

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUELA POLITÈCNICA SUPERIOR DE ALCOY



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN TRIBÓMETRO “PIN ON DISK” DE BAJO COSTE

Autor:

DAVID TEODORO GRAU

Dirigido por:

Samuel Sánchez Caballero

Septiembre, 2018

RESUMEN

Hoy en día, los materiales en la industria están en contacto con diversas superficies que, como consecuencia, desgastan la misma y en ocasiones producen el fallo o la fatiga de estos.

El objetivo de este proyecto es el diseño y fabricación de un tribómetro, máquina de laboratorio dedicada a realizar ensayos tribológicos, es decir; realizar pruebas de desgaste en diferentes tipos de materiales, con y sin lubricación, analizar el comportamiento de los mismos e interpretar los resultados obtenidos.

Se precisan estos ensayos para determinar cuál es el material adecuado, en cada caso, ya sea metal o polímero, para soportar mejor la fricción durante los ciclos de trabajo y así garantizar el buen funcionamiento en servicio.

Palabras clave: Tribómetro, tribología, desgaste, rozamiento, arduino.

RESUM

Hui en dia, els materials en la indústria estan en contacte amb diverses superfícies que, com a conseqüència, desgasten la mateixa i de vegades produïxen la fallada o la fatiga d'estos.

L'objectiu d'este projecte és el disseny i fabricació d'un tribòmetre, màquina de laboratori dedicada a realitzar assajos tribològics, és a dir; realitzar proves de desgast en diferents tipus de materials, amb i sense lubricació, analitzar el comportament dels mateixos i interpretar els resultats obtinguts.

Fan falta estos assajos per a determinar quin és el material adequat, en cada cas, ja siga metall o polímer, per a suportar millor la fricció durant els cicles de treball i així garantir el bon funcionament en servici."

Paraules clau: tribòmetre, tribología, desgast, fregament, arduino.

SUMMARY

Today, the materials in the industry are in contact with a variety of surfaces that, as result, wear the same and sometimes cause the fault or the fatigue of these.

The objective of this project is the design and manufacture of a laboratory machine tribometer, dedicated to testing Tribology; Wear testing in different types of materials, with and without lubrication, to analyze the behavior of the same and interpret the results.

These trials are needed to determine which is the suitable material, in each case, either metal or polymer, to better withstand the friction during the working cycles, and thus ensure the proper functioning in service.

Key words: tribometer, tribology, wear, friction, arduino.

Agradecimientos

Quiero agradecer a mi tutor, Samuel Sánchez Caballero, por todo el tiempo que me ha dedicado a realizar el TFG, siempre corrigiendo mis errores, mejorando mi aprendizaje y ayudándome a mejorar mis conocimientos en el campo de la mecánica.

Al profesor Miguel Ángel Peydro, por colaborar en la tarea del mecanizado de las piezas.

También agradecer a toda mi familia, por la confianza que han puesto en mi durante el grado, y el apoyo incondicional para cumplir mis objetivos en el desarrollo académico.

Índice

Listado de Símbolos.....	4
Listado de Acrónimos.....	6
Glosario	8
1 Introducción	10
1.1 Objetivos del proyecto.....	12
1.2 Justificación académica del proyecto	12
1.3 Justificación técnica del proyecto.....	12
1.4 Fundamentos teóricos.....	12
2 Estudio de mercado.....	16
2.1 Estudio del estado del arte.....	18
2.1 Análisis de la competencia	19
2.2 Determinación del segmento de mercado.....	20
3 Requerimientos y especificaciones	22
4 Características básicas de la máquina.....	26
4.1 Descripción general de la máquina	29
4.2 Descripción de los subconjuntos de la máquina.....	30
4.3 Descripción del funcionamiento dela máquina	36
5 Cálculos justificativos	38
5.1 Cálculo del Servomotor.....	40
5.2 Cálculo motor paso a paso:	41
5.3 Cálculo transmisión por correa dentada:	42
5.4 Simulación de la reacción del motor sobre la placa y lo patines:.....	43
5.5 Simulación del empuje del husillo sobre la mesa::	47
6 Presupuesto.....	52
7 Planos	58
7.2 Índice de planos.....	60
7.3 Planos de conjunto	62
7.3 Planos de despiece.....	64
7.3 Esquemas Eléctricos	66
Conclusión	76
Bibliografía	80
Apéndice.....	84
Índice de figuras	86
Índice de tablas	88

Listado de Símbolos

d	Diámetro
F	Fuerza normal sobre un cuerpo
i	Relación de transmisión
M	Es el resultado de una fuerza por una distancia
N	Newton. Unidad de medida de la fuerza
P	Potencia que consume una máquina
T	Par
V_p	Velocidad periférica
η	Rendimiento de una máquina
μ	Coefficiente de rozamiento
φ	Fi. Para designar nombres a ángulos
ω	Velocidad Angular

Listado de Acrónimos

ANSYS	Analisis Systems. Software para el cálculo estructural.
ASTM	American Society for Testing and Materials. Normativa para ensayos tribológicos.
CAD	Computer-aided design. Herramienta informática para el diseño de maquinaria.
FEM	Finite Element Method. Método por elementos finitos.
MT	Microtest. Modelo de tribómetros.
TRB	Tribometer. Siglas del tribómetro.

Glosario

- Mallar** Proceso por el cual se genera una estructura geométrica que se asemeje al modelo real y sin errores de diseño.
- Método del Elemento Finito** Método para realizar el cálculo estructural de un sólido.
- Pin on disk** Tipo de configuración que existe en los tribómetros mediante un pin que está en contacto con un disco giratorio.
- Von Mises** Ingeniero alemán que descubrió el método para calcular tensiones equivalentes de cualquier estado tridimensional.

1 Introducción

1.1 Objetivos del proyecto

La finalidad reside en diseñar y fabricar un tribómetro para realizar ensayos en diferentes materiales y así registrar el comportamiento de cada uno de ellos y obtener propiedades mecánicas de estos. Se pretende obtener un tribómetro de bajo coste, que realice los ensayos con la mayor precisión posible y con un tamaño similar al del mercado, además para el control de los componentes se implementara arduino, un autómatas de tamaño reducido capaz de controlar varios componentes con una programación sencilla e intuitiva.

1.2 Justificación académica del proyecto

Este proyecto nace de la necesidad del profesor de realizar dicha máquina para realizar ensayos tribológicos a diferentes materiales, además de la necesidad del alumno de profundizar más en la asignatura de diseño y fabricación de máquinas y así, aplicar los conocimientos a un proyecto real.

1.3 Justificación técnica del proyecto

Este proyecto se basa en la necesidad de realizar la máquina, hasta el momento inexistente en la universidad, para realizar ensayos en diferentes materiales, así como su uso didáctico para el alumnado y, además, mejorar e innovar el diseño de los tribómetros existentes. Esto permitirá conocer el desgaste que sufren algunos materiales y mejorar la duración y la calidad de los mismos.

1.4 Fundamentos teóricos

El desarrollo de este proyecto se centra en la tribología, que es la ciencia que estudia la interacción que tienen dos cuerpos. Para entender correctamente la tribología se deben tener claros varios conceptos que se nombrarán a continuación, además de conocimiento de varias materias, tales como física, química, matemáticas, mecánica de fluidos, ciencia de materiales y, teoría y diseño de máquinas.

Hoy en día la tribología está presente en multitud de máquinas y componentes de la mecánica.

A continuación, serán descritos los conceptos más importantes en la tribología que son:

- Fricción
- Desgaste
- Lubricación

Fricción: Se denomina así a la fuerza que se opone al movimiento que tiene una superficie con otra. Este fenómeno ocurre cuando hay dos superficies en contacto y pueden existir dos tipos de fricción.

- Fricción estática.
- Fricción Cinética.

- Fricción estática: Es el rozamiento que existe cuando dos cuerpos están en reposo.
- Fricción Cinética: Es el rozamiento que existe con dos cuerpos en movimiento.

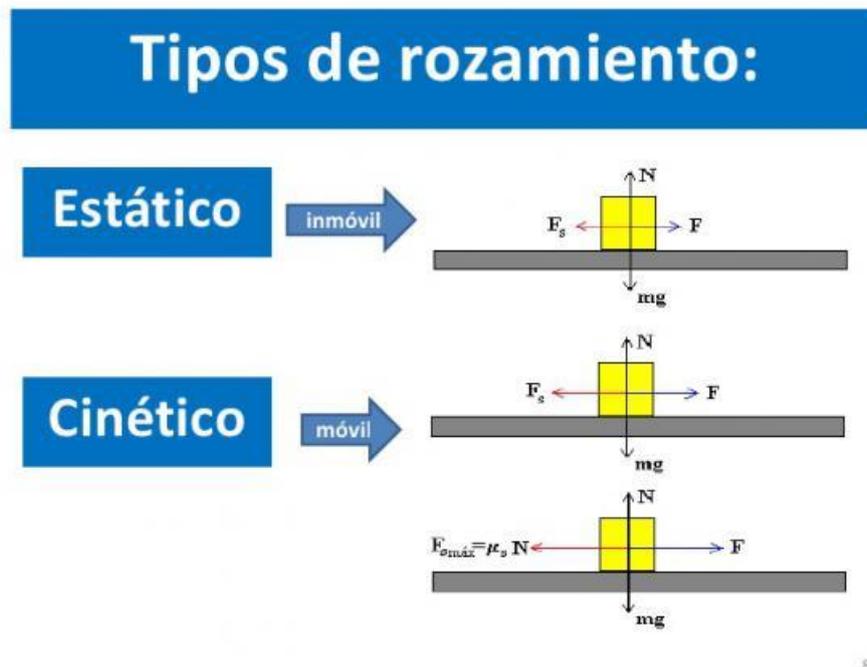


Ilustración 1 Tipos de rozamiento

Los valores del coeficiente de fricción suelen variar en función del tipo de material sobre los que se ejerza el rozamiento, además, dependiendo del tipo de fricción que exista, se pueden ver algunos de estos valores en la siguiente tabla:

Materiales en contacto	Coficiente estático	Coficiente cinético
Madera-Piedra	0.7	0.3
Madera-Madera	0.4	0.3
Acero-Acero	0.74	0.57
Acero-Latón	0.5	0.4
Acero-Teflón	0.04	0.04
Cobre-Hierro(Fundido)	1.1	0.3
Aluminio-Acero	0.61	0.47

Tabla 1 Valores de fricción

Desgaste: Se puede definir como el efecto que causa la fricción y que provoca una pérdida de material de las superficies en contacto, concretamente la pérdida tiene lugar en el material de menor dureza.

En función de los materiales que están en contacto ya sean metálicos o no, existen varios tipos de desgaste, concretamente los siguientes:

- Desgaste por adherencia.
- Desgaste por abrasión.
- Desgaste por ludimiento.
- Desgaste por fatiga.
- Desgaste por erosión
- Desgaste corrosivo

- Desgaste por adherencia: Se produce cuando existe deslizamiento entre dos superficies bajo presión.

- Desgaste por abrasión: Se produce al desprenderse partículas duras que desgastan la superficie de contacto.

- Desgaste por ludimiento: Se produce debido al movimiento oscilatorio entre dos superficies.

- Desgaste por fatiga: Se produce debido a la fatiga superficial entre los materiales, sobre todo al ser un movimiento bidireccional. Suele ser el desgaste más común de todos.

- Desgaste por erosión: Se produce cuando se desprende material debido a un líquido que contiene partículas abrasivas.

- Desgaste corrosivo: Se produce al haber reacciones químicas o electrolíticas con el medio ambiente que aceleran la velocidad de desgaste.

Lubricación: Este tipo de método tiene como finalidad evitar el contacto entre las superficies y así evitar que estas sufran daños o al menos, que este sea el menor posible. También, evitar el calentamiento de los materiales y disminuir la fricción entre ambas superficies.

Se pueden distinguir varios tipos de lubricación:

- Lubricación hidrodinámica.
- Lubricación límite.
- Lubricación hidrostática.

- Lubricación hidrodinámica: Este tipo proporciona una separación entre las superficies aportándoles estabilidad. Se realiza mediante movimiento relativo.
- Lubricación límite: Esta lubricación crea una película muy fina, que produce un contacto mínimo.
- Lubricación hidrostática: Se obtiene cuando se introduce el lubricante a presión en una zona de carga para crear una película protectora, no es necesario el movimiento relativo.

Además de los tipos de lubricación, se pueden distinguir diferentes lubricantes según las características que requiera la aplicación o dependiendo de los resultados que se desee obtener. Se pueden clasificar según las propiedades en:

- Lubricante líquidos.
- Lubricantes gaseosos.
- Lubricantes sólidos.
- Lubricantes semisólidos o grasas.

Viscosidad: se puede definir como la resistencia que tienen las moléculas que conforman un líquido para separarse unas de otras, es decir, es la oposición de un fluido a deformarse. La viscosidad es una característica importante de los aceites lubricantes, además, ha de tenerse en cuenta que al aumentar la temperatura disminuye la viscosidad.

2 Estudio de mercado

2.1 Estudio del estado del arte

En el sector de la industria, son muy pocas las empresas que ofrecen este tipo de productos, no se ha profundizado en el campo de la tribología, no obstante, hay algunas opciones. En el mercado residen varios tipos de tribómetros, pero se centra sobre todo en el tipo “Pin-on-disk”, que se caracteriza por realizar los ensayos aplicando una carga desde un punzón o “pin” sobre una superficie circular llamada “disk”.

En primer lugar, se encuentra el tribómetro “pin-on-disk” TRB de Anton para [6], un instrumento de mesa para hacer ensayos de desgaste que ofrece las siguientes características:

Especificaciones técnicas	
Velocidad de rotación	1 a 500 rpm (opcional 1500 rpm)
Par máximo	450 Nmm
Fuerza de fricción	Hasta 10 N (opcional 20 N)
Diámetro máximo del disco	60 mm Máximo
Espesor máximo del disco	Hasta 15 mm
Fuerza normal máxima	10 N (opcional 60 N)

Tabla 2 Características técnicas tribómetro Anton Paar



Ilustración 2 Tribómetro de Antoon paar

Existe también otro tribómetro “Pin-on-disk” series MT de Microtest [3], que ofrece unas características similares al de Anton paar, pero con un diseño diferente y algo más austero. Ofrece mucha precisión, posee una mejor regulación de la velocidad y diferentes opciones de realizar el ensayo. Tiene posicionamiento electrónico en los 3 ejes, y ofrece las siguientes características:

Especificaciones técnicas	
Velocidad de rotación	1 a 500 rpm
Par máximo	450 Nmm
Fuerza de fricción	Hasta 30N
Diámetro máximo del disco	80 mm Máximo
Espesor máximo del disco	Hasta 15 mm
Fuerza normal máxima	1N a 60N

Tabla 3 Características tribómetro de Microtest



Ilustración 3 Tribómetro de Microtest

2.1 Análisis de la competencia

La tribología en el mundo de la ingeniería es relativamente nueva por lo que no hay muchos sectores en los que se encuentre o se demande este tipo de instrumentos de ensayo.

En la industria, poco a poco se está viendo que las empresas cada vez más requieren instrumentación precisa para el diagnóstico de fallos en la maquinaria y para analizar e investigar el comportamiento de los materiales a desgaste. En este sector el tribómetro objeto de este proyecto sería adecuado, ya que permitiría a muchas empresas obtener una máquina para el ensayo con mucha precisión y resultados excelentes, además, al tener un bajo coste no supone un gasto excesivo para la empresa y supone un beneficio a largo plazo.

Otra ventaja que ofrece es su tamaño, es un 20% más pequeño que los tribómetros existentes en el mercado y se puede instalar en cualquier espacio de la empresa, sin tener que realizar cambios.

En el sector de la educación, supone un importante avance, ya que es ideal para la docencia, además de permitir realizar ensayos con precisión, y es de fácil manipulación. En cuanto al coste, no existe otra instrumentación que ofrezca las mismas características con el mismo precio. Este hecho supone facilitar a las escuelas instrumentación precisa sin necesidad de realizar ningún gasto excesivo, además tiene un mantenimiento simple y permite la perfecta manipulación de todos sus componentes.

2.2 Determinación del segmento de mercado

El tribómetro de bajo coste, está enfocado para abarcar cualquier sector o institución que desee realizar ensayos de desgaste con buenos resultados, está indicado para la industria puesto que tiene una precisión igual a la de los tribómetros existentes en el mercado, proporciona las mismas variables, con rapidez y exactitud, además tiene la ventaja de ser más pequeño que sus competidores, un 20% menos, y puesto que tiene un diseño simple, permite un mantenimiento rápido y económico. Otra ventaja más, tanto para la industria como para la educación, es su bajo coste, que comparado con el de la mayoría de tribómetros, no supone ningún gasto excesivo para su adquisición y esto repercute en el hecho de poder tener dos o más tribómetros para aumentar la instrumentación y poder realizar varios ensayos al mismo tiempo.

Por otra parte, los componentes del tribómetro tienen un mantenimiento sencillo, no son difíciles de reemplazar y son fáciles de encontrar en el mercado.

3 Requerimientos y especificaciones

Para los segmentos de mercados nombrados anteriormente, se requiere un tribómetro que cumpla con todas las exigencias del mercado e incluso mejorar algunos aspectos. Los requisitos que se deben tener en cuenta son:

- **Diseño:** Un diseño sencillo que aporte confianza, a la vez que permita un uso cotidiano sin necesidad de tener conocimientos previos elevados para su manipulación.
- **Precisión:** Se pretende que todos los componentes funcionen perfectamente sin fallos, con un margen de error lo más mínimo posible, además de dar una lectura rápida y precisa de los resultados obtenidos en los ensayos.
- **Dimensiones:** Esto lo debe convertir en el mejor del mercado, puesto que debe tener las dimensiones adecuadas para realizar los ensayos, a la vez que tener un peso menor, que permita su fácil transporte y manipulación sin problemas.

Por otra parte, para realizar los ensayos correctamente y obtener los resultados deseados, el tribómetro debe tener una especificación técnica requerida para este tipo de ensayos tribológicos. Debe tener las dimensiones globales exigidas por el mercado, además de las dimensiones de cada componente según la normativa vigente. El tribómetro debe tener las siguientes características:

- **Carga aplicada:** Una fuerza de carga que debe oscilar entre 1 y 60 Newton. Esta carga es necesaria para realizar los ensayos a distintos materiales, bien sean materiales poliméricos o metales.
- **Velocidad de rotación:** Debe tener una velocidad de entre 1 a 1500 rpm, puesto que para obtener los resultados a distintos niveles se requiere poder variar la velocidad, y también alcanzar en el disk la velocidad periférica deseada.
- **Desplazamiento de la mesa:** debe tener la posibilidad de mover la mesa de trabajo para realizar la aplicación de carga en distintos puntos del disk.
- **PIN:** Un utensilio normalmente de acero, que ejercerá la carga sobre el disk, debe tener un diámetro de entre 10-15 mm.
- **Disk:** Es el círculo en el cual se colocarán las probetas a ensayar, debe tener un diámetro de entre 60-80 mm.
- **Probeta:** Es el material sobre el que se va a realizar el ensayo, la probeta debe tener las mismas dimensiones que el disk, y un espesor máximo de 15 mm.

La Normativa que se rige en los ensayos tribológicos para un tribómetro “Pin-on-disk” es la siguiente:

Norma ASTM G115-10

Se trata de una guía estándar para medir y obtener correctamente los resultados de los coeficientes de fricción, es una forma de tener estandarizada la forma de obtener los datos de fricción en los sistemas tribológicos. Debe servir para poder intercambiar datos de coeficientes con otros laboratorios y es la base para realizar informes y manuales.

Norma ASTM D5707

Esta norma determina las propiedades de desgaste y el coeficiente de fricción utilizando lubricantes a temperaturas y cargas específicas. Los usos de esta aplicación son válidos en componentes rodantes en automoción, así como en múltiples componentes que deben soportar cargas.

Norma ASTM G99

Es un tipo de prueba estándar para realizar ensayos en un banco de pruebas, concretamente para realizar ensayos con un tribómetro de tipo “Pin-on-disk”, este ensayo permite conocer el desgaste de los materiales, además de determinar los coeficientes de fricción.

4 Características básicas de la máquina

El tribómetro, debe cumplir con todos los requisitos descritos anteriormente. A continuación, se nombrarán todos los componentes que tiene, además de explicar las funciones que tiene cada uno.

Para su correcto funcionamiento, el tribómetro ha de ser fabricado con los siguientes componentes:

- Pin: también conocido como perno, es el encargado de aplicar una fuerza sobre el disk para desgastar la probeta que se encuentre en este y así realizar el ensayo correctamente.
- Disk: también conocido como disco giratorio, es el encargado de sujetar las muestras de los distintos materiales para su posterior ensayo, además de mantener la probeta girando a diferentes revoluciones para que la superficie se desgaste de manera uniforme a lo largo del recorrido de la probeta.
- Servomotor: Es el componente que se encarga de hacer girar el disk a un número determinado de revoluciones para los ensayos, estas revoluciones oscilan entre 1 y 6000 rpm, en función del ensayo que se desee realizar.
- Motor paso a paso: Este componente nos permite desplazar la mesa principal hacia delante o hacia atrás, de este modo podemos posicionar el pin en el lugar de la muestra donde queremos realizar el desgaste.
- Célula de carga: es la encargada de medir de forma electrónica, la fuerza que se está ejerciendo sobre la probeta en todo momento, de esta forma se puede controlar la fuerza que se desea aplicar y las variaciones que pueda tener a lo largo del ensayo.
- Electroimán: Es el componente que se encarga de regular con precisión la fuerza ajustándola al valor necesario, según se excite el electroimán, este ejercerá mayor o menor fuerza sobre la palanca que sujeta el pin, de esta forma aumentaremos o reduciremos la fuerza a aplicar.

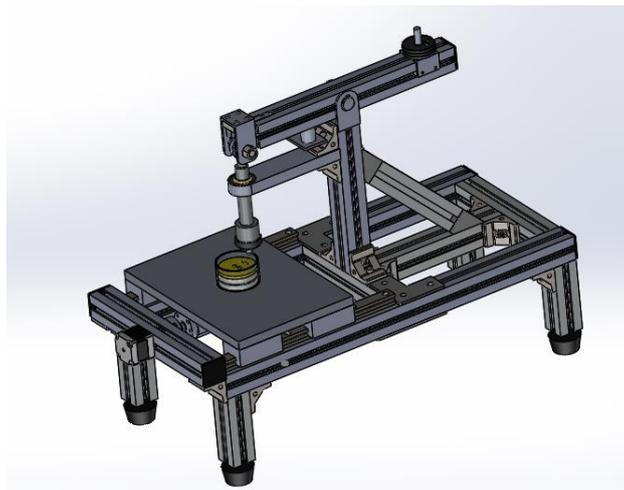


Ilustración 4 Vista general de la máquina

Seguridad de la máquina

El tribómetro se ha diseñado con la intención de proporcionar al cliente comodidad, para ejecutar los ensayos con facilidad, y además que permita realizarlos con la mayor seguridad posible.

En primer lugar, las dimensiones de la mesa de trabajo permiten amplia libertad de movimiento al operario de la máquina para que pueda realizar los ajustes necesarios sin necesidad de realizar cambios en la máquina.

Seguidamente en el cuadro de mandos de la máquina, se dispone de la marcha y el paro, situados a una distancia considerable que no pone en riesgo al operario en ningún momento y además el cuadro de mando dispone de la seta de emergencia. Dicho componente, esta accesible al operario, a una distancia relativamente corta y tiene una respuesta instantánea que realiza el paro general de la máquina y de todos los componentes electrónicos implicados, para evitar daños al operario. El sistema de la seta es mediante enclavamiento, un sistema mecánico de forma que para volver a restablecer la máquina es necesario que el propio operario realice el des enclavamiento.

4.1 Descripción general de la máquina

El tribómetro está diseñado en su conjunto, como instrumento de ensayo para la tribología. Este compuesto por una estructura sólida que le proporciona estabilidad a la hora de realizar los ensayos. Su función consiste en aplicar con el pin, una fuerza sobre una superficie circular al mismo tiempo que la probeta está girando a unas revoluciones determinadas, de este modo se ejerce una fricción del pin sobre el disco, como consecuencia de este contacto se produce un desgaste sobre la probeta. Todos los parámetros necesarios del ensayo se guardan de forma instantánea en un dispositivo electrónico con memoria, conocido como arduino, que es el encargado de registrar las velocidades de la probeta, la fuerza aplicada en todo momento, también controla el desplazamiento de la mesa y el coeficiente de fricción. Una vez finalizado se interpretan los resultados obtenidos.

Todo esto es capaz de realizarlo el tribómetro con su tamaño simple y compacto, tiene un ancho de 300 mm, una altura de 500 mm y una longitud de 630 mm, proporciones pequeñas que lo hacen un instrumento pequeño, pero a la vez potente y preciso. También es fácil de transportar pues, junto con sus excepcionales medidas, tiene un peso de unos 12 Kg. En conclusión, todo un juguete de laboratorio, capaz de resolver cualquier problema tribológico sin complicaciones.

4.2 Descripción de los subconjuntos de la máquina

En primer lugar, se encuentra la estructura de la máquina, una base sólida y estable que mantiene la máquina y todos sus componentes para que se puedan llevar a cabo los ensayos para los que está fabricado el tribómetro. Dicha estructura, está compuesta por perfiles de 40 mm de grosor, hechos de aleación de aluminio. Este material proporciona ligereza a toda la estructura de la máquina además de sus propiedades mecánicas, más que evidentes, para soportar las cargas que requiere la máquina. Esta estructura está ensamblada mediante escuadras de aluminio, que unen perfectamente cada parte y mantiene fijados todos los perfiles de forma adecuada.

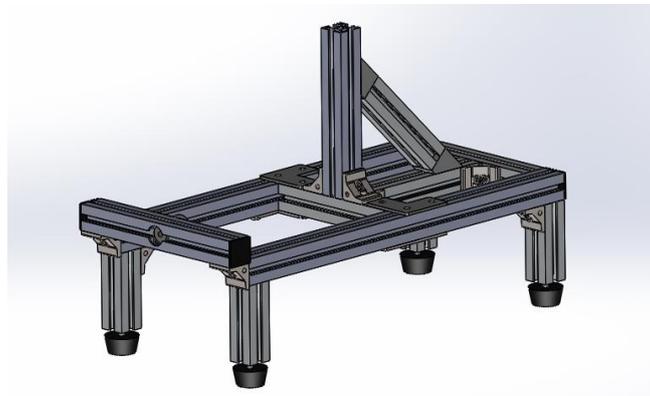


Ilustración 5 Estructura del tribómetro

Después de la estructura, se encuentra la mesa principal de ensayo, lugar donde se lleva a cabo el ensayo de desgaste. Es una de las partes más importantes de la máquina puesto que es donde se trabaja y donde se encuentran los materiales electrónicos.

La mesa principal, fabricada de aleación de aluminio es donde se realizan los ensayos, se sujeta mediante cuatro patines de deslizamiento, de esta forma la mesa tiene una sujeción fuerte y estable. Estos patines están sujetos a unas guías laterales que permiten el desplazamiento de la mesa en la dirección de la componente X, permitiendo el avance o retroceso de la mesa para poder trabajar cómodamente sobre la probeta. En el centro de la mesa se encuentra el disk, también llamado disco giratorio, que es el encargado de sujetar la probeta circular sobre la que se va a realizar el ensayo. El disk está fabricado en aleación de aluminio, que nos permite reducir el peso global del tribómetro.

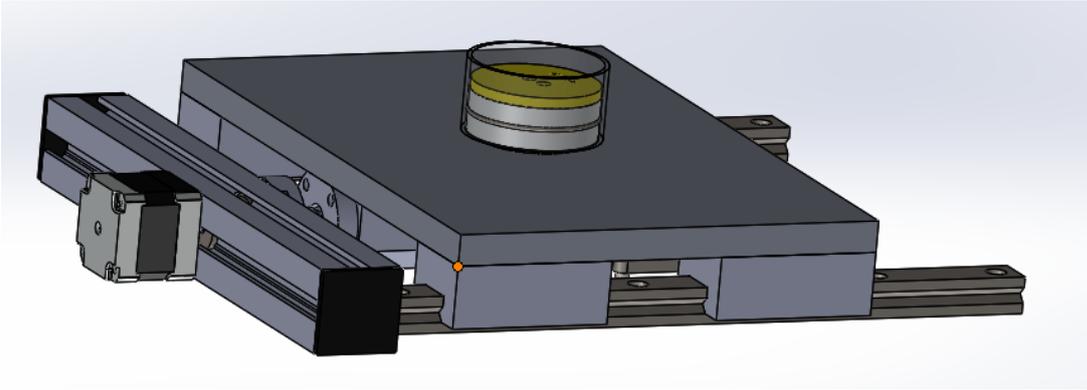


Ilustración 6 Mesa principal

En la parte electrónica, se encuentra el cerebro central para su correcto funcionamiento, este dispositivo es el arduino, un pequeño sistema de hardware y software, capaz de controlar diferentes sensores y dispositivos de movimiento con una resolución de alta calidad, además, dispone de micro-sd para guardar todos los datos disponibles y luego poder interpretar los resultados. El arduino además, tiene un software propio para su programación y puede trabajar con más de 200 componentes de la industria. Puede ser controlado mediante cables, wifi, bluetooth y con mando. Este ordenador diminuto es de bajo coste y un buen sustituyente de los autómatas.



Ilustración 7 Arduino Leonardo

Para el movimiento tanto del disk, como de la mesa, disponemos de dos motores:

- Servomotor: Motor encargado de hacer girar el pin a altas revoluciones para someter a la probeta a las condiciones tribológicas adecuadas. Ofrece un rango en torno a 5000 rpm, suficientes para realizar dicha tarea.



Ilustración 8 Servo motor BCH2

Este servomotor está controlado por un driver lexium 28, que se encarga de controlar todas las señales del motor, pulsos, velocidad, par y de mostrar a través de un software específico las gráficas de rendimiento:



Ilustración 9 Driver Lexium 28

- Motor paso a paso: un sencillo motor, que se encarga de desplazar la mesa de trabajo a través de un husillo de bolas. Permite girar a velocidades muy lentas, controladas y de forma precisa para que el desplazamiento de la mesa sea lo más preciso y silencioso.

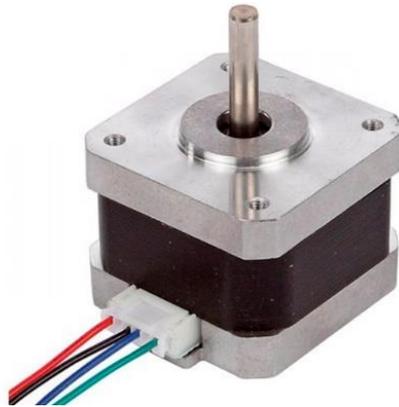


Ilustración 10 Motor paso a paso Nema 17

El motor paso a paso está controlado mediante un driver que recibe señales de arduino y le da la tensión necesaria, la siguiente imagen detalla las conexiones:

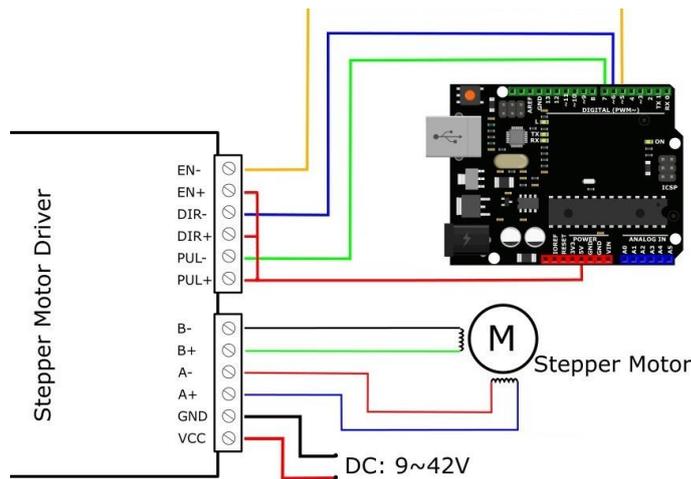


Ilustración 11 Conexiones paso a paso

Para realizar el movimiento del pin, tenemos el soporte de palanca, que se encarga de aplicar una carga sobre el pin, que este transmitirá al disk para desgastar la superficie de la probeta, se trata de una parte importante del tribómetro, pues ha de aplicar la fuerza lo más precisa posible y sin que existan variaciones, para ello se compone de un conjunto de elementos que lo hacen capaz.

En el extremo opuesto al pin se encuentra el contrapeso, una pequeña estructura preparada para insertar diferentes pesos, que permite realizar un efecto de balanza sobre el pin para restar fuerza si es necesario.

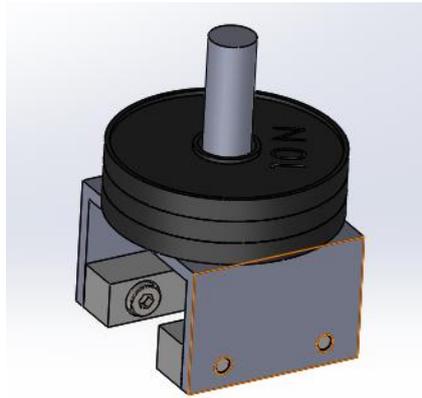


Ilustración 12 Contrapeso

Para registrar la fuerza aplicada sobre el disk, tenemos la célula de carga. La célula de carga mediante la flexión que registre, va dando una lectura de la fuerza para que el operario sepa en todo momento la carga existente durante el ensayo. Realizado en aleación de aluminio, capaz de medir una fuerza de hasta 100N.

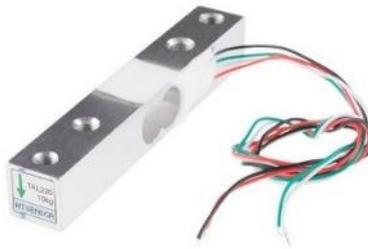


Ilustración 13 Célula de carga

Para su correcto funcionamiento, as continuación se detalla el esquema de conexiones para controlar la célula mediante arduino:



Ilustración 14 Esquema célula

Como se observa en el esquema anterior, se encuentra de color verde una célula HX711, un convertor analógico/digital de uso industrial.

Además, el tribómetro dispone de otro sistema de ajuste de la fuerza, el electroimán. Este componente se encarga de ajustar la fuerza a aplicar según la tensión eléctrica que reciba siempre regulada por un potenciómetro, cuanto más se excite la bobina, atraerá con más fuerza la palanca y en el sentido contrario debilitará su campo magnético. De este modo conseguimos dos objetivos a la vez; que ajuste con precisión la fuerza y además al estar en constante tensión evita que las posibles vibraciones del ensayo afecten a la variación de la carga.



Ilustración 15 Electroimán

Este electroimán va conectado a una fuente de alimentación de 12V, y a un potenciómetro para regular la fuerza con la que atrae el campo magnético:

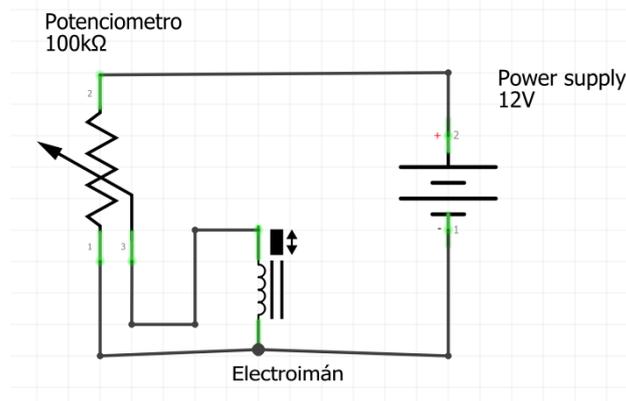


Ilustración 16 Conexión Electroimán

Para finalizar este proceso, existen dos elementos principales para ejecutar y soportar la fuerza que se le va a aplicar al disk:

- **Soporte del pin:** Es una estructura cilíndrica, fabricada en acero, preparada con diferentes acoples para sujetar el pin que ejerce la fuerza. Tiene la posibilidad de insertar varios diámetros de pines, que oscilan desde los 2 mm hasta 10 mm de diámetro. Es un elemento ligeramente más pesado que el resto puesto que se necesita firmeza y robustez en la ejecución del movimiento.



Ilustración 17 Soporte Pin

- Pin: es el elemento más importante del conjunto de la palanca, puesto que está en contacto directo con la probeta del disk, es el elemento que debe realizar el trabajo más pesado del ensayo y desgastar la superficie. Está fabricado en acero, ya que debe ser un material de mayor dureza que la probeta y se utiliza para diversos materiales ya sean metales o polímeros.

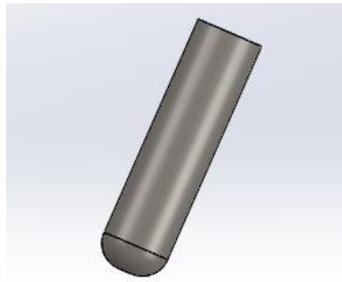


Ilustración 18 Pin

4.3 Descripción del funcionamiento de la máquina

En este apartado se describe detalladamente el funcionamiento del tribómetro a la hora de realizar el ensayo tribológico. El tribómetro ha de estar situado en una mesa de trabajo amplia y cómoda para trabajar.

Primero el técnico de laboratorio limpia bien la superficie del disk, donde se va a colocar la probeta, seguidamente coloca la probeta sobre el disk, fijándola a este para evitar deslizamiento. Una vez colocada la probeta, se debe colocar el pin a una distancia cercana al disk, de unos 10 mm y una vez este en ese punto, se variará la distancia de la mesa, para ajustar el pin a la posición de la probeta donde se desee aplicar la carga.

Una vez esté listo, se dejará caer sobre la probeta el pin, y una vez se coloque se empezará a medir la carga mediante la célula de carga, y mediante los instrumentos de precisión, con el electroimán y con el contrapeso, se aplicará la carga con exactitud.

Una vez todo preparado, se pondrá en marcha el servo que girará a las revoluciones indicadas dependiendo del ensayo y de los resultados que se quieran obtener. Una vez en marcha, mediante la monitorización del tribómetro se irán viendo los valores de coeficiente de fricción, velocidad de rotación y fuerza, para asegurar que el ensayo se está realizando correctamente.

Cuando el tiempo estimado para el ensayo de desgaste haya finalizado, se parará la máquina por completo y se interrumpirá la alimentación para evitar riesgos y que se alteren los datos una vez realizado el ensayo.

A continuación, se sacará la pieza ensayada del disk, para analizar la profundidad de desgaste, y los daños superficiales. Se verán los resultados obtenidos durante el ensayo y así posteriormente se realizará la interpretación de los datos, para ver el comportamiento del material a desgaste.

5 Cálculos justificativos

En este apartado, se muestran todos los cálculos de la máquina que se precisan para el correcto funcionamiento y justificando en cada caso, los valores y fórmulas para obtener los resultados:

5.1 Cálculo del Servomotor

Para el cálculo del servomotor, primero se necesita saber las características que se requieren para el ensayo:

-Fuerza sobre el disk:

$$F = 80\text{N}$$

-Velocidad de rotación en el ensayo:

$$V = 6000 \text{ rpm}$$

A partir de estos valores iniciales se obtienen la velocidad angular, el par y la potencia de nuestro motor, y calcular 3 velocidades periféricas en el disk, sobre las que se moverá el pin para trabajar:

-Velocidad angular:
$$\omega = \frac{V * \pi}{30} = \frac{6000 * \pi}{30} = 628,32 \text{ rad/s}$$

-Velocidad periférica r= 0,01m:
$$Vp = \omega * r = 628,32 * 0,01 = 6,28 \text{ m/s}$$

-Velocidad periférica r= 0,02m:
$$Vp = \omega * r = 628,32 * 0,02 = 12,56 \text{ m/s}$$

- Velocidad periférica r= 0,03m:
$$Vp = \omega * r = 628,32 * 0,03 = 18,85 \text{ m/s}$$

-Par para un coeficiente de fricción de 0,1:
$$T = (F * r) * \mu = (80 * 0,03) * 0,1 = 0,24 \text{ N}\cdot\text{m}$$

-Potencia:
$$P = T * \omega = 0,24 * 628,32 = 150,80 \text{ W} = 0,1508 \text{ kW}$$

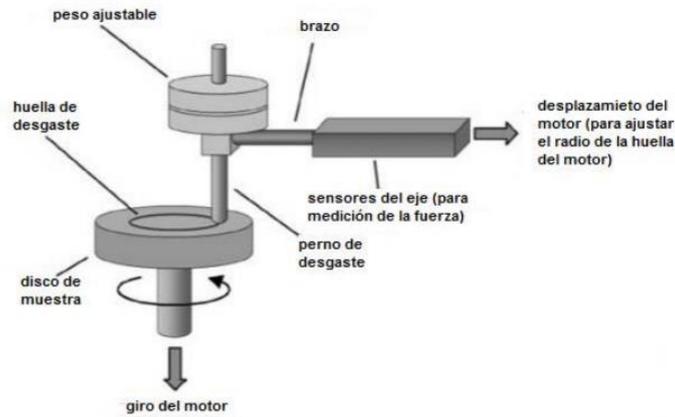


Ilustración 19 Mecanismo para el cálculo

5.2 Cálculo motor paso a paso

En este apartado se encuentra el cálculo para el motor paso a paso, que se encarga de mover la mesa del disk en ambos sentidos.

-Primero se introducen los valores iniciales mediante la siguiente tabla:

Fuerza (N)	80
Velocidad (m/s)	18,84
Husillo (mm)	16
Paso (mm)	5
Coef.fricción (μ)	0,03

Tabla 4 Valores para el cálculo

-Tangente de fi:
$$\tan \varphi = \frac{Ph}{\pi * Dpw} = 0,0995$$

-Rendimiento:
$$\eta_1 = \frac{1 - \mu * \tan \varphi}{1 + \frac{\mu}{\tan \varphi}} = 0,7660 = 76,6\%$$

-Par del motor:
$$T_L = \frac{F * Ph}{2 * \pi * \eta_1} = 0,083 \text{ N}\cdot\text{m}$$

-Velocidad del husillo: $\omega = \frac{2 \cdot v}{D_{pw}} = 2,355 \text{ rad/s} = 22,49 \text{ rpm}$

-Potencia del motor: $P_m = T_L \cdot \omega = 1,869 \text{ W}$

5.3 Cálculo transmisión por correa dentada

Este cálculo es para conseguir una velocidad deseada en el pin, como necesitamos 6000 rpm y nuestro servo solo llega hasta 3000 rpm, hemos decidido utilizar una transmisión por correa para multiplicar la velocidad de salida. Esta elección nos permite optimizar el espacio para colocar la transmisión además de ser una transmisión segura, silenciosa y sin apenas vibraciones. El cálculo se ha realizado mediante el software específico de KISSsoft:

- Se introducen los datos de servicio:

Potencia nominal	P_n	<input type="text" value="0.1507"/>	kW
Factor de aplicación de carga	f_1	<input type="text" value="1.1000"/>	

Ilustración 20 Potencia servicio

Velocidad accionamiento	n_1	<input type="text" value="3000.0000"/>	1/min	<input checked="" type="radio"/>
Velocidad salida	n_2	<input type="text" value="6000.0000"/>	1/min	<input type="radio"/>

Ilustración 21 Velocidades de la transmision

- Luego se ajustan los valores geométricos, para adecuar la transmisión al espacio disponible:

Tipo de correa	AT5mm-BRECOflex						
Correa número de dientes	z_2	<input type="text" value="45"/>		Transmisión	i	<input type="text" value="0.5000"/>	<input type="radio"/>
Ancho de correa	b	<input type="text" value="10.0000"/>	mm	Número de dientes	z_1	<input type="text" value="24"/>	<input type="radio"/>
Distancia entre centros	a	<input type="text" value="66.8196"/>	mm	Número de dientes	z_2	<input type="text" value="12"/>	<input checked="" type="radio"/>

Ilustración 22 Valores geométricos

- Por último, se obtiene los datos de los componentes de la transmisión:

- Correa AT5mm con un ancho de 10mm.
- Polea AT5 21 con 24 dientes.
- Polea AT5 21 con 12 dientes.
- Relación de transmisión: 1/2

-Una vez realizado el cálculo obtenemos los resultados del KISSsoft:

- Potencia de servicio: 0,1906 w
- Velocidad de la correa: 6 m/s
- Longitud de la correa: 225,06 mm

5.4 Simulación de la reacción del motor sobre la placa y lo patines

Se ha realizado el cálculo FEM, mediante ANSYS workbench 18.2 para determinar las reacciones en los patines de la mesa y determinar si soportaran los esfuerzos de la mesa, se ha realizado mediante el siguiente procedimiento:

Primero se exporta la mesa desde el solidworks para abrirla en el programa de simulación y verificar que no cambia ningún elemento.

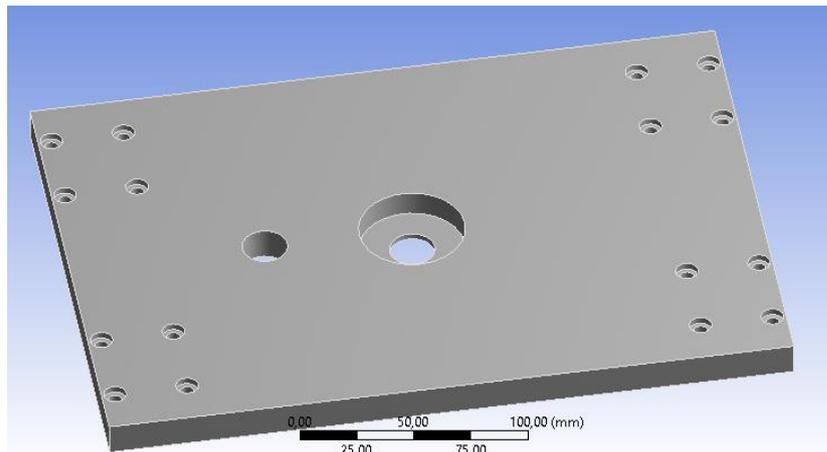


Ilustración 23 Geometría de la mesa

Una vez introducida la mesa, se procede a asignar el material que tiene la mesa, en este caso es de aleación de aluminio. Una vez introducido, se procede a generar la malla y corregirla de tal forma que se asemeje a la geometría del modelo.

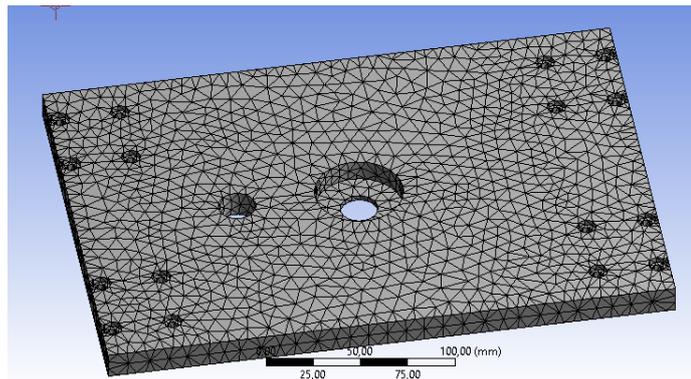


Ilustración 24 Maya del modelo

El programa nos muestra que la malla tiene 30434 elementos y que la calidad promedio es de 0,7238, por tanto, es correcto el mallado y como se ve en la figura, está realizado de forma homogénea.

A continuación, se añaden las restricciones que sean necesarias, en este caso se introducirá un fixed support en los agujeros de los patines. Se deben poner fixed support en todos los patines de forma individual, para así determinar con exactitud la fuerzas y momentos que actúan sobre los mismos.

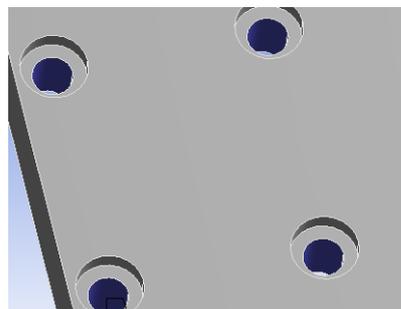


Ilustración 25 Fixed support en los patines

Después, se procede a poner las cargas que actúan sobre la mesa. En el caso de la mesa, se introducirá la fuerza generada sobre el motor.



Ilustración 26 Remote force motor

Por último, se introducen los valores que queremos que nos muestre el cálculo, queremos saber la tensión equivalente de Von Mises, la deformación total que sufre la mesa a causa de las cargas, el coeficiente de seguridad y las fuerzas y momentos que actúan sobre los patines, para determinar si soportaran o no las cargas.

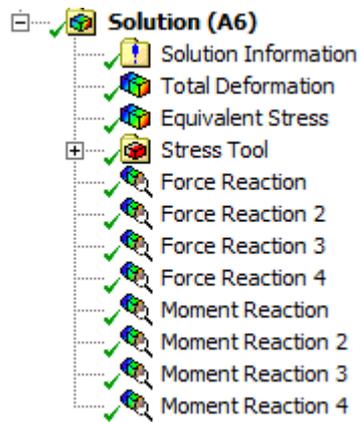


Ilustración 27 Solución del ANSYS

Se ejecuta el cálculo, y posteriormente se interpretan los resultados. Primero se debe comprobar la tensión equivalente:

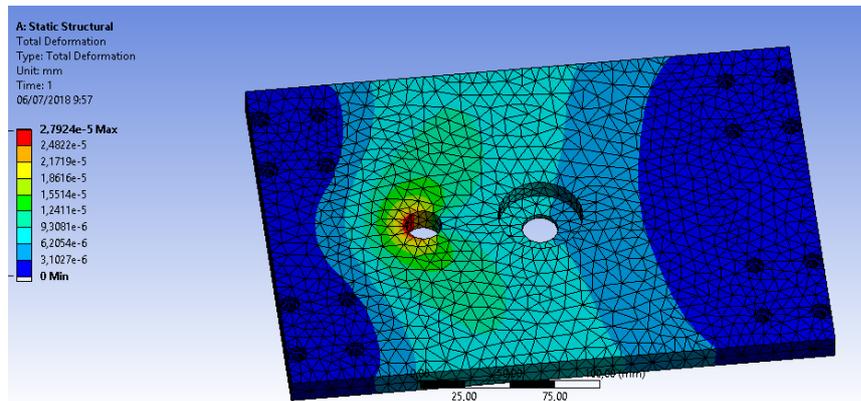


Ilustración 28 Deformación de la mesa

Como se muestra en la figura, la deformación es de una magnitud muy pequeña, por tanto, se puede determinar que las cargas no suponen un problema a la mesa, por tanto, esta soportara bien los esfuerzos.

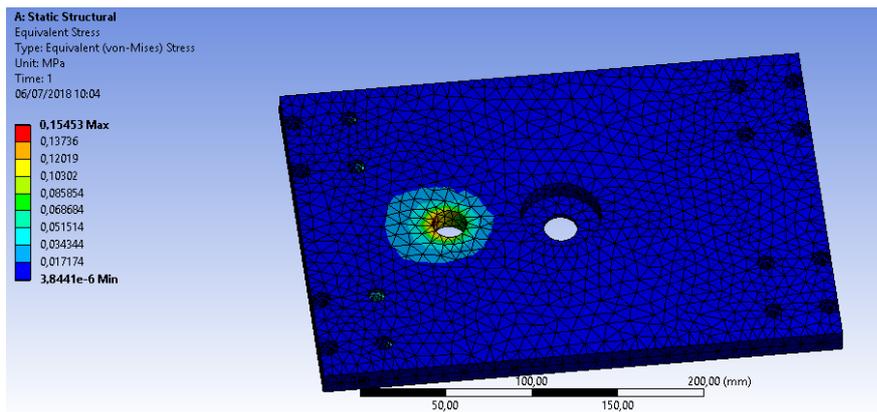


Ilustración 29 Tensión equivalente de Von Mises

En cuanto a la tensión sucede lo mismo, el valor máximo es de 0,1545 Mpa y genera tensiones en la zona de motor, pero no suponen ningún problema para la mesa, puesto que soporta cargas mayores.

El siguiente paso es comprobar las fuerzas y momentos que se generan en los patines, si se observa con detenimiento, en la figura se puede ver que sufrirán más los patines que están próximos al motor que los más alejados. Primero se verifica las características de los patines para ver lo que soportan:

Static load rating C_0 [N]	Dynamic moment [Nm]			Static moment [Nm]		
	M_x	M_y	M_z	M_{Ox}	M_{Oy}	M_{Oz}
16110	99	61	61	130	80	80

Ilustración 30 Propiedades mecánicas patín 20mm

Ahora se observan los resultados de los patines y se verifica que soportaran bien las cargas:

<input type="checkbox"/> X Axis	9,4255 N·mm
<input type="checkbox"/> Y Axis	-0,57815 N·mm
<input type="checkbox"/> Z Axis	133,04 N·mm
<input type="checkbox"/> Total	133,38 N·mm

Ilustración 31 Momentos patín 1

<input type="checkbox"/> X Axis	1,5967 N·mm
<input type="checkbox"/> Y Axis	2,8373 N·mm
<input type="checkbox"/> Z Axis	-43,597 N·mm
<input type="checkbox"/> Total	43,718 N·mm

Ilustración 32 Momentos patín 2

Como se observa en los patines, el 1 y el 3 que están más próximos al motor, son los que sufrirán mayores esfuerzos, mientras que los patines 2 y 4 apenas les genera momento la carga.

Como conclusión de este cálculo se puede determinar que la mesa, no sufrirá ninguna deformación a causa del motor y que los patines soportan perfectamente las cargas.

5.5 Simulación del empuje del husillo sobre la mesa

En este apartado se realiza el cálculo con el software ANSYS workbench 18.2, para determinar si soporta las cargas debidas al husillo que se encarga de mover la mesa para ensayos tribológicos.

Primero se exporta la mesa desde el Solidworks para abrirla en el programa de simulación y verificar que no cambia ningún elemento.

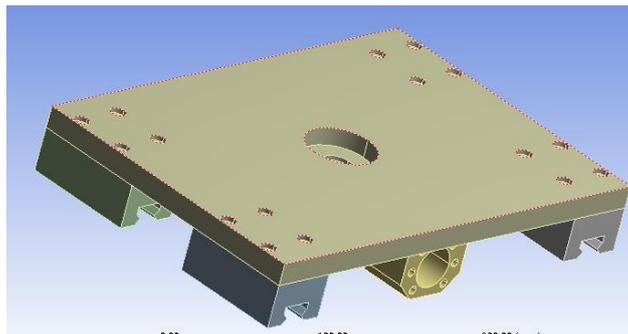


Ilustración 33 Geometría de la pieza

Una vez introducida la mesa, se procede a asignar el material que tiene la pieza, en este caso es de aleación de aluminio. Una vez introducido, se procede a generar la malla y corregirla de tal forma que se asemeje a la geometría del modelo.

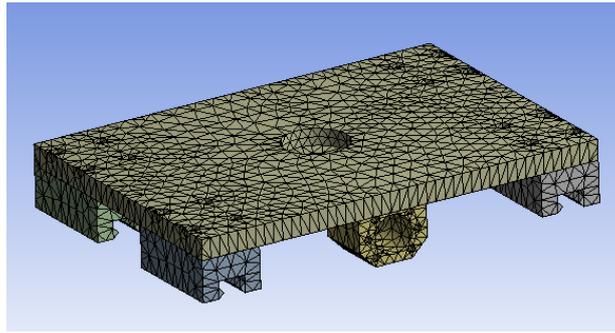


Ilustración 34 Mayado de la pieza

El programa nos muestra que la malla tiene 36824 elementos y que la calidad promedio es de 0,6915, por tanto, es correcto el mayado y como se ve en la figura, está realizado de forma homogénea.

A continuación, se añaden las restricciones que sean necesarias, en este caso se introducirá un fixed support en las guías de los patines. Así, se restringe el movimiento para ver la reacción sobre la mesa.

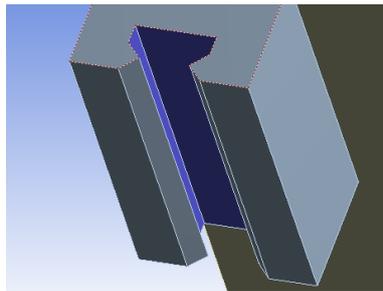


Ilustración 35 Fixed support sobre el patín

Una vez introducida la restricción, se introduce la carga, en este caso una fuerza que ejerce el husillo sobre la mesa. La fuerza es de 80N que es la máxima fuerza que se puede ejercer sobre el husillo para desplazar la mesa cuando este está trabajando.

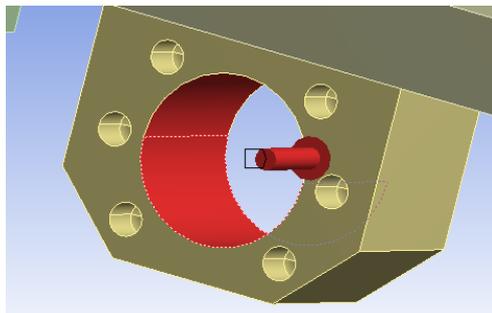


Ilustración 36 Fuerza sobre el husillo

Seguidamente se muestran las soluciones introducidas, la tensión equivalente de Von Mises, la deformación total de la mesa y el coeficiente de seguridad.

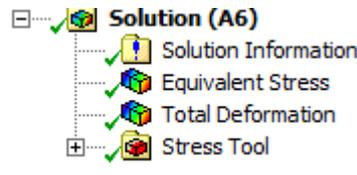


Ilustración 37 Soluciones de cálculo

Ahora se ejecuta el cálculo y se observan los resultados para ver lo que ocurre.

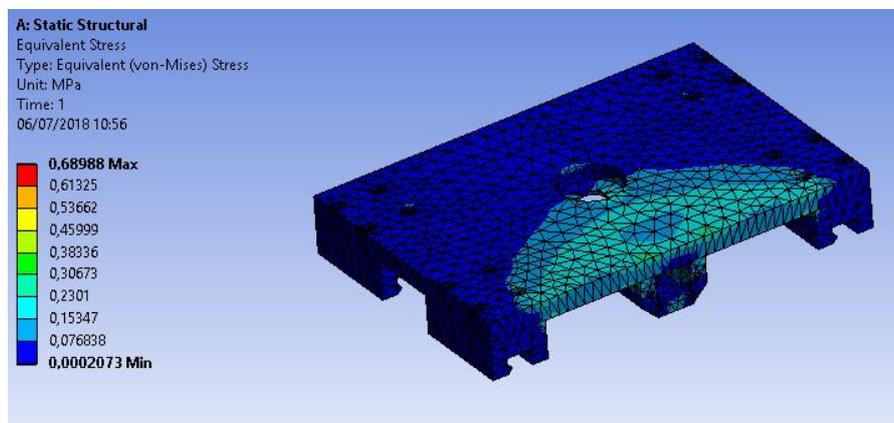


Ilustración 38 Tensión equivalente Von Mises

Como se muestra la tensión equivalente es de 0,68988 Mpa y no se observa ninguna zona crítica y se puede concluir que no supone ningún problema para la mesa.

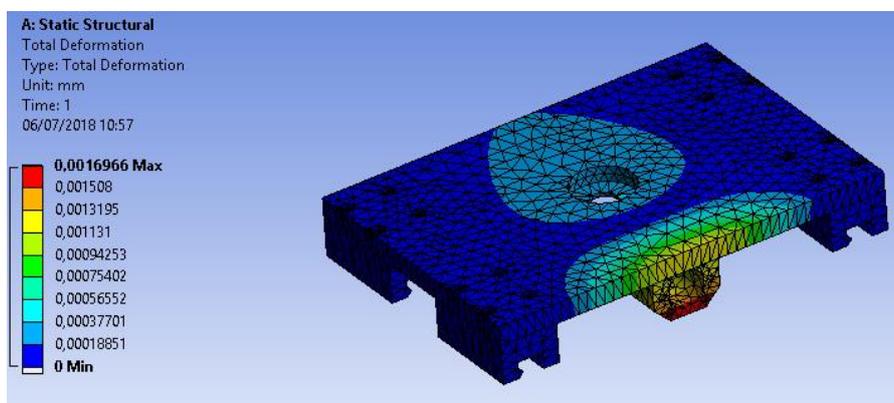


Ilustración 39 Deformación en la mesa

De la misma forma se observa que la deformación en la zona del husillo es de 0,0017 mm y que no supone ninguna variación en la pieza.

Se puede concluir en este cálculo de elementos finitos que las piezas analizadas que más cargas deben soportar, están bien dimensionadas y preparadas para soportar el trabajo del husillo y del motor si sufrir esfuerzos altos ni que estos provoquen daños a las piezas.

6 Presupuesto

MATERIAL			
Cantidad	Descripción	precio/Unid	Subtotal
1	Magnetotérmico GV2M14	74,62	74,62 €
1	Caja metálica 400x400x200 mm	90,00	90,00 €
1	Placa de montaje 400x400 mm	17,25	17,25 €
1	Fuente de alimentación 12V 1A	14,00	14,00 €
2	Rodamientos SKF 30204 J2/Q	10,15	20,29 €
1	Rodamiento SKF W 63800	16,60	16,60 €
1	Polea AT5 12 OPTIBELT	2,45	2,45 €
1	Polea AT5 24 OPTIBELT	3,86	3,86 €
1	Correa 10 AT5 225 OPTIBELT	7,40	7,40 €
1	Rotula IGUS KGLM-20	16,60	16,60 €
1	Rotula IGUS KARM-14	14,69	14,69 €
10	Tapón remate perfil 40x40	1,11	11,10 €
50	Tuerca 1 series 40 M8	1,056	52,80 €
2	Placa en ángulo 03	3,21	6,42 €
2	Placa en T 03	3,89	7,78 €
20	Escuadra E40	3,52	70,40 €
2	Nudo 45°	8,16	16,32 €
4	Silemblock	9,15	36,60 €
4	Perfil 120 mm series 40	15,03	60,12 €
2	Perfil 640 mm series 40	15,03	30,06 €
1	Perfil 300 mm series 40	15,03	15,03 €
2	Perfil 220 mm series 40	15,03	30,06 €
1	Perfil 240 mm series 40	15,03	15,03 €
1	Perfil 360 mm series 40	15,03	15,03 €
1	Perfil 250 mm series 40	15,03	15,03 €
1	Perfil 190 mm series 40	15,03	15,03 €
1	Servomotor Schneider BCH2 200W	525,35	525,35 €
1	Driver servomotor Lexium 28 Schneider	205,36	205,36 €
1	Motor paso a paso nema 17	25	25,00 €
1	Microstep paso a paso nema 17	35	35,00 €
1	Fuente de alimentación 24V 5A	32	32,00 €
1	Arduino Leonardo	22,45	22,45 €
1	Modulo I/O VW3M1C13	63	63,00 €
1	Cables conexión modbus, serie, corriente	25	25,00 €
1	electroimán 10 kg	9,95	9,95 €
1	Célula de carga 100N	3,56	3,56 €
1	Celula HX711 conversor	1,15	1,15 €
1	Material aluminio para mecanizado	90	90,00 €
1	Tornilleria para montaje	17	17,00 €
		TOTAL	1.729,39 €

Mano de obra			
Desarrollo	€/hora	Horas	Subtotal
Montaje tribómetro	20,00 €	15	300,00 €
Mecanizado de piezas	30,00 €	48	1.440,00 €
		Total	1.740,00 €

Oficina Técnica			
Desarrollo	Horas	Subtotal	
Diseño del modelo 3D	26	910,00 €	
Simulación	4	120,00 €	
Redacción de proyecto	150	3.000,00 €	
		Total	4.030,00 €

TOTAL PROYECTO	7.709,39 €
-----------------------	-------------------

7 Planos

7.2 Índice de planos

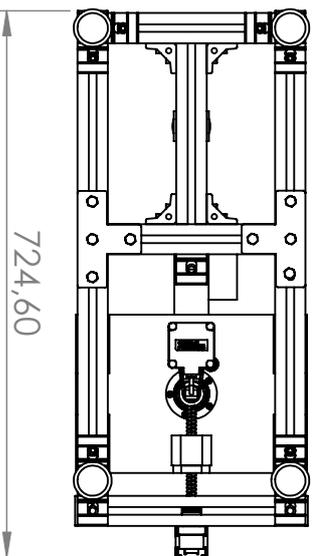
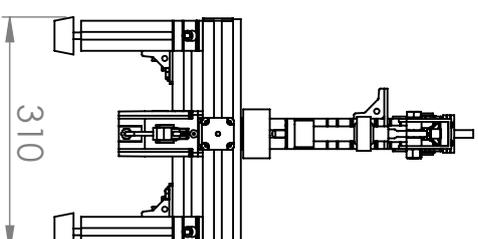
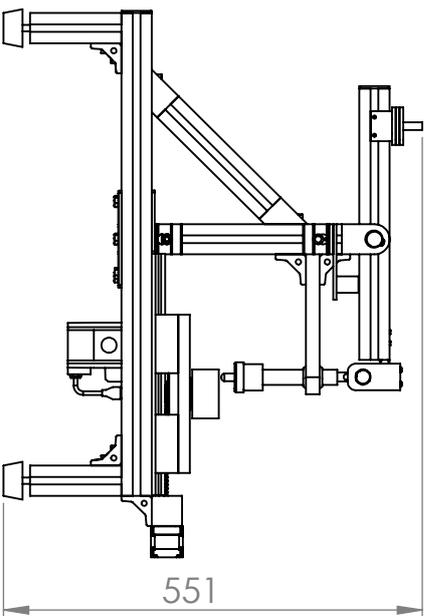
1. Planos de conjunto:
 - Conjunto máquina.
 - Vista Explosionada.

2. Planos de despiece:
 - Mesa del disk.
 - Platina.
 - Conexión compensador.
 - Casquillo rótula.
 - Eje del disco.
 - Equilibrio trasero.
 - Cubre motor.
 - Nylon.
 - Soporte rótula.
 - Disk.
 - Pasador compensador.
 - Soporte rótula pin.
 - Acetal.
 - Pin.
 - Peso.
 - Platina intermedia.

3. Esquemas eléctricos:
 - Esquema cuadro tribómetro.
 - Esquema célula de carga.
 - Esquema paso a paso.
 - Esquema servomotor.

7.3 Planos de conjunto

6 5 4 3 2 1



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA
CAMPUS D'ALCOI

Unidades: mm
Material: Aluminio
Referencia CAD: Solidworks

Acabado:
Edición:
Escala: 1/10
Hoja: 1/2

Elemento: Cantidad:

Nombre de la pieza:

Descripción:

1

1

Conjunto de la máquina

Plano de Conjunto

Diseñado por:

Revisado por:

Aprobado por:

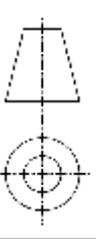
Fecha:

Teodoro, David

Teodoro, David

Teodoro, David

08/07/2018



6 5 4 3 2 1

A

B

C

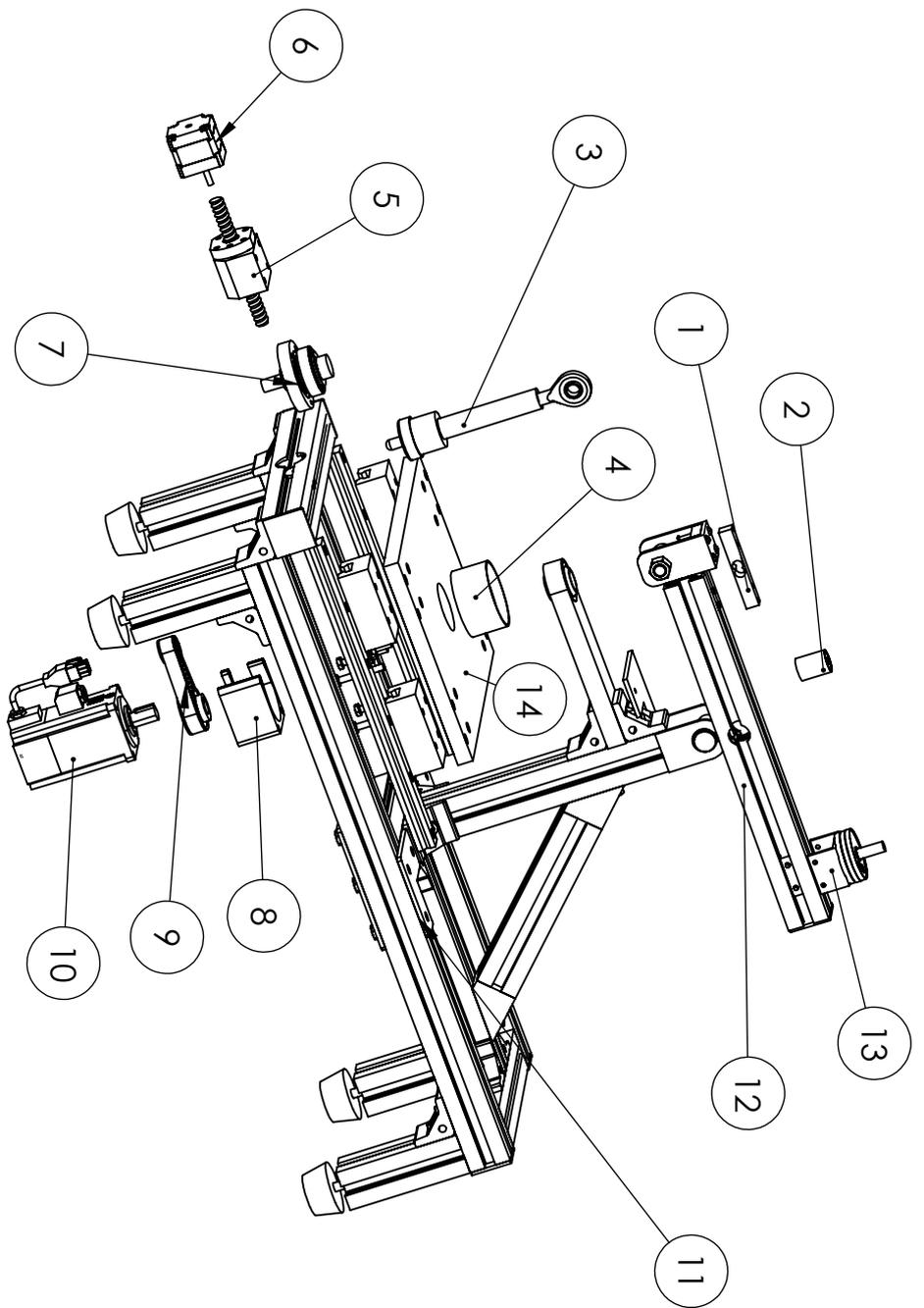
D

A

B

C

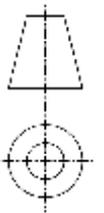
D



N.º de Conjunto	Descripción
1	Célula de carga
2	Electroimán
3	Conjunto Pin (soporte, pin y rótula)
4	Conjunto del disk (disco, probeta y protección)
5	Husillo de bolas movimiento de la mesa
6	Motor paso a paso Nema 17
7	Eje y rodamientos del disk
8	Cubre transmisión
9	Transmisión correa dentada
10	Servomotor Schneider
11	Estructura del tribómetro
12	Estructura compensador de fuerza
13	Soporte para poner peso
14	Mesa del disk

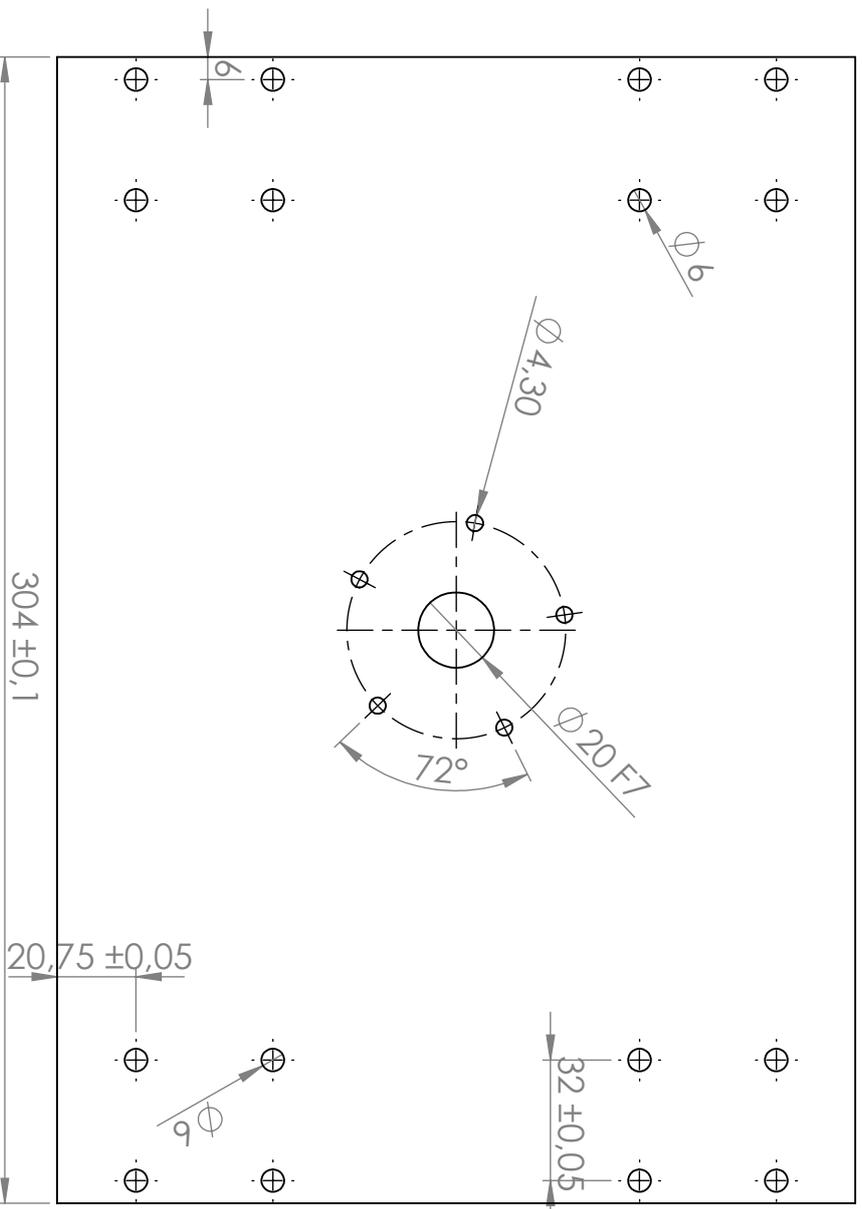

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
CAMPUS D'ALCOI

Unidades:	mm	Material:	Aluminio	Acabado:	Escala:
Referencia CAD:	Solidworks	Nombre de la pieza:	Vista explosionada	Edición:	Hoja:
Elemento:	Cantidad:	1	1	Descripción:	2/2
Diseñado por:	Revisado por:	Aprobado por:	Fecha:	Plano de conjunto	

Teodoro, David	Teodoro, David	Teodoro, David	08/07/2018	
----------------	----------------	----------------	------------	---

7.3 Planos de despiece

6 5 4 3 2 1



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA
CAMPUS D'ALCOI

Unidades: mm
Material: Aluminio
Referencia CAD: Solidworks

Acabado:
Edición:
Escala: 1:2
Hoja: 1/16

Elemento: Cantidad:

Nombre de la pieza: Mesa del Disk

Descripción: Plano de la pieza

1 1

Diseñado por:

Revisado por:

Aprobado por:

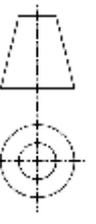
Fecha:

Teodoro, David

Teodoro, David

Teodoro, David

08/07/2018



6 5 4 3 2 1

A

B

C

D

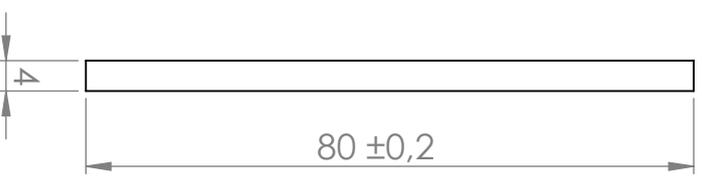
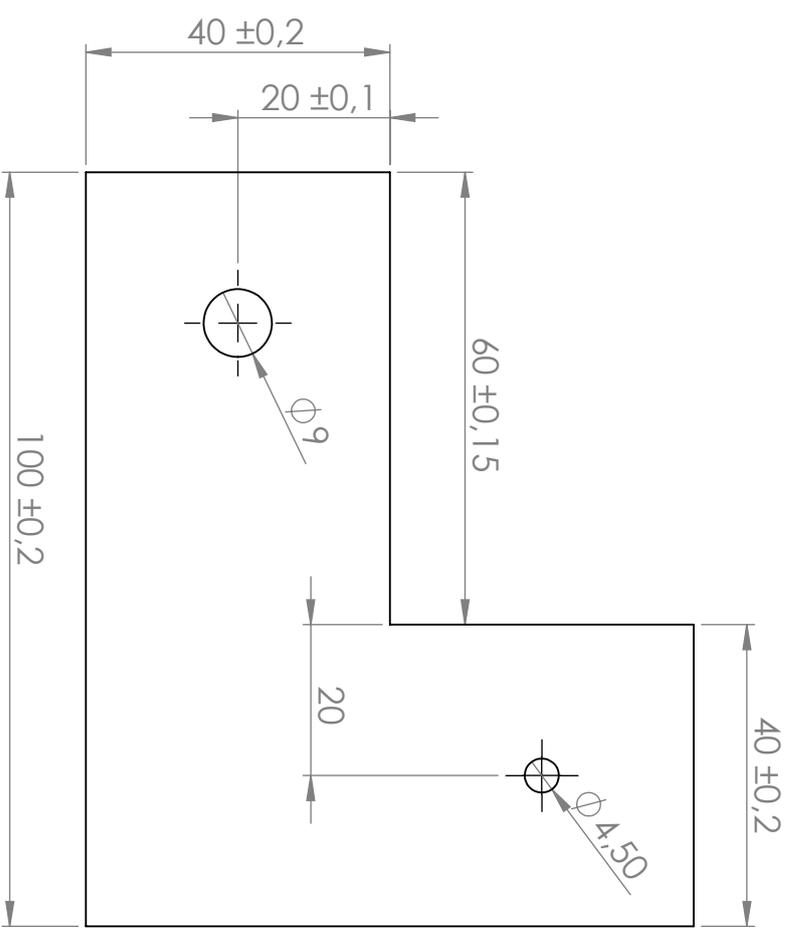
A

B

C

D

6 5 4 3 2 1



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA
CAMPUS D'ALCOI

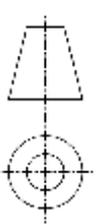
Unidades: mm
Material: Aluminio
Referencia CAD: Solidworks

Acabado:
Edición:
Escala: 1:2
Hoja: 2/16

Elemento: Cantidad: Nombre de la pieza: Descripción:

1 1 Platina electroimán Plano de la pieza

Diseñado por: Teodoro, David
Revisado por: Teodoro, David
Aprobado por: Teodoro, David
Fecha: 08/07/2018



A

B

C

D

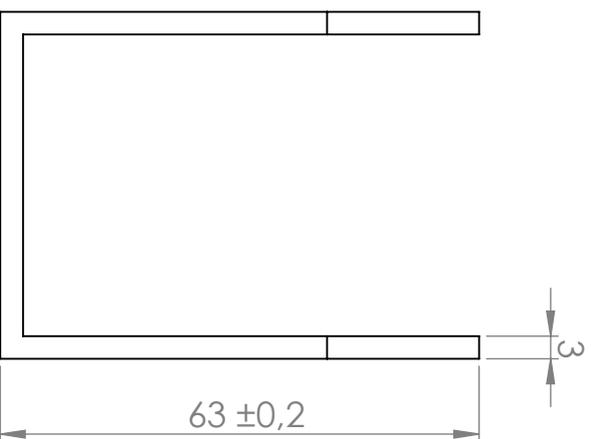
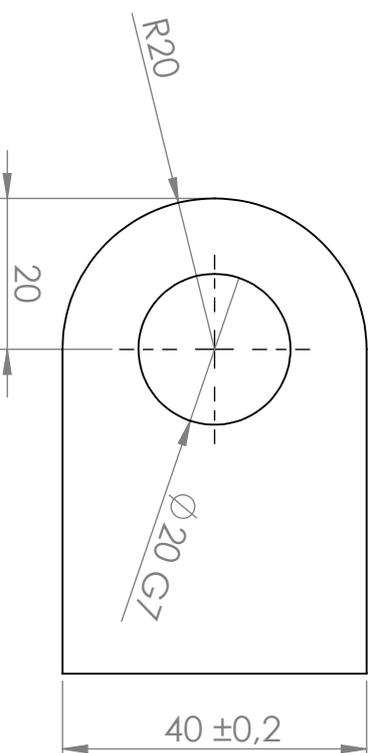
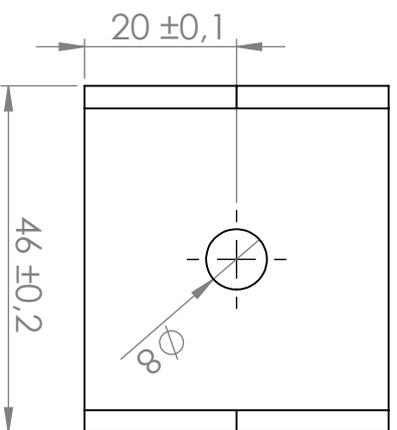
A

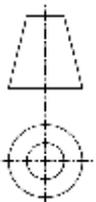
B

C

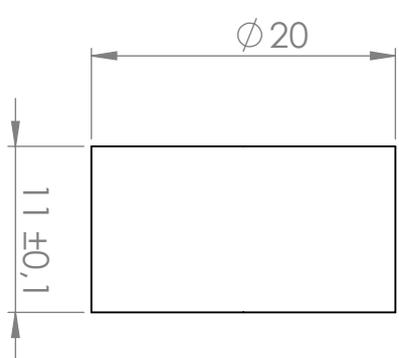
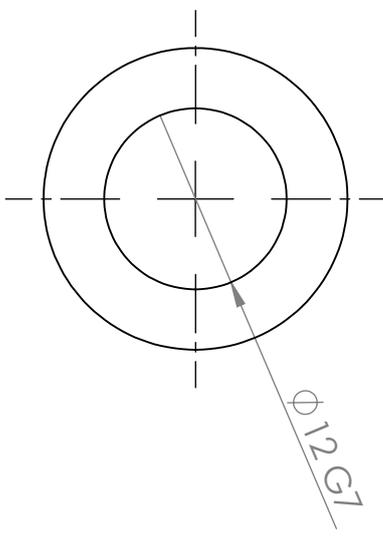
D

6 5 4 3 2 1



 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI		Unidades: mm	Material: Aluminio	Acabado:	Escala: 1:2
Elemento:	Cantidad:	Referencia CAD:	Nombre de la pieza:	Edición:	Hoja: 3/16
1	1	Conexión compensador	Descripción:	Plano de la pieza	
Diseñado por: Teodoro, David	Revisado por: Teodoro, David	Aprobado por: Teodoro, David	Fecha: 08/07/2018		

6 5 4 3 2 1



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA
CAMPUS D'ALCOI

Unidades: mm
Material: Aluminio

Acabado:
Escala: 1:2

Referencia CAD: Solidworks

Edición:
Hoja: 4/16

Elemento: Cantidad:

Nombre de la pieza: Casquillo rótula

Descripción: Plano de la pieza

1 2

Diseñado por:

Revisado por:

Aprobado por:

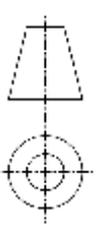
Fecha:

Teodoro, David

Teodoro, David

Teodoro, David

08/07/2018



6 5 4 3 2 1

A

B

C

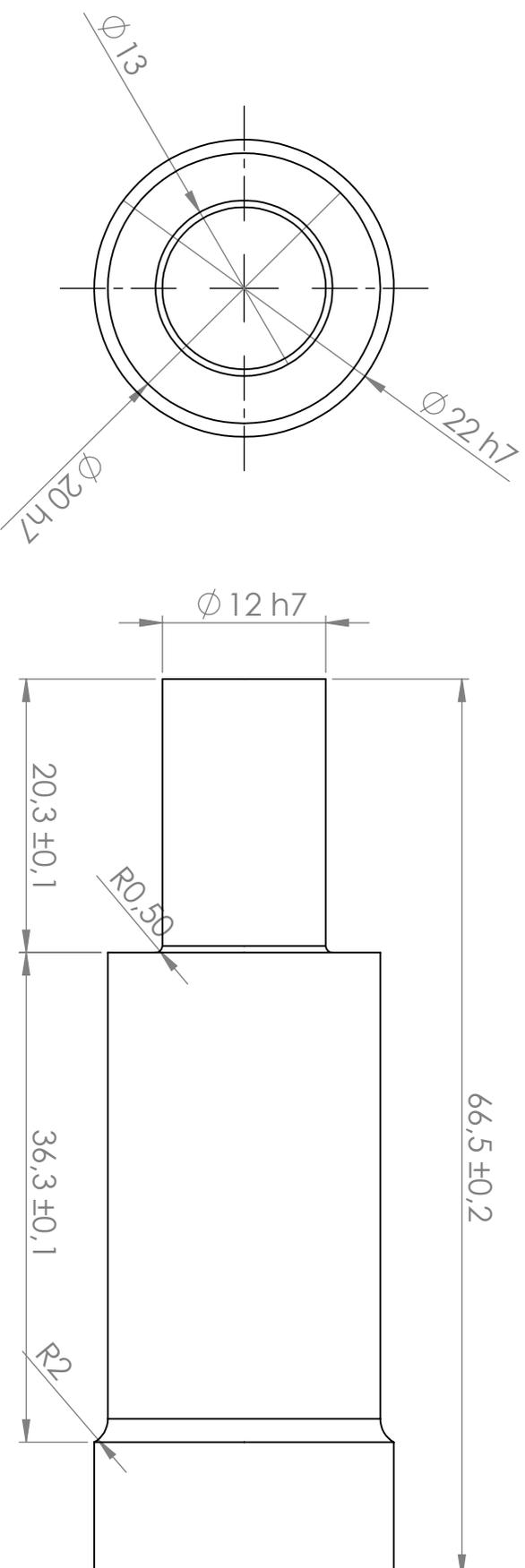
D

A

B

C

D



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA
CAMPUS D'ALCOI

Unidades: mm
Material: Aluminio

Referencia CAD: Solidworks
Acabado:

Edición: Hoja: 5/16

Elemento: Cantidad: 5 1
Nombre de la pieza: Eje del disk

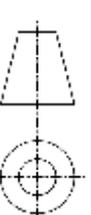
Descripción: Plano de la pieza

Diseñado por:
Teodoro, David

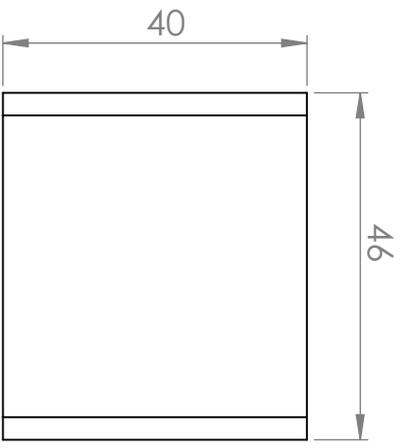
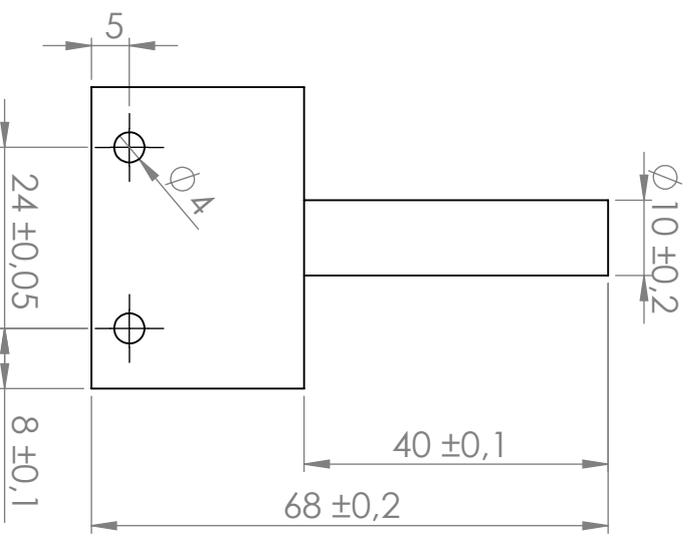
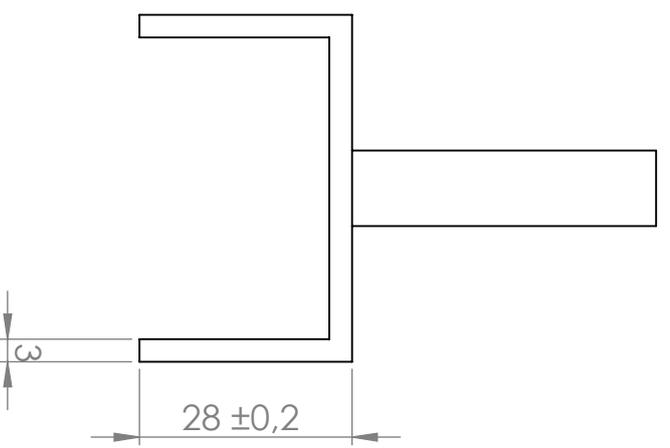
Revisado por:
Teodoro, David

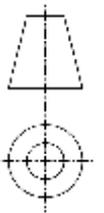
Aprobado por:
Teodoro, David

Fecha:
08/07/2018



6 5 4 3 2 1



 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI		Unidades: mm	Material: Aluminio	Acabado:	Escala: 1:1
Elemento: Cantidad:	6 1	Referencia CAD: Solidworks	Nombre de la pieza: Equilibrio trasero	Edición:	Hoja: 6/16
Descripción: Plano de la pieza					
Diseñado por: Teodoro, David	Revisado por: Teodoro, David	Aprobado por: Teodoro, David	Fecha: 08/07/2018		

6 5 4 3 2 1

A

B

C

D

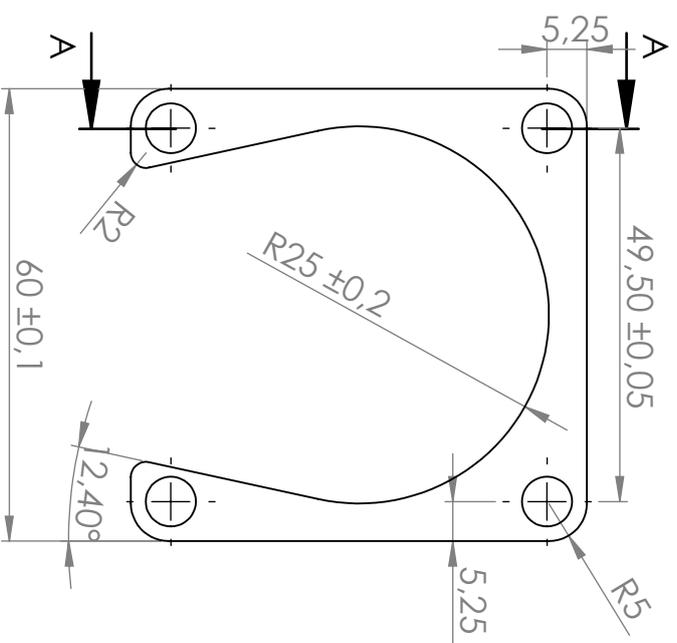
A

B

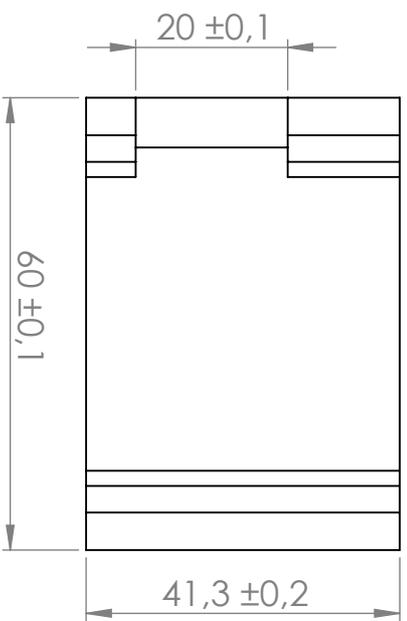
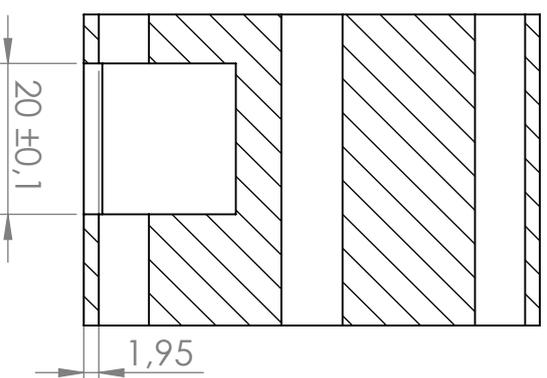
C

D

6 5 4 3 2 1



SECCIÓN A-A



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

Elemento: Cantidad:

7

1

Nombre de la pieza:

Cubre motor

Descripción:

Plano de la pieza

Unidades:

mm

Material:

Aluminio

Acabado:

Escala:

1:1

Referencia CAD:

Solidworks

Edición:

Hoja:

7/16

Diseñado por:

Teodoro, David

Revisado por:

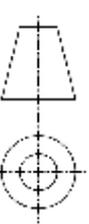
Teodoro, David

Aprobado por:

Teodoro, David

Fecha:

08/07/2018



A

B

C

D

A

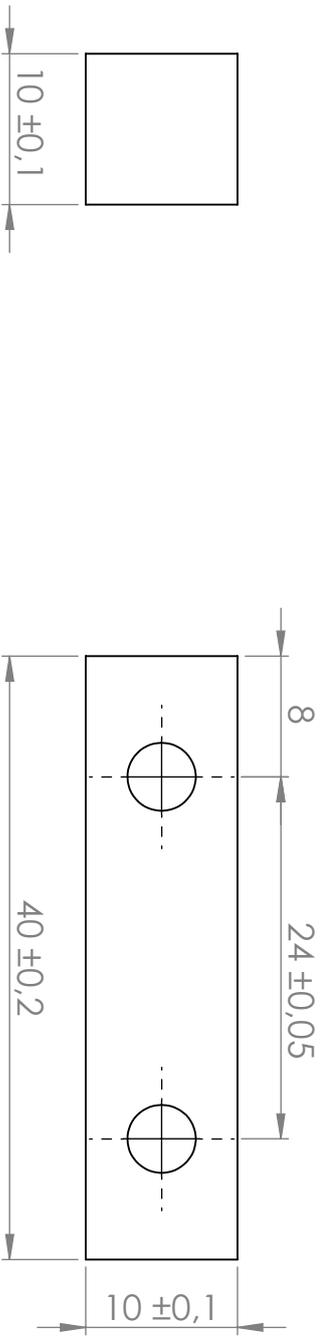
B

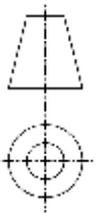
C

D

6 5 4 3 2 1

6 5 4 3 2 1



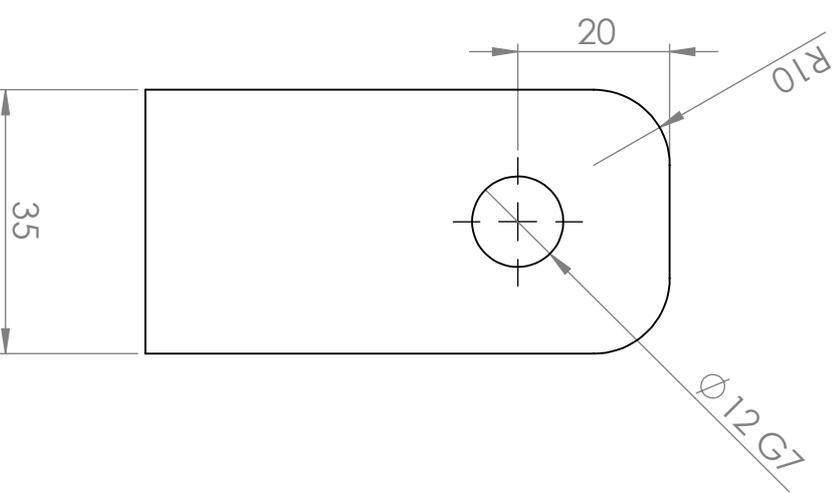
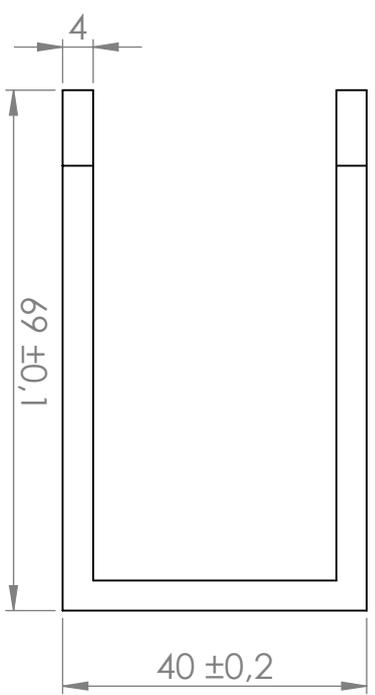
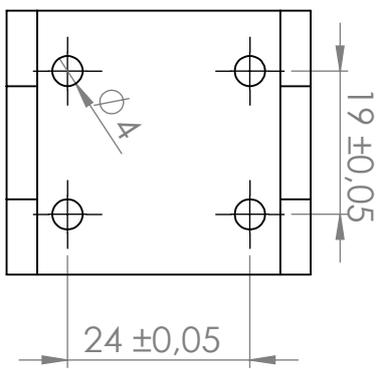
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI		Unidades: mm	Material: Nylon	Acabado:	Escala: 2:1
Referencia CAD: Solidworks	Nombre de la pieza: Nylon equilibrio trasero	Referencia CAD: Solidworks	Edición:	Hoja: 8/16	
Elemento: Cantidad: 8 1					Descripción: Plano de la pieza
Diseñado por: Teodoro, David	Revisado por: Teodoro, David	Aprobado por: Teodoro, David	Fecha: 08/07/2018		

6 5 4 3 2 1

D C B A

D C B A

6 5 4 3 2 1



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA
CAMPUS D'ALCOI

Unidades: mm
Material: Aluminio
Referencia CAD: Solidworks

Acabado:
Edición:
Escala: 1:1
Hoja: 9/16

Elemento: Cantidad: Nombre de la pieza:

9 1 Soporte Rótula

Descripción:

Plano de la pieza

Diseñado por:

Teodoro, David

Revisado por:

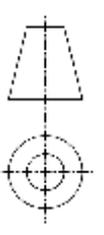
Teodoro, David

Aprobado por:

Teodoro, David

Fecha:

08/07/2018



A

B

C

D

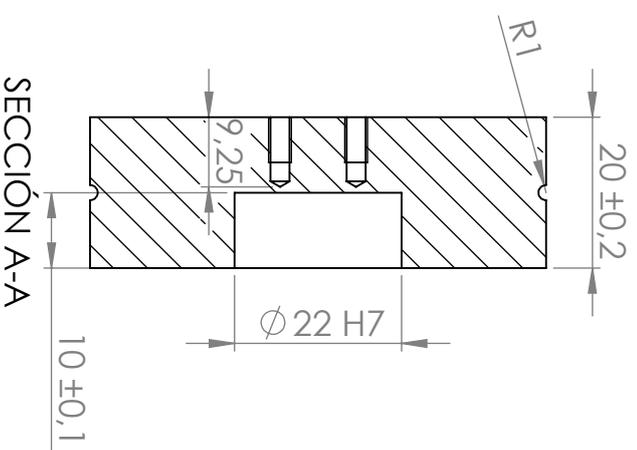
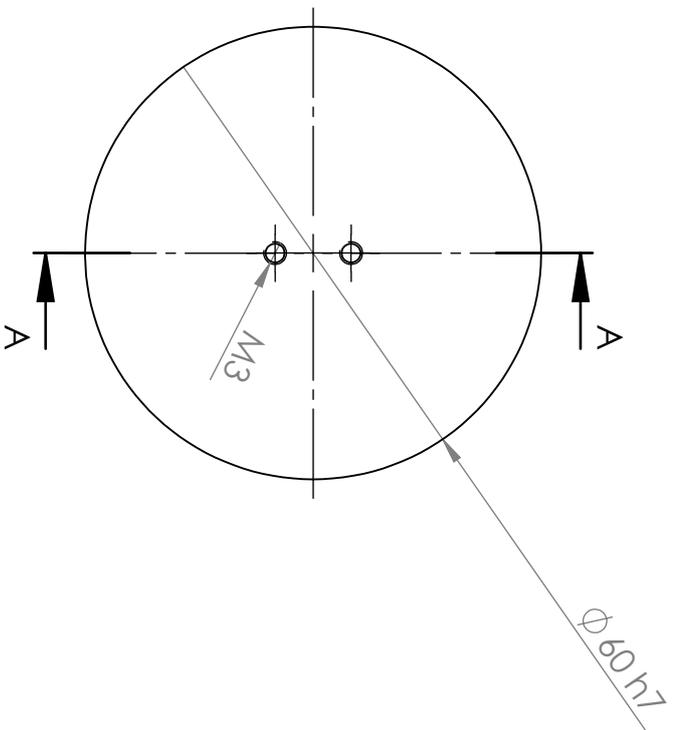
A

B

C

D

6 5 4 3 2 1



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

Elemento: Cantidad:

10 1

Nombre de la pieza:

Disk

Descripción:

Plano de la pieza

Unidades:

mm

Material:

Aluminio

Acabado:

Escala:

1:1

Referencia CAD:

Solidworks

Edición:

Hoja: 10/16

Diseñado por:

Teodoro, David

Revisado por:

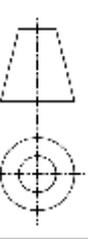
Teodoro, David

Aprobado por:

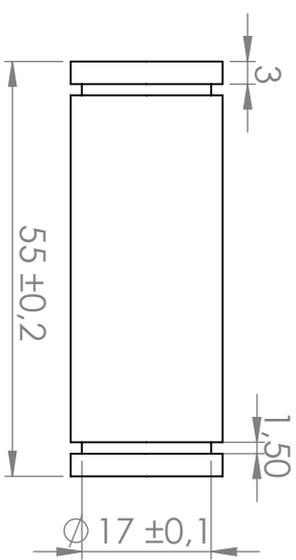
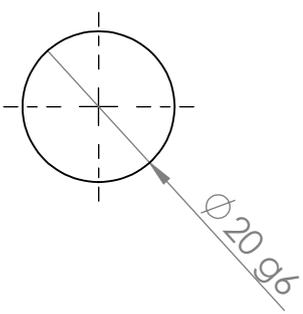
Teodoro, David

Fecha:

08/07/2018



6 5 4 3 2 1



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA
CAMPUS D'ALCOI

Unidades:	mm	Material:	Aluminio	Acabado:	Escales:
Referencia CAD:	Solidworks	Edición:	Hoja:	11/16	1:1
Nombre de la pieza:	Pasador compensador		Descripción:		
Elemento:	Cantidad:	Plano de la pieza			
11	1				

Diseñado por:	Revisado por:	Aprobado por:	Fecha:	
Teodoro, David	Teodoro, David	Teodoro, David	08/07/2018	

6 5 4 3 2 1

A

B

C

D

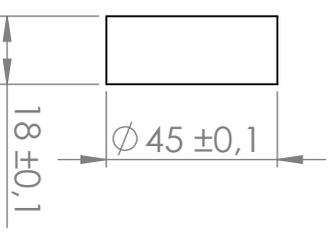
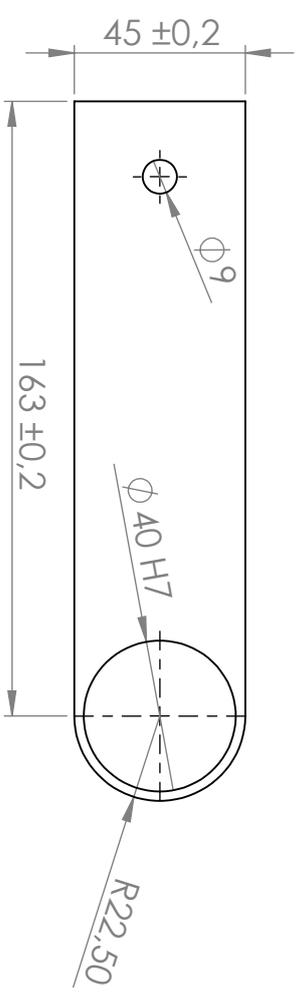
A

B

C

D

6 5 4 3 2 1



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA
CAMPUS D'ALCOI

Unidades: mm
Material: Aluminio

Referencia CAD: Solidworks

Nombre de la pieza: Soporte rótula pin

Elemento: Cantidad: 12 1

Diseñado por: Teodoro, David

Revisado por: Teodoro, David

Aprobado por: Teodoro, David

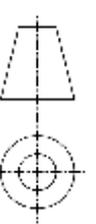
Acabado:
Edición:
Escala: 1:2

Hoja: 12/16

Descripción:

Plano de la pieza

Fecha: 08/07/2018



A

B

C

D

A

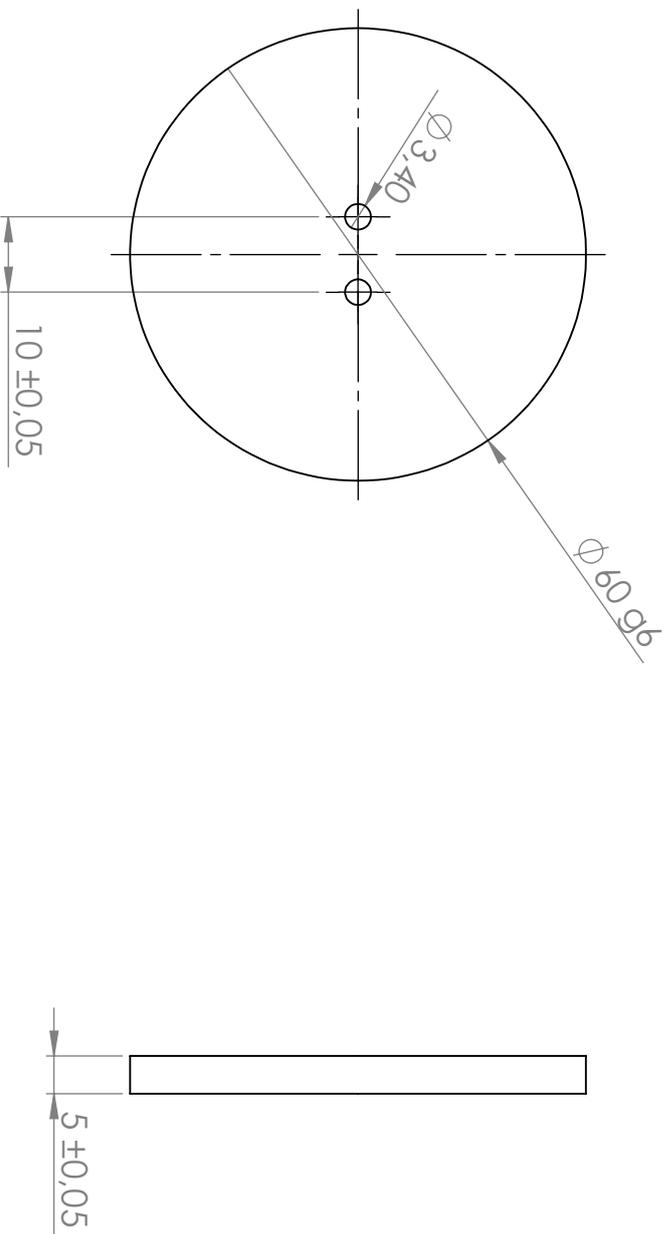
B

C

D

6 5 4 3 2 1

6 5 4 3 2 1



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA
CAMPUS D'ALCOI

Unidades: mm
Material: Acetall

Referencia CAD: Solidworks

Acabado: Escala: 1:1

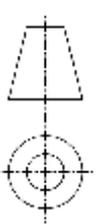
Edición: Hoja: 13/16

Elemento: Cantidad: Nombre de la pieza: Descripción:

13 1 Probeta Acetal Plano de la pieza

Diseñado por: Revisado por: Aprobado por: Fecha:

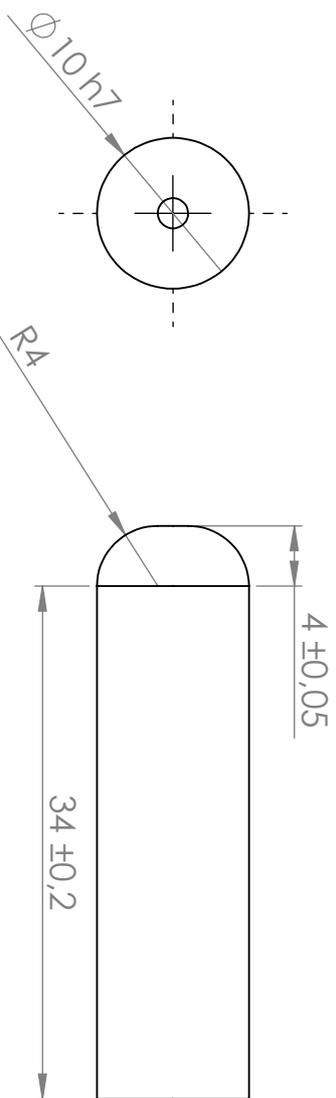
Teodoro, David Teodoro, David Teodoro, David 08/07/2018



6 5 4 3 2 1

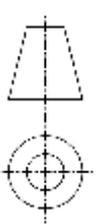
A B C D A B C D

6 5 4 3 2 1



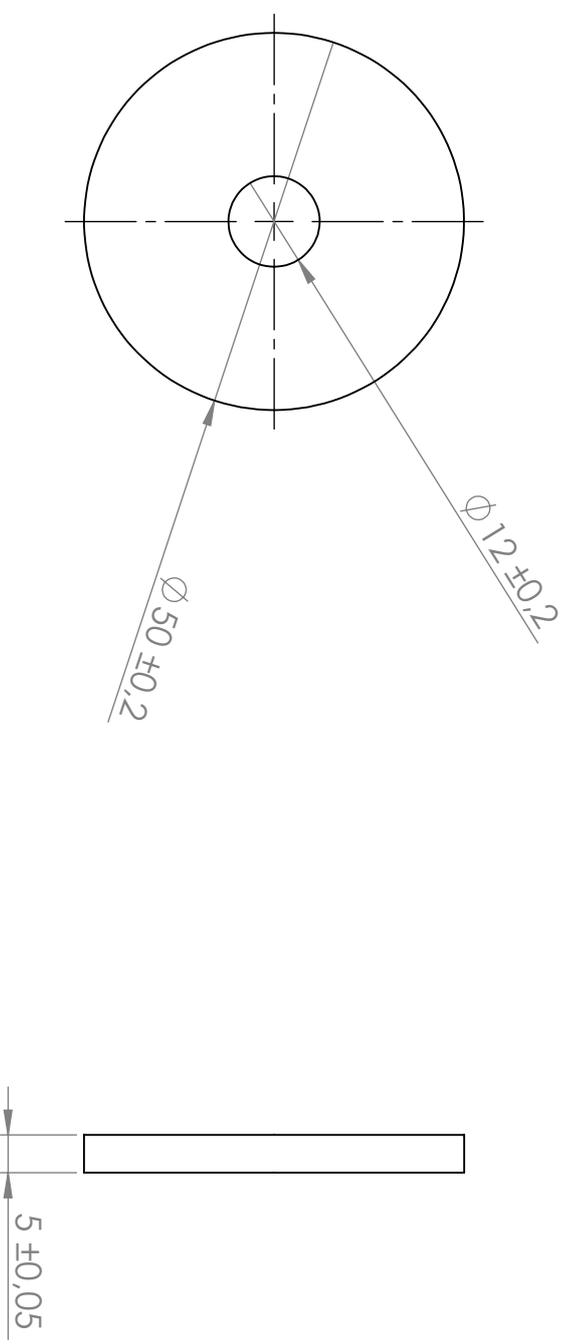
UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA
CAMPUS D'ALCOI

Unidades: mm	Material: ACERO	Acabado:	Escala: 1:1
Referencia CAD: Solidworks	Nombre de la pieza: Pin	Edición:	Hoja: 14/16
Elemento: 14	Cantidad: 1	Descripción: Plano de la pieza	
Diseñado por: Teodoro, David	Revisado por: Teodoro, David	Aprobado por: Teodoro, David	Fecha: 08/07/2018



6 5 4 3 2 1

6 5 4 3 2 1



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA
CAMPUS D'ALCOI

Unidades: mm
Material: Aluminio
Referencia CAD: Solidworks

Acabado:
Edición:
Escala: 1:1
Hoja: 15/16

Elemento: Cantidad:

Nombre de la pieza: Contrapeso

Descripción: Plano de la pieza

15 1

Diseñado por:

Revisado por:

Aprobado por:

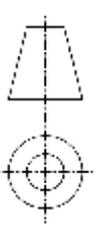
Fecha:

Teodoro, David

Teodoro, David

Teodoro, David

08/07/2018



A

B

C

D

A

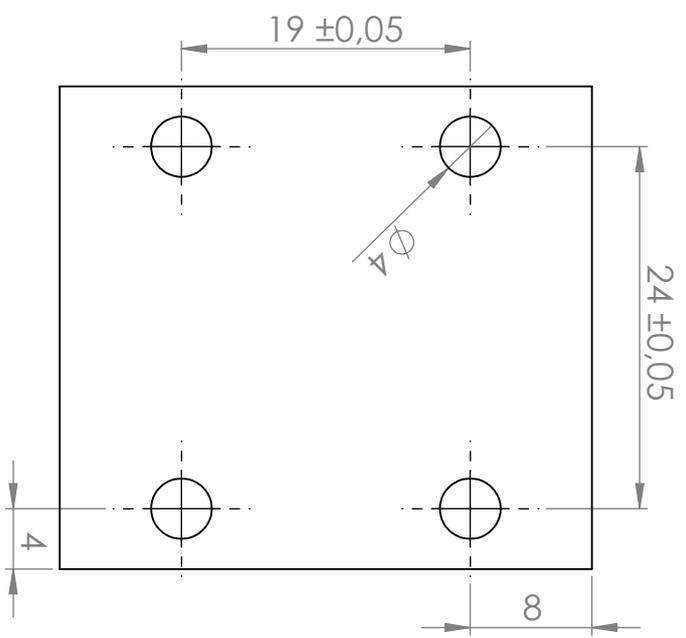
B

C

D

6 5 4 3 2 1

6 5 4 3 2 1



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA
CAMPUS D'ALCOI

Unidades: mm
Material: Aluminio
Referencia CAD: Solidworks

Acabado:
Edición:
Escala: 2:1
Hoja:

Elemento: Cantidad:

Nombre de la pieza: Platina intermedia soporte

Descripción: Plano de la pieza

16 1

Diseñado por:

Revisado por:

Aprobado por:

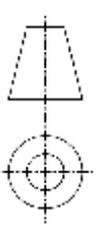
Fecha:

Teodoro, David

Teodoro, David

Teodoro, David

08/07/2018



6 5 4 3 2 1

A

B

C

D

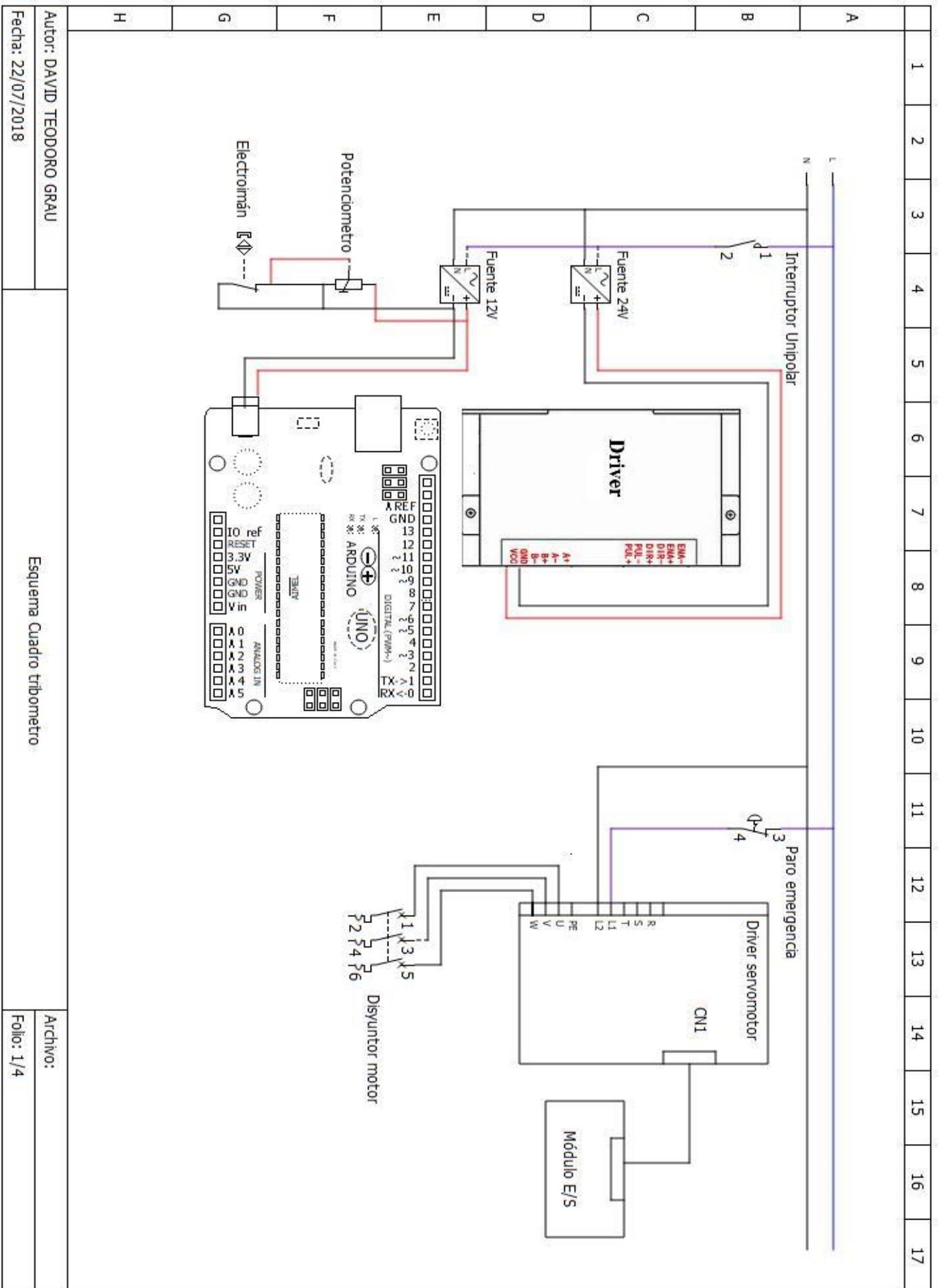
A

B

C

D

7.3 Esquemas Eléctricos



Autor: DAVID TEODORO GRAU

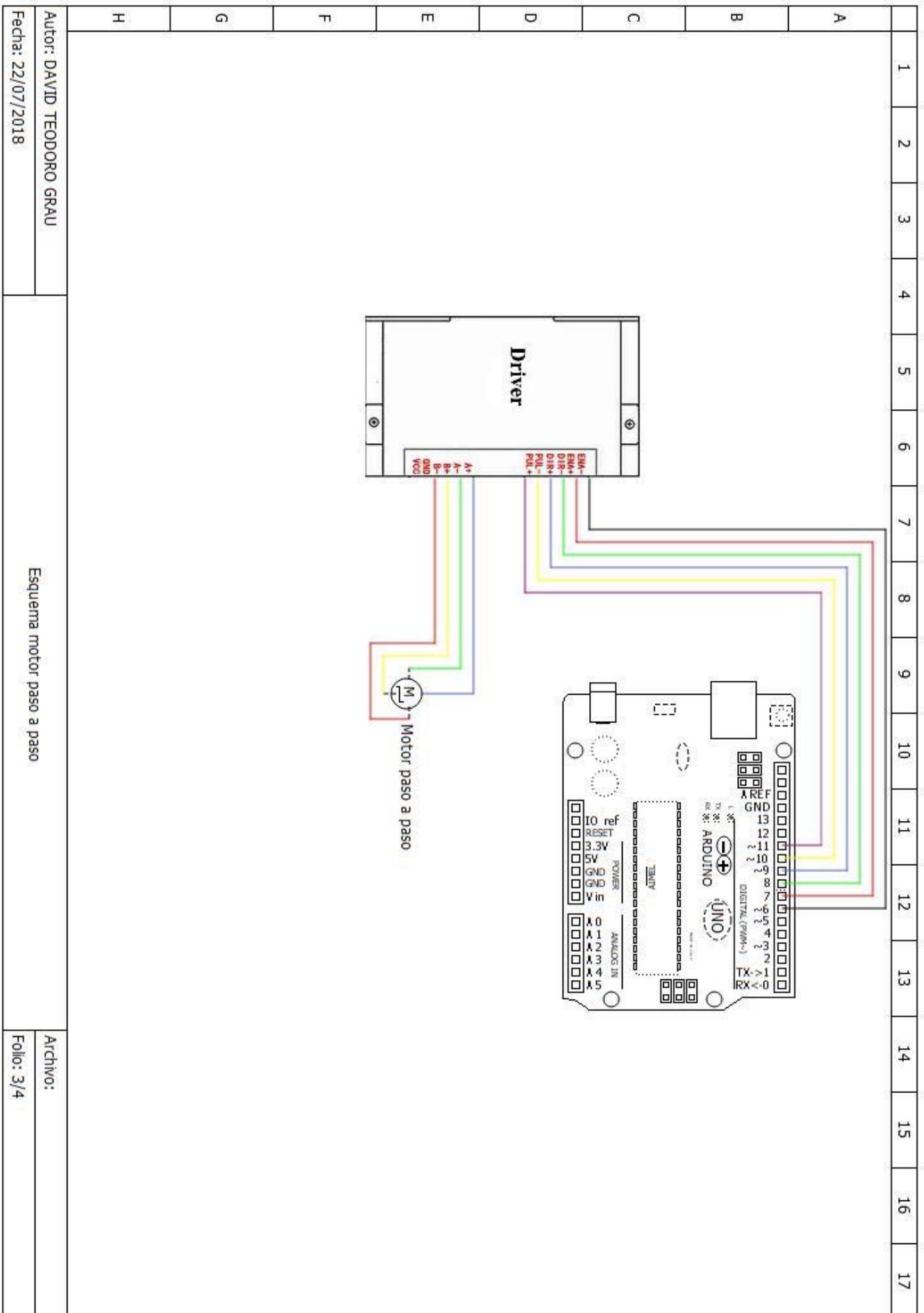
Fecha: 22/07/2018

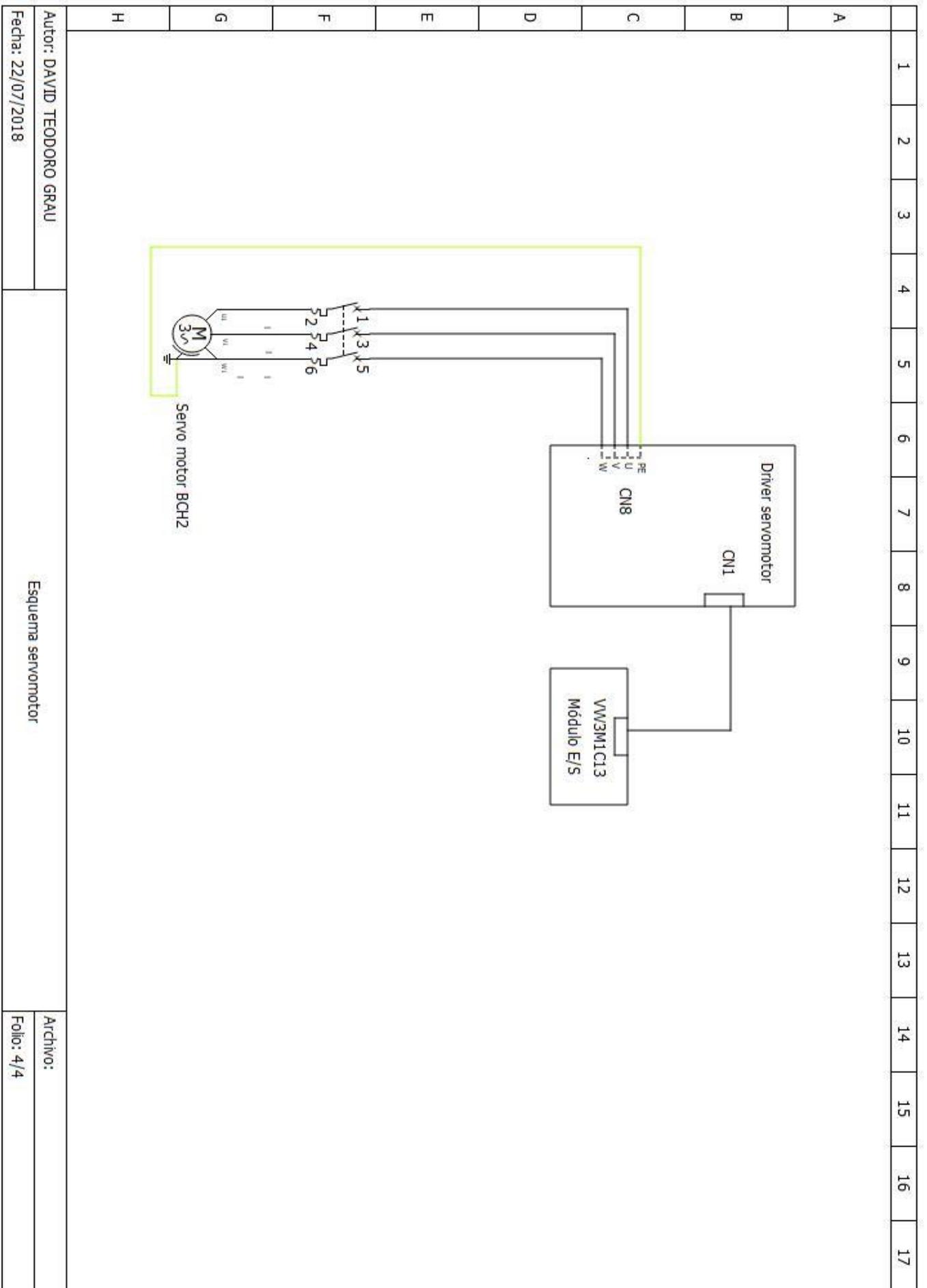
Esquema Cuadro tribometro

Archivo:

Folio: 1/4

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
A																		
B																		
C																		
D																		
E																		
F																		
G																		
H																		
Autor: DAVID TEODORO GRAU																	Archivo:	
Fecha: 22/07/2018				Esquema célula de carga													Folio: 2/4	





Conclusión

La tribología es una ciencia que esta aun en desarrollo, por eso se necesita profundizar más y conocer las propiedades de desgaste de algunos materiales en el mundo de la ingeniería. Esto hace más interesante descubrir las técnicas de ensayo, así como las máquinas que lo componen.

Este proyecto nos da una visión más clara del tribómetro, cuya finalidad es ensayar los materiales a desgaste, y además es una herramienta útil tanto en el campo de la educación, como en el campo de la industria.

La máquina tiene unas dimensiones adecuadas a la normativa, y que la hacen, además, ligera y precisa y con materiales que soportan con creces las cargas exigidas por los ensayos.

Todo esto, ha hecho posible conseguir una sinergia entre la calidad y el precio, se consigue mediante este tribómetro “Pin on disk” que tiene un peso inferior al comercial y además este compuesto de la mejor tecnología, que ofrece precisión y fiabilidad, y con un coste que no deja indiferente a ningún laboratorio a la hora de trabajar en el campo de la tribología.

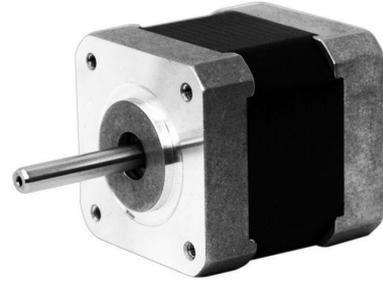
Bibliografía

- [1] B. Lia, T. Li, X. Liu, P. Cong. Tribological behaviors of several polymer-polymer sliding combinations under dry friction and oil-lubricated conditions. *Wear* 262(2007) 1353-1359
- [2] H. Ameen, K. Hassan y E. Mubarack. Effects of loads, sliding speeds and times on the wear rate from different materials. *AJSIR* 2011
- [3] MT. Microtest tribometer.
http://www.microtest-sa.com/es_ES/work/serie-mt/
- [4] Tribología. El estudio de la interacción entre superficies en movimiento.
<https://www.ggbearings.com/es/empresa/tribologia>
- [5] Tribología y lubricación. P. Ramón y A. Agullón.
- [6] TRB. Tribómetro Pin on disk. Anton Paar
<https://www.anton-paar.com/mx-es/productos/detalles/trb3-pin-on-disk-tribometer/>
- [7] Y. Yamamoto, T. Takashima. Friction and wear of water lubricated PEEK and PPS sliding contacts. *Wear* 253 (2002) 820-826

Apéndice

1.8° 42MM High Torque Hybrid Stepping Motor

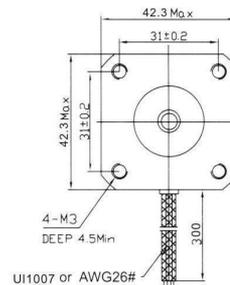
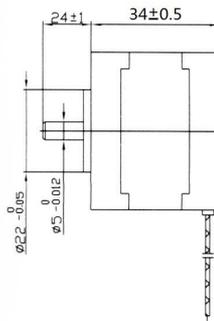
Item	Specifications
Step Angle	1.8°
Step Angle Accuracy	±5% (full step, no load)
Resistance Accuracy	±10%
Inductance Accuracy	±20%
Temperatru Rise	80°CMax. (rated current,2 phase on)
Ambient Temperatuar	-20°C~+50°C
Insulation Resistance	100M?Min.,500VDC
Dielectric Strength	500VAC/ for one minute
Shaft Radial Play	0.02Max. (450 g-load)
Shaft Axial Play	0.08Max. (450 g-load)
Max. radial force	28N (20mm foom the flange)
Max.axial force	10N



● 42MM Hybrid Stepping Motor Specifications

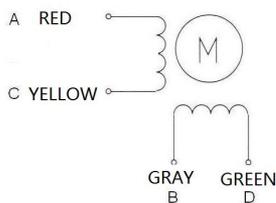
Model No	Rated Voltage	Current /Phase	Resistance /Phase	Inductance /Phase	Holding Torque	# of Leads	Rotor Inertia	Weinght	Detent Torque	Length
XY42STH34-0354A	V	A	Ω	mH	Kg-cm		g-cm ²	kg	g-cm	mm
	12	0.35	34	33	1.6	4	35	0.22	120	34

● Dimension

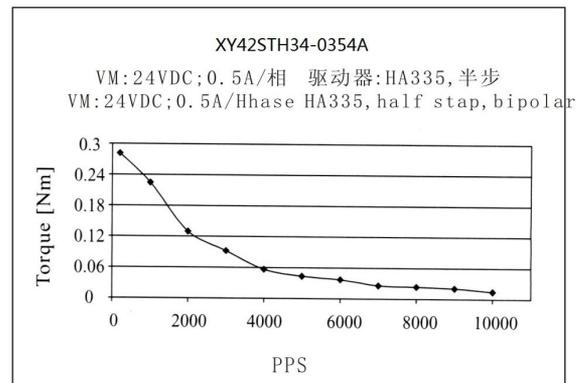


● Wiring Diagram

4 LEADS



● Pull out Torque Curve





Main

Range compatibility	Lexium 28
Product or component type	Servo motor
Device short name	BCH2

Complementary

Maximum mechanical speed	5000 rpm
[Us] rated supply voltage	220 V
Network number of phases	Single phase Three phase
Continuous stall current	1.11 A
Continuous stall torque	0.64 N.m for LXM28... at 1.5 A, 220 V, single phase 0.64 N.m for LXM28... at 1.5 A, 220 V, three phase 0.64 N.m for LXM28... at 3.6 A, 110 V, single phase
Continuous power	200 W
Peak stall torque	1.92 N.m for LXM28... at 1.5 A, 220 V, single phase 1.92 N.m for LXM28... at 1.5 A, 220 V, three phase 1.92 N.m for LXM28... at 3.6 A, 110 V, single phase
Nominal output power	200 W for LXM28... at 1.5 A, 220 V, single phase 200 W for LXM28... at 1.5 A, 220 V, three phase 200 W for LXM28... at 3.6 A, 110 V, single phase
Nominal torque	0.64 N.m for LXM28... at 1.5 A, 220 V, single phase 0.64 N.m for LXM28... at 1.5 A, 220 V, three phase 0.64 N.m for LXM28... at 3.6 A, 110 V, single phase
Nominal speed	3000 rpm for LXM28... at 1.5 A, 220 V, single phase 3000 rpm for LXM28... at 1.5 A, 220 V, three phase 3000 rpm for LXM28... at 3.6 A, 110 V, single phase
Maximum current Irms	4.31 A for LXM28... at 0.2 kW, 220 V 4.31 A for LXM28... at 0.2 kW, 110 V
Maximum permanent current	1.3 A
Product compatibility	LXM28... servo drive motor at 0.2 kW, 220 V, single phase LXM28... servo drive motor at 0.2 kW, 220 V, three phase LXM28... servo drive motor at 0.2 kW, 110 V, single phase
Shaft end	Keyed
Shaft diameter	14 mm
Shaft length	30 mm

Disclaimer: This documentation is not intended as a substitute for and is not to be used for determining suitability or reliability of these products for specific user applications

Key width	5 mm
Feedback type	20 bits single turn absolute encoder
Holding brake	Without
Mounting support	Asian standard flange
Motor flange size	60 mm
Electrical connection	Free lead
Torque constant	0.58 N.m/A at 20 °C
Back emf constant	35 V/krpm at 20 °C
Rotor inertia	0.16 kg.cm ²
Stator resistance	12.2 Ohm at 20 °C
Stator inductance	22.5 mH at 20 °C
Stator electrical time constant	1.84 ms at 20 °C
Maximum radial force Fr	200 N 3000 rpm
Maximum axial force Fa	70 N
Brake pull-in power	11.2 W
Type of cooling	Natural convection
Length	104 mm
Number of motor stacks	1
Centring collar diameter	50 mm
Centring collar depth	5.5 mm
Number of mounting holes	4
Mounting holes diameter	5.5 mm
Circle diameter of the mounting holes	70 mm
Distance shaft shoulder-flange	5.5 mm
Product weight	1.02 kg

Environment

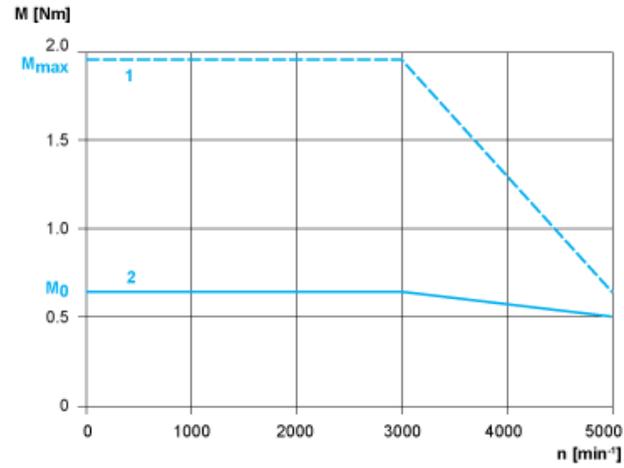
IP degree of protection	IP54 IM B5, IM V1 IP50 IM V3
Ambient air temperature for operation	-20...40 °C

Offer Sustainability

RoHS (date code: YYWW)	Compliant - since 1442 - Schneider Electric declaration of conformity Schneider Electric declaration of conformity
REACH	Reference not containing SVHC above the threshold Reference not containing SVHC above the threshold

Torque/Speed Curves with 230 V Single/Three Phase Supply Voltage

Servo Motor with LXM28AU02●●● Servo Drive



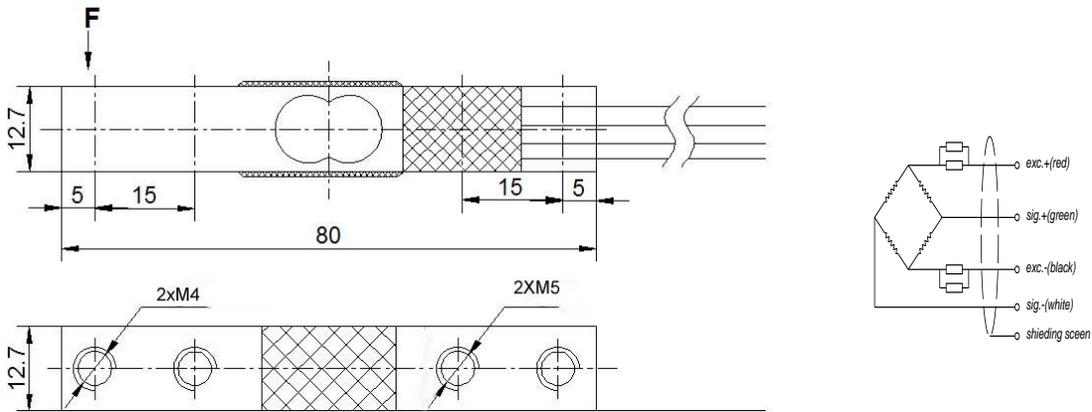
- 1 : Peak torque
- 2 : Continuous torque



Features:

- ◆ Capacity : 3~200kg
- ◆ Material: aluminum-alloy or alloy steel
- ◆ Type: Parallel beam type
- ◆ Defend grade: IP65
- ◆ Application : Palm scale, kitchen scale, electronic balance, fishing scale, electronic platform scale and other electronic weighing devices.

Electrical connection and Dimensions:(dimension unit: mm)



Specifications:

capacity	kg	3,5,10,20,25,30,50(aluminum); 80,100,120,200(alloy steel)
safe overload	%FS	120
ultimate overload	%FS	150
rated output	mV/V	1.0 ± 0.15
excitation voltage	Vdc	5 ~ 10
combined error	%FS	± 0.05
zero unbalance	%FS	± 0.1
non-linearity	%FS	± 0.05
hysteresis	%FS	± 0.05
repeatability	%FS	± 0.03
creep	%FS/3min	± 0.05
input resistance	Ω	1000 ± 15
output resistance	Ω	1000 ± 10
insulation resistance	M Ω	≥ 2000
operating temperature range	°C	-10 ~ +55
compensated temperature range	°C	-10 ~ +40
temperature coefficient of SPAN	%FS/10°C	± 0.05
temperature coefficient of ZERO	%FS/10°C	± 0.05
Electrical connection	cable	4 color wire (standard)or 4 shielded PVC cable, Ø0.8 × 220 mm

※Ordering code: model-capacity- rated output-accuracy-defend grade- the length of cable



Main

Range of product	Lexium
Accessory / separate part category	Connection accessory
Product or component type	Terminal block
Kit composition	1 terminal block module for I/O signal connection 1 connection cable
Range compatibility	Lexium 28
Product compatibility	LXM28
Accessory / separate part destination	Servo drive

Complementary

Mounting support	DIN rail
Width	87.2 mm
Length	146 mm

Offer Sustainability

RoHS (date code: YYWW)	Compliant - since 1601 - Schneider Electric declaration of conformity Schneider Electric declaration of conformity
REACH	Reference not containing SVHC above the threshold Reference not containing SVHC above the threshold

Disclaimer: This documentation is not intended as a substitute for and is not to be used for determining suitability or reliability of these products for specific user applications

ARDUINO LEONARDO ETH



Arduino Microprocessor

Processor 802.3 10/100 Mbit/s

Arduino Microcontroller

Microcontroller ATmega32u4

Architecture AVR

Operating Voltage 5V

Flash memory 32 KB of which 4 KB used by bootloader

SRAM 2.5Kb

Clock Speed 16 MHz

Analog I/O Pins 12

EEPROM 1 KB

DC Current per I/O Pins 40 mA on I/O Pins; 1A on 3.3 V Pin only when powered via external power supply

General

Input Voltage 7-12 V

Digital I/O Pins 36-57 V

Reserved Pins 4 used for SD card select; 10 used for W5500 select

Digital I/O Pins 20

PWM Output 7

Power Consumption 82 mA

PCB Size 53.34 x 68.58 mm

Card Reader Micro SD card, with active voltage translators

Weight 28g

Product Code A000108

Hoja de características del producto

Características

LXM28AU04M3X

servodrive - Lexium 28 - monofásico y trifásico
200...230 V - 400 W



Principal

Gama de producto	Lexium 28
Tipo de producto o componente	Servodrive de mov.
Nombre corto del dispositivo	LXM28A
Formato del variador	Compact housing ((*))
Corriente de línea	3.8 A, THDI of 211.6 % en 220 V, monofásica 3.8 A, THDI of 183.7 % en 220 V, trifásica

Complementario

Número de fases de la red	Monofásica Trifásica
[Us] tensión de alimentación asignada	220 V (- 10...15 %) para trifásica 220 V (- 20...15 %) for single phase
Límites de tensión de alimentación	170...255 V for single phase 200...255 V for three phase
Frecuencia de alimentación	50/60 Hz (- 5...5 %)
Frecuencia de red	47,5...63 Hz
Filtro CEM	Sin filtro CEM
Corriente de salida en continuo	2.6 A en 16 kHz
3 picos corriente de salida	7.8 A at 220 V
Alimentación continua	400 W en 220 V
Potencia nominal	0.4 kW at 220 V, 16 kHz
Switching frequency ((*))	16 kHz
Categoría de sobretensión	III
Corriente de fuga	1.3 mA
Tensión de salida	<= de la potencia de la tensión de alimentación
Electrical isolation ((*))	Entre potência e controle
Tipo de cable	Shielded motor cable (temperature: 0...55 °C) copper
Consecutivo, seguido, continuo, adosado	Terminal de resorte, capacid sujeción: 0.82...1 mm², AWG 18 (R, S, T) Terminal de resorte, capacid sujeción: 0.82...1 mm², AWG 18 (PA/+, PBe)

Terminal de resorte, capacidad sujeción: 0.82...1 mm², AWG 18 (U, V, W, PE)
Terminal de resorte, capacidad sujeción: 0.82...1 mm², AWG 18 (L1-L2)

De pie conducto	8 programable (CN1) 2 fast capture (CN1) 1 safety function STO (CN9) 1 pulse train input (PTI) (CN1)
Voltaje entrada	24 V CC (lógica)
Entrada lógica	Lógica positiva o lógica negativa (CN1)
Número de salidas discretas	5 salida lógica (CN1) en 12...24 V CC 1 pulse train output (PTO) (CN1)
Tensión de salida	12...24 V CC
Salida lógica	Lógica positiva o lógica negativa (CN1)
Número de entrada analógica	2
Error de precisión absoluto	0.1 %
Tipo de entrada analógica	Entrada analógica de tensión (T_REF) Entrada analógica de tensión (V_REF), - 10...10 V impedancia de entrada: 10 kOhm, resolución: 14 bits
Tipo de señal de control	CN2 : feedback de codificador de servomotor
Tipo de protección	Contra inversión de polaridad (señal entradas) Contra cortocircuitos (señal salidas) Sobrecorriente (motor) Sobretensión (motor) Subtensión (motor) Overheating (motor) Overload (motor) Overspeed (motor)
Función de seguridad	STO (par seguro desactivado), integrado
Nivel de seguridad	SIL 2 de acuerdo con IEC 61800-5-2 : 2007 SIL 2 de acuerdo con IEC 61508-1 : 2010 PL d/category 3 de acuerdo con EN/ISO 13849-1 : 2008 SIL 2 de acuerdo con EN/ISO 13849-1 : 2009/AC SIL 2 de acuerdo con EN 60204-1 : 2006 SIL 2 de acuerdo con EN 60204-1 : 2009/A1 SIL 2 de acuerdo con EN 60204-1 : 2010/AC SIL 2 de acuerdo con IEC 62061 : 2012
Interfaz de comunicación	CANmotion, integrado CANopen, integrado
Tipo de conector	RJ45 (CN4) para CANopen, CANmotion
Método de acceso	Esclavo
Velocidad de transmisión	250 kbit/s para long bus de 100...250 m para CANopen, CANmotion 500 kbit/s para long bus de 4...100 m para CANopen, CANmotion 1 Mbit/s para long bus de <= 4 m para CANopen, CANmotion
Número de direcciones	1...127 para CANopen, CANmotion
Interfaz física	RS485 (esclavo de línea serie Modbus)
LED de estado	1 LED rojo para error 1 LED rojo para carga 1 LED verde para código de fecha de fabricación RUN
Función de señalización	Servo status and fault codes sobre five 7-segment display units
Marcado	CSA CE CULus
Tipo de refrigeración	Conven natural
Posición de funcionamiento	Vertical
Compatibilidad del producto	Servo motor BCH2 (60 mm, 2 motor stacks) at 400 W Servomotor BCH2 (80 mm, 1 motor stacks) at 400 W Servomotor BCH2 (130 mm, 1 motor stacks) at 300 W
Anchura	55 mm
Altura	150 mm
Profundidad	146 mm
Peso del producto	1 kg
Output current 3s peak 2 ((*))	7.8 A 220 V
Output current 3s peak 3 ((*))	7.8 A 220 V

Entorno

Compatibilidad electromagnética	Emisión conducida (nivel de prueba:nivel_3, categoría C3) de acuerdo con EN/IEC 61800-3
Normas	EN/IEC 61800-5-1
Certificaciones de producto	CE cULus CSA
Grado de protección IP	IP20
Resistencia a las vibraciones	3M4, amplitud = 3 mm (f = 9...200 Hz) de acuerdo con IEC 60721-3-3
Resistencia a los choques	10 gn, tipo I de acuerdo con IEC 60721-3-3
Humedad relativa	5...95 % sin condensación
Temperatura ambiente de funcionamiento	0...55 °C
Temperatura ambiente de almacenamiento	-25...65 °C
Altitud máxima de funcionamiento	<= 1000 m (sin derating) > 1000...2000 m (1 % por cada 100 m derating)

Sostenibilidad de la oferta

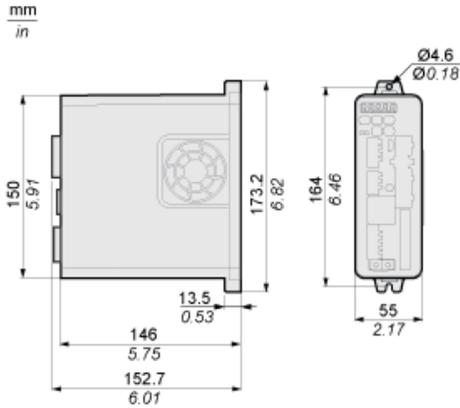
Estado de la oferta sostenible	Producto Green Premium
RoHS (código de fecha: AASS)	Conforme - desde 1442 - Declaración de conformidad de Schneider Electric Declaración de conformidad de Schneider Electric
REACH	La referencia no contiene SVHC La referencia no contiene SVHC
Perfil ambiental del producto	Disponible Manual de gestión residuos
Instrucciones para el fin del ciclo de vida del producto	DISPONIBLE

Hoja de características del producto LXM28AU04M3X

Esquemas de dimensiones

Dimensiones

Dimensiones de la unidad



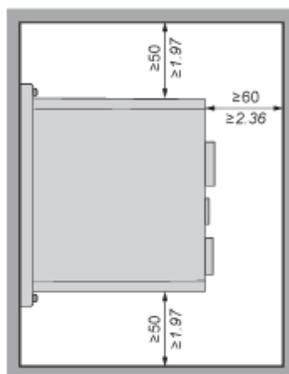
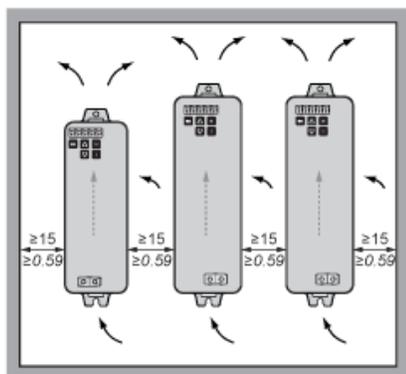
Hoja de características del producto LXM28AU04M3X

Montaje y aislamiento

Distancia de montaje

Distancias de montaje y circulación del aire

mm
in.



Índice de figuras

Ilustración 1 Tipos de rozamiento	13
Ilustración 2 Tribómetro de Antoon paar	18
Ilustración 3 Tribómetro de Microtest.....	19
Ilustración 4 Vista general de la máquina	28
Ilustración 5 Estructura del tribómetro.....	30
Ilustración 6 Mesa principal	31
Ilustración 7 Arduino Leonardo	31
Ilustración 8 Servo motor BCH2.....	32
Ilustración 9 Driver Lexium 28	32
Ilustración 10 Motor paso a paso Nema 17	33
Ilustración 11 Conexiones paso a paso.....	33
Ilustración 12 Contrapeso.....	34
Ilustración 13 Célula de carga	34
Ilustración 14 Esquema célula.....	34
Ilustración 15 Electroimán.....	35
Ilustración 16 Conexión Electroimán	35
Ilustración 17 Soporte Pin	36
Ilustración 18 Pin.....	36
Ilustración 19 Mecanismo para el cálculo	41
Ilustración 20 Potencia servicio.....	42
Ilustración 21 Velocidades de la transmisión	42
Ilustración 22 Valores geométricos	42
Ilustración 23 Geometría de la mesa	43
Ilustración 24 Maya del modelo	44
Ilustración 25 Fixed support en los patines	44
Ilustración 26 Remote force motor	44
Ilustración 27 Solución del ANSYS.....	45
Ilustración 28 Deformación de la mesa	45
Ilustración 29 Tensión equivalente de Von Mises.....	46
Ilustración 30 Propiedades mecánicas patín 20mm.....	46
Ilustración 31 Momentos patín 1	46
Ilustración 32 Momentos patín 2	46
Ilustración 33 Geometría de la pieza	47
Ilustración 34 Mayado de la pieza.....	48
Ilustración 35 Fixed support sobre el patín	48
Ilustración 36 Fuerza sobre el husillo.....	48
Ilustración 37 Soluciones de cálculo	49
Ilustración 38 Tensión equivalente Von Mises	49
Ilustración 39 Deformación en la mesa	49

Índice de tablas

Tabla 1 Valores de fricción	13
Tabla 2 Características técnicas tribómetro Anton Paar.....	18
Tabla 3 Características tribómetro de Microtest.....	19
Tabla 4 Valores para el cálculo	41