera a liberación
while (digitalRead(Bizq)==LOW);
}

}

//Función encargada de calcular el número de pasos del motor y realizarlos
void mueve() {
  veloc=500; //Velocidad media estimada

  //Conversión de altura actual y diferencia buscada a longitud actual y
  diferencia en longitud
  longitud=-0.0019*pow(altura,2.0)+0.6041*altura+0.1293;
  altura=altura+difalt;
  longitud2=-0.0019*pow(altura,2.0)+0.6041*altura+0.1293;
  diflong=longitud-longitud2;
  diflong=abs(diflong);

  //Conversión de diferencia en longitud a número de pasos
  npasos=(diflong*200.0)/0.8; //factor de conversión 200 pasos por vuelta /
  0,8mm por vuelta

  //Movimiento del motor el número de pasos necesario
  for (i=0;i<npasos;i++){
    digitalWrite(MAS,HIGH);
    digitalWrite(MBS,HIGH);
    delayMicroseconds(puls);
    digitalWrite(MAS,LOW);
    digitalWrite(MBS,LOW);
    delayMicroseconds(puls);
    delayMicroseconds(veloc);
  }
}

```

## 4 Anexos de aplicación

En este apartado se presentarán los manuales de aplicación para el sistema diseñado los cuales abarcan temas de seguridad, mantenimiento, instalación y uso del dispositivo desarrollado.

### 4.1 Manual de seguridad y mantenimiento

A continuación, se recogen las advertencias en cuestiones de seguridad y mantenimiento del dispositivo. Estos consejos y operaciones son fruto del funcionamiento establecido en el diseño y pueden no ser definitivas a expensas de un estudio posterior a la instalación del mismo.

En cuestiones de seguridad se deberán seguir las siguientes recomendaciones para evitar daños a personas o al propio dispositivo:

- No se debe manipular el dispositivo o su carga durante el movimiento del mismo.
- No se debe exceder la carga de diseño del dispositivo.
- No se debe modificar de ninguna forma el dispositivo sin previa consulta a personal cualificado.
- No se debe interponer ningún obstáculo dentro de la trayectoria del dispositivo.
- No se debe arrastrar el material por la superficie de trabajo.
- En caso de malfuncionamiento debe contactarse con personal cualificado.

En cuestiones de mantenimiento se deberán seguir las siguientes recomendaciones para mantener un correcto funcionamiento y alargar la vida útil de los componentes del dispositivo:

- Se deben mantener engrasados los engranajes del mecanismo.
- Se debe mantener la limpieza tanto en el área de trabajo como en los mecanismos.
- Se debe revisar periódicamente el dispositivo en busca de desperfectos o deterioros.
- Se debe revisar periódicamente el estado de las juntas y piezas en busca de desgastes.
- Se debe asegurar una alimentación de 12Vdc con una corriente de 6A.

### 4.2 Manual del usuario

En el siguiente texto se presenta un manual para el usuario final, con el fin de asegurar un correcto funcionamiento y uso del dispositivo.

Para calibrar la función de movimiento del dispositivo se deben seguir los siguientes pasos:

1. Desconectar toda fuente de alimentación externa.
2. Conectar la centralita a un ordenador mediante el cable USB B.
3. Cargar el programa de calibrado en el IDE de Arduino.
4. Desconectar el cable USB y conectar una fuente de alimentación de 12Vdc y 6A.
5. Pulsar el botón izquierdo para realizar la puesta a cero de la plataforma.
6. Medir la altura entre la base de la máquina CNC láser y la superficie de trabajo.
7. Pulsar el botón abajo para que la longitud del apoyo móvil avance 1mm.
8. Medir la altura entre la base de la máquina CNC láser y la superficie de trabajo.



9. Repetir los pasos anteriores y apuntar en la tabla de Excel adjunta los valores de altura para cada valor de longitud, al finalizar la tabla se obtendrá una función.
10. Modificar la función del programa principal para que sea la obtenida en Excel.
11. Repetir los pasos 1-4 con el programa principal modificado.
12. Probar el funcionamiento y comprobar que los valores de altura relativa que aparecen en la centralita coinciden con los medidos.

Para poner en funcionamiento el dispositivo se deben seguir los siguientes pasos:

1. Conectar una fuente de alimentación de 12Vdc 6A a la entrada de alimentación de la centralita.
2. Pulsar el botón izquierdo para realizar la puesta a cero de la plataforma.
3. Pulsar el botón izquierdo para seleccionar la unidad a modificar (10, 1, 0.1 o 0.01mm).
4. Pulsar el botón abajo o arriba para mover la plataforma hasta la medida deseada.

## 5 Documentación de referencia

En este punto se pone a disposición la documentación de referencia en cuestiones de selección de catálogos, hojas de características y demás información comercial relevante en el desarrollo del proyecto para la comprensión de la solución obtenida.

## 1.8° 42mm Hybrid Stepper Motor-NEMA17



### General Specification:

Item	Specifications
Step Angle	1.8°
Temperature Rise	80°Cmax
Ambient Temperature	-20°C~+50°C
Insulation Resistance	100 MΩ Min. ,500VDC
Dielectric Strength	500VAC for 1minute
Shaft Radial Play	0.02Max. (450g-load)
Shaft Axial Play	0.08Max. (450g-load)
Max. radial force	28N (20mm from the flange)
Max. axial force	10N

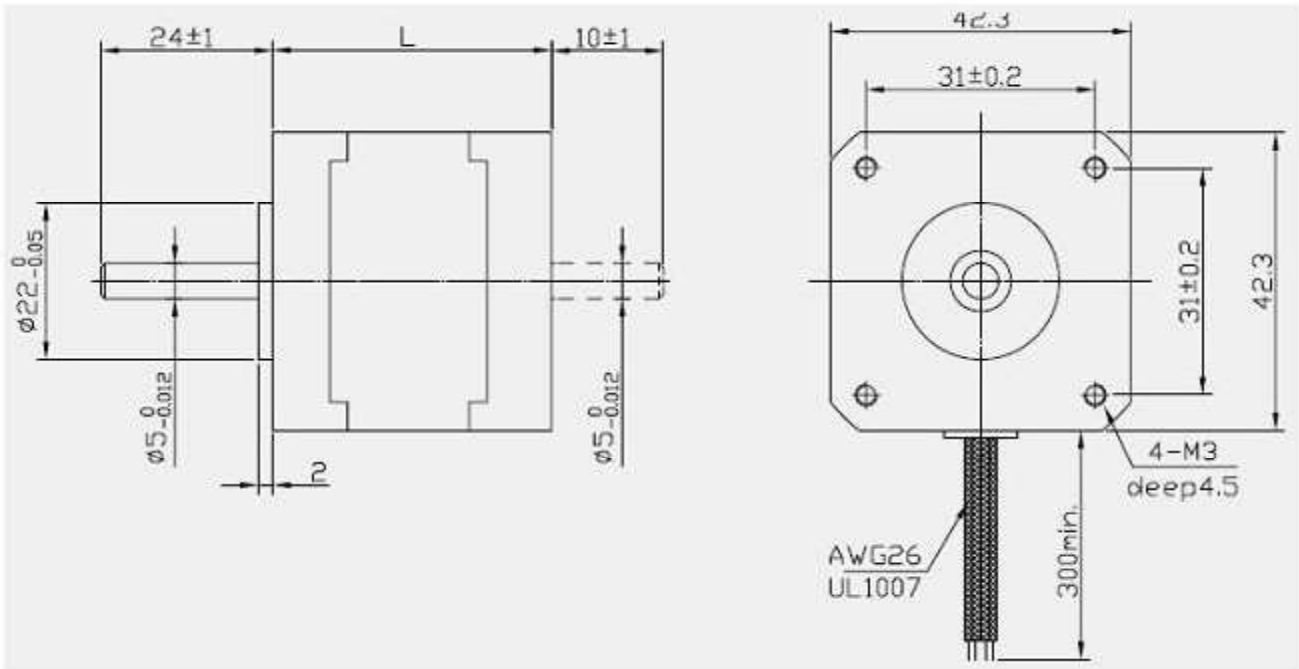
### Electrical Specifications:

Model No.	Step Angle	Motor Length	Current /Phase	Resistance /Phase	Inductance /Phase	Holding Torque	# of Leads	Detent Torque	Rotor Inertia	Mass
	( ° )	(L)mm	A	Ω	mH	kg.cm	No.	g.cm	g.cm	Kg
JK42HS34-0956	1.8	34	0.95	4.2	2.5	1.6	6	120	34	0.22
JK42HS34-0406	1.8	34	0.4	24	15	1.6	6	120	34	0.22
JK42HS34-0316	1.8	34	0.31	38.5	21	1.6	6	120	34	0.22
JK42HS34-1334	1.8	34	1.33	2.1	2.5	2.6	4	120	34	0.22
JK42HS34-0404	1.8	34	0.4	30	35	2.6	4	120	34	0.22
JK42HS40-0404	1.8	34	0.4	30	60	4.0	4	150	54	0.28
JK42HS40-1206	1.8	40	1.2	3.3	3.2	2.8	6	150	54	0.28
JK42HS40-0806	1.8	40	0.8	7.5	6.7	2.6	6	150	54	0.28
JK42HS40-1704	1.8	40	1.7	1.65	3.2	4.0	4	150	54	0.28
JK42HS40-0406	1.8	40	0.4	30	30	2.6	6	150	54	0.28

JK42HS40-1684	1.8	40	1.68	1.65	3.2	4.0	4	150	54	0.28
JK42HS48-1206	1.8	48	1.2	3.3	2.8	3.17	6	260	68	0.35
JK42HS48-0806	1.8	48	0.8	7.5	6.3	3.17	6	260	68	0.35
JK42HS48-0406	1.8	48	0.4	30	25	3.17	6	260	68	0.35
JK42HS48-1684	1.8	48	1.68	1.65	2.8	4.4	4	260	68	0.35
JK42HS60-1206	1.8	60	1.2	6	7	6.5	6	280	102	0.5

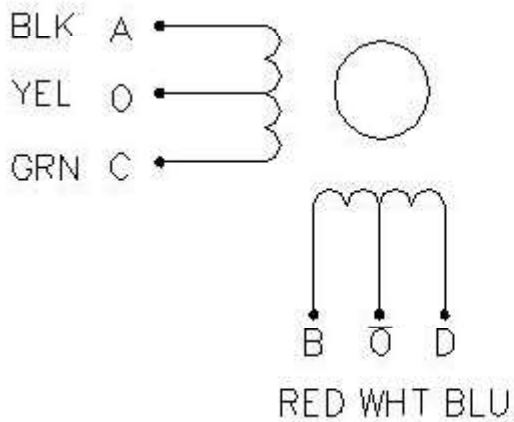
\*We can produce it according your requests

**Dimensions:(Unit=mm)**

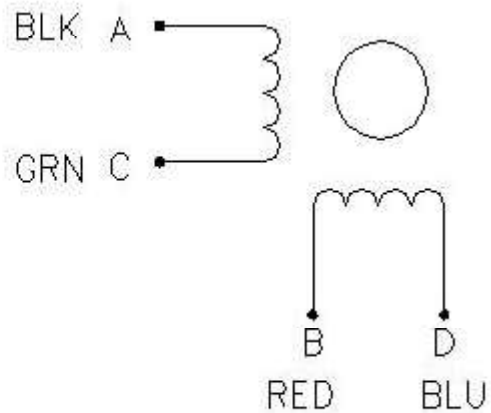


**Wiring Diagram:(接线图)**

6 LEADS



4 LEADS



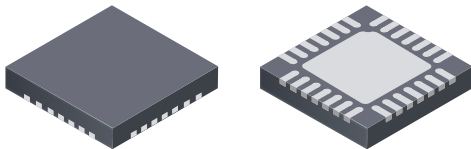
## DMOS Microstepping Driver with Translator And Overcurrent Protection

### Features and Benefits

- Low  $R_{DS(ON)}$  outputs
- Automatic current decay mode detection/selection
- Mixed and Slow current decay modes
- Synchronous rectification for low power dissipation
- Internal UVLO
- Crossover-current protection
- 3.3 and 5 V compatible logic supply
- Thermal shutdown circuitry
- Short-to-ground protection
- Shorted load protection
- Five selectable step modes: full,  $1/2$ ,  $1/4$ ,  $1/8$ , and  $1/16$

### Package:

28-contact QFN  
with exposed thermal pad  
5 mm × 5 mm × 0.90 mm  
(ET package)



Approximate size

### Description

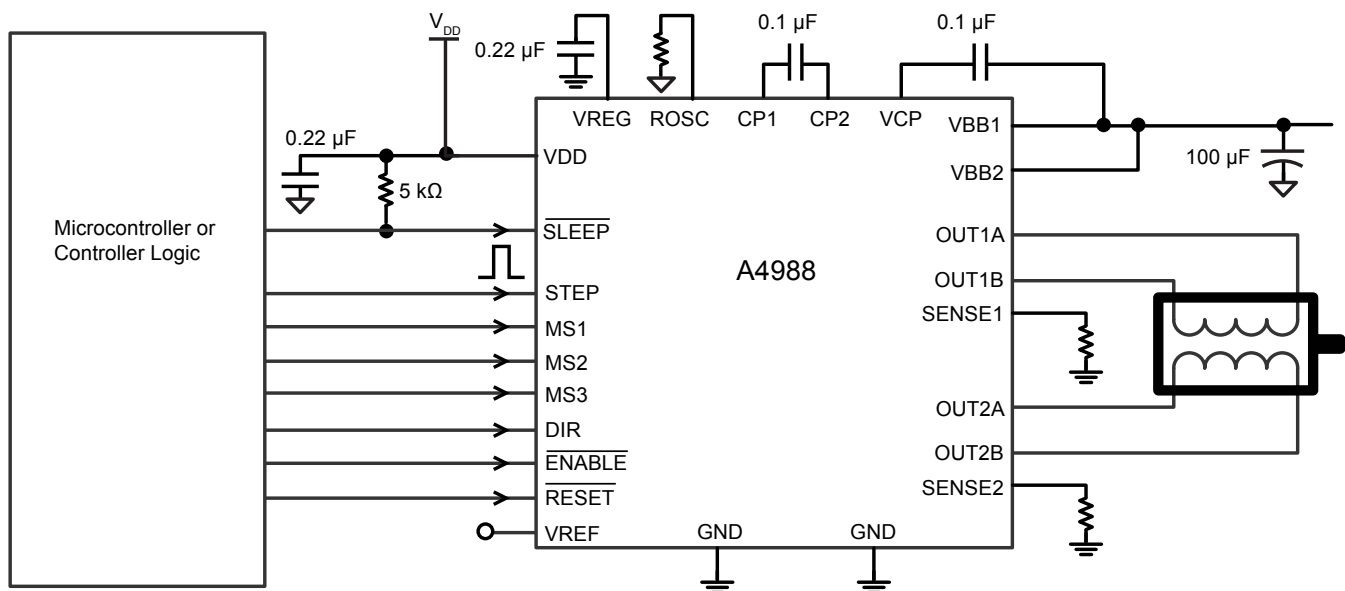
The A4988 is a complete microstepping motor driver with built-in translator for easy operation. It is designed to operate bipolar stepper motors in full-, half-, quarter-, eighth-, and sixteenth-step modes, with an output drive capacity of up to 35 V and  $\pm 2$  A. The A4988 includes a fixed off-time current regulator which has the ability to operate in Slow or Mixed decay modes.

The translator is the key to the easy implementation of the A4988. Simply inputting one pulse on the STEP input drives the motor one microstep. There are no phase sequence tables, high frequency control lines, or complex interfaces to program. The A4988 interface is an ideal fit for applications where a complex microprocessor is unavailable or is overburdened.

During stepping operation, the chopping control in the A4988 automatically selects the current decay mode, Slow or Mixed. In Mixed decay mode, the device is set initially to a fast decay for a proportion of the fixed off-time, then to a slow decay for the remainder of the off-time. Mixed decay current control results in reduced audible motor noise, increased step accuracy, and reduced power dissipation.

*Continued on the next page...*

### Typical Application Diagram



## Description (continued)

Internal synchronous rectification control circuitry is provided to improve power dissipation during PWM operation. Internal circuit protection includes: thermal shutdown with hysteresis, undervoltage lockout (UVLO), and crossover-current protection. Special power-on sequencing is not required.

The A4988 is supplied in a surface mount QFN package (ES), 5 mm × 5 mm, with a nominal overall package height of 0.90 mm and an exposed pad for enhanced thermal dissipation. It is lead (Pb) free (suffix -T), with 100% matte tin plated leadframes.

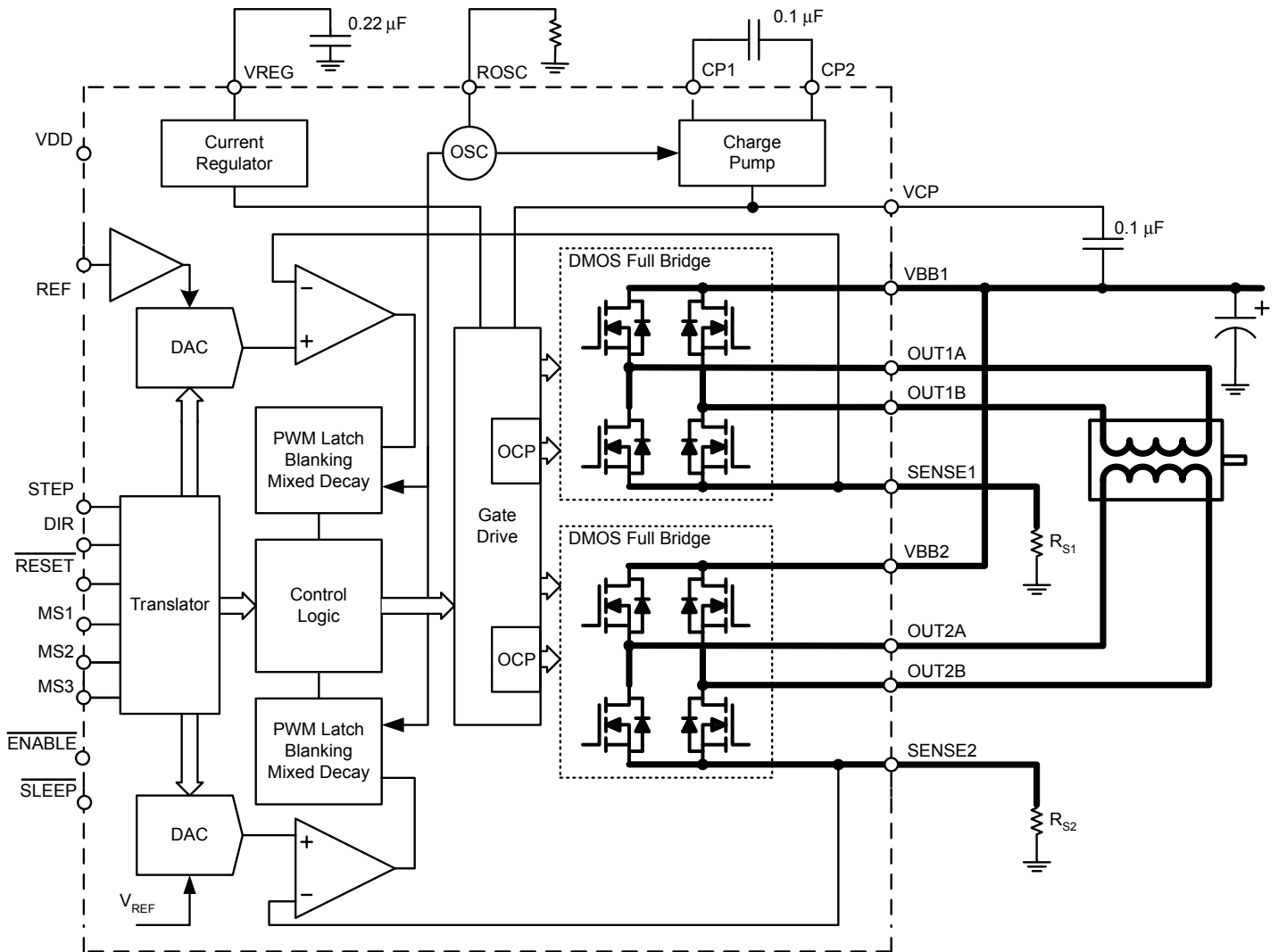
## Selection Guide

Part Number	Package	Packing
A4988SETTR-T	28-contact QFN with exposed thermal pad	1500 pieces per 7-in. reel

## Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Load Supply Voltage	$V_{BB}$		35	V
Output Current	$I_{OUT}$		±2	A
Logic Input Voltage	$V_{IN}$		-0.3 to 5.5	V
Logic Supply Voltage	$V_{DD}$		-0.3 to 5.5	V
Motor Outputs Voltage			-2.0 to 37	V
Sense Voltage	$V_{SENSE}$		-0.5 to 0.5	V
Reference Voltage	$V_{REF}$		5.5	V
Operating Ambient Temperature	$T_A$	Range S	-20 to 85	°C
Maximum Junction	$T_J(max)$		150	°C
Storage Temperature	$T_{stg}$		-55 to 150	°C

Functional Block Diagram



**ELECTRICAL CHARACTERISTICS<sup>1</sup>** at  $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_{BB} = 35\text{ V}$  (unless otherwise noted)

Characteristics	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ. <sup>2</sup>	Max.	Units
<b>Output Drivers</b>						
Load Supply Voltage Range	$V_{BB}$	Operating	8	–	35	V
Logic Supply Voltage Range	$V_{DD}$	Operating	3.0	–	5.5	V
Output On Resistance	$R_{DSON}$	Source Driver, $I_{OUT} = -1.5\text{ A}$	–	320	430	m $\Omega$
		Sink Driver, $I_{OUT} = 1.5\text{ A}$	–	320	430	m $\Omega$
Body Diode Forward Voltage	$V_F$	Source Diode, $I_F = -1.5\text{ A}$	–	–	1.2	V
		Sink Diode, $I_F = 1.5\text{ A}$	–	–	1.2	V
Motor Supply Current	$I_{BB}$	$f_{PWM} < 50\text{ kHz}$	–	–	4	mA
		Operating, outputs disabled	–	–	2	mA
Logic Supply Current	$I_{DD}$	$f_{PWM} < 50\text{ kHz}$	–	–	8	mA
		Outputs off	–	–	5	mA
<b>Control Logic</b>						
Logic Input Voltage	$V_{IN(1)}$		$V_{DD} \times 0.7$	–	–	V
	$V_{IN(0)}$		–	–	$V_{DD} \times 0.3$	V
Logic Input Current	$I_{IN(1)}$	$V_{IN} = V_{DD} \times 0.7$	–20	<1.0	20	$\mu\text{A}$
	$I_{IN(0)}$	$V_{IN} = V_{DD} \times 0.3$	–20	<1.0	20	$\mu\text{A}$
Microstep Select	$R_{MS1}$	MS1 pin	–	100	–	k $\Omega$
	$R_{MS2}$	MS2 pin	–	50	–	k $\Omega$
	$R_{MS3}$	MS3 pin	–	100	–	k $\Omega$
Logic Input Hysteresis	$V_{HYS(IN)}$	As a % of $V_{DD}$	5	11	19	%
Blank Time	$t_{BLANK}$		0.7	1	1.3	$\mu\text{s}$
Fixed Off-Time	$t_{OFF}$	OSC = VDD or GND	20	30	40	$\mu\text{s}$
		$R_{OSC} = 25\text{ k}\Omega$	23	30	37	$\mu\text{s}$
Reference Input Voltage Range	$V_{REF}$		0	–	4	V
Reference Input Current	$I_{REF}$		–3	0	3	$\mu\text{A}$
Current Trip-Level Error <sup>3</sup>	err <sub>i</sub>	$V_{REF} = 2\text{ V}$ , % $I_{TripMAX} = 38.27\%$	–	–	$\pm 15$	%
		$V_{REF} = 2\text{ V}$ , % $I_{TripMAX} = 70.71\%$	–	–	$\pm 5$	%
		$V_{REF} = 2\text{ V}$ , % $I_{TripMAX} = 100.00\%$	–	–	$\pm 5$	%
Crossover Dead Time	$t_{DT}$		100	475	800	ns
<b>Protection</b>						
Overcurrent Protection Threshold <sup>4</sup>	$I_{OCPST}$		2.1	–	–	A
Thermal Shutdown Temperature	$T_{TSD}$		–	165	–	$^\circ\text{C}$
Thermal Shutdown Hysteresis	$T_{TSDHYS}$		–	15	–	$^\circ\text{C}$
VDD Undervoltage Lockout	$V_{DDUVLO}$	$V_{DD}$ rising	2.7	2.8	2.9	V
VDD Undervoltage Hysteresis	$V_{DDUVLOHYS}$		–	90	–	mV

<sup>1</sup>For input and output current specifications, negative current is defined as coming out of (sourcing) the specified device pin.

<sup>2</sup>Typical data are for initial design estimations only, and assume optimum manufacturing and application conditions. Performance may vary for individual units, within the specified maximum and minimum limits.

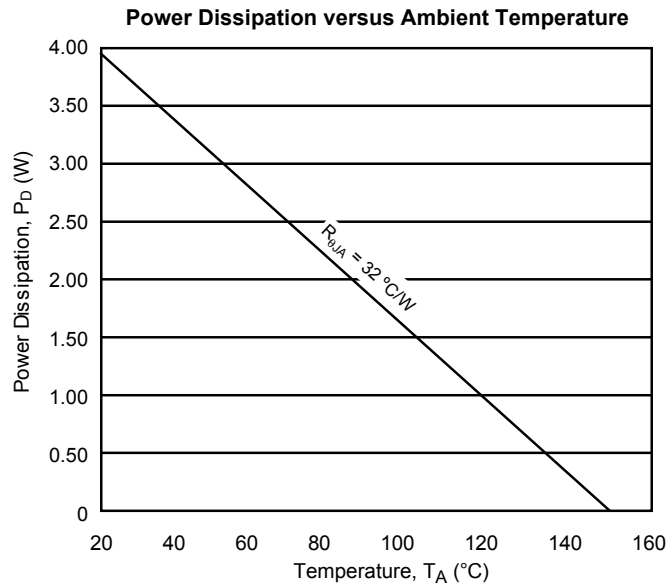
<sup>3</sup> $V_{ERR} = [(V_{REF}/8) - V_{SENSE}] / (V_{REF}/8)$ .

<sup>4</sup>Overcurrent protection (OCP) is tested at  $T_A = 25^\circ\text{C}$  in a restricted range and guaranteed by characterization.

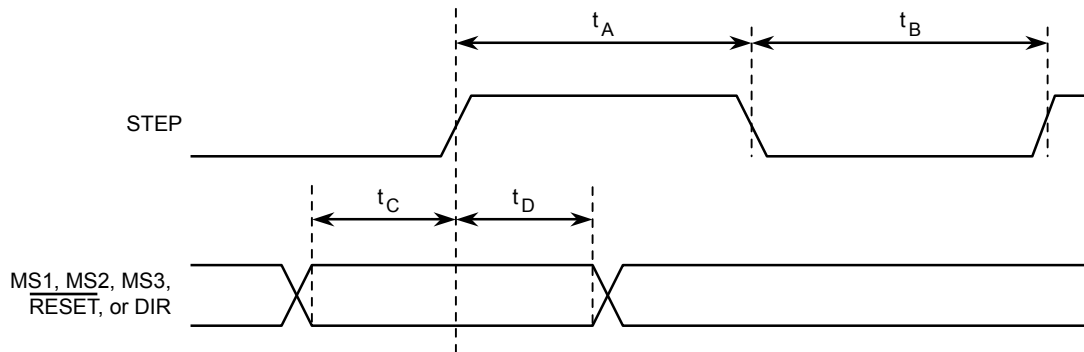
## THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Test Conditions*	Value	Units
Package Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	Four-layer PCB, based on JEDEC standard	32	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$

\*Additional thermal information available on Allegro Web site.







Time Duration	Symbol	Typ.	Unit
STEP minimum, HIGH pulse width	$t_A$	1	$\mu\text{s}$
STEP minimum, LOW pulse width	$t_B$	1	$\mu\text{s}$
Setup time, input change to STEP	$t_C$	200	ns
Hold time, input change to STEP	$t_D$	200	ns

Figure 1: Logic Interface Timing Diagram

Table 1: Microstepping Resolution Truth Table

MS1	MS2	MS3	Microstep Resolution	Excitation Mode
L	L	L	Full Step	2 Phase
H	L	L	Half Step	1-2 Phase
L	H	L	Quarter Step	W1-2 Phase
H	H	L	Eighth Step	2W1-2 Phase
H	H	H	Sixteenth Step	4W1-2 Phase

## Functional Description

**Device Operation.** The A4988 is a complete microstepping motor driver with a built-in translator for easy operation with minimal control lines. It is designed to operate bipolar stepper motors in full-, half-, quarter-, eighth, and sixteenth-step modes. The currents in each of the two output full-bridges and all of the N-channel DMOS FETs are regulated with fixed off-time PWM (pulse width modulated) control circuitry. At each step, the current for each full-bridge is set by the value of its external current-sense resistor ( $R_{S1}$  and  $R_{S2}$ ), a reference voltage ( $V_{REF}$ ), and the output voltage of its DAC (which in turn is controlled by the output of the translator).

At power-on or reset, the translator sets the DACs and the phase current polarity to the initial Home state (shown in Figures 9 through 13), and the current regulator to Mixed Decay Mode for both phases. When a step command signal occurs on the STEP input, the translator automatically sequences the DACs to the next level and current polarity. (See Table 2 for the current-level sequence.) The microstep resolution is set by the combined effect of the MSx inputs, as shown in Table 1.

When stepping, if the new output levels of the DACs are lower than their previous output levels, then the decay mode for the active full-bridge is set to Mixed. If the new output levels of the DACs are higher than or equal to their previous levels, then the decay mode for the active full-bridge is set to Slow. This automatic current decay selection improves microstepping performance by reducing the distortion of the current waveform that results from the back EMF of the motor.

**Microstep Select (MSx).** The microstep resolution is set by the voltage on logic inputs MSx, as shown in Table 1. The MS1 and MS3 pins have a 100 k $\Omega$  pull-down resistance, and the MS2 pin has a 50 k $\Omega$  pull-down resistance. When changing the step mode the change does not take effect until the next STEP rising edge.

If the step mode is changed without a translator reset, and absolute position must be maintained, it is important to change the step mode at a step position that is common to both step modes in order to avoid missing steps. When the device is powered down, or reset due to TSD or an over current event the translator is set to

the home position which is by default common to all step modes.

**Mixed Decay Operation.** The bridge operates in Mixed decay mode, at power-on and reset, and during normal running according to the ROSC configuration and the step sequence, as shown in Figures 9 through 13. During Mixed decay, when the trip point is reached, the A4988 initially goes into a fast decay mode for 31.25% of the off-time,  $t_{OFF}$ . After that, it switches to Slow decay mode for the remainder of  $t_{OFF}$ . A timing diagram for this feature appears on the next page.

Typically, mixed decay is only necessary when the current in the winding is going from a higher value to a lower value as determined by the state of the translator. For most loads automatically-selected mixed decay is convenient because it minimizes ripple when the current is rising and prevents missed steps when the current is falling. For some applications where microstepping at very low speeds is necessary, the lack of back EMF in the winding causes the current to increase in the load quickly, resulting in missed steps. This is shown in Figure 2. By pulling the ROSC pin to ground, mixed decay is set to be active 100% of the time, for both rising and falling currents, and prevents missed steps as shown in Figure 3. If this is not an issue, it is recommended that automatically-selected mixed decay be used, because it will produce reduced ripple currents. Refer to the Fixed Off-Time section for details.

**Low Current Microstepping.** Intended for applications where the minimum on-time prevents the output current from regulating to the programmed current level at low current steps. To prevent this, the device can be set to operate in Mixed decay mode on both rising and falling portions of the current waveform. This feature is implemented by shorting the ROSC pin to ground. In this state, the off-time is internally set to 30  $\mu$ s.

**Reset Input ( $\overline{RESET}$ ).** The  $\overline{RESET}$  input sets the translator to a predefined Home state (shown in Figures 9 through 13), and turns off all of the FET outputs. All STEP inputs are ignored until the  $\overline{RESET}$  input is set to high.

**Step Input (STEP).** A low-to-high transition on the STEP

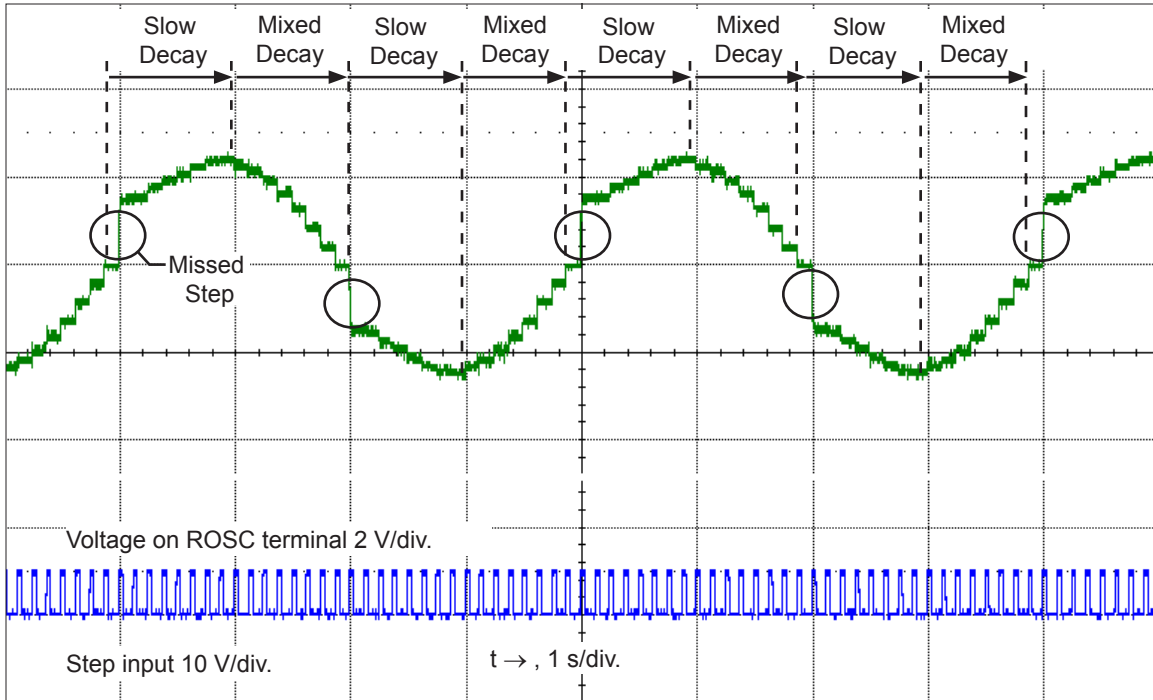


Figure 2: Missed Steps in Low-Speed Microstepping

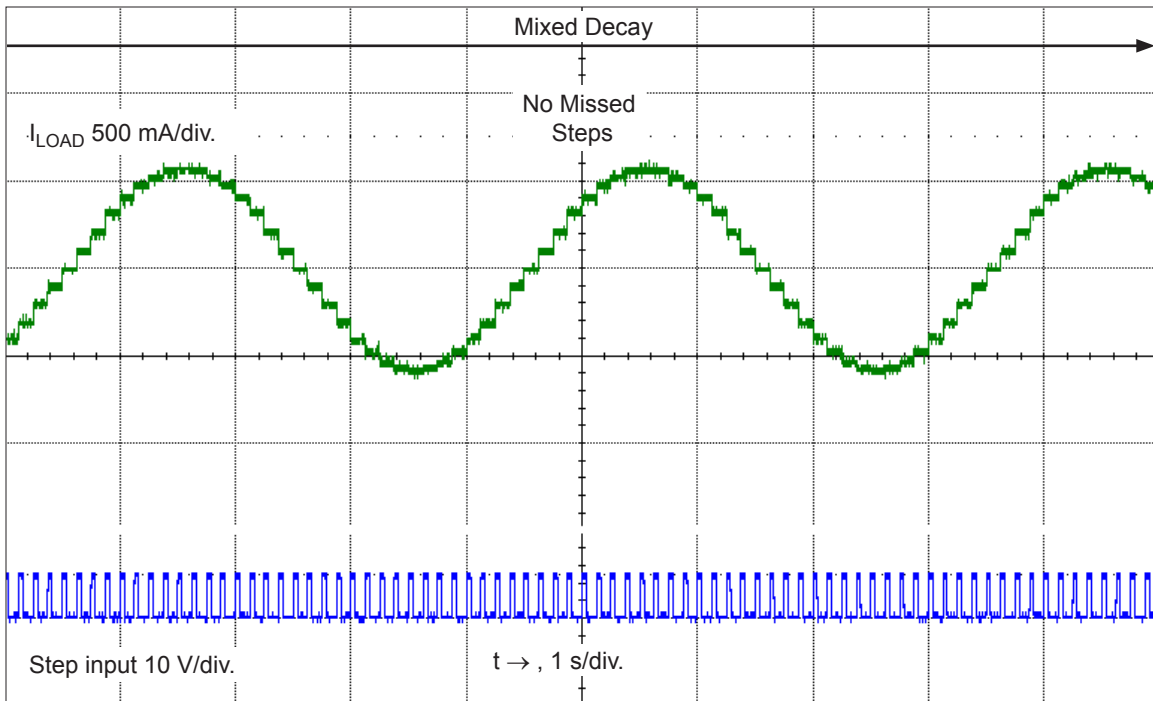


Figure 3: Continuous Stepping Using Automatically-Selected Mixed Stepping (ROSC pin grounded)

input sequences the translator and advances the motor one increment. The translator controls the input to the DACs and the direction of current flow in each winding. The size of the increment is determined by the combined state of the MSx inputs.

**Direction Input (DIR).** This determines the direction of rotation of the motor. Changes to this input do not take effect until the next STEP rising edge.

**Internal PWM Current Control.** Each full-bridge is controlled by a fixed off-time PWM current control circuit that limits the load current to a desired value,  $I_{TRIP}$ . Initially, a diagonal pair of source and sink FET outputs are enabled and current flows through the motor winding and the current sense resistor,  $R_{Sx}$ . When the voltage across  $R_{Sx}$  equals the DAC output voltage, the current sense comparator resets the PWM latch. The latch then turns off the appropriate source driver and initiates a fixed off time decay mode

The maximum value of current limiting is set by the selection of  $R_{Sx}$  and the voltage at the VREF pin. The transconductance function is approximated by the maximum value of current limiting,  $I_{TRIPMAX}$  (A), which is set by

$$I_{TRIPMAX} = V_{REF} / (8 \times R_S)$$

where  $R_S$  is the resistance of the sense resistor ( $\Omega$ ) and  $V_{REF}$  is the input voltage on the REF pin (V).

The DAC output reduces the  $V_{REF}$  output to the current sense comparator in precise steps, such that

$$I_{trip} = (\%I_{TRIPMAX} / 100) \times I_{TRIPMAX}$$

(See Table 2 for  $\%I_{TRIPMAX}$  at each step.)

It is critical that the maximum rating (0.5 V) on the SENSE1 and SENSE2 pins is not exceeded.

**Fixed Off-Time.** The internal PWM current control circuitry uses a one-shot circuit to control the duration of time that the DMOS FETs remain off. The off-time,  $t_{OFF}$ , is determined by the ROSC terminal. The ROSC terminal has three settings:

- ROSC tied to VDD — off-time internally set to 30  $\mu$ s, decay mode is automatic Mixed decay except when in full step where decay mode is set to Slow decay
- ROSC tied directly to ground — off-time internally set to 30  $\mu$ s, current decay is set to Mixed decay for both increasing and decreasing currents for all step modes.

- ROSC through a resistor to ground — off-time is determined by the following formula, the decay mode is automatic Mixed decay for all step modes except full step which is set to slow decay.

$$t_{OFF} \approx R_{OSC} / 825$$

Where  $t_{OFF}$  is in  $\mu$ s.

**Blanking.** This function blanks the output of the current sense comparators when the outputs are switched by the internal current control circuitry. The comparator outputs are blanked to prevent false overcurrent detection due to reverse recovery currents of the clamp diodes, and switching transients related to the capacitance of the load. The blank time,  $t_{BLANK}$  ( $\mu$ s), is approximately

$$t_{BLANK} \approx 1 \mu s$$

### Shorted-Load and Short-to-Ground Protection.

If the motor leads are shorted together, or if one of the leads is shorted to ground, the driver will protect itself by sensing the overcurrent event and disabling the driver that is shorted, protecting the device from damage. In the case of a short-to-ground, the device will remain disabled (latched) until the SLEEP input goes high or VDD power is removed. A short-to-ground overcurrent event is shown in Figure 4.

When the two outputs are shorted together, the current path is through the sense resistor. After the blanking time ( $\approx 1 \mu$ s) expires, the sense resistor voltage is exceeding its trip value, due to the overcurrent condition that exists. This causes the driver to go into a fixed off-time cycle. After the fixed off-time expires the driver turns on again and the process repeats. In this condition the driver is completely protected against overcurrent events, but the short is repetitive with a period equal to the fixed off-time of the driver. This condition is shown in Figure 5.

During a shorted load event it is normal to observe both a positive and negative current spike as shown in Figure 3, due to the direction change implemented by the Mixed decay feature. This is shown in Figure 6. In both instances the overcurrent circuitry is protecting the driver and prevents damage to the device.

**Charge Pump (CP1 and CP2).** The charge pump is used to generate a gate supply greater than that of VBB for driving the source-side FET gates. A 0.1  $\mu$ F ceramic capacitor, should be connected between CP1 and CP2. In addition, a 0.1  $\mu$ F ceramic capacitor is required between VCP and VBB, to act as a reservoir for operating the high-side FET gates.

Capacitor values should be Class 2 dielectric  $\pm 15\%$  maximum, or tolerance R, according to EIA (Electronic Industries Alliance) specifications.

**V<sub>REG</sub> (VREG).** This internally-generated voltage is used to operate the sink-side FET outputs. The nominal output voltage of the VREG terminal is 7 V. The VREG pin must be decoupled with a 0.22  $\mu\text{F}$  ceramic capacitor to ground. V<sub>REG</sub> is internally monitored. In the case of a fault condition, the FET outputs of the A4988 are disabled.

Capacitor values should be Class 2 dielectric  $\pm 15\%$  maximum, or tolerance R, according to EIA (Electronic Industries Alliance) specifications.

**Enable Input ( $\overline{\text{ENABLE}}$ ).** This input turns on or off all of the FET outputs. When set to a logic high, the outputs are disabled. When set to a logic low, the internal control enables the outputs as required. The translator inputs STEP, DIR, and MSx, as well as the internal sequencing logic, all remain active, independent of the  $\overline{\text{ENABLE}}$  input state.

**Shutdown.** In the event of a fault, overtemperature (excess  $T_J$ ) or an undervoltage (on VCP), the FET outputs of the A4988 are disabled until the fault condition is removed. At power-on, the UVLO (undervoltage lockout) circuit disables the FET outputs and resets the translator to the Home state.

**Sleep Mode ( $\overline{\text{SLEEP}}$ ).** To minimize power consumption when the motor is not in use, this input disables much of the internal circuitry including the output FETs, current regulator, and charge pump. A logic low on the  $\overline{\text{SLEEP}}$  pin puts the A4988 into Sleep mode. A logic high allows normal operation, as well as start-up (at which time the A4988 drives the motor to the Home microstep position). When emerging from Sleep mode, in order to allow the charge pump to stabilize, provide a delay of 1 ms before issuing a Step command.

**Mixed Decay Operation.** The bridge operates in Mixed Decay mode, depending on the step sequence, as shown in Figures 9 through 13. As the trip point is reached, the A4988 initially goes into a fast decay mode for 31.25% of the off-time,  $t_{\text{OFF}}$ . After that, it switches to Slow Decay mode for the remainder of  $t_{\text{OFF}}$ . A timing diagram for this feature appears in Figure 7.

**Synchronous Rectification.** When a PWM-off cycle is triggered by an internal fixed-off time cycle, load current recirculates according to the decay mode selected by the control logic. This synchronous rectification feature turns on the appropriate FETs during current decay, and effectively shorts out the body diodes with the low FET  $R_{\text{DS(ON)}}$ . This reduces power dissipation significantly, and can eliminate the need for external Schottky diodes in many applications. Synchronous rectification turns off when the load current approaches zero (0 A), preventing reversal of the load current.

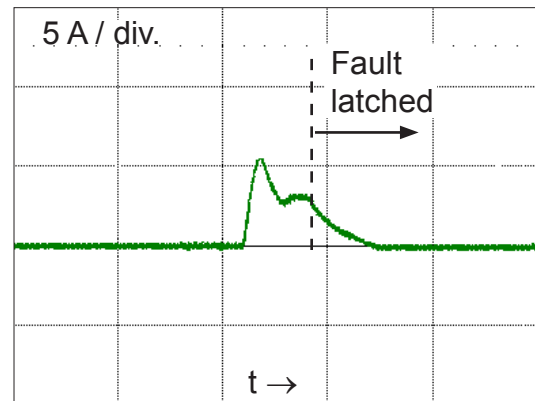


Figure 4: Short-to-Ground Event

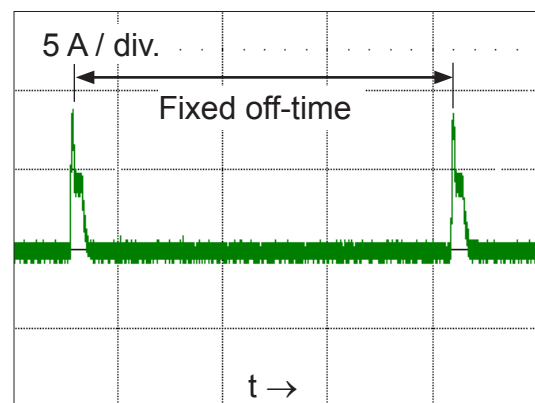


Figure 5: Shorted Load (OUTxA → OUTxB) in Slow Decay Mode

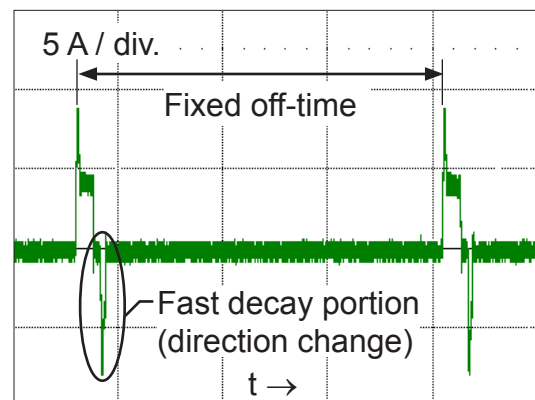
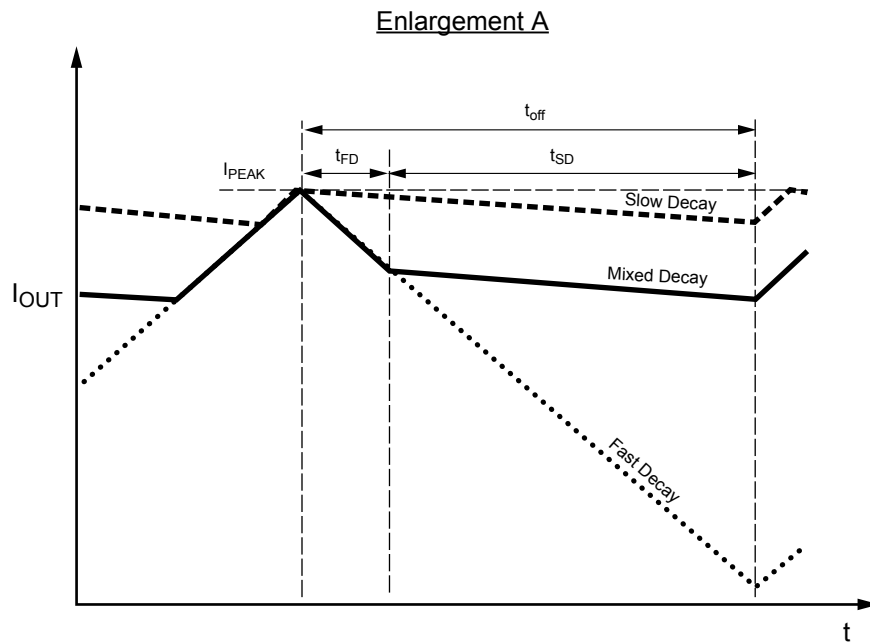
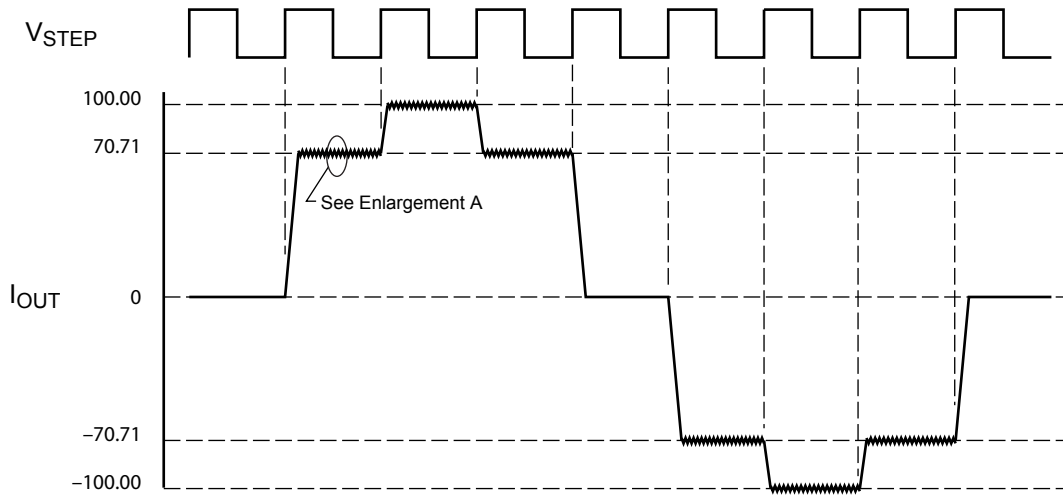


Figure 6: Shorted Load (OUTxA → OUTxB) in Mixed Decay Mode



Symbol	Characteristic
$t_{off}$	Device fixed off-time
$I_{PEAK}$	Maximum output current
$t_{SD}$	Slow decay interval
$t_{FD}$	Fast decay interval
$I_{OUT}$	Device output current

Figure 7: Current Decay Modes Timing Chart



## Application Layout

**Layout.** The printed circuit board should use a heavy ground-plane. For optimum electrical and thermal performance, the A4988 must be soldered directly onto the board. Pins 3 and 18 are internally fused, which provides a path for enhanced thermal dissipation. These pins should be soldered directly to an exposed surface on the PCB that connects to thermal vias are used to transfer heat to other layers of the PCB.

In order to minimize the effects of ground bounce and offset issues, it is important to have a low impedance single-point ground, known as a *star ground*, located very close to the device. By making the connection between the pad and the ground plane directly under the A4988, that area becomes an ideal location for a star ground point. A low impedance ground will prevent ground bounce during high current operation and ensure that the supply voltage remains stable at the input terminal.

The two input capacitors should be placed in parallel, and as close to the device supply pins as possible. The ceramic capacitor (CIN1) should be closer to the pins than the bulk capacitor (CIN2). This is necessary because the ceramic capacitor will be responsible for delivering the high frequency current components. The sense resistors, RSx, should have a very low impedance path to ground, because they must carry a large current while supporting very accurate voltage measurements by the current sense comparators. Long ground traces will cause additional voltage drops, adversely affecting the ability of the comparators to accurately measure the current in the windings. The SENSEx pins have very short traces to the RSx resistors and very thick, low impedance traces directly to the star ground underneath the device. If possible, there should be no other components on the sense circuits.

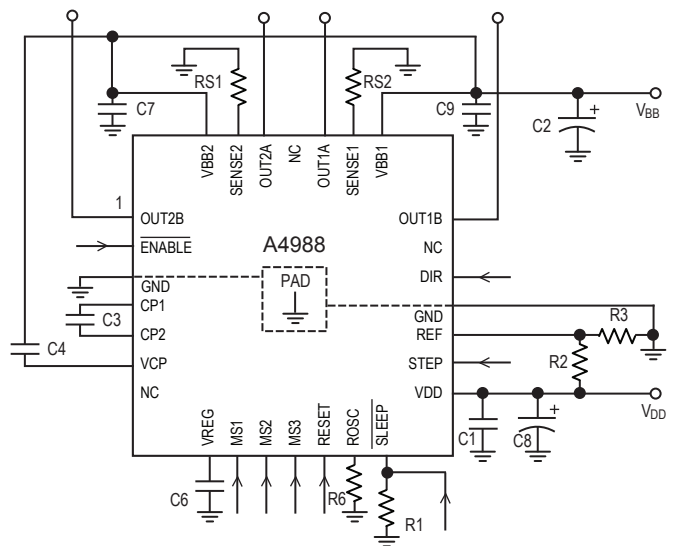
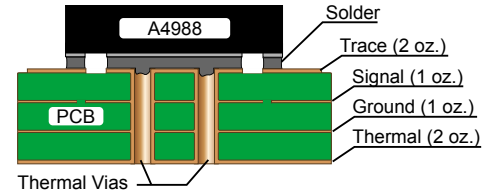
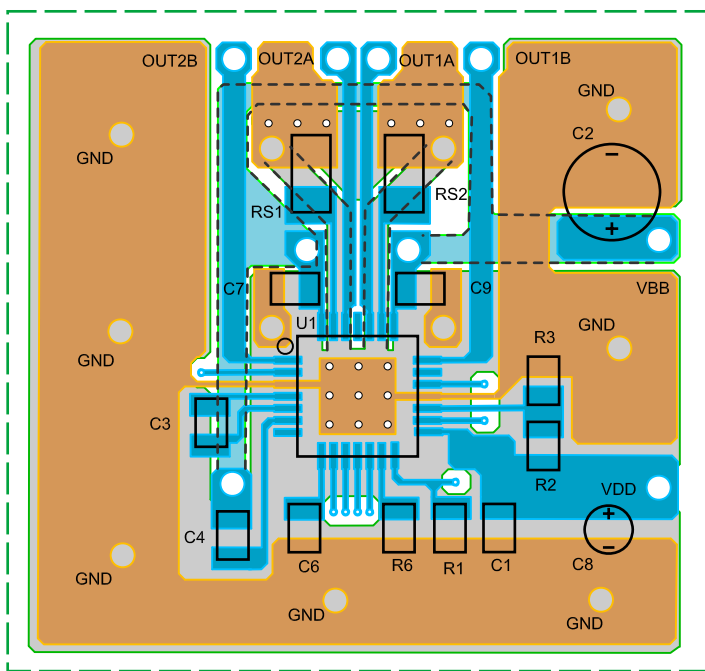
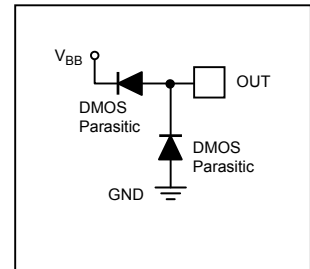
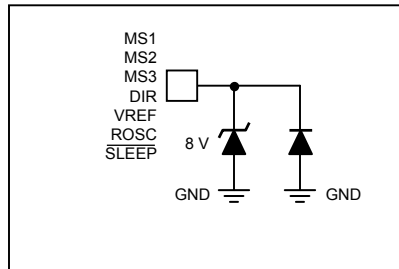
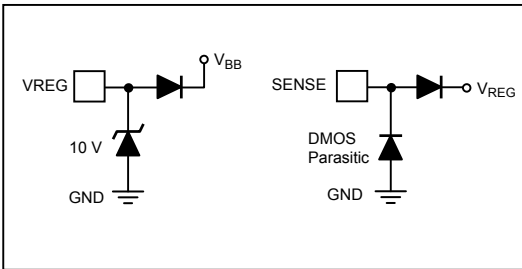
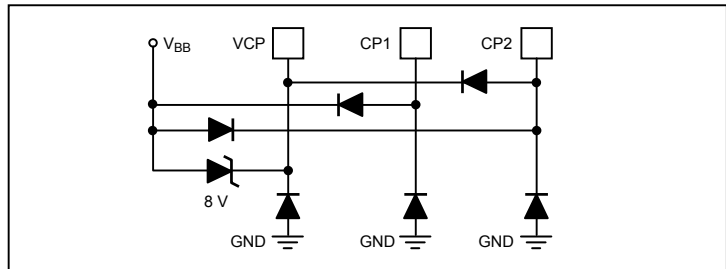
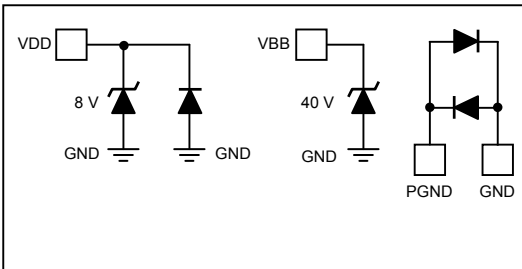
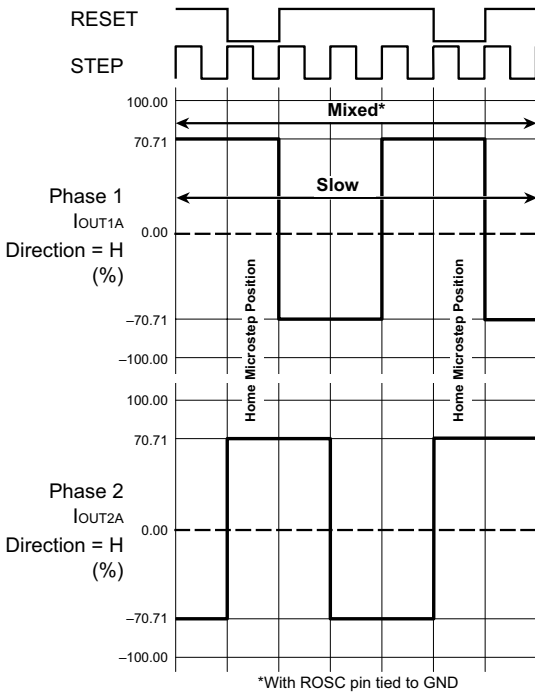


Figure 8: Typical Application and Circuit Layout

Pin Circuit Diagrams

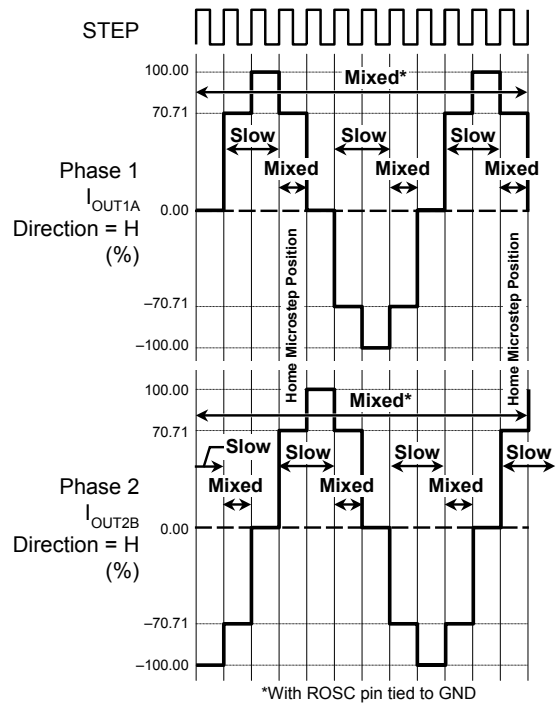






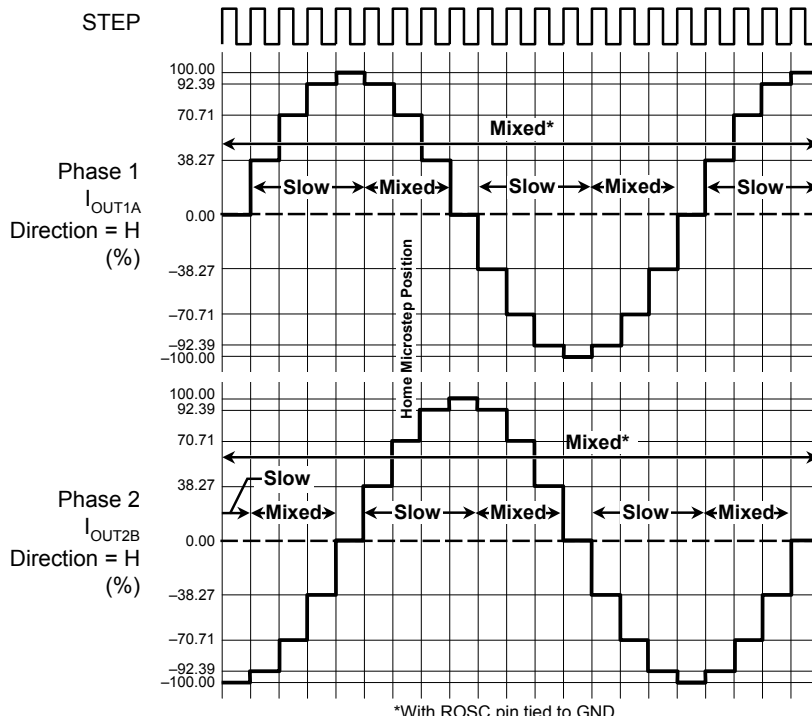
DIR= H

Figure 9: Decay Mode for Full-Step Increments



DIR= H

Figure 10: Decay Modes for Half-Step Increments



DIR= H

Figure 11: Decay Modes for Quarter-Step Increments

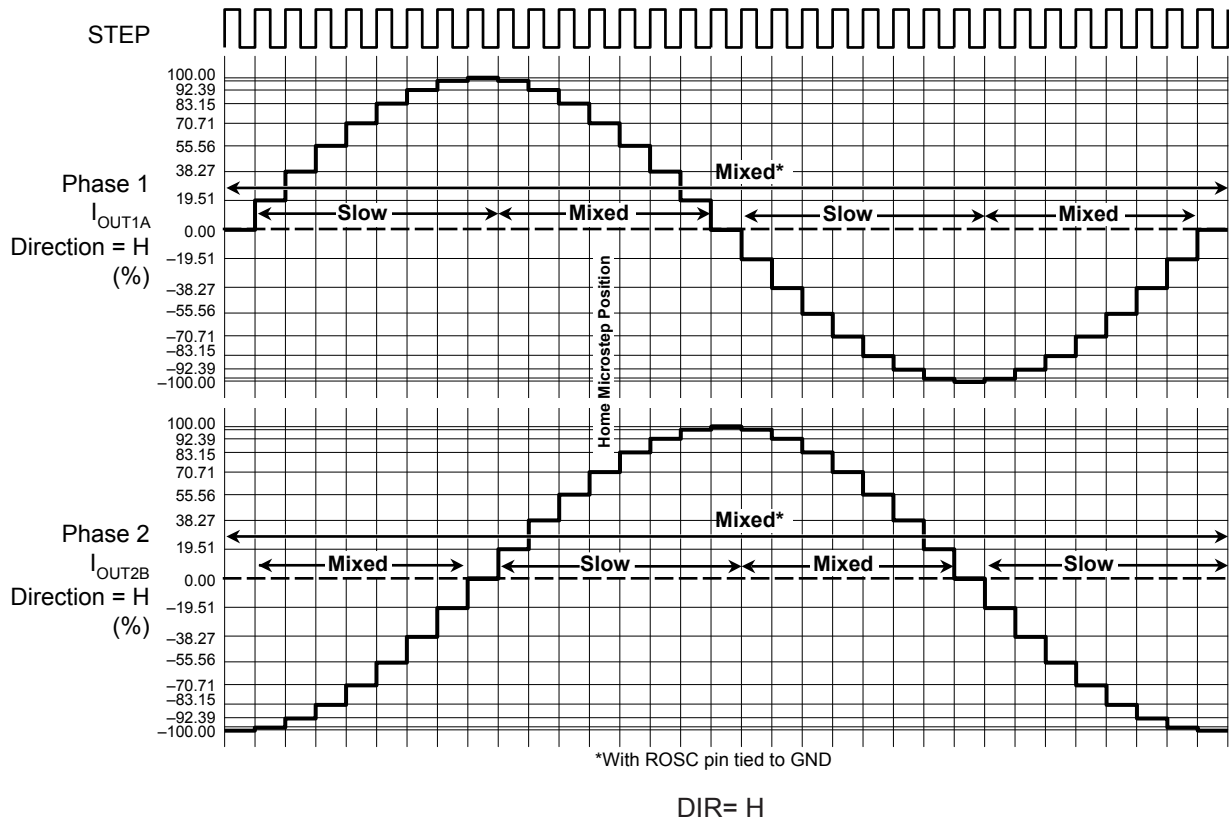


Figure 12: Decay Modes for Eighth-Step Increments

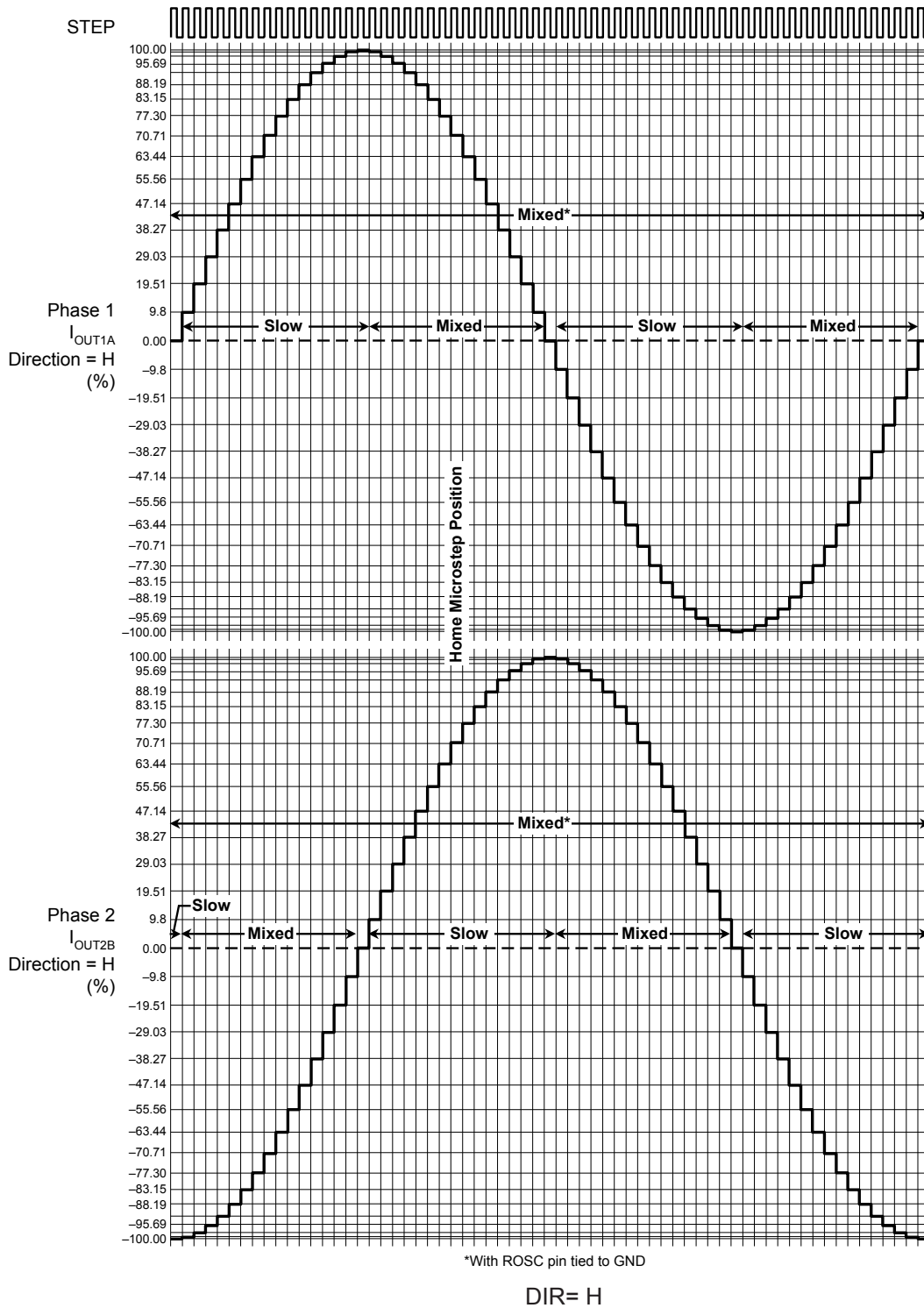
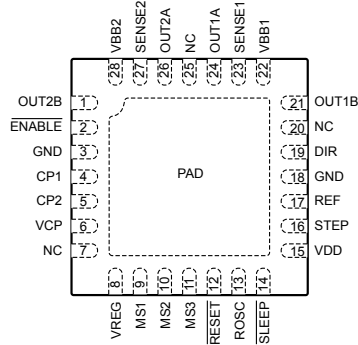


Figure 13: Decay Modes for Sixteenth-Step Increments

Table 2: Step Sequencing Settings  
Home microstep position at Step Angle 45°; DIR = H

Full Step #	Half Step #	1/4 Step #	1/8 Step #	1/16 Step #	Phase 1 Current [% I <sub>tripMax</sub> ] (%)	Phase 2 Current [% I <sub>tripMax</sub> ] (%)	Step Angle (°)	Full Step #	Half Step #	1/4 Step #	1/8 Step #	1/16 Step #	Phase 1 Current [% I <sub>tripMax</sub> ] (%)	Phase 2 Current [% I <sub>tripMax</sub> ] (%)	Step Angle (°)
	1	1	1	1	100.00	0.00	0.0		5	9	17	33	-100.00	0.00	180.0
				2	99.52	9.80	5.6					34	-99.52	-9.80	185.6
			2	3	98.08	19.51	11.3				18	35	-98.08	-19.51	191.3
				4	95.69	29.03	16.9					36	-95.69	-29.03	196.9
		2	3	5	92.39	38.27	22.5			10	19	37	-92.39	-38.27	202.5
				6	88.19	47.14	28.1					38	-88.19	-47.14	208.1
			4	7	83.15	55.56	33.8				20	39	-83.15	-55.56	213.8
				8	77.30	63.44	39.4					40	-77.30	-63.44	219.4
1	2	3	5	9	70.71	70.71	45.0	3	6	11	21	41	-70.71	-70.71	225.0
				10	63.44	77.30	50.6					42	-63.44	-77.30	230.6
			6	11	55.56	83.15	56.3				22	43	-55.56	-83.15	236.3
				12	47.14	88.19	61.9					44	-47.14	-88.19	241.9
		4	7	13	38.27	92.39	67.5			12	23	45	-38.27	-92.39	247.5
				14	29.03	95.69	73.1					46	-29.03	-95.69	253.1
			8	15	19.51	98.08	78.8				24	47	-19.51	-98.08	258.8
				16	9.80	99.52	84.4					48	-9.80	-99.52	264.4
	3	5	9	17	0.00	100.00	90.0		7	13	25	49	0.00	-100.00	270.0
				18	-9.80	99.52	95.6					50	9.80	-99.52	275.6
			10	19	-19.51	98.08	101.3				26	51	19.51	-98.08	281.3
				20	-29.03	95.69	106.9					52	29.03	-95.69	286.9
		6	11	21	-38.27	92.39	112.5			14	27	53	38.27	-92.39	292.5
				22	-47.14	88.19	118.1					54	47.14	-88.19	298.1
			12	23	-55.56	83.15	123.8				28	55	55.56	-83.15	303.8
				24	-63.44	77.30	129.4					56	63.44	-77.30	309.4
2	4	7	13	25	-70.71	70.71	135.0	4	8	15	29	57	70.71	-70.71	315.0
				26	-77.30	63.44	140.6					58	77.30	-63.44	320.6
			14	27	-83.15	55.56	146.3				30	59	83.15	-55.56	326.3
				28	-88.19	47.14	151.9					60	88.19	-47.14	331.9
		8	15	29	-92.39	38.27	157.5			16	31	61	92.39	-38.27	337.5
				30	-95.69	29.03	163.1					62	95.69	-29.03	343.1
			16	31	-98.08	19.51	168.8				32	63	98.08	-19.51	348.8
				32	-99.52	9.80	174.4					64	99.52	-9.80	354.4

Pin-out Diagram

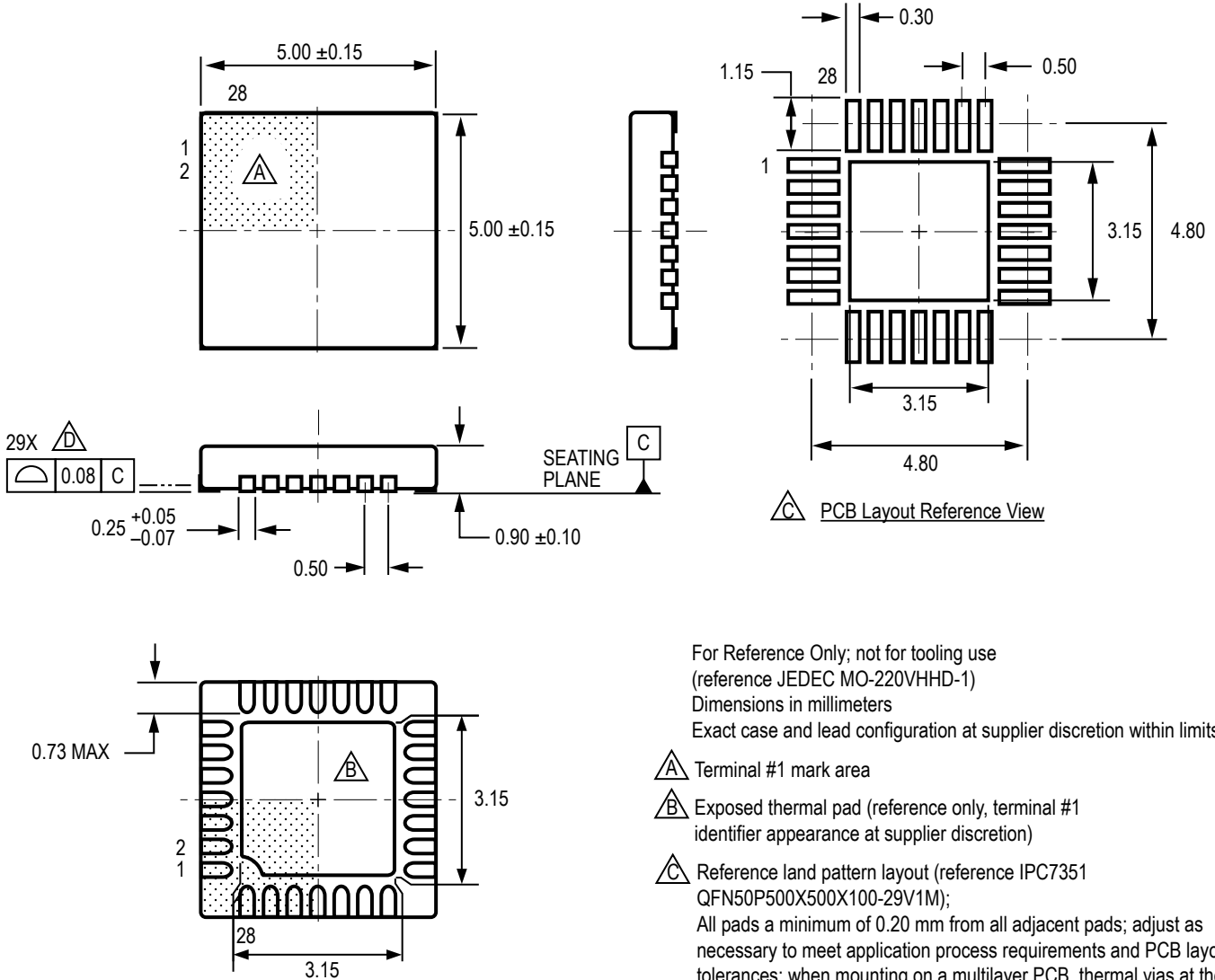


Terminal List Table

Name	Number	Description
CP1	4	Charge pump capacitor terminal
CP2	5	Charge pump capacitor terminal
VCP	6	Reservoir capacitor terminal
VREG	8	Regulator decoupling terminal
MS1	9	Logic input
MS2	10	Logic input
MS3	11	Logic input
$\overline{\text{RESET}}$	12	Logic input
ROSC	13	Timing set
$\overline{\text{SLEEP}}$	14	Logic input
VDD	15	Logic supply
STEP	16	Logic input
REF	17	G <sub>m</sub> reference voltage input
GND	3, 18	Ground*
DIR	19	Logic input
OUT1B	21	DMOS Full Bridge 1 Output B
VBB1	22	Load supply
SENSE1	23	Sense resistor terminal for Bridge 1
OUT1A	24	DMOS Full Bridge 1 Output A
OUT2A	26	DMOS Full Bridge 2 Output A
SENSE2	27	Sense resistor terminal for Bridge 2
VBB2	28	Load supply
OUT2B	1	DMOS Full Bridge 2 Output B
$\overline{\text{ENABLE}}$	2	Logic input
NC	7, 20, 25	No connection
PAD	–	Exposed pad for enhanced thermal dissipation*

\*The GND pins must be tied together externally by connecting to the PAD ground plane under the device.

**ET Package, 28-Pin QFN with Exposed Thermal Pad**



For Reference Only; not for tooling use  
(reference JEDEC MO-220VHHD-1)  
Dimensions in millimeters  
Exact case and lead configuration at supplier discretion within limits shown

- △ A Terminal #1 mark area
- △ B Exposed thermal pad (reference only, terminal #1 identifier appearance at supplier discretion)
- △ C Reference land pattern layout (reference IPC7351 QFN50P500X500X100-29V1M);  
All pads a minimum of 0.20 mm from all adjacent pads; adjust as necessary to meet application process requirements and PCB layout tolerances; when mounting on a multilayer PCB, thermal vias at the exposed thermal pad land can improve thermal dissipation (reference EIA/JEDEC Standard JESD51-5)
- △ Coplanarity includes exposed thermal pad and terminals

**Revision History**

<b>Revision</b>	<b>Revision Date</b>	<b>Description of Revision</b>
4	January 27, 2012	Update $I_{OCPST}$
5	May 7, 2014	Revised text on pg. 9; revised Figure 8 and Table 2

Copyright ©2009-2014, Allegro MicroSystems, LLC

Allegro MicroSystems, LLC reserves the right to make, from time to time, such departures from the detail specifications as may be required to permit improvements in the performance, reliability, or manufacturability of its products. Before placing an order, the user is cautioned to verify that the information being relied upon is current.

Allegro's products are not to be used in any devices or systems, including but not limited to life support devices or systems, in which a failure of Allegro's product can reasonably be expected to cause bodily harm.

The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems, LLC assumes no responsibility for its use; nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use.

For the latest version of this document, visit our website:

[www.allegromicro.com](http://www.allegromicro.com)



## TECARAN ABS grey - División de semielaborados (barras, placas, tubos)

### Designación química

ABS (Acrlonitrilo butadieno estireno copolímero)

### Color

gris opaco

### Densidad

1.04 g/cm<sup>3</sup>

### Características principales

- aislante eléctrico
- alta rigidez
- buena resistencia química
- baja densidad
- absorbe bien los golpes y vibraciones
- Alta tenacidad
- baja absorción de la humedad
- buena adhesividad y soldabilidad

### Sectores estratégicos

- automoción
- electrónica
- Industria de la Alimentación
- ingeniería mecánica

Propiedades mecánicas	parámetro	valor	unidad	norma	comentario
Resistencia a tracción	50mm/min	32	MPa	DIN EN ISO 527-2	(1) Para ensayo de tracción: probeta tipo 1b
Módulo de elasticidad (ensayo a tracción)	1mm/min	1700	MPa	DIN EN ISO 527-2	(2) Para ensayo a flexión: distancia entre apoyos 64mm, probeta normalizada.
Tensión límite elástico	50mm/min	32	MPa	DIN EN ISO 527-2	(3) Probeta 10x10x10mm
Elongación a la fluencia	50mm/min	3	%	DIN EN ISO 527-2	(4) Probeta 10x10x50mm, rango del módulo entre 0.5 y 1% de compresión.
Elongación a rotura	50mm/min	49	%	DIN EN ISO 527-2	(5) Para el ensayo Charpy: separación soportes 64mm, probeta normalizada. n.b: no rompe
Resistencia a flexión	2mm/min, 10 N	49	MPa	DIN EN ISO 178	(6) Probeta espesor 4mm
Módulo de elasticidad (ensayo a flexión)	2mm/min, 10 N	1600	MPa	DIN EN ISO 178	
Resistencia a compresión	1% / 2% / 5% 5mm/min, 10N	15/26/46	MPa	EN ISO 604	(3)
Módulo de compresión	5mm/min, 10 N	1400	MPa	EN ISO 604	(4)
Resistencia al impacto (Charpy)	máx. 7,5J	n.b.	kJ/m <sup>2</sup>	DIN EN ISO 179-1eU	(5)
Resistencia al impacto entallado (Charpy)	máx. 7,5J	34	kJ/m <sup>2</sup>	DIN EN ISO 179-1eA	
Dureza por indentación de bola		74	MPa	ISO 2039-1	(6)
Propiedades térmicas	parámetro	valor	unidad	norma	comentario
Temperatura de transición vítrea		104	°C	DIN EN ISO 11357	(1) Encontrado en dominio público.
Temperatura de servicio	corto tiempo	100	°C		(2) Encontrado en dominio público. Se recomienda probar el material en las condiciones de la aplicación.
Temperatura de servicio	servicio continuo	75	°C		
Propiedades eléctricas	parámetro	valor	unidad	norma	comentario
Resistencia superficial específica		10 <sup>14</sup>	Ω	DIN IEC 60093	
Resistencia volumétrica específica		10 <sup>14</sup>	Ω*cm	DIN IEC 60093	
Otras propiedades	parámetro	valor	unidad	norma	comentario
Absorción de agua	24h / 96h (23°C)	0.07 / 0.2	%	DIN EN ISO 62	(1) Ø ca. 50mm, h=13mm
Resistencia al agua caliente		-	-		(2) poca resistencia
Resistencia a la intemperie		-	-		(3) No aparece en el listado de UL. La información se ha obtenido de la resina, el semielaborado o de una estimación. Se recomienda hacer un ensayo en las mismas condiciones de la aplicación.
Resistencia a la llama (UL94)	corresponde a	HB		DIN IEC 60695-11-10;	(3)

Toda nuestra información refleja el estado actual de nuestros conocimientos acerca de nuestros productos y sus aplicaciones. No aseguran ni garantizan la resistencia química, calidad de los productos y su comercialización de forma jurídicamente vinculante. No están diseñados para su uso en implantes médicos o dentales. Las patentes comerciales existentes han de ser respetadas. Los valores aportados son valores medios aproximados y sólo se pueden emplear para la comparación entre materiales. Estos valores están dentro del rango de tolerancia del producto. Por lo tanto, no deben emplearse en aplicaciones con requisitos específicos. Desde Ensinger siempre recomendamos que se pruebe el material antes de utilizarlo en la aplicación. A menos que se indique lo contrario, estos valores se han determinado a partir de materiales fabricados por extrusión y posteriormente mecanizados (barras de Ø40-60mm acorde con la DIN EN 15860). Como las propiedades dependen de las dimensiones y de la orientación del material (especialmente los reforzados con fibra de vidrio), el material no puede utilizarse sin un ensayo aparte bajo circunstancias específicas. El cliente es el único responsable de la calidad e idoneidad de los productos para la aplicación y tiene que probar la viabilidad y procesamiento antes de su uso. Las fichas técnicas están sujetas a una revisión periódica, la actualización más reciente la encontrará en [www.ensinger.es](http://www.ensinger.es). Se reserva el derecho a realizar cambios técnicos.



## ALLOY DATA SHEET

### EN-AW 6005A[AlSiMg(A)]

(Type: Medium strength extrusion alloy)

The alloy EN AW-6005A is a general purpose extrusion alloy, suitable for structural products where medium strength properties are required. Typical application fields are ladders, train- and truckbuilding, marine constructions, off shore applications, etc. Through special control of the chemical composition and the processing parameters, Nedal can achieve specially defined grain structures which are optimised for static and dynamic loading conditions.

#### Chemical composition according to EN573-3 (weight%, remainder Al)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	remarks	others	
									each	total
0.50-0.9	max. 0.35	max. 0.30	max. 0.50	0.40-0.7	max. 0.30	max. 0.20	max. 0.10	Mn+Cr 0.12-0.50	max. 0.05	max. 0.15

#### Mechanical properties according to EN755-2

Temper*	Wallthickness e*** [mm]		Yield stress Rp0.2 [MPa]	Tensile strength Rm [MPa]	Elongation		Hardness** HB
					A [%]	A50 [%]	
T4	Open profile: ≤ 25 Hollow profile: ≤ 10		90	180	15	13	60
T6	Open profile	≤ 5	225	270	8	6	90
		5 < e ≤ 10	215	260	8	6	85
		10 < e ≤ 25	200	250	8	6	75
	Hollow profile	≤ 5	215	255	8	6	85
		5 < e ≤ 15	200	250	8	6	75

\*Temper designation according to EN515: T4-Naturally aged to a stable condition, T5-cooled from an elevated temperature forming operation and artificially aged, T6-Solution heat treated, quenched and artificially aged, (T6 properties can be achieved by press quenching)

\*\* Hardness values are for indication only

\*\*\*For different wall thicknesses within one profile, the lowest specified properties shall be considered as valid for the whole profile cross section

#### Physical properties (approximate values, 20°C)

Density [kg/m <sup>3</sup> ]	Melting range [°C]	Electrical Conductivity [MS/m]	Thermal Conductivity [W/m.K]	Co-efficient of thermal Expansion 10 <sup>-6</sup> /K	Modulus of Elasticity [GPa]
2700	585-650	26-32	180-220	23.4	~70

#### Weldability<sup>1</sup>

Gas: 3    TIG: 2    MIG: 2    Resistance welding: 3    Spot welding: 3  
Typical filler materials (EN ISO18273): AlMg4.5Mn0.7(A)Cr(A) Due to the heat input during welding the mechanical properties will be reduced by approximately 50% (ref. EN1999-1).

#### Machining characteristics<sup>1</sup>

T4 temper: 3    T6 temper: 2

#### Coating properties<sup>1</sup>

Hard protecting anodising: 1    Decorative/bright/colour anodising: 4

#### Corrosion resistance<sup>1</sup>

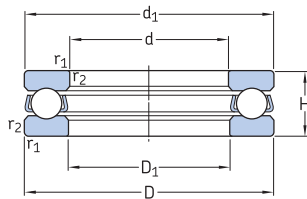
General: 1    Marine: 2

<sup>1</sup>Relative qualification ranging from 1-very good to 6 unsuitable



## 10.1 Rodamientos axiales de bolas de simple efecto

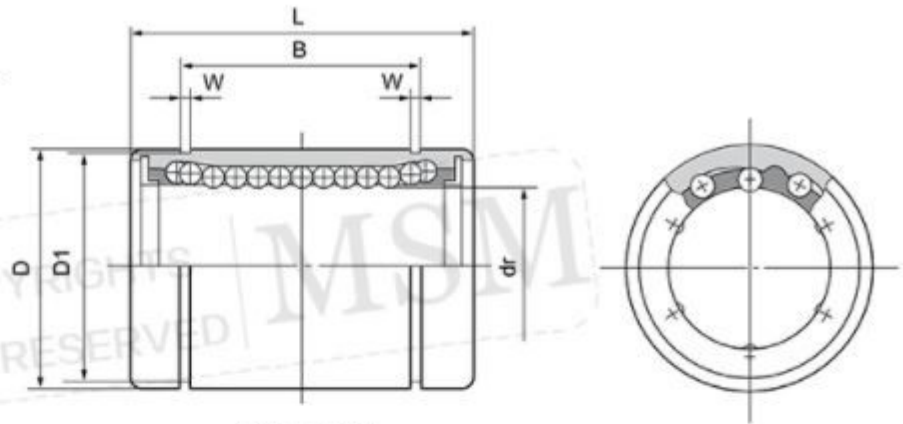
d 3 – 30 mm



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Factor de carga mínima	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	H	dinámica C	estática C <sub>0</sub>	P <sub>u</sub>	A	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	–	r. p. m.		kg	–
<b>3</b>	8	3,5	0,806	0,72	0,027	0,000 003	26 000	36 000	0,0009	<b>BA 3</b>
<b>4</b>	10	4	0,761	0,72	0,027	0,000 003	22 000	30 000	0,0015	<b>BA 4</b>
<b>5</b>	12	4	0,852	0,965	0,036	0,000 005	20 000	28 000	0,0021	<b>BA 5</b>
<b>6</b>	14	5	1,78	1,92	0,071	0,000 019	17 000	24 000	0,0035	<b>BA 6</b>
<b>7</b>	17	6	2,51	2,9	0,108	0,000 044	14 000	19 000	0,0065	<b>BA 7</b>
<b>8</b>	19	7	3,19	3,8	0,143	0,000 075	12 000	17 000	0,0091	<b>BA 8</b>
<b>9</b>	20	7	3,12	3,8	0,143	0,000 075	12 000	16 000	0,01	<b>BA 9</b>
<b>10</b>	24	9	9,95	15,3	0,56	0,0012	9 500	13 000	0,02	<b>51100</b>
	26	11	12,7	18,6	0,695	0,0018	8 000	11 000	0,03	<b>51200</b>
<b>12</b>	26	9	10,4	16,6	0,62	0,0014	9 000	13 000	0,022	<b>51101</b>
	28	11	13,3	20,8	0,765	0,0022	8 000	11 000	0,034	<b>51201</b>
<b>15</b>	28	9	10,6	18,3	0,67	0,0017	8 500	12 000	0,023	<b>51102</b>
	32	12	15,9	25	0,915	0,0038	7 000	10 000	0,046	<b>51202</b>
<b>17</b>	30	9	11,4	21,2	0,78	0,0023	8 500	12 000	0,025	<b>51103</b>
	35	12	16,3	27	1	0,0047	6 700	9 500	0,053	<b>51203</b>
<b>20</b>	35	10	15,1	29	1,08	0,0044	7 500	10 000	0,037	<b>51104</b>
	40	14	21,2	37,5	1,4	0,0085	6 000	8 000	0,083	<b>51204</b>
<b>25</b>	42	11	18,2	39	1,43	0,0079	6 300	9 000	0,056	<b>51105</b>
	47	15	26,5	50	1,86	0,015	5 300	7 500	0,11	<b>51205</b>
	52	18	34,5	60	2,24	0,018	4 500	6 300	0,17	<b>51305</b>
	60	24	42,3	67	2,45	0,048	3 600	5 000	0,34	<b>51405</b>
<b>30</b>	47	11	19	43	1,6	0,0096	6 000	8 500	0,063	<b>51106</b>
	52	16	25,1	51	1,86	0,013	4 800	6 700	0,13	<b>51206</b>
	60	21	35,8	65,5	2,4	0,026	3 800	5 300	0,26	<b>51306</b>
	70	28	70,2	122	4,5	0,097	3 000	4 300	0,52	<b>51406</b>

LM...UU (Resin retainer)

This type is a metric dimension series widely used in Asia and other countries.



LM...UU

Shaft Ø	Model No.	Ball Circuit	Weight g	Main Dimensions (mm)											Basic Load Rating	
				Inner Diameter		Outer Diameter		Length		Locking Groove			Eccentricity µm	Dynamic Co N	Static Co N	
				dr	Tolerance µm	D	Tolerance µm	L	Tolerance µm	B	Tolerance µm	D1				W
3	LM3	4	1.35	3	0	7	0	10	0	-	-	-	-	8	69	105
4	LM4	4	1.9	4	-8	8	-9	12	-120	-	-	-	-		88	127
5	LM5UU	4	4	5		10		15		10.2		9.6	1.1		167	206
6	LM6UU	4	7.6	6		12		19		13.5		11.5	1.1	12	206	265
8	LM8SUU	4	10.4	8		15	0	17		11.5		14.3	1.1		176	216
8	LM8UU	4	15	8		15	-11	24		17.5		14.3	1.1		274	392
10	LM10UU	4	29.5	10	0	19	-9	29	0	22	0	18	1.3		372	549
12	LM12UU	4	31.5	12	-9	21	0	30	-200	23	-200	20	1.3		510	784
13	LM13UU	4	43	13		23	-13	32		23		22	1.3	510	784	
16	LM16UU	5	69	16		28		37		26.5		27	1.6	774	1180	
20	LM20UU	5	87	20		32	0	42		30.5		30.5	1.6	882	1370	
25	LM25UU	6	220	25	0	40	0	59		41		38	1.85	15	980	1570
30	LM30UU	6	250	30	-10	45	-16	64		44.5		43	1.85		1570	2740
35	LM35UU	6	390	35		52	0	70	0	49.5	0	49	2.1	20	1670	3140
40	LM40UU	6	585	40	0	60	0	80	-300	60.5	-300	57	2.1		2160	4020
50	LM50UU	6	1580	50	-12	80	-19	100		74		76.5	2.6		3820	7940
60	LM60UU	6	1860	60		90	0	110		85		86.5	3.15	25	4700	10000
80	*LM80UU	6	4420	80	0	120	0	140		106		116	4.15		7350	16000
100	*LM100UU	6	8600	100	-15	150	-22	175	0	126	0	145	4.15	30	14100	34800
120	*LM120UU	8	15000	120	0	180	0	200	-400	159	-400	175	4.15		16400	40000
150	*LM150UU	8	20250	150	-20	210	-25	240		171		204	5.15		21100	54300

※ SI UNIT: 1N = 0.102 kgf;

※ LM3 and LM4 are non-seal type only;

※ UU stands for "seal on both sides", UU type is standard default;

※ If has special request of anti-rust or high temp., please contact our customer server;

※ Due to continuous research and product development, the company reserves the right to change or withdraw specifications without prior notice.

**ESCUELA POLITÉCNICA  
SUPERIOR DE CÓRDOBA**  
Universidad de Córdoba



**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

*Máster de Ingeniería Industrial.*

**DESARROLLO DE UN MECANISMO DE  
CONTROL DE ALTURA PARA MÁQUINA CNC**

**TOMO 4: PLANOS**

**Autor:** Francisco González Dorado.

**Director:** Rafael Rubén Sola Guirado.

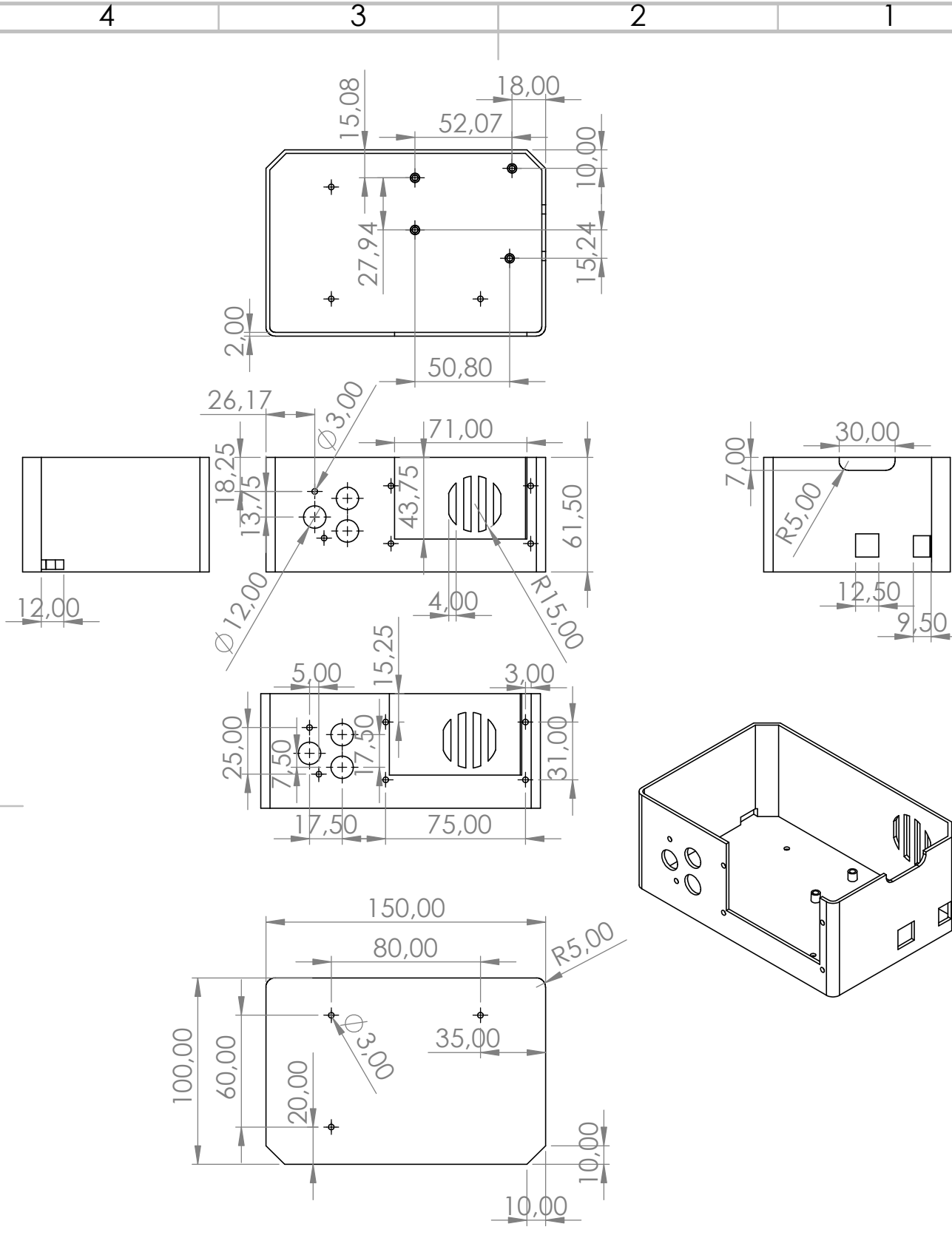


UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA



Índice de planos

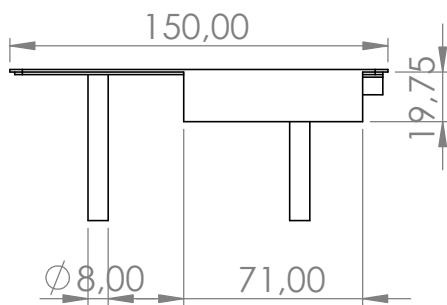
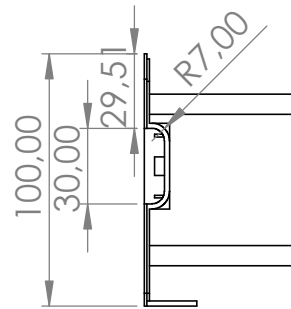
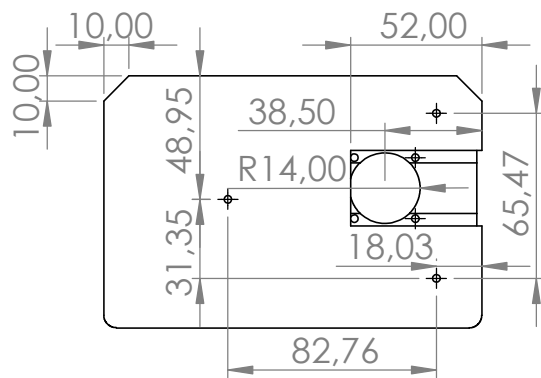
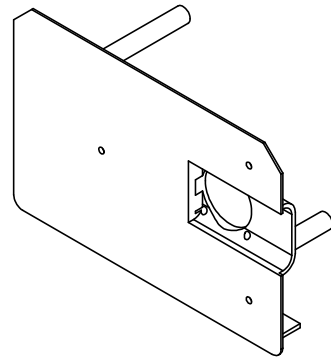
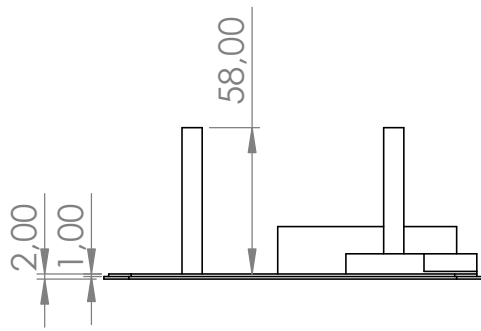
1	Carcasa electrónica base .....	1
2	Carcasa electrónica tapa .....	2
3	Soporte barra fija.....	3
4	Soporte motor .....	4
5	Soporte rodamientos lineales .....	5
6	Apoyo fijo .....	6
7	Apoyo móvil.....	7
8	Apoyo móvil plataforma.....	8
9	Apoyo fijo plataforma.....	9
10	Soporte barra plataforma.....	10
11	Pletina.....	11
12	Mecanismo derecho completo.....	12
13	Ensamblaje plataforma.....	13
14	Plantilla para fijación .....	14



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: +0.1 ANGULAR: +0.5		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
<b>Tomo 4: Planos</b>					
TÍTULO: <b>Desarrollo de un mecanismo de control de altura para máquina CNC</b>				N.º DE DIBUJO <b>1- Carcasa electrónica base</b>	
MATERIAL: <b>ABS</b>				ESCALA: 1:3	
PESO:				HOJA 1 DE 13	

NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ. Francisco G.D.		18/03/2021

A4



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
ACABADO SUPERFICIAL:  
TOLERANCIAS:  
LINEAL: +0.1  
ANGULAR: +0.5

ACABADO:

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

### Tomo 4: Planos

TÍTULO:

Desarrollo de un mecanismo de control de altura para máquina CNC

N.º DE DIBUJO

2- Carcasa electrónica tapa

A4

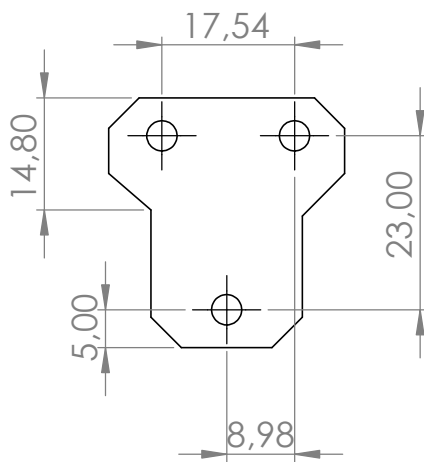
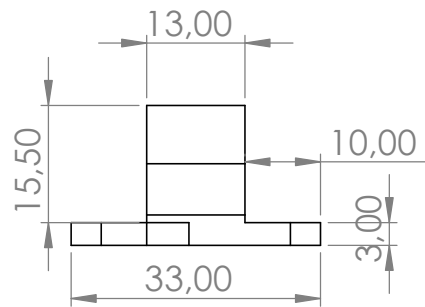
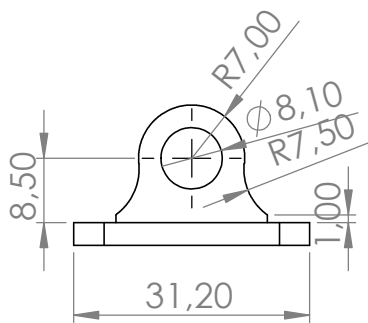
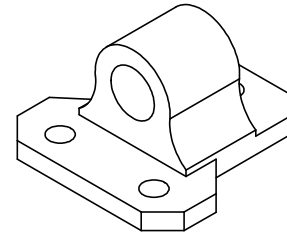
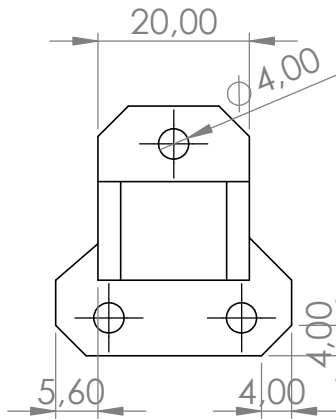
MATERIAL:

ABS

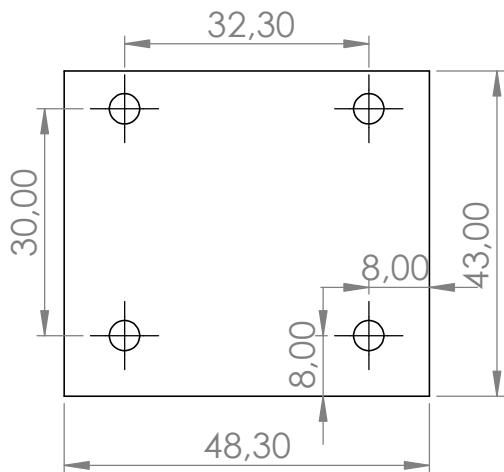
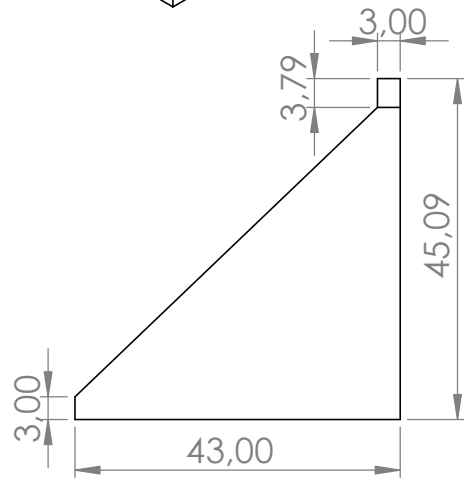
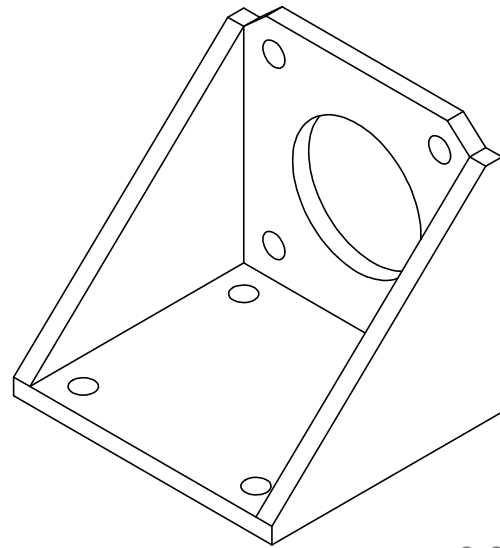
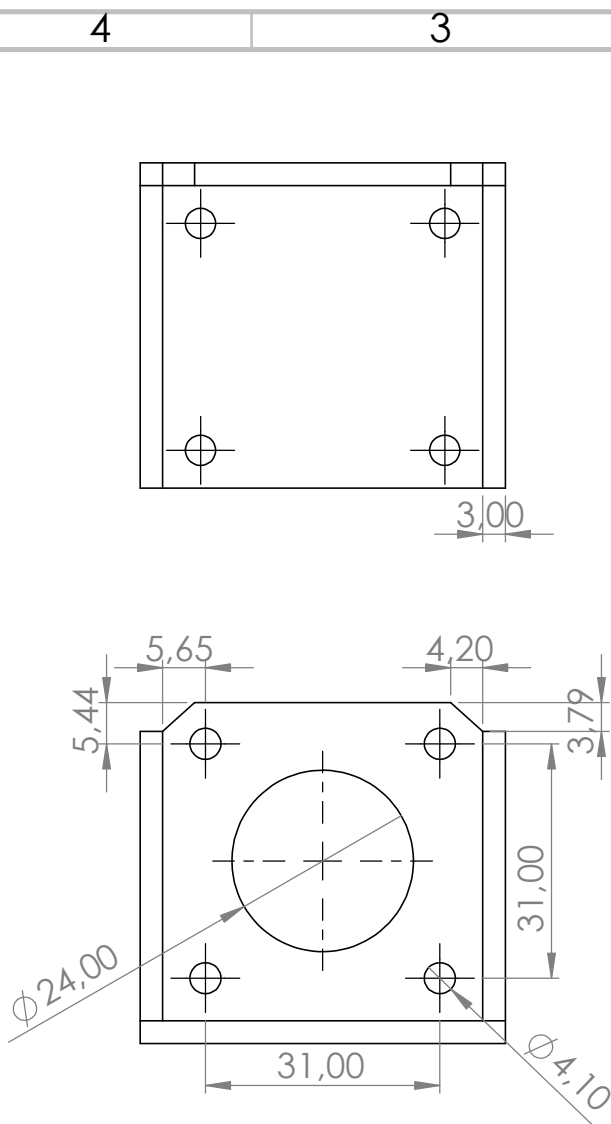
ESCALA:1:3

HOJA 2 DE 13





SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: +0.1 ANGULAR: +0.5		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
				Tomo 4: Planos	
NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:		
DIBUJ. Francisco G.D.		18/03/2021	Desarrollo de un mecanismo de control de altura para máquina CNC		
MATERIAL:			N.º DE DIBUJO	A4	
ABS			3- Soporte barra fija		
			ESCALA: 1:1	HOJA 3 DE 13	

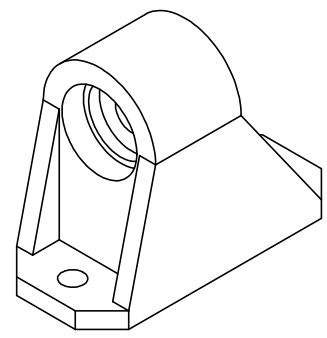
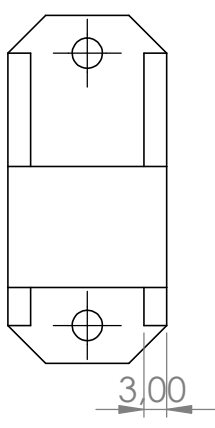


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: +0.1 ANGULAR: +0.5		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
						<b>Tomo 4: Planos</b>			
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. Francisco G.D.				18/03/2021		Desarrollo de un mecanismo de control de altura para máquina CNC			
MATERIAL:						N.º DE DIBUJO		A4	
<b>ABS</b>						4- Soporte motor			
						ESCALA:1:1		HOJA 4 DE 13	

4 3 2 1

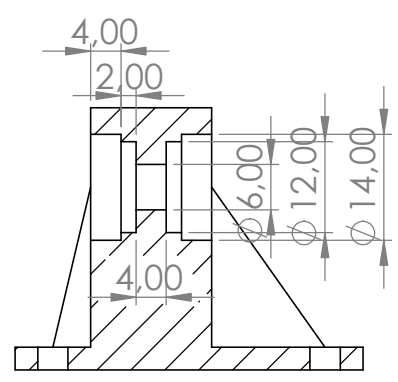
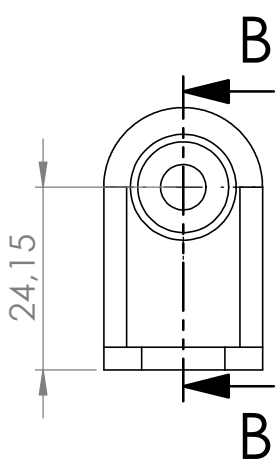
F

F

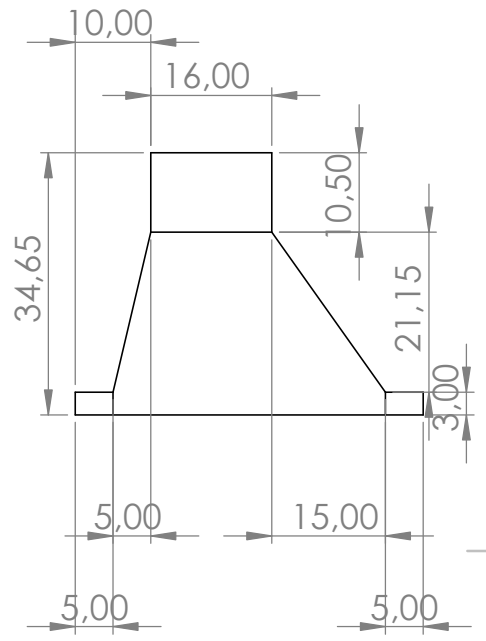


E

E



SECCIÓN B-B

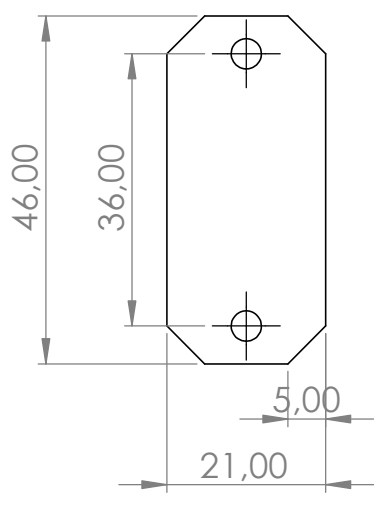


D

D

C

C



B

B

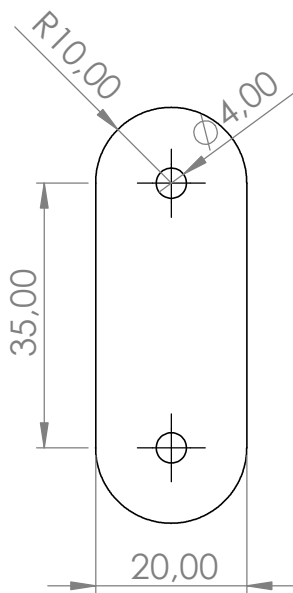
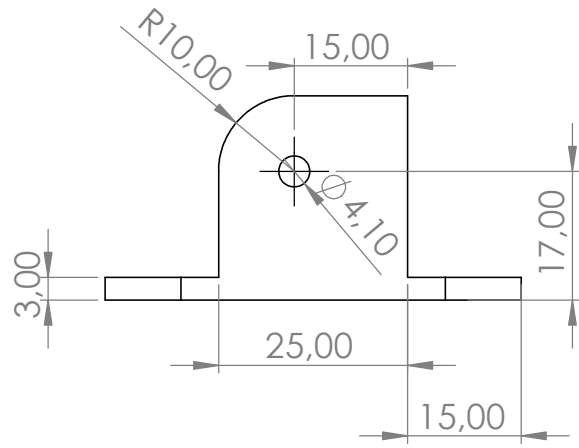
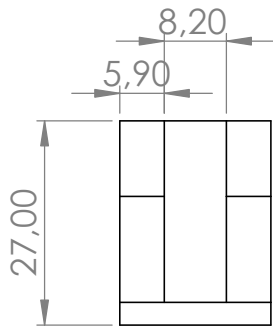
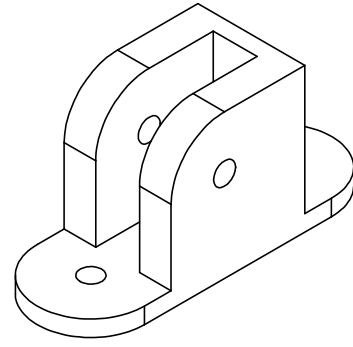
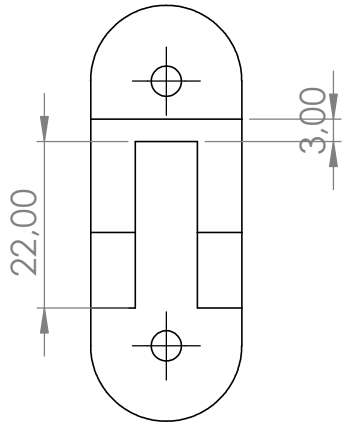
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: +0.1 ANGULAR: +0.5	ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
	Tomo 4: Planos			

DIBUJ. Francisco G.D.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: Desarrollo de un mecanismo de control de altura para máquina CNC
			18/03/2021	
		MATERIAL:	ABS	N.º DE DIBUJO
				5- Soporte rodamientos axiales
				A4

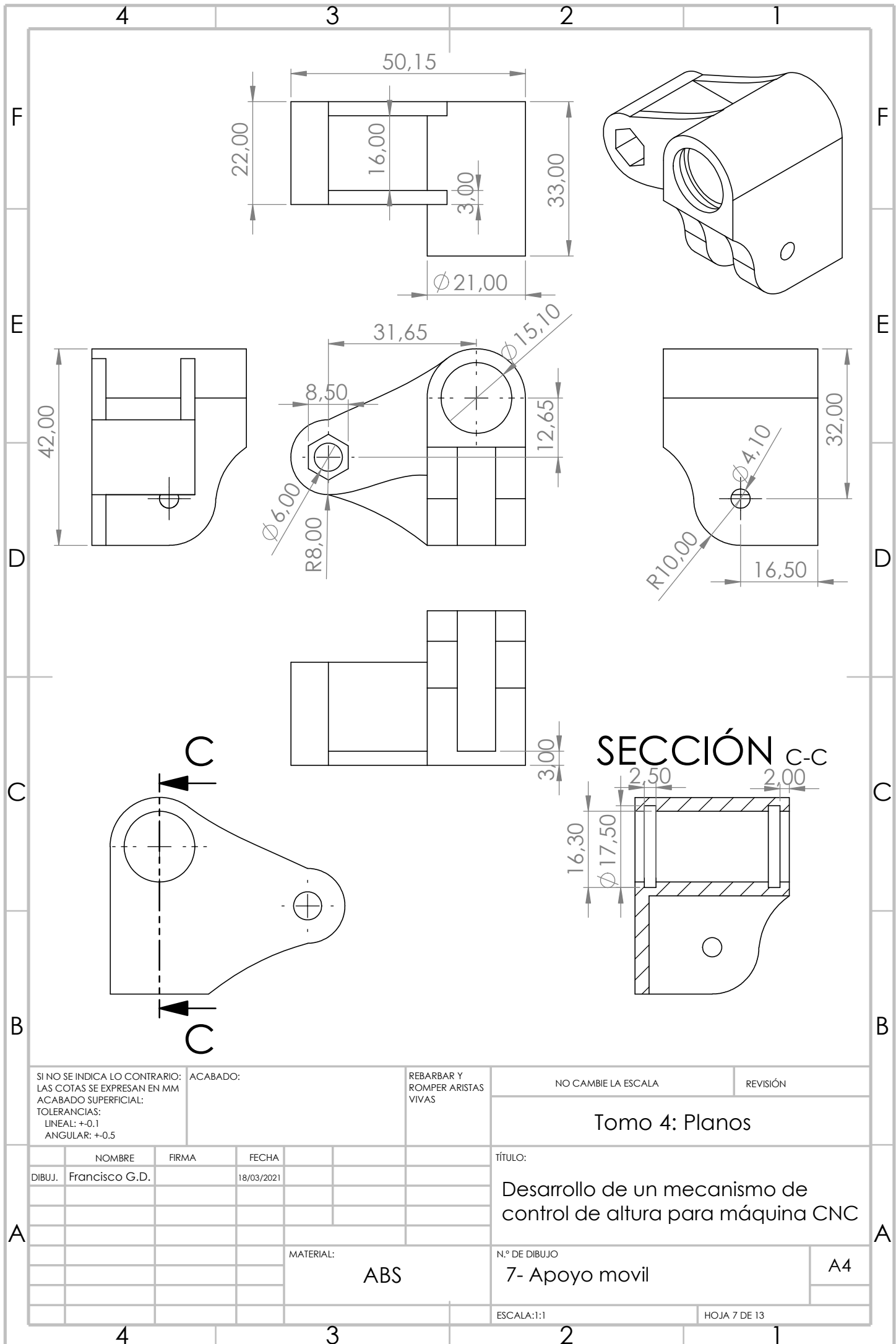
A

A

4 3 2 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: +0.1 ANGULAR: +0.5		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
						Tomo 4: Planos			
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. Francisco G.D.				18/03/2021		Desarrollo de un mecanismo de control de altura para máquina CNC			
MATERIAL:						N.º DE DIBUJO		A4	
ABS						6- Apoyo fijo			
						ESCALA:1:1		HOJA 6 DE 13	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
 ACABADO SUPERFICIAL:  
 TOLERANCIAS:  
 LINEAL: +0.1  
 ANGULAR: +0.5

ACABADO:  
  
 REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

Tomo 4: Planos

NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ. Francisco G.D.		18/03/2021

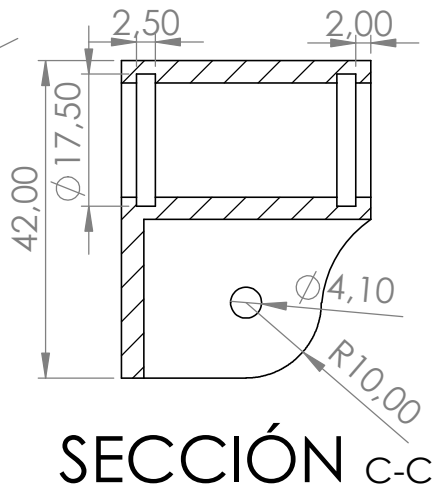
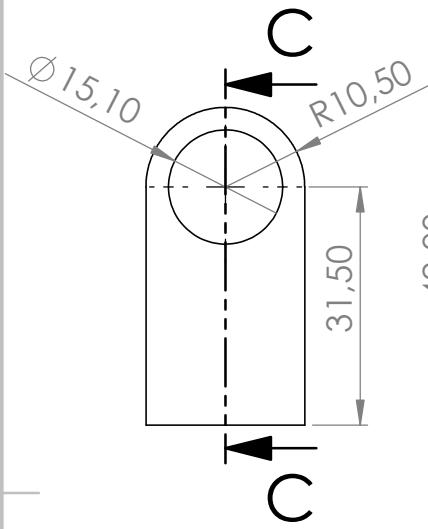
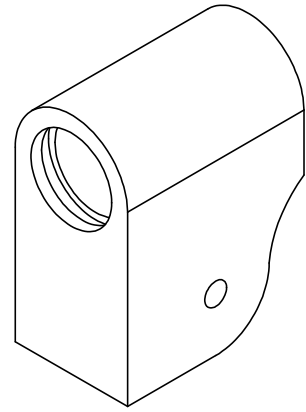
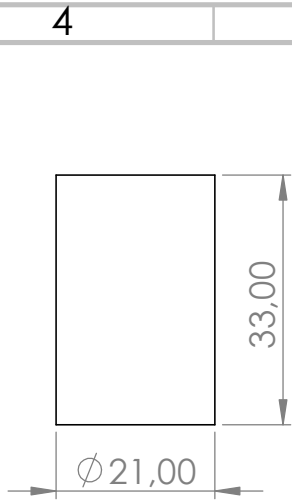
TÍTULO:  
 Desarrollo de un mecanismo de control de altura para máquina CNC

MATERIAL:  
 ABS

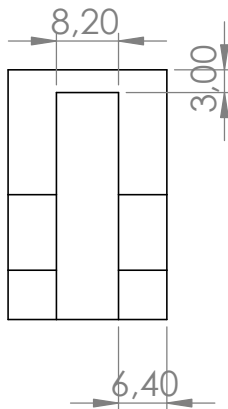
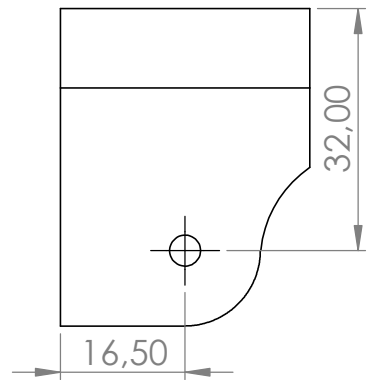
N.º DE DIBUJO  
 7- Apoyo movil

ESCALA: 1:1

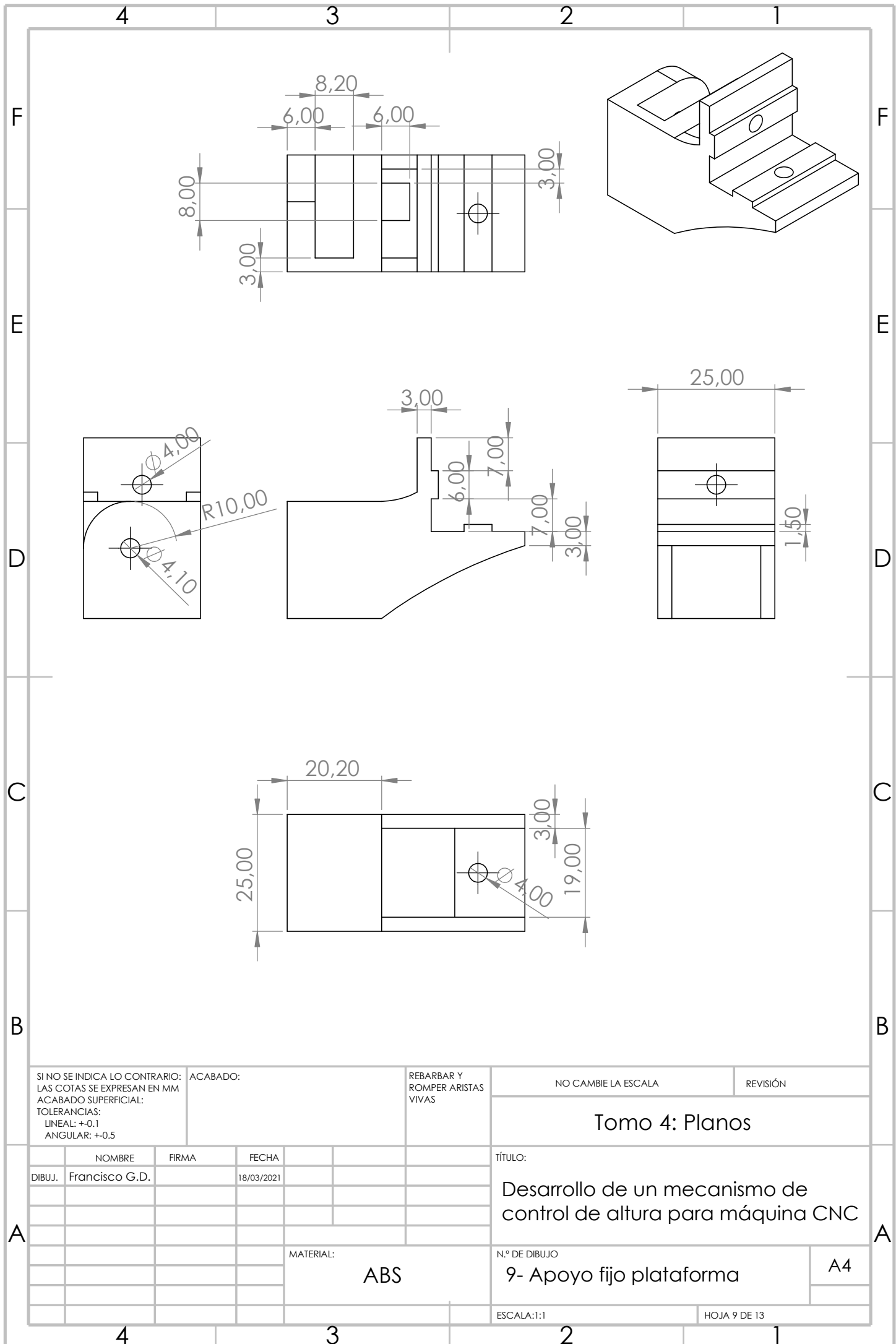
HOJA 7 DE 13



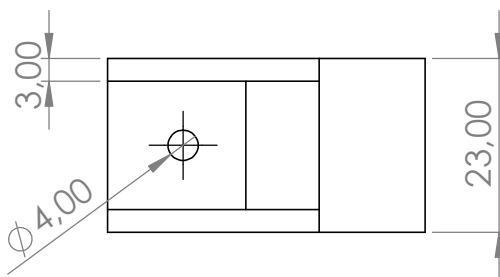
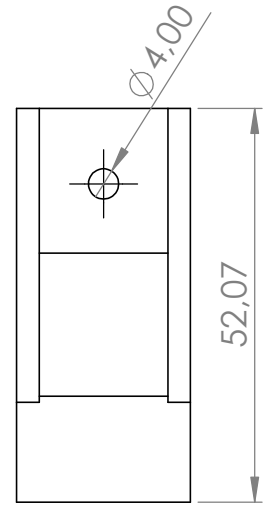
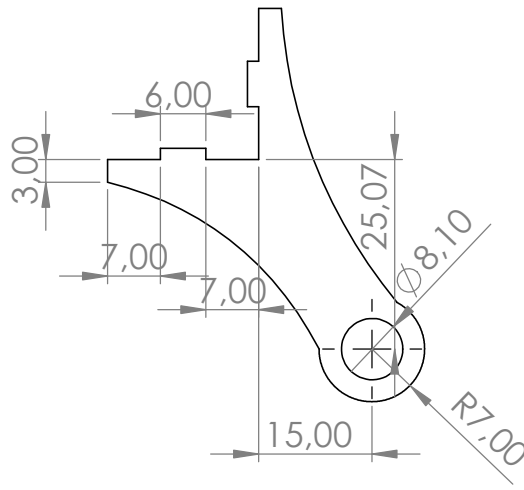
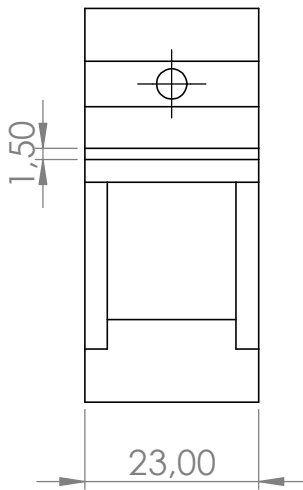
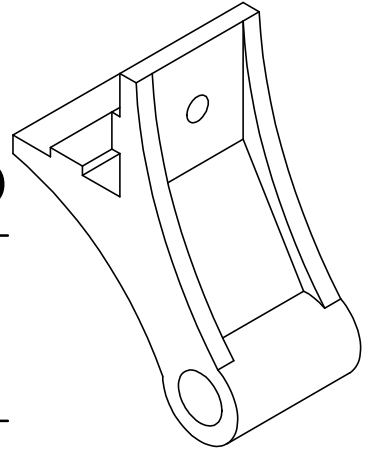
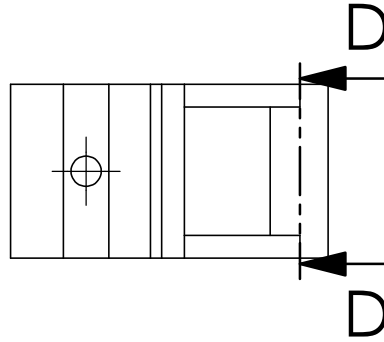
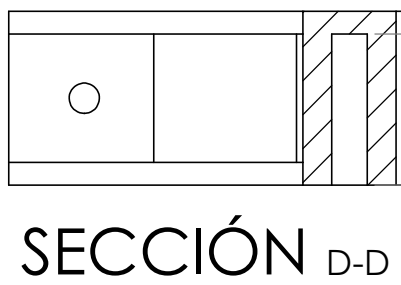
SECCIÓN C-C



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: +0.1 ANGULAR: +0.5		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
				Tomo 4: Planos	
NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:		
DIBUJ. Francisco G.D.		18/03/2021	Desarrollo de un mecanismo de control de altura para máquina CNC		
MATERIAL:			N.º DE DIBUJO	A4	
ABS			8- Apoyo móvil plataforma		
ESCALA: 1:1				HOJA 8 DE 13	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: +0.1 ANGULAR: +0.5		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
<b>Tomo 4: Planos</b>					
NOMBRE: FRANCISCO G.D.			FECHA: 18/03/2021	TÍTULO: Desarrollo de un mecanismo de control de altura para máquina CNC	
MATERIAL: <b>ABS</b>			N.º DE DIBUJO: <b>9- Apoyo fijo plataforma</b>		<b>A4</b>
ESCALA: 1:1				HOJA 9 DE 13	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
ACABADO SUPERFICIAL:  
TOLERANCIAS:  
LINEAL: +0.1  
ANGULAR: +0.5

ACABADO:

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

Tomo 4: Planos

NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ. Francisco G.D.		18/03/2021

TÍTULO:

Desarrollo de un mecanismo de control de altura para máquina CNC

MATERIAL:

ABS

N.º DE DIBUJO

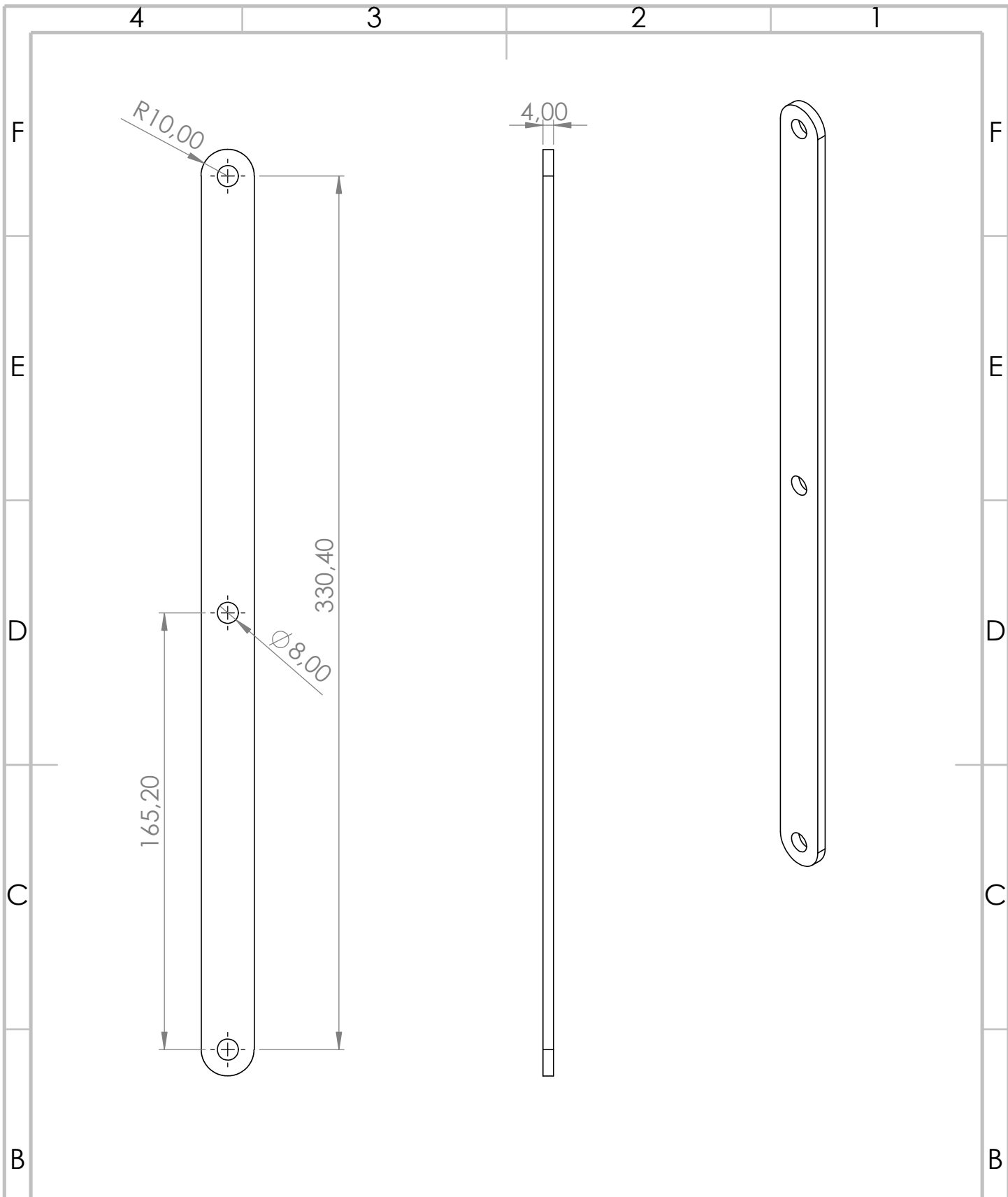
10- Soporte barra plataforma

A4

ESCALA:1:1

HOJA 10 DE 13





SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: +0.1 ANGULAR: +0.5		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
						Tomo 4: Planos			
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. Francisco G.D.				18/03/2021		Desarrollo de un mecanismo de control de altura para máquina CNC			
MATERIAL:						N.º DE DIBUJO		A4	
ALUMINIO						11- Pletina			
						ESCALA:1:2		HOJA 11 DE 13	

6 5 4 3 2 1

D

D

C

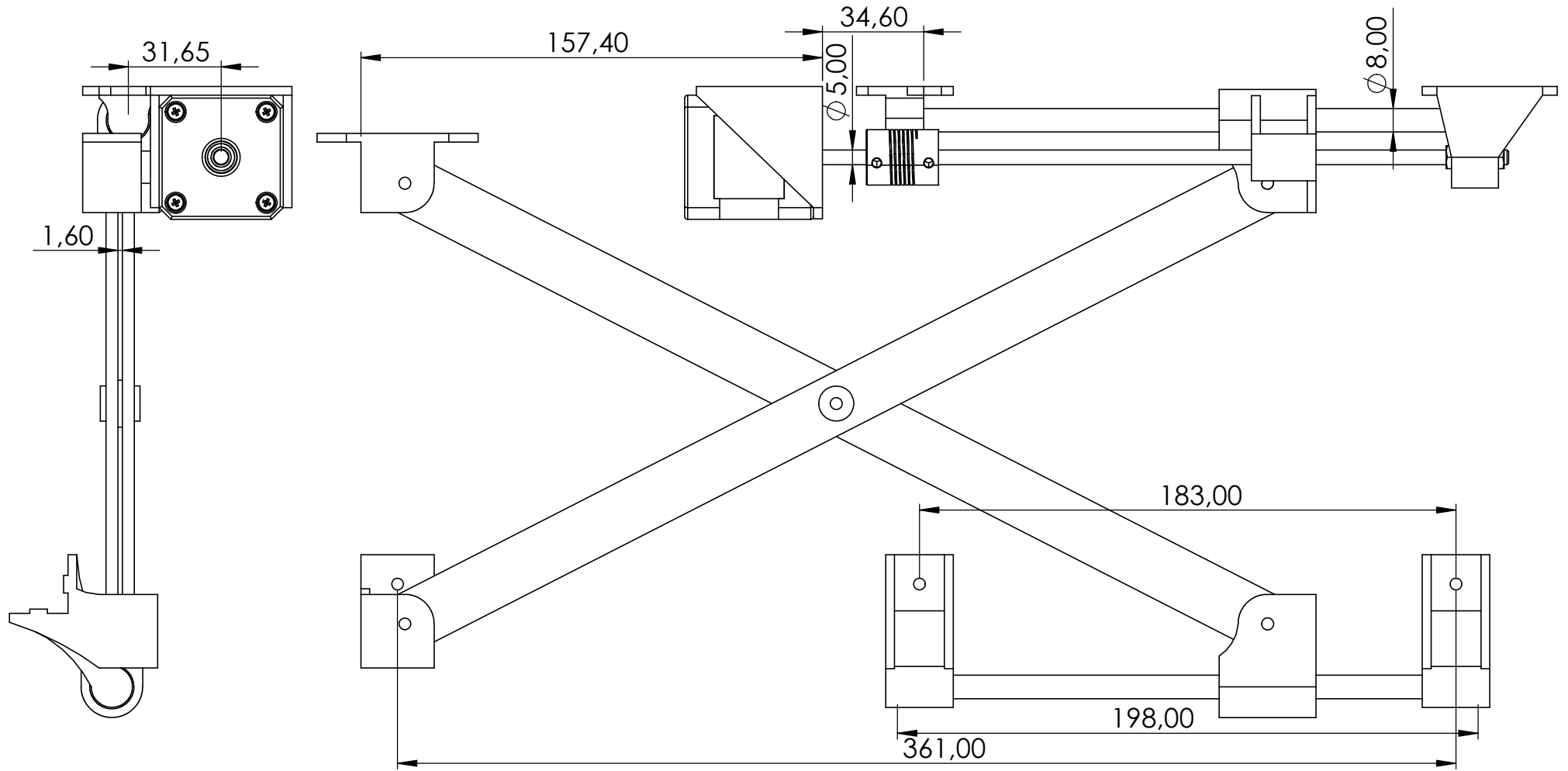
C

B

B

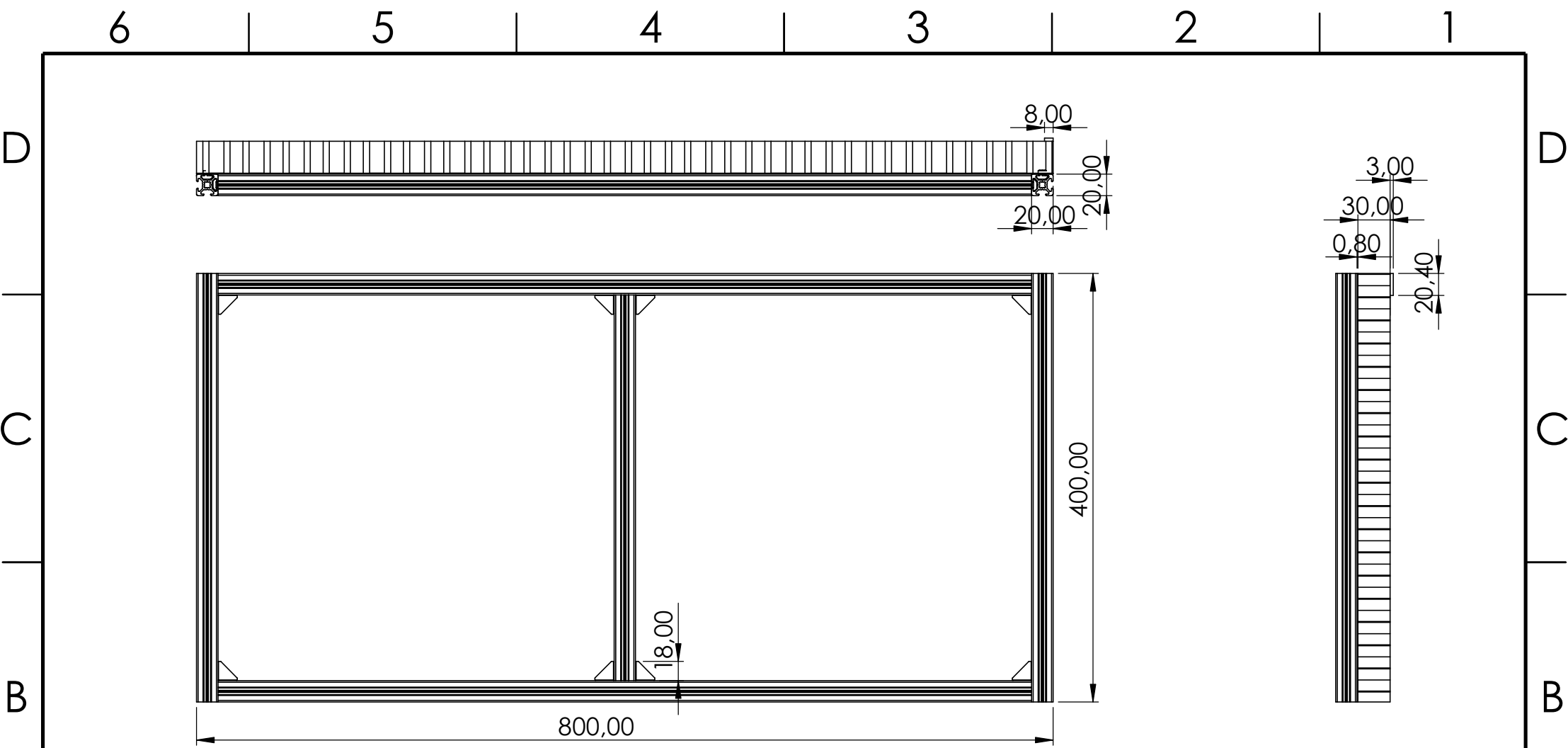
A

A



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: +0.1 ANGULAR: +0.5			ACABADO:			REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
								Tomo 4: Planos			
								TÍTULO: Desarrollo de un mecanismo de control de altura para máquina CNC			
								N.º DE DIBUJO 12- Mecanismo derecho comp		A4	
								ESCALA: 1:2		HOJA 12 DE 13	

	NOMBRE	FIRMA	FECHA				
DIBUJ.	Francisco G.D.		8/03/2021				
VERIF.							
APROB.							
FABR.							
CALID.							
				MATERIAL:			
				PESO:			



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: +0.1 ANGULAR: +0.5			ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN		
Tomo 4: Planos											
							TÍTULO:				
							Desarrollo de un mecanismo de control de altura para máquina CNC				
							N.º DE DIBUJO			A4	
							13- Ensamblaje plataforma				
							ESCALA: 1:5			HOJA 13 DE 13	

6

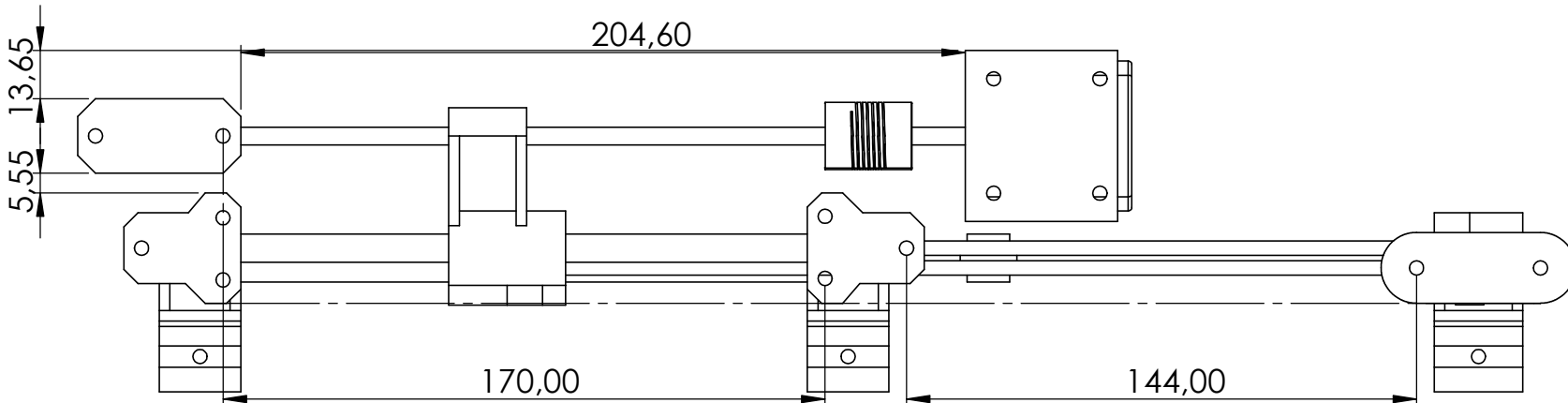
5

4

3

2

1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: +0.1 ANGULAR: +0.5			ACABADO:			REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN			
								Tomo 4: Planos					
						TÍTULO: Desarrollo de un mecanismo de control de altura para máquina CNC							
						MATERIAL:				N.º DE DIBUJO 14- Plantilla para fijación			
						PESO:				ESCALA: 1:2		HOJA 14 DE 14	
NOMBRE		FIRMA		FECHA									
DIBUJ. Francisco G.D.				8/03/2021									
VERIF.													
APROB.													
FABR.													
CALID.													

D

D

C

C

B

B

A

A

4

3

2

1

**ESCUELA POLITÉCNICA  
SUPERIOR DE CÓRDOBA**  
Universidad de Córdoba



**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

*Máster de Ingeniería Industrial.*

**DESARROLLO DE UN MECANISMO DE  
CONTROL DE ALTURA PARA MÁQUINA CNC**

**TOMO 5: PLIEGO DE CONDICIONES**

**Autor:** Francisco González Dorado.

**Director:** Rafael Rubén Sola Guirado.



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA



## Índice de pliego de condiciones

1	Condiciones facultativas.....	1
1.1	Director de obra .....	1
1.2	Instalador.....	1
1.3	Verificación de los documentos del proyecto.....	1
1.4	Trabajos no estipulados expresamente .....	1
1.5	Interpretaciones y aclaraciones en los documentos del proyecto.....	1
1.6	Orden de los trabajos .....	2
1.7	Trabajos defectuosos .....	2
1.8	Procedencia de los materiales y aparatos.....	2
1.9	Materiales no utilizables .....	2
1.10	Limpieza de las obras .....	2
1.11	Plazo de garantía .....	2
1.12	Mantenimiento durante el plazo de garantía .....	2
1.13	Prórroga del plazo de garantía .....	3
2	Condiciones económicas .....	4
2.1	Variaciones en los precios unitarios.....	4
2.2	Pagos a proveedores .....	4
2.3	Demora en los pagos .....	4
2.4	Seguro durante la ejecución.....	4
3	Condiciones técnicas para la ejecución y montaje.....	5
3.1	Condiciones generales.....	5
3.2	Fijaciones verticales.....	5
3.3	Fijaciones de montaje.....	5
3.4	Apriete de ejes.....	5
3.5	Conexiones eléctricas.....	5
3.6	Pruebas preliminares.....	5
3.7	Manipulación manual.....	5





# 1 Condiciones facultativas

## 1.1 Director de obra

Son competencia del director de obra las siguientes tareas:

- Redactar complementos o modificaciones del proyecto.
- Asesorar al promotor en la recepción de la máquina.
- Controlar la correcta ejecución del proyecto.
- Realizar la inspección necesaria en cuestiones de materiales, subcontratas y dispositivos.
- Realizar las mediciones necesarias durante la ejecución.
- Suscribir el certificado final de la obra.

## 1.2 Instalador

Son competencia del instalador las siguientes tareas:

- Organizar los trabajos respecto a lo indicado en el proyecto.
- Informar al director de obra sobre el proceso y su estado.
- Asegurar la condición de los materiales y herramientas utilizados.
- Realizar la instalación respecto a lo proyectado.

## 1.3 Verificación de los documentos del proyecto

Previo al comienzo de la instalación, el instalador deberá confirmar por escrito que la documentación aportada es suficiente y comprende la totalidad de la instalación a realizar, solicitando aclaraciones en caso contrario.

## 1.4 Trabajos no estipulados expresamente

Queda a disposición del instalador la realización de acciones no estipuladas en el proyecto, teniendo como fin la ejecución correcta en funcionalidad y aspecto de la instalación, siempre que no afecte en la medida de lo posible a los presupuestos.

## 1.5 Interpretaciones y aclaraciones en los documentos del proyecto

Cualquier reinterpretación o aclaración realizada en el proyecto se deberá notificar al instalador, sustituyendo todos los documentos modificados para evitar confusión. Además, el instalador deberá volver a verificar que comprende las modificaciones realizadas y la documentación modificada es suficiente para tal efecto.

## **1.6 Orden de los trabajos**

El orden de los trabajos a realizar será respecto a las unidades de obra representadas en el tomo 6: Mediciones y presupuesto, del presente proyecto. Cualquier modificación en el orden de ejecución deberá ser consultada con el director de obra.

## **1.7 Trabajos defectuosos**

Quedará a responsabilidad del instalador la aparición de errores en el funcionamiento o aspecto del producto final producidos por una instalación errónea o deficiente, no siendo el caso para casos de materiales defectuosos. El instalador deberá responsabilizarse en la rectificación de la ejecución, así como los daños materiales causados por esta.

## **1.8 Procedencia de los materiales y aparatos**

Los materiales de obra procederán de los proveedores a criterio del encargado de compras. El mecanizado de las piezas diseñadas expresamente para este proyecto ha sido cedido a la empresa IMFERPLAS S.L. y el arrendamiento de los aparatos necesarios para el montaje y puesta en marcha de la instalación están incluidos en la contratación del instalador.

## **1.9 Materiales no utilizables**

Los materiales de desecho resultantes de la ejecución del proyecto deberán ser recolectados y ordenados por el instalador en un lugar cedido por la empresa promotora. La propiedad y responsabilidad sobre los mismos recae sobre la empresa promotora.

## **1.10 Limpieza de las obras**

El instalador será responsable de mantener una limpieza aceptable tanto durante la ejecución de la instalación como de su finalización.

## **1.11 Plazo de garantía**

El producto final tendrá un plazo de garantía de 12 meses desde la finalización de la ejecución y cubrirá cualquier mal funcionamiento o error que se produzca en la misma siempre que este sea provocado por una instalación deficiente, un defecto de fábrica de los componentes comerciales o un defecto previo en los materiales. En ningún caso se cubrirán defectos producidos por mal uso o accidente externo sobre el aparato.

## **1.12 Mantenimiento durante el plazo de garantía**

El mantenimiento durante el plazo de garantía queda a disposición de la empresa cliente. Las pautas y tiempos de revisión de mantenimiento serán tuteladas del instalador al responsable de la máquina por parte de la empresa.

### **1.13 Prórroga del plazo de garantía**

En caso de ocurrir un mal funcionamiento del producto tras su instalación por las causas cubiertas por la garantía se procederá a la solución del mismo. Tras esto se prorrogará el plazo de garantía durante seis meses tras la solución aportada.

## 2 Condiciones económicas

### 2.1 Variaciones en los precios unitarios

En el presente proyecto se aceptarán las variaciones en los precios unitarios que sean subsanables mediante la partida alzada del cinco por ciento del presupuesto dispuesta para tal fin. En caso de superarse dicha partida será necesaria la revisión del presupuesto y un estudio de los proveedores disponibles.

### 2.2 Pagos a proveedores

El pago a proveedores se realizará en el momento de la confirmación del pedido mediante su correspondiente factura. Así mismo, el abonado del total del presente proyecto deberá realizarse al aceptarse por parte de la empresa promotora el presente documento y condiciones mediante factura.

### 2.3 Demora en los pagos

Un retraso en los pagos por parte del cliente representará un retraso de igual magnitud en el comienzo de la ejecución.

### 2.4 Seguro durante la ejecución

Durante la ejecución del presente proyecto, tanto los materiales como herramientas quedarán a disposición de la empresa promotora y serán amparados por su seguro. En cuanto a los trabajadores presentes en la ejecución serán contratados y estarán cubiertos por el seguro laboral según convenio.

## 3 Condiciones técnicas para la ejecución y montaje

### 3.1 Condiciones generales

El montaje del dispositivo debe adecuarse en todo momento a los documentos del proyecto, no siendo permisible ninguna modificación de funcionamiento o estética sin previo registro por el director de obra y aceptación por el promotor y autor.

### 3.2 Fijaciones verticales

Las fijaciones verticales del dispositivo se llevarán a cabo mediante tornillos rosca madera por lo que se recomienda el uso de una plantilla sacada de los planos proporcionados para el marcaje previo de los puntos de anclaje.

### 3.3 Fijaciones de montaje

Los tornillos de fijación del montaje deben quedar prietos para evitar el afloje de los mismos. Se recomienda el uso de adhesivo para montaje de tornillería en todos aquellos tornillos de sujeción firme.

### 3.4 Apriete de ejes

Los ejes presentes en el dispositivo deben montarse con tuercas autoblocantes de forma que la fijación de las mismas no dependa del apriete. Debe dejarse un apriete suelto para evitar la contricción de los elementos giratorios.

### 3.5 Conexiones eléctricas

Las conexiones eléctricas deben realizarse de forma ordenada, evitando la estrangulación, enredo o interposición de los conductores con las partes móviles del sistema.

### 3.6 Pruebas preliminares

Al finalizarse la instalación deben comprobarse los sistemas propios manualmente, con especial atención a los finales de carrera dado que un fallo en estos incurriría en posibles daños materiales del sistema.

### 3.7 Manipulación manual

El sistema no está diseñado para su manipulación manual fuera de su instalación. Durante la instalación deberán manejarse los elementos sin alimentación para evitar daños personales y materiales, así mismo, por características propias de los controladores de los motores, la manipulación del eje de los mismos debe darse desconectados del sistema de control.

Córdoba, mayo de 2021.

Fdo. D. Francisco González Dorado  
Ingeniero industrial.

**ESCUELA POLITÉCNICA  
SUPERIOR DE CÓRDOBA**  
Universidad de Córdoba



**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

*Máster de Ingeniería Industrial.*

**DESARROLLO DE UN MECANISMO DE  
CONTROL DE ALTURA PARA MÁQUINA CNC**

**TOMO 6: MEDICIONES Y PRESUPUESTO**

**Autor:** Francisco González Dorado.

**Director:** Rafael Rubén Sola Guirado.



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA





## Índice de mediciones y presupuesto

1	Partidas de obra .....	1
1.1	Partida 01: Montaje de mecanismos.....	1
1.2	Partida 02: Montaje de plataforma.....	3
1.3	Partida 03: Ensamblaje y calibrado .....	3
2	Cuadro de precios.....	4
2.1	Cuadro de precios general.....	4
3	Presupuesto.....	7
3.1	Presupuesto de partida 01: Montaje de mecanismos .....	7
3.2	Presupuesto de partida 02: Montaje de plataforma.....	8
3.3	Presupuesto de partida 03: Ensamblaje y calibrado .....	8
3.4	Resumen del presupuesto.....	9

## Índice de tablas

Tabla 1.	Piezas mecanizadas bajo pedido. ....	1
Tabla 2.	Ensamblaje de mecanismos independientes.....	2
Tabla 3.	Ensamblaje de plataforma.....	3
Tabla 4.	Ensamblaje del sistema.....	3
Tabla 5.	Puesta en marcha y calibrado.....	4
Tabla 6.	Cuadro de precios general.....	4
Tabla 7.	Presupuesto de partida 01.....	7
Tabla 8.	Presupuesto de partida 02.....	8
Tabla 9.	Presupuesto de la partida 03.....	8
Tabla 10.	Resumen del presupuesto.....	9



# 1 Partidas de obra

## 1.1 Partida 01: Montaje de mecanismos

*Tabla 1. Piezas mecanizadas bajo pedido.*

01.01	Unidades	Piezas mecanizadas bajo pedido
<p>Pedido de piezas no estándar diseñadas para su mecanizado en bloque de ABS y pletina de aluminio de 4mm. Las piezas vienen especificadas en el tomo 4, planos, para su distribución al servicio externo de fabricación de las mismas.</p>		
	Soporte barra fija	4 unidades
	Soporte motor	2 unidades
	Soporte rodamientos axiales	2 unidades
	Apoyo fijo	2 unidades
	Apoyo móvil	2 unidades
	Apoyo móvil plataforma	2 unidades
	Apoyo fijo plataforma	2 unidades
	Soporte barra plataforma	4 unidades
	Pletina	4 unidades
	<b>Total</b>	24 unidades

*Tabla 2. Ensamblaje de mecanismos independientes.*

01.02	Unidades	Ensamblaje de mecanismos independientes
		Ensamblaje individual de los mecanismos derecho e izquierdo partiendo de las piezas personalizadas y estándar necesarias.
		Casquillo de bronce 18 unidades sinterizado con valona 4-8-4
		Casquillo de bronce 2 unidades sinterizado con valona 4-8-8
		Rodamiento lineal LM8UU 4 unidades
		Barra acero rect. 8mm 0,8 metros
		Barra roscada M5 0,4 metros
		Tornillo M4x30mm 10 unidades
		Tornillo M3x10mm 8 unidades
		Tuerca autoblocante M4 10 unidades
		Arandela M4 20 unidades
		Tuerca larga M5x15mm 2 unidades
		Motor PAP Nema 17 2 unidades
		Rodamiento axial 4 unidades
		Acoplamiento 5 a 5mm 2 unidades
		Tuerca M5 4 unidades
		Arandela M5 4 unidades
		Mano de obra (técnico) 1 hora

## 1.2 Partida 02: Montaje de plataforma

*Tabla 3. Ensamblaje de plataforma.*

02.01	Unidades	Ensamblaje de plataforma
	Corte, mecanizado y ensamblado de los componentes que forman la plataforma descrita en el presente proyecto de acuerdo a las especificaciones de los planos y pliego de condiciones.	
	Barra alum. Ext. 20x20mm	3 metros
	Escuadra 20x20mm	8 unidades
	Tornillo M4x10mm	25 unidades
	Tuerca martillo M4	25 unidades
	Chapa de aluminio 0.8mm	0,32 metros cuadrados
	Panel hexagonal alum. 30mm	0,32 metros cuadrados
	Mano de obra (técnico)	1 hora

## 1.3 Partida 03: Ensamblaje y calibrado

*Tabla 4. Ensamblaje del sistema.*

03.01	Unidades	Ensamblaje del sistema
	Ensamblaje mecánico entre la plataforma, los mecanismos derecho e izquierdo y la base de la máquina CNC. La operación incluye el recorte de la mesa y ensamblaje de los componentes, así como la colocación y conexionado del sistema de control.	
	Carcasa electrónica	1 unidad
	Sistema de control	1 unidad
	Tornillo M4x10mm	12 unidades
	Tuerca martillo M4	12 unidades
	Tornillo madera 3x25mm	31 unidades
	Mano de obra (técnico)	2 horas

*Tabla 5. Puesta en marcha y calibrado.*

03.02	Unidades	Puesta en marcha y calibrado
		Puesta en marcha del sistema, programación del control, comprobación de funciones y calibración de punto de origen, mediciones y formación al cliente.
	Mano de obra (técnico)	4 horas

## 2 Cuadro de precios

### 2.1 Cuadro de precios general

*Tabla 6. Cuadro de precios general.*

U.O.	Unidades	Precio unitario (€)
01.01	Unidades	24,25
		Piezas mecanizadas bajo pedido.
01.02	Unidades	0,69
		Casquillo de bronce sinterizado con valona 4-8-4
01.02	Unidades	0,78
		Casquillo de bronce sinterizado con valona 4-8-8
01.02	Unidades	2,89
		Rodamiento lineal LM8UU
01.02	Metros	5,14
		Barra acero rectificada de 8mm
01.02	Metros	2,13
		Barra roscada M5
01.02	Unidades	0,08
		Tornillo M4x30mm
01.02	Unidades	0,07
		Tornillo M3x10mm

U.O.	Unidades	Precio unitario (€)
01.02	Unidades	0,05
	Tuerca autoblocante M4	
01.02	Unidades	0,01
	Arandela M4	
01.02	Unidades	0,06
	Tuerca larga M5x15mm	
01.02	Unidades	10,95
	Motor PAP Nema 17	
01.02	Unidades	2,26
	Rodamiento axial	
01.02	Unidades	3,15
	Acoplamiento 5 a 5 mm	
01.02	Unidades	0,05
	Tuerca M5	
01.02	Unidades	0,01
	Arandela M5	
02.01	Metros	2,78
	Barra aluminio Ext. 20x20mm	
02.01	Unidades	2,84
	Escuadra 20x20mm	
02.01	Unidades	0,10
03.01	Tornillo M4x10mm	
02.01	Unidades	0,13
03.01	Tuerca martillo M4	
02.01	Metros cuadrados	51,64
	Chapa de aluminio 0.8mm	

---

<b>U.O.</b>	<b>Unidades</b>	<b>Precio unitario (€)</b>
02.01	Metros cuadrados	52,14
	Panel hexagonal alum. 30mm	
03.01	Unidades	7,32
	Carcasa electrónica	
03.01	Unidades	24,75
	Sistema de control	
03.01	Unidades	0,02
	Tornillo madera 3x25mm	
01.02 a	Horas	11,36
03.02	Mano de obra (técnico)	



### 3 Presupuesto

#### 3.1 Presupuesto de partida 01: Montaje de mecanismos

*Tabla 7. Presupuesto de partida 01.*

<b>01</b>	<b>Unidades</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario (€)</b>	<b>Subtotal (€)</b>
	Pieza mecanizada	24 unidades	24,25	582,00
	Casquillo de bronce sinterizado con valona 4-8-4	18 unidades	0,69	12,42
	Casquillo de bronce sinterizado con valona 4-8-8	2 unidades	0,78	1,56
	Rodamiento lineal LM8UU	4 unidades	2,89	11,56
	Barra acero rect. 8mm	0,8 metros	5,14	4,12
	Barra roscada M5	0,4 metros	2,13	0,85
	Tornillo M4x30mm	10 unidades	0,08	0,80
	Tornillo M3x10mm	8 unidades	0,07	0,56
	Tuerca autoblocante M4	10 unidades	0,05	0,50
	Arandela M4	20 unidades	0,01	0,20
	Tuerca larga M5x15mm	2 unidades	0,06	0,12
	Motor PAP Nema 17	2 unidades	10,95	21,90
	Rodamiento axial	4 unidades	2,26	9,04
	Acoplamiento 5 a 5mm	2 unidades	3,15	6,30
	Tuerca M5	4 unidades	0,05	0,20
	Arandela M5	4 unidades	0,01	0,04
	Mano de obra (técnico)	1 hora	11,36	11,36
<b>Total, partida 01 (€)</b>				<b>663,53</b>

### 3.2 Presupuesto de partida 02: Montaje de plataforma

*Tabla 8. Presupuesto de partida 02.*

<b>02</b>	<b>Unidades</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario (€)</b>	<b>Subtotal (€)</b>
	Barra alum. Ext. 20x20mm	3 metros	2,78	8,34
	Escuadra 20x20mm	8 unidades	2,84	22,72
	Tornillo M4x10mm	25 unidades	0,10	2,50
	Tuerca martillo M4	25 unidades	0,13	3,25
	Chapa de aluminio 0.8mm	0,32 metros <sup>2</sup>	51,64	16,52
	Panel hexagonal alum. 30mm	0,32 metros <sup>2</sup>	52,14	16,68
	Mano de obra (técnico)	1 hora	11,36	11,36
<b>Total, partida 02 (€)</b>				<b>81,37</b>

### 3.3 Presupuesto de partida 03: Ensamblaje y calibrado

*Tabla 9. Presupuesto de la partida 03.*

<b>01</b>	<b>Unidades</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario (€)</b>	<b>Subtotal (€)</b>
	Carcasa electrónica	1 unidad	7,32	7,32
	Sistema de control	1 unidad	24,75	24,75
	Tornillo M4x10mm	12 unidades	0,10	1,20
	Tuerca martillo M4	12 unidades	0,13	1,56
	Tornillo madera 3x25mm	31 unidades	0,02	0,62
	Mano de obra (técnico)	6 horas	11,36	68,16
<b>Total, partida 01 (€)</b>				<b>103,61</b>

### 3.4 Resumen del presupuesto

*Tabla 10. Resumen del presupuesto.*

U.O.	Resumen	Subtotal (%)	Subtotal (€)
01	Montaje del mecanismo	74,29	663,53
02	Montaje de plataforma	9,11	81,37
03	Ensamblaje y calibrado	11,60	103,61
	Partida alzada imprevistos	5,00	44,66
<b>Presupuesto de ejecución material (€)</b>			<b>893,17</b>
Gastos generales: 13%			116,11
Beneficio industrial: 6%			53,59
<b>Presupuesto base de licitación sin IVA</b>			<b>1.062,87</b>
IVA: 21%			223,20
<b>Presupuesto base de licitación</b>			<b>1286,07</b>

Asciende el presupuesto a la expresada cantidad de MIL DOSCIENTOS OCHENTA Y SEIS EUROS con SIETE CÉNTIMOS.

Córdoba, 30 de abril de 2021