



Proyecto final de carrera

Ingeniería Electromecánica

Ingeniería y diseño de una máquina de ensayos de laboratorio

Autor

- Jonathan Exequiel Tessore

Tutor

- Ing. Raúl Charadia

Dirección de Proyectos

- Ing. Gustavo Puente
- Ing. Aníbal De Carli

Resumen ejecutivo

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño y cálculo de una máquina de ensayos de tipo *Pin-On-Disk* y *Ball-On-Flat*. Estos ensayos son de vital importancia en la industria, ya que permiten evaluar y comparar el comportamiento de diferentes materiales frente al desgaste, la fricción y la lubricación, los cuales son aspectos fundamentales para el diseño y la fabricación de componentes y maquinaria que requieren un alto nivel de resistencia y durabilidad.

Esta máquina ofrecerá la posibilidad de evaluar el comportamiento de los materiales en condiciones ambientales controladas y variables, lo que permitirá un análisis más completo y preciso de su coeficiente de fricción y el tipo mecanismo de desgaste. Esta información será fundamental para el desarrollo de nuevos materiales o la búsqueda del tipo de recubrimiento más adecuado para las condiciones de trabajo de la pieza en análisis.

Con la implementación de este proyecto, el Grupo de Ingeniería de Superficies de la Facultad Regional de Concepción del Uruguay (UTN FRCU) dará un paso significativo en su capacidad de investigación y en la calidad de los ensayos realizados. Asimismo, se espera que esta nueva máquina contribuya a fortalecer la colaboración con otras instituciones académicas y empresas de la zona, promoviendo el intercambio de conocimientos y experiencias para el beneficio mutuo.

En definitiva, este proyecto no solo tendrá un impacto positivo en la productividad y calidad de los ensayos realizados por el grupo, sino que también impulsará la innovación y el avance en el campo de la ingeniería de superficies. Todo ello con el objetivo de mejorar la eficiencia y la fiabilidad de los componentes y maquinaria utilizados en la industria.

Abstract

The objective of this project is the design and calculation of a Pin-On-Disk and Ball-On-Flat type testing machine. These tests are of vital importance in the industry, since they allow the evaluation and comparison of the behavior of different materials against wear, friction and lubrication, which are fundamental aspects for the design and manufacture of components and machinery that require high level of resistance and durability.

This machine will offer the possibility of evaluating the behavior of materials under controlled and variable environmental conditions, which will allow a more complete and precise analysis of their friction coefficient and type of wear mechanism. This information will be essential for the development of new materials or the search for the most appropriate type of coating for the working conditions of the part under analysis.

With the implementation of this project, the Surface Engineering Group of the Regional Faculty of Concepción del Uruguay (UTN FRCU) will take a significant step in its research capacity and in the quality of the tests carried out. Likewise, it is expected that this new machine will contribute to strengthening collaboration with other academic institutions and companies in the area, promoting the exchange of knowledge and experiences for mutual benefit.

Ultimately, this project will not only have a positive impact on the productivity and quality of the tests carried out by the group, but will also drive innovation and progress in the field of surface engineering. All

this with the aim of improving the efficiency and reliability of the components and machinery used in the industry.

Palabras claves

Maquinaria industrial - Ensayo de materiales - Ingeniería de superficie - PIN-ON-DISK - BALL-ON-FLAT

Agradecimientos

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mi familia, en especial a mis padres, por haberme acompañado y brindado su incondicional apoyo a lo largo de toda mi carrera.

A la Dra. Sonia Brühl, por haberme dado la oportunidad de integrar el grupo de ingeniería de superficies y participar en la investigación y diseño de una nueva máquina para el grupo, teniendo como referencia al comienzo de este proyecto al Ing. Francisco Delfin. Agradezco también a todos los miembros del grupo por su excelente compañía y los momentos gratos que compartimos.

No puedo dejar de mencionar a mi tutor, el Ing. Aníbal Carmona, por su constante apoyo y seguimiento durante todo el desarrollo del proyecto.

Agradezco asimismo a mis compañeros, con quienes he compartido los desafíos y sacrificios de estos cinco años de estudio para llegar a este punto de la carrera de Ingeniería Electromecánica.

índice

| | |
|---|------------|
| RESUMEN EJECUTIVO | 2 |
| ABSTRACT..... | 2 |
| AGRADECIMIENTOS..... | 3 |
| ÍNDICE | 4 |
| REFERENCIAS DEL PROYECTO | 5 |
| CAPÍTULO 1 – INTRODUCCIÓN Y SITUACIÓN PROBLEMÁTICA..... | 6 |
| INTRODUCCIÓN | 6 |
| ESTADO DEL ARTE | 6 |
| CAPÍTULO 2 – OBJETIVOS, ALCANCES Y PLAN DE TRABAJO | 12 |
| CAPÍTULO 3 – INGENIERÍA DE LA MÁQUINA DE ENSAYOS | 13 |
| CAPÍTULO 3.1 – INGENIERÍA BÁSICA..... | 13 |
| CAPÍTULO 3.2 – INGENIERÍA DE DETALLE..... | 17 |
| CAPÍTULO 3.3 – MEMORIA DE CALCULO | 42 |
| CAPÍTULO 4 – ENSAYOS | 102 |
| PRUEBA DE PARALELISMO..... | 102 |
| CAPÍTULO 5 – REFERENCIAS..... | 104 |
| CAPÍTULO 6 – ANEXOS..... | 107 |
| ANEXO 1 – SISTEMA DE CODIFICACIÓN | 108 |
| ANEXO 2 – NORMATIVA APLICADA | 111 |
| ANEXO 3 – GLOSARIO | 112 |
| ANEXO 4 – MARCO DE REFERENCIA | 113 |
| ANEXO 5 – PRESUPUESTO..... | 118 |

Referencias del proyecto

Con el propósito de garantizar la organización y coherencia del trabajo, se han establecido ciertas referencias que permitirán ubicar con precisión la información relevante:

- (N°), esta designación se empleará para indicar la posición en la memoria de cálculo donde se ha calculado o seleccionado una pieza específica.
- [N°], esta designación se utilizará para señalar la ubicación de las referencias dentro del documento.

Capítulo 1 – Introducción y situación problemática

Introducción

El grupo de Ingeniería de Superficies (GIS) de la Universidad Tecnológica Nacional de nuestra Facultad Regional de Concepción del Uruguay (UTN-FRCU), actualmente posee un tribómetro el cual cuenta con ciertas restricciones entorno a su funcionamiento. Su estructura mecánica permite realizar ensayos del tipo *Pin-On-Disk* en un ambiente controlado, pero sin la posibilidad de modificarlo.

Con este proyecto se busca diseñar y fabricar un tribómetro que permita recrear las condiciones tanto mecánicas como ambientales a las cuales se encuentra expuesta una pieza dentro de una industria. Con respecto a las condiciones mecánicas, esta máquina deberá contar con la posibilidad de realizar ensayos del tipo *Pin-On-Disk* y del tipo *Ball-On-Flat* y en lo que respecta a las condiciones ambientales, deberá brindar la posibilidad de variar la temperatura y humedad, además de permitir la posibilidad de realizar ensayos con lubricantes.

La tribología es crucial, principalmente para la maquinaria moderna que utiliza superficies rodantes y/o deslizantes, como también para cualquier superficie que se encuentre en contacto con otra y se produzca una fuerza de fricción entre ellas. Producto del desgaste y de la fricción se llega a generar el daño o la destrucción de las piezas produciendo horas muertas dentro de una industria al momento en que se genera la necesidad de cambiar las piezas dañadas, por lo tanto, el objetivo que se busca con la implementación de los recubrimientos sobre las piezas, es lograr alargar la vida útil de estas, cada condición de trabajo requiere un recubrimiento específico lo que lleva a la necesidad de realizar distintos ensayos mediante tribómetros en diferentes ambientes, con el objetivo de determinar el recubrimiento que mejor se adapte a las condiciones de trabajo.

El fin de este proyecto es el de diseñar una máquina que brinde la posibilidad de ensayar distintos materiales y recubrimientos bajo diferentes ambientes y condiciones de trabajo con el objetivo de evitar/disminuir los daños producidos por la fricción, el desgaste o por no utilizar una adecuada lubricación, para así determinar el material adecuado y mejorar el funcionamiento y eficiencia de las distintas máquinas que se encuentran en la industria.

Estado del arte

En el ámbito industrial, es común hallar una diversidad de componentes que entran en contacto con diversas superficies, lo cual conlleva a un desgaste progresivo o prematuro y, en ocasiones, al fallo de estos, siendo la fatiga uno de los principales problemas que se presentan. Por consiguiente, resulta imprescindible llevar a cabo ensayos de desgaste con el fin de estudiar el comportamiento de los distintos materiales en variadas condiciones y determinar sus propiedades superficiales. Esto facilitará la predicción del desgaste al que estarán expuestas las piezas, permitiendo así tomar medidas preventivas para garantizar su óptimo funcionamiento.

Los ensayos tribológicos de laboratorio buscan reproducir las condiciones reales en que tendrá que trabajar un componente para anticipar su respuesta y prevenir posibles fallos, lo que facilita la elección de un tratamiento superficial óptimo para incrementar su vida útil y reducir el consumo energético.

Tanto el *Pin-On-Disk* como el *Ball-On-Flat* son ensayos de desgaste que generan un daño progresivo produciendo la pérdida de material, que se produce en la superficie de un componente como resultado de su movimiento relativo con las piezas adyacentes con las que está en contacto.

Tipos de ensayos

A los tipos de ensayo los podemos diferenciar con respecto a dos factores principales como lo son el tipo de movimiento de la probeta y las condiciones ambientales a las cuales está expuesta la misma.

De acuerdo al tipo de movimiento, se investigaron los siguientes ensayos

Ensayo tipo Pin-On-Disk

Este es un ensayo de desgaste que implica un daño progresivo generando la pérdida de material, que se produce en la superficie de un componente a ensayar llamado probeta, como resultado de un deslizamiento sobre las piezas adyacentes con las que está en contacto; considerando que esta probeta gira a una velocidad lineal constante. A la superficie de la probeta a ensayar se le aplica una carga constante determinada, aplicada a través del PIN. La trayectoria de desgaste en este ensayo es circunferencial, y el ensayo culmina cuando se haya alcanzado una cierta distancia recorrida prefijada, de acuerdo con la normativa. En la siguiente imagen se puede observar de forma simbólica el desgaste sobre la probeta.

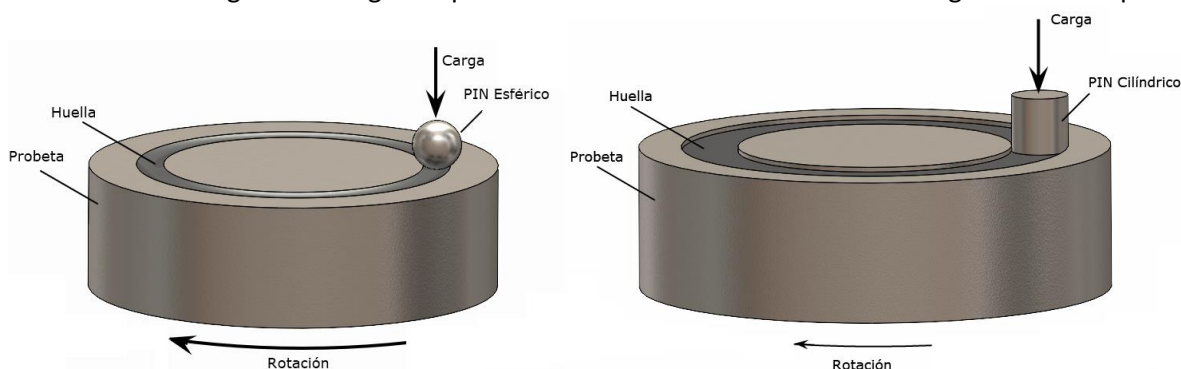


Figura 1.1 – Movimiento rotacional con pin esférico y cilíndrico

Para lograr posteriormente comparar los resultados obtenidos con los que se obtuvieron en otros laboratorios, se debería seguir el método estándar de prueba bajo un conjunto específico de parámetros (carga, velocidad de deslizamiento, materiales, etc.) establecidos en la norma ASTM G99. Dentro del diseño de la máquina estarán contemplados dichos parámetros:

- **Carga:** para este parámetro se hará uso de un conjunto de pesas, de acuerdo con los requerimientos de las investigaciones del laboratorio, se plantea alcanzar una carga máxima aplicada sobre la probeta de 75N.
- **Radio de trayectoria:** la máquina deberá permitir variar el radio de trayectoria de contacto con el pin.
- **Velocidad de deslizamiento:** esta se concreta mediante el accionamiento de un motor, el cual, debe ofrecer una velocidad variable, capaz de mantener una velocidad constante (± 1 % de la velocidad nominal del motor a plena carga) bajo carga. Las velocidades de rotación suelen estar en el rango de 0,3 a 3 rad/s (60 a 600 r/min).

En la norma G-99 se da un posible procedimiento de prueba, en el cual se expresan los siguientes parámetros normalizados para este ensayo.

| Parámetros | Procedimiento de la norma |
|----------------------------|---------------------------|
| Fuerza normal | 10 [N] |
| Velocidad de deslizamiento | 0,1 [m/s] |
| Radio de trayectoria | 12,5 [mm] |
| Diámetro del PIN Esférico | 10 [mm] |
| Ambiente | Aire |
| Temperatura ambiente | 23 [°C] |
| Humedad ambiente | 12 – 78 [%RH] |

Ensayo tipo *Ball-On-Flat*

La prueba de desgaste lineal reproduce el movimiento recíproco lineal que se encuentra en muchos mecanismos industriales. A diferencia del ensayo rotativo, que se realiza a velocidad constante, este tendrá una velocidad máxima en el centro de la huella de desgaste y mínima en los extremos.

Su funcionamiento se basa en el uso de un pin esférico o cilíndrico, el cual es apoyado sobre una muestra de prueba o probeta con una carga constante aplicada sobre esta. Al comenzar la prueba, el pin crea un desgaste lineal o pista, con este mecanismo podemos obtener una huella lineal en la probeta de 5 o 10 mm de longitud.

En la norma G-133 se dan dos posibles procedimientos de prueba, uno para pruebas sin lubricación (Procedimiento A) y otro para pruebas con lubricación por esfuerzo de alto contacto a temperatura elevada (Procedimiento B). Se debe seleccionar el procedimiento apropiado para los materiales dados y la severidad de la prueba.

Procedimiento A—Prueba de desgaste sin lubricación a temperatura ambiente.

1. Radio de la contraparte, 4,76 mm (3/16 in)
2. Fuerza normal, 25 N
3. Longitud de carrera, 10 mm
4. Frecuencia de oscilación, 5 Hz
5. Duración de la prueba, 16 min 40 s (distancia de deslizamiento 100 m)
6. Temperatura ambiente, 22 ± 3 °C
7. Humedad relativa al 60 %
8. Lubricación, ninguna aplicada.

Procedimiento B - Ensayo de desgaste lubricado a temperatura elevada

1. Radio de la contraparte, 4,76 mm (3/16 in)
2. Fuerza normal, 200 N
3. Longitud de carrera, 10 mm
4. Frecuencia de oscilación, 10 Hz
5. Duración de la prueba, 33 min 20 s (distancia de deslizamiento 400 m)
6. Temperatura, 150 ± 2 °C
7. Humedad relativa, 40 a 60 %
8. Lubricación, inmersión total bajo el lubricante seleccionado.

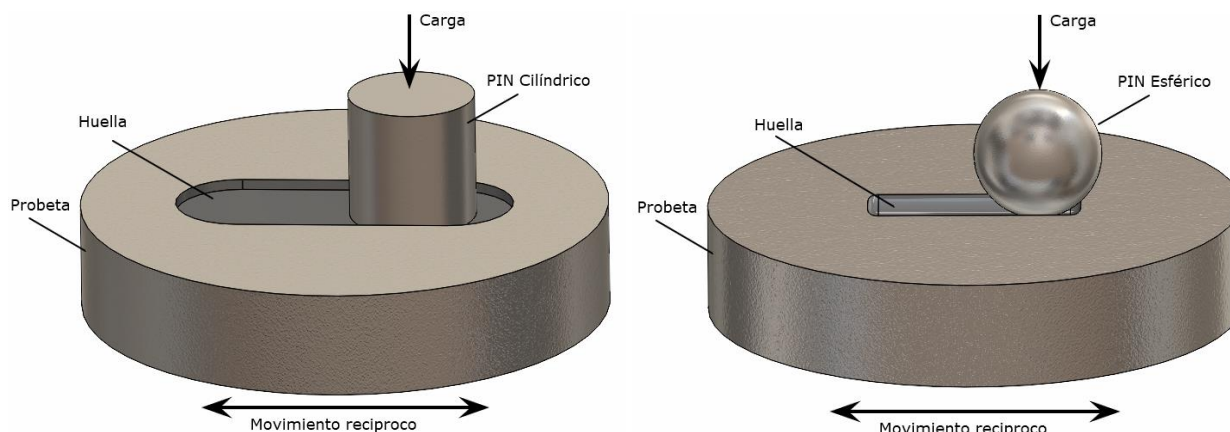


Figura 1.2 – Movimiento recíprocante con pin esférico y cilíndrico

Condiciones ambientales

Temperaturas elevadas

La temperatura desempeña un papel fundamental en el alcance de los daños causados por el desgaste de los materiales. Para lograr alcanzar temperaturas elevadas sobre la probeta, se utilizará una resistencia eléctrica.

Humedad

En muchas aplicaciones, un cambio en la humedad puede afectar al coeficiente de fricción y, por lo tanto, modificar la propiedad de desgaste del material. La máquina deberá contar con un sensor de humedad, para conocer la humedad ambiente, ya que este es un factor importante para determinar el desgaste. Para lograr porcentajes mayores de humedad se colocarán recipientes con agua en la zona del ensayo.

Lubricantes

Cuando se realice el ensayo del movimiento recíprocante de la probeta, este tendrá la posibilidad de realizarse con la probeta completamente sumergida en cualquier tipo de líquido mediante un recipiente para contenerlo. Los módulos o recipientes de líquidos se utilizan para realizar ensayos de desgaste y fricción en líquidos o lubricantes. Diferentes soluciones líquidas pueden simular el proceso de desgaste para diversas aplicaciones industriales.

Estudio de mercado

En el sector de la industria, son muy pocas las empresas que ofrecen este tipo de productos, ya que su utilización reside principalmente en laboratorios. Con respecto al campo de la tribología, en el mercado residen varios tipos de tribómetros, siendo en su mayoría del 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".

A continuación, se detallarán algunos tribómetros de distintos fabricantes, además del existente en la facultad

- Grupo GIS: En primer lugar, se comenzó analizando el tribómetro del tipo “pin-on-disk” que posee el grupo observando las virtudes y falencias de este de forma presencial. El cual presenta las siguientes características

Especificaciones técnicas

| | |
|------------------------------------|--|
| Velocidad de rotación | 191 rpm |
| Par máximo | 73,5 Nmm |
| Fuerza de fricción | 2,03N a 8,56N radio 5mm; 2,73N a 8,29N radio 7mm |
| Diámetro máximo de disco | 25 mm Máximo |
| Espesor máximo del disco | 6 mm |
| Fuerza normal máxima | 12 N |
| Radios de trayectorias de desgaste | 5mm, 6mm y 7mm |

- Anton Parr: respecto los tribómetros pertenecientes a distintos fabricantes, se encuentra el tribómetro “pin-on-disk” de la serie TRB. El cual presenta 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 20N) |
| Diámetro máximo de disco | 60mm Máximo |
| Espesor máximo del disco | Hasta 15mm |
| Fuerza normal máxima | 10 N (Opcional 60N) |



Figura 1.3 – Tribómetro Anton Parr

- Microtest: Otro tribómetro “Pin-on-disk” de la serie MT, ofrece características similares al de Anton Parr, pero con un diseño diferente. Ofrece mucha precisión, posee una mejor regulación de la velocidad y diferentes opciones de realizar el ensayo. Tiene un 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 30 N |
| Diámetro máximo de disco | 80mm Máximo |
| Espesor máximo del disco | Hasta 15mm |
| Fuerza normal máxima | 1 N a 60N |



Figura 1.4 – Tribómetro Microtest

- Nanovea: Otro tribómetro ya con un campo de aplicación mayor, de la serie T50. Ofrece mucha precisión y cuenta con la implementación de otros tipos de ensayos como Ball-On-Flat bajo una amplia variedad de condiciones ambientales, con el fin de recrear con mayor exactitud las condiciones a las que está expuesto un componente dentro de una industria.

Especificaciones técnicas

| | |
|-------------------------------------|----------------|
| Velocidad de rotación | 1 a 10.000 rpm |
| Par máximo | 4.400 Nmm |
| Fuerza de fricción | Hasta 30 N |
| Diámetro máximo de disco | 80mm Máximo |
| Espesor máximo del disco | Hasta 15mm |
| Fuerza normal máxima | 1 N a 60N |
| Precisión de posicionamiento | 0,006° |

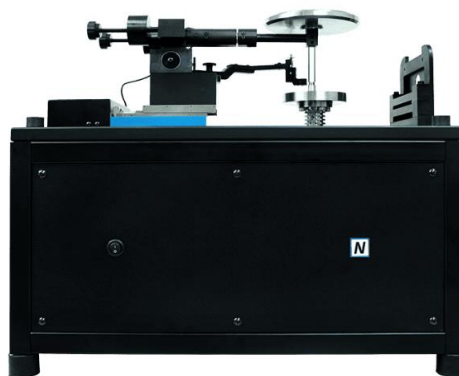


Figura 1.5 – Tribómetro Nanovea

Capítulo 2 – Objetivos, alcances y plan de trabajo

Objetivos

- Diseño y fabricación de un Tribómetro de bajo costo que cumpla con las normativas de ensayo vigente.

Objetivos específicos de diseño:

- Investigar las distintas máquinas del mercado para generar un diseño óptimo.
- Generar un prototipo de la máquina.

Alcances

- Finalización del proyecto de la máquina de ensayos tipo *Pink-On-Disk* y *Ball-On-Flat*, con la posibilidad de realizar el montaje.
- Planos constructivos.
- Manual Operativo y Protocolo de Ensayo.

Metodología general

1. Observar distintas máquinas del mercado, la existente en la FRCU y las normas que regulan los ensayos.
2. Estudio y cálculo de los movimientos mecánicos.
3. Selección de materiales y elementos necesarios.
4. Diseño de la máquina asistido por Software.
5. Ingeniería de detalle de las partes.
6. Dibujo de planos.
7. Especificaciones técnicas y documentación auxiliar.
8. Construcción del prototipo.

Impacto

- Ampliar la capacidad y flexibilidad de los ensayos en el laboratorio GIS.
- Desarrollo tecnológico confiable de bajo costo.
- Producir información de calidad.
- Posibilidad de hacer replicas mejoradas.

Capítulo 3 – Ingeniería de la máquina de ensayos

Capítulo 3.1 – Ingeniería básica

Con la finalidad de implementar ensayos normalizados que permitan analizar la respuesta de un material o un conjunto de materiales (recubrimientos) bajo ciertas condiciones de carga, velocidad y distancia de deslizamiento a fin, de conocer la funcionalidad del material para una determinada aplicación y así obtener las mejores propiedades tribológicas para lograr satisfacer las necesidades de la aplicación deseada. Una vez conocida la problemática que le dio origen a este proyecto, se configuro un esquema de pasos a seguir

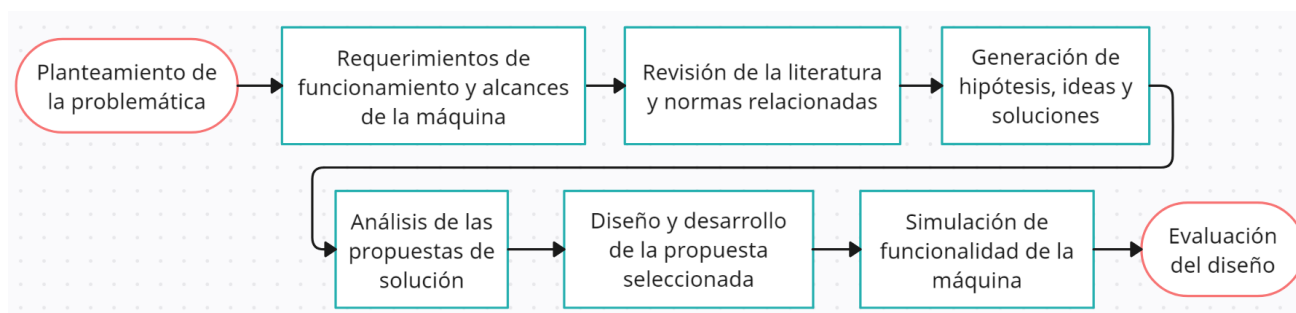


Figura 3.1.6 – Esquema de pasos a seguir

Como primer paso se determinó en conjunto con el grupo GIS los tipos de ensayos de desgaste que se buscaban implementar en la nueva máquina, una vez definidos se investigó que normas rigen estos tipos de ensayos y también las posibles máquinas de desgaste que cumplen con dichas especificaciones, por lo que se optó por el diseño y construcción de una máquina de desgaste del tipo *Pin-On-Disk* y del tipo *Ball-On-Flat*, haciendo referencia a las normas ASTM G99 y ASTM G133 respectivamente.

Se inicio analizando distintas propuestas colocando el foco en la desvinculación de influencias externas que puedan afectar al ensayo o variar los parámetros preestablecidos como la velocidad, carga o temperatura, a raíz es esto se establecieron algunas consideraciones a tener en cuenta, además, se configuro un diagrama de bloques acorde al diseño y fabricación de la máquina.

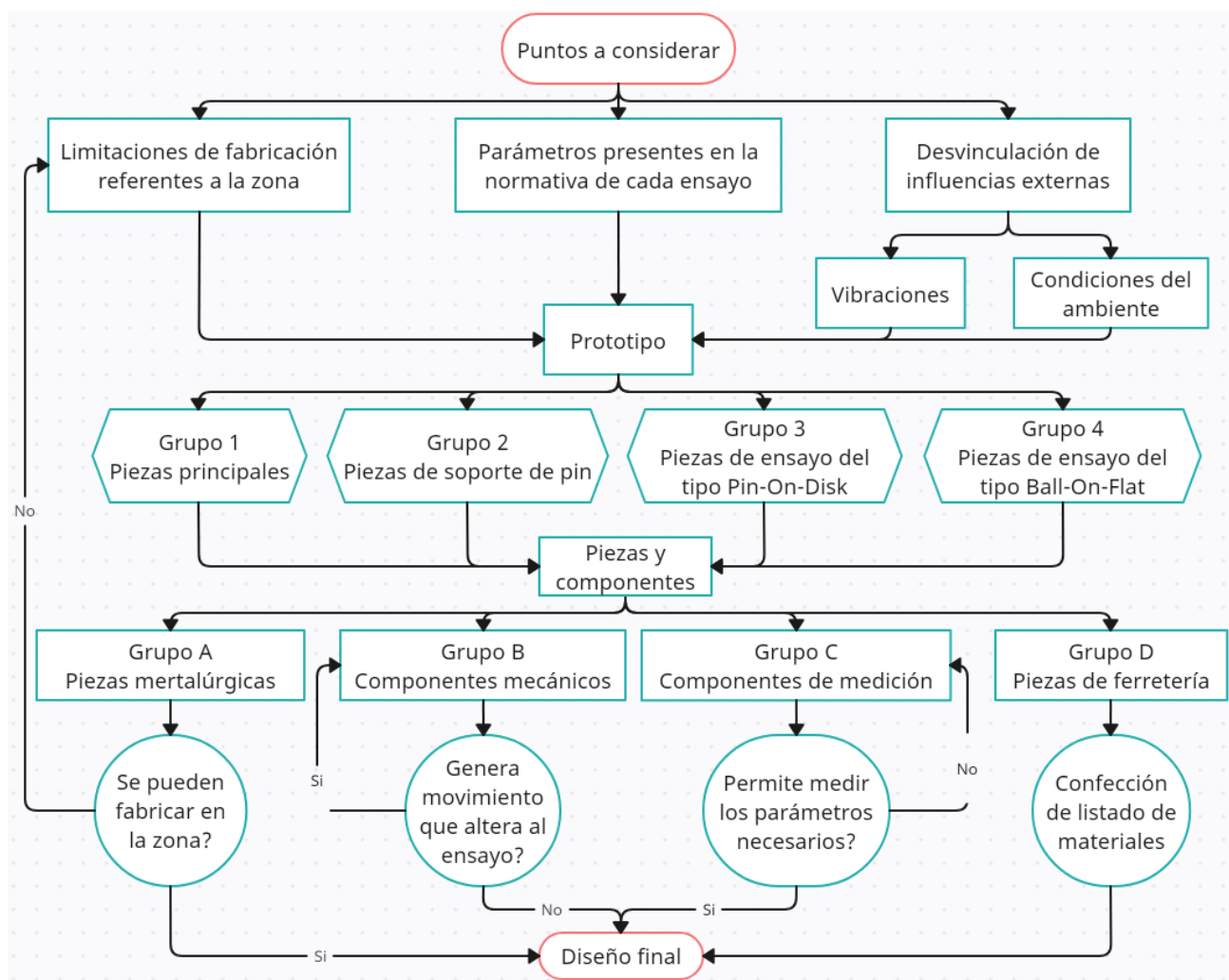


Figura 3.1.7 – Esquema de desarrollo del diseño final

A partir de las consideraciones previamente mencionadas, se comenzó a determinar las características básicas con las que tendría que contar el prototipo, como un sistema para lograr eliminar las vibraciones generadas en el ensayo sin perder la rigidez de la máquina, se definió generar un conjunto de piezas principales haciendo referencia a la parte fija de la máquina a la cual se le irán acoplando distintos módulos dependiendo del tipo de ensayo que se requiera realizar. Por lo cual, se diferenciaron cuatro grupos principales y cuatro subgrupos dependiendo del origen del componente o pieza.

Se propuso generar una base rígida soportada por un apoyo en cada uno de sus extremos los cuales residen sobre arandelas de caucho, ya que al poseer un movimiento mecánico continuo se generan vibraciones propias del ensayo las que serán absorbidas prácticamente en su totalidad por las arandelas. Cabe destacar que todas las piezas y componentes quedarán sujetas a esta pieza.

Contemplando el mecanismo esencial de ambos ensayos, el cual consiste en realizar una carga puntual sobre una muestra la cual se encontrará en continuo movimiento originando una huella lineal o circular producto de un desgaste. Para realizar este mecanismo, se propone realizar un brazo colocando un punto de apoyo en su zona intermedia mientras que en uno de sus extremos se encontrará la carga aplicada del ensayo,

mientras que en su contraparte estará ubicado un contrapeso con el objetivo de que la carga aplicada sobre la muestra sea exclusivamente la aportada por la carga excluyendo el peso del brazo y el soporte de pin, a raíz de eliminar las influencias externas que alteran los parámetros del ensayo.

El brazo estará soportado por un eje que le permita realizar el giro respecto de él, encontrándose vinculado a un soporte móvil mediante rodamientos de rodillos cónicos, ya que este permite un esfuerzo axial al momento de fijar su posición mediante tuercas, este soporte será móvil para lograr variar el radio de la huella en caso del ensayo de *Pin-On-Disk* y la posición donde se realiza la huella en el caso del ensayo *Ball-On-Flat*. Para generar el movimiento de este soporte se propone utilizar un motor paso a paso para conseguir una mayor precisión respecto al punto de contacto entre la muestra y el pin, transmitirá el movimiento a la base móvil a través de un eje roscado, el cual contará con un rodamiento rígido de bolas en su extremo como punto de apoyo. Teniendo en cuenta que se busca eliminar las influencias externas, una vez que el motor paso a paso posicione la base móvil en su lugar se fijará su posición a los ejes que cumplen la función de guías durante su movimiento, mediante bulones y una pieza de bronce para evitar rayar las guías.

Respecto al movimiento de la muestra, se propone utilizar una misma unidad de mando para ambos ensayos con el objetivo de reducir costos, por lo cual será necesario realizar la fabricación de un módulo con partes intercambiables para cada ensayo. Respecto a la unidad de mando, se utilizará un motor de 24V conectado a un encoder para generar un control de su velocidad, el movimiento se transmitirá a través de un acoplamiento flexible hacia los módulos de cada ensayo, esto nos permite mantener alejado el motor durante los ensayos a elevadas temperaturas además de permitirnos una rápida intercambiabilidad.

Hasta el momento solo se analizaron las piezas y componentes pertenecientes al grupo 1, respecto al grupo 2, a partir de lo establecido en las normas y requerimientos de la máquina pautados con el grupo GIS, se decidió contar con la posibilidad de realizar los ensayos con un pin cilíndrico o esférico, por lo cual, se diseñó un soporte principal al que se le acopla un módulo roscado con una tuerca en el caso del pin esférico y otro que cuenta con dos mordazas para sujetar el pin cilíndrico.

Para este tipo de ensayos, resulta de vital importancia generar una homogeneidad en los resultados, para luego poder compararlo con un mismo ensayo en otro lugar del mundo, por lo cual, será de vital importancia poder realizar el relevamiento de distintos parámetros como humedad, temperatura o coeficiente de fricción para lo cual se hará uso distintos sensores. Utilizando como componente de medición una celda de carga para determinar el coeficiente de fricción resultante del contacto entre la probeta y el pin, un sensor DHT22 para determinar la humedad ambiente, se seleccionó este modelo de sensor, ya que es el que está colocado en la máquina actual del grupo y brinda excelentes resultados, y por último se utilizara una termocupla para medir la temperatura del pin, para los casos en que se utilice un pin que sea buen conductor térmico, para lograr esto se realizará un conducto interno en las piezas del soporte del pin para estar en contacto directo con él, en los casos que este no sea buen conductor térmico, como por ejemplo los pin de alúmina, se podrá medir la temperatura del ambiente en la cercanía de él.

En el ensayo de *Pin-On-Disk* estará presente la posibilidad de realizarlo con temperatura mayor a la ambiente, considerando que este es un parámetro sumamente importante debido a que dentro de la

industria la mayoría de las piezas estarán expuestas a altas temperaturas ya sea externa o producto del contacto con otras piezas. Para esto será necesario contar con una fuente de calor, para lo cual se adoptará una resistencia de espiral debido a su bajo costo en comparación con otros equipos de calefacción del mercado. Considerando que las temperaturas alcanzadas serán cercanas a los 300°C, para no desperdiciar la energía que entrega la resistencia además de que está temperatura podría dañar ciertos componentes de la máquina, se realizará un cerramiento tipo cámara cortes de chapa soldada para aprovechar la energía generada.

En cuanto al ensayo de *Ball-On-Flat*, este contará con la posibilidad de realizar el ensayo con la muestra completamente sumergida en cualquier tipo de fluido lubricante, para lo cual será necesario utilizar un recipiente para contener al mismo. Considerando que este ensayo cuenta con un mecanismo que produce un movimiento recíprocante de la muestra quedando sujeto a vibraciones debido al tipo de mecanismo de biela-manivela, es decir, al generar el arranque y parada de la muestra se producen vibraciones en la máquina; por lo cual será de vital importancia reducir lo más posible el peso de las masas en movimiento, para reducir la masa en movimiento se realizará el soporte de probeta en aluminio, el recipiente de retención de fluidos de material termoplástico, el mecanismo biela-manivela será de acero inoxidable para aumentar la resistencias de las partes, la biela contará con rodamientos anclados a esta a través de los cuales se transmitirá el movimiento por medio de un bulón al porta probetas y por medio de un perno a la manivela. El porta probetas estará apoyado sobre soportes de aluminio con rodamientos axiales en su interior utilizados en impresoras 3D los cuales se deslizan por barras de acero rectificadas para brindar una menor resistencia al movimiento y lograr mejorar la precisión del ensayo.

Capítulo 3.2 – Ingeniería de detalle

| | |
|--|----|
| CAPÍTULO 3.2 – INGENIERÍA DE DETALLE..... | 17 |
| <i>Referencias</i> | 89 |
| <i>Diseño de piezas mecánicas</i> | 18 |
| Grupo 1 | 18 |
| Grupo 2 | 26 |
| Grupo 3 | 29 |
| Grupo 4 | 34 |
| <i>Diseño de piezas termoplásticas</i> | 39 |

La máquina contará con una variedad de piezas que serán seleccionadas de los catálogos proporcionados por diferentes fabricantes, y otras que se podrán fabricar en cualquier industria metalúrgica equipada con la maquinaria correspondiente, mientras que las piezas restantes serán fabricadas de un material termoplástico mediante una impresora 3D.

Diseño de piezas mecánicas

Teniendo en cuenta que las piezas están separadas en distintos grupos dependiendo de su ubicación, se realizará el detalle de funcionamiento de cada una correspondiente a cada grupo.

Grupo 1

Comenzado con el grupo 1 en el cual se encuentran las piezas que mantienen su posición en cada uno de los ensayos, es decir, son las piezas que acompañan a la máquina a lo largo de su vida útil independientemente del ensayo que se desee realizar.

Base principal de la máquina

Código de referencia: POD-CM-PM-G1-1, POD-CM-PM-G1-19, POD-CM-PF-G1-83, POD-CM-EM-G1-55, POD-CM-PF-G1-93 y POD-CM-PF-G1-109.

Planos de referencia: PM-A-G1-1 y PM-A-G1-19

Para lograr proporcionar las mejores condiciones para el ensayo, la base de la máquina debe estar desvinculada de cualquier influencia propia que genere una variación en el resultado, por lo cual se debe diseñar una base rígida que disminuya todas las vibraciones propias del ensayo.

La base principal contará con un espesor de 14mm, 250mm de ancho y 400mm de largo, tendrá un peso aproximado de 11kg, por ser la base principal de la máquina gran parte de las piezas estarán sujetas a ella por medio de bulones, en esta se encontrarán los orificios para colocar el soporte del sensor de humedad y el orificio por donde pasará el eje del motor.

Los apoyos estarán compuestos por, un cilindro rígido de acero de 35mm de diámetro fijado a la base principal mediante bulones M5x40mm mientras que en el otro extremo se encuentran piezas de caucho de igual diámetro y un espesor de 5mm para amortiguar las vibraciones producidas en el ensayo. Para lograr reducir lo más posible la altura de la base respecto a la mesa, se plantea realizar un corte en la mesa por donde pasará el motor principal, los apoyos serán fijados a la mesa mediante bulones M5x40mm, arandelas planas M5 (14) y una pieza de caucho de ambos lados de la mesa.

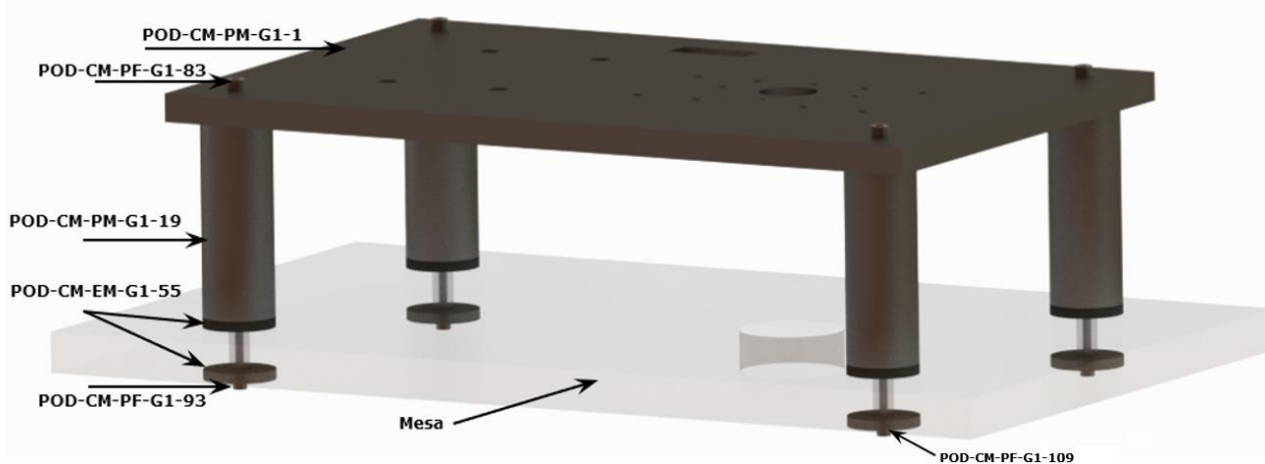


Figura 3.2.8 – Base principal de la máquina

Base de variador de radio

Código de referencia: POD-CM-PM-G1-1, POD-CM-PM-G1-2, POD-CM-PM-G1-3, POD-CM-PF-G1-80 y POD-CM-PF-G1-84.

Planos de referencia: PM-A-G1-1, PM-A-G1-2 y PM-A-G1-3

Para lograr variar el radio de trayectoria sobre la probeta, se planteó generar un desplazamiento del soporte del brazo (Pieza: POD-CM-PM-G1-4), este se desplazará sobre dos cilindros fijados a la base del variador de radio mediante bulones M5x20mm para asegurar su posicionamiento, esta estará fijada a la base principal de la máquina por medio de bulones M8x30mm.

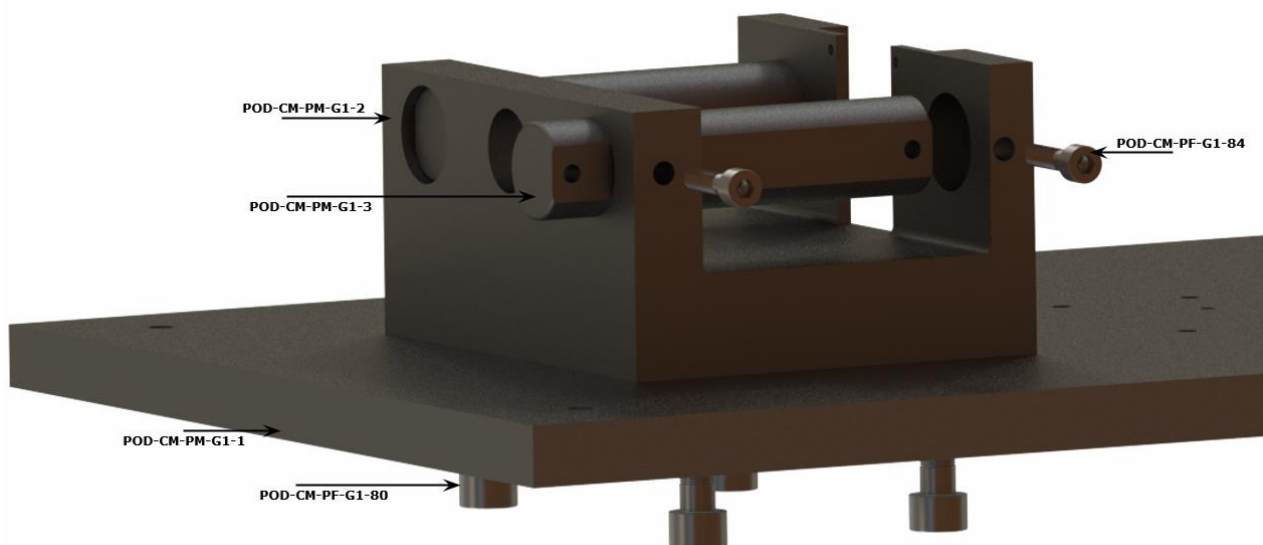


Figura 3.2.9 – Base del variador de radio

Movimiento de variador de radio

Código de referencia: POD-CM-PM-G1-2, POD-CM-PM-G1-6, POD-CM-PM-G1-11, POD-CM-EM-G1-50, POD-CM-EM-G1-58, POD-CM-PF-G1-91, POD-CM-PF-G1-97 y POD-CM-PF-G1-101.

Planos de referencia: PM-A-G1-2, PM-A-G1-6 y PM-A-G1-11

Una vez defina la estructura del variador de radio, se define el mecanismo de movimiento del soporte del brazo de carga, el cual se encuentra comprendido por un motor paso a paso (1) como unidad de mando que produce el giro de un eje roscado y con este, el desplazamiento del soporte. El eje irá fijado a tope en uno de sus extremos mediante un rodamiento rígido de bolas (2), mientras que en el otro extremo, contará con un hueco en su centro donde se alojará el eje del motor paso a paso fijado por medio de un prisionero M3x5mm. Teniendo en cuenta que se pueden producir esfuerzos axiales sobre el motor producto del desplazamiento del soporte, como se mencionó anteriormente se colocará un rodamiento del lado interno de la base que evita el esfuerzo hacia la izquierda (giro en sentido antihorario del eje del motor), mientras que del lado exterior se colocará un buje fijado mediante un bulón M4x10mm que evita el esfuerzo hacia la derecha (giro en sentido horario del eje del motor). El motor estará fijado a la estructura del variador de radio mediante 4 bulones M3x10mm.

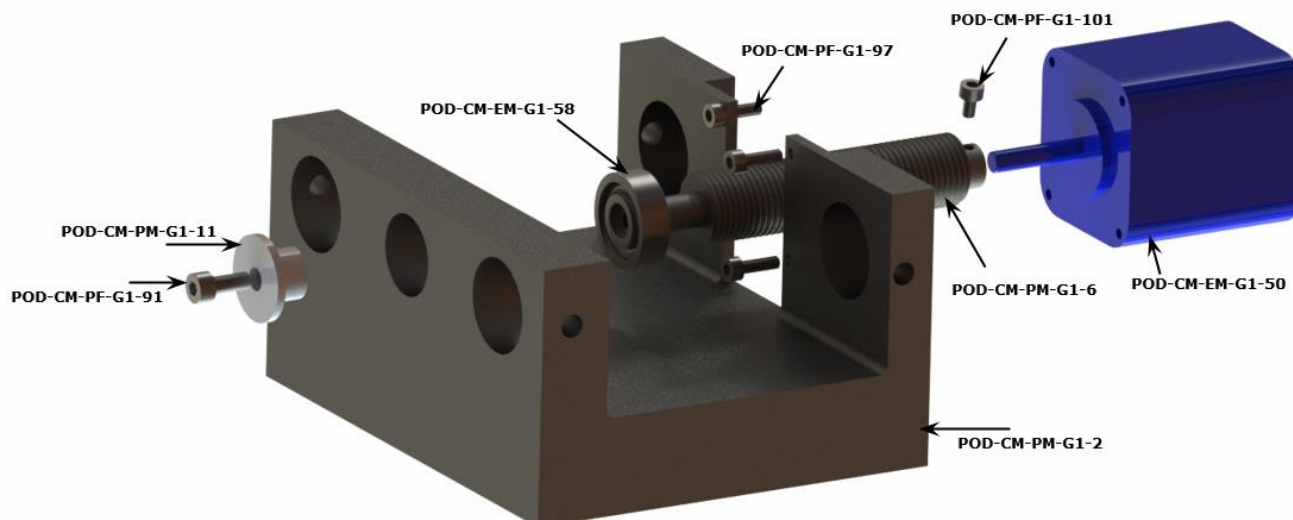


Figura 3.2.10 – Vista explosionada del mecanismo de movimiento del variador de radio

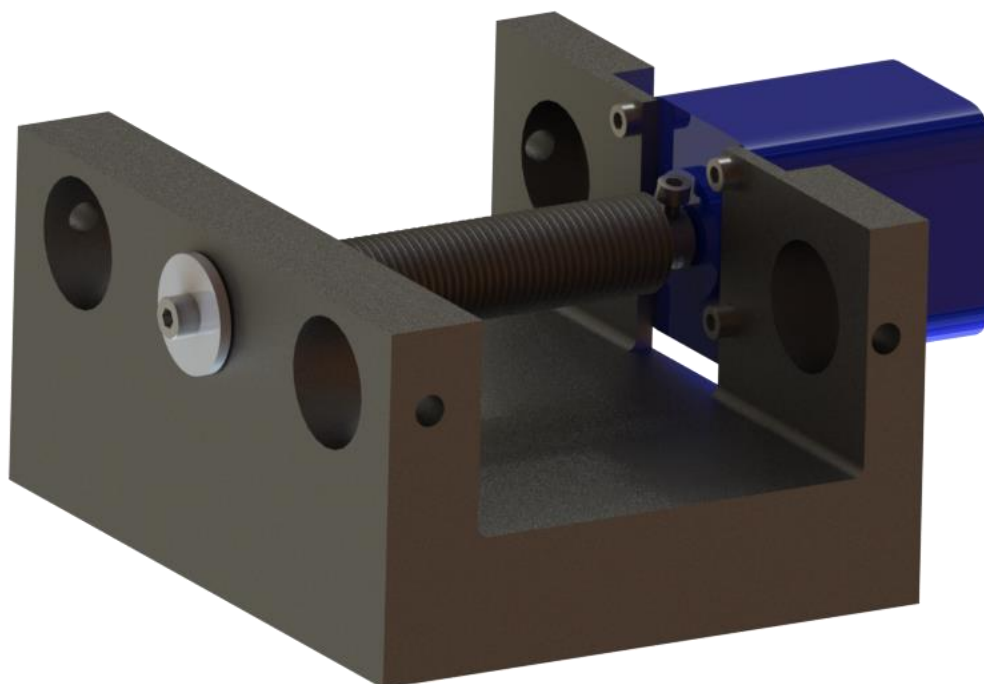


Figura 3.2.11 – Mecanismo de movimiento del variador de radio

Soporte de brazo de carga

Código de referencia: POD-CM-PM-G1-3, POD-CM-PM-G1-4, POD-CM-PM-G1-6, POD-CM-PM-G1-9, POD-CM-PM-G1-20, POD-CM-EM-G1-61, POD-CM-PI-G1-72, POD-CM-PF-G1-89 y POD-CM-PF-G1-105.
Planos de referencia: PM-A-G1-3, PM-A-G1-4, PM-A-G1-5, PM-A-G1-9 y PM-A-G1-20

Como fue mencionado anteriormente, el soporte del brazo se desplaza sobre los pernos del variador de radio y para disminuir la fricción entre ellos, se adicionan bujes de teflón, estos contarán con una ranura para colocar una pieza bronce, que a través de un bulón M4x20mm genera presión sobre el perno para eliminar la posibilidad de que el soporte se mueva durante el ensayo y lo perjudique. Se decidió colocar esta pieza para no dejar marcas en el perno, producto del contacto directo entre el perno y el tornillo, el tornillo

se ajusta en un agujero roscado en la parte lateral del soporte y se optó por colocar una pieza termoplástica para lograr un ajuste manual sin la necesidad de una herramienta.

En el extremo superior del soporte, se encuentra un eje que permite el movimiento del brazo de carga, el cual irá colocado en el centro de este, el eje estará soportado por dos rodamientos de rodillos cónicos (3) para lograr absorber los esfuerzos axiales producto del ajuste de las tuercas M12 (15), con el objetivo de fijar la posición del eje y permitir únicamente un movimiento rotacional.

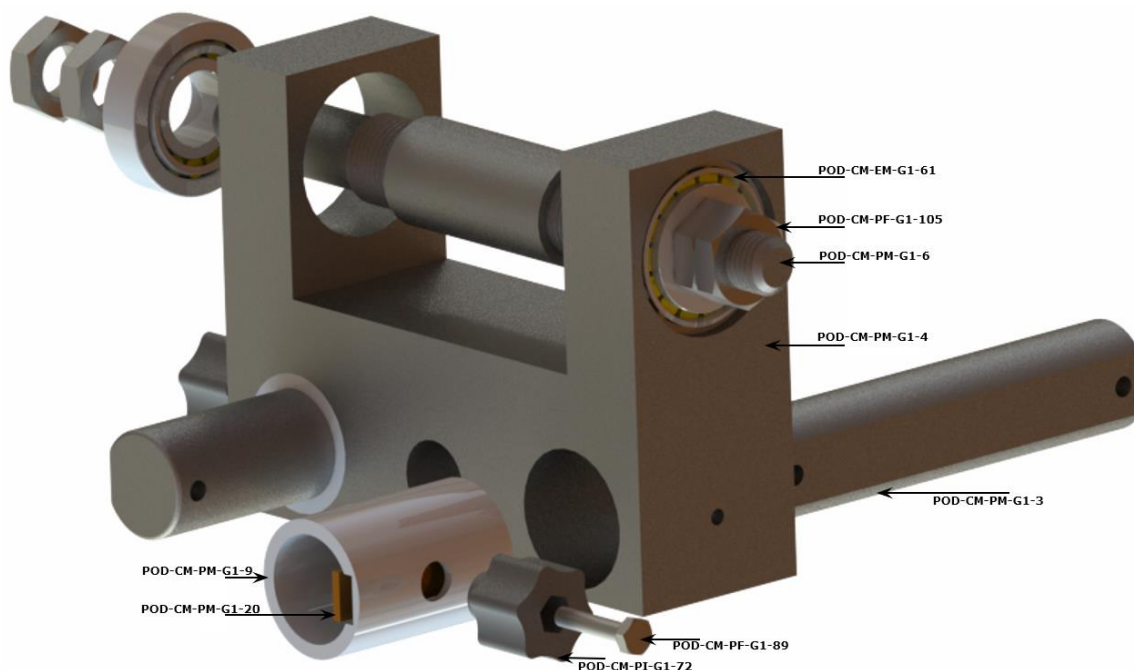


Figura 3.2.12 – Vista explosionada del soporte del brazo

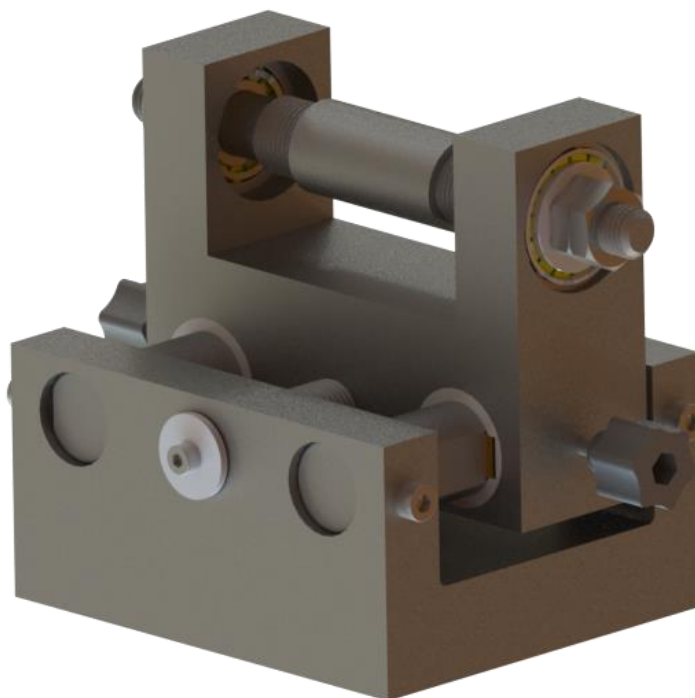


Figura 3.2.13 – Soporte del brazo

Brazo y eje pivotante

Código de referencia: POD-CM-PM-G1-5, POD-CM-PM-G1-7, POD-CM-PM-G1-8, POD-CM-PM-G1-10, POD-CM-PM-G1-21, POD-CM-EM-G1-51, POD-CM-PI-G1-71, POD-CM-PF-G1-85, POD-CM-PF-G1-86, POD-CM-PF-G1-90, POD-CM-PF-G1-104 y POD-CM-PF-G1-106.

Planos de referencia: PM-A-G1-7, PM-A-G1-8 y PM-A-G1-10

El eje pivotante será el encargado del movimiento del brazo, este se posicionará en el centro del eje mediante dos tuercas M18 (15). El brazo se compone de dos partes, una de estas se encarga de sostener los soportes de pin y la carga aplicada en el ensayo (41), mientras que su contra parte cumple la función de fijar la carga de contra peso (B) a una distancia determinada del eje pivotante, con el objetivo de eliminar la incidencia del peso del brazo y otros componentes, con esto se logra asegurar con gran precisión, que la carga aplicada en el ensayo es la agregada mediante las pesas. Para conseguir fijar la posición del contra peso se utilizará una tuerca M8 (16), una vez en contacto con el contra peso y estando el sistema equilibrado, se le aplica un esfuerzo de forma manual en sentido contrario al contra peso mediante una pieza termoplástica, cabe destacar que el contrapeso tendrá su centro roscado y al generar el esfuerzo, el contra peso actuará como tuerca desarrollando una fijación de posición absoluta.

El brazo está compuesto por dos secciones, una vinculada de forma directa al eje pivotante y a la carga de contrapeso, la otra sección se vincula de forma indirecta a través de una celda de carga (4), la cual se encarga de medir en tiempo real el coeficiente de fricción producto del contacto relativo entre la pieza a ensayar y el pin. En la sección vinculada de forma indirecta se encontrará una pieza que se encargará ajustar mediante presión el soporte de puntas. Para el diseño de ambas secciones se tuvo en cuenta espesores comerciales de planchuela (5) para reducir el tiempo de mecanizado, y por ende el costo total.

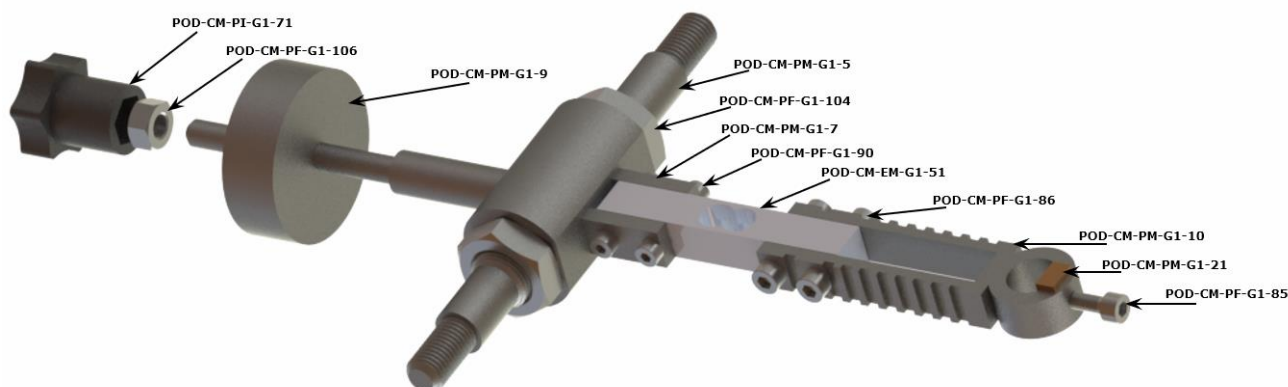


Figura 3.2.14 – Soporte del brazo

Mecanismo de movimiento principal

Al mecanismo de movimiento principal se lo separará en 2 partes para facilitar la especificación de su fijación, en la figura 3.2.15 se detallará el esquema completo

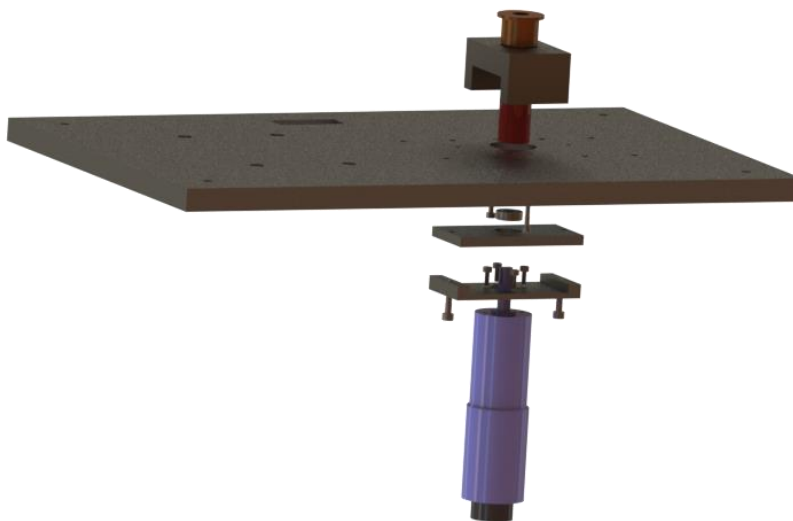


Figura 3.2.15 – Mecanismo de movimiento principal

Fijación inferior

Código de referencia: POD-CM-PM-G1-14, POD-CM-PM-G1-15, POD-CM-EM-G1-52, POD-CM-EM-G1-59, POD-CM-PF-G1-87 y POD-CM-PF-G1-99.

Planos de referencia: PM-A-G1-14 y PM-A-G1-15

Con respecto a la fijación del motor principal (6) a la base de la máquina, esto se hará mediante dos piezas vinculadas entre ellas a través de dos bulones M4x20mm, el motor estará fijado a una de ellas mediante 4 bulones M4x10mm, mientras que la otra estará ubicada entre la base de la máquina y la pieza anterior, contará con un orificio para colocar un rodamiento rígido de bolas (7) donde estará alojado el eje del motor, este se encontrará conectado a un acoplamiento (8), así, de esta manera se logra transmitir solamente momento torsor a las respectivas piezas de cada ensayo, y de esta manera desvincular cualquier esfuerzo posible que se pueda generar sobre el motor y evitar su falla.

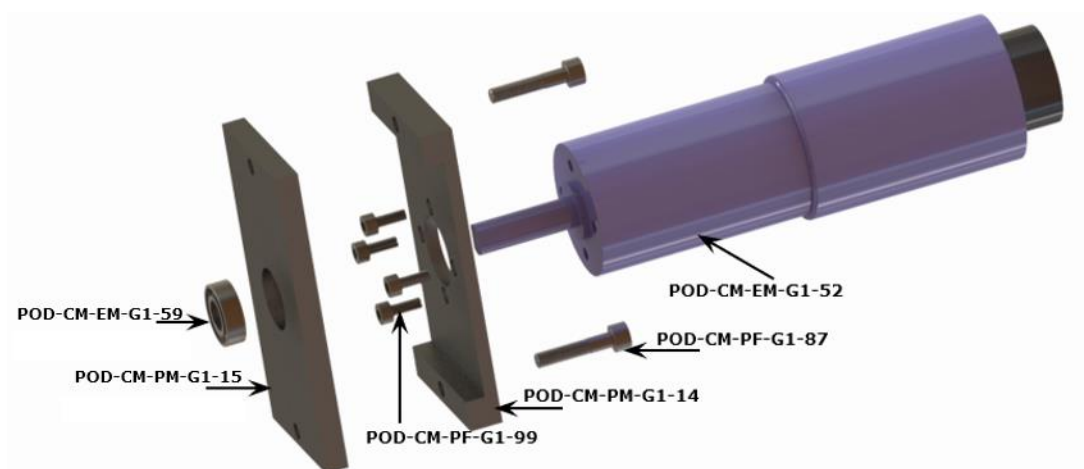


Figura 3.2.16 – Parte inferior del mecanismo de movimiento principal

Fijación superior

Código de referencia: POD-CM-PM-G1-16, POD-CM-PM-G1-17, POD-CM-EM-G1-53 y POD-CM-PF-G1-94.
Planos de referencia: PM-A-G1-16 y PM-A-G1-17

Al acoplamiento conectado al eje del motor, se le conectarán distintas piezas dependiendo del ensayo que se dese realizar. Estas piezas quedarán fijadas a la base de la máquina mediante una base rígida y un buje para reducir el desgaste entre ambas piezas. Esta base rígida estará conectada a la base de la máquina por medio de dos bulones M3x16mm.

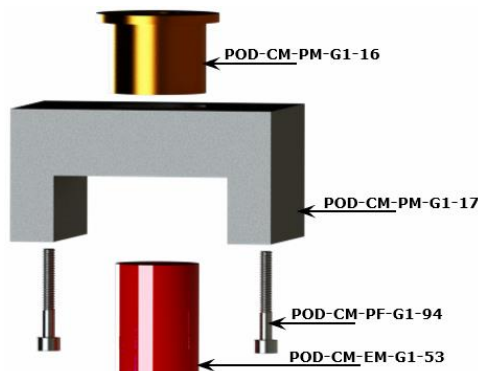


Figura 3.2.17 – Parte superior del mecanismo de movimiento principal

A continuación, se visualizará el despiece de todas las piezas correspondientes al grupo 1

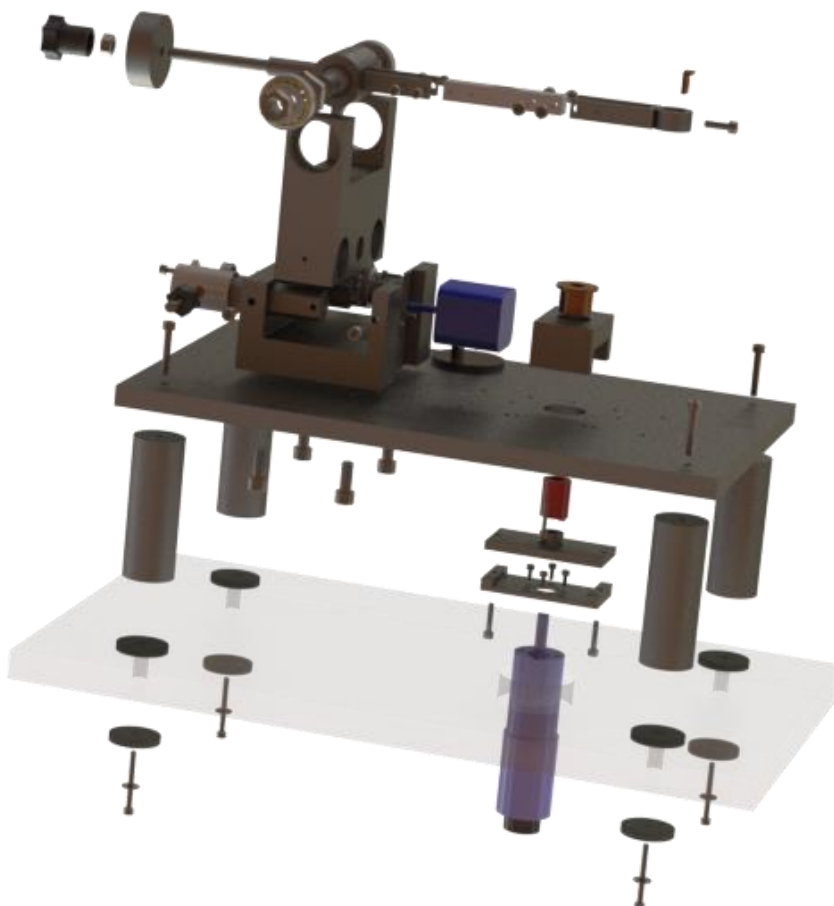


Figura 3.2.18 – Despiece del grupo 1

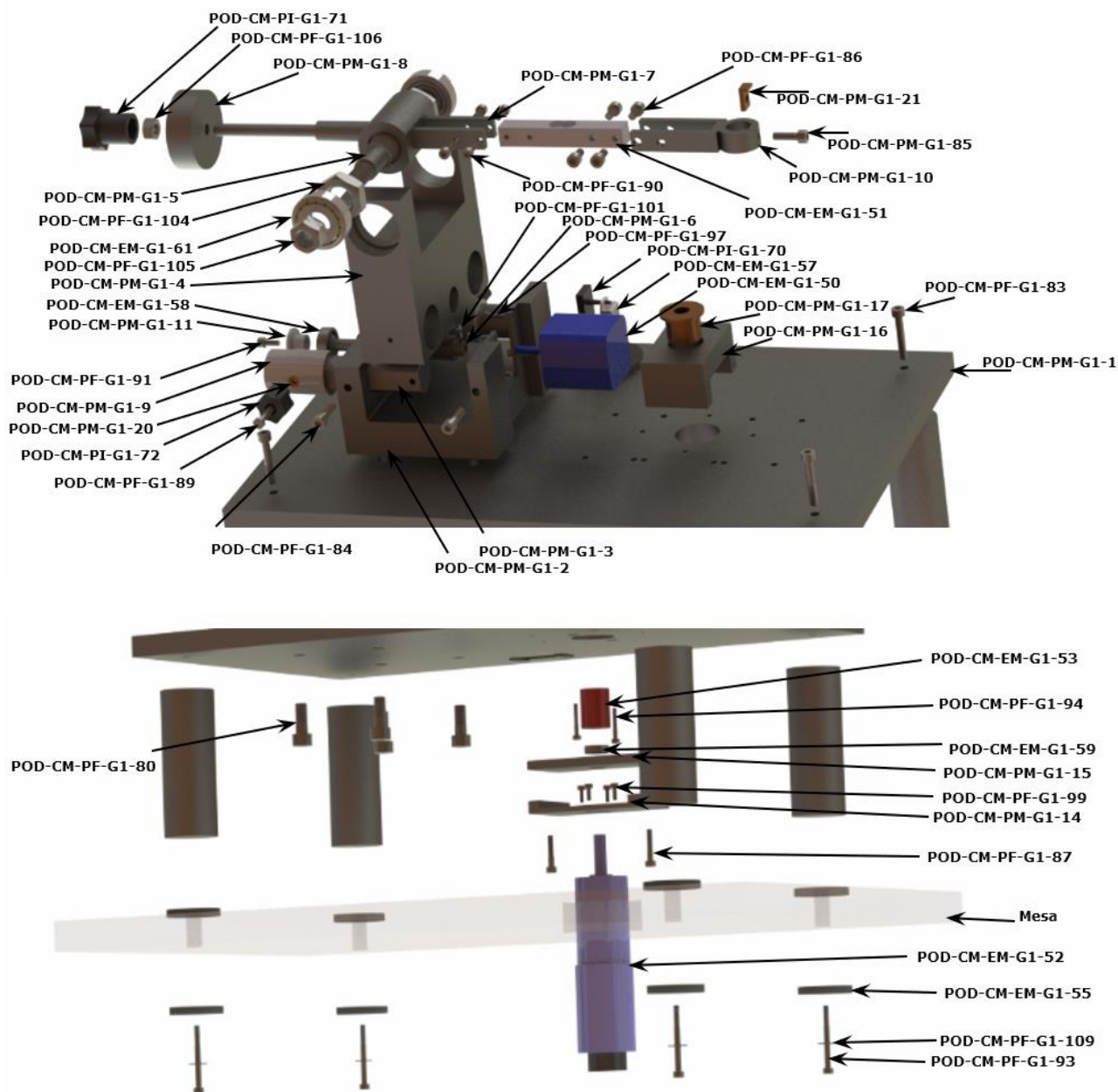


Figura 3.2.19 – Despiece del grupo 1 con referencias de códigos

Grupo 2

Este grupo abarcará todas las piezas necesarias para mantener en contacto el pin y la probeta, contará con dos mecanismos, uno para sostener un pin cilíndrico y otro para sostener un pin esférico.

Teniendo en cuenta que estas piezas estarán en contacto con el lubricante y expuestas a altas temperaturas, es decir, estarán presentes en un ambiente corrosivo, por lo que se adoptará un acero AISI 304 [9], ya que presenta una excelente resistencia a la corrosión, además de un bajo porcentaje de carbono y en temperaturas elevadas (800 a 900°C) posee buenas propiedades mecánicas.

Parte fija

Código de referencia: POD-CM-PM-G2-25.

Planos de referencia: PM-A-G2-25

En esta pieza irán fijados los mecanismos de soporte de pin, estará sujeta al brazo de carga mediante un bulón M5x20mm y una pieza que se encargará de ajustarlo al brazo mediante presión. Esta parte fija contará con un cilindro hueco en un parte superior donde se colocarán las cargas y en su parte inferior tendrá un agujero roscado para conectar los soportes de pin. Además, en el centro de esta pieza se hará un agujero que la atravesará por completo por el cual pasará un sensor de temperatura (9), con el objetivo de medir de forma directa la temperatura de la bolilla, el cilindro inferior contará con cortes de un espesor de 3,5mm debido a las limitaciones de las máquinas presentes en la zona y una profundidad de 0,5mm, se realizaran 4 cortes circunferenciales para el ensayo de *Pin-On-Disk* y dos cortes lineales en su cara plana para el ensayo de *Ball-On-Flat*, con el objetivo de contar con una referencia para lograr un correcto paralelismo entre la probeta y el brazo de carga, es decir, debido a que la distancia entre la superficie del brazo de carga y la de la probeta es distinta para cada tipo de ensayo y cada tipo de soporte de pin.

El corte circunferencial 1, se utilizará como referencia para el ensayo del tipo *Pin-On-Disk* con temperatura con el uso del soporte de pin cilíndrico, para este soporte también utilizamos el corte 3 como referencia para el ensayo del tipo *Pin-On-Disk* sin temperatura, mientras que para el soporte de pin esférico se utiliza el corte 2 como referencia para el ensayo del tipo *Pin-On-Disk* con temperatura y el corte 4 como referencia para el ensayo del tipo *Pin-On-Disk* sin temperatura.

El corte lineal 6, se utilizará como referencia para el ensayo del tipo *Ball-On-Flat* con el soporte de pin cilíndrico y el corte 5 como referencia para el ensayo del tipo *Ball-On-Flat* con el soporte de pin esférico.

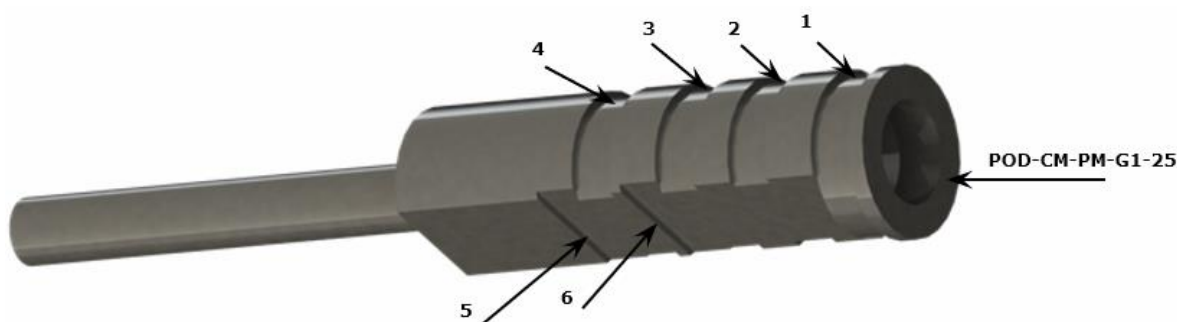


Figura 3.2.20 – Parte fija del soporte de pin

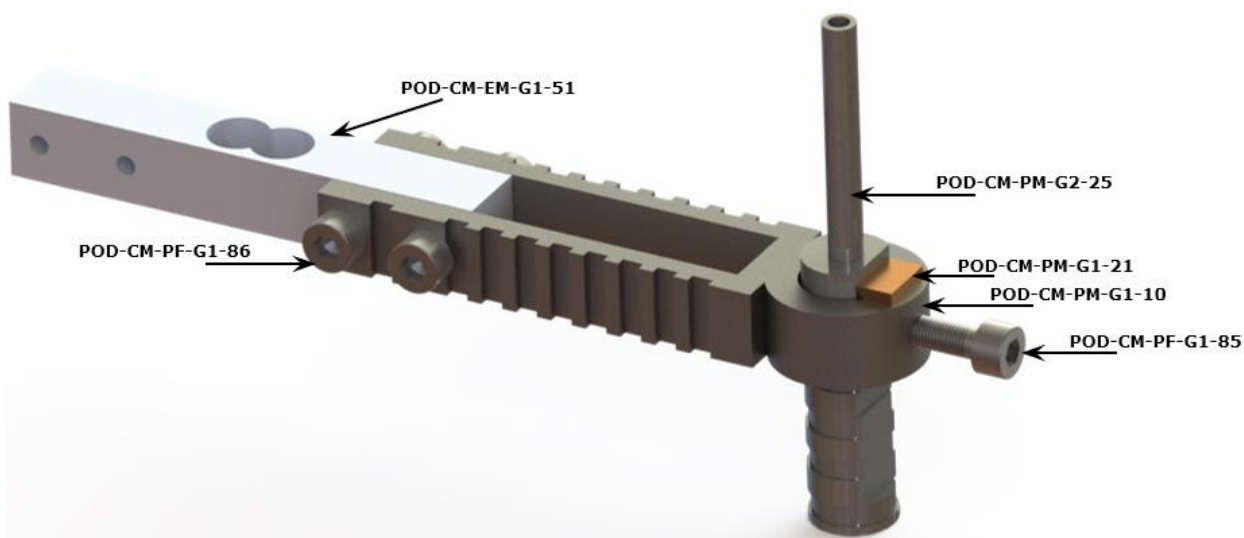


Figura 3.2.21 – Fijación de la parte fija

Soporte de puntas para el pin cilíndrico

Código de referencia: POD-CM-PM-G2-25, POD-CM-PM-G2-26, POD-CM-PM-G2-27, POD-CM-PM-G2-28 y POD-CM-PF-G2-103.

Planos de referencia: PM-A-G2-26

El soporte estará compuesto de un conector fijado a la parte fija mediante un extremo roscado, mientras que en su contra parte irán dos mordazas que sostendrán el pin cilíndrico por medio una presión de dos puntos generada por 4 tornillos M2x8mm. El conector tendrá un orificio de 3mm en su centro para que el sensor de temperatura haga contacto directo con el pin.

Además, el conector contará con un corte a ambos lados, con el objetivo de que, al finalizar el ensayo, mediante una herramienta se logre retirar el pin sin problemas, y luego lograr analizar mediante un microscopio óptico el punto exacto donde el pin sufrió el desgaste.

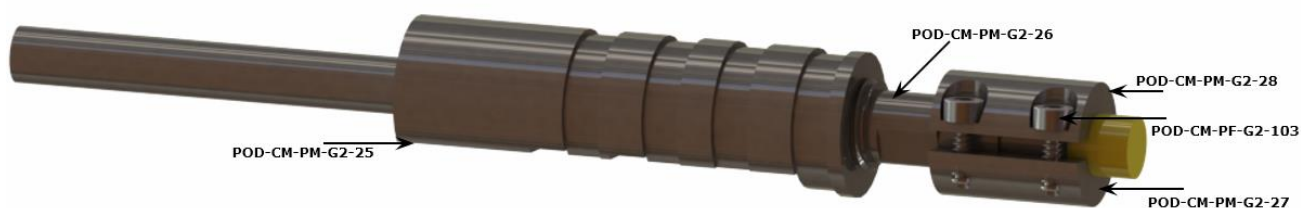


Figura 3.2.22 – Soporte de puntas – Pin cilíndrico

Soporte de puntas para el pin esférico

Código de referencia: POD-CM-PM-G2-25, POD-CM-PM-G2-29 y POD-CM-PF-G2-108.

Planos de referencia: PM-A-G2-29

Al igual que en el caso anterior, este soporte estará compuesto de un conector al cual se le acoplará una tuerca ciega M8 con un orificio de 5mm para que el pin esférico de 6mm de diámetro haga contacto con la probeta. Al igual que en el soporte anterior, el conector tendrá un orificio de 3mm en su centro para que el sensor de temperatura haga contacto directo con el pin.



Figura 3.2.23 – Soporte de puntas – Pin esférico

Grupo 3

Para realizar el movimiento rotacional, será necesario añadir 8 piezas al grupo 1 para el caso en el que se requiera realizar un ensayo del tipo *Pin-On-Disk* sin temperatura (figura 3.2.24), y 13 piezas en el caso que se requiera realizar un ensayo del tipo *Pin-On-Disk* con temperatura (figura 3.2.25).

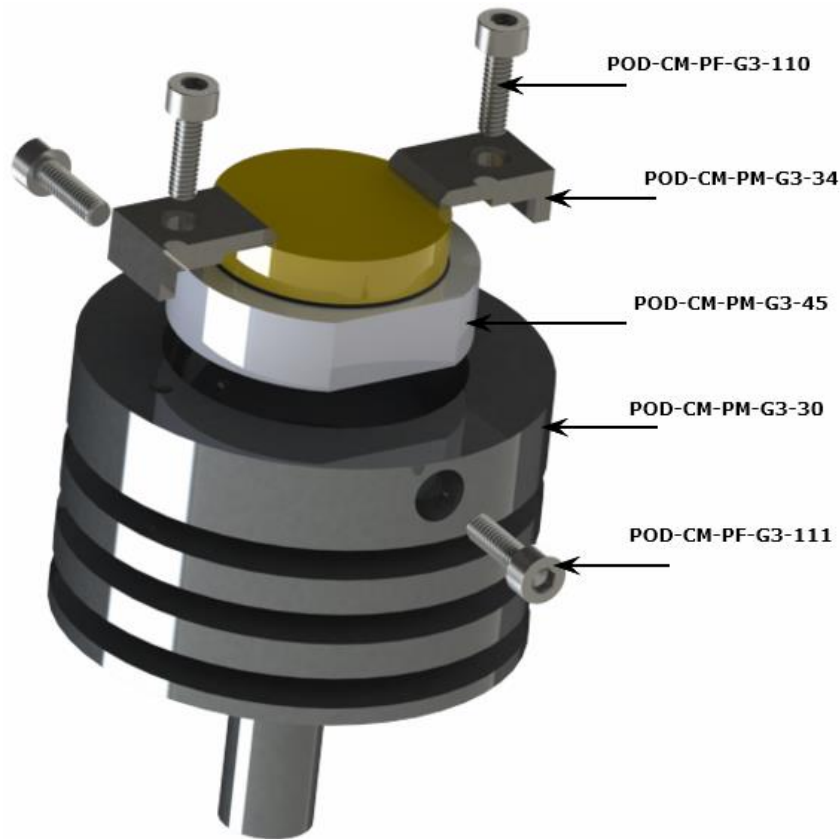


Figura 3.2.24 – Grupo 3 - Ensayo *Pin-On-Disk* sin temperatura

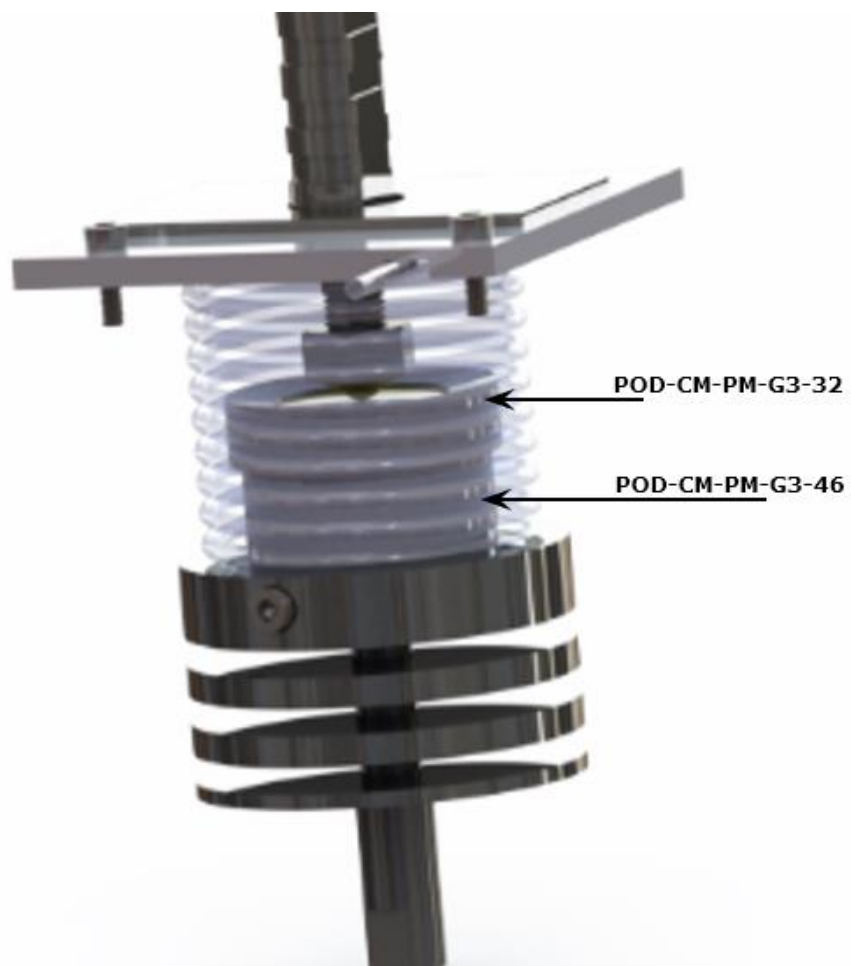
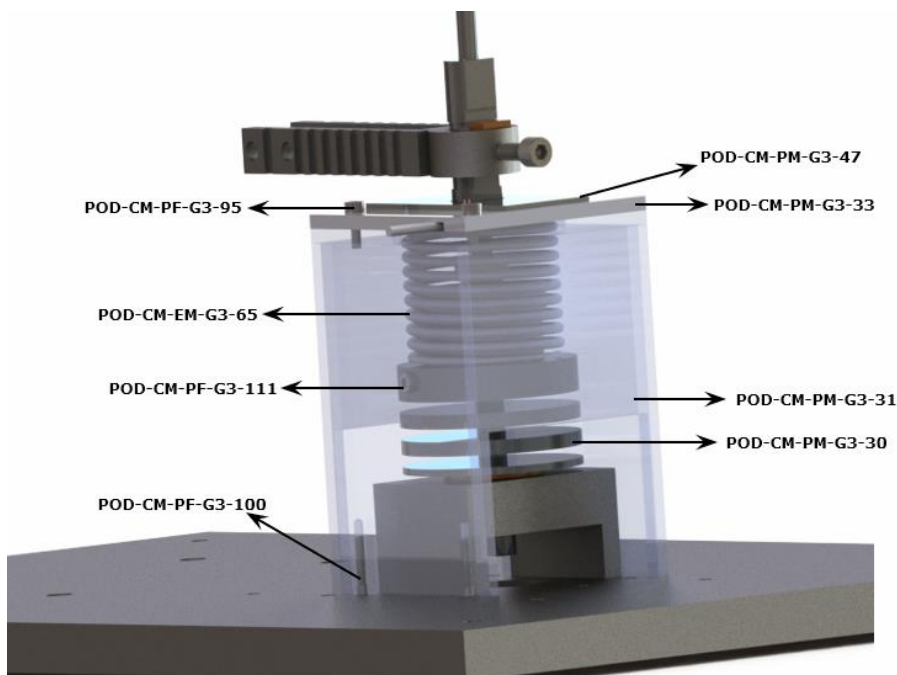


Figura 3.2.25 – Grupo 3 - Ensayo *Pin-On-Disk* con temperatura

Porta probeta

Código de referencia: POD–CM–PM–G3–30.

Planos de referencia: PM-A-G3-30

Cuando se desea realizar un ensayo a elevadas temperaturas, esta pieza será la encargada de disipar la mayor temperatura posible para evitar el calentamiento del eje del motor y de esta manera no dañarlo.

Para lograr disipar una gran cantidad de temperatura, la pieza deberá contar con una alta impedancia térmica la cual es una “medida de la resistencia al flujo de calor desde una superficie caliente, a través de un material de interfaz, hacia una superficie fría”. Por lo tanto, en este caso tenemos como fuente de calor o superficie caliente una resistencia eléctrica (19), como material de interfaz el porta probeta y como superficie fría el acoplamiento/eje del motor.

A razón de este principio se buscó generar un diseño (40) en el cual se logre aumentar de forma considerable la resistencia térmica de esta pieza ya que de esta depende la transmisión de temperatura por conducción, obteniendo como resultado:

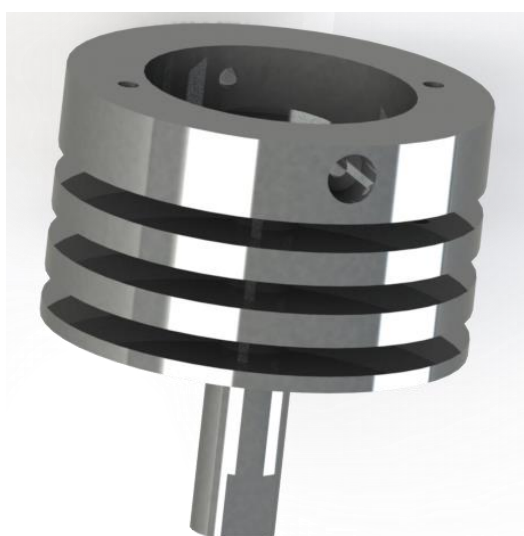


Figura 3.2.26 – Diseño de porta probeta

Como se puede observar, esta pieza contará con orificios en sus laterales para ajustar los apoya probetas mediante bulones M3x10mm, además de los orificios en su parte superior donde se colocarán dos bulones M3x10mm para fijar los agarres de probetas en el caso de realizar un ensayo *Pin-On-Disk* con temperatura.

Apoya probetas

Código de referencia: POD–CM–PM–G3–32, POD–CM–PM–G3–34, POD–CM–PM–G3–45, POD–CM–PM–G3–46, POD-CM-PF-G3-110 y POD-CM-PF-G3-111.

Planos de referencia: PM-A-G3-30, PM-A-G3-45 y PM-A-G3-32

Se decidió realizar dos módulos, uno para el caso en el que se realiza el ensayo *Pin-On-Disk* con temperatura y otro para el caso en el que se realiza sin temperatura.

Debido a las dimensiones de la resistencia, se decidió realizar un apoya probeta con un mecanismo similar al que posee la máquina de laboratorio con la que cuenta actualmente el grupo GIS, contemplando las limitaciones en cuanto a tamaño de muestra que se puede colocar. Este mecanismo se compone de un cilindro de acero inoxidable 304 con un extremo con cortes longitudinales para fijar su posición respecto del porta probetas mediante dos bulones M3x10mm, mientras que en su contraparte se encuentra una cara plana donde se apoya la probeta y su periferia roscada, con la cual se ajusta la posición de la probeta mediante un aro roscado.

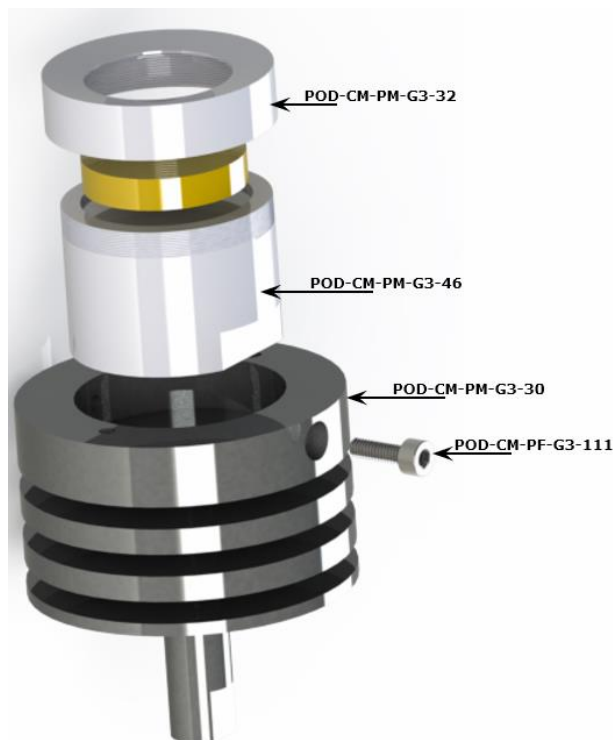


Figura 3.2.27 – Apoya probeta para ensayo *Pin-On-Disk* con temperatura

El segundo módulo tendrá el mismo mecanismo de vinculación al porta probeta, para este caso se fijará la probeta mediante dos agarres, los cuales generan una presión sobre la probeta impidiendo su movimiento mediante dos bulones M3x10mm, este mecanismo de agarre de la probeta permite una amplia variedad de dimensiones de probetas.

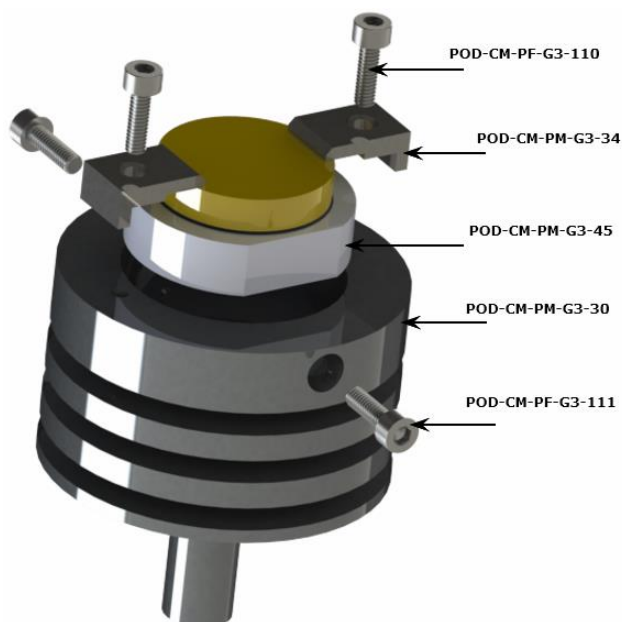


Figura 3.2.28 – Apoya probeta para ensayo *Pin-On-Disk* sin temperatura

Cámara

Código de referencia: POD-CM-PM-G3-31, POD-CM-PM-G3-33, POD-CM-PM-G3-47, POD-CM-PF-G3-95 y POD-CM-PF-G3-100.

Planos de referencia: PM-A-G3-31, PM-A-G3-33 y PM-A-G3-47

Cuando se desea realizar un ensayo a elevadas temperaturas, estas piezas serán las encargadas de retener la temperatura y aprovechar en mayor medida la energía entregada por la resistencia. Para esta cámara se planteó su diseño mediante placas soldadas de 4mm de acero inoxidable 304, debido a la complejidad de la pieza, fijada a la base principal mediante bulones M3x30mm, contará con una abertura en su parte inferior para permitir la refrigeración del porta probeta mediante el flujo de aire y evitar el recalentamiento de la grasa que se encontrará entre el buje y el porta probeta. En su parte superior se colocará una tapa y se ajustará mediante bulones M3x10mm, fijando la posición de la resistencia eléctrica, además, sobre la tapa se encontrará simplemente apoyada una chapa de 4mm de acero inoxidable 304, con un hueco de 15mm para el ingreso del soporte de pin a la cámara, teniendo como único objetivo reducir el calentamiento por radiación y convección del brazo de carga.

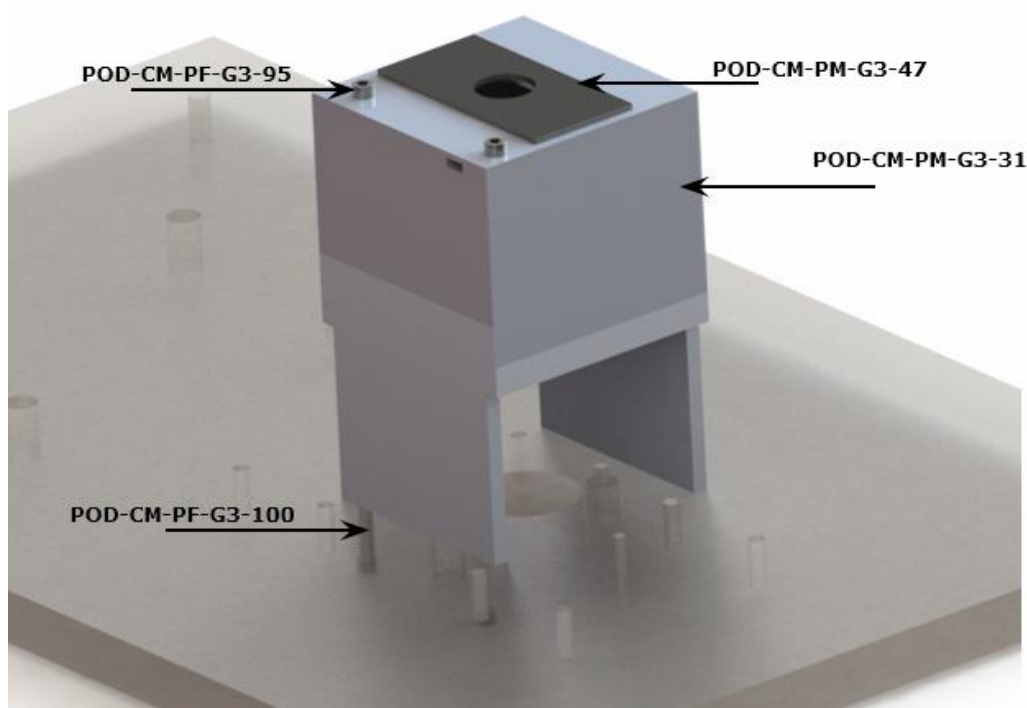


Figura 3.2.29 – Cámara

Debido a las altas temperaturas de trabajo se generarán errores aleatorios en cuanto al radio de ensayo, debido a que las altas temperaturas generarán una dilatación del soporte de pin, debido a que el acero inoxidable es mal conductor térmico esta variación se puede generar en todas las direcciones. Debido a que, al aumentar la carga del ensayo, se aumenta la fuerza de fricción aplicada en el pin, por lo cual, se aumentará el error del ensayo. La dilatación mencionada tenderá a aumentar el radio del ensayo, ya que la fuerza de fricción es tangencial al radio.

Grupo 4

Para realizar un desplazamiento lineal de la probeta se adoptó por un mecanismo de biela-manivela, haciendo deslizar recíprocamente la base donde se encuentra sujeta la probeta, logrando con este movimiento una huella lineal. Con respecto al desplazamiento del porta probeta, se moverá sobre dos soportes, los cuales poseen en su interior rodamientos axiales que se deslizarán sobre una barra rectificadora para aportar la menor fuerza de fricción posible al movimiento. Estas piezas poseen un bajo costo y un peso reducido, lo cual es beneficiario teniendo en cuenta que deberán estar en movimiento a altas velocidades ocasionando vibraciones.

Mecanismo de movimiento recíprocante – Manivela

Código de referencia: POD-CM-PM-G4-35 y POD-CM-PM-G4-36.

Planos de referencia: PM-A-G4-35 y PM-A-G4-36

Como fue mencionado anteriormente, el movimiento recíprocante se realizará por medio de un mecanismo biela-manivela, como mecanismo de manivela, se utilizará un eje excéntrico.

La longitud de la pista de desgaste estará definida por la longitud de la manivela, es decir, la distancia entre el centro del eje motor/acoplamiento y el hueco donde se colocará un perno, el cual quedará fijado a la biela. Por lo cual, se conseguirá crear una pista sobre la probeta de 5 o 10mm de longitud, por lo tanto, será necesario construir dos excéntricos con dimensiones idénticas, exceptuando la posición del perno con respecto al eje principal.

Tanto el perno como el excéntrico deberán ser del mismo material, para evitar una desalineación debido a un corrimiento del centro de masa del conjunto.

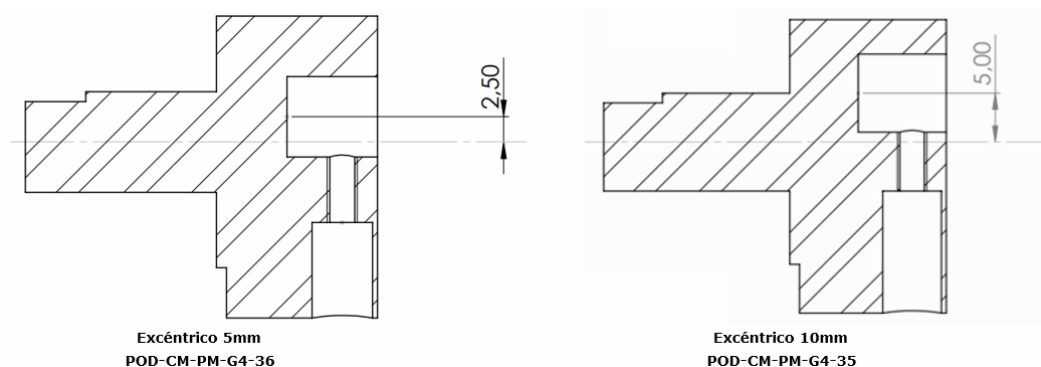


Figura 3.2.30 – Excéntricos

Para contrarrestar la fuerza que generará la masa de los cuerpos en movimiento, se agregará un contrapeso sobre el contorno del excéntrico. Para el cálculo de este, se tomará 2/3 del peso de la biela, 2/3 del peso del perno y el peso del rodamiento anclado al perno. Tanto el peso de la biela como el peso del perno se obtendrá mediante el software SolidWorks, considerando que son de acero SAE 1045 LC; el peso del rodamiento se obtiene del catálogo del fabricante (figura 3.3.63).

$$P = P_{Biela} \cdot \frac{2}{3} + P_{Perno} \cdot \frac{2}{3} + P_{Rodamiento} = 28,43g \cdot \frac{2}{3} + 6,58g \cdot \frac{2}{3} + 3,6g = 26,94g$$

A partir de este cálculo aproximado, se adicionará al excéntrico un contrapeso de 30g.

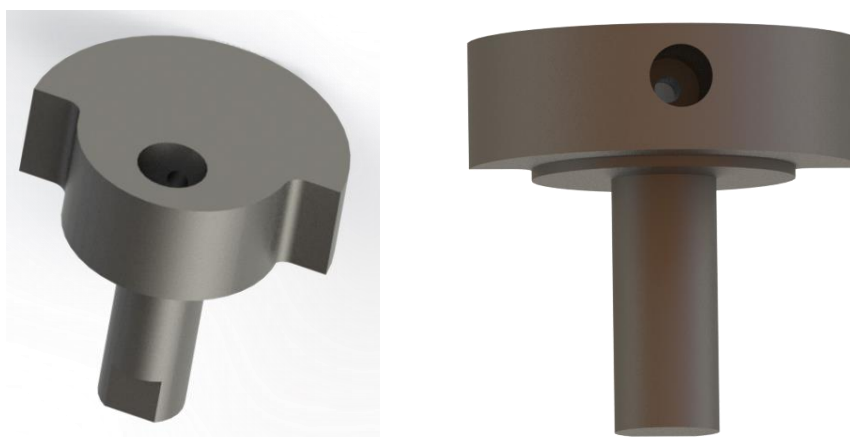


Figura 3.2.31 – Excéntrico – POD-CM-PM-G4-35

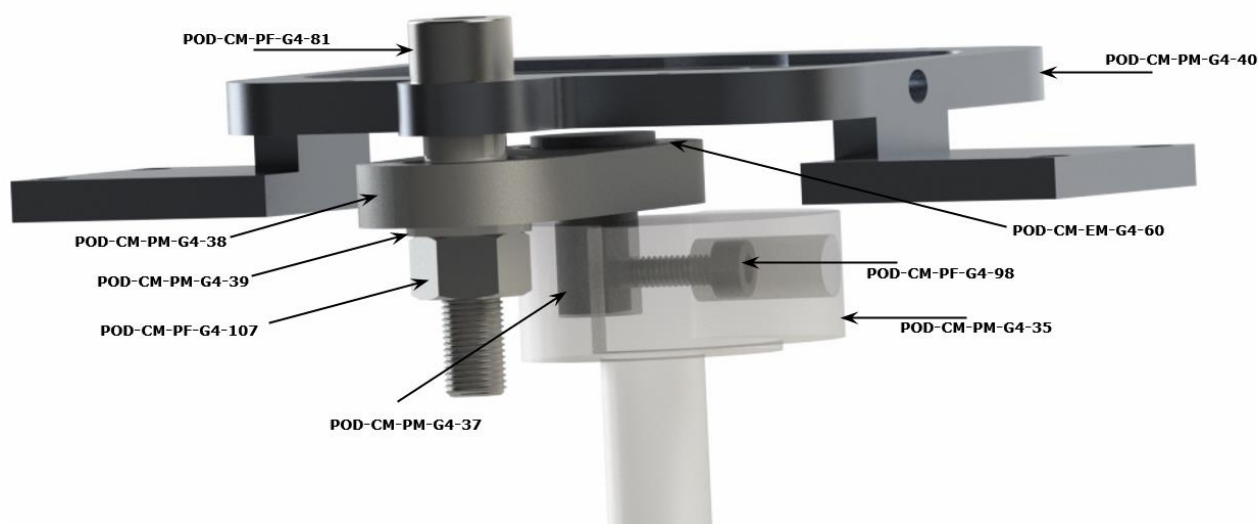
Mecanismo de movimiento recíprocante – Biela

Código de referencia: POD-CM-PM-G4-37, POD-CM-PM-G4-38, POD-CM-PM-G4-39, POD-CM-EM-G4-60, POD-CM-PF-G4-81, POD-CM-PF-G4-98 y POD-CM-PF-G4-107.

Planos de referencia: PM-A-G4-37, PM-A-G4-38, PM-A-G4-39 y PM-A-G4-40

Continuando con la definición del mecanismo, sobre la biela irán anclados dos rodamientos rígidos de bolas (10). Para establecer el contacto entre uno de los rodamientos de la biela y el bulón M6x30mm sujeto al porta probeta, se hará uso de un buje de teflón, ya que brindará un peso más reducido a la parte móvil del mecanismo en comparación con otros materiales. El buje en su parte superior hará contacto con el porta probeta, mientras que en su parte inferior se colocará una tuerca M6 en el bulón, el cual pasa a través del buje, fijando su posición.

En el otro extremo de la biela se encontrará un perno, el cual estará anclado al otro rodamiento, y fijado al excéntrico mediante un prisionero que se encuentra en el interior del excéntrico.



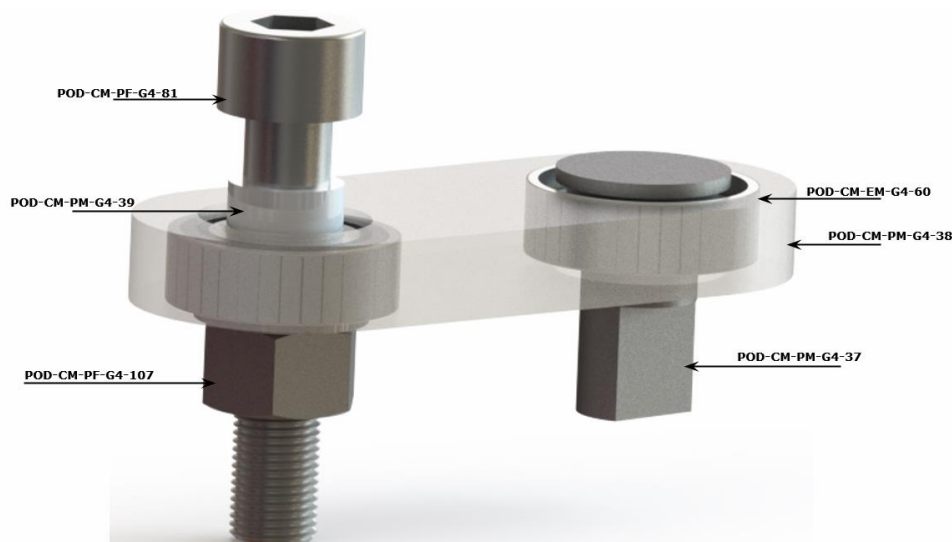


Figura 3.2.32 – Mecanismo de movimiento recíprocante – Biela

Porta probeta

Código de referencia: POD-CM-PM-G4-40, POD-CM-PM-G4-41, POD-CM-PM-G4-42, POD-CM-EM-G4-54, POD-CM-PF-G4-92, POD-CM-PF-G4-96 y POD-CM-PF-G4-102.

Planos de referencia: PM-A-G4-40 y PM-A-G4-42

Para fijar la probeta durante el ensayo, se diseñó un porta probetas. Se adoptó como material aluminio 6061 [14], ya que es la aleación más usada para realizar mecanizados, además de ser la más versátil y económica, tiene una buena resistencia a la corrosión, y añade un peso relativamente bajo al mecanismo en comparación con otros materiales.

Para realizar ciertos ensayos se requerirá la utilización de fluidos lubricantes, siendo de vital importancia la inmersión completa de la probeta, por tal motivo se diseñará un recipiente de plástico para contener el fluido, y estará sujeto al porta probetas mediante bulones M2x8mm. Para evitar una fuga del fluido, entre el porta probeta y el recipiente se colocará una junta de goma/oring de sección comercial de 2,62mm, con una longitud de 250mm y se ubicará en una ranura del recipiente comprimiéndose al ajustar los bulones.

Para lograr extraer el fluido del conjunto (Porta probeta-Recipiente de fluidos), se optó por realizar un agujero M4 en el porta probeta, donde se le colocará un tornillo M4x6mm que se retirará cuando se requiera extraer el fluido.

Sobre el porta probeta se encontrará un conjunto de agarre de probeta y bulón M3x16mm para fijar la posición de la probeta durante el ensayo.

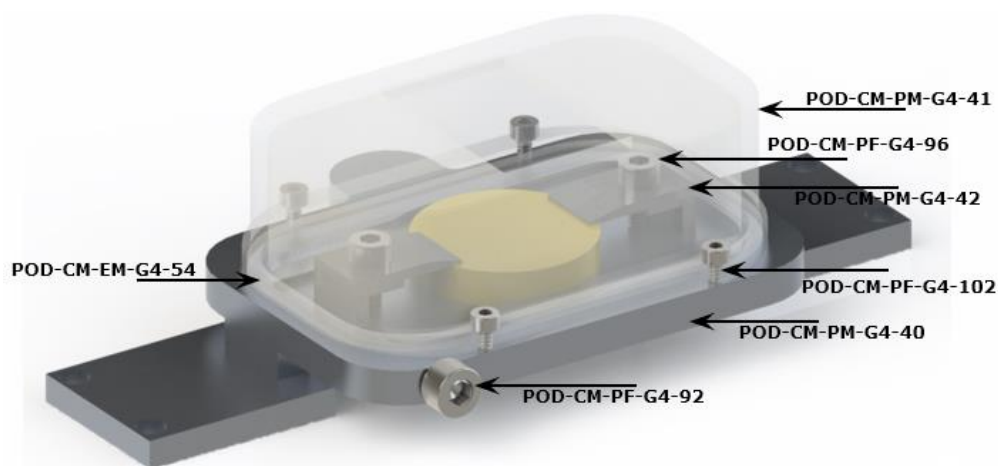


Figura 3.2.33 – Porta probeta

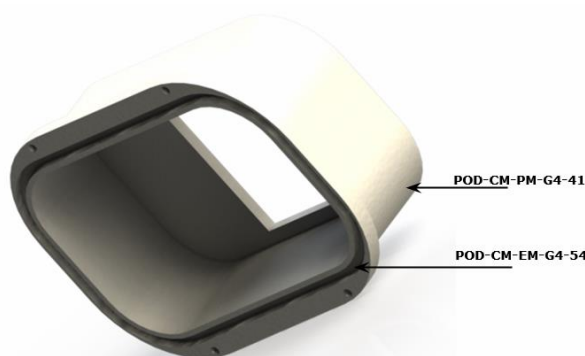


Figura 3.2.34 – Recipiente de fluidos y cavidad de oring

Apoyo del porta probeta

Código de referencia: POD-CM-PM-G4-43, POD-CM-EM-G4-62, POD-CM-EM-G4-63, POD-CM-EM-G4-64, POD-CM-PF-G4-82 y POD-CM-PF-G4-88.

Planos de referencia: PM-A-G4-40 y PM-A-G4-43

Para lograr producir el movimiento lineal del porta probeta, se optó por un sistema de guías, compuesto por una base con un rodamiento axial en su interior (11), la cual se desplazará sobre una barra de 8mm de acero SAE 1045 [17], templada rectificada y pulida, para reducir la fricción entre el rodamiento lineal y la barra. Las barras estarán sujetadas por medio de un par de soportes (12). Se eligió este sistema por su bajo costo y su montaje sencillo y rápido.

Para reducir las dimensiones del porta probeta y por ende su peso, se colocarán dos planchuelas de 1 1/2" x 5/16" debajo de cada soporte de las barras empleadas, por ser la opción más económica y factible, se seleccionaron estas medidas desde el catálogo de SIDERSA (5).

El porta probeta quedará sujeto a cada base mediante dos bulones M4x20mm, mientras que los soportes se fijan a la base principal mediante bulones M5x30mm.

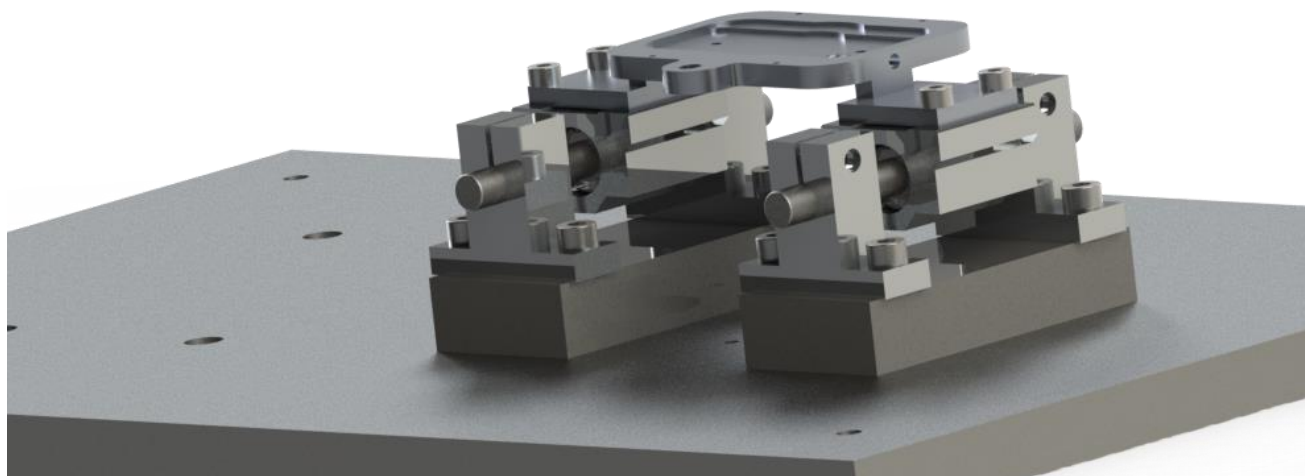


Figura 3.2.35 – Apoyo del porta probeta



Figura 3.2.36 – Apoyo del porta probeta

Diseño de piezas termoplásticas

Para reducir costos de fabricación y además por la complejidad de su diseño, se optó por fabricar ciertas piezas mediante la metodología de impresión 3D. A continuación, se definirá cada pieza.

Estas piezas se realizarán de un material termoplástico, entre los tipos posibles de termoplásticos [19], se optó por utilizar PLA (ácido poliláctico) por sus características y aplicaciones.

Soporte de sensor de humedad

Código de referencia: POD-CM-EM-G1-57 y POD-CM-PI-G1-70

Considerando la importancia de las condiciones ambientales en un ensayo, es de vital importancia conocer las características del ambiente en todo momento, por lo cual, se decidió colocar un sensor de humedad (13), para mantenerlo en una posición estable, se diseñó el soporte mostrado en las figuras 3.2.37 y 3.2.38. Teniendo en cuenta las limitaciones/complicaciones de la impresión 3D, para garantizar una buena resistencia y aspecto de la pieza, se decidió fabricarla en dos partes, una inferior la cual estará anclada por presión a la base principal y contará con un corte transversal a ella para el paso de los cables del sensor, mientras que la parte superior el sensor estará colocado por presión en una saliente cónica, encontrándose en una zona intermedia de la longitud total de la saliente el diámetro del agujero del sensor, el cual se obtuvo de la figura 3.3.70 [22].



Figura 3.2.37 – Soporte de sensor de humedad

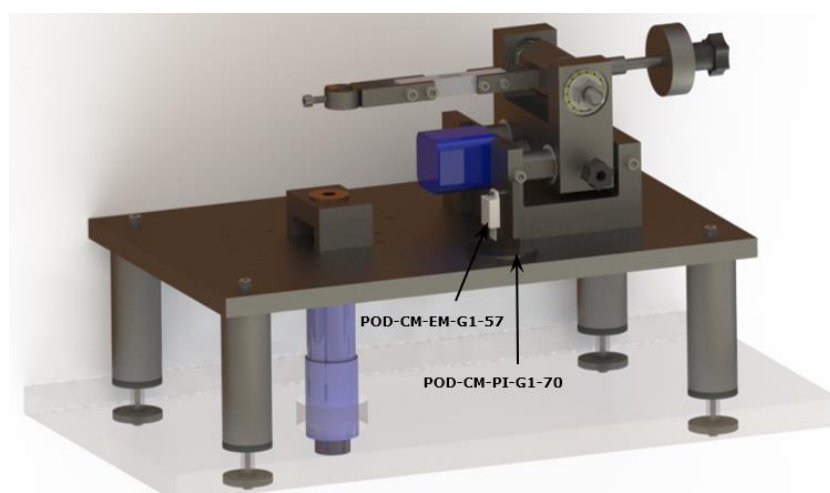


Figura 3.2.38 – Ubicación del soporte de sensor de humedad

Ajuste de contrapeso

Código de referencia: POD-CM-PI-G1-71 y POD-CM-PF-G1-106

Como fue mencionado anteriormente, para lograr eliminar la incidencia del peso del brazo y otros componentes de este, se colocó un contrapeso el cual se encuentra enroscado en el extremo roscado del brazo, considerando que durante el ensayo se pueden producir vibraciones en el brazo produciendo un desplazamiento del contrapeso y por ende variando la carga aplicada en el ensayo. Por lo tanto, se colocará una tuerca M8 (16) una vez en contacto con el contra peso, se le aplica un esfuerzo de forma manual en sentido contrario al contra peso mediante una pieza termoplástica que contará con una cavidad para la tuerca para evitar la necesidad de utilizar una herramienta.

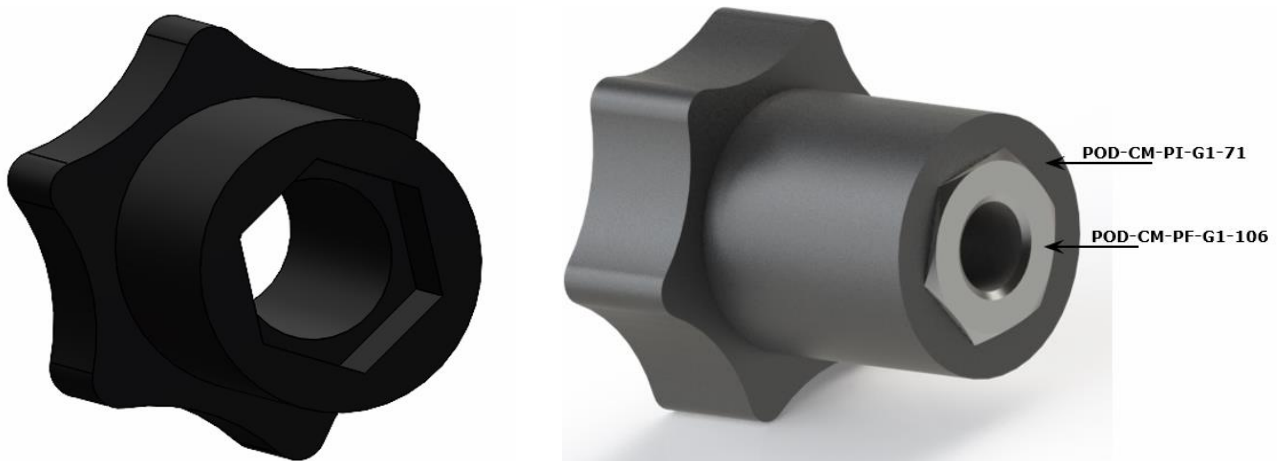


Figura 3.2.39 – Ajuste de contrapeso

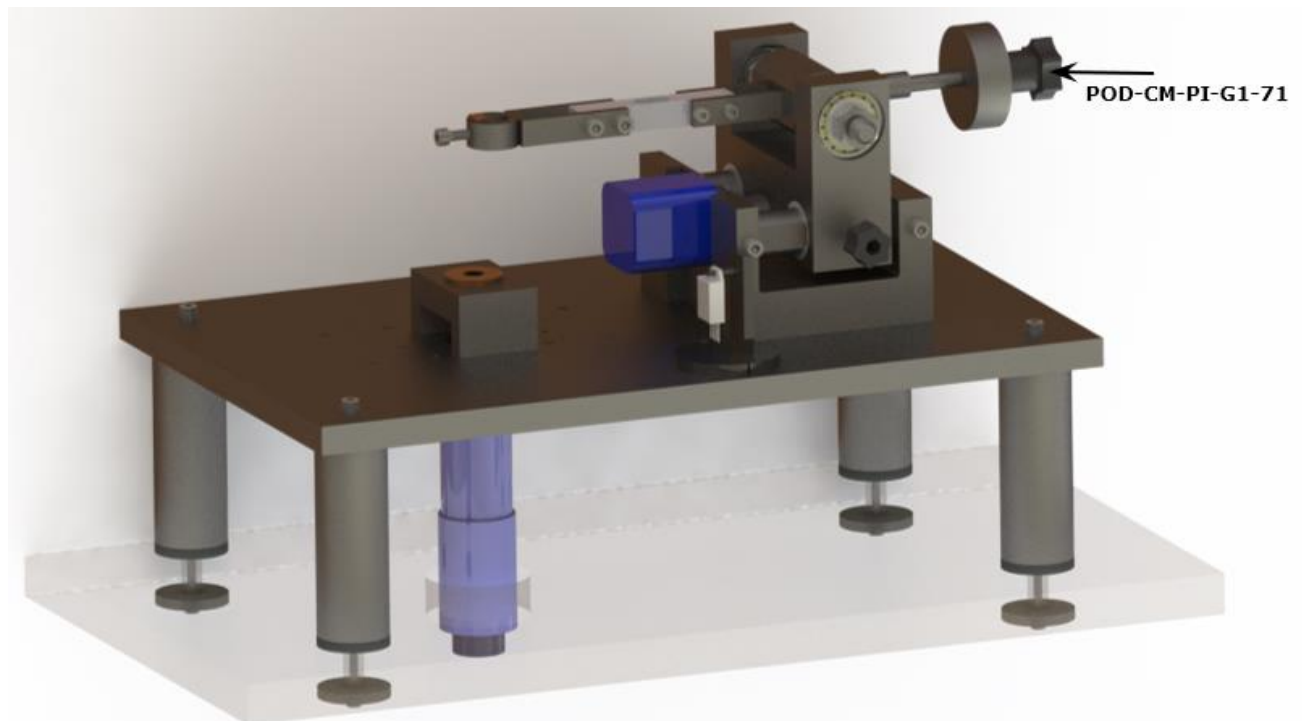


Figura 3.2.40 – Ubicación del ajuste de contrapeso

Ajuste de base

Código de referencia: POD-CM-PI-G1-72 y POD-CM-PF-G1-89

Para ajustar la posición de la base del variador de radio, se utilizará un bulón M4x20mm (17) genera presión sobre una pieza de bronce, con el mismo objetivo que se planteó anteriormente, se utilizará una pieza termoplástica para evitar el uso de herramientas.

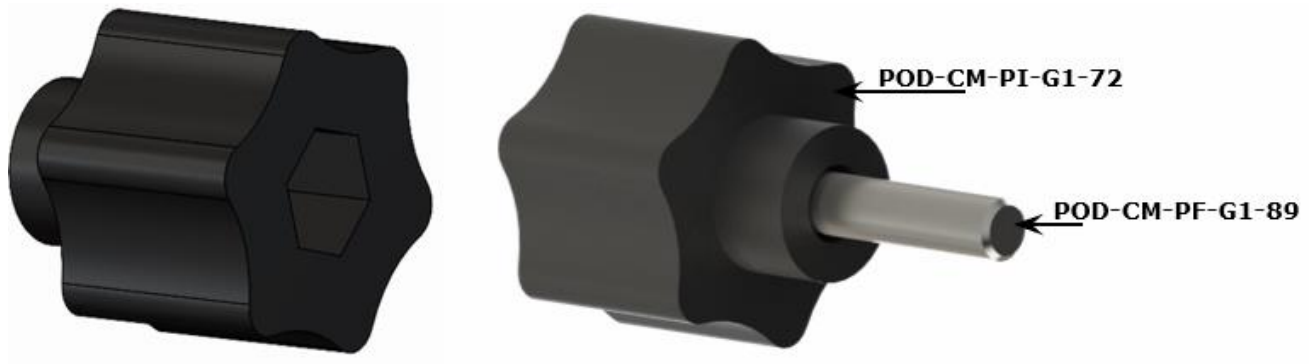


Figura 3.2.41 – Ajuste de base

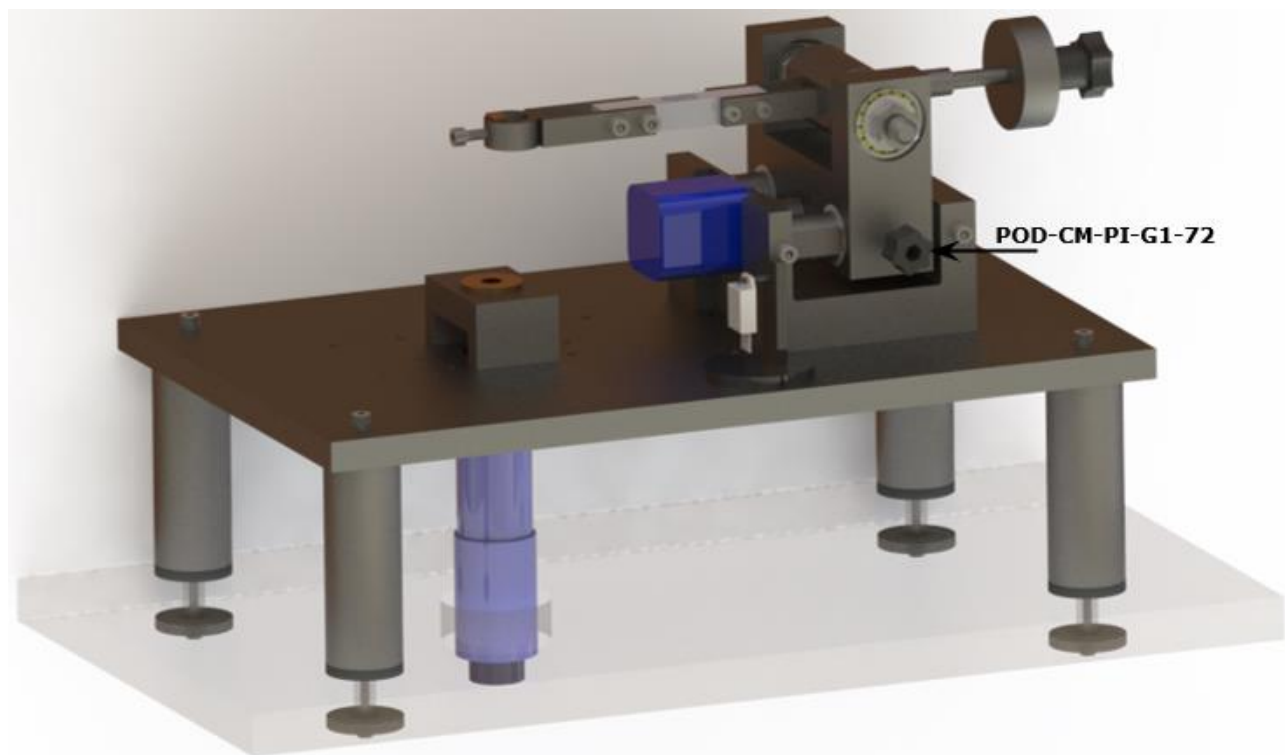


Figura 3.2.42 – Ubicación del ajuste de la base

Capítulo 3.3 – Memoria de calculo

| | |
|--|----|
| CAPÍTULO 3.3 – MEMORIA DE CALCULO | 42 |
| <i>Cálculo de piezas</i> | 43 |
| (A) Motor paso a paso | 43 |
| (B) Carga de contrapeso | 44 |
| (C) Porta probeta | 45 |
| <i>Selección de componentes</i> | 48 |
| Elementos mecánicos | 48 |
| (1) Motor paso a paso | 48 |
| (2) Rodamiento rígido de bolas 608 | 49 |
| (3) Rodamiento de rodillos cónicos 30202 | 52 |
| (4) Celda de carga | 56 |
| (5) Catálogo de planchuelas | 58 |
| (6) Motor principal | 59 |
| (7) Rodamiento rígido de bolas 628/8 2Z | 63 |
| (8) Acoplamiento | 65 |
| (9) Sensor de temperatura | 65 |
| (10) Rodamiento rígido de bolas 628/8 2Z | 66 |
| (11) Base de guía | 69 |
| (12) Soporte de barra de rodamientos lineales | 70 |
| (13) Sensor de humedad DHT 22 | 71 |
| (14) Arandelas planas | 74 |
| (15) Tuercas hexagonales | 75 |
| (16) Tuercas hexagonales | 76 |
| (17) Bulón hexagonal | 77 |
| (18) Tornillo allen cabeza cilíndrica | 78 |
| (19) Resistencia eléctrica | 79 |
| Componentes y conexiones eléctricas | 81 |
| (25) Motor principal | 81 |
| (26) Sensor de humedad | 83 |
| (27) Celda de carga | 84 |
| (28) Motor paso a paso | 85 |
| (29) Arduino UNO | 86 |
| (30) Esquema de conexión | 88 |
| <i>Simulaciones de piezas</i> | 92 |
| (40) Simulación térmica del porta probeta | 92 |
| (41) Simulación térmica del brazo de carga | 95 |
| (42) Simulación de movimiento del mecanismo reciprocante | 97 |
| (43) Simulación de tensiones del mecanismo reciprocante | 98 |

Cálculo de piezas

(A) Motor paso a paso

Código: POD-CM-EM-G1-50

Material: ---

Se seleccionará un motor paso a paso para realizar la variación de la trayectoria sobre la probeta de forma controlada al hacer girar un eje sin fin, el cual desplazará hacia adelante y hacia atrás el soporte del brazo, este mecanismo permite girar a velocidades muy lentas, controladas y de forma precisa. El motor se seleccionará de acuerdo con el torque que es capaz de entregar.

Primero se obtendrá el torque mínimo necesario para lograr desplazar el soporte, teniendo en cuenta el peso de todas las piezas y las fuerzas de fricción que se generan entre los bujes y los pernos del variador de radio. Para esto se determina el peso de todas las piezas mediante SolidWorks y el peso de los rodamientos de rodillos cónicos que se obtiene del catálogo del fabricante. En la tabla que se encuentra a continuación, se ilustrarán los pesos de cada componente.

| Pieza | Peso [g] |
|---------------------------------|----------------|
| Sección de contrapeso del brazo | 320,9 |
| Sección de carga del brazo | 83,6 |
| Celda de carga | 48 |
| Soporte de PIN Cilíndrico | 61,4 |
| Contrapeso | 257 |
| Ajuste de contrapeso | 11,5 |
| Soporte - Brazo de carga | 1.520,7 |
| Eje pivotante - Brazo de carga | 278,6 |
| 2 rodamientos 30202 | 108 |
| Total | 2.689,7 |

Tabla 3.3.1 – Propiedades físicas de componentes vinculados al motor paso a paso

Ahora se procede a determinar el momento, considerando que el motor paso a paso deberá hacer girar una rosca sin fin, por ende, se realizará el cálculo haciendo una analogía de la rosca sin fin con un tornillo transmisor de movimiento, siguiendo el procedimiento que establece G. Niemann en el libro “Elementos de Máquinas – Calculo, diseño y construcción” (Pag. 211) [4]. Para comenzar se plantea la siguiente ecuación:

$$M_g = M + M_A = P \cdot \left[\frac{d_m}{2} \cdot \tan(\alpha \pm \rho') \pm r_A \cdot \mu_A \right]$$

Siendo cada termino:

- M_g : Es el momento total de giro o torque necesario de ajuste.
- M : es el torque de giro sin tener en cuenta el rozamiento de la tuerca o en este caso la rosca del soporte del brazo.
- M_A : es el torque necesario para vencer el rozamiento de la rosca del soporte del brazo.
- P : es la carga que se desea mover. La cual fue calculada previamente.

$$P = 2689,7g = 2,69kg$$

- d_m : es el diámetro medio o sobre flancos del tornillo, o en este caso la rosca sin fin del eje que genera el movimiento axial. A este valor se lo obtiene de una tabla que expresa diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso.

$$d_m = \frac{16,334mm + 16,164mm}{2} = 16,25mm$$

- α : es el ángulo de la hélice. El cual se determina teniendo en cuenta el paso de la rosca (h) y el diámetro medio

$$\tan(\alpha) = \frac{h}{\pi \cdot d_m} \quad \rightarrow \alpha = \arctan\left(\frac{1,5\text{mm}}{\pi \cdot 16,249\text{mm}}\right) = 1,68^\circ$$

- ρ' :

$$\tan(\rho') = \frac{\tan(\rho)}{\cos(\beta)} \quad \rightarrow \rho' = \arctan\left(\frac{\tan(0,1)}{\cos(30^\circ)}\right) = 6,6^\circ$$

Donde ρ es el ángulo de rozamiento, y para una rosca métrica se considera $\tan(\rho) = \mu = 0,1 \rightarrow \rho = \arctan(0,1)$ y $\beta = 30^\circ$ como el ángulo de inclinación de los filetes con la vertical.

- r_A : el brazo de palanca o radio de apoyo del tornillo a la tuerca, o para este caso el radio apoyo de la rosca sin fin con el agujero roscado del soporte del brazo. Para determinar este parámetro, se deberá obtener el diámetro interior (d_r) de una tabla que expresa diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso.

$$r_A = 0,7 \cdot d_r = 0,7 \cdot \frac{14,891\text{mm} + 14,625\text{mm}}{2} = 10,33\text{mm}$$

- μ_A : es el coeficiente de rozamiento de la tuerca o tornillo contra la tapa de apoyo, se adopta un valor de 0,1 para este parámetro según las recomendaciones de este autor

La fuerza de rozamiento es siempre de sentido contrario al movimiento, y, por lo tanto, se toma el signo + en la elevación de la carga o para apretar una tuerca, y el signo – en el descenso de la carga o al aflojar una tuerca, para este caso al ser el desplazamiento lineal se tomará el signo + por ser el caso más desfavorable. Reemplazando los valores en la ecuación

$$M_g = 2,95\text{kg} \cdot \left[\frac{16,25\text{mm}}{2} \cdot \tan(1,68^\circ + 6,6^\circ) + 10,33\text{mm} \cdot 0,1 \right] = 5,96\text{kgmm} \approx 0,596\text{kgcm}$$

Ahora se determina el rendimiento del mecanismo (relación entre el efecto útil y el gasto de energía) con la transformación del momento de giro en fuerza longitudinal.

$$\eta = \frac{\tan(\alpha)}{\tan(\alpha + \rho')} \cdot 100 = \frac{\tan(1,68^\circ)}{\tan(1,68^\circ + 6,6^\circ)} \cdot 100 = 20,18\%$$

(B) Carga de contrapeso

Código: POD-CM-PM-G1-8

Material: AISI 304

Como se mencionó en la parte de ingeniería de detalle, la función del contra peso es la de compensar el peso de los demás componentes vinculados al brazo y así, mantener el equilibrio.

La sección de contra peso del brazo, contará con una varilla roscada por la cual se deslizará la carga de contrapeso para lograr balancear el brazo.

El contra peso deberá calcularse para compensar el peso de ambas secciones del brazo, la celda de caga, los ajustes de soporte de pin y contrapeso, y el soporte de pin cilíndrico o esférico dependiendo de cual genere un mayor momento con respecto al eje pivotante. Mediante el software SolidWorks se obtendrá el peso de cada pieza y la distancia desde su respectivo centro de masa al centro del eje pivotante. Se planteará que el contrapeso se encuentra en el centro de la varilla roscada, para permitir su desplazamiento y obtener un balance preciso, considerando futuros cambios de piezas y posibles defectos en la mecanización

| Pieza | Peso [g] | Distancia [mm] |
|---------------------------------|----------|----------------|
| Sección de contrapeso del brazo | P1 | 320,9 |
| Sección de carga del brazo | P2 | 83,6 |
| Celda de carga | P3 | 48 |
| Soporte de pin cilíndrico | P4 | 61,4 |
| Soporte de pin esférico | P4 | 54,7 |
| Ajuste del soporte | P5 | 8 |
| Ajuste de contrapeso | P6 | 11,5 |
| Contrapeso | C | -- |

Tabla 3.3.2 – Propiedades físicas de componentes vinculados al brazo

Como se puede observar a partir de esto se obtuvo que el soporte de pin cilíndrico es aproximadamente 7g más pesado que el de pin esférico, por lo cual, al encontrarse a la misma distancia del eje pivotante, el pin cilíndrico genera un mayor momento. Ahora se planteará un diagrama de cuerpo libre, para calcular el peso necesario del contrapeso.

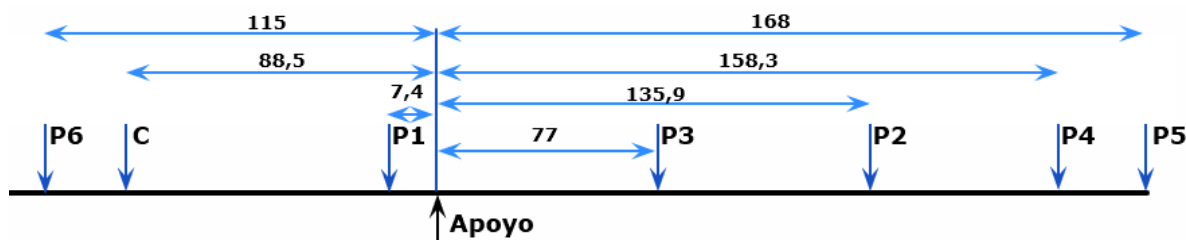


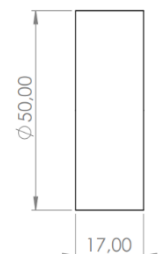
Figura 3.3.43 – Diagrama de fuerzas

Se plantea una sumatoria de momento en el apoyo, que en este caso es el eje pivotante:

$$\sum M_{Apoyo} = 0 \quad P_2 \cdot L_2 + P_3 \cdot L_3 + P_4 \cdot L_4 + P_5 \cdot L_5 - P_1 \cdot L_1 - P_6 \cdot L_6 - C \cdot L = 0$$

$$\rightarrow C = 253,4g$$

A partir del valor de equilibrio, se proponen las siguientes dimensiones del contrapeso, 50mm de diámetro y 17mm de espesor, obteniendo con esto un peso de 257g, por lo tanto, la diferencia con el resultado calculado es aceptable, y solo bastara desplazar el contrapeso un par de milímetros para mantener el equilibrio.



(C) Porta probeta

Código: POD-CM-PM-G3-30

Material: Acero inoxidable AISI 304

Como fue mencionado anteriormente, para lograr reducir la temperatura en el eje principal, se buscará aumentar de forma considerable la resistencia térmica del porta probeta, para esto también será necesario determinar el material que brinde las mejores características mecánicas al operar con temperatura y una conductividad térmica pequeña. Por lo que se seleccionara un acero inoxidable AISI 304, el cual posee una conductividad térmica [9] de:

$$k = 16 \frac{W}{m \cdot K} = 16 \frac{W}{m \cdot K} \cdot \frac{1m}{100cm} = 0,16 \frac{W}{cm \cdot K}$$

Resistencia térmica

Para determinar la resistencia térmica se dividirá a la pieza en distintas secciones y se aplicará la siguiente ecuación

$$R_{Termica} = \frac{\Delta x}{k \cdot A}$$

Siendo

- $R_{Termica} \left[\frac{K}{W} \right]$: es la resistencia térmica que genera la pieza.
- $\Delta x [cm]$: es la distancia entre los dos planos del material
- $k \left[\frac{W}{cm \cdot K} \right]$: conductividad térmica
- $A [cm^2]$: es el área superficial del material

Tanto la distancia entre planos como el área superficial de cada sección se obtendrá mediante el software SOLIDWORKS.

Propuesta 1

Se comenzará proponiendo un diseño simple, en el cual se logre colocar y sostener la probeta de manera sencilla mediante dos mordazas.

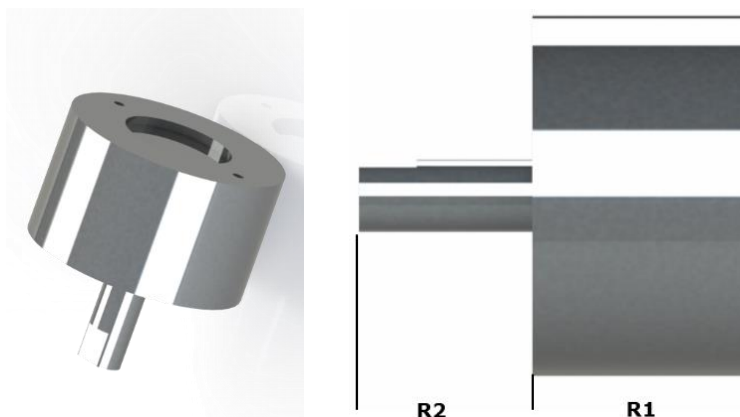


Figura 3.3.44 – Referencias de cálculo

$$R_{Termica} = R_1 + R_2 = \frac{3 \text{ cm}}{0,16 \frac{W}{cm \cdot K} \cdot 89,44 \text{ cm}^2} + \frac{2,4 \text{ cm}}{0,16 \frac{W}{cm \cdot K} \cdot 8,29 \text{ cm}^2} = 2,02 \frac{K}{W}$$

Propuesta 2

Para lograr aumentar la resistencia térmica de la pieza se propone realizar cortes de manera transversal a ella, se partirá de las limitaciones de mecanización existentes en la zona, logrando producir un corte mínimo de 3mm de ancho, a raíz de esto, se optó por realizar cortes de 3,5mm.

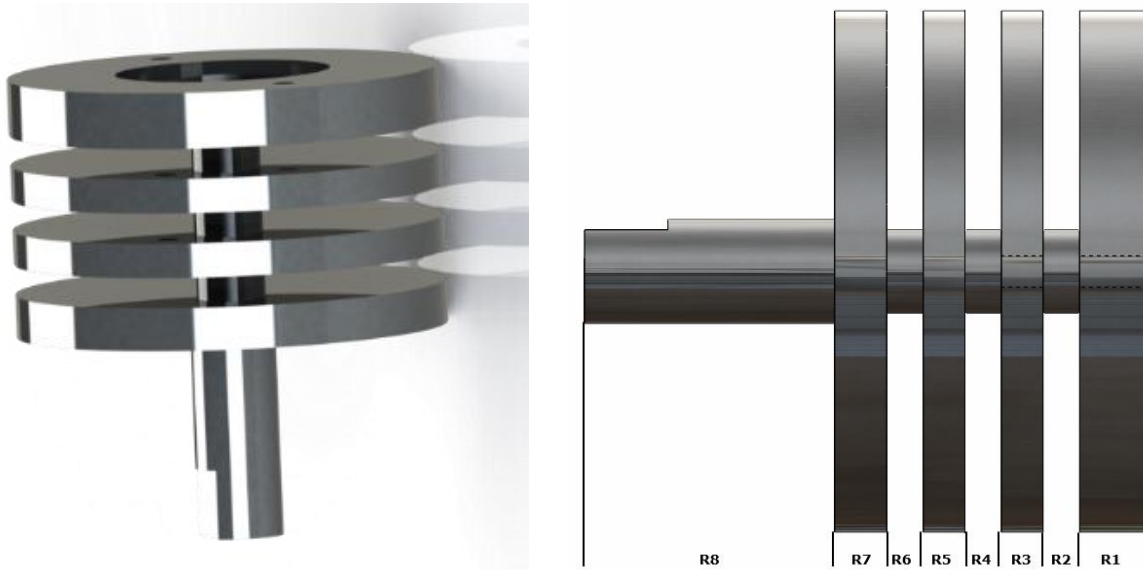


Figura 3.3.45 – Referencias de cálculo

$$R_{Termica} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 + R_8$$

$$= \frac{0,95 \text{ cm}}{0,16 \frac{W}{cm \cdot K} \cdot 81,37 \text{ cm}^2} + \frac{0,35 \text{ cm}}{0,16 \frac{W}{cm \cdot K} \cdot 8,80 \text{ cm}^2} + \frac{0,4 \text{ cm}}{0,16 \frac{W}{cm \cdot K} \cdot 44,98 \text{ cm}^2} + \frac{0,35 \text{ cm}}{0,16 \frac{W}{cm \cdot K} \cdot 8,80 \text{ cm}^2}$$

$$+ \frac{0,4 \text{ cm}}{0,16 \frac{W}{cm \cdot K} \cdot 44,55 \text{ cm}^2} + \frac{0,35 \text{ cm}}{0,16 \frac{W}{cm \cdot K} \cdot 8,80 \text{ cm}^2} + \frac{0,2 \text{ cm}}{0,16 \frac{W}{cm \cdot K} \cdot 35,83 \text{ cm}^2} + \frac{2,4 \text{ cm}}{0,16 \frac{W}{cm \cdot K} \cdot 8,29 \text{ cm}^2}$$

$$R_{Termica} = 2,81 \frac{K}{W}$$

Selección de componentes

En esta sección se seleccionarán los elementos utilizados en la máquina.

Elementos mecánicos

(1) Motor paso a paso

Código: POD-CM-EM-G1-50

Fabricante: MicroPaP

Para la selección se tendrá en cuenta el momento torsor necesario para desplazar el soporte del brazo de carga calculado en la sección (A).

$$M_g = 0,596 \text{ kgcm}$$

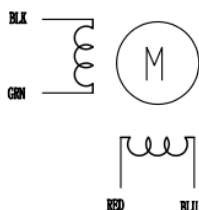
Por lo tanto, se seleccionará un motor paso a paso “NEMA 15 - SY39ST44-0304A”, el cual entrega un torque de 3kgcm, que permitirá una excelente precisión a la hora de variar el radio de la huella sobre la probeta ya que posee un ángulo de paso de 1,8°. En las figuras 3.3.46 y 3.3.47 se observa la hoja de especificaciones.

El motor posee más torque que el requerido por cálculo, ya que se puede producir una desalineación del soporte del brazo, o una variación en la terminación superficial de los cilindros que sostienen el soporte del brazo u otras variables que no se tuvieron en cuenta, por lo cual podría requerirse un torque mayor.

HIGH TORQUE HYBRID STEPPING MOTOR SPECIFICATIONS

| General specifications | | Electrical specifications | |
|----------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------|
| Step Angle (°) | 1.8 | Rated Voltage (V) | 12 |
| Temperature Rise (°C) | 80 Max (rated current, 2 phase cm) | Rated Current (A) | 0.3 |
| Ambient Temperature (°C) | -20~+50 | Resistance Per Phase(±0%Ω) | 42 (25°C) |
| Number of Phase | 2 | Inductance Per Phase (±20% mH) | 80 |
| Insulation Resistance (MΩ) | 100 Min (500VDC) | Holding Torque (g.cm) | 3000 |
| Insulation Class | Class B | Detent Torque (g.cm) | 250 |
| Max. radial force (N) | 28 (20mm from the flange) | Rotor Inertia (g.cm ²) | 40 |
| Max. axial force (N) | 10 | Weight (Kg) | 0.3 |

● Wiring Diagram:



● Pull out torque curve:

VOLTAGE: 24VDC, CONSTANT CURRENT: WZM-2H042M 0.3A, HALF STEP

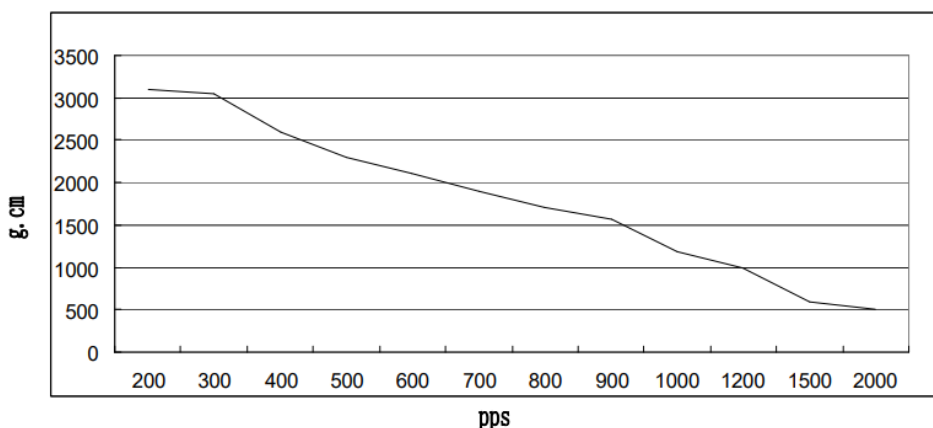


Figura 3.3.46 – Datos del motor paso a paso – MicroPaP

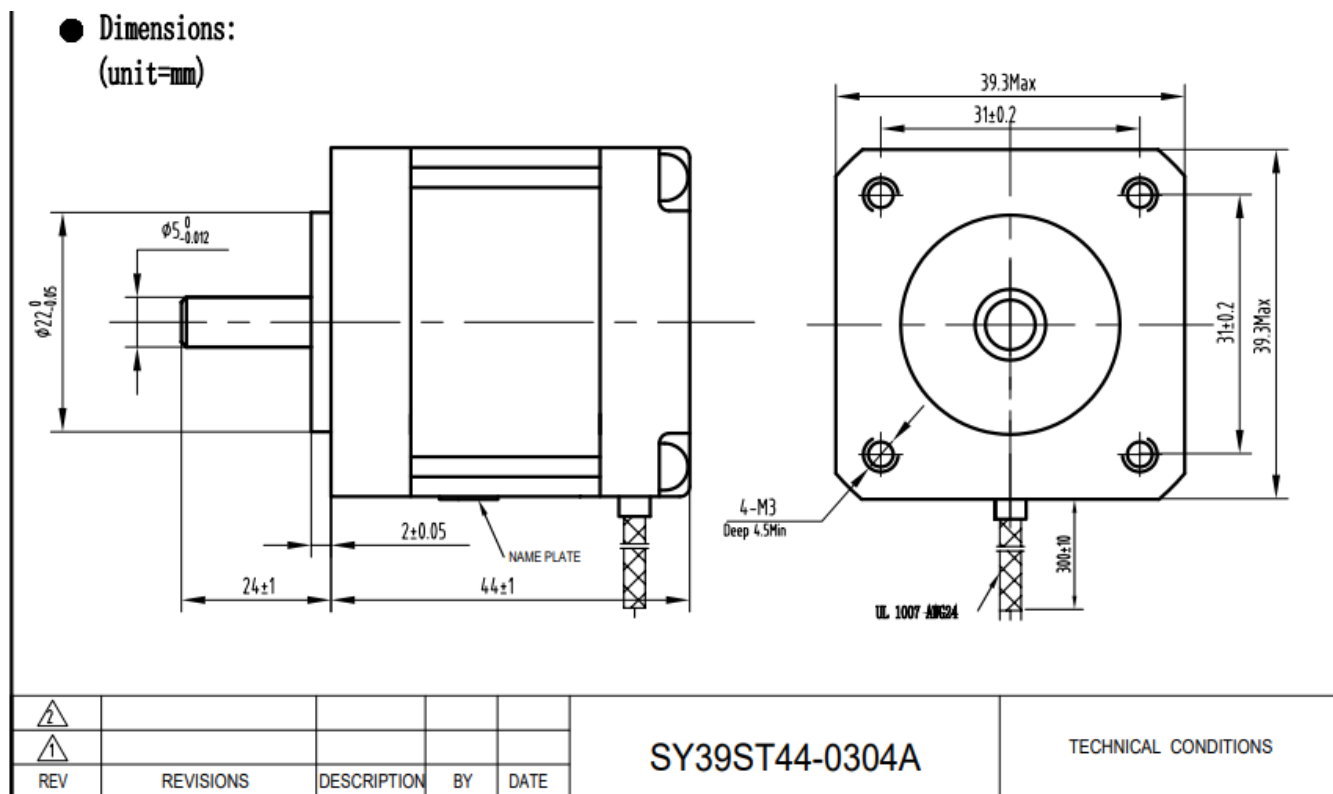


Figura 3.3.47 – Dimensiones del motor paso a paso – MicroPaP

(2) Rodamiento rígido de bolas 608

Código: POD-CM-EM-G1-58

Fabricante: SKF

Para la selección y verificación de los rodamientos se utiliza como referencia el método que propone el fabricante SKF. Los rodamientos se seleccionan en función del diámetro del eje, la disponibilidad comercial, esfuerzos aplicados y condiciones de funcionamiento, considerando que el diámetro del eje corresponde a 8mm se selecciona un rodamiento rígido de bolas 608 de una hilera de bolas [2] (figura 3.3.49), este estará ubicado en el extremo del eje de movimiento axial y tendrá como finalidad hacer de guía mientras el motor paso a paso hace girar el eje, por lo cual no va a estar sometido a cargas elevadas ya que el soporte del brazo estará apoyado sobre los pernos del variador de radio y la velocidad angular será reducida, será sin sello ya que no tiene riesgos de contaminación (polvo). Este solo tendrá un movimiento a una muy baja velocidad antes de realizar el ensayo, por lo tanto, no afecta al mismo.

Si bien este rodamiento estará sometido a cargas axiales, pero teniendo en cuenta que estas serán reducidas, no afectarán a su correcto funcionamiento. A partir de la figura 3.3.50, considerando el radio de encuentro del rodamiento se determina el radio de redondeo sobre el eje para que el rodamiento no haga contacto sobre el redondeo y si sobre la cara plana del eje, en este caso no se aplicará un redondeo sobre el eje ya que al ser tan pequeño el aporte en resistencia al eje es insignificante, además, se deben considerar las dimensiones de los resaltes en el eje y en la base del variador de radio.

Comienzo seleccionando un rodamiento rígido de bolas de una hilera de bolas del catálogo de SKF para un diámetro de eje de 8mm. A partir de esto selecciono el rodamiento rígido de bolas 608.

Para determinar la duración aproximada de este rodamiento, comienzo calculando la vida nominal básica para una confiabilidad del 90%, a partir de las siguientes ecuaciones obtenidas del catálogo de SKF.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad [\text{Millones de revoluciones}]$$

$$L_{10} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot L_{10} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad [\text{Horas de funcionamiento}]$$

Siendo:

- C [KN]: capacidad de carga dinámica básica.
- P [KN]: carga dinámica equivalente del rodamiento.
- p : exponente de la ecuación de la vida útil.
 - $p = 3$ para rodamientos de bolas.
 - $p = 10/3$ para rodamientos de rodillos.
- n [rpm]: velocidad angular

En cuanto a la velocidad angular, esta será cercana a las 40rpm, ya que esta viene dada por el motor paso a paso. En cuanto a la carga dinámica básica se determina del catálogo de SKF, mientras que la carga dinámica equivalente del rodamiento se considerará la carga total del soporte móvil, es decir, se tomará la misma carga que la utilizada en el cálculo del motor paso a paso, por lo cual,
 $P = 2.689,7gf = 2,6897kgf = 0,0264KN$

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p = \left(\frac{3,45KN}{0,0264KN}\right)^3 = 2.235.315 \text{ Millones de revoluciones}$$

$$L_{10} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot L_{10} = \frac{10^6}{60 \cdot 40rpm} \cdot 2.235.315 = 931.381.254 \text{ Horas de funcionamiento}$$

La vida nominal básica para una confiabilidad del 95%, se determina a partir de la ecuación

$$L_{nm} = a_1 \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad [\text{Millones de revoluciones}]$$

$$L_{nmh} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot L_{nm} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot a_1 \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad [\text{Horas de funcionamiento}]$$

- a_1 : Factor de ajuste de la vida útil para una mayor confiabilidad, se lo obtiene de la siguiente tabla extraída de la página de SKF

| % Confiabilidad | Vida nominal | Factor a1 |
|-----------------|--------------|-----------|
| 90 | L10 | 1 |
| 91 | L9 | 0,928 |
| 92 | L8 | 0,856 |
| 93 | L7 | 0,784 |
| 94 | L6 | 0,712 |
| 95 | L5 | 0,64 |
| 96 | L4 | 0,55 |
| 97 | L3 | 0,47 |
| 98 | L2 | 0,37 |
| 99 | L1 | 0,25 |

Figura 3.3.48 – Tabla de factor de ajuste de vida útil de un rodamiento

$$L_{nm} = a_1 \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^p = a_1 \cdot 2.235.315 = 0,64 \cdot 2.235.315 = 1.430.602 \text{ Millones de revoluciones}$$

$$L_{nmh} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot L_{nm} = \frac{10^6}{60 \cdot 40rpm} \cdot 1.430.602 = 596.084.002 \text{ Horas de funcionamiento}$$

A partir de esto se puede ver que el rodamiento queda sobre dimensionado, ya que la carga es muy reducida, aunque se seleccionó este modelo debido a su disponibilidad en el mercado. A continuación, se observan las características del mismo.



608

SKF®

Rodamiento rígido de bolas

Los rodamientos rígidos de una hilera de bolas son especialmente versátiles, tienen una baja fricción y están optimizados para un bajo nivel de ruido y vibraciones, lo que permite alcanzar altas velocidades de giro. Soportan cargas radiales y axiales en ambos sentidos, son fáciles de montar y requieren menos mantenimiento que muchos otros tipos de rodamientos.

- Diseño sencillo, versátil y robusto
- Baja fricción
- Capacidad de alta velocidad
- Soportan cargas radiales y axiales en ambos sentidos
- Requieren poco mantenimiento

Overview

Dimensiones

| | |
|-------------------|-------|
| Diámetro interno | 8 mm |
| Diámetro exterior | 22 mm |
| Ancho | 7 mm |

Rendimiento

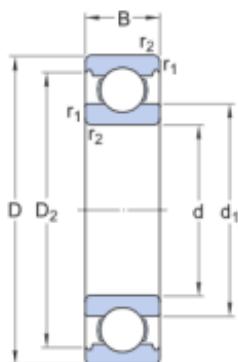
| | |
|------------------------------------|--------------|
| Capacidad de carga dinámica básica | 3.45 kN |
| Capacidad de carga estática básica | 1.37 kN |
| Velocidad de referencia | 75 000 r/min |
| Velocidad límite | 48 000 r/min |
| Clase de rendimiento SKF | SKF Explorer |

Propiedades

| | |
|---|------------------------|
| Ranuras de llenado | Sin |
| Cantidad de hileras | 1 |
| Elemento de fijación, aro exterior del rodamiento | Ninguna |
| Tipo de agujero | Cilíndrico |
| Jaula | Chapa metálica |
| Disposición ajustada | No |
| Juego radial interno | CN |
| Material, rodamiento | Acero para rodamientos |
| Recubrimiento | Sin |
| Sellado | Sin |
| Lubricante | Ninguna |
| Característica de relubricación | Sin |

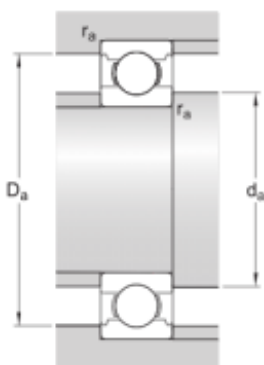
Figura 3.3.49 – Ficha técnica del rodamiento rígido de bolas 608 – SKF

Dimensiones



| | | |
|-----------|-------------|-----------------------|
| d | 8 mm | Diámetro interno |
| D | 22 mm | Diámetro exterior |
| B | 7 mm | Ancho |
| d_1 | ≈ 12.15 mm | Diámetro del resalte |
| D_2 | ≈ 19.2 mm | Diámetro del rebaje |
| $r_{1,2}$ | min. 0.3 mm | Dimensión del chaflán |

Dimensiones de los resaltes



| | |
|-------------------|-------------------------------------|
| d_a min. 10 mm | Diámetro del resalte del eje |
| D_a max. 20 mm | Diámetro del resalte del soporte |
| r_a max. 0.3 mm | Radio del eje o acuerdo del soporte |

Figura 3.3.50 – Dimensiones del rodamiento rígido de bolas 608 – SKF

(3) Rodamiento de rodillos cónicos 30202

Código: POD-CM-EM-G1-61

Fabricante: SKF

A partir de lo mencionado anteriormente sobre la selección de rodamientos, se tendrá en cuenta el diámetro del eje que en este caso es de 15 mm y que el rodamiento tendrá que soportar cargas axiales en el momento en el que las tuercas se ajustan para garantizar la estabilidad del eje, por lo tanto, se selecciona un rodamiento de rodillos cónicos del catálogo de SKF, será sin sello ya que no tiene riesgos de contaminación. A partir de esto selecciono el rodamiento de rodillos cónicos 30202 de una hilera de rodillos [3] (figura 3.3.51).

En cuanto a la velocidad angular, considerando que en este caso no se producirá la rotación del eje, es decir, el eje solo tendrá la posibilidad de rotar un ángulo inferior a 45°. Se realizará el cálculo estático del rodamiento, a partir de las ecuaciones obtenidas del catálogo de SKF, en cuanto a la carga estática básica se determina del catálogo de SKF, mientras que la carga dinámica equivalente del rodamiento se considerará la siguiente carga:

| Pieza | Peso [g] |
|---------------------------------|--------------|
| Sección de contrapeso del brazo | 320,9 |
| Sección de carga del brazo | 83,6 |
| Celda de carga | 48 |
| Soporte de PIN Cilíndrico | 61,4 |
| Contrapeso | 257 |
| Ajuste de contrapeso | 11,5 |
| Eje pivotante - Brazo de carga | 278,6 |
| Total | 1.061 |

Tabla 3.3.3 – Propiedades físicas

$$P = \frac{1.061gf}{2} = 530,5gf = 0,5305kgf = 0,0052KN$$

$$S_0 = \frac{C_0}{P_0} = \frac{14,6 KN}{0,0052KN} = 2.807,7$$

Siendo:

- C_0 [KN]: capacidad de carga estática básica.
- P_0 [KN]: carga estática equivalente del rodamiento.
- S_0 : factor de seguridad estático

A partir de esto se puede ver que el rodamiento queda sobre dimensionado, ya que la carga es muy reducida, y no presenta rotación alguna. Se selecciono un rodamiento de este tipo, debido a que soporta cargas axiales lo cual era esencial para el tipo de montaje adoptado.

A partir de la figura 3.3.52 se tendrán en cuenta las dimensiones de los resaltes para el diseño del soporte del brazo de carga donde irá ubicado el rodamiento, por lo que se tomará el diámetro máximo de resalte que es de 30,5mm, detallado en la figura 3.3.53.



30202

SKF®

Rodamiento de una hilera de rodillos cónicos

Los rodamientos de una hilera de rodillos cónicos están diseñados para admitir cargas radiales y axiales combinadas, y proporcionar una baja fricción durante el funcionamiento. El aro interior, con rodillos y jaula, puede montarse por separado del aro exterior. Estos componentes desmontables e intercambiables facilitan el montaje, el desmontaje y el mantenimiento. Al montar un rodamiento de una hilera de rodillos cónicos contra otro y aplicar una precarga, se puede conseguir una aplicación de rodamiento rígida.

- Alta capacidad de carga radial y axial
- Soportan cargas axiales en un sentido
- Baja fricción y larga vida útil
- Componentes desmontables e intercambiables

Overview

Dimensiones

| | |
|------------------------|----------|
| Diámetro interno | 15 mm |
| Diámetro exterior | 35 mm |
| Ancho total | 11.75 mm |
| Ancho del aro interior | 11 mm |
| Ancho del aro exterior | 9.25 mm |
| Ángulo de contacto | 13 ° |

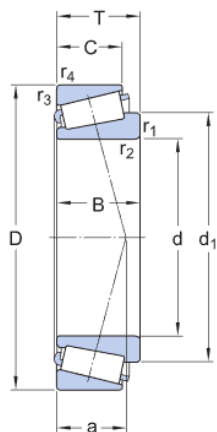
Rendimiento

| | |
|------------------------------------|--------------|
| Capacidad de carga dinámica básica | 18.5 kN |
| Capacidad de carga estática básica | 14.6 kN |
| Velocidad de referencia | 17 000 r/min |
| Velocidad límite | 20 000 r/min |
| Clase de rendimiento SKF | SKF Explorer |

Propiedades

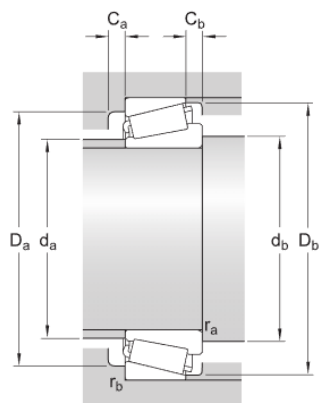
| | |
|--|---------------------|
| Pieza del rodamiento | Rodamiento completo |
| Cantidad de hileras | 1 |
| Elemento de fijación, aro exterior del rodamiento | Ninguna |
| Tipo de agujero | Cilíndrico |
| Jaula | Chapa metálica |
| Disposición del ángulo de contacto (rodamiento de dos hileras) | No aplica |
| Disposición ajustada | No |
| Recubrimiento | Sin |
| Sellado | Sin |
| Lubricante | Ninguna |

Figura 3.3.51 – Ficha técnica del rodamiento de rodillos cónicos 30202 – SKF



Dimensiones

| | | |
|------------------|-------------|--|
| d | 15 mm | Diámetro interno |
| D | 35 mm | Diámetro exterior |
| T | 11.75 mm | Ancho total |
| d ₁ | ≈ 25.6 mm | Diámetro del resalte del aro interior |
| B | 11 mm | Ancho del aro interior |
| C | 9.25 mm | Ancho del aro exterior |
| r _{1,2} | min. 0.6 mm | Dimensión del chaflán del aro interior |
| r _{3,4} | min. 0.6 mm | Dimensión del chaflán del aro exterior |
| a | 8.35 mm | Distancia de la cara lateral al punto de presión |



Dimensiones de los resaltes

| | | |
|----------------|--------------|---|
| d _a | max. 20 mm | Diámetro del resalte del eje |
| d _b | min. 20.5 mm | Diámetro del resalte del eje |
| D _a | min. 30 mm | Diámetro del resalte del soporte |
| D _b | max. 30.5 mm | Diámetro del resalte del soporte |
| D _b | min. 32 mm | Diámetro del resalte del soporte |
| C _a | min. 2 mm | Minimum width of space required in housing on small side face |
| C _b | min. 2.5 mm | Ancho mínimo del espacio requerido en el soporte en la cara lateral pequeña |
| r _a | max. 0.6 mm | Radio de acuerdo del eje |
| r _b | max. 0.6 mm | Radio de acuerdo del soporte |

Figura 3.3.52 – Dimensiones del rodamiento de rodillos cónicos 30202 – SKF

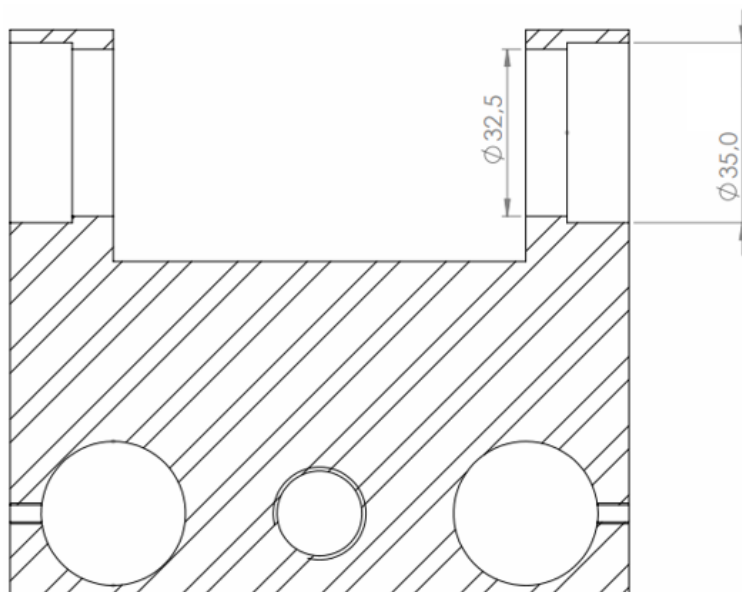


Figura 3.3.53 – Dimensiones del alojamiento para la del rodamiento por ajuste

(4) Celda de carga

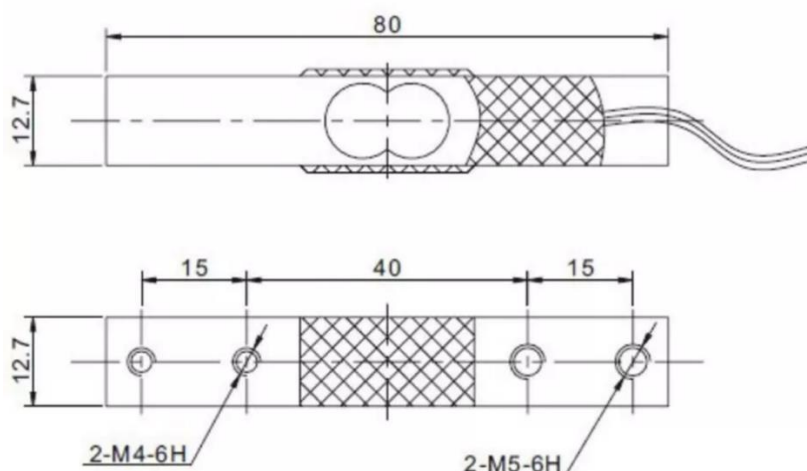
Código: POD-CM-EM-G1-51

Fabricante: TeslaElectronic

Considerando la estructura de la máquina, se selecciona el tipo de celda de carga, que para este caso se adoptará una celda de un solo punto [5] de aleación de aluminio, ya que logran medir la fuerza aplicada en un único sentido a través de su propia deformación física, con esto se logra medir el coeficiente de fricción; por lo que su montaje toma gran importancia y la fuerza aplicada deberá tener el mismo sentido que el establecido por el fabricante de la celda. Entonces, se selecciona una celda capaz de medir una fuerza máxima de 10kg [6], en la figura 3.3.54 se pueden observar las características técnicas y las dimensiones de la celda de carga.

Una celda de carga es un transductor utilizado para convertir una fuerza en una señal eléctrica. Esta conversión empieza a partir de un dispositivo mecánico, es decir, la fuerza que se desea medir deforma una galga extensiométrica.

Considerando que la medición se realiza a través de una variación de una resistencia, la cual se puede ver afectada por un exceso de temperatura, por lo cual se realiza un cálculo térmico (41) de las piezas que se encuentran en contacto.



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Rango de carga :10kg
- Salida nominal: $1,0 \pm 0.15\text{mV} / \text{V}$
- Repetibilidad: 0,03% FS
- Efecto de la temperatura en la salida: $0,01\% \text{ F.S} / ^\circ \text{C}$
- Efecto de la temperatura sobre cero: $0.05\% \text{ F.S} / ^\circ \text{C}$
- Cero: $\pm 0.1000 \text{ mV} / \text{V}$
- Impedancia de entrada: $1115 + -10\% \Omega$
- Impedancia de salida: $1000 + - 10\% \Omega$
- Resistencia de aislamiento: $> = 1000 \text{ M}\Omega$
- Tasa Sobrecarga segura: 150% FS
- Tasa de sobrecarga final: 200% FS
- Rango de temperatura: $-20 - 60 ^\circ \text{C}$
- Voltaje de funcionamiento: 3VDC ~ 14 VDC.
- Material: Aleación de aluminio
- Grado de protección: IP65
- Cable: $\varnothing 0.8 \times 25 \text{ cm}$
- Tamaño: $75 \times 12.7 \times 12.7 \text{ mm}$

Figura 3.3.54 – Dimensiones de la celda de carga

(5) Catálogo de planchuelas

Fabricante: FAMIQ

A partir de la siguiente figura se determinaron las medidas comerciales que se pueden encontrar para un acero AISI 304, el cual queda abarcado por la norma ASTM A240, la cual es una especificación estándar para placas, láminas y tiras de acero inoxidable al cromo y al cromo-níquel para recipientes a presión y para aplicaciones generales. El acero inoxidable A240 cubre varios grados de acero inoxidable, incluidos los aceros inoxidables austeníticos, ferríticos y martensíticos.

Características

- Cortadas de chapa
- Norma ASTM A240
- Largo: 3 metros.

Aplicación

Su aplicación es muy amplia. Se aplican desde estructuras de máquinas hasta en arquitectura.



Datos técnicos

| ANCHOS DE ALA (mm) | | 11,10 | 12,70 | 15,80 | 19,05 | 22,20 | 25,40 | 31,70 | 38,10 | 44,50 | 50,80 | 63,50 | 76,20 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ESPESORES (mm) | 2,00 | | | ● | ● | | ● | ● | ● | | ● | | |
| | 3,17 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| | 4,76 | | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| | 6,35 | | ● | ● | ● | | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| | 7,94 | | | | | | ● | ● | ● | | ● | ● | ● |
| | 9,52 | | | | ● | | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| | 12,70 | | | | | | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| | 15,80 | | | | | | | ● | ● | | ● | ● | ● |
| | 19,00 | | | | | | | ● | ● | | ● | ● | ● |

Peso en Kg/M

| ESPEOR/ANCHO | 12,7 | 15,8 | 19,1 | 22,2 | 25,4 | 31,7 | 38,1 | 44,5 | 50,8 | 63,5 | 76,2 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 2,00 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,36 | 0,41 | 0,51 | 0,61 | 0,71 | 0,81 | 1,02 | 1,22 |
| 3,17 | 0,32 | 0,40 | 0,48 | 0,56 | 0,64 | 0,80 | 0,97 | 1,13 | 1,29 | 1,61 | 1,93 |
| 4,76 | 0,48 | 0,60 | 0,73 | 0,85 | 0,97 | 1,21 | 1,45 | 1,69 | 1,93 | 2,42 | 2,90 |
| 6,35 | 0,65 | 0,80 | 0,97 | 1,13 | 1,29 | 1,61 | 1,94 | 2,26 | 2,58 | 3,23 | 3,87 |
| 7,94 | 0,81 | 1,00 | 1,21 | 1,41 | 1,61 | 2,01 | 2,42 | 2,83 | 3,23 | 4,03 | 4,84 |
| 9,52 | 0,97 | 1,20 | 1,45 | 1,69 | 1,93 | 2,41 | 2,90 | 3,39 | 3,87 | 4,84 | 5,80 |
| 12,70 | 1,29 | 1,61 | 1,94 | 2,26 | 2,58 | 3,22 | 3,87 | 4,52 | 5,16 | 6,45 | 7,74 |
| 15,80 | 1,61 | 2,00 | 2,41 | 2,81 | 3,21 | 4,01 | 4,82 | 5,62 | 6,42 | 8,03 | 9,63 |
| 19,05 | 1,94 | 2,41 | 2,90 | 3,38 | 3,87 | 4,83 | 5,81 | 6,78 | 7,74 | 9,68 | 11,61 |

Figura 3.3.55 – Catálogo de planchuelas

(6) Motor principal

Código: POD-CM-EM-G1-52

Fabricante: CIRCUSPLAY

Para realizar el movimiento de la probeta, tanto para el ensayo rotacional como para el recíprocante será necesario un motor, que funcionará a una velocidad constante y controlada. Al igual que para el motor paso a paso, se seleccionará de acuerdo con el torque máximo que es capaz de entregar y su velocidad angular máxima.

Cálculo de la velocidad angular para el mecanismo rotacional

La norma especifica una velocidad de deslizamiento de 0,1 m/s, por lo que se procede a calcular las RPM necesarias para alcanzar dicha velocidad tangencial.

Las RPM máximas para lograr esta velocidad tangencial se darán en el momento en el que este calibrado en el menor radio de huella (5mm). Las RPM necesarias son:

$$RPM = \frac{V_t \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{100 \frac{mm}{s} \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot 5mm} = 191 \text{ RPM}$$

Por lo tanto, el motor que se adopte deberá proporcionar mínimamente una velocidad de 191 RPM.

Cálculo de la velocidad angular para el mecanismo recíprocante

Según lo especificado por la norma, se adoptará el procedimiento A por ser el adecuado para el uso en este laboratorio, el cual indica una velocidad máxima necesaria a la cual se deberá mover la probeta, por lo cual, el motor deberá entregar una velocidad máxima de:

$$f = 5\text{Hz} = 5 \frac{rad}{s \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}} = 300 \text{ RPM}$$

Cálculo del torque generado por el mecanismo recíprocante

Se calculará el torque mínimo que deberá aportar el motor para lograr mover el mecanismo recíprocante. Para esto será necesario conocer el peso de cada componente involucrado en el mecanismo, como también así la carga aplicada. Cabe destacar que no se tendrán en cuenta el peso de uno de los rodamientos anclados en la biela, parte del peso de ella y el perno del excéntrico, ya que las fuerzas que generan estas masas en movimiento son compensadas por el contrapeso acoplado a cada excéntrico. Es decir, se tendrá en cuenta 1/3 del peso de la biela, del perno, y el peso completo de un solo rodamiento. El peso de los bulones se determinó a partir de la figura 3.3.76. En la siguiente tabla se muestran los pesos de cada pieza.

| Código POD-CM- | Designación | Material | Cant. | Peso Unit. (g) | Peso (g) |
|-------------------------------|--|--------------------------|-------|-------------------|-------------|
| PM-G4-37 | Perno del excéntrico | Acero 1045 LC | 1/3 | 6,58 | 2,19 |
| PM-G4-38 | Biela | Acero 1045 LC | 1/3 | 28,43 | 9,48 |
| PM-G4-39 | Buje de acoplamiento | Teflón | 1 | 0,6 | 0,6 |
| PM-G4-40 | Porta probeta | Aluminio 6161 | 1 | 53,05 | 53,05 |
| PM-G4-41 | Recipiente de fluidos | Plástico | 1 | 13,25 | 13,25 |
| PM-G4-42 | Agarre de probetas | Acero Inox. AISI 304 (9) | 2 | 2,83 | 5,66 |
| EM-G4-60 | Rodamientos 628/8 - 2Z | --- | 1 | 3,60 | 3,60 |
| EM-G4-64 | Base de guía SCS 8UU | --- | 2 | 52,00 | 104,0 |
| PF-G4-81 | Bulón ISO 4762 M6x30 – Eje de M. Rec. | Grado 8.8 | 1 | 8,70 | 8,70 |
| PF-G4-88 | Bulón ISO 4762 M4x20 – Base de guía | Grado 8.8 | 4 | 2,65 | 10,60 |
| PF-G4-92 | Bulón ISO 4762 M4x6 – Desagote Líquidos | Grado 8.8 | 1 | 1,50 | 1,50 |
| PF-G4-96 | Bulón ISO 4762 M3x16 – Agarre de probeta | Grado 8.8 | 2 | 1,05 | 2,10 |
| PF-G4-102 | Bulón ISO 4762 M2x8 – Recipiente Fluidos | Grado 8.8 | 4 | 0,60 | 2,40 |
| Peso total sin carga (g) | | | | 217,13 | |
| Carga aplicada (Max. 75N) (g) | | | | 7.645,26 | |
| Peso total (g) | | | | 7.862,39 | |

Tabla 3.3.4 – Especificaciones de componentes y propiedades físicas

Para determinar el torque mínimo que deberá entregar el motor, se tomará el caso más desfavorable, que es cuando se utiliza el excéntrico de 10mm. Además, se plantea una carga máxima de ensayo de 75N. Se calcula el momento torsor aplicado sobre el eje del motor teniendo en cuenta la fuerza que genera el peso del mecanismo reciprocante sobre el excéntrico.

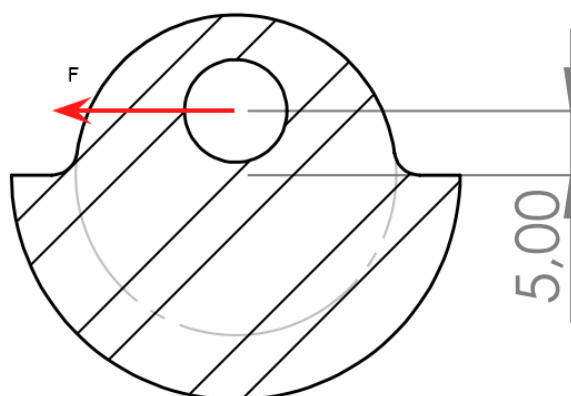


Figura 3.3.56 – Diagrama de fuerza

$$M_t = F \cdot d = 7,86kg \cdot 0,5cm = 3,93 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

Por lo tanto, el torque mínimo que debe transmitir el motor principal es de 3,93 kg · cm . También se tendrá en cuenta la velocidad angular máxima necesaria para cada ensayo, siendo para el ensayo de movimiento rotacional de 191 RPM y 300 RPM para el procedimiento A del ensayo de movimiento reciprocante, calculado.

Ahora con esta información se seleccionará un motorreductor de engranaje planetario de CC de 24V y alto par, modelo MR08D-024022 de 44 engranajes [7], ilustrado en la figura 3.3.57 y 3.3.58. Este motor cuenta

con una velocidad máxima de 400 RPM y un torque máximo de $5,08 \text{ kg} \cdot \text{cm}$, superando de esta manera los requerimientos mínimos de funcionamiento.

Hay que tener en cuenta que se hizo el cálculo para el caso más desfavorable, que es cuando se desea realizar un ensayo con una huella de 10mm de longitud. Para una huella de 5mm de longitud, se podría aumentar la carga, llegando a una carga cerca de 100N , quedando limitada por la carga máxima admitida por la celda de carga.



Figura 3.3.57 – Motor principal

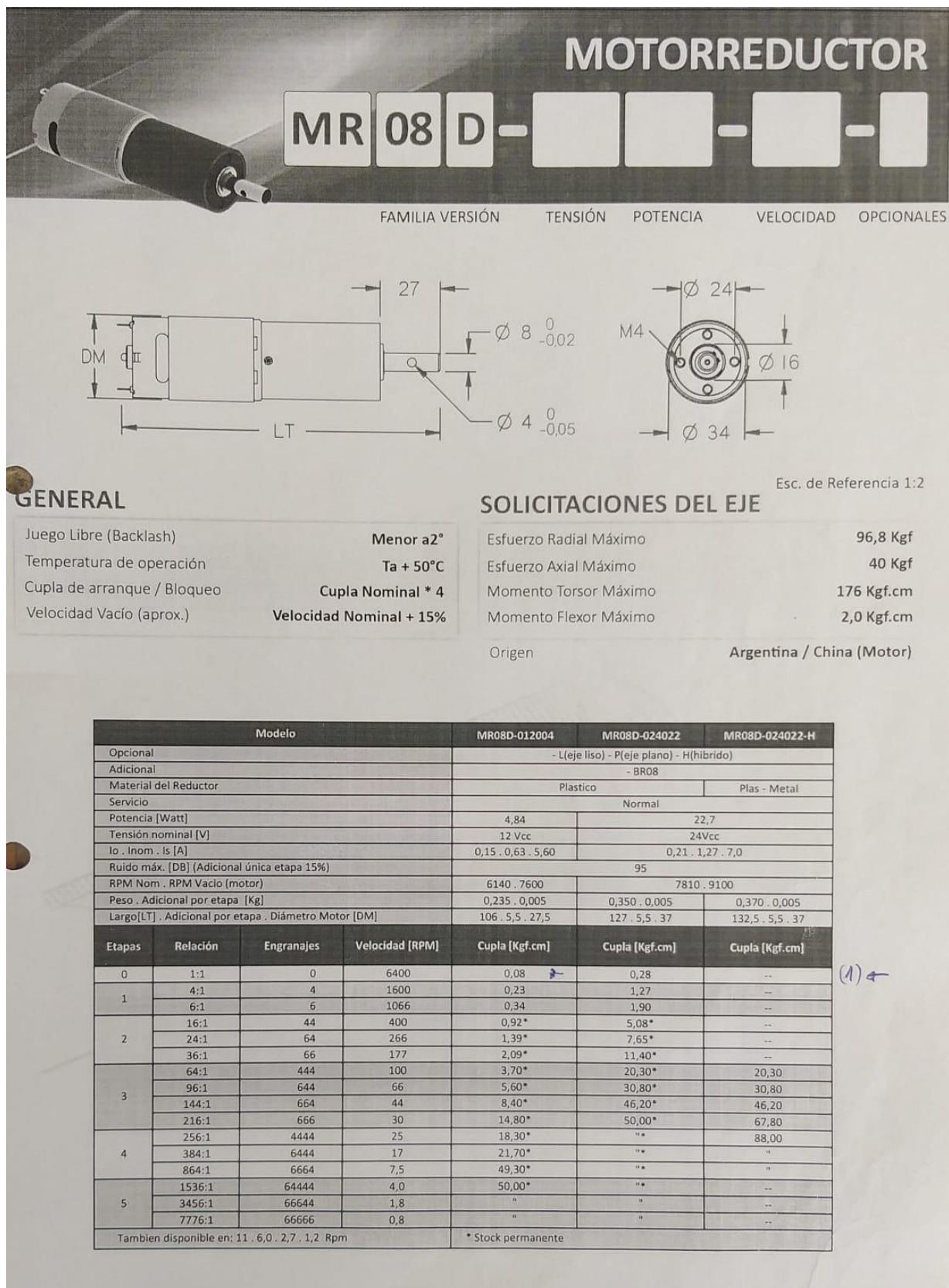


Figura 3.3.58 – Motor principal - Dimensiones

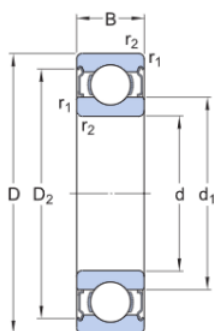
(7) Rodamiento rígido de bolas 628/8 2Z

Código: POD-CM-EM-G1-59

Fabricante: SKF

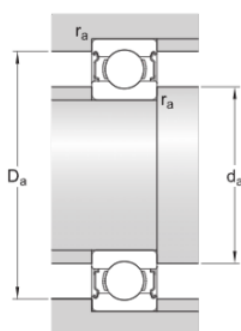
A partir de lo mencionado sobre la selección de rodamientos, se tendrá en cuenta el diámetro del eje que en este caso es de 8 mm, se selecciona un rodamiento rígido de bolas 628/8 2Z de una hilera de bolas [13] (figura 3.3.59), este estará ubicado en el eje del motor principal y tendrá como finalidad mantener la pieza alineada, la carga radial a la cual estará sometido es muy pequeña por lo cual no hay necesidad de realizar los cálculos para comprobar su resistencia. Se optó por un rodamiento con sello, ya que estos requieren un menor mantenimiento, además de que “el sellado integral puede prolongar significativamente la vida útil del rodamiento porque mantiene el lubricante en los rodamientos y los contaminantes fuera” (figura 3.3.60). Estará sometido a altas velocidades, y con respecto a la carga mínima que necesita tener un rodamiento para que en él no se generen vibraciones, por lo tanto, en este caso estarán presentes al no tener ninguna carga aplicada, dichas vibraciones serán absorbidas por el acoplamiento flexible.

Dimensiones



| | | |
|------------------|-------------|-----------------------|
| d | 8 mm | Diámetro interno |
| D | 16 mm | Diámetro exterior |
| B | 5 mm | Ancho |
| d ₁ | ≈ 10.4 mm | Diámetro del resalte |
| D ₂ | ≈ 14.2 mm | Diámetro del rebaje |
| r _{1,2} | min. 0.2 mm | Dimensión del chaflán |

Dimensiones de los resaltes



| | | |
|---------------------|---------|-------------------------------------|
| d _a min. | 9.4 mm | Diámetro del resalte del eje |
| d _a max. | 10 mm | Diámetro del resalte del eje |
| D _a max. | 14.6 mm | Diámetro del resalte del soporte |
| r _a max. | 0.2 mm | Radio del eje o acuerdo del soporte |

Masa

Masa de rodamiento

0.0036 kg

Figura 3.3.59 – Datos y dimensiones del rodamiento rígido de bolas 628/8 2Z – SKF



628/8-2Z



Rodamiento rígido de bolas con sellos o placas de protección

Los rodamientos rígidos de una hilera de bolas con sellos o placas de protección son especialmente versátiles, tienen baja fricción y están optimizados para un bajo nivel de ruido y vibraciones, lo que permite alcanzar altas velocidades de giro. Soportan cargas radiales y axiales en ambos sentidos, son fáciles de montar y requieren menos mantenimiento que muchos otros tipos de rodamientos. El sellado integral puede prolongar significativamente la vida útil del rodamiento porque mantiene el lubricante en los rodamientos y los contaminantes fuera.

- El sellado integral prolonga la vida útil del rodamiento
- Diseño sencillo, versátil y robusto
- Baja fricción y capacidad de alta velocidad
- Soportan cargas radiales y axiales en ambos sentidos
- Requieren poco mantenimiento

Overview

Dimensiones

| | |
|-------------------|-------|
| Diámetro interno | 8 mm |
| Diámetro exterior | 16 mm |
| Ancho | 5 mm |

Rendimiento

| | |
|------------------------------------|--------------|
| Capacidad de carga dinámica básica | 1.33 kN |
| Capacidad de carga estática básica | 0.57 kN |
| Velocidad de referencia | 90 000 r/min |
| Velocidad límite | 45 000 r/min |

Propiedades

| | |
|---|------------------------------------|
| Ranuras de llenado | Sin |
| Cantidad de hileras | 1 |
| Elemento de fijación, aro exterior del rodamiento | Ninguna |
| Tipo de agujero | Cilíndrico |
| Jaula | Chapa metálica |
| Disposición ajustada | No |
| Juego radial interno | CN |
| Material, rodamiento | Acero para rodamientos |
| Recubrimiento | Sin |
| Sellado | Placa de protección en ambos lados |
| Tipo de sellado | Sin contacto |
| Lubricante | Grasa |

Figura 3.3.60 – Ficha técnica del rodamiento rígido de bolas 628/8 2Z – SKF

(8) Acoplamiento

Código: POD-CM-EM-G1-53

Fabricante: TecnoliveUSA

Con el objetivo de transmitir potencia desde el eje del motor principal, hasta la pieza que genera el movimiento en los respectivos ensayos, se optó por colocar un acoplamiento que solo transmite momento torsor y desvincula al motor principal de cualquier fuerza externa que pueda generar una falla. Se selecciono un acoplamiento flexible antibackflash de aluminio, debido a las condiciones ambientales que se puedan presentar. El acoplamiento cuenta con un diámetro externo de 19 mm y una longitud de 25 mm, en una de sus caras cuenta con un hueco de 10 mm de diámetro y 6 de profundidad para las piezas intercambiables, mientras que en la otra cara cuenta con un hueco de 6 mm de diámetro y 13mm de profundidad donde quedará acoplado el eje del motor principal. Además, cuenta con prisioneros para sujetar los ejes correspondientes a cada ensayo, lo cual facilita la intercambiabilidad. Considerando que el eje del motor es de 8mm y el hueco en el acoplamiento es de 6mm, se propuso realizar un agujero de 8mm que lo atraviese por completo, esto con el objetivo de mantener la altura de 25mm y existe en el mercado un acoplamiento con tales características.



Figura 3.3.61 – Acoplamiento flexible – TecnoliveUSA

(9) Sensor de temperatura

Código: POD-CM-EM-G0-56

Fabricante: PRIVARSA

Para sensar la temperatura a la que alcanza la bolilla durante el ensayo, se hará uso de una termocupla TIPO J (hierro – constantan). Este se utiliza para temperaturas de hasta 800 °C. En atmósferas oxidantes, y dado que el hierro oxida rápidamente por sobre los 500 °C se aconseja emplear mayor diámetro de alambres y vainas de protección adecuadas. Pero como las temperaturas no superarán los 350°C no se tendrá problemas con esta termocupla. Se adoptará el termopar N-ZTCJ1-200 con un diámetro de 1mm.

Termopares Aterrizados
Transición Metálica

| # de Artículo | Diámetro | Largo | Cable |
|---------------|----------|--------|----------|
| N-ZTCJ1-100 | 1 mm | 100 mm | 1,800 mm |
| N-ZTCJ1-150 | 1 mm | 150 mm | 1,800 mm |
| N-ZTCJ1-200 | 1 mm | 200 mm | 1,800 mm |
| N-ZTCJ1-250 | 1 mm | 250 mm | 1,800 mm |
| N-ZTCJ1.5-100 | 1.5 mm | 100 mm | 1,800 mm |
| N-ZTCJ1.5-150 | 1.5 mm | 150 mm | 1,800 mm |
| N-ZTCJ1.5-200 | 1.5 mm | 200 mm | 1,800 mm |
| N-ZTCJ1.5-250 | 1.5 mm | 250 mm | 1,800 mm |



Figura 3.3.62 – Termopar tipo J – PRIVARSA

(10) Rodamiento rígido de bolas 628/8 ZZ

Código: POD-CM-EM-G4-60

Fabricante: SKF

A partir de lo mencionado sobre la selección de rodamientos, se tendrá en cuenta el diámetro del buje de acoplamiento y el del perno, ambos tienen un diámetro de 8 mm, se selecciona un rodamiento rígido de bolas 628/8 ZZ de una hilera de bolas [13] (figura 3.3.63). Ambos rodamientos estarán anclados por presión a la biela utilizada en el movimiento recíprocante.

Uno de los rodamientos tendrá un movimiento oscilante lo que generará un desgaste en una zona reducida de este, lo que aumenta la probabilidad de una falla temprana, ya que no están diseñados para este tipo de movimiento. Sin embargo, las características de funcionamiento que presenta un rodamiento son mejores que las de otros elementos mecánicos. En cambio, el otro rodamiento tendrá un correcto funcionamiento.

Se optó por un rodamiento con sello, ya que estos requieren un menor mantenimiento, además de que “el sellado integral puede prolongar significativamente la vida útil del rodamiento porque mantiene el lubricante en los rodamientos y los contaminantes fuera” (figura 3.3.64). Considerando que el rodamiento presenta una alta probabilidad de falla y que se encontrará anclado a la biela, la vida útil de este toma gran importancia.

Para determinar la duración aproximada de este rodamiento, comienzo calculando la vida nominal básica para una confiabilidad del 90%, a partir de las ecuaciones obtenidas del catálogo de SKF.

En cuanto a la velocidad angular, se tomará la máxima que puede entregar el motor principal, la cual es igual a 400rpm. En cuanto a la carga dinámica básica se determina del catálogo de SKF, mientras que la carga dinámica equivalente del rodamiento se considerarán las siguientes cargas.

| Código POD-CM- | Designación | Material | Cant. | Peso Unit. (g) | Peso (g) |
|-------------------------------|--|--------------------------|-------|-------------------|-------------|
| PM-G4-38 | Biela | Acero 1045 LC | 1 | 28,43 | 28,43 |
| PM-G4-39 | Buje de acoplamiento | Teflón | 1 | 0,6 | 0,6 |
| PM-G4-40 | Porta probeta | Aluminio 6161 | 1 | 53,05 | 53,05 |
| PM-G4-41 | Recipiente de fluidos | Plástico | 1 | 13,25 | 13,25 |
| PM-G4-42 | Agarre de probetas | Acero Inox. AISI 304 (9) | 2 | 2,83 | 5,66 |
| EM-G4-60 | Rodamientos 628/8 - ZZ | --- | 1 | 3,60 | 3,60 |
| EM-G4-64 | Base de guía SCS 8UU | --- | 2 | 52,00 | 104,0 |
| PF-G4-81 | Bulón ISO 4762 M6x30 – Eje de M. Rec. | Grado 8.8 | 1 | 8,70 | 8,70 |
| PF-G4-88 | Bulón ISO 4762 M4x20 – Base de guía | Grado 8.8 | 4 | 2,65 | 10,60 |
| PF-G4-92 | Bulón ISO 4762 M4x6 – Desagote Líquidos | Grado 8.8 | 1 | 1,50 | 1,50 |
| PF-G4-96 | Bulón ISO 4762 M3x16 – Agarre de probeta | Grado 8.8 | 2 | 1,05 | 2,10 |
| PF-G4-102 | Bulón ISO 4762 M2x8 – Recipiente Fluidos | Grado 8.8 | 4 | 0,60 | 2,40 |
| Peso total sin carga (g) | | | | 233,89 | |
| Carga aplicada (Max. 75N) (g) | | | | 7.645,26 | |
| Peso total (g) | | | | 7.879,15 | |

Tabla 3.3.5 – Especificaciones de componentes y propiedades físicas

$$P = 7.879,15gf = 7,8791kgf = 0,0773KN$$

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p = \left(\frac{1,33KN}{0,0773KN}\right)^3 = 5.095 \text{ Millones de revoluciones}$$

$$L_{10} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot L_{10} = \frac{10^6}{60 \cdot 40rpm} \cdot 5.095 = 212.275 \text{ Horas de funcionamiento}$$

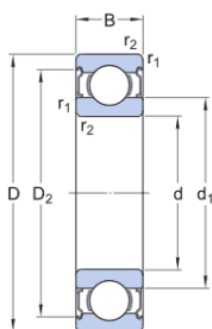
La vida nominal básica para una confiabilidad del 95%, se determina a partir de la ecuación

$$L_{nm} = a_1 \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^p = a_1 \cdot 5.095 = 0,64 \cdot 5.095 = 3.260 \text{ Millones de revoluciones}$$

$$L_{nmh} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot L_{nm} = \frac{10^6}{60 \cdot 400rpm} \cdot 3.260 = 135.855 \text{ Horas de funcionamiento}$$

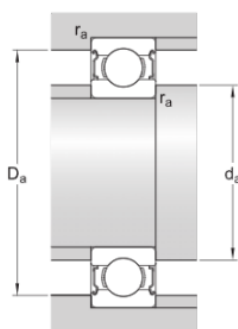
A partir de esto se puede ver que el rodamiento cumple con el tiempo de funcionamiento promedio. A continuación, se observan las características de este.

Dimensiones



| | | |
|------------------|-------------|-----------------------|
| d | 8 mm | Diámetro interno |
| D | 16 mm | Diámetro exterior |
| B | 5 mm | Ancho |
| d ₁ | ≈ 10.4 mm | Diámetro del resalte |
| D ₂ | ≈ 14.2 mm | Diámetro del rebaje |
| r _{1,2} | min. 0.2 mm | Dimensión del chaflán |

Dimensiones de los resaltes



| | | |
|---------------------|---------|-------------------------------------|
| d _a min. | 9.4 mm | Diámetro del resalte del eje |
| d _a max. | 10 mm | Diámetro del resalte del eje |
| D _a max. | 14.6 mm | Diámetro del resalte del soporte |
| r _a max. | 0.2 mm | Radio del eje o acuerdo del soporte |

Masa

| | |
|--------------------|-----------|
| Masa de rodamiento | 0.0036 kg |
|--------------------|-----------|

Figura 3.3.63 – Datos y dimensiones del rodamiento rígido de bolas 628/8 2Z – SKF



628/8-2Z



Rodamiento rígido de bolas con sellos o placas de protección

Los rodamientos rígidos de una hilera de bolas con sellos o placas de protección son especialmente versátiles, tienen baja fricción y están optimizados para un bajo nivel de ruido y vibraciones, lo que permite alcanzar altas velocidades de giro. Soportan cargas radiales y axiales en ambos sentidos, son fáciles de montar y requieren menos mantenimiento que muchos otros tipos de rodamientos. El sellado integral puede prolongar significativamente la vida útil del rodamiento porque mantiene el lubricante en los rodamientos y los contaminantes fuera.

- El sellado integral prolonga la vida útil del rodamiento
- Diseño sencillo, versátil y robusto
- Baja fricción y capacidad de alta velocidad
- Soportan cargas radiales y axiales en ambos sentidos
- Requieren poco mantenimiento

Overview

Dimensiones

| | |
|-------------------|-------|
| Diámetro interno | 8 mm |
| Diámetro exterior | 16 mm |
| Ancho | 5 mm |

Rendimiento

| | |
|------------------------------------|--------------|
| Capacidad de carga dinámica básica | 1.33 kN |
| Capacidad de carga estática básica | 0.57 kN |
| Velocidad de referencia | 90 000 r/min |
| Velocidad límite | 45 000 r/min |

Propiedades

| | |
|---|------------------------------------|
| Ranuras de llenado | Sin |
| Cantidad de hileras | 1 |
| Elemento de fijación, aro exterior del rodamiento | Ninguna |
| Tipo de agujero | Cilíndrico |
| Jaula | Chapa metálica |
| Disposición ajustada | No |
| Juego radial interno | CN |
| Material, rodamiento | Acero para rodamientos |
| Recubrimiento | Sin |
| Sellado | Placa de protección en ambos lados |
| Tipo de sellado | Sin contacto |
| Lubricante | Grasa |

Figura 3.3.64 – Ficha técnica del rodamiento rígido de bolas 628/8 2Z – SKF

(11) Base de guía

Código: POD-CM-EM-G4-60

Fabricante: TecnoliveUSA

A raíz de la observación de ciertos mecanismos, se planteó que el porta probetas realice su desplazamiento sobre dos soportes como los utilizados en impresoras 3D, los cuales poseen en su interior rodamientos axiales que se deslizarán sobre una barra rectificada para aportar la menor fuerza de fricción posible al movimiento.

Como fue mencionado anteriormente, el porta probeta quedará sujeto a cada base mediante dos bulones M4x20mm, se seleccionó esta longitud para lograr reducir lo más posible el peso del mecanismo en movimiento, además, como se puede observar en la figura 3.3.65, estas bases están diseñadas para la colocación de 4 bulones cada una, pero continuando con el criterio planteado, se estableció que con dos bulones se sigue garantizando la fijación y de esta manera se logra reducir de forma considerable el peso del mecanismo.

A partir del catálogo mostrado en la figura 67, si bien el modelo más pequeño es el que posee un menor peso, pero debido a la complejidad para su obtención, se seleccionó la base SCS 8UU [15], el cual presenta las siguientes características.

- Diámetro interno: 8mm (tolerancia -0,006mm)
- Peso: 52g
- Carga dinámica: 274N
- Carga estática: 392N

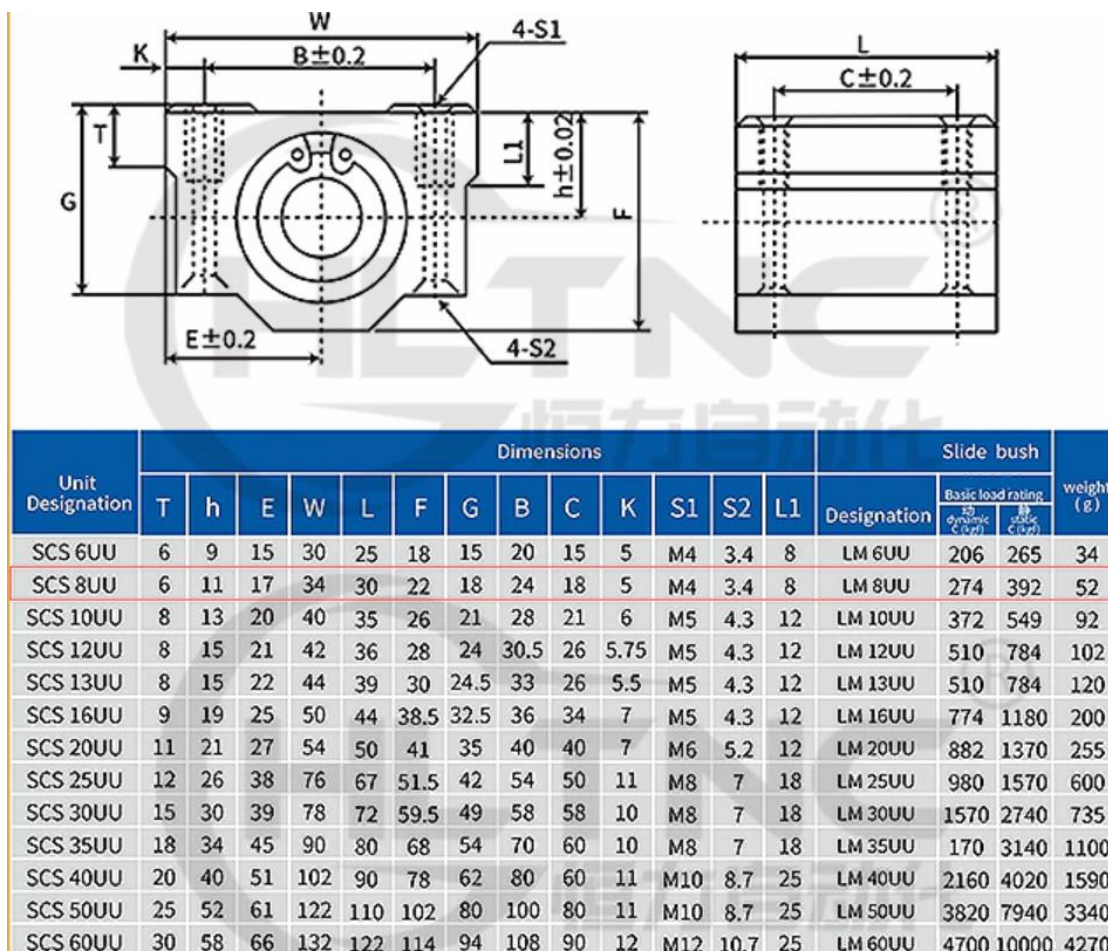


Figura 3.3.65 – Dimensiones de la base guía – TecnoliveUSA

En caso de que el rodamiento axial sufra algún daño o desgaste, en la figura 3.3.66 se muestra el modelo de este, el cual es sencillo de reemplazar, ya que la base cuenta con un seguro en cada extremo y con la retirada de este se puede extraer el rodamiento modelo LM 8 UU [16].

**CASQUILLO
LM UU**



| MODELO | D1 | D | W |
|-----------------|-------|-------|-------|
| LM 8 UU | 8 mm | 15 mm | 24 mm |
| LM 12 UU | 12 mm | 21 mm | 30 mm |
| LM 16 UU | 16 mm | 28 mm | 37 mm |
| LM 20 UU | 20 mm | 32 mm | 42 mm |
| LM 25 UU | 25 mm | 40 mm | 59 mm |



Figura 3.3.66 – Dimensiones del rodamiento axial – Mecatronix

(12) Soporte de barra de rodamientos lineales

Código: POD-CM-EM-G4-63

Fabricante: Mecatronix

Las barras estarán sujetadas por medio de un par de soportes, que se seleccionan en función del diámetro de la barra (8mm), además, poseen un prisionero para garantizar la fijación de la barra. En la figura 3.3.68 se observa el catálogo, y a partir de este se seleccionó el modelo SK8 [18] mientras que en la figura 3.3.67 se observan sus dimensiones.

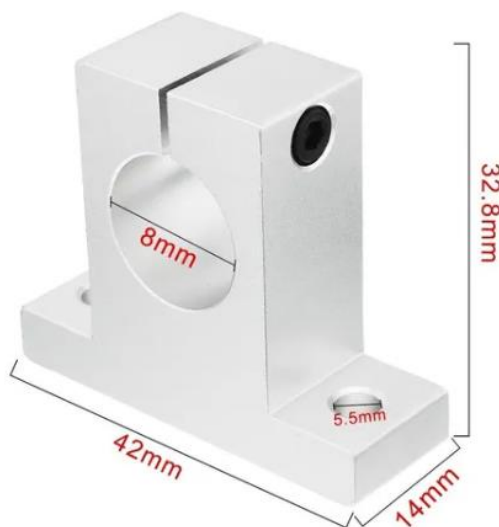


Figura 3.3.67 – Dimensiones del soporte – Mecatronix

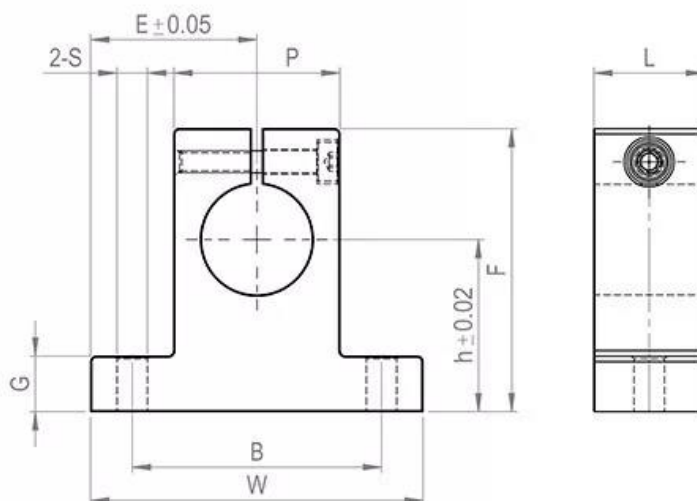
Mecatronics

Modelo: SK8

Compatible con: Guías lineales de 8mm de diámetro y rodamientos LM8UU y SCS8UU.

Cantidad: 1

Descripción: Soporte de barra para rodamientos lineales de 8mm de diámetro, construida en aluminio.



| Modelo | Diámetro de eje | Dimensiones generales | | | | | | | | | Tornillo de ajuste | Tornillo de montaje | Peso (kg) |
|--------|-----------------|-----------------------|----|-----|----|------|----|----|-----|-----|--------------------|---------------------|-----------|
| | | h | E | W | L | F | G | P | B | S | | | |
| SK8 | 8 | 20 | 21 | 42 | 14 | 32,8 | 6 | 18 | 32 | 5,5 | M4 | M5 | 0,024 |
| SK10 | 10 | 20 | 21 | 42 | 14 | 32,8 | 6 | 18 | 32 | 5,5 | M4 | M5 | 0,024 |
| SK12 | 12 | 23 | 21 | 42 | 14 | 37,5 | 6 | 20 | 32 | 5,5 | M4 | M5 | 0,030 |
| SK13 | 13 | 23 | 21 | 42 | 14 | 37,5 | 6 | 20 | 32 | 5,5 | M4 | M5 | 0,030 |
| SK16 | 16 | 27 | 24 | 48 | 16 | 44 | 8 | 25 | 38 | 5,5 | M4 | M5 | 0,040 |
| SK20 | 20 | 31 | 30 | 60 | 20 | 51 | 10 | 30 | 45 | 6,6 | M5 | M6 | 0,070 |
| SK25 | 25 | 35 | 35 | 70 | 24 | 60 | 12 | 38 | 56 | 6,6 | M6 | M6 | 0,130 |
| SK30 | 30 | 42 | 42 | 84 | 28 | 70 | 12 | 44 | 64 | 9 | M6 | M8 | 0,180 |
| SK35 | 35 | 50 | 49 | 98 | 32 | 82 | 15 | 50 | 74 | 11 | M8 | M10 | 0,270 |
| SK40 | 40 | 60 | 57 | 114 | 36 | 96 | 15 | 60 | 90 | 11 | M8 | M10 | 0,420 |
| SK50 | 50 | 70 | 63 | 126 | 40 | 120 | 18 | 74 | 100 | 14 | M12 | M12 | 0,750 |
| SK60 | 60 | 80 | 74 | 148 | 45 | 136 | 18 | 90 | 200 | 14 | M12 | M12 | 0,100 |

Figura 3.3.68 – Catálogo del soporte – Mecatronix

(13) Sensor de humedad DHT 22

Código: POD-CM-EM-G1-57

Fabricante: Candy-Ho

Cómo fue mencionado, para conocer las características del ambiente en cada ensayo, se seleccionará el sensor DHT22 (AM2302) [20], que es un sensor digital de temperatura y humedad relativa que presenta un buen rendimiento a un bajo costo. Integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante. Muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no posee salida analógica) [21].

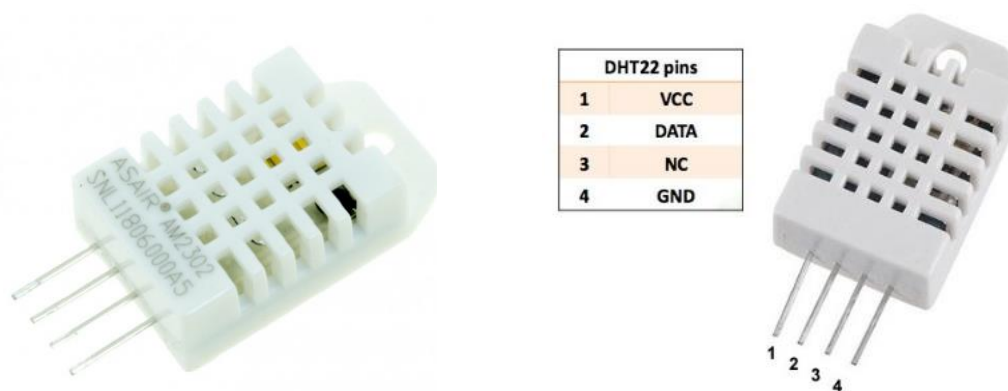


Figura 3.3.69 – Sensor de humedad

A nivel de software se dispone de librerías para Arduino con soporte para el protocolo "Single bus". En cuanto al hardware, solo es necesario conectar el pin VCC de alimentación a 3-5V, el pin GND a Tierra (0V) y el pin de datos a un pin digital en el Arduino. Si se desea conectar varios sensores DHT22 a un mismo Arduino, cada sensor debe tener su propio pin de datos.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Voltaje de Operación: 3V - 5V DC
- Corriente máxima de 2,5mA cuando se realiza la conversión.
- Rango de medición de temperatura: -40°C a 80 °C
- Precisión de medición de temperatura: $<\pm 0.5$ °C
- Rango de medición de humedad: De 0 a 100% RH
- Precisión de medición de humedad: 2% RH
- Tiempo de sensado: 2s
- Interface digital: Single-bus (bidireccional)
- Dimensiones: 20 X 15 X 8 mm
- Diámetro del agujero: 3 mm
- Peso: 3 gr.

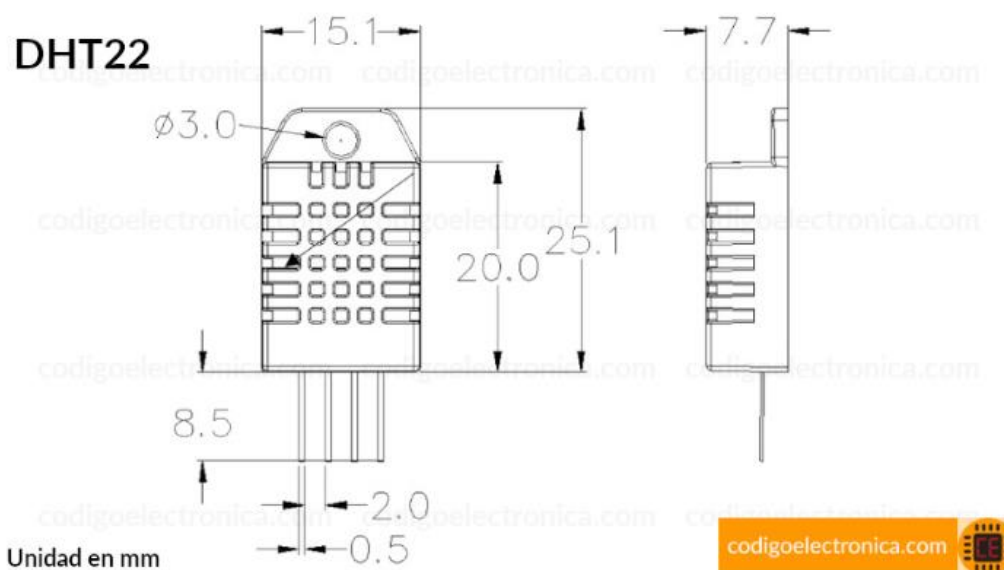


Figura 3.3.70 – Dimensiones del sensor de humedad

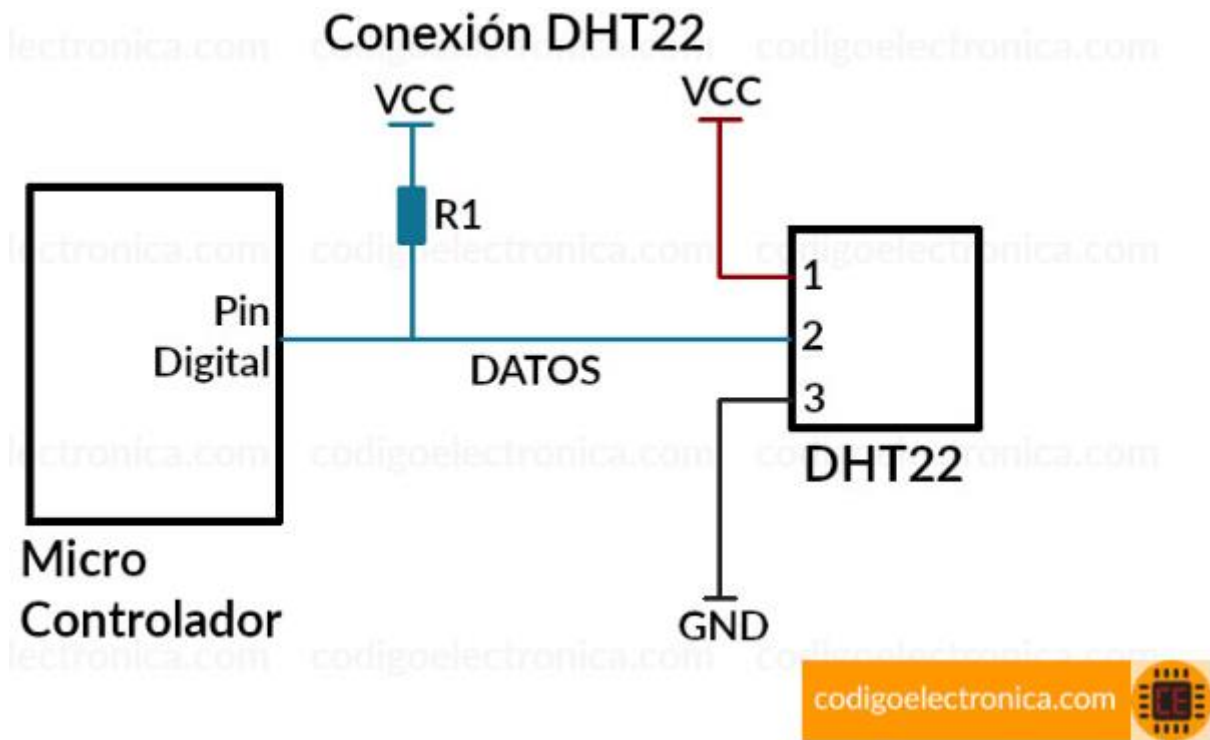


Figura 3.3.71 – Conexión del sensor de humedad

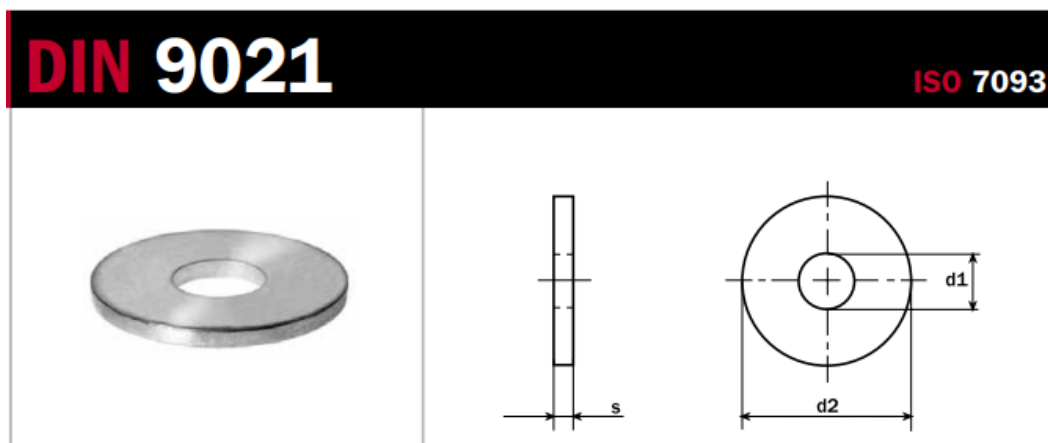
(14) Arandelas planas

Código: POD-CM-PF-G1-109

Fabricante: ---

Norma: DIN 9021/ISO 7093

Para poder conocer las medidas de la arandela se utilizó el catálogo de la figura 3.3.72, estas arandelas tendrán como función principal aumentar el área de presión sobre las piezas de caucho para evitar su deformación.



Plain washers $d2 \approx 3d1$
 Rondelles plates $d2 \approx 3d1$

Arandelas planas $d2 \approx 3d1$

| d nom. | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| d1 (min) | 3,2 | 4,3 | 5,3 | 6,4 | 7,4 |
| d2 (max) | 9 | 12 | 15 | 18 | 22 |
| s | 0,8 | 1 | 1,2 | 1,6 | 2 |

| Peso/Weight 1000 ud. kg | | | | | |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0,349 | 0,774 | 1,460 | 2,790 | 5,290 |

| d nom. | M8 | M10 | M12 | M14 | M16 |
|----------|-----|------|-----|-----|-----|
| d1 (min) | 8,4 | 10,5 | 13 | 15 | 17 |
| d2 (max) | 24 | 30 | 37 | 44 | 50 |
| s | 2 | 2,5 | 3 | 3 | 3 |

| Peso/Weight 1000 ud. kg | | | | | |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 6,230 | 12,20 | 22,20 | 31,60 | 40,90 |

| d nom. | M18 | M20 | M24 |
|----------|-----|-----|-----|
| d1 (min) | 20 | 22 | 26 |
| d2 (max) | 56 | 60 | 72 |
| s | 4 | 4 | 5 |

| Peso/Weight 1000 ud. kg | | | |
|-------------------------|-------|-------|--------|
| | 67,40 | 76,80 | 139,00 |

Figura 3.3.72 – Dimensiones de arandelas

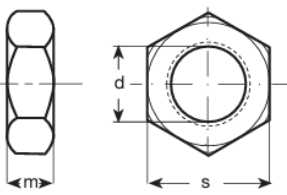

(15) Tuercas hexagonales

Código: POD-CM-PF-G1-104 y POD-CM-PF-G1-105

Fabricante: ROSMIL

Norma: DIN 936/ISO 4035

Para poder conocer las dimensiones de las tuercas se utilizó el catálogo de la figura 3.3.73.

| | | | | |
|---|--|--|--|---|
| <p>DIN 936 (ISO 4035) (ISO 4036)</p> | <p>TUERCA HEXAGONAL BAJA <i>Métrico / Métrico fino</i> Hexagon jam nut Ecou Hexagonale, forme basse</p> | <p><i>Calidad (8)</i> (04 ≤ M18) (17H > M18)</p> |  |  |
| | | <p><i>Calidad (10)</i> (05 ≤ M18) (22H > M18)</p> | | |

| Métrico | | | | | | | Métrico fino | | | | |
|---------|------|----|----|----------------|----------------|-----------------|--------------|------|----------------|-----------------|-----|
| | Paso | m | s | ESTU- CHADO | CALIDAD (8) | CALIDAD (10) | | Paso | CALIDAD (8) | CALIDAD (10) | |
| M 6 | 1 | 4 | 10 | 1000 | 04 | 05 | | M 8 | 1 | 04 | 05 |
| M 8 | 1,25 | 5 | 13 | 500 | 04 | 05 | | M 10 | 1 | 04 | 05 |
| M 10 | 1,5 | 6 | 17 | 500 | 04 | 05 | | M 10 | 1,25 | 04 | 05 |
| M 12 | 1,75 | 7 | 19 | 250 | 04 | 05 | | M 12 | 1,25 | 04 | 05 |
| M 14 | 2 | 8 | 22 | 200 | 04 | 05 | | M 12 | 1,5 | 04 | 05 |
| M 16 | 2 | 8 | 24 | 150 | 04 | 05 | | M 14 | 1,5 | 04 | 05 |
| M 18 | 2,5 | 9 | 27 | 100 | 04 | 05 | | M 16 | 1,5 | 04 | 05 |
| M 20 | 2,5 | 9 | 30 | 100 | 17H | 22H | | M 18 | 1,5 | 04 | 05 |
| M 22 | 2,5 | 10 | 32 | 50 | 17H | 22H | | M 20 | 1,5 | 17H | 22H |
| M 24 | 3 | 10 | 36 | 50 | 17H | 22H | | M 22 | 1,5 | 17H | 22H |
| M 27 | 3 | 12 | 41 | 25 | 17H | 22H | | M 22 | 2 | 17H | 22H |
| M 30 | 3,5 | 12 | 46 | 25 | 17H | 22H | | M 24 | 1,5 | 17H | 22H |
| M 33 | 3,5 | 14 | 50 | 20 | 17H | 22H | | M 24 | 2 | 17H | 22H |
| M 36 | 4 | 14 | 55 | 15 | 17H | 22H | | M 27 | 1,5 | 17H | 22H |
| | | | | | | | | M 27 | 2 | 17H | 22H |
| | | | | | | | | M 30 | 1,5 | 17H | 22H |
| | | | | | | | | M 30 | 2 | 17H | 22H |
| | | | | | | | | M 33 | 1,5 | 17H | 22H |
| | | | | | | | | M 33 | 2 | 17H | 22H |
| | | | | | | | | M 36 | 1,5 | 17H | 22H |

Figura 3.3.73 – Dimensiones de tuercas delgadas

(16) Tuercas hexagonales

Código: POD-CM-PF-G1-106 y POD-CM-PF-G1-107

Fabricante: ROSMIL

Norma: DIN 934/ISO 4032

Para poder conocer las dimensiones de las tuercas se utilizó el catálogo de la figura 3.3.74.

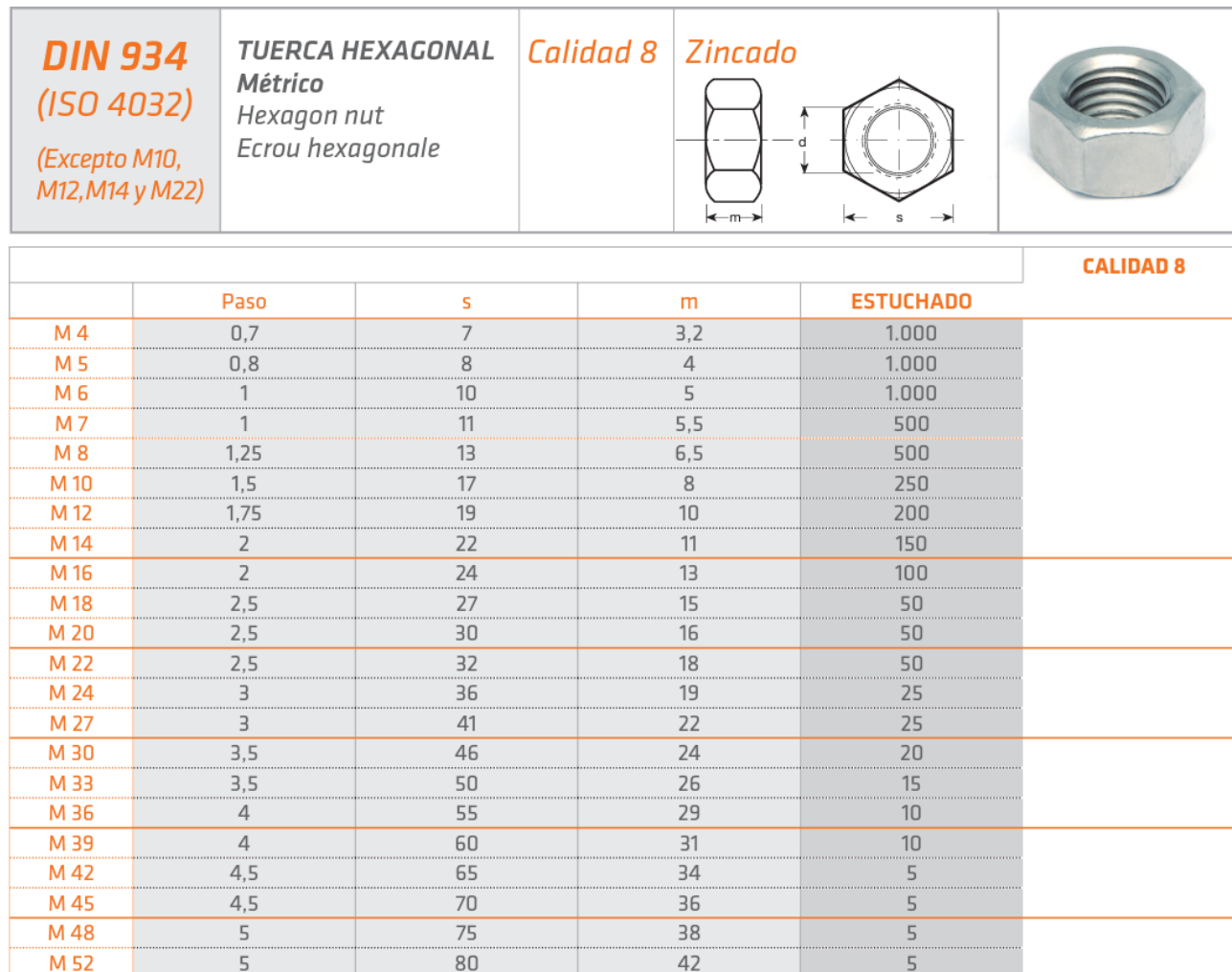


Figura 3.3.74 – Dimensiones de tuercas delgadas

(17) Bulón hexagonal

Código: POD-CM-PF-G1-89

Fabricante: ROSMIL

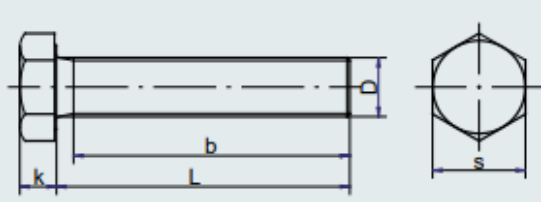
Norma: DIN 933/ISO 4017

Para lograr conocer las dimensiones de la cabeza del bulón y luego dimensionar la pieza termoplástica, se utilizó el catálogo de la figura 3.3.75.

DIN 933
ISO 4017

TORNILLO HEXAGONAL

Metrico



MATERIAL: ACERO

CALIDAD: 8.8

APLICACIÓN: Unión de piezas para elementos de construcción mecánica. Permite un apriete eficaz mediante la utilización de un llave.

DIMENSIONES

| d | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 | M9 | M10 | M12 | M14 | M16 | M18 | M20 | M22 | M24 | M27 | M30 | M33 | M36 |
|-------------|-----|-----|----|----|------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Paso | 0,7 | 0,8 | 1 | 1 | 1,25 | 1,25 | 1,5 | 1,75 | 2 | 2 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 3 | 3 | 3,5 | 3,5 | 4 |
| k | 2,8 | 3,5 | 4 | 5 | 5,5 | 6,25 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 | 13 | 14 | 15 | 17 | 19 | 21 | 22 |
| s | 7 | 8 | 10 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 | 22 | 24 | 27 | 30 | 32 | 36 | 41 | 46 | 50 | 55 |

PESOS

| L | Peso Kg 1000 piezas | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------|------|------|------|------|--|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 10 | 1,64 | 2,63 | 4,08 | 6,43 | 9,10 | | 18,2 | 25,8 | 38,0 | | | | | | | | | |
| 16 | 2,10 | 3,37 | 5,11 | 7,86 | 11,1 | | 21,2 | 30,2 | 44,0 | 58,3 | 82,7 | 107 | 133 | 173 | 246 | | | |
| 20 | 2,41 | 3,87 | 5,80 | 8,91 | 12,3 | | 23,2 | 33,0 | 48,0 | 63,5 | 87,9 | 116 | 143 | 184 | 261 | | | |
| 25 | 2,80 | 4,49 | 6,65 | 10,1 | 13,9 | | 25,7 | 36,6 | 53,0 | 70,2 | 96,5 | 126 | 155 | 199 | 280 | | | |
| 30 | 3,19 | 5,11 | 7,51 | 11,4 | 15,5 | | 28,2 | 40,2 | 57,9 | 76,9 | 105 | 136 | 168 | 214 | 310 | | | |
| 35 | 3,57 | 5,73 | 8,37 | 12,6 | 17,1 | | 30,7 | 43,8 | 62,9 | 83,5 | 113 | 147 | 181 | 229 | 319 | 424 | 543 | 680 |
| 40 | 3,96 | 6,35 | 9,23 | 13,9 | 18,7 | | 33,2 | 47,4 | 67,9 | 90,2 | 121 | 157 | 193 | 244 | 338 | 448 | 572 | 724 |
| 45 | 4,34 | 6,99 | 10,1 | 15,1 | 20,3 | | 35,7 | 51,0 | 72,9 | 97,1 | 129 | 167 | 206 | 259 | 358 | 472 | 601 | 758 |
| 50 | 4,73 | 7,59 | 11,0 | 16,4 | 21,8 | | 38,2 | 54,5 | 77,9 | 103 | 137 | 178 | 219 | 274 | 377 | 496 | 630 | 793 |
| 55 | 5,12 | 8,21 | 11,9 | 17,6 | 23,4 | | 40,7 | 58,1 | 82,9 | 110 | 146 | 188 | 232 | 289 | 397 | 519 | 659 | 827 |
| 60 | 5,50 | 8,83 | 12,7 | 18,8 | 25,0 | | 43,3 | 61,7 | 87,8 | 117 | 154 | 199 | 244 | 304 | 416 | 543 | 688 | 861 |
| 65 | 5,89 | 9,45 | 13,6 | 20,1 | 26,6 | | 45,8 | 65,3 | 92,8 | 123 | 162 | 209 | 257 | 319 | 435 | 566 | 717 | 896 |
| 70 | 6,28 | 10,1 | 14,4 | 21,3 | 28,2 | | 48,3 | 68,9 | 97,8 | 130 | 170 | 219 | 269 | 334 | 454 | 590 | 746 | 930 |

Figura 3.3.75 – Dimensiones de bulones

(18) Tornillo allen cabeza cilíndrica

Código: ---

Fabricante: ROSMIL

Norma: DIN 912/ISO 4762

Para lograr conocer el peso exacto de cada tornillo se utilizó el catálogo de la figura 3.3.76.

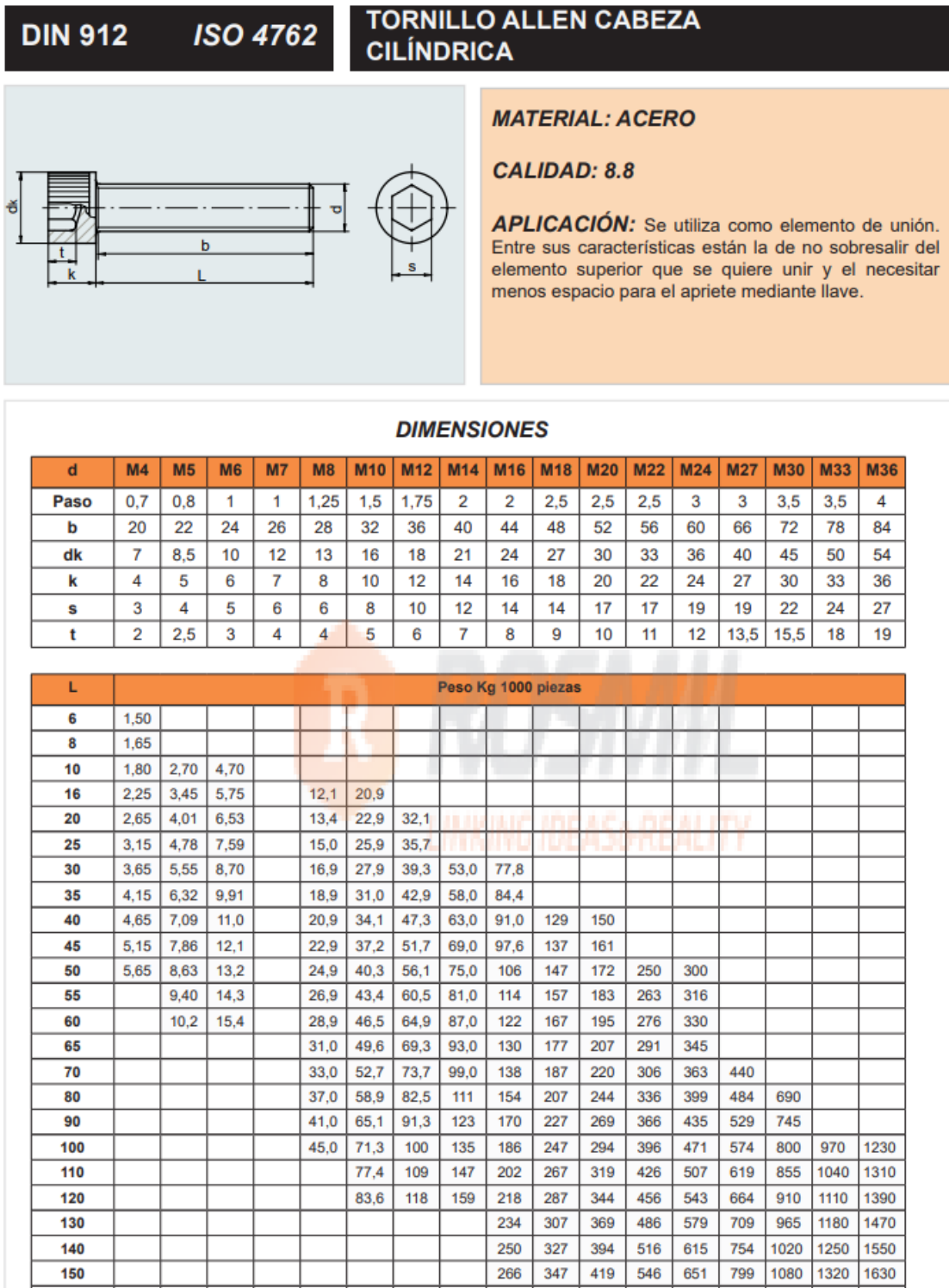


Figura 3.3.76 – Dimensiones de bulones

(19) Resistencia eléctrica

Código: POD-CM-EM-G3-65

Fabricante: PRIVARSA

Para determinar la resistencia necesaria se deberá obtener en primera medida la cantidad de energía requerida para elevar la temperatura de una determinada masa, para lo cual se aplicará la siguiente ecuación obtenida del libro de Yunus A. Cengel "Termodinámica" [25].

$$E = \Delta T \cdot C \cdot m$$

Se realizará una tabla donde se expresarán los pesos de cada elemento a calentar, considerando que se calentará un cierto porcentaje del peso del porta probetas y de la parte fija del soporte de PIN, el peso total del conector del soporte de PIN, la tuerca que ajusta la bolilla y la probeta, obteniendo la siguiente tabla:

| Piezas | Peso (g) |
|---|----------|
| POD-CM-PM-G3-30 (Porta probetas) | 97,66 |
| POD-CM-PM-G2-25 (Parte fija de soporte de PIN) | 17,09 |
| POD-CM-PM-G2-29 (Conector de soporte de PIN) | 5,14 |
| POD-CM-PF-G2-108 (Tuerca) | 5,6 |
| Probeta | 19,7 |

Tabla 3.3.6 – Propiedades físicas

$$m = 97,66g + 17,09g + 5,14g + 5,6g + 19,7g = 145,19g = 0,1452kg$$

Ahora procedemos a determinar la energía necesaria considerando el caso más desfavorable con una temperatura ambiente de 15°C donde las piezas se deberán calentar hasta una temperatura de 300°C. Además, se considerará a la probeta del mismo material que las demás piezas (AISI 304) para homogeneizar el cálculo, por lo cual se tiene que:

$$E = \Delta T \cdot C \cdot m = ((300 + 273)K - (15 + 273)K) \cdot 500 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot 0,1452kg = 20.689,6 J$$

Considerando la energía necesaria y las dimensiones limitantes con las que se cuenta, se optó por seleccionar una resistencia eléctrica en espiral, blindada y compacta en inoxidable, con un diámetro interior mayor a 1 1/2", a partir del catálogo de PRIVARSA (figura 3.3.77).

| Diá. Int. | Largo | Watts |
|-----------|--------|-------|
| 3/4" | 5" | 630 |
| 3/4" | 6" | 630 |
| 3/4" | 7" | 800 |
| 7/8" | 1" | 325 |
| 7/8" | 1 1/2" | 390 |
| 7/8" | 2" | 520 |
| 7/8" | 3" | 610 |
| 7/8" | 4" | 700 |
| 7/8" | 5" | 800 |
| 7/8" | 6" | 850 |
| 1" | 1" | 390 |
| 1" | 1 1/2" | 470 |
| 1" | 2" | 610 |
| 1" | 3" | 700 |
| 1 1/4" | 1 1/2" | 520 |
| 1 1/4" | 2" | 360 |
| 1 1/4" | 3" | 700 |
| 1 1/2" | 1 1/2" | 610 |

Figura 3.3.77 – Dimensiones y potencia de la resistencia eléctrica - PRIVARSA

De la tabla anterior se logra observar la potencia que es capaz de entregar la resistencia. Suponiendo un tiempo de calentamiento razonable de 1min, para determinar la energía que entregará esta resistencia:

$$W = 610 \cdot \left(1min \cdot \frac{60s}{1min} \right) = 36.600 J$$

Ahora se determinará la relación entre la energía entregada y la energía necesaria para alcanzar una temperatura de 300°C sobre la probeta

$$\frac{36.000 J}{20.689,6 J} = 1,74$$

Se puede observar que la potencia entregada superior, obteniendo una relación cercana a 2, la cual es razonable si se consideran las pérdidas que de temperatura que se puedan llegar a producir.

Componentes y conexiones eléctricas

Anteriormente se seleccionaron cuidadosamente los componentes eléctricos principales de la máquina, a continuación, se elegirán los accesorios adecuados para garantizar su correcto funcionamiento y rendimiento. Esta decisión es crucial para asegurar la seguridad del equipo y de los usuarios. Se realizará un análisis detallado de cada componente eléctrico para seleccionar los accesorios que cumplan con los requerimientos técnicos y de calidad necesarios.

(25) Motor principal

Código: POD-CM-EM-G1-52, POD-CE-0-G1-115

Fabricante: CIRCUSPLAY

El motor principal de la máquina estará equipado con un codificador (encoder) incremental del tipo de cuadratura de efecto Hall [30], que consta de salidas A y B desfasadas 90 grados, con una resolución de 22 pulsos por revolución (PPR) acoplado al motor. Esto se traduce en una resolución de 352 PPR en el eje de salida debido a la relación de transmisión. El codificador funciona como un sensor de velocidad y dirección de rotación, utilizando dos sensores de efecto Hall.

El codificador se compone de un disco magnético multipolar unido al eje del motorreductor DC y dos sensores de efecto Hall. A medida que el motorreductor DC gira, el disco magnético gira también, y los polos magnéticos del disco pasan frente a los sensores Hall, que emiten un pulso digital cada vez que detectan un polo magnético positivo. Dado que el disco posee 22 polos alternados, cada sensor Hall emitirá 11 pulsos por cada vuelta. Los sensores Hall A y B están desfasados 90 grados, y sus salidas tipo onda cuadrada también estarán desfasadas 90 grados, lo que se conoce como codificador de cuadratura. Este desfase en las ondas es útil para detectar el sentido de rotación del motor, ya que, al girar en un sentido, la onda A precederá a la onda B, y en el otro sentido de giro, la onda B precederá a la A.

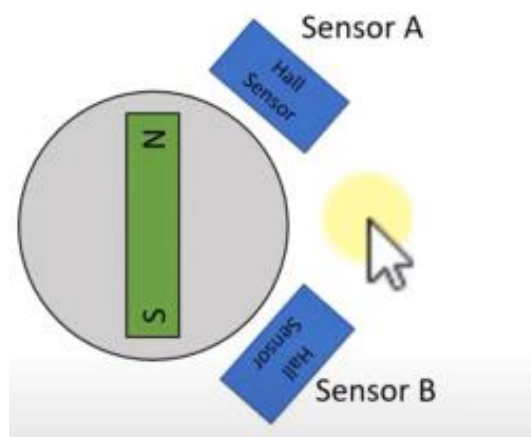


Figura 3.3.78 – Funcionamiento de codificador

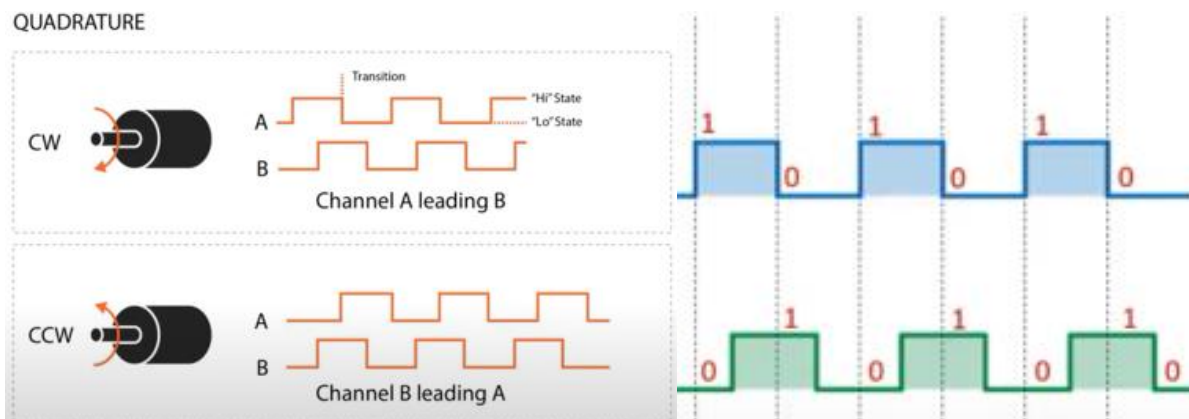


Figura 3.3.79 – Detección del sentido de giro del motorreductor por medio del codificador

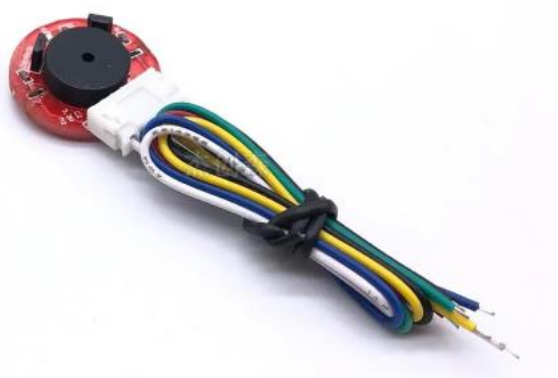


Figura 3.3.80 – Codificador

A continuación, se mostrará un esquema de conexión con el arduino.

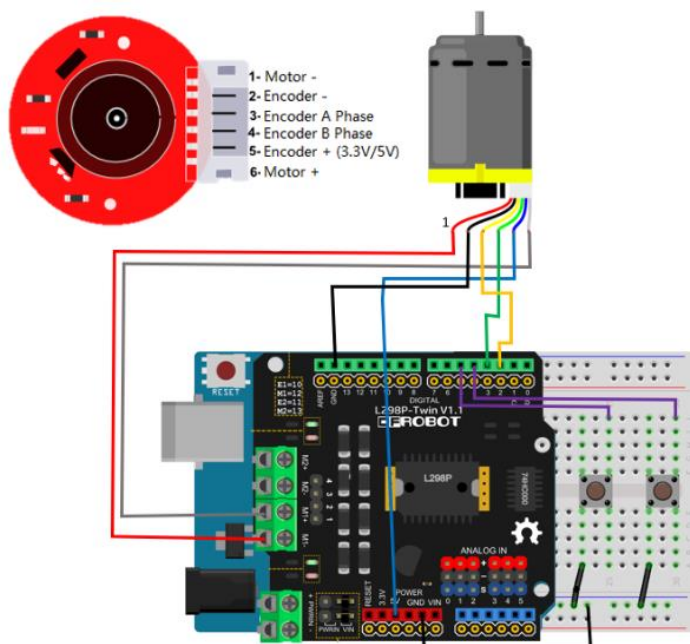


Figura 3.3.81 – Esquema de conexión de codificador

Pines de conexión

- A-1: Tensión de alimentación del motor: -24V DC
- A-2: Encoder GND
- A-3: Salida encoder fase A
- A-4: Salida encoder fase B
- A-5: Encoder VCC (+3.3V/5V)
- A-6: Tensión de alimentación del motor: +24V DC

En relación con el regulador de voltaje del motor, se utilizará un módulo L298N [37], que cuenta con dos canales de Puente H, los cuales se pueden utilizar para controlar dos motores de corriente continua o un motor paso a paso. Este módulo permite controlar tanto la dirección de rotación como la velocidad de los motores utilizando una señal de control PWM.

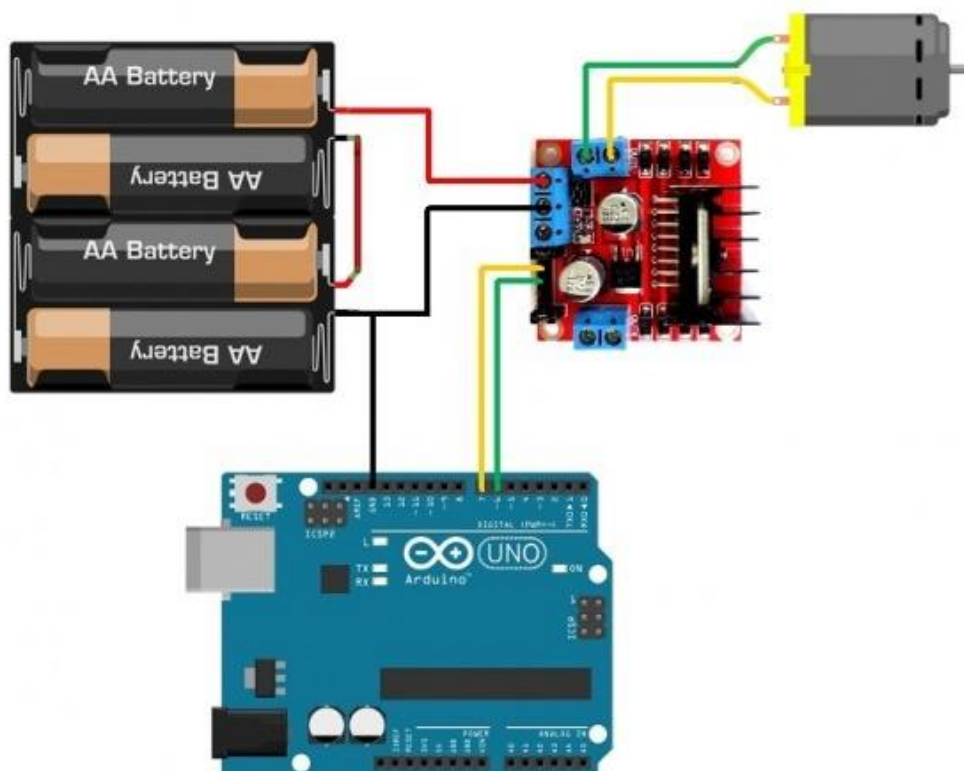


Figura 3.3.82 – Esquema de conexión de regulador

(26) Sensor de humedad

Código: POD-CM-EM-G1-57

Fabricante: Candy-Ho

En relación con el sensor de temperatura y humedad que fue seleccionado previamente, a continuación, se detalla el esquema de conexión con el controlador elegido, el cual en este caso corresponde a un Arduino Uno. Este paso es crucial para establecer la comunicación efectiva entre el sensor y el controlador, permitiendo así la adquisición y procesamiento de los datos de temperatura y humedad de manera precisa y eficiente, la utilización de este controlador facilita la integración del sensor en el sistema de monitoreo o control en el que se está trabajando.

Pines de conexión

- B-1: Tensión de alimentación (+VCC): 3V - 5V DC
- B-2: Datos, por recomendación del fabricante utilizar resistencia de 4.7K Ohm en modo Pull-up, entre el pin de Datos y VCC
- B-3: NC (No se usa)
- B-4: Tierra (GND)

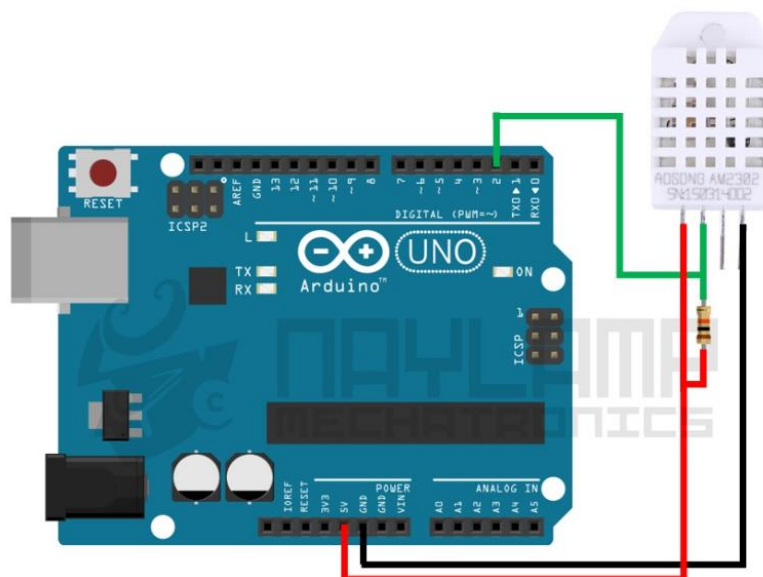


Figura 3.3.83 – Esquema de conexión de sensor de humedad y temperatura

(27) Celda de carga

Código: POD-CM-EM-G1-51, POD-CE-0-G1-116

Fabricante: Starware, Emakers

El módulo Hx711 [34] genera una interfaz entre la celda de carga y el microcontrolador que en este caso es un Arduino uno, permitiendo poder leer el peso de manera sencilla. Internamente se encarga de la lectura del puente wheatstone formado por la celda de carga, convirtiendo la lectura analógica a digital con su convertidor A/D interno de 24 bits. Se comunica con el microcontrolador de forma digital mediante 2 pines (Clock y Data) [34].

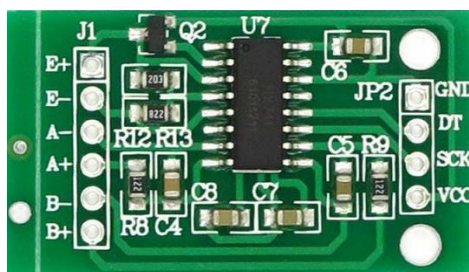


Figura 3.3.84 – Módulo HX711

Conexión entre celda de carga y módulo HX711

| Celda de carga | Módulo HX711 |
|----------------|--------------|
| Cable rojo | Pin E+ |
| Cable negro | Pin E- |
| Cable verde | Pin A- |
| Cable blanco | Pin A+ |

Conexión entre módulo HX711 y Arduino uno

| Módulo HX711 | Arduino |
|--------------|---------|
| Pin GND | PIN GND |
| Pin DT | Pin A1 |
| Pin SCK | Pin A0 |
| Pin VCC | Pin 5V |

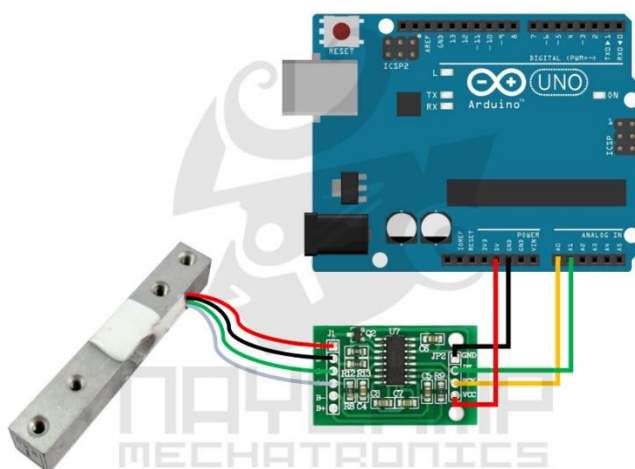


Figura 3.3.85 – Esquema de conexión de celda de carga

(28) Motor paso a paso

Código: POD-CM-EM-G1-50, POD-CE-0-G1-117

Fabricante: MicroPap, E-Labshop

En lo que respecta al funcionamiento del motor paso a paso, este se lleva a cabo mediante la energización de los bobinados, tal como se muestra en la imagen 3.3.86. En este caso se posee un motor paso a paso bipolar que funciona con dos polaridades, lo que significa que la dirección del flujo de corriente en la bobina es variable.

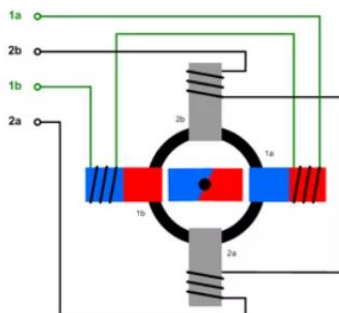


Figura 3.3.86 – Esquema de conexión de bobinado

Para garantizar un correcto funcionamiento de estos motores, es fundamental la utilización de un controlador. En este caso, se ha elegido un driver modelo A4988 de E-Labshop, al cual se conectan los extremos de la bobina del motor. Este controlador recibe señales de potencia de 12V de la fuente de alimentación y señales de control provenientes del Arduino.

El driver dispone de características importantes como limitación de corriente, protección contra sobre corriente y resoluciones de micropasos. Además, cuenta con un rango de tensión de trabajo comprendido entre 8V y 35V, y una corriente máxima por fase de 1A.



Figura 3.3.87 – Driver

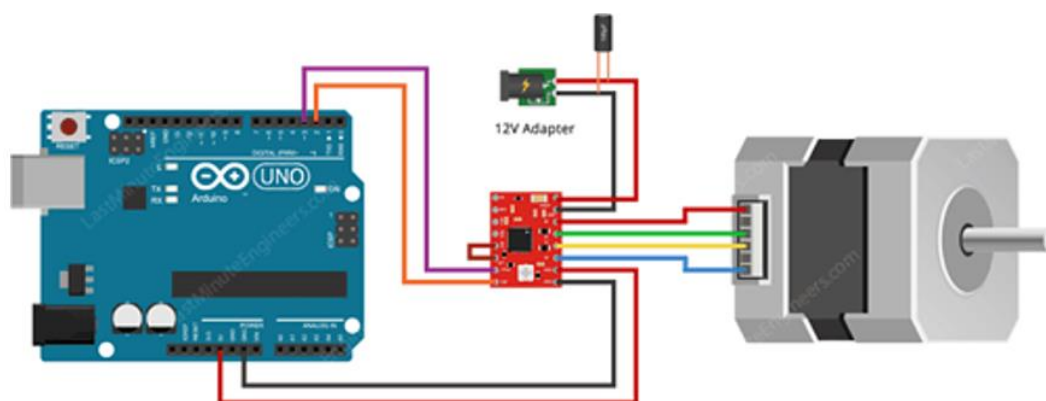


Figura 3.3.88 – Esquema de conexión

(29) Arduino UNO

Código: POD-CE-0-G1-118

Fabricante: Duaitek

El uso del Arduino Uno como controlador proporciona una plataforma sumamente versátil y es ampliamente empleada en proyectos de electrónica y sistemas embebidos. Esto facilita la integración de los distintos sensores en el sistema de monitoreo o control en el que se esté trabajando. En este caso, se ha incorporado una placa Arduino Uno para el procesamiento de datos, la cual se encarga de comunicarse con una computadora. A través de esta comunicación, la placa Arduino recibe los parámetros del ensayo establecidos por el usuario.

Una vez recibida la información, la placa Arduino Uno realiza automáticamente el cálculo de la velocidad angular necesaria para el motorreductor. El objetivo es garantizar que la velocidad tangencial relativa entre la bolilla y la probeta sea de 0.1 m/s. Además, en base al radio y a la distancia a recorrer, se calcula la cantidad de giros que el motorreductor deberá realizar antes de detener el ensayo.

En resumen, la integración de la placa Arduino Uno [36] como controlador en este sistema permite una gestión eficiente y precisa de los parámetros y cálculos necesarios para el funcionamiento del proyecto. La versatilidad y amplio uso de Arduino hacen que sea una opción ideal para proyectos de este tipo en el ámbito de la electrónica y los sistemas relacionados

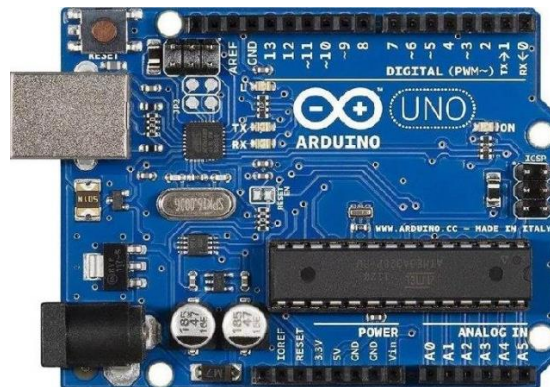


Figura 3.3.89 – Arduino UNO

(30) Esquema de conexión

A continuación, se detallará el esquema de conexión de todos los componentes previamente mencionados

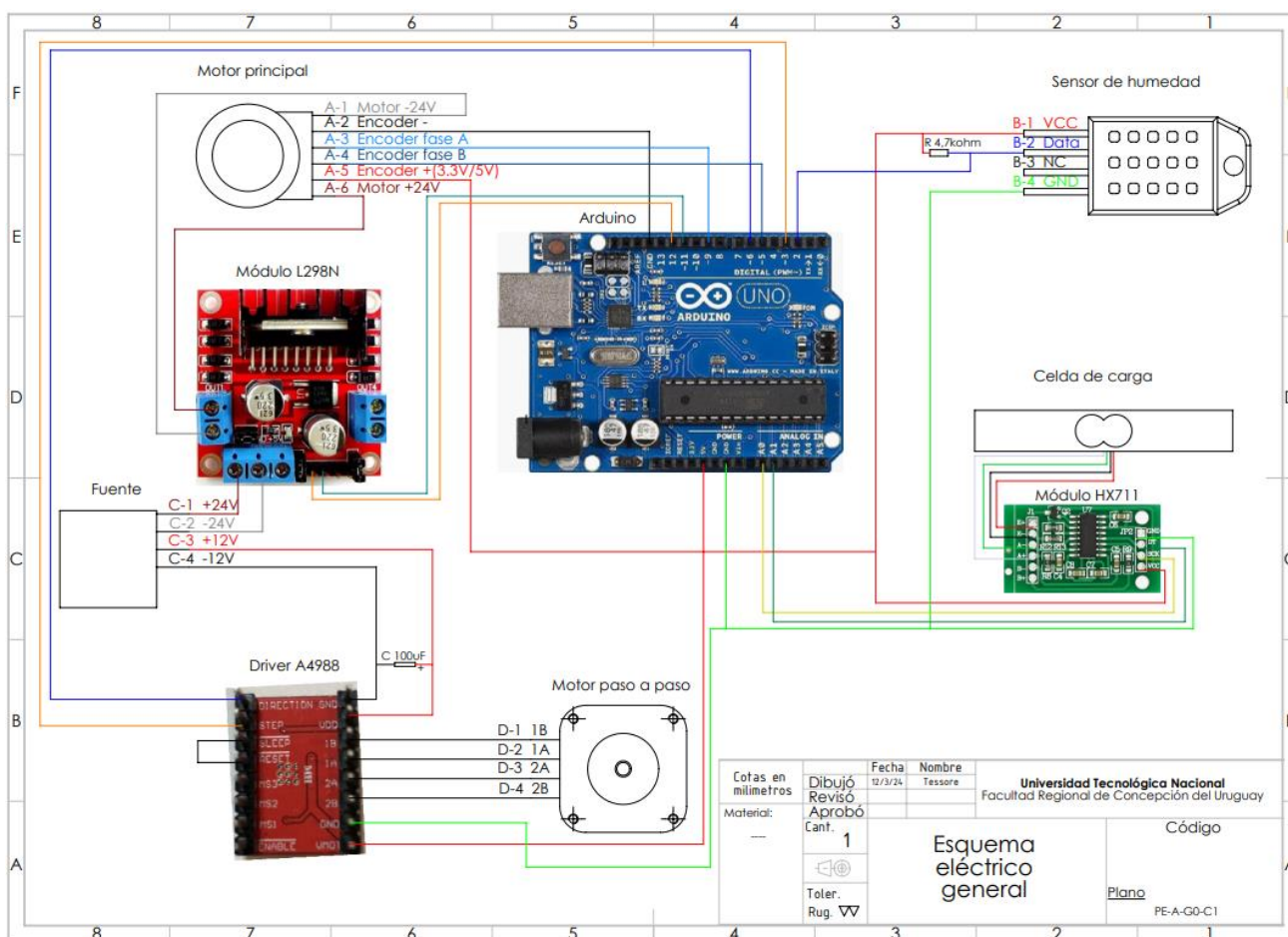


Figura 3.3.90 - Esquema eléctrico de conexión

Referencias

Haciendo un resumen de las piezas y componentes seleccionadas, a continuación, se detallarán todas las piezas con sus respectivos códigos y características, el significado de los códigos presentes en la tabla y como está compuesto el sistema de codificación, se encuentra explicado en el anexo 1 del presente trabajo.

| Código | Piezas de Tornería | Cant. | Material | Designación | Ubicación | |
|-------------------------|----------------------------------|---|----------------------|----------------------------------|--------------------------|----------------|
| POD - CM - PM - G1 - 1 | Grupo 1 - Piezas fijas | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Base principal | --- | |
| POD - CM - PM - G1 - 2 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Base | Variador de radio | |
| POD - CM - PM - G1 - 3 | | 2 | Acero Inox. AISI 304 | Perno | Variador de radio | |
| POD - CM - PM - G1 - 4 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Soporte | Brazo de carga | |
| POD - CM - PM - G1 - 5 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Eje pivotante | Brazo de carga | |
| POD - CM - PM - G1 - 6 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Eje de movimiento axial | Variador de radio | |
| POD - CM - PM - G1 - 7 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Brazo | Contra peso | |
| POD - CM - PM - G1 - 8 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Carga | Contra peso | |
| POD - CM - PM - G1 - 9 | | 2 | Teflón | Buje | Variador de radio | |
| POD - CM - PM - G1 - 10 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Brazo de carga | --- | |
| POD - CM - PM - G1 - 11 | | 1 | Teflón/Acero 1045 LC | Buje de esfuerzo axial | Variador de radio | |
| POD - CM - PM - G1 - 14 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Sujeción de motor | Base de motor principal | |
| POD - CM - PM - G1 - 15 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Sujeción de rodamiento | Base de motor principal | |
| POD - CM - PM - G1 - 16 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Base fija | Eje principal | |
| POD - CM - PM - G1 - 17 | | 1 | Bronce | Buje | Eje principal | |
| POD - CM - PM - G1 - 18 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Eje principal | --- | |
| POD - CM - PM - G1 - 19 | | 4 | Acero Inox. AISI 304 | Apoyo | Base principal | |
| POD - CM - PM - G1 - 20 | | 2 | Bronce | Ajuste de perno | Variador de radio | |
| POD - CM - PM - G1 - 21 | | 1 | Bronce | Ajuste de perno - Soporte de PIN | Brazo de carga | |
| POD - CM - PM - G2 - 25 | | Grupo 2 - Piezas de soporte de PIN | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Parte fija | Brazo de carga |
| POD - CM - PM - G2 - 26 | | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Conector | PIN Cilíndrico |
| POD - CM - PM - G2 - 27 | 1 | | Acero Inox. AISI 304 | Ajuste roscado | PIN Cilíndrico | |
| POD - CM - PM - G2 - 28 | 1 | | Acero Inox. AISI 304 | Ajuste principal | PIN Cilíndrico | |
| POD - CM - PM - G2 - 29 | 1 | | Acero Inox. AISI 304 | Conector | PIN esférico | |
| POD - CM - PM - G3 - 30 | Grupo 3 - M. Rotacional | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Porta Probetas - M. Rot. | Eje principal | |
| POD - CM - PM - G3 - 31 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Cámara de temperatura | Porta Probetas - M. Rot. | |
| POD - CM - PM - G3 - 32 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Agarre de probetas CT | Porta Probetas - M. Rot. | |
| POD - CM - PM - G3 - 33 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Tapa de cámara | Porta Probetas - M. Rot. | |
| POD - CM - PM - G3 - 34 | | 2 | Acero Inox. AISI 304 | Agarre de probetas ST | Porta Probetas - M. Rot. | |
| POD - CM - PM - G3 - 45 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Apoya probeta ST | Porta Probetas - M. Rot. | |
| POD - CM - PM - G3 - 46 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Apoya probeta CT | Porta Probetas - M. Rot. | |
| POD - CM - PM - G3 - 47 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Cobertura de radiación | Porta Probetas - M. Rot. | |
| POD - CM - PM - G4 - 35 | Grupo 4 - M. Reciprocante | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Excéntrico de 10mm | Eje principal | |
| POD - CM - PM - G4 - 36 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Excéntrico de 5mm | Eje principal | |
| POD - CM - PM - G4 - 37 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Perno | Excéntrico | |
| POD - CM - PM - G4 - 38 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Biela | Excéntrico | |
| POD - CM - PM - G4 - 39 | | 1 | Teflón | Buje de acoplamiento | Porta Probetas - M. Rec. | |
| POD - CM - PM - G4 - 40 | | 1 | Aluminio 6061-T6510 | Porta Probetas - M. Rec. | --- | |

| | | | | | |
|------------------------|--|---|----------------------|----------------------------|--------------------------|
| POD - CM - PM - G4 -41 | | 1 | PLA | Recipiente de fluidos | Porta Probetas - M. Rec. |
| POD - CM - PM - G4 -42 | | 2 | Acero Inox. AISI 304 | Agarre de probetas | Porta Probetas - M. Rec. |
| POD - CM - PM - G4 -43 | | 4 | ---- | Planchuelas 1 1/2" x 5/16" | Base principal |

| Código | Componentes | Cant. | Designación | Ubicación | Fabricante/Código |
|------------------------|-----------------------------------|-------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| POD - CM - EM - G1 -50 | Motor paso a paso | 1 | NEMA 15 - SY39ST44-0304A | Variador de radio | MicroPaP |
| POD - CM - EM - G1 -51 | Celda de carga | 1 | | Brazo de carga | Starware/HX711 10KG |
| POD - CM - EM - G1 -52 | Motor principal | 1 | 44 engranajes | Base principal | CIRCUSPLAY/MR-08-D |
| POD - CM - EM - G1 -53 | Acoplamiento flexible | 1 | Antibackflash | Eje principal | TecnoliveUSA/25x19 |
| POD - CM - EM - G4 -54 | Junta del recipiente | 1 | e2,62mm - L250mm | Porta Probetas - M. Rec. | --- |
| POD - CM - EM - G1 -55 | Apoyo | 8 | --- | Apoyo de base principal | --- |
| POD - CM - EM - G0 -56 | Sensor de temperatura | 1 | Termocupla tipo J | Soporte de PIN | PRIVARSA/N-ZTCJ1-200 |
| POD - CM - EM - G1 -57 | Sensor de humedad | 1 | Sensor DHT22 | Base principal | Candy-Ho Electronics/DHT22 |
| POD - CM - EM - G1 -58 | Rodamiento rígido de bolas | 1 | 608 - Una hilera de bolas | Variador de radio | SKF |
| POD - CM - EM - G1 -59 | | 1 | 628/8 2Z - Una hilera de bolas | Eje de motor principal | SKF |
| POD - CM - EM - G4 -60 | | 2 | 628/8 2Z - Una hilera de bolas | Biela | SKF |
| POD - CM - EM - G1 -61 | Rodamiento de rodillos cónicos | 2 | 30202 - Una hilera de rodillos | Eje pivotante - Brazo de carga | SKF |
| POD - CM - EM - G4 -62 | Barra templada | 2 | 8mm | Base de Guía | Mecatronix/h73 |
| POD - CM - EM - G4 -63 | Soporte de barra de rod. Lineales | 4 | SK 8 | Base principal | Mecatronix/SK8 |
| POD - CM - EM - G4 -64 | Base de Guía | 2 | SCS 8 UU | Apoyo de guía | TecnoliveUSA/SCS 8 UU |
| POD - CM - EM - G3 -65 | Resistencia eléctrica | 1 | PRO610 | M. Rotacional | PRIVARSA/PRO610 |
| POD - CM - PI - G1 -70 | Soporte sensor de humedad | 1 | --- | Base principal | --- |
| POD - CM - PI - G1 -71 | Ajuste de contrapeso | 1 | --- | Brazo de carga | --- |
| POD - CM - PI - G1 -72 | Ajuste de base | 2 | --- | Variador de radio | --- |

| Código | Ferretería | Cant. | Largo/Altura | Designación | Ubicación |
|------------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------|---------------------------|-------------------------------|
| POD - CM - PF - G1 -80 | Bulones ISO 4762 Grado 12.9 | 4 | 25mm | M8 x 1,25 | Base de apoyo - V. R. |
| POD - CM - PF - G4 -81 | | 1 | 30mm | M6 x 1 | M. Reciprocante |
| POD - CM - PF - G4 -82 | | 8 | 40mm | M5 x 0,8 | Base - M. Reciprocante |
| POD - CM - PF - G1 -83 | | 4 | | | Apoyos de la máquina |
| POD - CM - PF - G1 -93 | | 4 | | | Apoyos de la máquina inferior |
| POD - CM - PF - G1 -84 | | 4 | | | 20mm |
| POD - CM - PF - G1 -85 | | 1 | 20mm | Sujeción - Soporte de PIN | |
| POD - CM - PF - G1 -86 | | 4 | 10mm | Celda de carga | |
| POD - CM - PF - G1 -87 | | 2 | 20mm | M4 x 0,7 | Base - Motor principal |
| POD - CM - PF - G4 -88 | | 4 | | | Base de guía |
| POD - CM - PF - G1 -89 | 2 | Sujeción - Mariposas | | | |
| POD - CM - PF - G1 -90 | 4 | Celda de carga | | | |
| POD - CM - PF - G1 -91 | Bulones ISO 4762 Grado 12.9 | 1 | 10mm | Buje de esfuerzo axial | |
| POD - CM - PF - G1 -99 | | 4 | Motor principal | | |
| POD - CM - PF - G4 -92 | | 1 | 6mm | Desagote de líquidos | |

| | | | | | |
|-------------------------|-----------------------------|--------------|-------------|---------------------------|--------------------------------|
| POD - CM - PF - G1 -94 | | 2 | 15mm o 16mm | M3 x 0,5 | Base fija - Eje principal |
| POD - CM - PF - G3 -110 | | 2 | 10mm | | Agarre de probetas - M. Rot. |
| POD - CM - PF - G3 -111 | | 2 | | | Apoya probetas - M. Rot. |
| POD - CM - PF - G3 -95 | | 2 | | | Agarre de tapa de cámara |
| POD - CM - PF - G4 -96 | | 2 | 15mm o 16mm | | Agarre de probetas - M. Rec. |
| POD - CM - PF - G1 -97 | | 4 | 10mm | | Motor Paso a paso |
| POD - CM - PF - G4 -98 | Prisionero | 2 | | | Excéntricos |
| POD - CM - PF - G1 -100 | Bulones ISO 4762 Grado 12.9 | 1 | 30mm | | Cámara de resistencia |
| POD - CM - PF - G1 -101 | Prisionero | 1 | 5mm | | Eje - Variador de radio |
| POD - CM - PF - G4 -102 | Bulones ISO 4762 Grado 12.9 | 4 | 8mm | | M2 x 0,4 |
| POD - CM - PF - G2 -103 | | 4 | | Soporte de PIN Cilíndrico | |
| POD - CM - PF - G1 -104 | Tuerca hexagonal ISO 4035 | 2 | 9mm | M18 x 1,5 | Eje pivotante - Brazo de carga |
| POD - CM - PF - G1 -105 | | 4 | 6mm | M12 x 1,25 | |
| POD - CM - PF - G1 -106 | Tuerca hexagonal ISO 4032 | 1 | 6,5mm | M8 | Contra peso |
| POD - CM - PF - G4 -107 | | 1 | 5mm | M6 | M. Reciprocante |
| POD - CM - PF - G2 -108 | | Tuerca ciega | 1 | | M8 |
| POD - CM - PF - G1 -109 | Arandela ISO 7093 | 4 | 1,2mm | M5 | Apoyos de la maquina |

| Código | Componentes eléctricos | Cant. | Ubicación | Fabricante/Código |
|------------------------|---------------------------|-------|--------------------|-------------------|
| POD - CE - 0 - G1 -115 | Codificador de cuadratura | 1 | Motor principal | |
| POD - CE - 0 - G1 -116 | Módulo Hx711 | 1 | Celda de carga | Emakers/EM8743 |
| POD - CE - 0 - G1 -117 | Driver a4988 | 1 | Motor Paso a paso | E-Labshop/4988 |
| POD - CE - 0 - G1 -118 | Arduino Uno | 1 | Tablero de control | Duaitek |
| POD - CE - 0 - G1 -119 | Módulo L298N | 1 | Motor principal | Andino/L298N |

Tabla 3.3.6 – Características de piezas y componentes

Simulaciones de piezas

(40) Simulación térmica del porta probeta

Código: POD-CM-PM-G3-30

Material: Acero inoxidable AISI 304

Como se pudo observar, la segunda propuesta presenta una mayor resistencia térmica, por ende, la temperatura que se alcanzará en el eje principal durante el ensayo será menor, pero para analizar más específicamente la temperatura aproximada que se puede alcanzar en el eje del motor, se simularán las condiciones ambientales del porta probeta.

Para el análisis se consideró que el ensayo se realiza a una temperatura máxima de 300°C, y esta es homogénea dentro del horno, por lo tanto, la probeta y la parte superior del porta probeta estarán expuestas a esta temperatura.

Para el ensayo se consideraron ciertos parámetros, como que el ambiente se encuentra a una temperatura de 25°C, la convección es de forma natural utilizando aire como fluido de enfriamiento con un coeficiente de transferencia de calor de $25 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]}$ y de $15 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]}$ [12] para la probeta y la parte superior del porta probeta ya que se encontrarán dentro del horno, y por ende no se presentará circulación de aire. Se plantearán exactamente los mismos parámetros para cada propuesta y luego se analizarán los resultados.

Propuesta 1

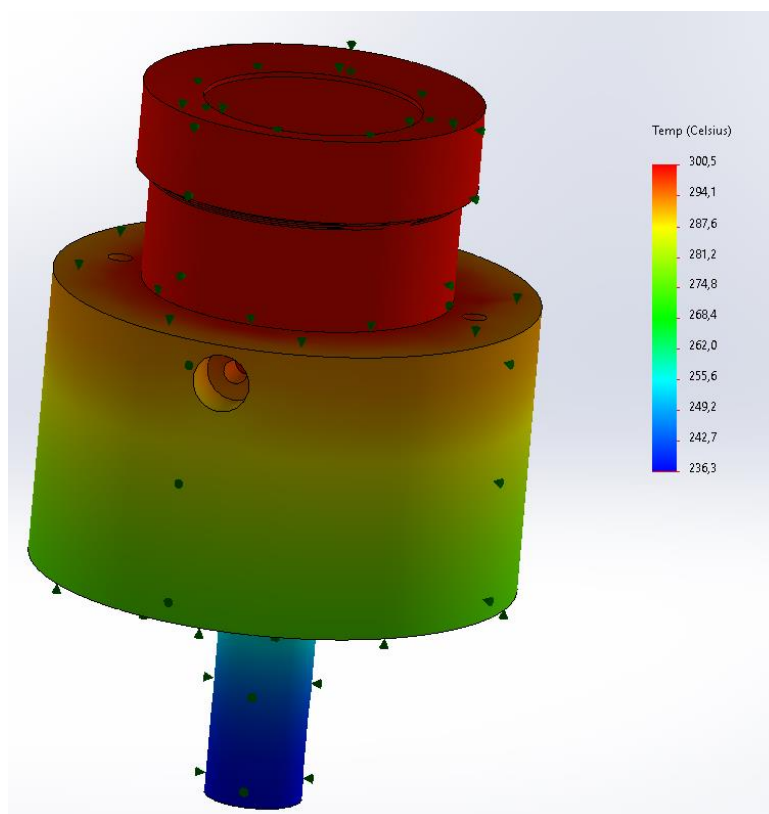


Figura 3.3.91 – Propuesta 1 – Porta probetas

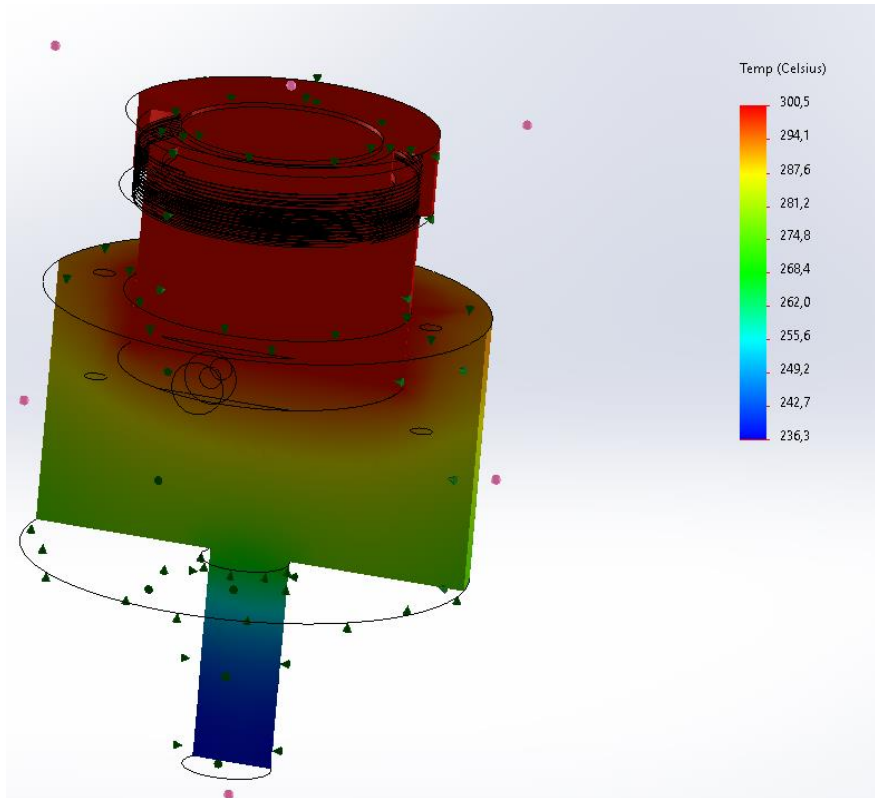


Figura 3.3.92 – Propuesta 1 – Porta probetas

Propuesta 2

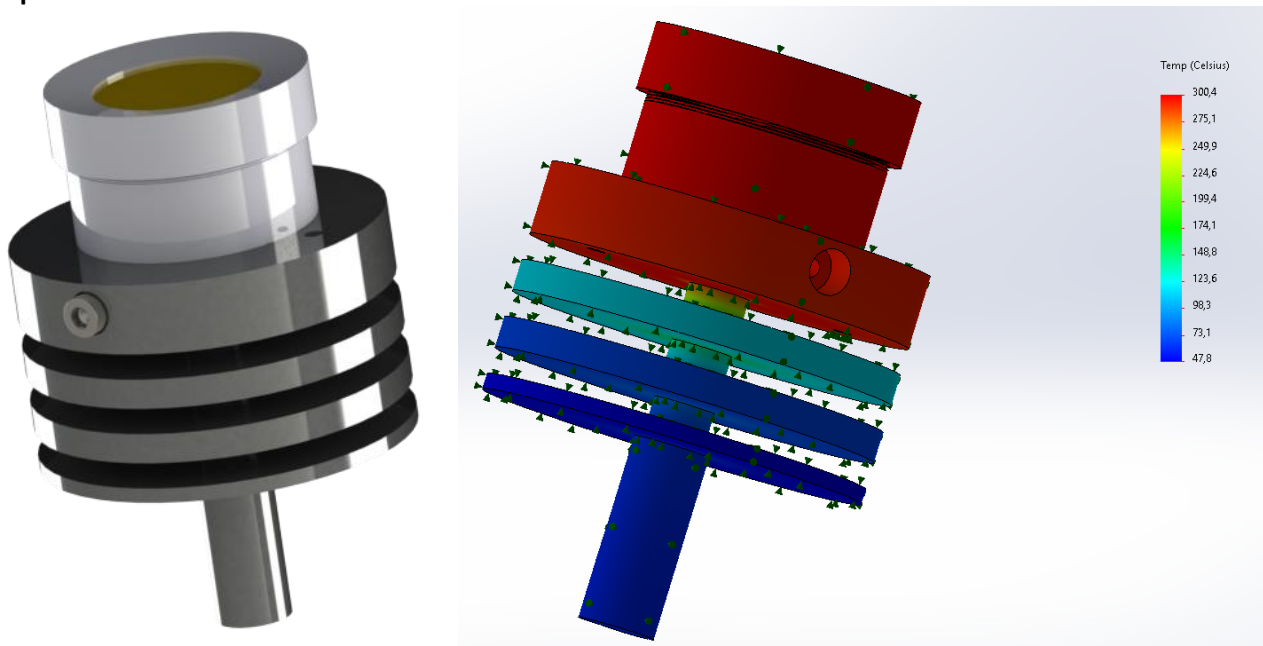


Figura 3.3.93 – Propuesta 2 – Porta probetas

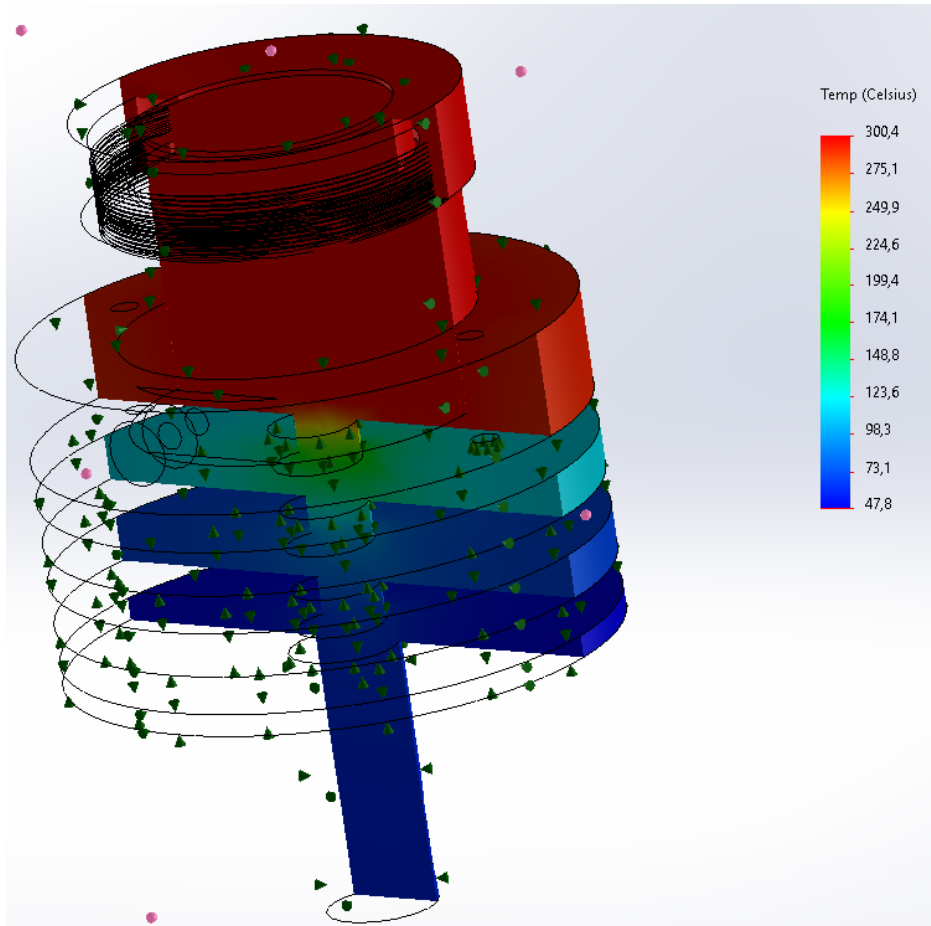


Figura 3.3.94 – Propuesta 2 – Porta probetas

Analizando los resultados, se puede observar una clara diferencia entre ambas propuestas, en las imágenes se puede apreciar como el calor comienza a propagarse por conducción térmica desde la probeta hasta la base del porta probeta alcanzando una temperatura 236,3°C en el caso de la propuesta 1, la cual sería perjudicial para el motor principal, mientras que en el caso de la propuesta 2 se obtuvo una temperatura de 47,8°C, la cual es aceptable.

Cabe destacar que estas temperaturas se producen en la base del porta probeta y no en el eje del motor, es decir, la temperatura en el eje del motor será algo inferior a la obtenida ya que parte de esta se disipará por convección en el acoplamiento.

(41) Simulación térmica del brazo de carga

Código: POD-CM-PM-G1-10

Material: Acero inoxidable AISI 304

De la misma manera que para el caso del portaprobeta, se buscará reducir la temperatura en la celda de carga para evitar mediciones erróneas, debido que, al encontrarse la celda de carga a una temperatura por fuera del rango de medición, que para este caso es de -20°C hasta 60°C , se comienza a notar una variación en la resistencia de la celda, afectando la medición del ensayo.

Por lo cual, se buscará aumentar de forma considerable la resistencia térmica del porta probeta, para esto también será necesario determinar el material que brinde las mejores características mecánicas al operar con temperatura y una conductividad térmica pequeña.

Simulación térmica

Se realizará una simulación para analizar más específicamente la temperatura aproximada que se puede alcanzar en la celda de carga, para que no se vea afectada la medición, se simularán las condiciones ambientales a la cual estará expuesta.

Para el análisis se consideró que el ensayo se realiza a una temperatura máxima de 300°C , y esta es homogénea dentro de la cámara de calefacción, por lo tanto, el brazo de carga estará expuesto a una temperatura de 300°C para el caso más desfavorable, transfiriendo por conducción desde el soporte de pin al brazo de carga, también por convección y en pequeña medida por radiación.

Para el ensayo se consideraron los mismos parámetros que para el porta probeta, como que el ambiente se encuentra a una temperatura de 25°C , la convección es de forma natural utilizando aire como fluido de enfriamiento con un coeficiente de transferencia de calor de $25 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$ y de $15 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$ [12].

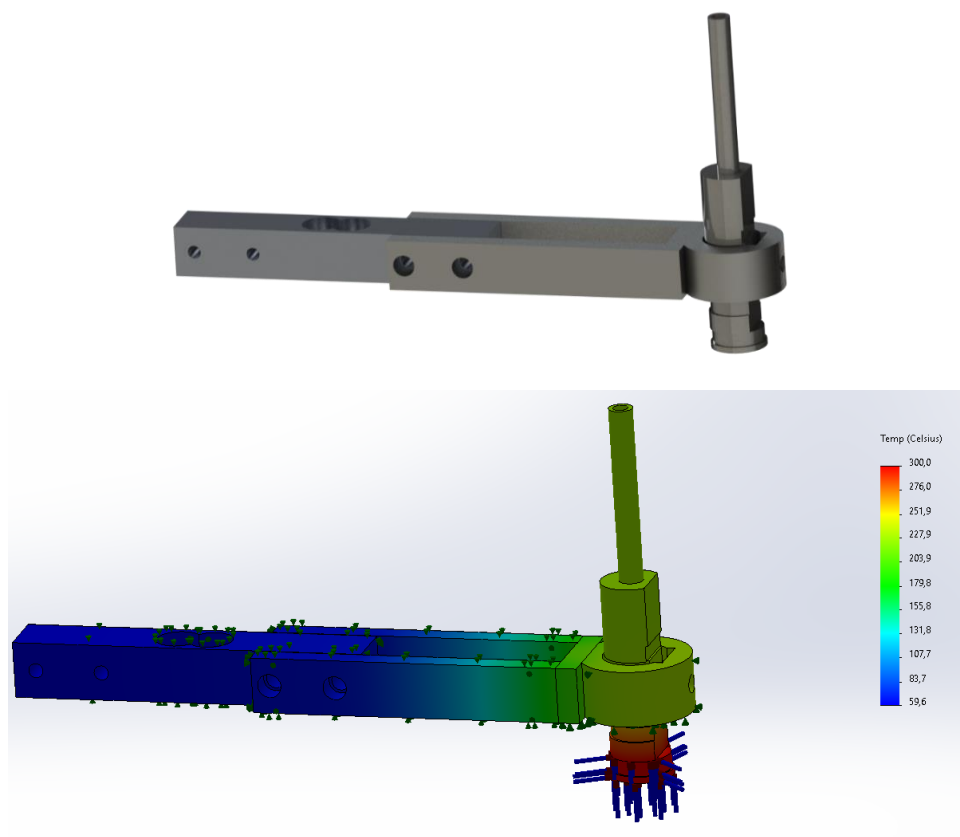
Propuesta 1

Figura 3.3.95 – Propuesta 1 – Brazo de carga

Propuesta 2

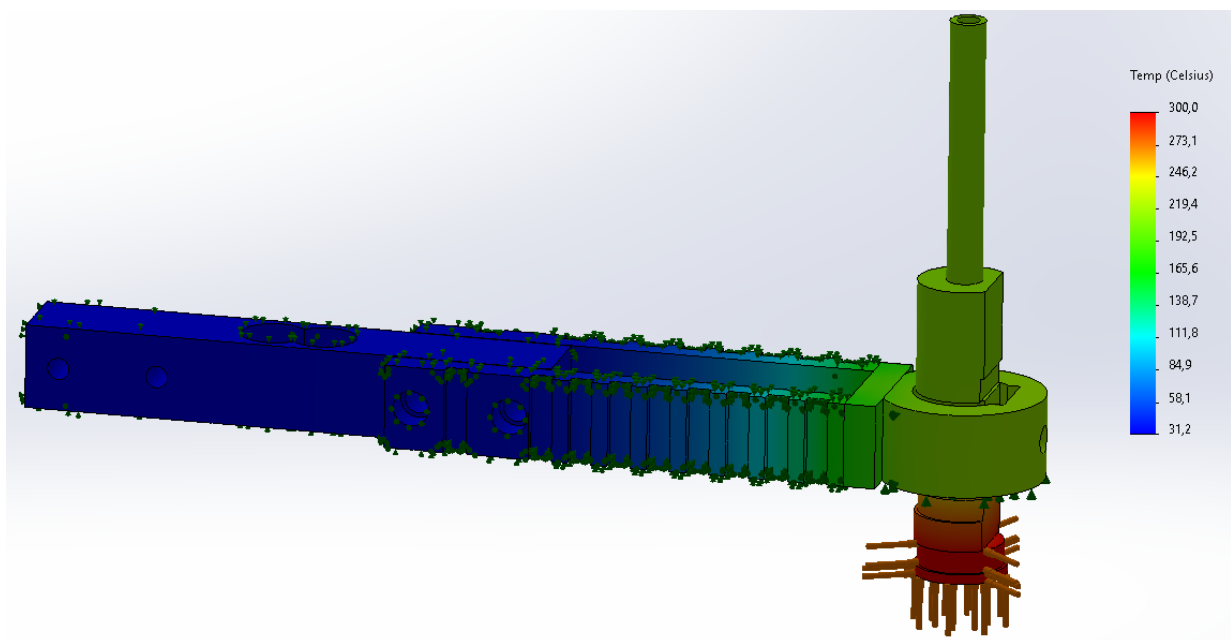


Figura 3.3.96 – Propuesta 2 – Brazo de carga

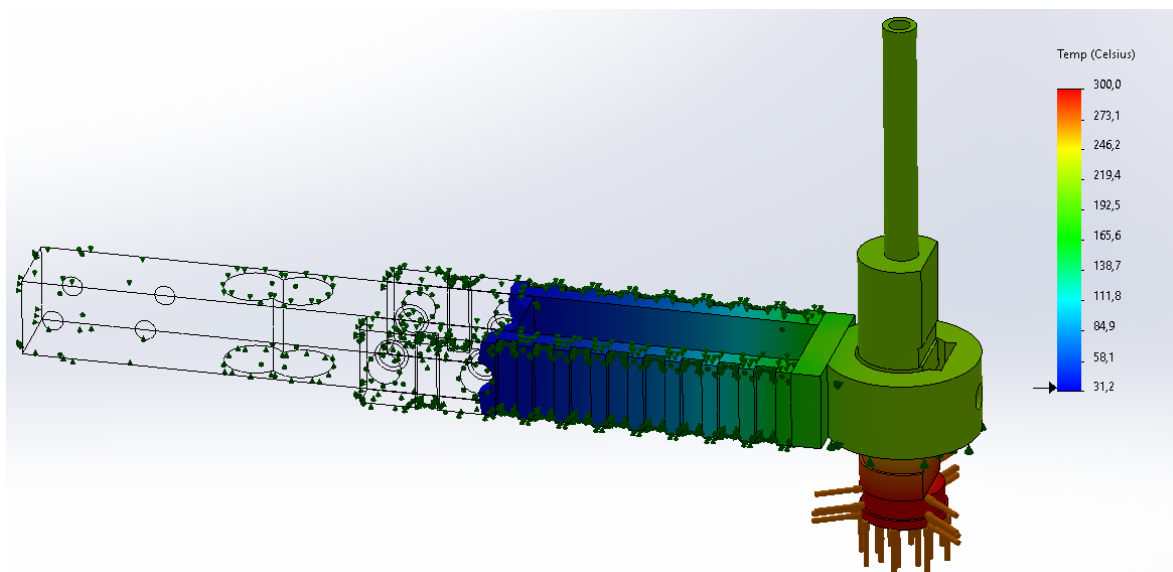


Figura 3.3.97 – Propuesta 2 – Brazo de carga

Como se puede observar, en la primera propuesta se alcanzaron temperaturas críticas que podrían afectar la medición del coeficiente de fricción, mientras que en la propuesta número 2, se observó una temperatura máxima en la celda de carga de 34°C. En la figura 106 se observan las zonas con temperaturas mayores o iguales a 34°C, apreciando una pequeña zona de la celda de carga, por lo cual, esto no alterará de manera significativa la medición.

(42) Simulación de movimiento del mecanismo recíprocante

Se decidió realizar una simulación del mecanismo recíprocante, analizando la velocidad y desplazamiento del porta probeta respecto del tiempo, encontrando que para una frecuencia de movimiento de 10Hz, se alcanzan velocidades máximas de 314,2mm/s.

$$v = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \text{radio} = 2 \cdot \pi \cdot 10\text{Hz} \cdot 5\text{mm} = 314,2 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$$

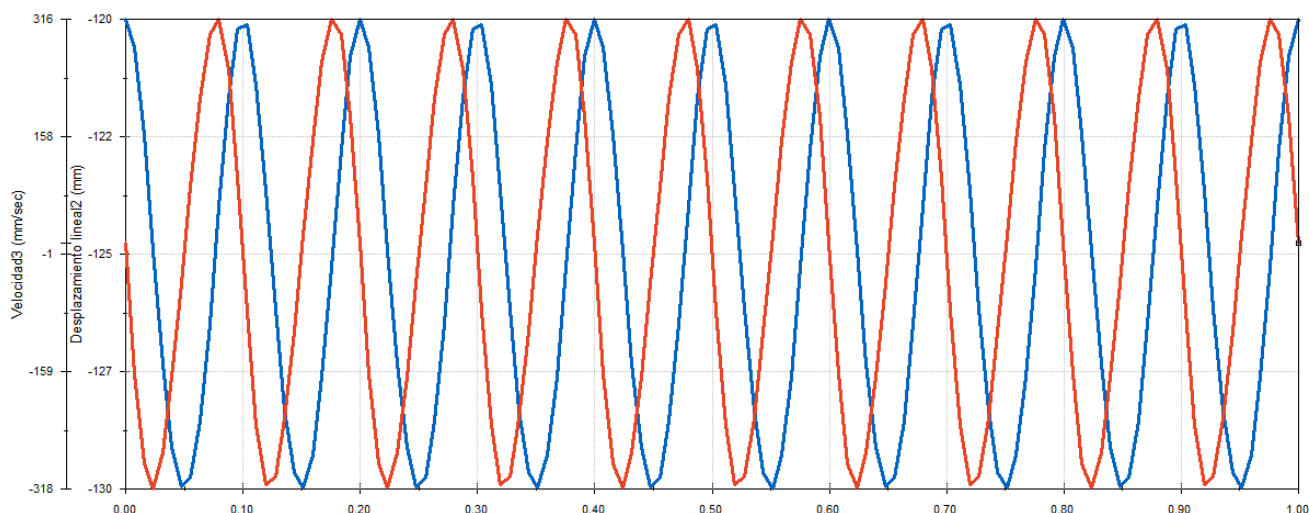


Figura 3.3.97 – Análisis de movimiento del mecanismo recíprocante

Además, del gráfico se puede analizar el movimiento del porta probeta, observando que las velocidades son cero cuando el mecanismo se encuentra en los extremos de la huella, lo cual es lógico ya que en este punto

se produce el cambio de dirección del deslizamiento del porta probeta, y alcanzando velocidades máximas en el centro de la huella.

(43) Simulación de tensiones del mecanismo reciprocante

Código: POD-CM-PM-G4-39

Material: Teflón

De decidió realizar una simulación de esta pieza cuando el mecanismo se encuentra en movimiento, con el objetivo de analizar la resistencia del buje ya que se optó por realizarlo de teflón para reducir su peso y por ende el del mecanismo. Se realizo un gráfico donde se muestran las tensiones (figura 3.3.98) a las cuales estará expuesta la pieza durante el ensayo alcanzando tensiones máximas de 17,61MPa, y considerando que el límite elástico del Teflón o Politetrafluoroetileno (P.T.F.E.) es de 18MPa [38] (figura 3.3.99. A partir de esto, se puede deducir que la pieza no sufrirá deformaciones permanentes a causa de las tensiones generadas en el movimiento, la resistencia mecánica es brindada por el bulón M6x30mm.

Además, se realizó un gráfico donde se observa la deformación/desplazamiento a nivel nodular, encontrando un desplazamiento máximo 0,1432mm, el cual se halla despreciable considerando el principio de funcionamiento de esta pieza.

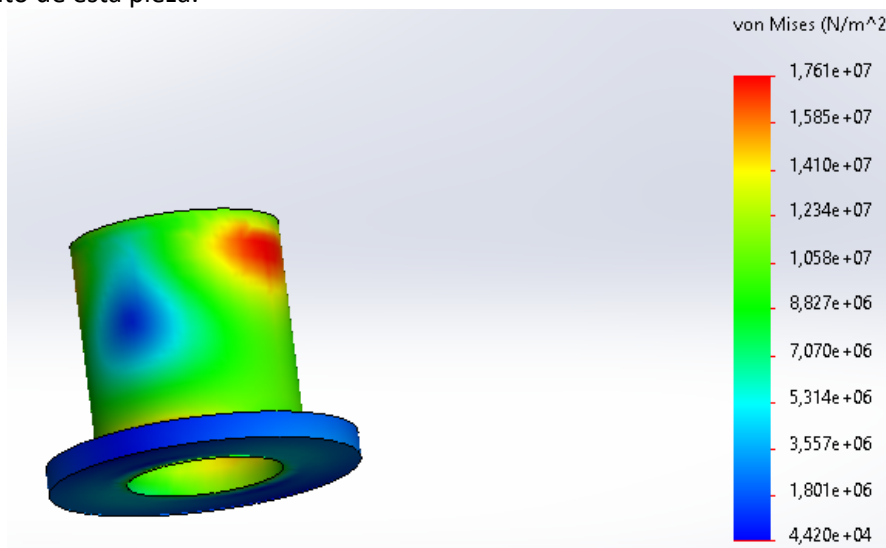


Figura 3.3.98 – Gráfico de tensiones de Vom Mises

| Propiedad | Valor | Unidades |
|--|-------------|-------------------|
| Módulo elástico | 550 | N/mm ² |
| Coefficiente de Poisson | 0.410100013 | N/D |
| Módulo cortante | 377.2 | N/mm ² |
| Densidad de masa | 2200 | kg/m ³ |
| Límite de tracción | 27 | N/mm ² |
| Límite de compresión | 34.5 | N/mm ² |
| Límite elástico | 18 | N/mm ² |
| Coefficiente de expansión térmica | | /K |
| Conductividad térmica | 0.461 | W/(m·K) |
| Calor específico | 1796 | J/(kg·K) |
| Cociente de amortiguamiento del material | | N/D |

Figura 3.3.99 – Propiedades del Politetrafluoroetileno

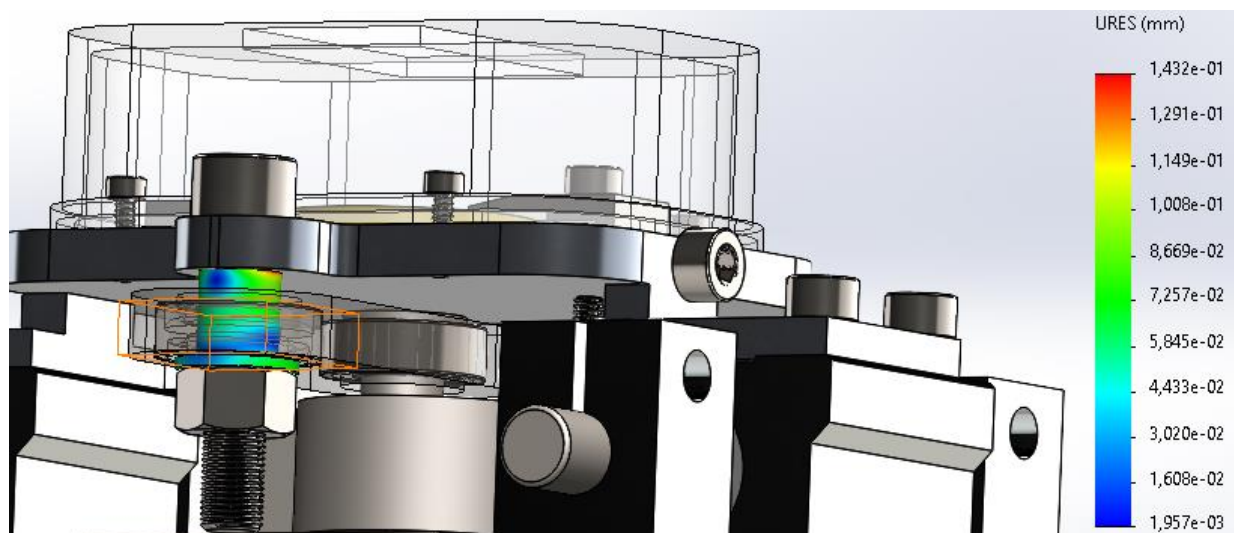


Figura 3.3.100 – Gráfico de deformación

Código: POD-CM-PM-G4-40

Material: Aluminio 6061-T6510

Se realizó una simulación de esta pieza, con el objetivo de analizar la resistencia del diseño, ya que su movimiento se produce a través de un único punto de vinculación.

De la misma manera que para la pieza anterior, se realizó un gráfico donde se muestran las tensiones (figura 3.3.101) a las cuales estará expuesta la pieza durante el ensayo alcanzando tensiones máximas de 88,81MPa, y considerando que el límite elástico del aluminio 6061-T6510 es de 270MPa (figura 3.3.102), la cual fue obtenida de la página MakeltFrom [29]. A partir de esto, se puede deducir que la pieza no sufrirá deformaciones permanentes a causa de las tensiones generadas en el movimiento, las mayores tensiones se producen en el punto de vinculación.

co tensión nodal Tensiones3
s

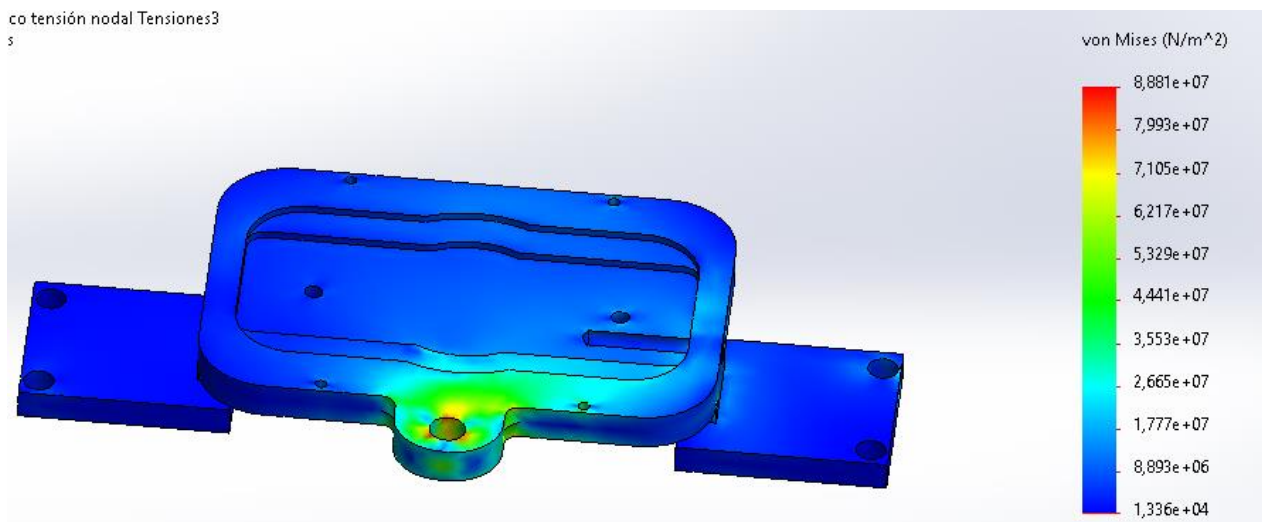


Figura 3.3.101 – Gráfico de tensiones de Vom Mises

Propiedades mecánicas de los aluminios

| | 5052 H32-H112 | 5083 H112 | 6061 T6-T651 | 6082 T6 | 2024 T3-T351 | 7075 T6-T651 |
|---|---------------|-----------|--------------|---------|--------------|--------------|
| Densidad ρ [g/cm ³] | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 2,7 |
| Aleante principal | Mg | Mg | Mg y Si | Mg y Si | Cu | Zn |
| Límite elástico 0,2% [MPa] | 180 | 130 | 270 | 270 | 320 | 480 |
| Tensión de rotura [MPa] | 230 | 300 | 320 | 330 | 480 | 560 |
| Alargamiento a la rotura (%) | 12 | 13 | 11 | 10 | 15 | 5 |
| Resistencia a la fatiga [MPa]* | 120 | 110 | 95 | 95 | 140 | 160 |
| Dureza Brinell [HB] | 60 | 75 | 95 | 90 | 120 | 150 |
| Resistividad eléctrica x10 ⁻⁶ [Ω .m] | 0,049 | 0,059 | 0,04 | 0,038 | 0,058 | 0,051 |
| Conductividad térmica [W/m.k] | 140 | 120 | 170 | 160 | 120 | 130 |
| Máxima temperatura (sólido) [°C] | 610 | 640 | 580 | 580 | 500 | 480 |
| Resistencia a la corrosión | Excelente | Excelente | Buena | Buena | Débil | Débil |
| Soldabilidad | Excelente | Excelente | Buena | Buena | No | No |

Figura 3.3.102 – Propiedades del Aluminio 6161

Código: POD-CM-PM-G4-35 y POD-CM-PM-G4-36

Material: Acero Inoxidable AISI 304

Se realizó una simulación de esta pieza de la misma manera que para las piezas anteriores, se obtuvo un gráfico donde se muestran las tensiones (figura 3.3.103) a las cuales estará expuesta la pieza, determinando los puntos críticos que se dan durante el ensayo alcanzando tensiones máximas de 39,62MPa, y considerando que el límite acero Inoxidable AISI 304 es de 206,8MPa (figura 3.3.104) la cual fue obtenida del mismo Software. A partir de esto, se puede deducir que la pieza no sufrirá deformaciones permanentes a causa de las tensiones generadas en el movimiento, las mayores tensiones se producen debido a un esfuerzo de corte debido a los puntos de apoyo.

Además, se realizó un gráfico donde se observa la deformación/desplazamiento a nivel nodular, encontrando un desplazamiento máximo 0,02819mm, el cual se halla despreciable.

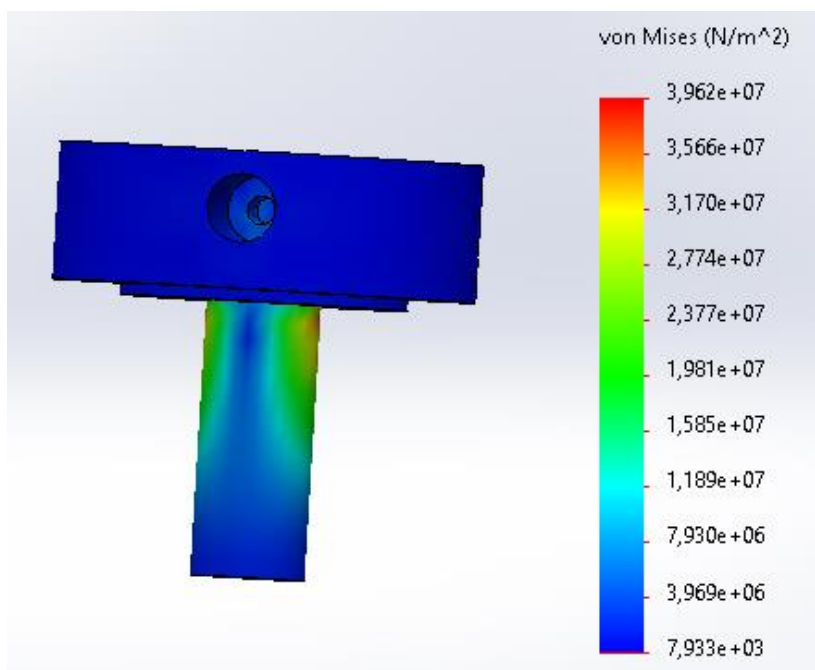


Figura 3.3.103 – Gráfico de tensiones de Vom Mises

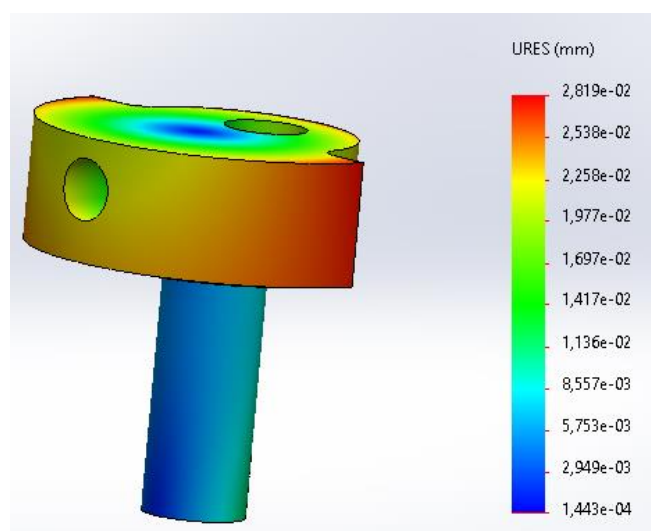


Figura 3.3.104 – Gráfico de deformación

Capítulo 4 – Ensayos

Para garantizar el correcto funcionamiento de este diseño, se realizaron ciertas pruebas que servirán de referencia.

Prueba de paralelismo

Durante la etapa de diseño de esta máquina, surgió la inquietud de si está garantizado el perfecto paralelismo entre los planos de la probeta y del pin esférico, y si la variación de este parámetro tiene relevancia en los resultados del ensayo.

Con la maquina actual que se encuentra en la facultad, se realizó un ensayo de prueba con el objetivo de observar si el desgaste producido sobre la probeta es constante o presenta alguna variación debido a un cierto ángulo de inclinación, generando una variación vertical de 0,5mm del soporte de pin esférico. Para determinar el ángulo de inclinación, se tiene en cuenta el diámetro de la huella de desgaste, por lo tanto, será:

$$\text{arc sin} \left(\frac{0,5\text{mm}}{14\text{mm}} \right) = 2,05^\circ$$

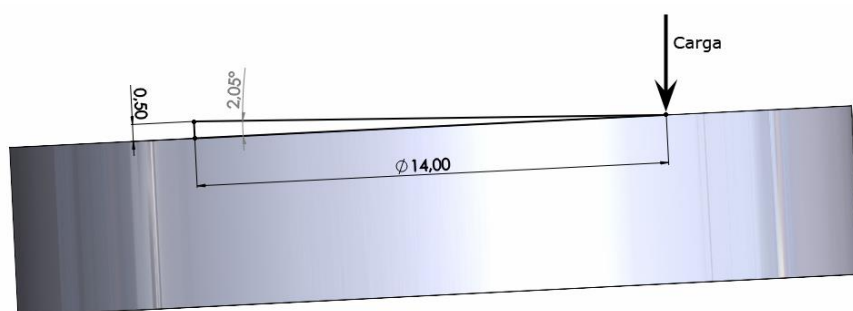


Figura 4.105 – Angulo de inclinación de prueba

En la siguiente tabla se expresan los parámetros del ensayo

Prueba de paralelismo

| | |
|-------------------------------|--------------------|
| Nombre del ensayo | AJ |
| Material de la probeta | 316L |
| Contraparte | Bolilla de alúmina |
| Radio de desgaste | 7mm |
| Carga | 5N |
| Distancia recorrida | 1.000m |
| Angulo de inclinación | 2,05° |

Tabla 4.7 – Datos del ensayo de prueba

En las siguientes imágenes se puede observar los resultados de la prueba



Figura 4.106 – Resultados

Se tomaron mediciones de la huella en distintas zonas utilizando un perfilómetro con punta de diamante de la marca Mitutoyo SJ-210, con el objetivo de observar si existen variaciones con respecto a la profundidad a lo largo de la huella. De todas las mediciones, se expresarán los extremos, es decir, la zona 1 en la que se registró la mayor profundidad y la zona 2 en la que se obtuvo la menor profundidad. En la siguiente tabla se podrá observar los parámetros medidos para cada zona, expresando un promedio conforme a 6 medidas realizadas en la proximidad de cada una:

| Parámetros | Zona 1 | Zona 2 | Variación |
|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| Profundidad de huella (t) | $62,2 \pm 2,4 \mu m$ | $61,1 \pm 3,4 \mu m$ | $1,1 \mu m (1,78\%)$ |
| Ancho de huella (a) | $1.762 \pm 32 \mu m$ | $1.724 \pm 35 \mu m$ | $37,5 \mu m (2,15\%)$ |
| Área de huella (A) | $67.250 \pm 4.191 \mu m^2$ | $65.492 \pm 3.484 \mu m^2$ | $1.758 \mu m^2 (2,65\%)$ |

Figura 4.8 – Tabla de resultados del ensayo de prueba

Como se puede observar, se obtuvo una variación de profundidad entre las zonas 1 y 2 del 1,78%, lo que puede ser considerado como despreciable. Aún más, esta desviación en profundidad de $1,1 \mu m$ está contenida dentro de la desviación estándar de las mediciones de cada zona, por lo que efectivamente se puede decir que no es un factor considerable. Lo mismo sucede con el ancho y el área de la huella. Considerando que se insertó una variación exagerada del paralelismo entre los planos de la probeta y del pin, se puede concluir que, la nueva máquina no tendrá inconvenientes si se genera algún pequeño error de paralelismo.

Capítulo 5 – Referencias

- [1] Motor paso a paso – MicroPaP. Extraído el 14/04/2024 de <https://www.micropap.com/index.php/virtuemart/motores/nema-15/sy39st44-0304a-detail>
- [2] Rodamiento rígido de bolas 608 – SKF. Extraído el 14/04/2024 de <https://www.skf.com/pe/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-608>
- [3] Rodamiento de rodillos cónicos 30202 – SKF. Extraído el 14/04/2024 de <https://www.skf.com/ar/products/rolling-bearings/roller-bearings/tapered-roller-bearings/single-row-tapered-roller-bearings/productid-30202>
- [4] G. Niemann. Elementos de Máquinas – Calculo, diseño y construcción.
- [5] Funcionamiento de una celda de carga – 5 Hertz electronica. Extraído el 14/04/2024 de https://www.5hertz.com/index.php?route=tutoriales/tutorial&tutorial_id=3
- [6] Celda de carga – Starware. Extraído el 14/04/2024 de https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-860426786-celda-de-carga-10kg-con-amplificador-hx711-sensor-de-peso- JM#position=12&search_layout=stack&type=item&tracking_id=c60764b9-9657-41cb-a831-f8810d8a8c1
- [7] Motorreductor modelo MR08D-024022 – CIRCUSPLAY. Extraído el 14/04/2024 de https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-863460795-motorreductor-motor-con-caja-reductor-12v-24v-diferentes-rpm- JM#position=1&search_layout=stack&type=item&tracking_id=b4ed9c0c-f20b-47bb-a928-20278c816b78
- [9] Propiedades y características del acero inoxidable AISI 304. Extraído el 14/04/2024 de <https://grumeber.com/acero-inoxidable-aisi-304/>
- [10] Acoplamiento flexible – TecnoliveUSA. Extraído el 14/04/2024 de https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-856166236-acople-flexible-motor-3d-antibacklash-25x19mm- JM#position=30&search_layout=stack&type=item&tracking_id=0d14701e-59fa-4324-b007-732f0b38de75
- [11] Impedancia térmica – AREATECNOLOGIA. Extraído el 14/04/2024 de <https://areatecnologia.com/materiales/resistencia-termica.html>
- [12] Coeficiente de transferencia de calor. Extraído el 14/04/2024 de https://help.solidworks.com/2011/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/AnalysisBackground/ThermalAnalysis/Convection_Topics/Convection_Heat_Coefficient.htm
- [13] Rodamiento rígido de bolas 628/8-2Z – SKF. Extraído el 14/04/2024 de <https://www.skf.com/ar/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-628%2F8-2Z>
- [14] Propiedades y aplicaciones del aluminio 6061. Extraído el 14/04/2024 de <https://www.teknika4.com/es/aluminio-6061#:~:text=La%20aleaci%C3%B3n%20de%20aluminio%206061,en%20la%20zona%20de%20soldadura>.
- [15] Base de guía SCS 8 UU. Extraído el 14/04/2024 de https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-759440716-rodamiento-lineal-scs8uu-lm8uu-8mm-con-soporte-impresora-3d- JM#reco_item_pos=4&reco_backend=machinalis-v2p-pdp-boost-

v2_ranker&reco_backend_type=low_level&reco_client=vip-v2p&reco_id=9552dcf2-40d7-4ad8-8126-498a48b77928

- [16] Rodamiento axial LM 8 UU. Extraído el 14/04/2024 de https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-609864999-rodamientos-casquillos-lineales-cerrados-lm8uu-8mm-JM#position=1&search_layout=stack&type=item&tracking_id=0b131709-aff2-426b-836d-659e19a61f9b
- [17] Barra rectificada h37. Extraído el 14/04/2024 de https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-676608465-barra-rodamientos-lineales-8-mm-rectificada-impresora-3d-JM#reco_item_pos=0&reco_backend=machinalis-v2p-pdp-boost-v2_ranker&reco_backend_type=low_level&reco_client=vip-v2p&reco_id=f77a61f3-2cdd-454d-862a-25d349bb1174
- [18] Soporte de barra de rodamientos lineales SK8. Extraído el 14/04/2024 de https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-607166352-soporte-de-barra-eje-rodamientos-lineales-sk8-8mm-JM?variation=#reco_item_pos=2&reco_backend=recom1-vip-v2p_marketplace&reco_backend_type=low_level&reco_client=vip-v2p&reco_id=1d77f416-653e-4c81-a020-6c7556bfb4c9
- [19] Material termoplástico PLA. Extraído el 14/04/2024 de <https://formlabs.com/latam/blog/materiales-impresion-3d/>
- [20] Sensor de humedad DHT 22 – Candy-ho ELECTRONICS. Extraído el 14/04/2024 de https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-620324922-sensor-humedad-relativa-y-temperatura-dht22-arduino-JM#position=1&search_layout=stack&type=item&tracking_id=2e00bc0f-a2f8-45c4-a2a2-8789295dba3e
- [21] Características del sensor de humedad DHT 22. Extraído el 14/04/2024 de <https://naylorlampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/58-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht22-am2302.html>
- [22] Dimensiones del sensor de humedad DHT 22. Extraído el 14/04/2024 de <http://codigoelectronica.com/blog/dht22-datasheet>
- [23] Mecanismo de desgaste. Extraído el 14/04/2024 de <https://www.ggbearings.com/es/tribou/tribologia>
- [24] Procesos de tratamientos. Extraído el 14/04/2024 de <https://grupoacura.com/es/blog/tratamientos-superficiales/>
- [25] Yunus A. Cengel y Michael A. Boles. Termodinámica. Quinta edición
- [26] Barra rectificada. Extraído el 14/04/2024 de https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-914125001-varilla-8-mm-x-50-cm-acero-inoxidable-lisas-JM#reco_item_pos=0&reco_backend=machinalis-seller-items-pdp&reco_backend_type=low_level&reco_client=vip-seller_items-above&reco_id=62d8e2df-f644-4c57-aa3f-897d0c3d17d1
- [27] Rodamiento rígido de bolas 608 – SKF. Extraído el 14/04/2024 de

- https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-845721667-rodamiento-ruleman-skf-608-2z-c3-italy-JM#position=1&search_layout=stack&type=item&tracking_id=8bc5b2dc-8f14-45c2-a579-a2de9dfd3a7a
- [28] Rodamiento rígido de bolas 30202 – SKF. Extraído el 14/04/2024 de https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-1117048403-rodamiento-ruleman-30202zvl-JM#position=3&search_layout=stack&type=item&tracking_id=870e178e-f0c5-4215-a9ae-f7388cb7e8fe
- [29] Aleaciones de aluminio 6061-T6510. Extraído el 14/04/2024 de <https://www.makeitfrom.com/material-properties/6061-T6510-Aluminum>
- [30] Codificador de cuadratura. Extraído el 14/04/2024 de <https://id.aliexpress.com/i/1005001890141485.html>
- [31] Información del codificador de cuadratura. Extraído el 14/04/2024 de <https://novatronicec.com/index.php/product/motor-con-caja-reductora-y-encoder-jga25-370-12v-35rpm/>
- [32] Información de un codificador. Extraído el 14/04/2024 de <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensores/encoder/>
- [33] Información de conexión de celda de carga. Extraído el 14/04/2024 de https://naylampmechatronics.com/blog/25_tutorial-trasmisor-de-celda-de-carga-hx711-balanza-digital.html
- [34] Módulo Hx 711. Extraído el 14/04/2024 de https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-795546856-modulo-sensor-de-pesaje-24-bit-hx711-emakers-JM#position=6&search_layout=grid&type=item&tracking_id=a1a6d1cb-c577-4b28-bc6c-6bb177e250d3
- [35] Driver A4988 para motor paso a paso. Extraído el 14/04/2024 de https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-675372057-driver-paso-pololu-a4988-arduino-nema17-cnc-reprap-stepstick-JM?variation=#reco_item_pos=0&reco_backend=vip-p2p_mantika&reco_backend_type=low_level&reco_client=vip&reco_id=ea1ed1e1-9087-471b-a788-3fef30210a8
- [36] Arduino uno. Extraído el 14/04/2024 de https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-1691517626-placa-compatible-con-arduino-uno-r3-atmel-atmega328-ch340g-JM#position=7&search_layout=grid&type=item&tracking_id=6bfa5b7c-43b2-4643-b6d6-71da27b39745
- [37] Módulo L298N. Extraído el 14/04/2024 de https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-1658658448-doble-puente-h-driver-l298n-motor-dc-arduino-l298-arm-avr-JM#position=3&search_layout=grid&type=item&tracking_id=0aca81fb-e667-450f-9058-26d3fed04b04
- [38] Propiedades físicas del teflón. Extraído el 30/08/2024 <https://www.tecnimacor.es/teflon-caracteristicas/>

Capítulo 6 – Anexos

| | |
|---|------------|
| CAPÍTULO 6 – ANEXOS | 107 |
| ANEXO 1 – SISTEMA DE CODIFICACIÓN | 108 |
| <i>Anexo 1.1 – Codificación de piezas</i> | <i>108</i> |
| <i>Anexo 1.2 – Codificación de planos</i> | <i>109</i> |
| ANEXO 2 – NORMATIVA APLICADA | 111 |
| <i>Anexo 2.1 – Norma ASTM G115 – 04</i> | <i>111</i> |
| <i>Anexo 2.2 – Norma ASTM D5707 – 19</i> | <i>111</i> |
| <i>Anexo 2.3 – Norma ASTM G99 y DIN 50324</i> | <i>111</i> |
| <i>Anexo 2.4 – Norma ASTM G133</i> | <i>111</i> |
| ANEXO 3 – GLOSARIO | 112 |
| ANEXO 4 – MARCO DE REFERENCIA | 113 |
| <i>Anexo 4.1 – Tema de aplicación</i> | <i>113</i> |
| <i>Anexo 4.2 – Mecanismos de desgaste</i> | <i>116</i> |
| <i>Anexo 4.3 – Parámetros de la máquina</i> | <i>117</i> |
| ANEXO 5 – PRESUPUESTO | 118 |
| ANEXO 6 – FICHA TÉCNICA | 119 |

Anexo 1 – Sistema de codificación

Para lograr mantener un cierto orden se irá asignando un determinado código tanto a las piezas como para los planos, para este proyecto, se contará con un prefijo POD al inicio de cada código, haciendo referencia a Pin On Disk.

Anexo 1.1 – Codificación de piezas

Para lograr mantener un cierto orden se irá asignando un determinado código a los distintos conjuntos y subconjuntos de piezas para luego asignarle un determinado número de pieza a cada una, tanto a las que se irán a diseñar como también así todos los elementos mecánicos y las piezas de fijación.

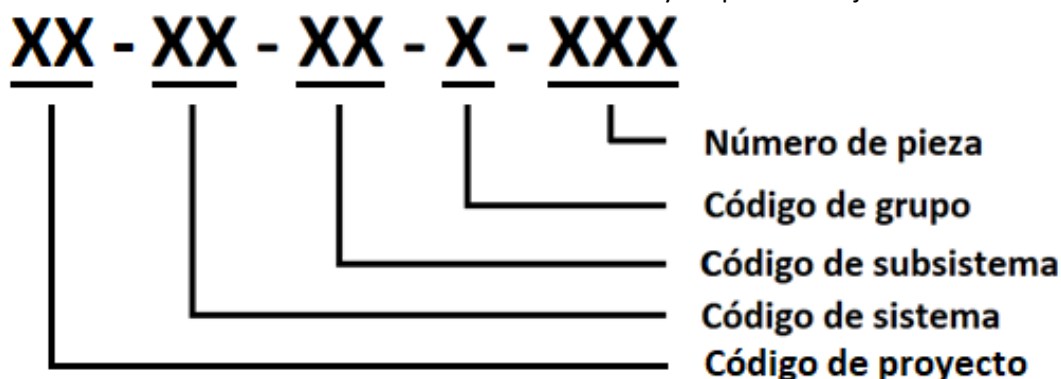


Figura 6.1.107 – Codificación general de piezas

Código del sistema

La máquina estará compuesta por dos sistemas principales

| Código | Sistema |
|--------|------------------------|
| CE | Componentes eléctricos |
| CM | Componentes mecánicos |

Código de los subsistemas

| Código | Subsistema |
|--------|-------------------------|
| PM | Piezas mecanizadas |
| PI | Piezas por impresión 3D |
| PF | Piezas de fijación |
| EM | Elementos mecánicos |
| 0 | Sin especificación |

Código de grupos

Además de los subsistemas, las piezas mecanizadas se dividen en grupos dependiendo de su ubicación; los demás subsistemas que no cuenten con un grupo asociado se les asignará un valor de 0.

| Código | Subsistema |
|--------|---|
| G0 | Subsistemas sin grupo |
| G1 | Piezas fijas |
| G2 | Piezas de soporte de PIN |
| G3 | Piezas que forman parte del movimiento rotacional |
| G4 | Piezas que forman parte del movimiento recíproco |

Numeración de partes

Cada pieza tendrá asignada un número único, en caso de que alguna pieza este conformada por un conjunto de estas se le adicionara al código una letra siguiendo el orden del abecedario.

Anexo 1.2 – Codificación de planos

Al igual que para las piezas, se asignará un determinado código a los distintos planos de las piezas que lo requieren para su correspondiente fabricación, además de esto, se realizara un conjunto de planos para realizar el ensamble de la máquina tanto mecánico como eléctrico.

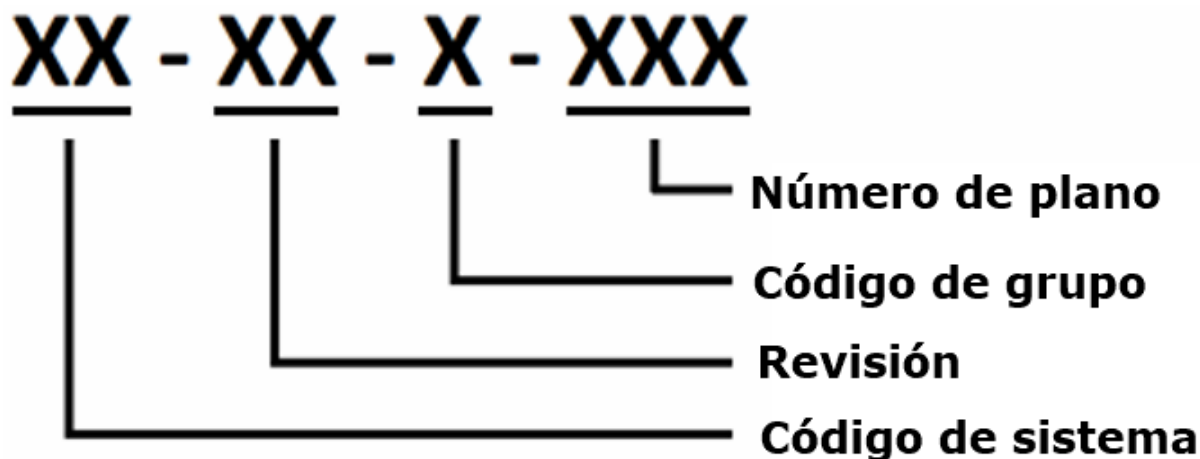


Figura 6.1.108– Codificación general de planos

Código del sistema

La máquina estará compuesta por dos sistemas principales, de los cuales se deberán definir sus componentes, diseños e instalación.

| Código | Sistema |
|--------|-------------------|
| PE | Planos eléctricos |
| PM | Planos mecánicos |

Revisión

Considerando que se realizará una revisión periódica de los planos, a estos se les asignará la letra A en una primera instancia, y en el caso de que surja la necesidad de realizar una modificación se les irá asignando la letra que sigue correspondiente al abecedario.

Código de grupos

Además de los subsistemas, las piezas mecanizadas se dividen en grupos dependiendo de su ubicación; los demás subsistemas que no cuenten con un grupo asociado se les asignará un valor de 0.

| Código | Subsistema |
|--------|---|
| G0 | Subsistemas sin grupo |
| G1 | Piezas fijas |
| G2 | Piezas de soporte de PIN |
| G3 | Piezas que forman parte del movimiento rotacional |
| G4 | Piezas que forman parte del movimiento recíproco |

Numero de plano

Cada plano tendrá un número correspondiente, en el caso de que este sea necesario para la fabricación de una pieza, se colocará solamente el numero de la pieza con su correspondiente grupo, en el caso que corresponda al montaje de piezas o circuito eléctrico se le asignará la siguiente nomenclatura

| Código | Descripción |
|--------------------|-----------------------|
| N° de pieza | Piezas de fabricación |
| MN° | Plano de montaje |
| CN° | Plano de circuitos |

Anexo 2 – Normativa aplicada

La Normativa que se rige en los ensayos tribológicos del tipo *Pin-On-Disk* y *Ball-On-Flat* para un tribómetro son las siguientes:

Anexo 2.1 – Norma ASTM G115 – 04

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.

Anexo 2.2 – Norma ASTM D5707 – 19

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.

Anexo 2.3 – Norma ASTM G99 y DIN 50324

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.

La norma ASTM G99 es utilizada para determinar el desgaste y los coeficientes de fricción de materiales sólidos en deslizamiento, con la ayuda de un tribómetro que sigue la configuración *Pin-On-Disk*. Las pruebas se realizan bajo parámetros controlados de velocidad, carga, distancia, temperatura y bajo condiciones no abrasivas.

Anexo 2.4 – Norma ASTM G133

Es un tipo de prueba estándar para realizar ensayos en un banco de pruebas, concretamente para realizar ensayos con un tribómetro de tipo "*Ball-On-Flat*", este ensayo permite conocer el desgaste de los materiales, además de determinar los coeficientes de fricción.

| | | | |
|-------------------------------|----------------------------------|-----------|-------------------|
| Presentac.: 04 / julio / 2024 | Aprobac. (Dto. Electro) / / 2024 | PFC-2304B | Página 111 de 119 |
|-------------------------------|----------------------------------|-----------|-------------------|

Anexo 3 – Glosario

- UTN FRCU: Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional de Concepción del Uruguay.
- GIS: Grupo de Ingeniería de Superficies de la Facultad Regional de Concepción del Uruguay.
- Tribómetro: Instrumento que sirve para medir el coeficiente de fricción por deslizamiento de los cuerpos.

Anexo 4 – Marco de referencia

Anexo 4.1 – Tema de aplicación

La tribología es la ciencia y la tecnología de las superficies con movimiento relativo, incluye los principios de fricción, lubricación y desgaste. No es una ciencia aislada sino una tarea conjunta y multidisciplinaria, que involucra conceptos de física, química, mecánica del sólido, materiales y mecánica de los fluidos, donde los avances se hacen mediante esfuerzos colaborativos de investigadores de diversos campos. Su aplicación principal se basa en los componentes rodantes o deslizantes de un equipo, como los rodamientos, cojinetes planos, engranajes, levas, frenos y sellos.

Su enfoque principal es el de la mejora de la vida útil de los equipos, y dar una mayor eficiencia a sus operaciones. A partir de esto se puede definir un aspecto económico teniendo en cuenta la pérdida de utilidad de objetos materiales, siendo un 70% debido al deterioro superficial, de lo cual corresponde un 55% producto del desgaste y un 15% por corrosión. Solo el costo por abrasión (uno de los mecanismos de desgaste), se estima entre 1 y 4% del producto bruto de una nación industrializada.

Un sistema tribológico consta de las superficies de dos componentes que están en contacto móvil entre sí y su entorno. El tipo, progreso y extensión del desgaste se determina por los materiales y acabados de los componentes, cualquier material intermedio, las influencias del entorno y las condiciones de funcionamiento.

La fricción y el desgaste no son propiedades de los materiales, son respuestas a un sistema tribológico específico. El subsistema tribológico de la siguiente figura ofrece una visión general de los factores comunes que determinan los valores de fricción y desgaste:

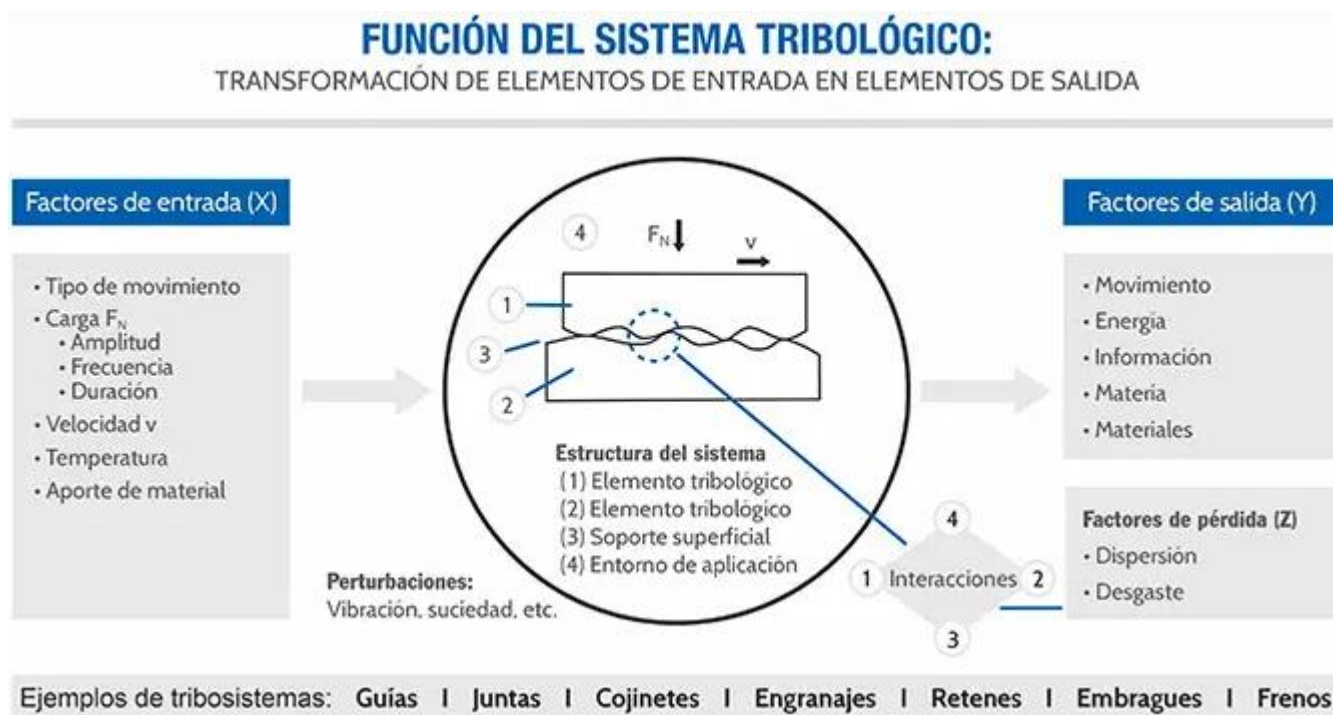


Figura 6.4.109 – Función del sistema tribológico

ESTRUCTURA

| Sólido principal y sólido opuesto (Elementos tribológicos) | | Soporte superficial | | Entorno de aplicación |
|--|---|---|--|---|
| Propiedades del material: Dureza Coeficiente de dureza Deformación Comportamiento Tendencia a la adhesión Composición Estructura del material Energía superficial etc. | Propiedades geométricas: Topografía Morfología de la superficie Superficie portante Forma Dimensiones geométricas etc. | Estado de agregación Líquido y Gaseoso: Tipo (Lubricante, Gases...) Contenido Composición Humedad Contenido de agua Viscosidad Polaridad Compatibilidad Estructura molecular Punto de ignición etc. | Estado de agregación Sólido: Tipo (Partículas abrasivas, partículas de desgaste, lubricante sólido, ...) Composición Estructura Comportamiento mecánico Dureza Dispersión etc. | Estado de agregación Líquido y Gaseoso: Tipo (Lubricante, Gases...) Contenido Composición Humedad Contenido de agua Viscosidad Polaridad Compatibilidad Estructura molecular Punto de ignición etc. |

Figura 6.4.110 – Estructura

CONJUNTO DE ESFUERZOS

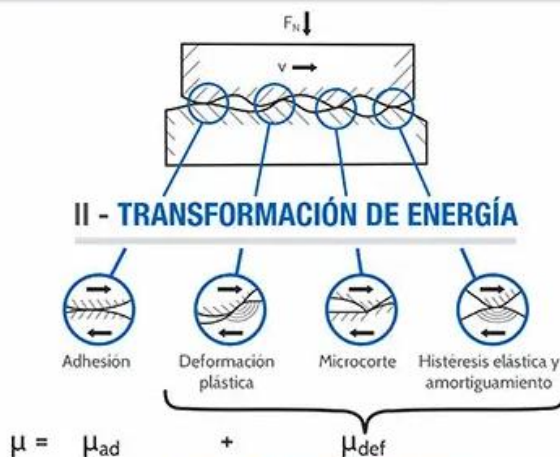
| Carga | Tipo de movimiento | Temperatura |
|---|--|--|
| Tipo: Estática Dinámica Valor de carga: Alto Bajo Dependencia temporal: Constante Periódica Intermitente Cargas pulsantes Impulsiva | Tipo: Deslizamiento Rodadura Impacto Rodante con deslizamiento Valor de carga: Alto Bajo Dependencia temporal: Continua Oscilante Alternativo Periódica Intermitente | Tipo: Temperatura ambiente Temperatura inducida por fricción Calefacción externa Refrigeración externa Gradientes de temperatura Temperatura instantánea Dependencia temporal: Constante Periódica Irregular Intermitente |

Figura 6.4.111 – Conjunto de esfuerzos

A continuación, se desarrollarán dos conceptos mencionados a lo largo del presente trabajo:

Fricción: es la fuerza de resistencia al movimiento entre dos cuerpos en contacto. Se define por la relación entre la fuerza de fricción resultante y la fuerza normal aplicada, y se puede establecer un parámetro principal adimensional, llamado coeficiente de fricción. Sin embargo, el mecanismo real de fricción se presenta a nivel microscópico, lo que significa que las teorías tribológicas sobre la fricción también abarcan la topografía de las superficies. En la siguiente imagen se pueden observar los tipos de fricción, producto de la adhesión y la deformación del material.

I - INICIACIÓN ENERGÉTICA: ESFUERZOS TRIBOLÓGICOS



III - DISIPACIÓN ENERGÉTICA:
 PROCESOS TÉRMICOS, EMISIÓN ENERGÉTICA, DISIPACIÓN ENERGÉTICA

Figura 6.4.112 – Tipos de fricción

Desgaste: se define como la pérdida irreversible de material, resultante de la interacción entre superficies. Los procesos físicos y químicos básicos dentro del área de contacto de una superficie deslizante que conduce posteriormente a un cambio en el material y la forma de las superficies en contacto se conocen como mecanismos de desgaste. Estos mecanismos de desgaste incluyen la fatiga de la superficie, abrasión, adhesión y reacciones triboquímicas, los cuales son mostrados en la siguiente imagen con sus respectivos ejemplos:

MECANISMOS DE DESGASTE:

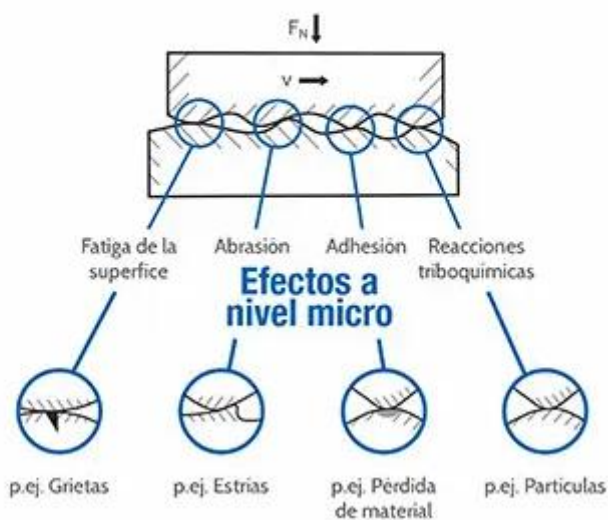


Figura 6.4.113 – Mecanismo de desgaste

Los mecanismos de fricción y desgaste se ven fuertemente afectados por la estructura del sistema tribológico, no se producen de manera aislada, sino más bien a través de una superposición de mecanismos que son difíciles de cuantificar y controlar.

A partir de la necesidad de mejorar la vida útil, resistencia y gasto energético de una máquina, surgen los tratamientos superficiales. Todo objeto, herramienta y equipo industrial pasa por distintos procesos para poder usarse y comercializarse, desde su diseño hasta los acabados finales. Dentro de estas etapas, se puede encontrar una variedad de tratamientos superficiales. Estos procesos están destinados a mejorar las propiedades superficiales, como su dureza, resistencia, aislamiento, corrosión, etc.

Se pueden clasificar en distintas categorías, según la manera en que modifican la superficie:

- **Tratamientos superficiales que no alteran la composición del material base:** son aquellos en los que el material con el que está hecha la superficie no sufre un cambio en sus elementos, entre ellos se encuentran los tratamientos térmicos (temple, revenidos, estabilizados, etc.), químicos (desengrasado, fosfatizado, lavado, etc.) y mecánicos (granallado, pulido, etc.).
- **Tratamientos superficiales que alteran la composición del material:** son aquellos en los que se modifica la composición química del material. Este tipo abarca los llamados tratamientos termoquímicos como la carbonitruración, la nitruración, la cementación, la cianuración o la sulfinitización.
- **Tratamientos superficiales de recubrimiento:** son aquellos que depositan una nueva capa sobre el material de base, por lo cual la superficie queda cubierta. Esta categoría incluye los recubrimientos por deposición física y química, asistidas por plasma. [24]

Anexo 4.2 – Mecanismos de desgaste

El desgaste es un daño superficial inducido mecánicamente que da como resultado la eliminación progresiva de material debido al movimiento relativo entre dos superficies o entre una superficie y una sustancia o sustancias en contacto. En la mayoría de las aplicaciones tecnológicas, la aparición de desgaste es indeseable y es un problema altamente costoso ya que conduce al deterioro o incluso al fallo de los componentes.

Ciertas características del material, como la dureza, el tipo de carburo y el porcentaje de volumen, pueden tener un impacto decisivo en la resistencia al desgaste de un material de una aplicación determinada.

Existen varios mecanismos de desgaste, muchos bajo los que se emplea lubricantes de diferentes tipos para reducir la tasa de desgaste y con ello ampliar el tiempo de vida útil de los elementos de una máquina. Cada mecanismo tiene su particularidad y por lo tanto su proceso específico de estudio.

Dentro de los ensayos del tipo Pin-On-Disk y Ball-On-Flat se pueden presentar dos mecanismos de desgaste que implican una disminución del peso debido al rozamiento de superficies. [23]

Desgaste abrasivo

El desgaste abrasivo se define como la pérdida de material por la acción de fricción de partículas o protuberancias duras sobre un material más blando. El mecanismo dominante de eliminación de material es el microcorte, según se indica en la figura 6.1.112. La teoría del desgaste abrasivo supone que las partículas abrasivas dejan un área de desgaste con la misma forma que su sección transversal.

Desgaste adhesivo

El desgaste adhesivo depende de los materiales involucrados, el grado de lubricación proporcionado y el medio ambiente; es el mecanismo de desgaste por transferencia de material de una superficie a otra

durante el movimiento relativo, debido a un proceso de soldadura en fase sólida por una alta fricción local que produce desgarramiento y fragmentación.

La teoría adhesiva del desgaste asume que la pérdida de material es causada por la soldadura de uniones ásperas que crean partículas de desgaste debido a la fractura del material más débil cerca de las uniones soldadas. Las partículas que se eliminan de una superficie se adhieren permanente o temporalmente a la otra superficie.

Anexo 4.3 – Parámetros de la máquina

Ya definidas todas las piezas de la máquina, se realizará una tabla de resumen con los parámetros finales alcanzables por la máquina para cada ensayo

| Parámetros | Movimiento rotacional | Movimiento reciprocante |
|---|-----------------------|-------------------------|
| Fuerza normal | 1 – 75 [N] | 1 – 75 [N] |
| Velocidad de deslizamiento | 0,1 [m/s] | 0,157 [m/s] |
| Radio o distancia de trayectoria | 5 – 12 [mm] | 5 o 10 [mm] |
| Diámetro del PIN | 6 [mm] | 6 [mm] |
| Ambiente | Aire | Aire |
| Temperatura ambiente | Variable [°C] | Variable [°C] |
| Humedad ambiente | Variable [%RH] | Variable [%RH] |

Tabla 6.4.10 – Parámetros finales de la máquina

Anexo 5 – Presupuesto

En la siguiente tabla se expresará un presupuesto aproximado en dólares estadounidenses de la máquina diseñada, sin tener en cuenta el costo de las piezas mecanizadas.

| Designación | Detalle/Fabricante/Código | Costo Unit. | Cant. | Costo Total | Ref. |
|-----------------------------------|---|-------------|-------|----------------|-----------|
| Elementos mecánicos | | | | 239,888 | |
| Motor paso a paso | NEMA 15 - SY39ST44-0304A/MicroPaP | 6,58 | 1 | 6,58 | [1] |
| Celda de carga | Starware/HX711 10KG | 4,68 | 1 | 4,68 | [6] |
| Motor principal | CIRCUSPLAY/MR-08-D/44 engranajes | 55 | 1 | 55 | [7] |
| Acoplamiento flexible | Antibackflash /TecnoliveUSA/25x19 | 2,3 | 1 | 2,3 | [10] |
| Sensor de temperatura | Termocupla tipo J /PRIVARSA/N-ZTCJ1-200 | -- | 1 | -- | |
| Sensor de humedad | Candy-Ho Electronics/DHT22 | 9,02 | 1 | 9,02 | [20] |
| Rodamiento rígido de bolas | 608 - Una hilera de bolas /SKF | 0,8 | 1 | 0,8 | [27] |
| Rodamiento rígido de bolas | 628/8 2Z - Una hilera de bolas /SKF | 1,19 | 1 | 1,19 | |
| Rodamiento rígido de bolas | 628/8 2Z - Una hilera de bolas /SKF | 1,19 | 2 | 2,38 | |
| Rodamiento de rodillos cónicos | 30202 - Una hilera de rodillos /SKF | 14,15 | 2 | 28,3 | [28] |
| Barra templada | 8mm/Mecatronix/h73 | 4,73 | 1 | 4,73 | [26] |
| Soporte de barra de rod. Lineales | Mecatronix/SK8 | 2,417 | 4 | 9,668 | [18] |
| Base de Guía | TecnoliveUSA/SCS 8 UU | 3,78 | 2 | 7,56 | [15] |
| Resistencia eléctrica | PRIVARSA/PRO610 | 104,28 | 1 | 104,28 | Anexo 5.1 |
| Codificador de cuadratura | | 1,79 | 1 | 1,79 | [30] |
| Módulo Hx 711 | Emakers/EM8743 | 5,01 | 1 | 5,01 | [34] |
| Driver a4988 | E-Labshop/4988 | 2,28 | 1 | 2,28 | [35] |
| Arduino Uno | Duaitek | 9,8 | 1 | 9,8 | [36] |
| Módulo L298N | Andino | 3,4 | 1 | 3,4 | [37] |

| Designación | Longitud/Altura | Costo Unit. | Cant. | Costo Total |
|---------------------------|-----------------|-------------|-------|----------------|
| Piezas de fijación | | | | 17,2692 |
| Bulón ISO 4762 M8 x 1,25 | 25mm | 0,1207 | 4 | 0,4828 |
| Bulón ISO 4762 M6 x 1 | 30mm | 0,0900 | 1 | 0,0900 |
| Bulón ISO 4762 M5 x 0,8 | 40mm | 0,0904 | 16 | 1,4464 |
| | 20mm | 0,0730 | 5 | 0,3650 |
| Bulón ISO 4762 M5 x 0,8 | 10mm | 0,0605 | 4 | 0,2420 |
| | 20mm | 0,1390 | 6 | 0,8340 |
| | 10mm | 0,0597 | 9 | 0,5373 |
| Bulón ISO 4762 M4 x 0,7 | 6mm | 0,0931 | 1 | 0,0931 |
| | 30mm | 0,45 | 2 | 0,9000 |
| | 16mm | 0,2980 | 4 | 1,1920 |
| | 10mm | 0,2751 | 12 | 3,3012 |
| Bulón ISO 4762 M2 x 0,4 | 5mm | 0,3972 | 1 | 0,3972 |
| | 8mm | 0,9700 | 8 | 7,7600 |
| Tuerca ISO 4035 M18 | 9mm | 0,3700 | 2 | 0,7400 |

| | | | | |
|----------------------|-------|--------|---|--------|
| Tuerca ISO 4035 M12 | 6mm | 0,2100 | 4 | 0,8400 |
| Tuerca ISO 4032 M8 | 6,5mm | 0,1300 | 1 | 0,1300 |
| Tuerca ISO 4032 M6 | 5mm | 0,3858 | 1 | 0,3858 |
| Tuerca ciega M8 | -- | 0,3860 | 1 | 0,3860 |
| Arandela ISO 7093 M4 | 1mm | 0,200 | 4 | 0,8000 |

Tabla 6.5.11 – Costo de la maquina

A partir de esto determinamos el presupuesto de la máquina, dando un total de 281,05 dólares estadounidenses.

Anexo 5.1 – Resistencia eléctrica



PRIVARSA

PROVEEDORA INDUSTRIAL VARGAS

Dirección: FRANCISCO G. SADA , COL. CHEPEVERA, No Ext
2929 MONTERREY CP. 64630

Sucursal: COLOMBIA

Rep. Ventas: JOSE GERARDO HERNANDEZ SANCHEZ

email: jhernandez@privarsa.com.mx

Rep. Ventas: FABIO ANDRES VARGAS VALDIVIESO

email: favargas@privarsa.com.mx

| | |
|----------------------|---------------|
| Cotización #: | 368251 |
| Fecha: | 23/10/2023 |
| Válido hasta: | 07/11/2023 |

Cliente

GIS Facultad Regional Concepción del Uruguay

Ing. Pereira, , No Ext 676 No Int Concepción del Uruguay BUENOS AIRES CP. 3260

Atención: Jonathan Tessore

Teléfono: 543442423898 /

Email: jonathantessore9@gmail.com

Productos

| Clave SAT | Producto | Descripción | Tiempo Entrega | % Desc. | Cantidad | Precio | Importe |
|-----------|----------|--|---------------------|---------|----------|----------|-----------------|
| 23153100 | PRO610 | RESIST.ESPIRAL 610W T/C Ø 1 1/2" x 1 1/2" de largo, salida tipo 1. | ENTREGA EN 1 SEMANA | 0.00 % | 1 | \$104.28 | \$104.28 |
| | | | | | | | \$104.28 |

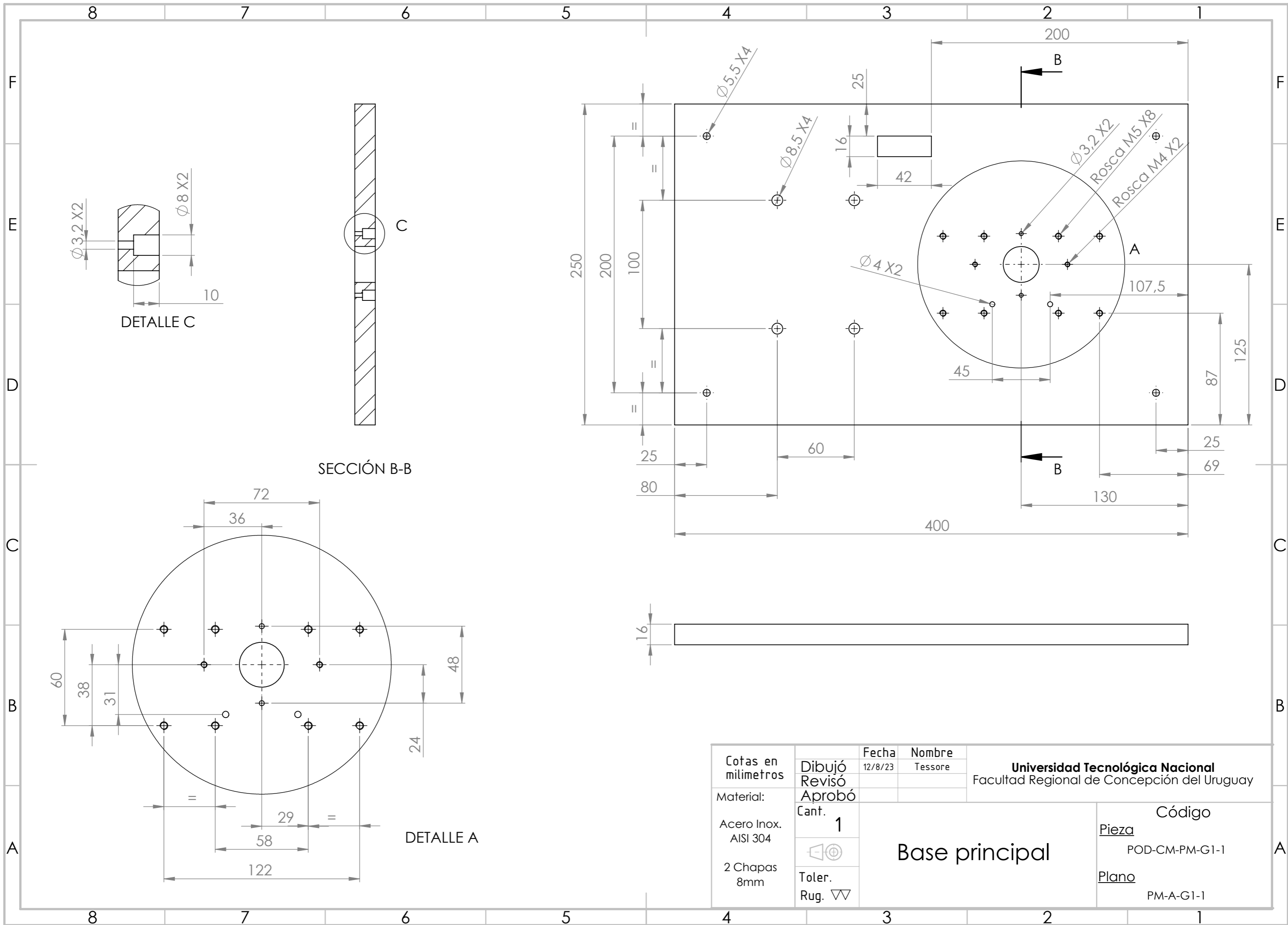
Montos

| | |
|-----------------------|-----------------|
| Sub Total | \$104.28 |
| Total Discount | \$0.00 |
| IVA | \$0.00 |
| Total | \$104.28 |

Figura 6.5.114 – Cotización de resistencia eléctrica

Anexo 6 – Ficha técnica

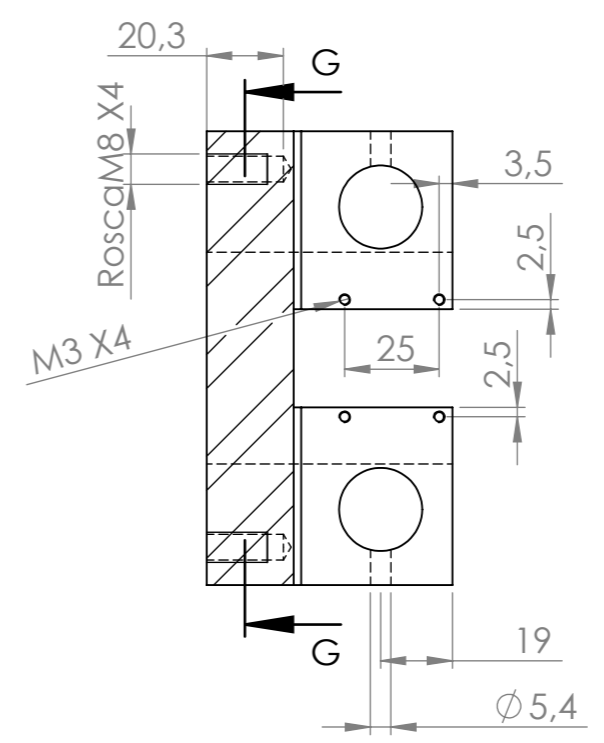
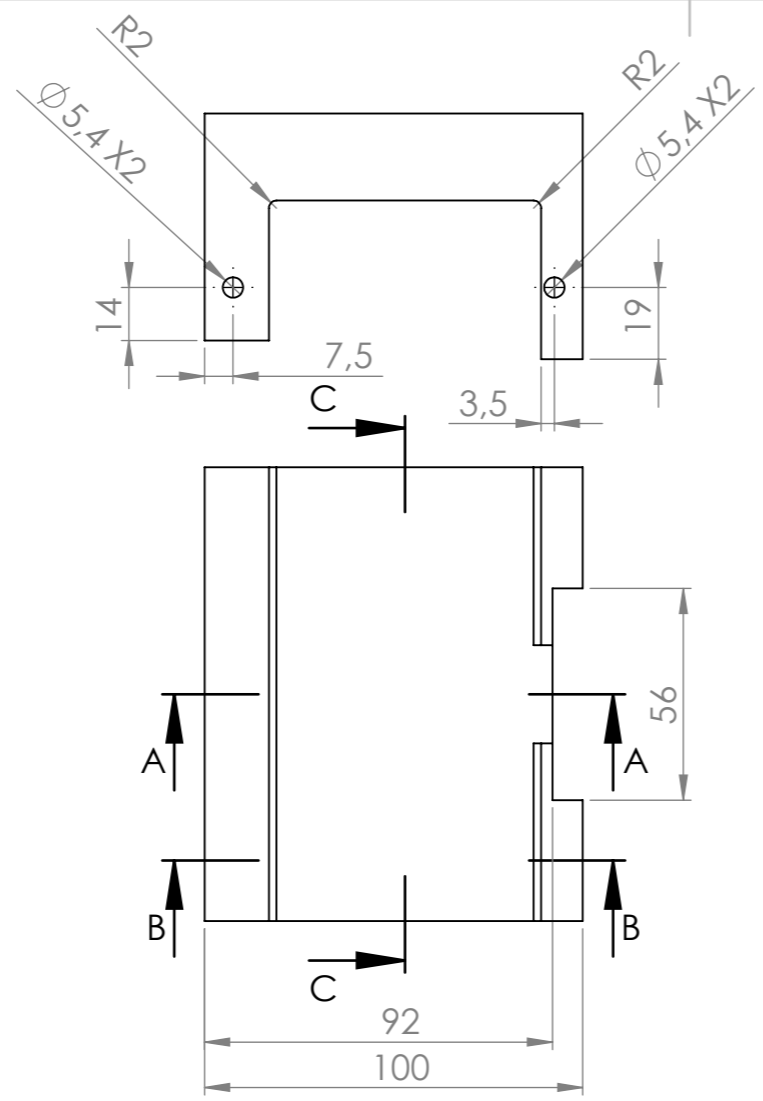
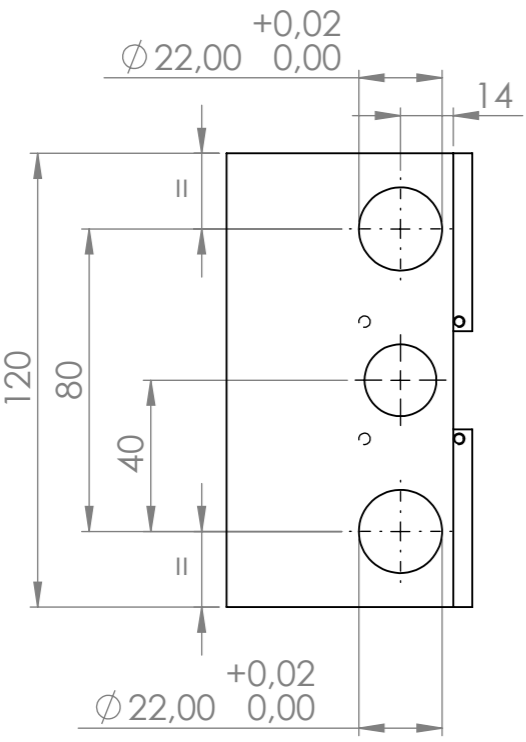
| | | | |
|-------------------------------|----------------------------------|-----------|-------------------|
| Presentac.: 04 / julio / 2024 | Aprobac. (Dto. Electro) / / 2024 | PFC-2304B | Página 119 de 119 |
|-------------------------------|----------------------------------|-----------|-------------------|



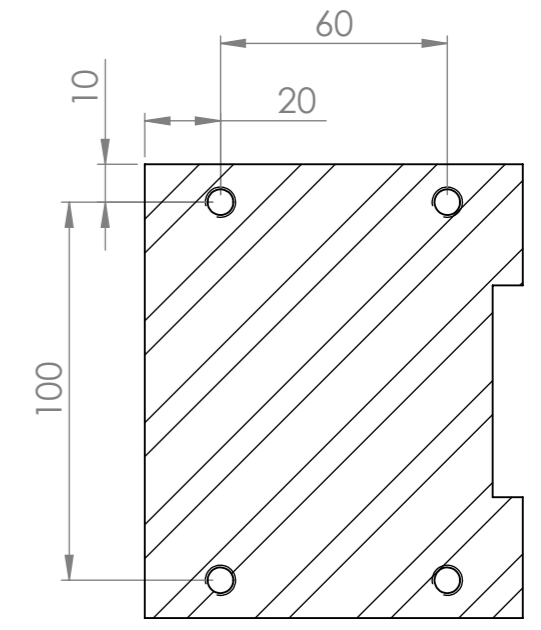
| | | | | |
|----------------------|-----------------------------|---------|-----------------------|--|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | |
| Material: | Aprobó | | | |
| Acero Inox. AISI 304 | Cant. 1 | | | Código |
| 2 Chapas 8mm | | | | Pieza POD-CM-PM-G1-1 |
| | Toler. Rug. $\nabla \nabla$ | | | Plano PM-A-G1-1 |
| | | | Base principal | |

8 7 6 5 4 3 2 1

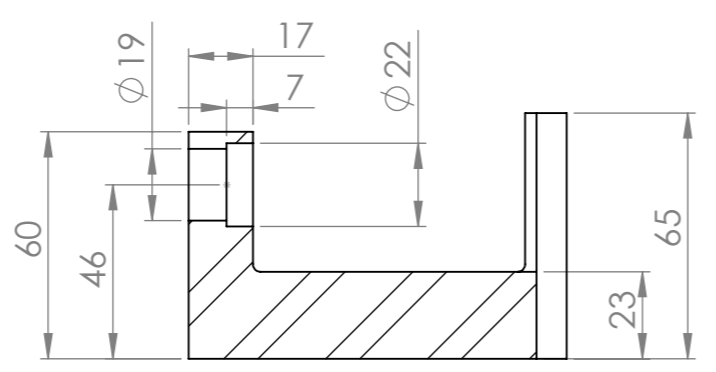
F
E
D
C
B
A



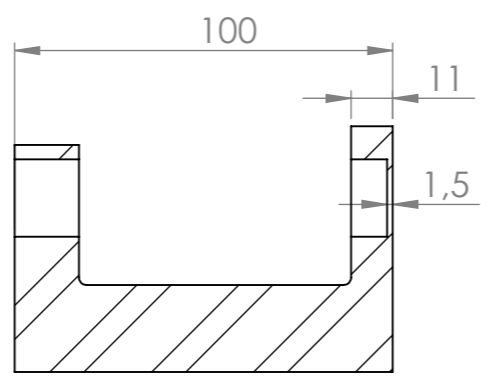
SECCIÓN C-C



SECCIÓN G-G



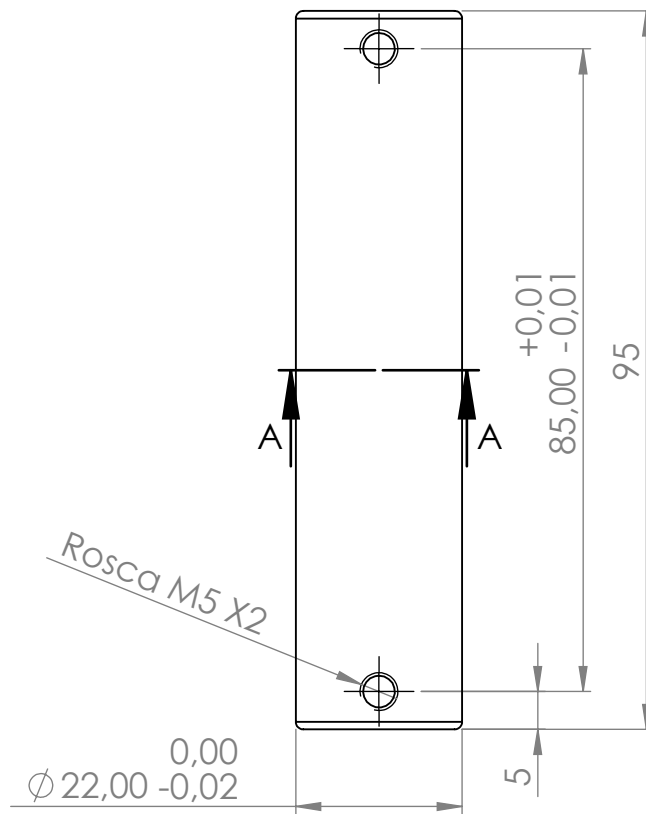
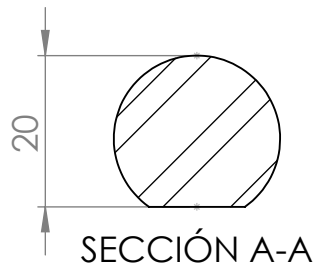
SECCIÓN A-A



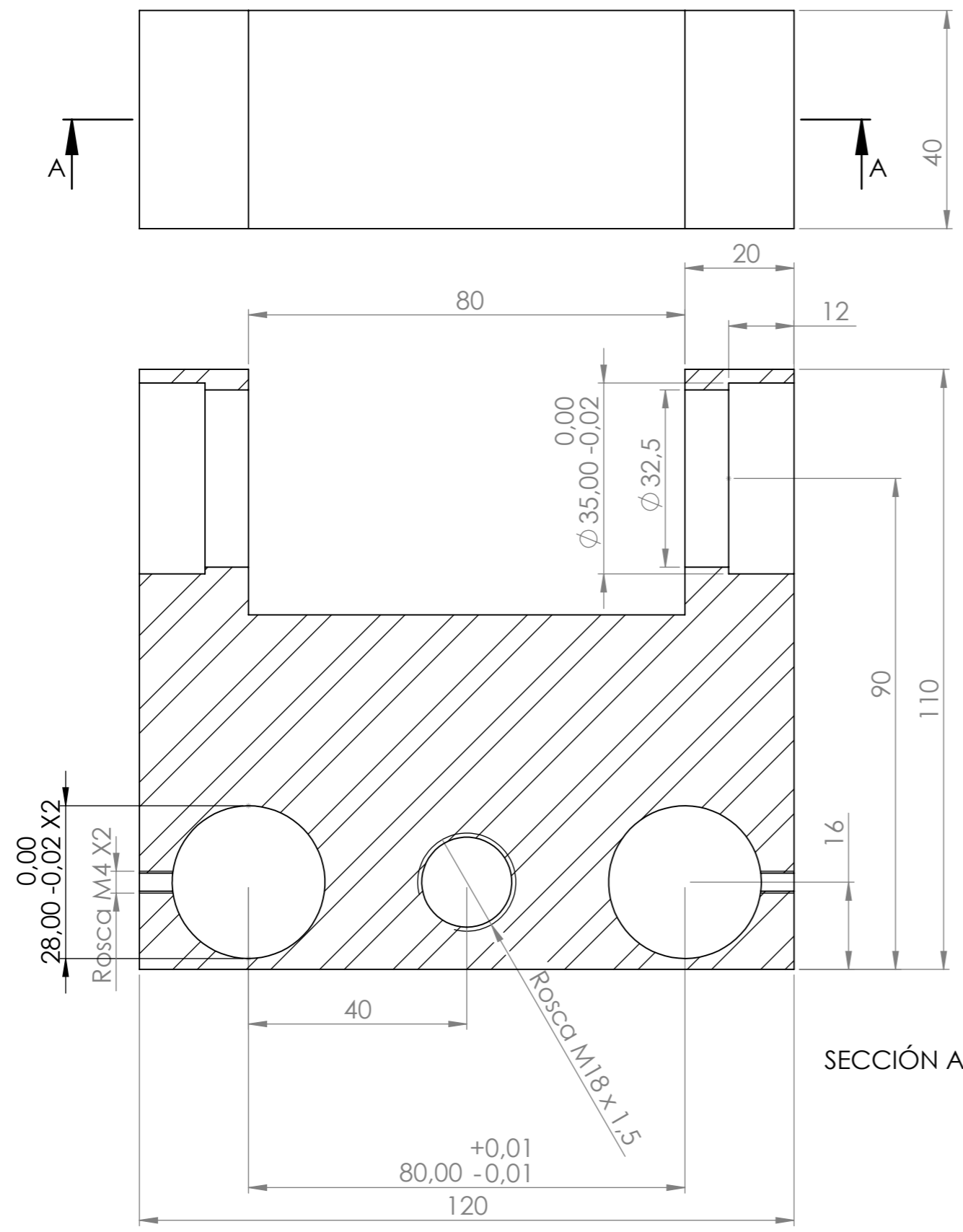
SECCIÓN B-B

| | | | | |
|--|----------------------|-------------------------------|---------|--|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | |
| Material: | Aprobó | Base Variador de radio | | Código |
| Acero al carbono 1- 1020 2- 4140 | Cant. 1 | | | Pieza POD-CM-PM-G1-2 |
| | Toler. Rug. ∇ | | | Plano PM-A-G1-2 |

8 7 6 5 4 3 2 1

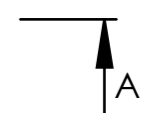
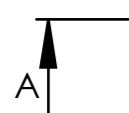
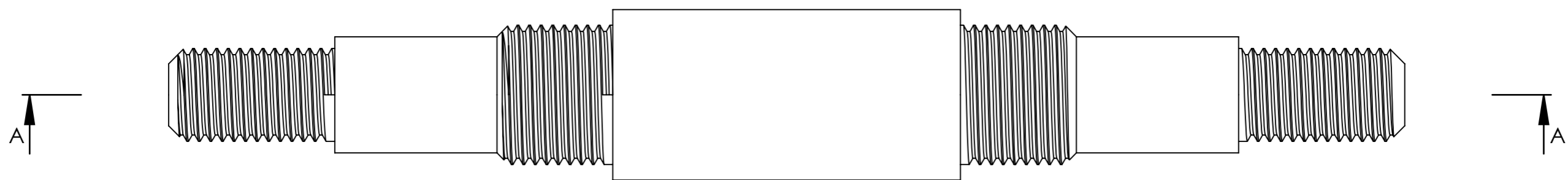
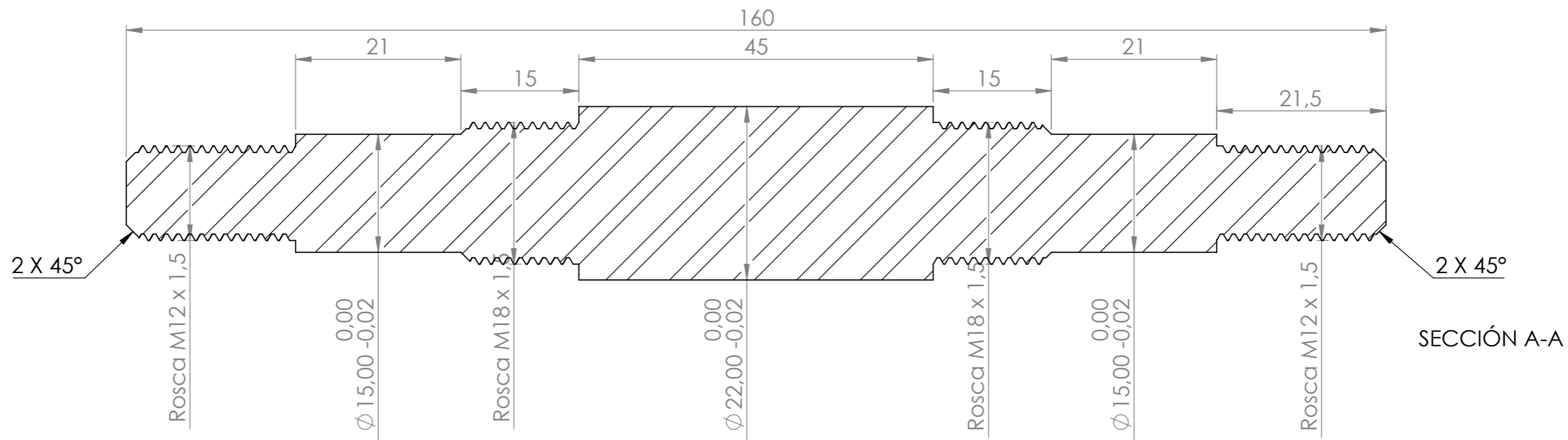


| | | | | |
|-------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------|--|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | |
| Material: | Aprobó | | | |
| Acero Inox. AISI 304 | Cant. | Perno Variado de radio | | Código |
| | 2 | | | Pieza |
| | | | | POD-CM-PM-G1-3 |
| | Toler. Rug. $\nabla\nabla$ | | | Plano PM-A-G1-3 |

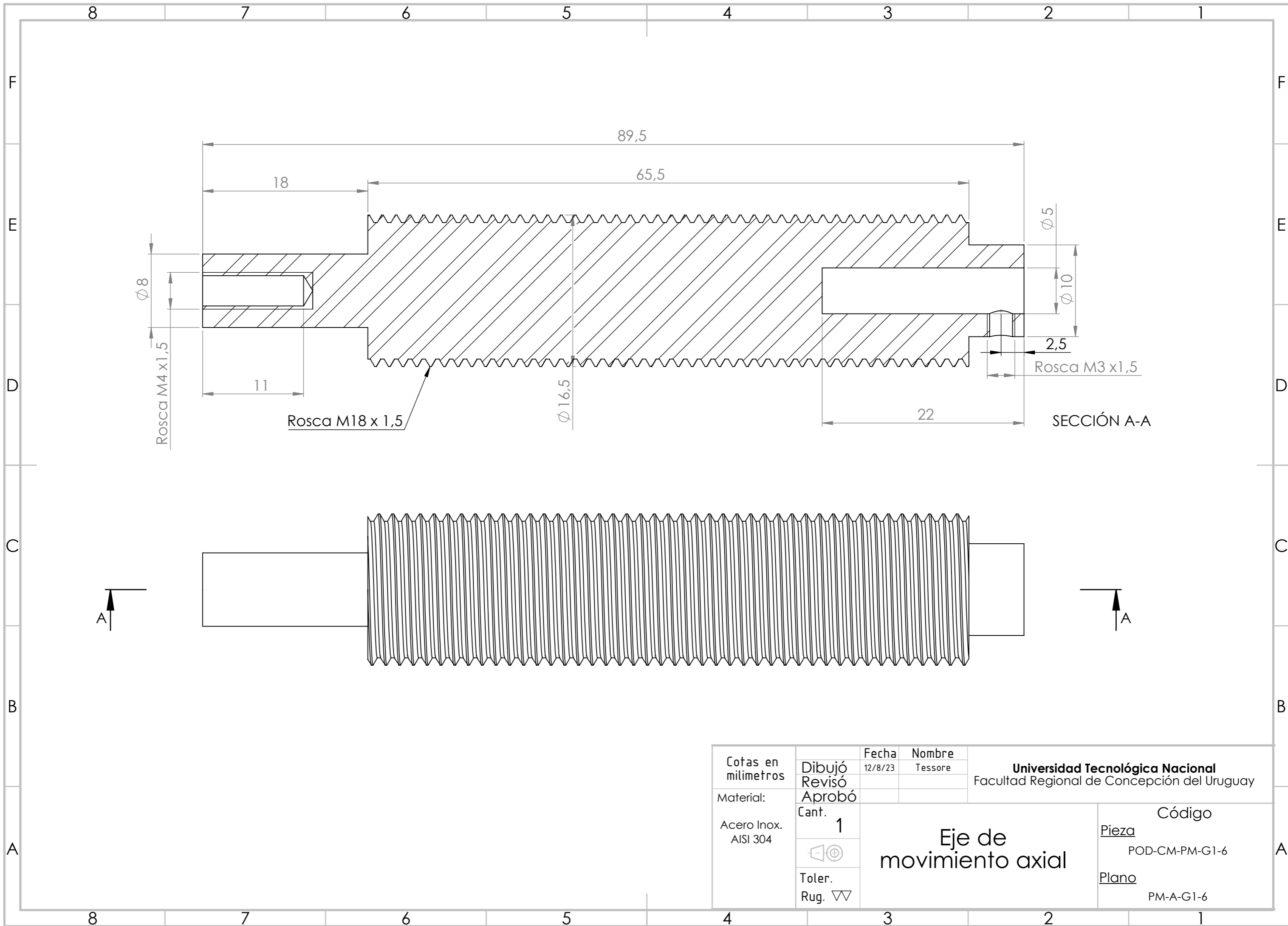


SECCIÓN A-A

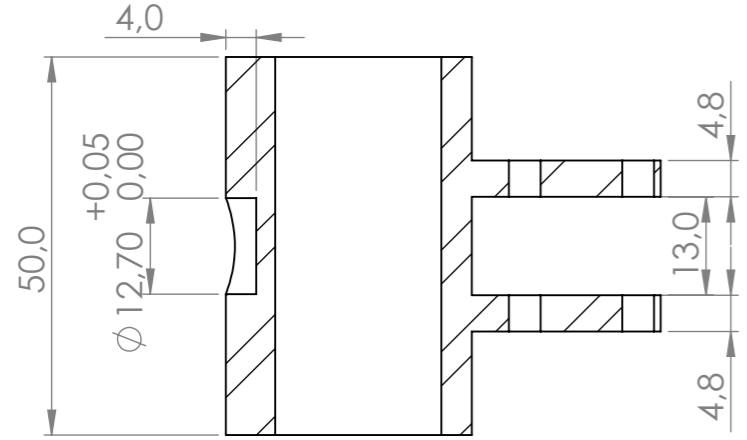
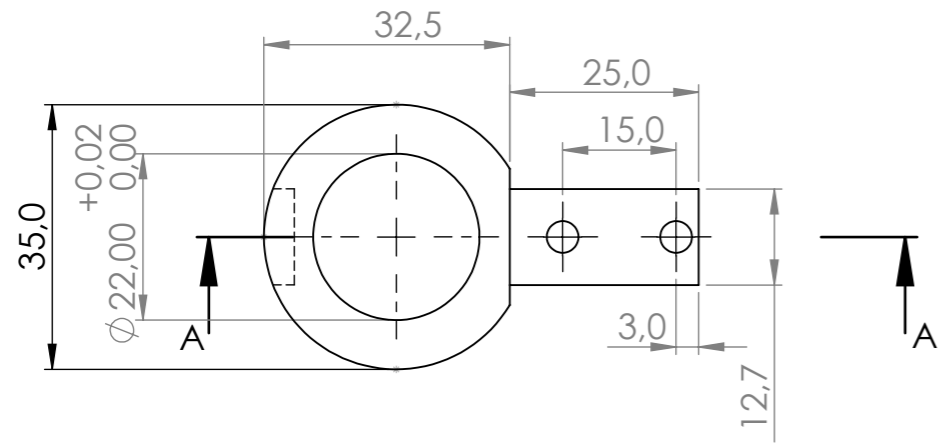
| | | | | |
|---------------------|----------------|---|---------|--|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | |
| Material: | Aprobó | Soporte Brazo de carga | | Código |
| Acero al carbono | Cant. 1 | | | Pieza |
| 1- 1020 | | PM-A-G1-4 | | Plano |
| 2- 4140 | | | | Toler. Rug. $\nabla \nabla$ |



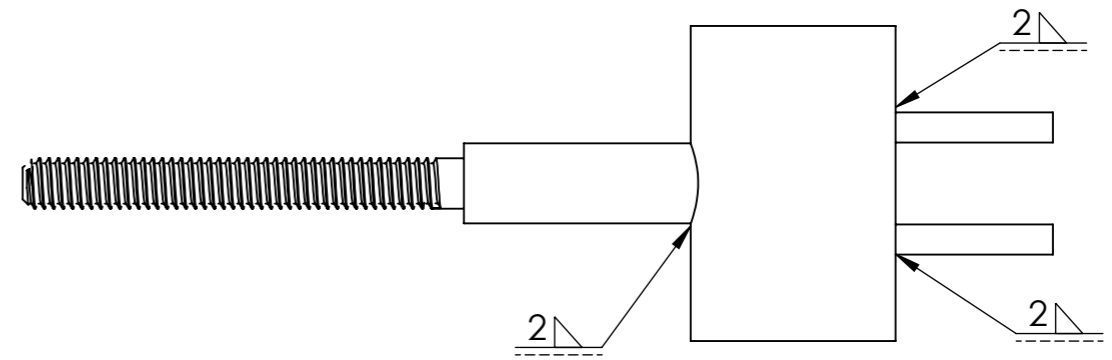
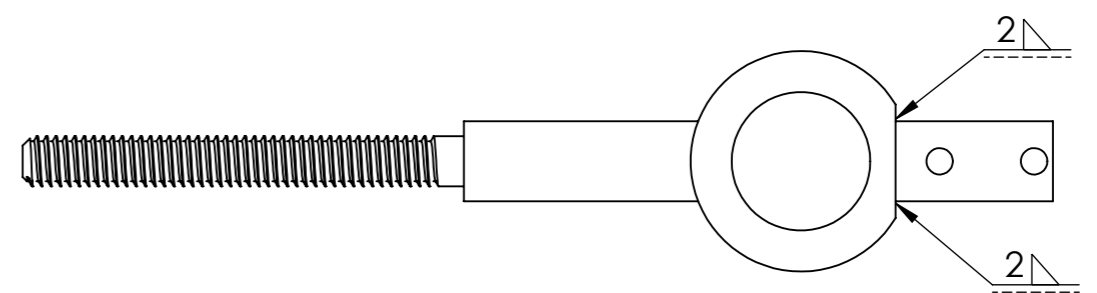
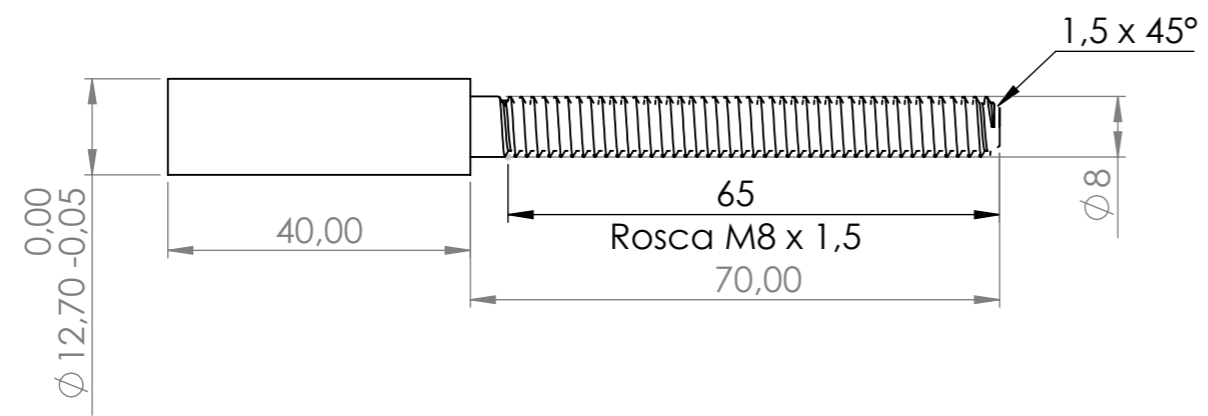
| | | | | |
|---------------------|----------------------|---------------|---------|--|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | |
| Material: | Aprobó | | | |
| Acero al carbono | Cant. 1 | Eje pivotante | | Código |
| 1- 1020 | | | | Pieza |
| 2- 4140 | | | | Plano |
| | Toler. Rug. ∇ | | | PM-A-G1-5 |



| | | | | |
|----------------------|-------------|--------------------------------|---------|--|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | |
| Material: | Aprobó | | | |
| Acero Inox. AISI 304 | Cant. 1 | Eje de movimiento axial | | Código |
| | | | | Pieza |
| | Toler. Rug. | | | POD-CM-PM-G1-6 Plano PM-A-G1-6 |

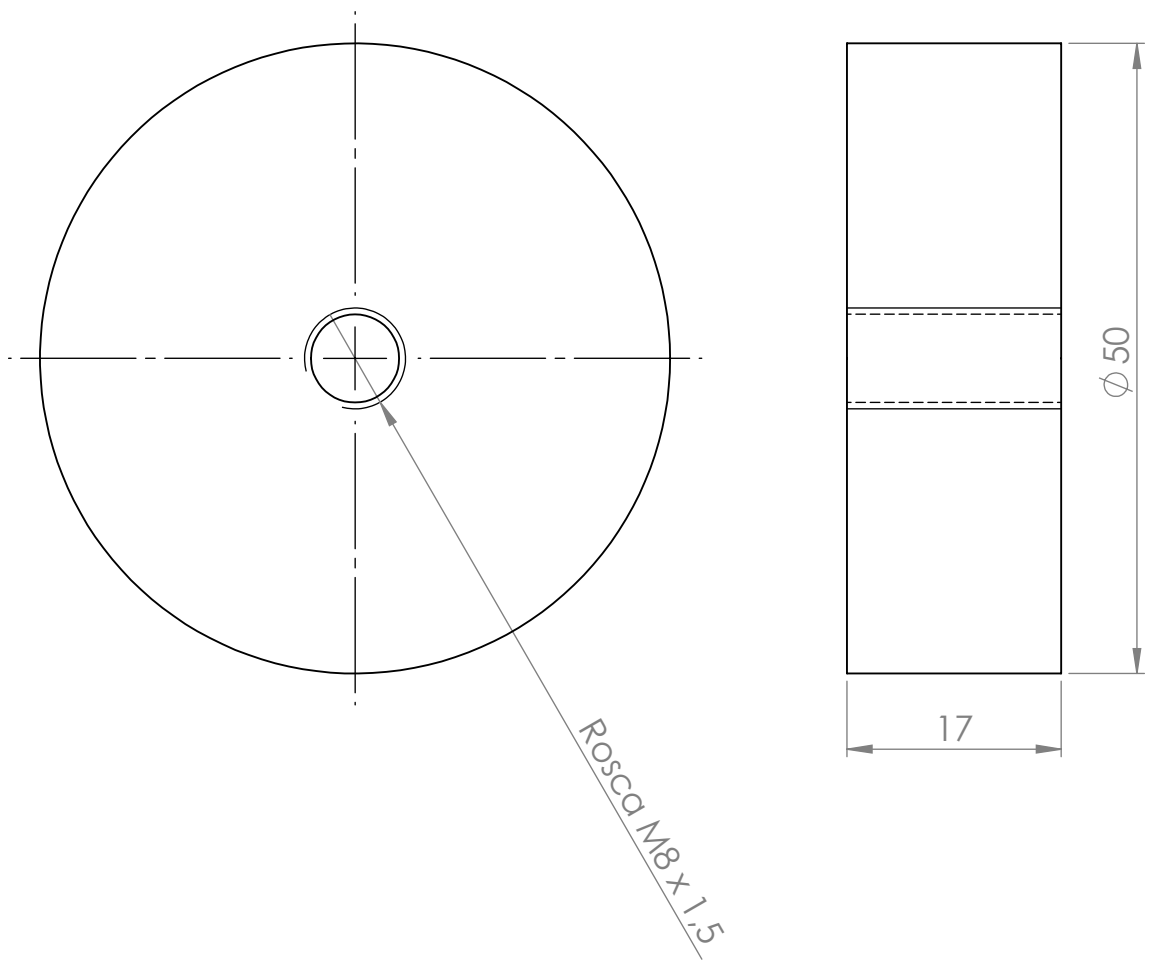



SECCIÓN A-A

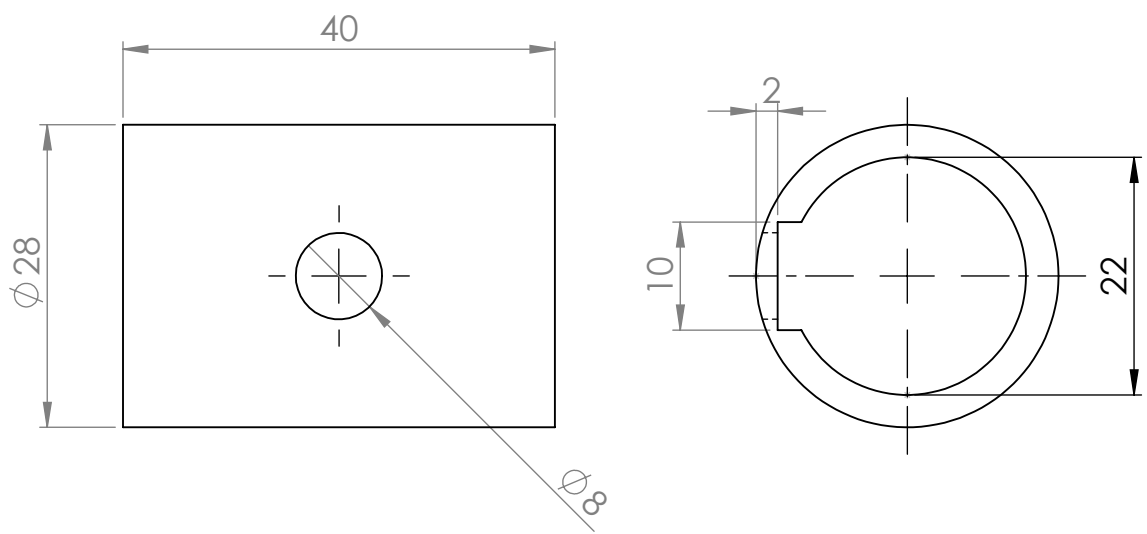


| | | | | |
|----------------------|----------------------------|---------|---------|--|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | |
| Material: | Aprobó | | | Código |
| Acero Inox. AISI 304 | Cant. 1 | | | Pieza POD-CM-PM-G1-7 |
| Peso: 321g | Toler. Rug. $\nabla\nabla$ | | | Plano PM-A-G1-7 |

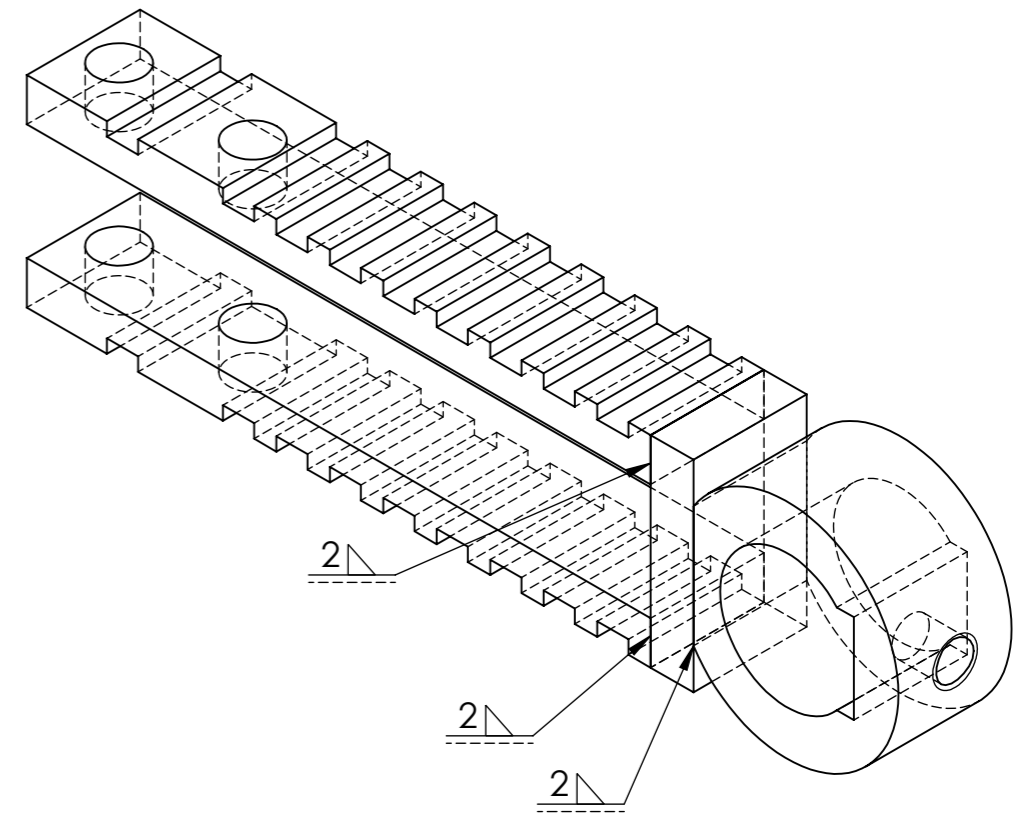
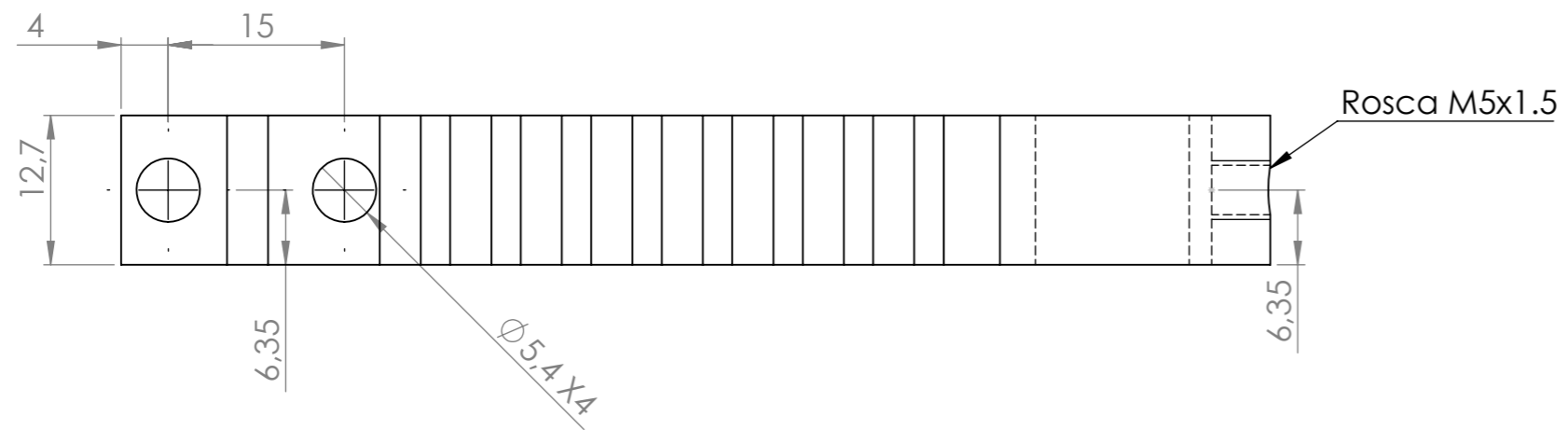
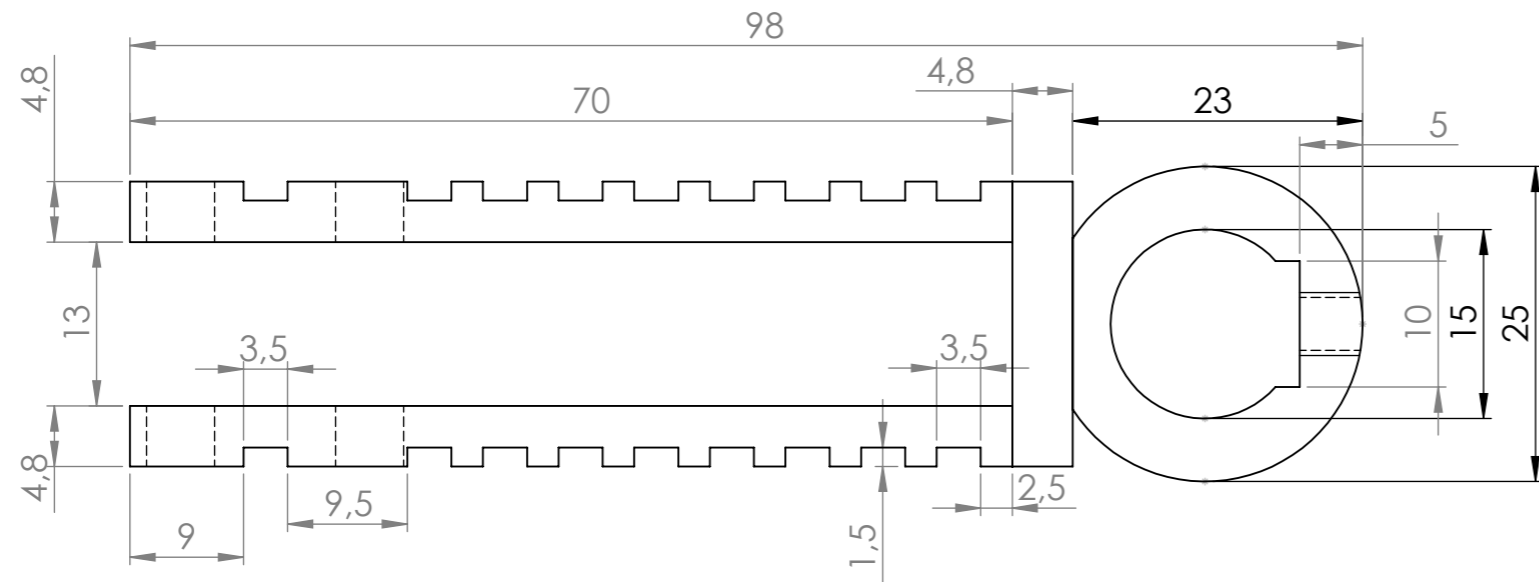
Brazo



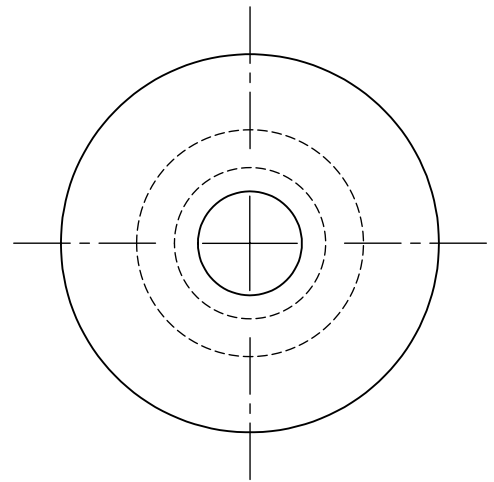
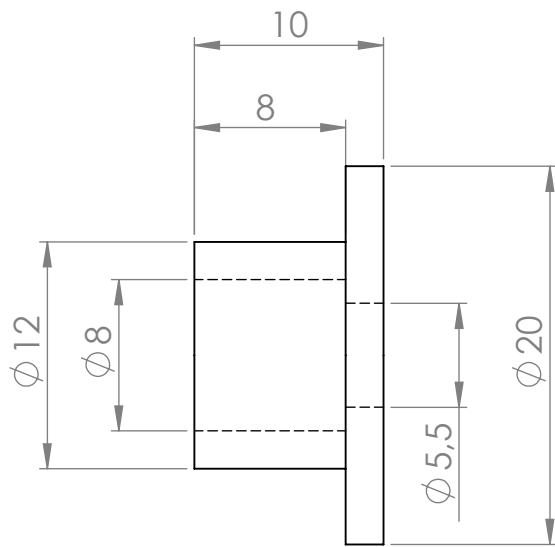
| | | | | |
|----------------------|---|----------------|---------|--|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | |
| Material: | Aprobó | <h1>Carga</h1> | | Código |
| Acero Inox. AISI 304 | Cant. 1 | | | Pieza |
| Peso: 257g |  | | | POD-CM-PM-G1-8 Plano PM-A-G1-8 |
| | Toler. Rug. $\nabla \nabla$ | | | |



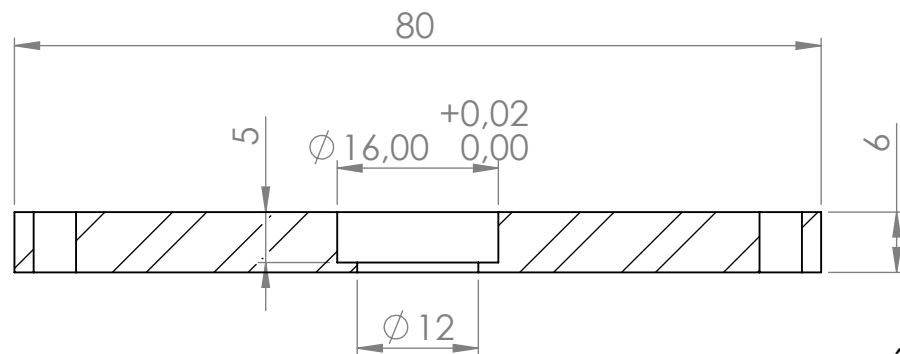
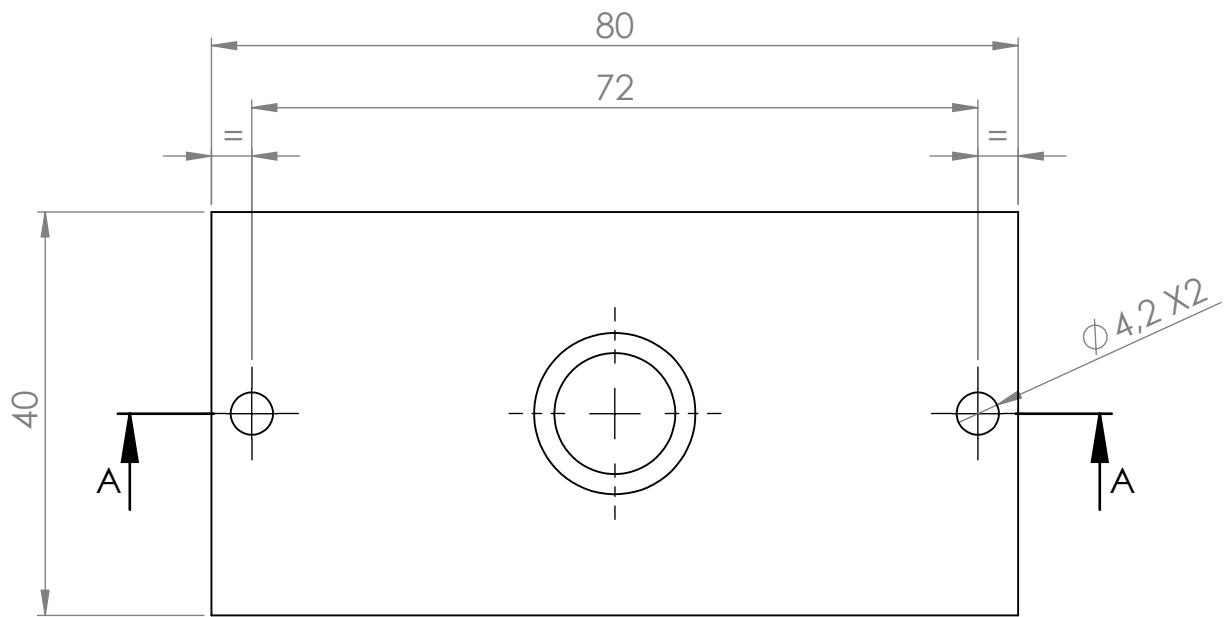
| | | | | |
|---------------------|---------------------|-------------|---------|--|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | |
| Material: | Aprobó | | | |
| Teflon | Cant. | Buje | | Código |
| | 2 | | | <u>Pieza</u> |
| | | | | POD-CM-PM-G1-9 |
| | Toler. | | | <u>Plano</u> |
| | Rug. $\nabla\nabla$ | | | PM-A-G1-9 |



| | | | | |
|----------------------|-------------|-----------------------|---------|--|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | |
| Material: | Aprobó | | | Código Pieza POD-CM-PM-G1-10 |
| Acero Inox. AISI 304 | Cant. 1 | | | |
| Peso: 84g | | Brazo de carga | | Plano PM-A-G1-10 |
| | Toler. Rug. | | | |

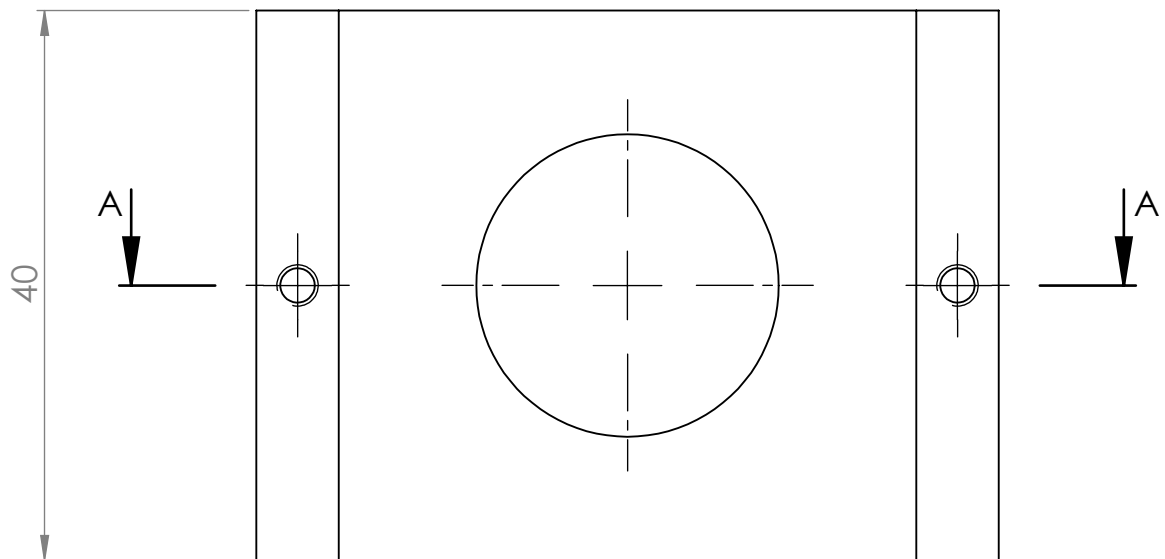
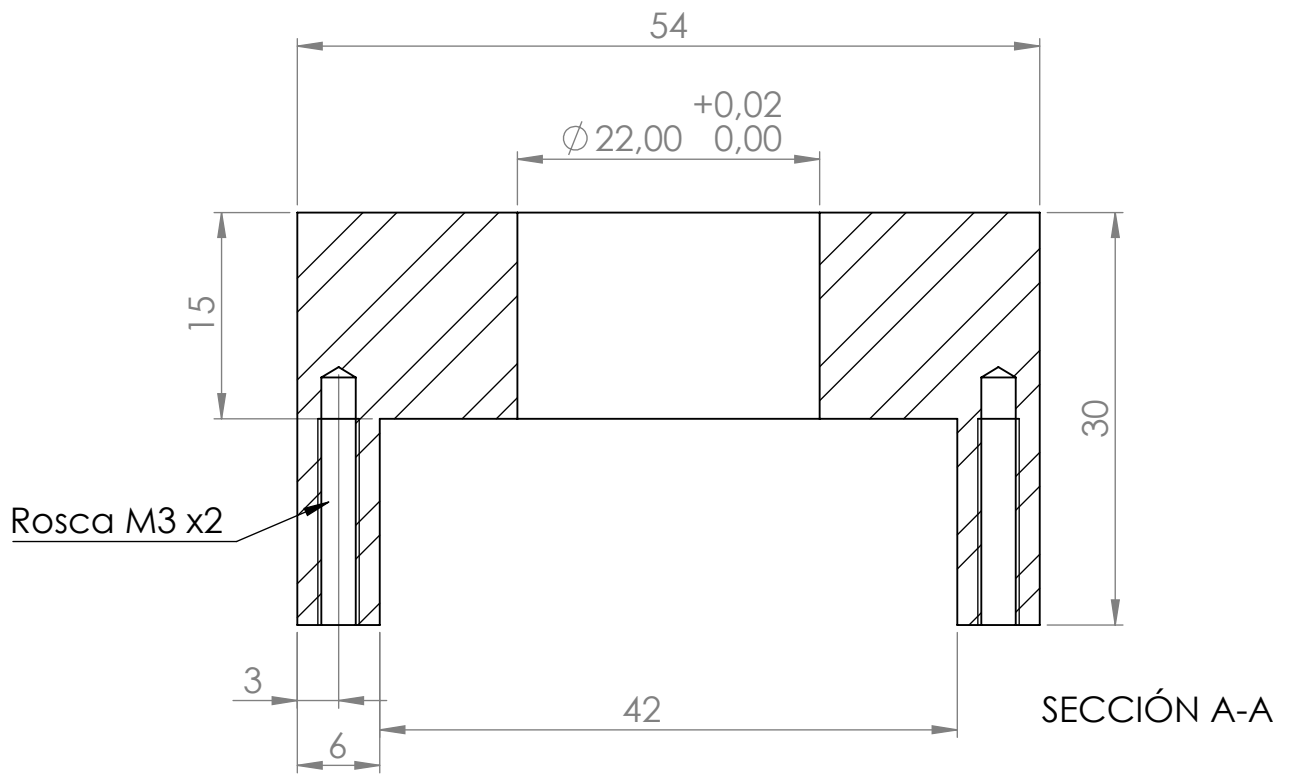


| | | | | |
|---------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------|--|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | |
| Material: | Aprobó | | | |
| Teflon | Cant. | | | |
| | 1 | Buje de exfuerzo axial | | Código <u>Pieza</u> POD-CM-PM-G1-11 <u>Plano</u> PM-A-G1-11 |
| | | | | |
| | Toler. Rug. $\nabla \nabla$ | | | |

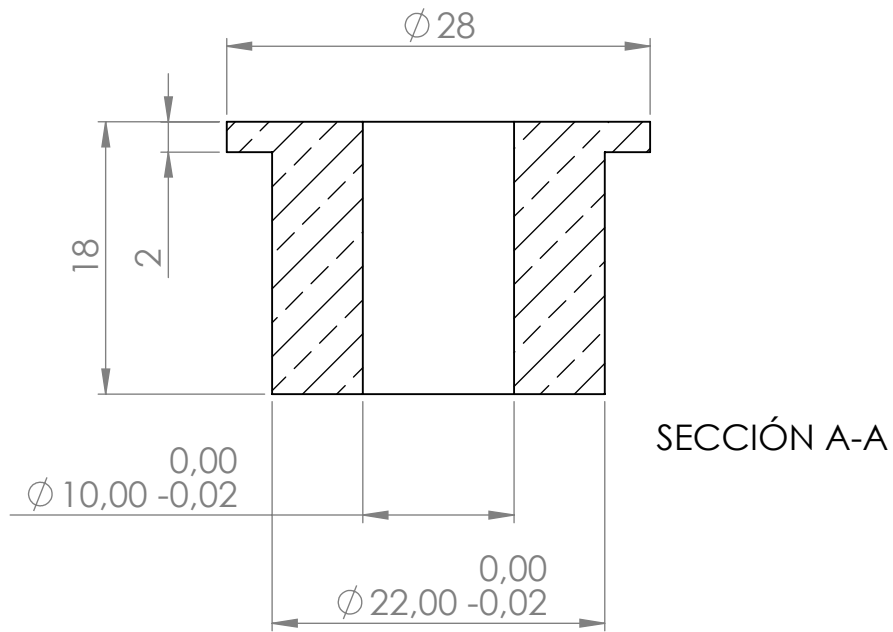
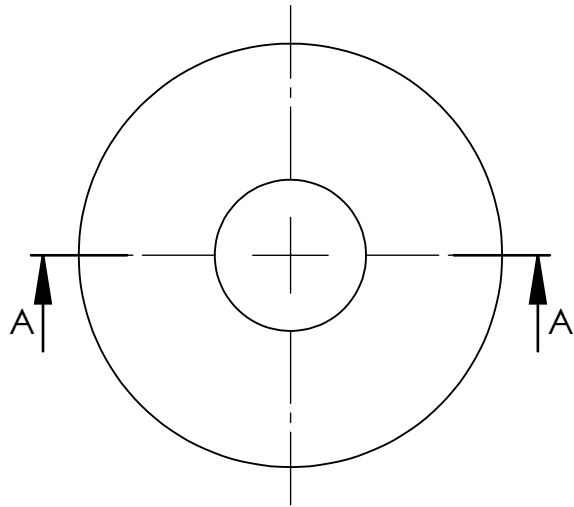


SECCIÓN A-A

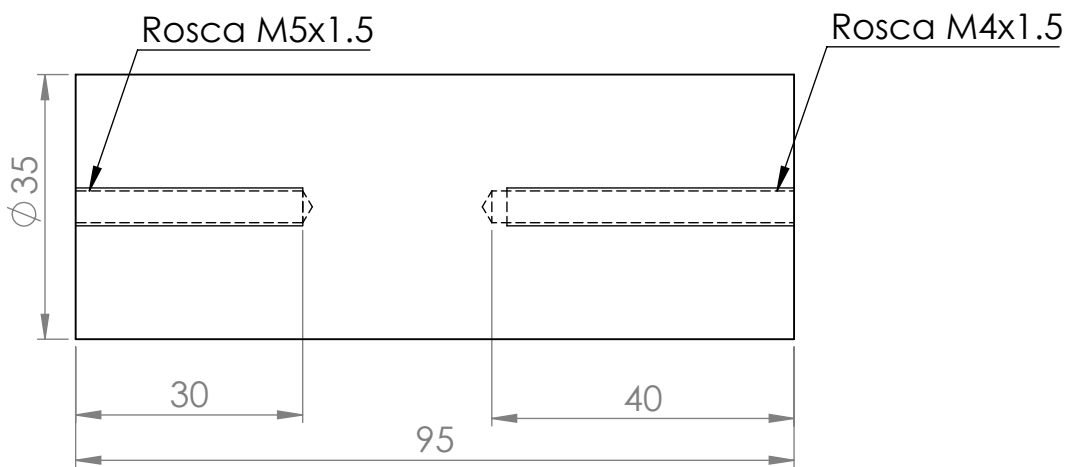
| | | | | |
|-------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------|--|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | |
| Material: | Aprobó | | | |
| Acero Inox. AISI 304 | Cant. | Sujeción de rodamiento | | Código |
| | | | | Pieza |
| | Toler. Rug. $\nabla \nabla$ | | | POD-CM-PM-G1-15 Plano PM-A-G1-15 |



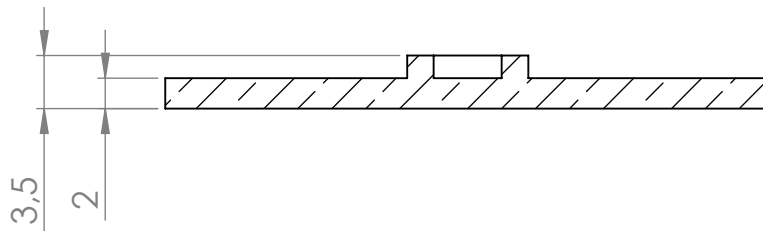
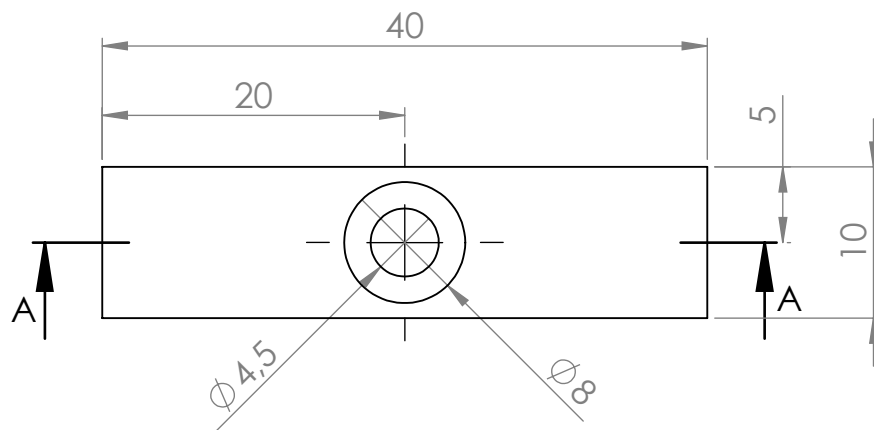
| | | | | |
|-------------------------|----------------------|--------------------|---------|--|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | |
| Material: | Aprobó | | | |
| Acero Inox. AISI 304 | Cant. | <h1>Base fija</h1> | | Código |
| | 1 | | | Pieza |
| | | | | POD-CM-PM-G1-16 |
| | Toler. | | | Plano |
| | Rug. $\nabla \nabla$ | | | PM-A-G1-16 |



| | | | | |
|---------------------|----------------------------|-------------|---------|--|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | |
| Material: | Aprobó | | | |
| Bronce | Cant. | Buje | | Código |
| | 1 | | | Pieza |
| | | | | POD-CM-PM-G1-17 |
| | Toler. Rug. $\nabla\nabla$ | | | Plano |
| | | | | PM-A-G1-17 |

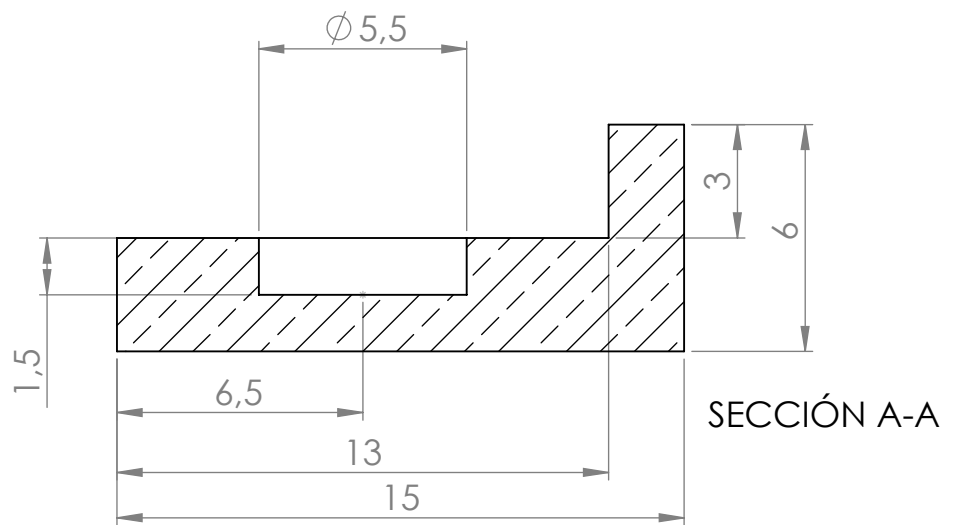
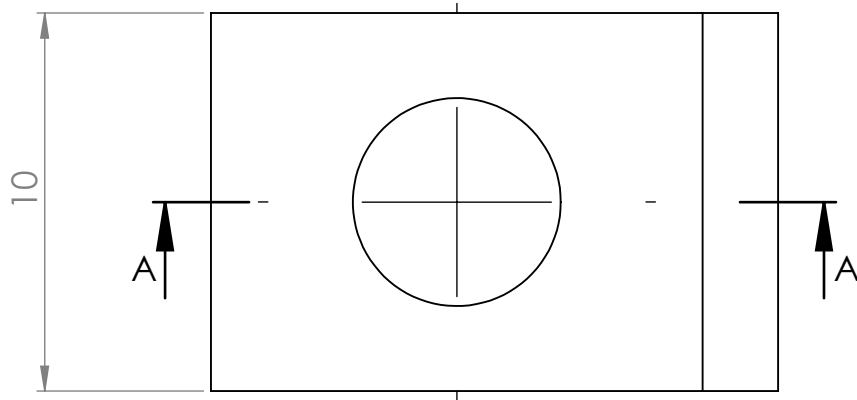


| | | | | |
|--------------------------|----------------------------|--------------|---------|--|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | |
| Material: | Aprobó | | | |
| Acero al carbono 1020 | Cant. | Apoyo | | Código |
| | 4 | | | Pieza |
| | | | | POD-CM-PM-G1-19 |
| | Toler. Rug. $\nabla\nabla$ | | | Plano |
| | | | | PM-A-G1-19 |

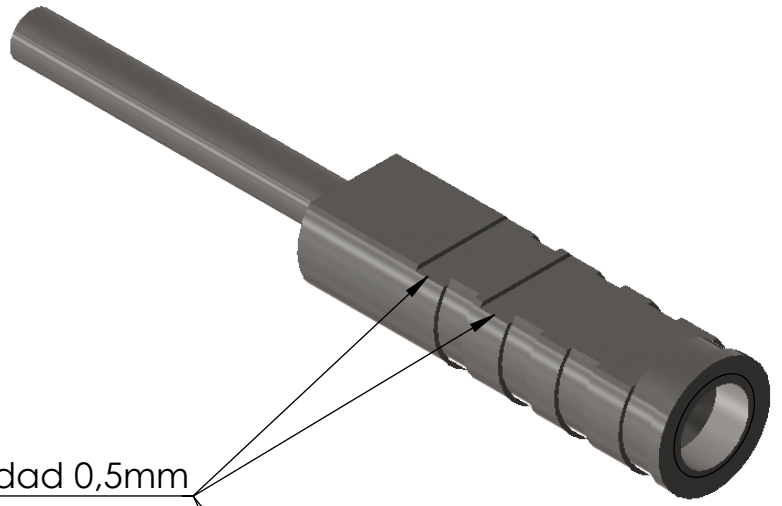


SECCIÓN A-A

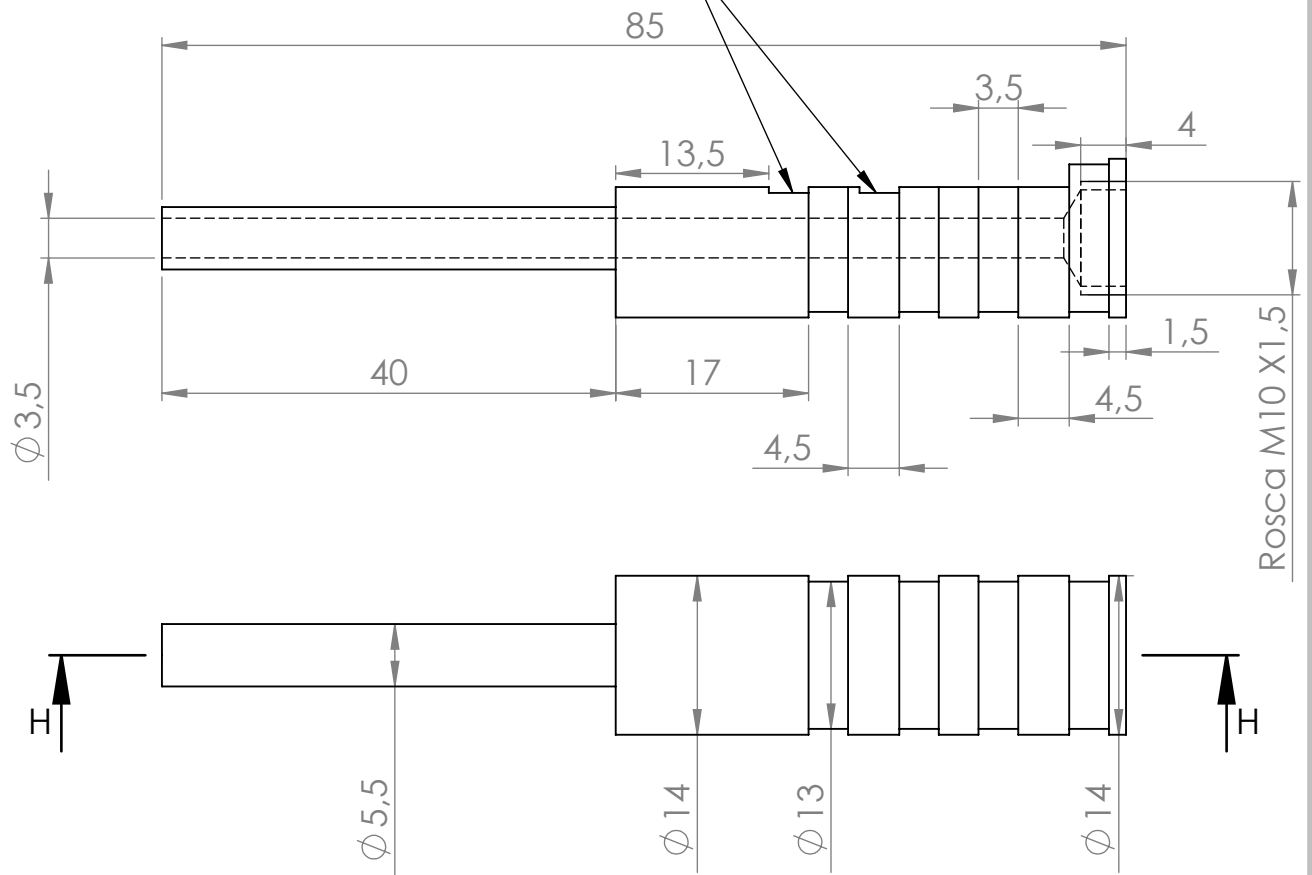
| | | | | |
|---------------------|----------------------------|------------------------|---------|--|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | |
| Material: | Aprobó | | | |
| Bronce | Cant. | Ajuste de perno | | Código |
| | 1 | | | Pieza |
| | | | | POD-CM-PM-G1-20 |
| | Toler. Rug. $\nabla\nabla$ | | | Plano |
| | | | | PM-A-G1-20 |



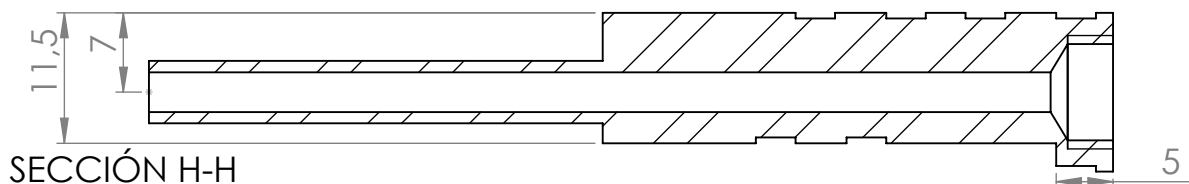
| | | | | | |
|---------------------|-----------------------------|---|---------|--|-----------------|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay | |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | | |
| Material: | Aprobó | | | | |
| Bronce | Cant. | Ajuste de perno Soporte de PIN | | Código | |
| | 1 | | | Pieza | POD-CM-PM-G1-21 |
| | | | | Plano | PM-A-G1-21 |
| | Toler. Rug. $\nabla \nabla$ | | | | |



Corte transversal Profundidad 0,5mm

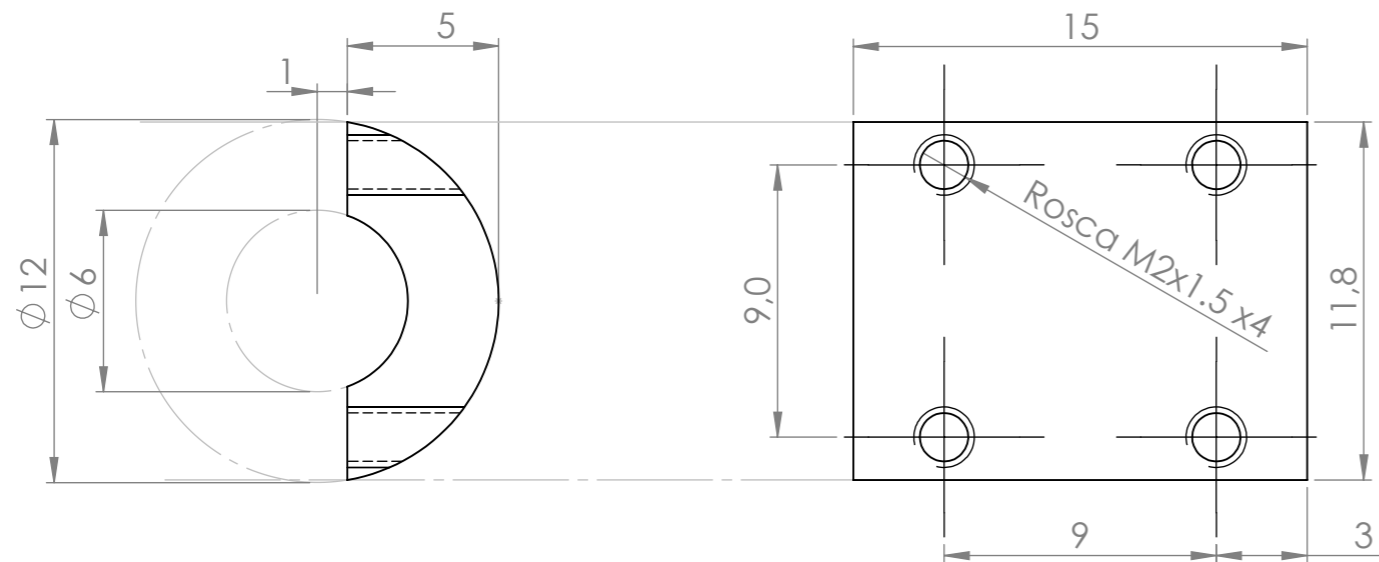


Fresar la pieza luego de torneear

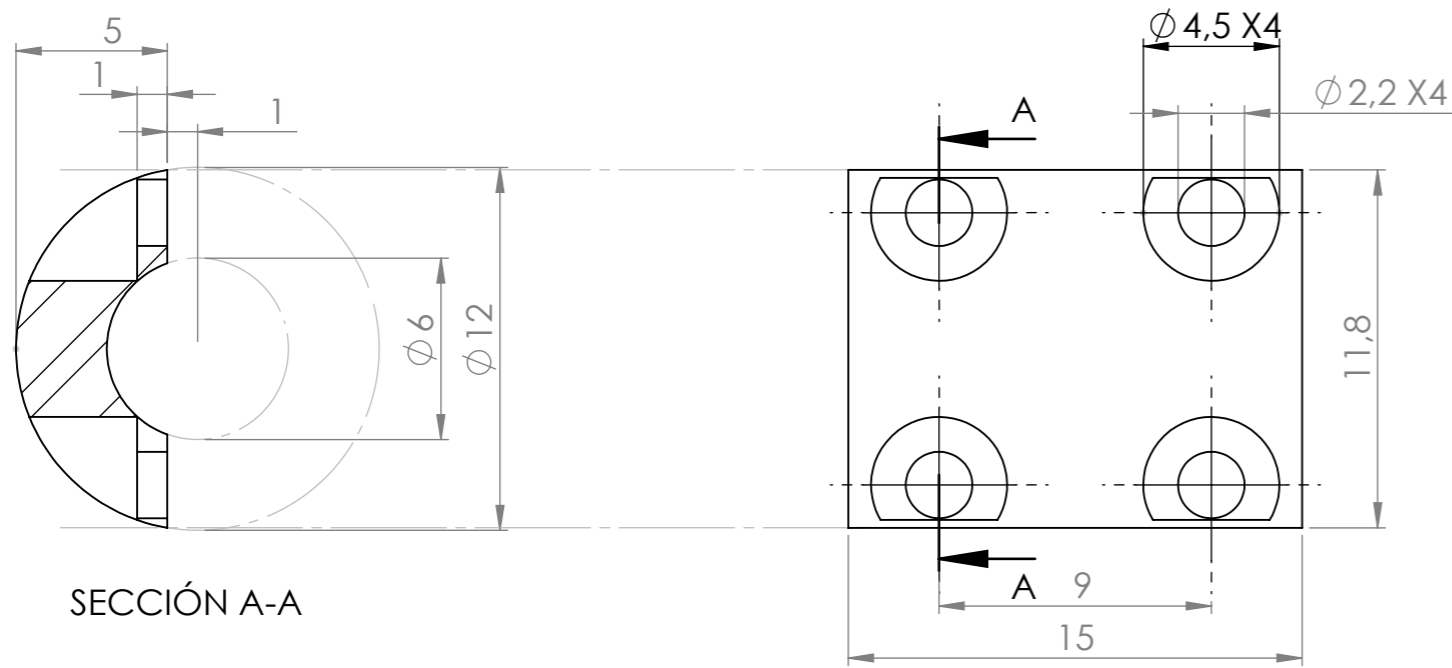


SECCIÓN H-H

| | | | | | | |
|-------------------------|-------------|-------------------|---------|--|--|-----------------|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay | | |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | | | |
| Material: | Aprobó | Parte fija | | Código | | |
| Acero Inox. AISI 304 | Cant. | | | Pieza | | POD-CM-PM-G2-25 |
| | Toler. Rug. | | | Plano | | PM-A-G2-25 |

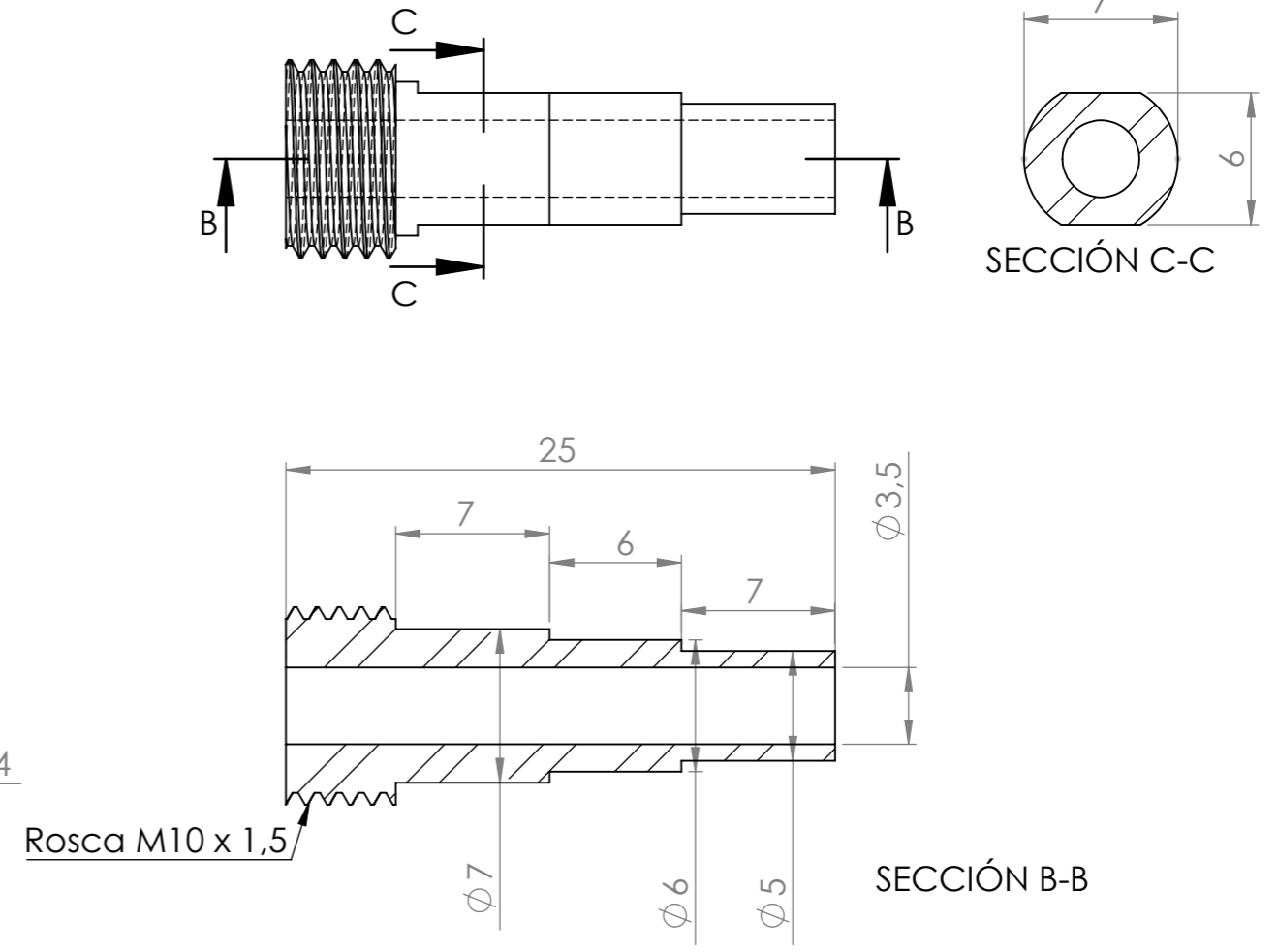


POD-CM-PM-G2-27



SECCIÓN A-A

POD-CM-PM-G2-28



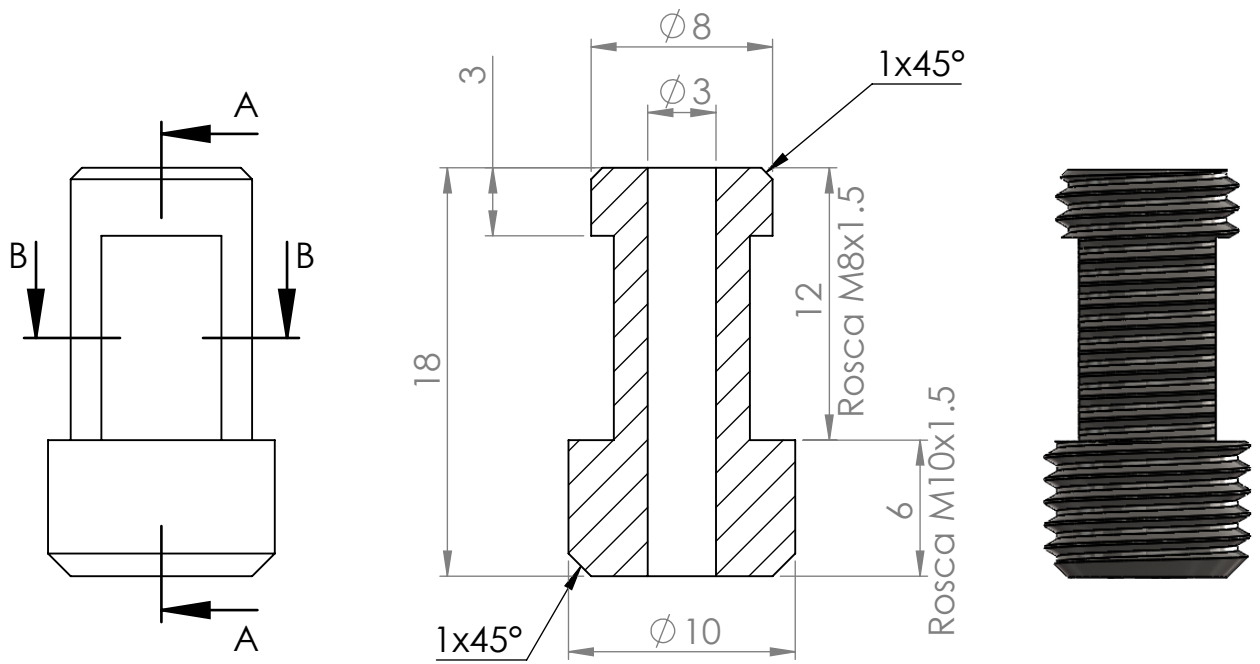
SECCIÓN B-B

SECCIÓN C-C

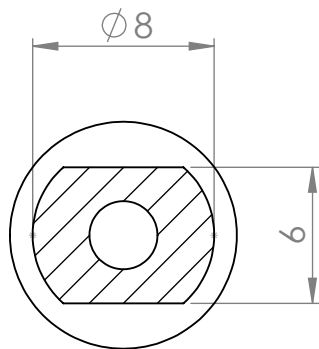
POD-CM-PM-G2-26

| Cant. | Pieza | Material |
|-------|-----------------|----------------------|
| 1 | POD-CM-PM-G2-26 | Acero Inox. AISI 304 |
| 1 | POD-CM-PM-G2-27 | Acero Inox. AISI 304 |
| 1 | POD-CM-PM-G2-28 | Acero Inox. AISI 304 |

| | | | | |
|---------------------|----------------------|---|---------|---|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | |
| Material: | Aprobó | Soporte de puntas PIN Cilíndrico | | Código Pieza POD-CM-PM-G2-26 POD-CM-PM-G2-27 POD-CM-PM-G2-28 Plano PM-A-G2-26 |
| --- | Cant. 1 | | | |
| | Toler. Rug. ∇ | | | |



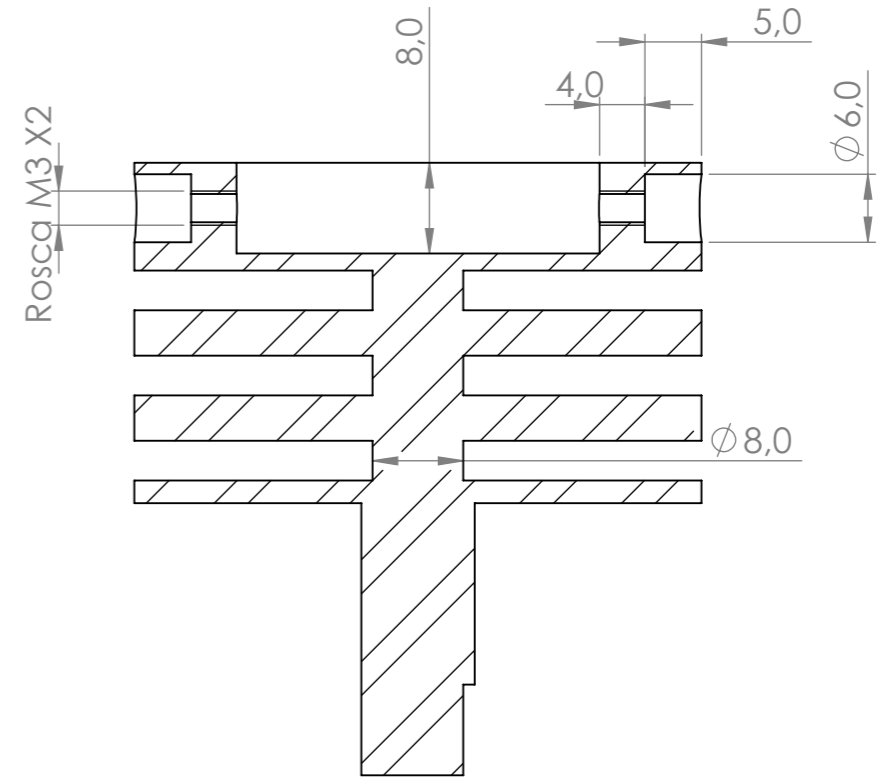
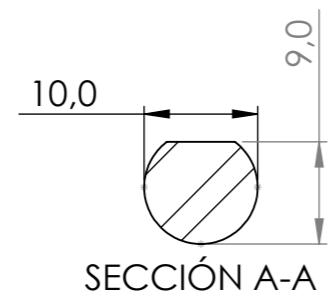
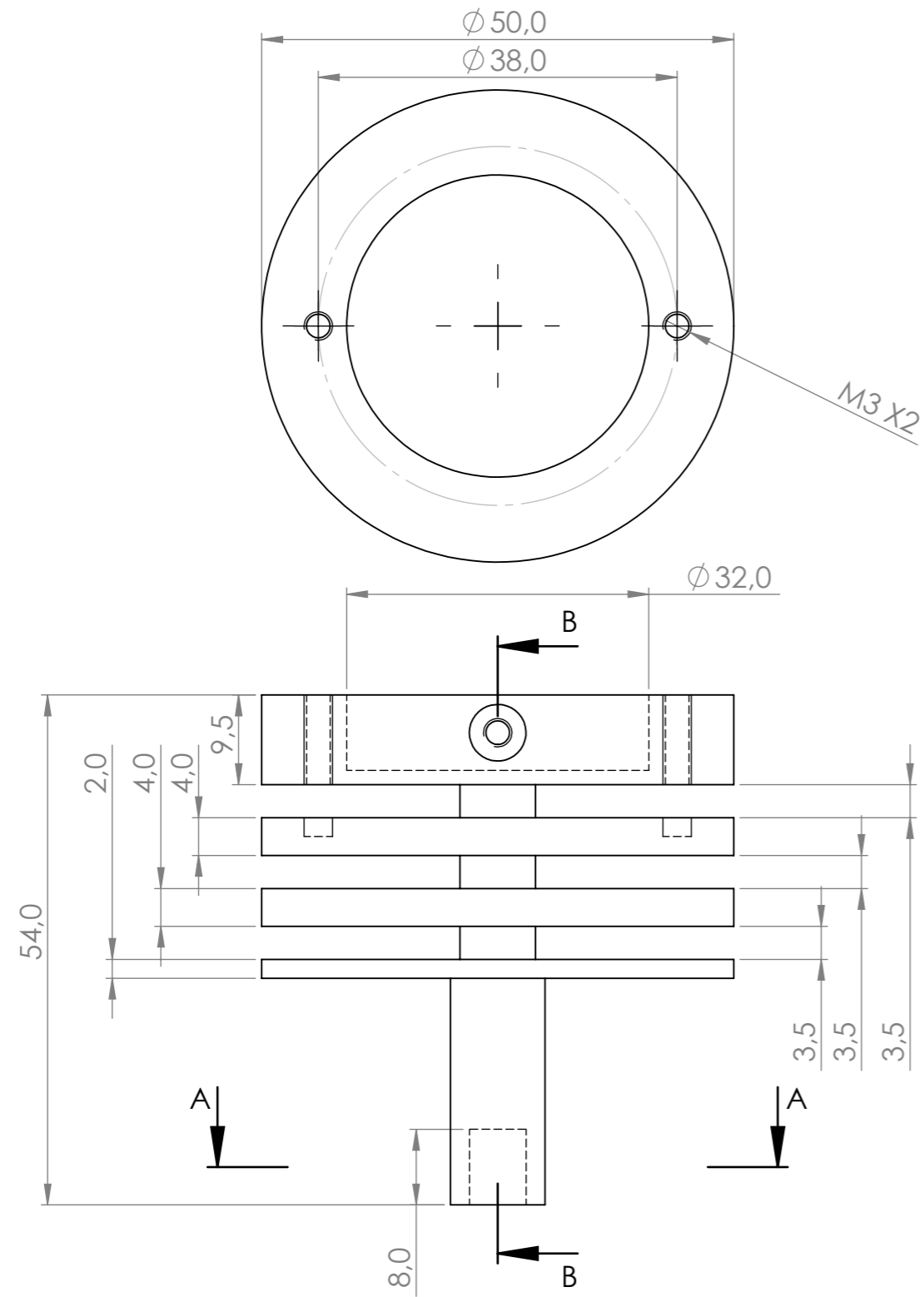
SECCIÓN A-A



SECCIÓN B-B



| | | | | |
|----------------------|-----------------------------|---|---------|--|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | |
| Material: | Aprobó | | | |
| Acero Inox. AISI 304 | Cant. | Soporte de puntas PIN Esférico | | Código |
| | 1 | | | Pieza |
| | | | | POD-CM-PM-G2-29 |
| | Toler. Rug. $\nabla \nabla$ | | | Plano |
| | | | | PM-A-G2-29 |

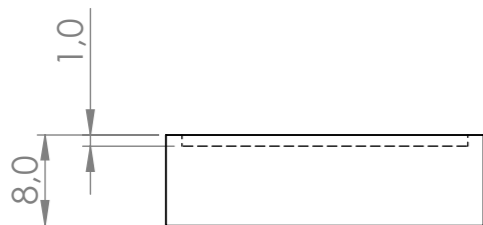
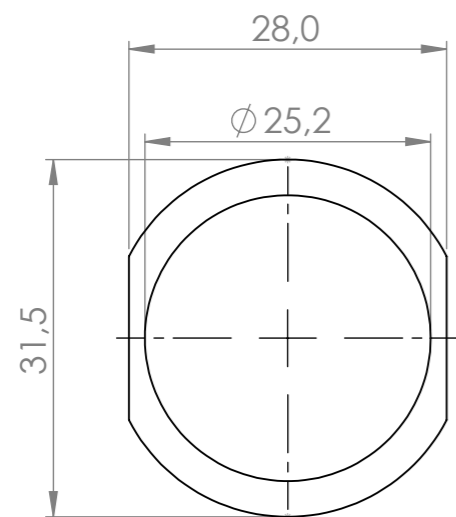
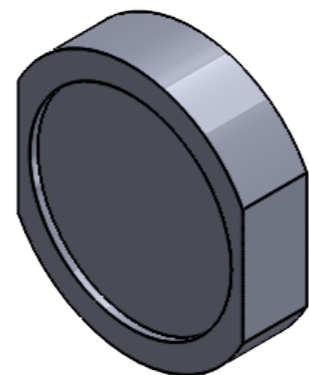


SECCIÓN B-B

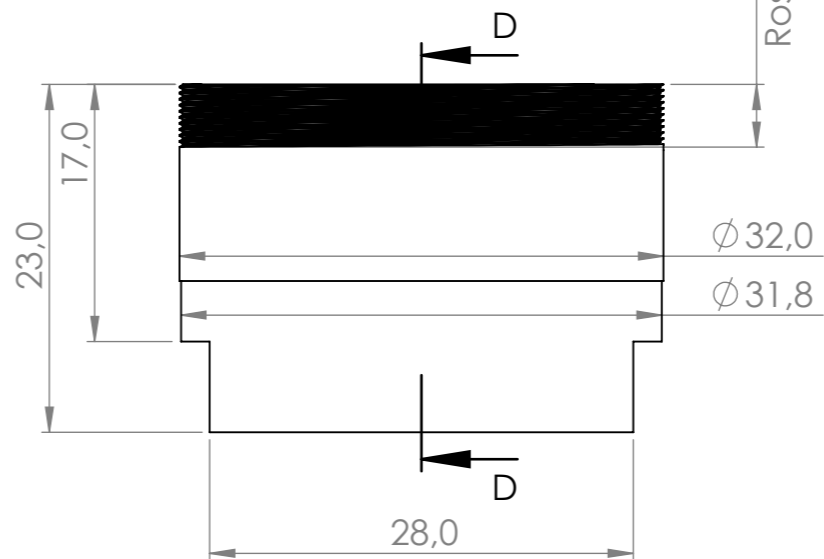
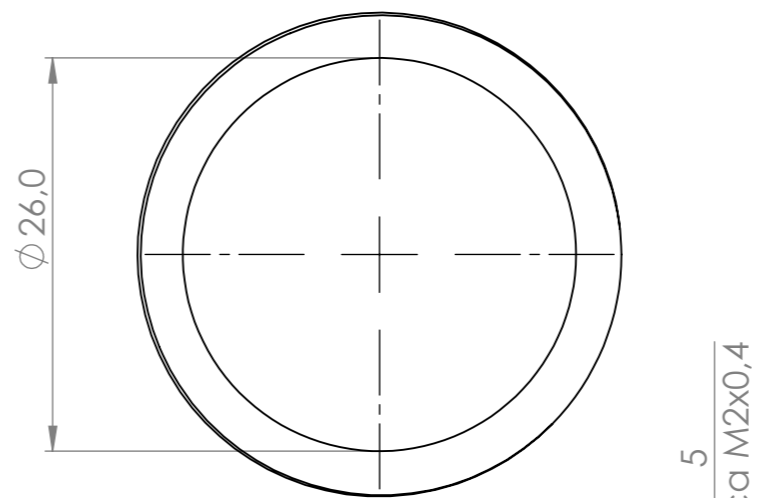
| | | | | |
|----------------------|-------------|---------|------------------------------|--|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | |
| Material: | Aprobó | | | Código |
| Acero Inox. AISI 304 | Cant. 1 | | | Pieza POD-CM-PM-G3-30 |
| | | | | Plano PM-A-G3-30 |
| | Toler. Rug. | | | |
| | | | Movimiento rotacional | |

8 7 6 5 4 3 2 1

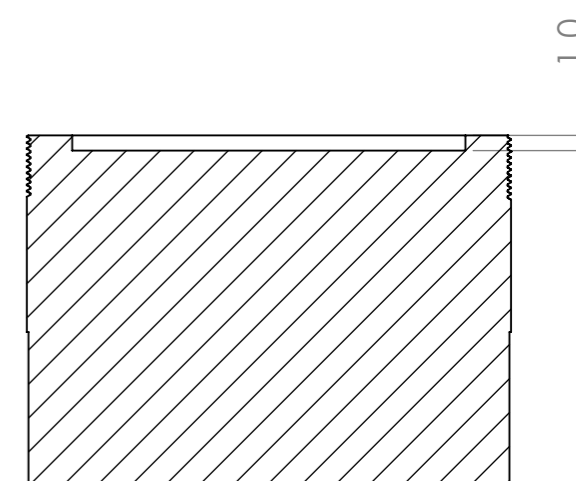
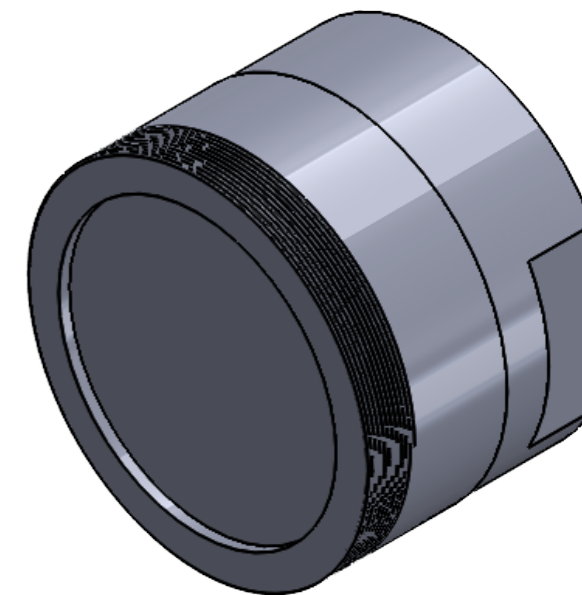
F
E
D
C
B
A



POD-CM-PM-G3-45



POD-CM-PM-G3-46



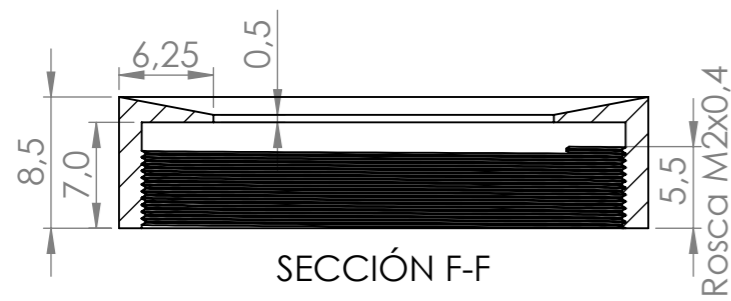
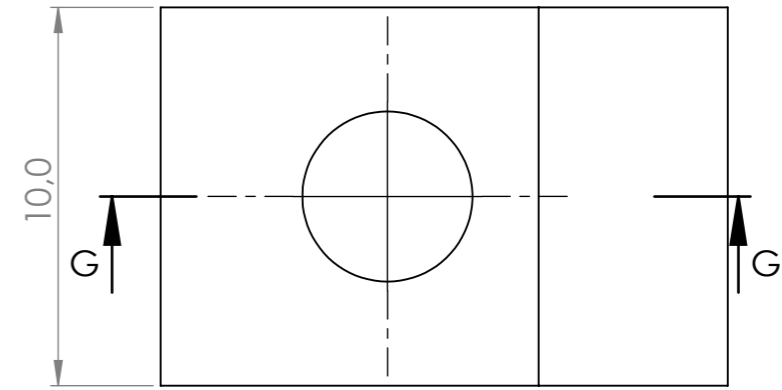
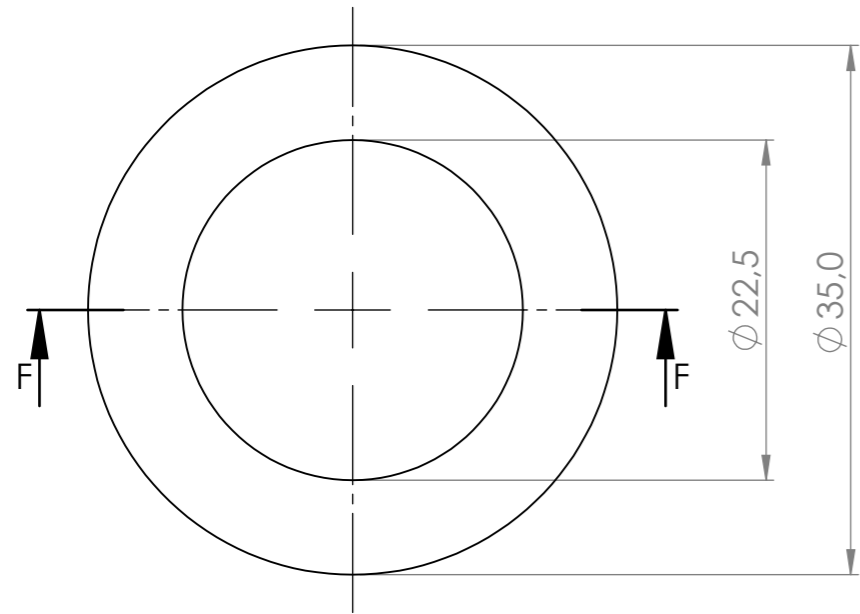
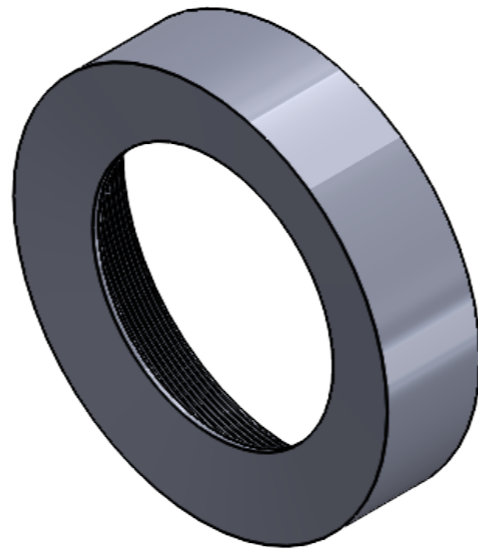
SECCIÓN D-D
ESCALA 2 : 1

| Cant. | Pieza | Material |
|-------|-----------------|----------------------|
| 1 | POD-CM-PM-G3-45 | Acero Inox. AISI 304 |
| 1 | POD-CM-PM-G3-46 | Acero Inox. AISI 304 |

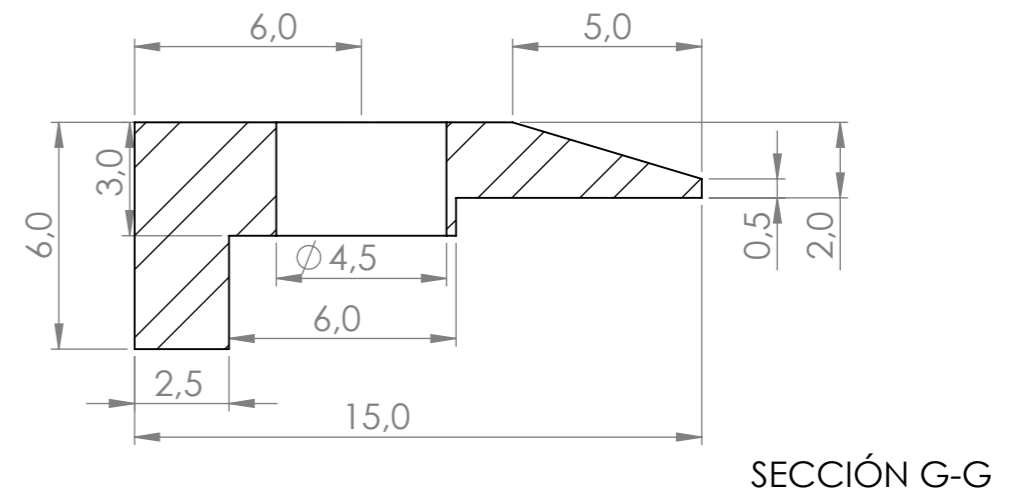
| | | | | |
|---------------------|----------------------|---|---------|--|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | |
| Material: | Aprobó | <h1 style="text-align: center;">Apoya probetas</h1> | | Código Pieza POD-CM-PM-G3-45 POD-CM-PM-G3-46 Plano PM-A-G3-45 |
| --- | Cant. 1 | | | |
| | | | | |
| | Toler. Rug. ∇ | | | |

8 7 6 5 4 3 2 1

F
E
D
C
B
A



SECCIÓN F-F
POD-CM-PM-G3-32

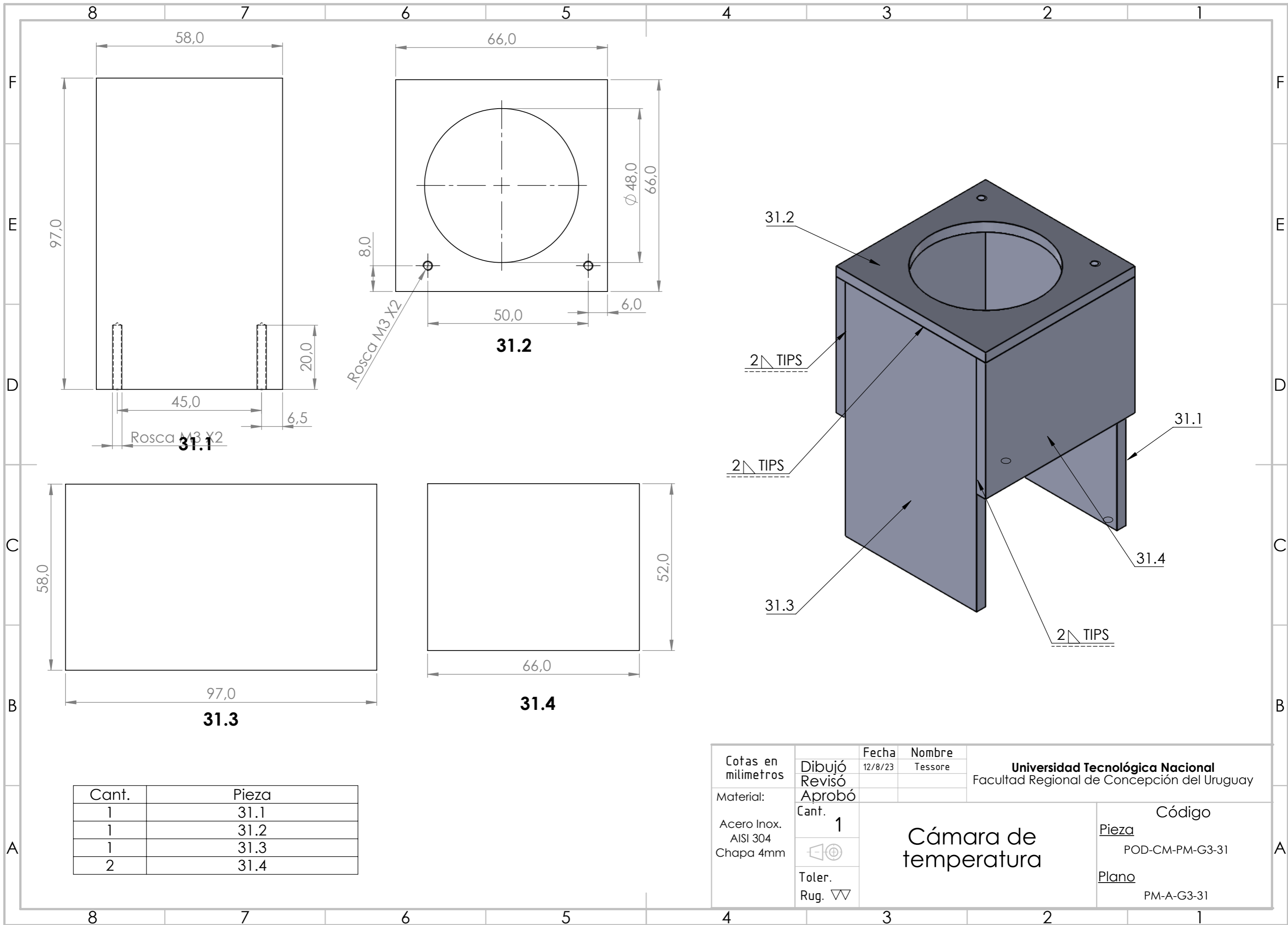


POD-CM-PM-G3-34

SECCIÓN G-G

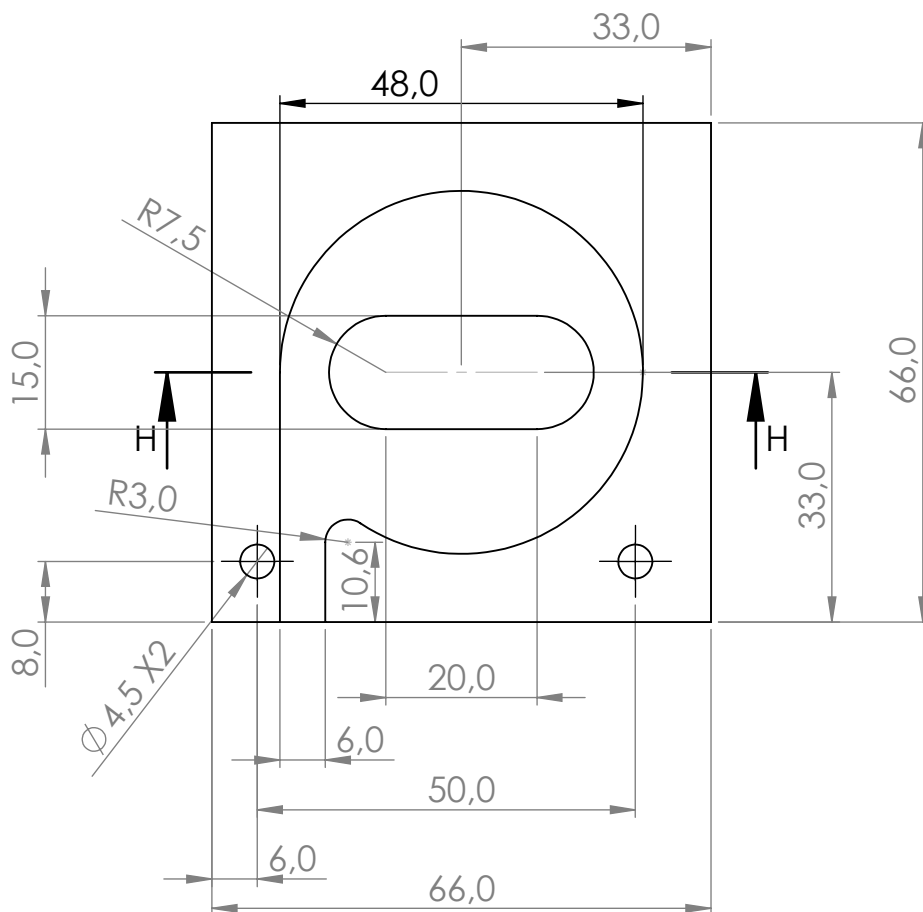
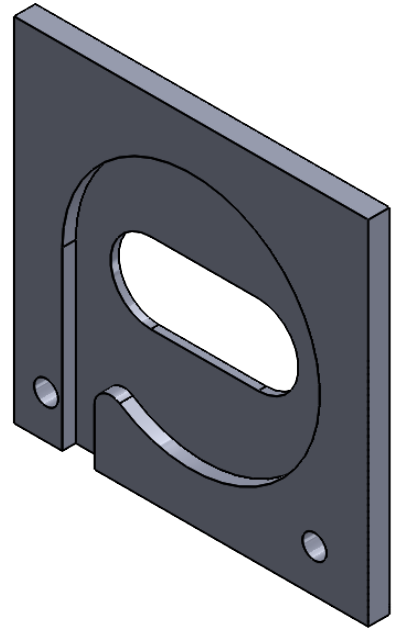
| Cant. | Pieza | Material |
|-------|-----------------|----------------------|
| 1 | POD-CM-PM-G3-32 | Acero Inox. AISI 304 |
| 2 | POD-CM-PM-G3-34 | Acero Inox. AISI 304 |

| | | | | |
|---------------------|-------------|----------|---------|--|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | |
| Material: | Aprobó | | | Código Pieza POD-CM-PM-G3-32 POD-CM-PM-G3-34 Plano PM-A-G3-32 |
| --- | Cant. | 1 | | |
| | | | | Agarre de probetas |
| | Toler. Rug. | ∇ | | |

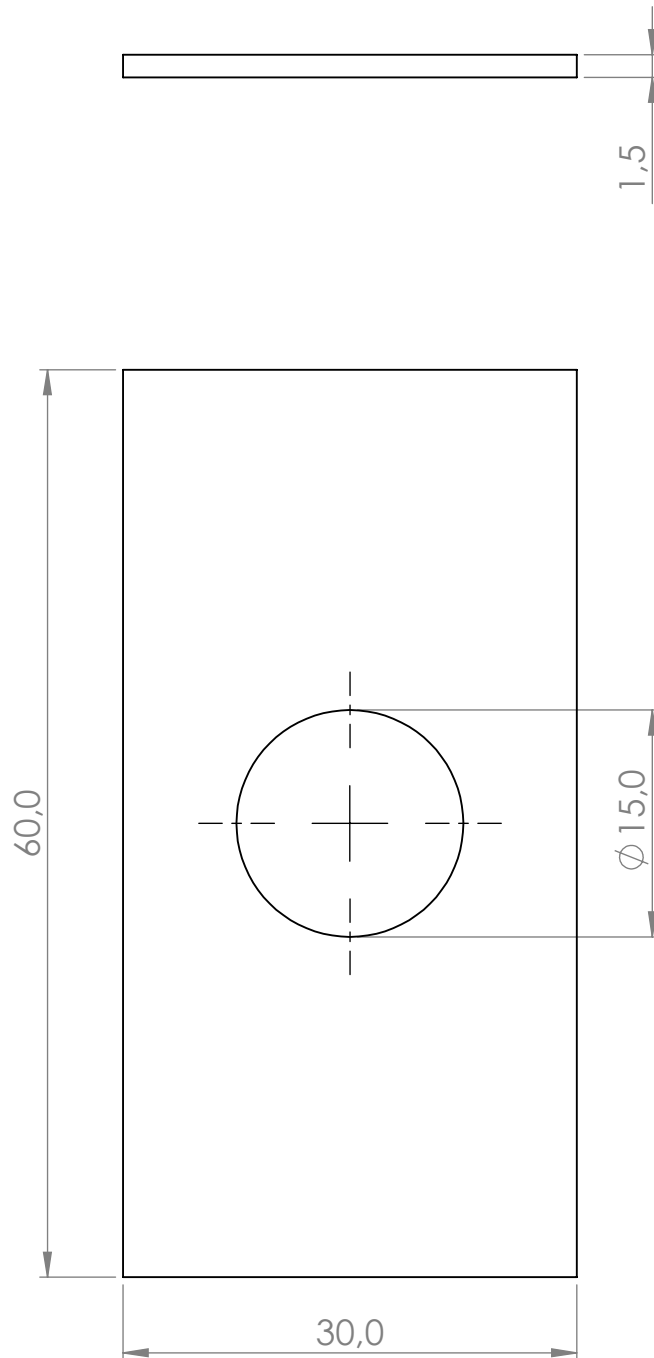


| Cant. | Pieza |
|-------|-------|
| 1 | 31.1 |
| 1 | 31.2 |
| 1 | 31.3 |
| 2 | 31.4 |

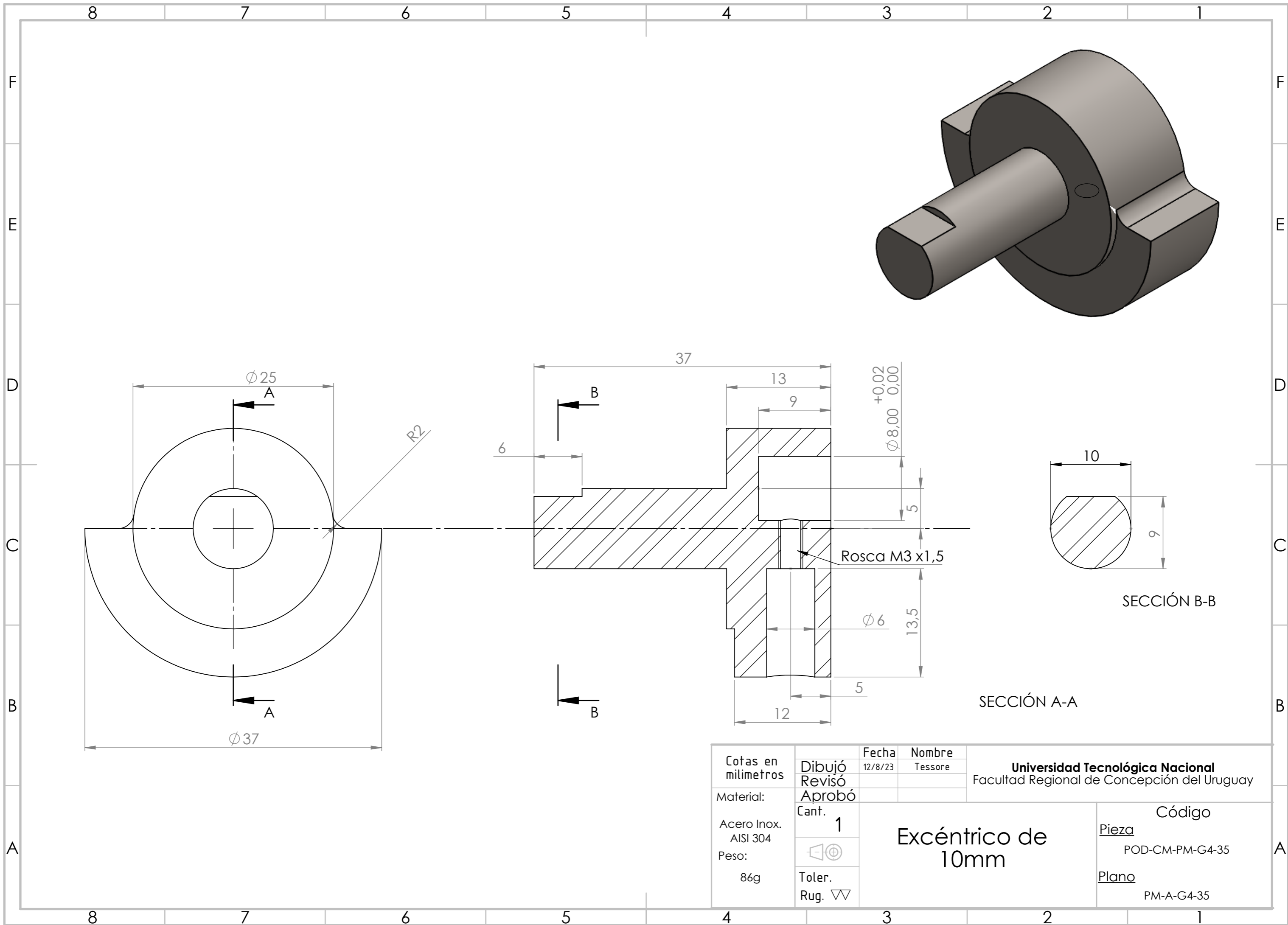
| | | | | |
|----------------------|----------------------|--------------------------------|---------|--|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | |
| Material: | Aprobó | | | |
| Acero Inox. AISI 304 | Cant. 1 | <h1>Cámara de temperatura</h1> | | Código |
| Chapa 4mm | | | | Pieza |
| | Toler. Rug. ∇ | | | POD-CM-PM-G3-31 Plano PM-A-G3-31 |



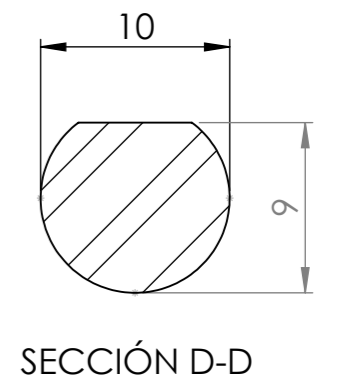
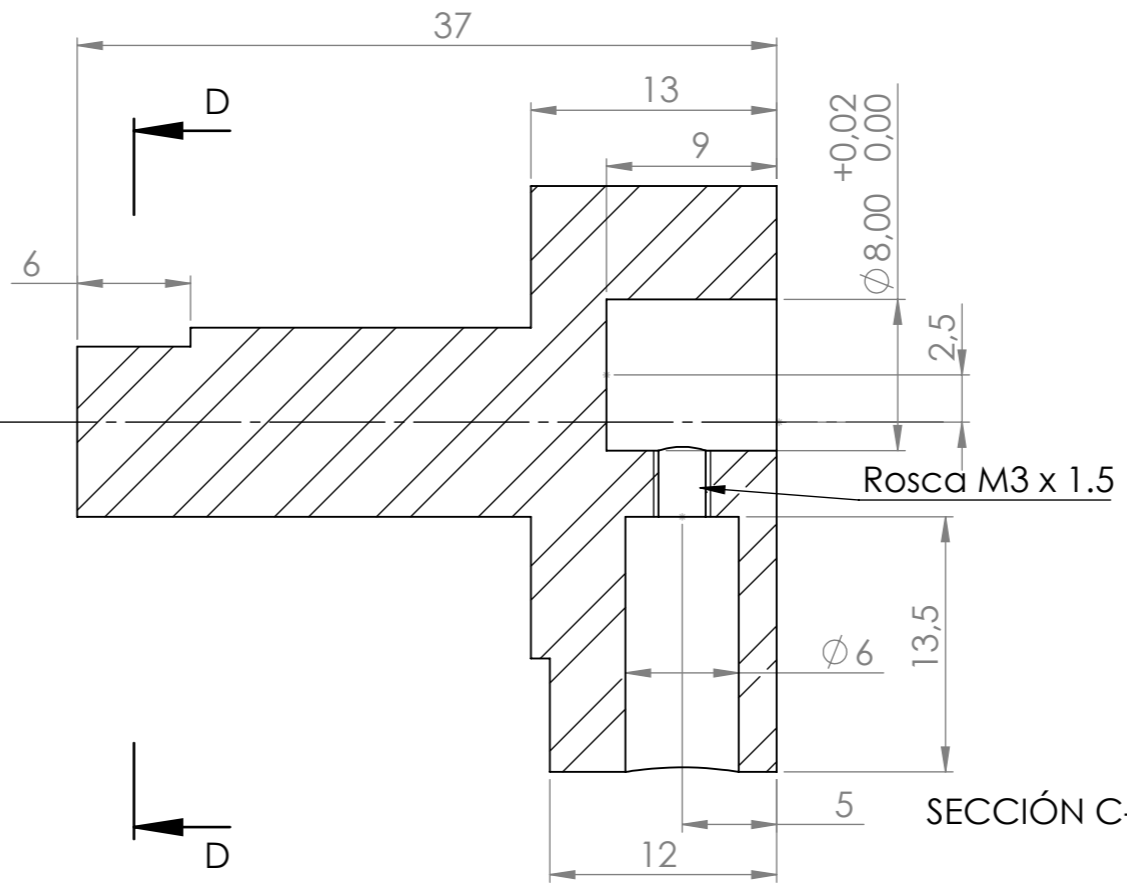
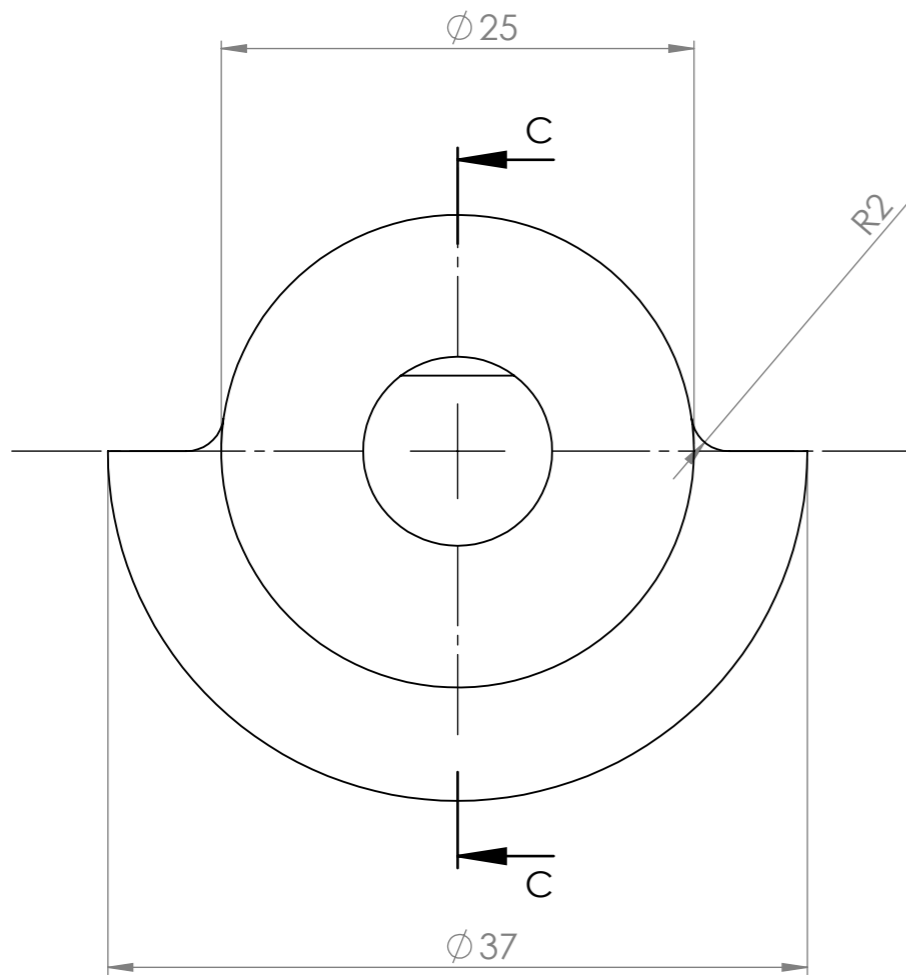
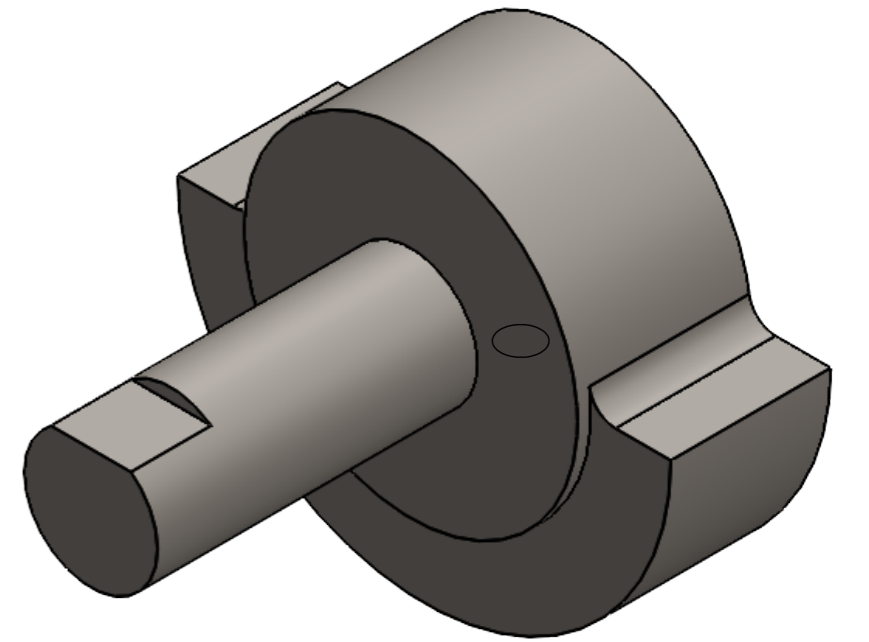
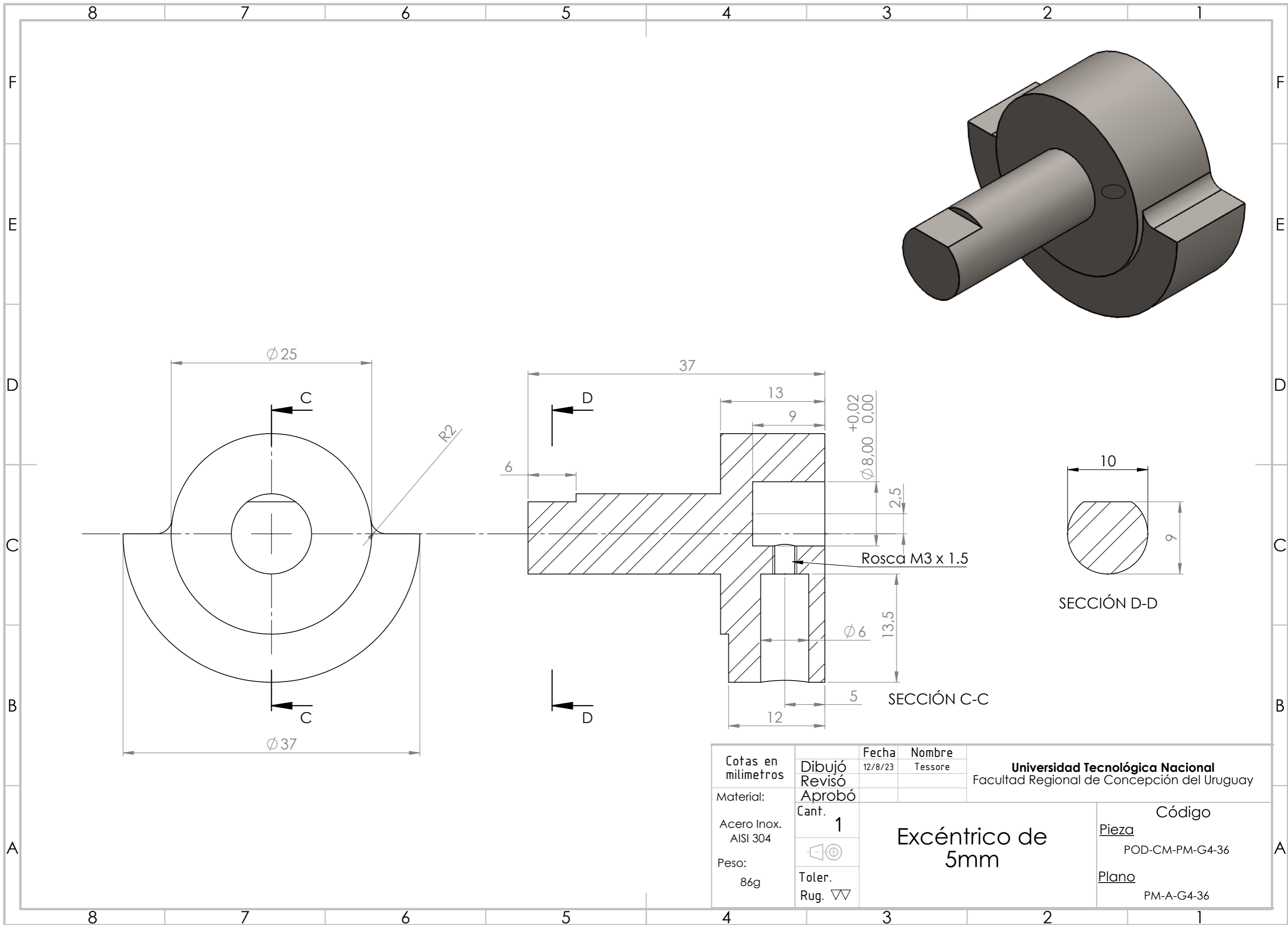
| | | | | |
|----------------------|-----------------------------|----------------|---------|--|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | |
| Material: | Aprobó | | | |
| Acero Inox. AISI 304 | Cant. | | | |
| | 1 | Tapa de cámara | | Código |
| | | | | Pieza |
| | Toler. Rug. $\nabla \nabla$ | | | POD-CM-PM-G3-33 |
| | | | | Plano |
| | | | | PM-A-G3-33 |



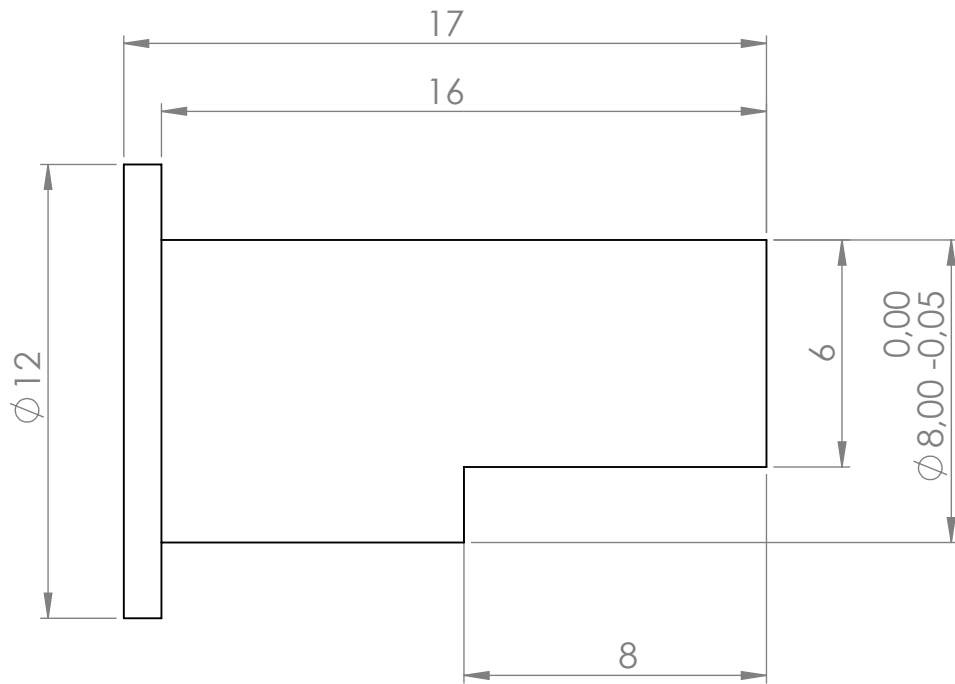
| | | | | |
|--|-------------------------------|-------------------------------|---------|--|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | |
| Material: | Aprobó | | | |
| Acero Inox. AISI 304 Chapa 1,5mm | Cant. | Cobertura de radiación | | Código |
| | 1 | | | Pieza |
| | Toler. Rug. $\nabla\nabla$ | | | POD-CM-PM-G3-47 |
| | $\square \oplus$ | | | Plano |
| | | | | PM-A-G3-47 |



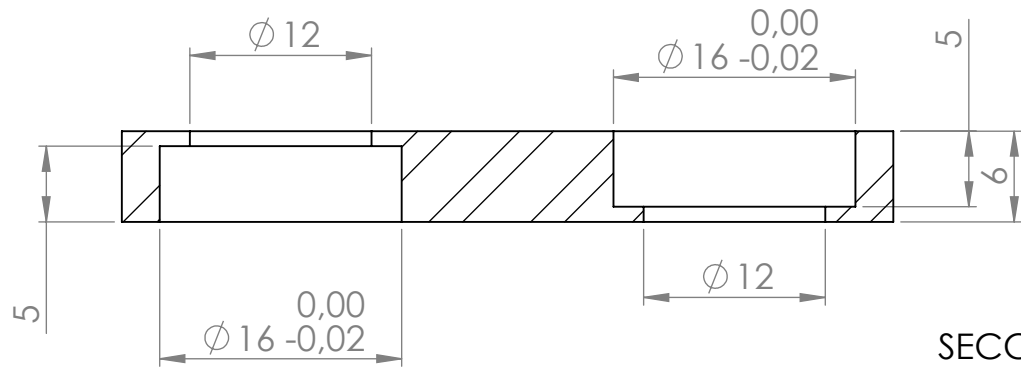
| | | | | |
|----------------------|----------------------|---------------------------|---------|--|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | |
| Material: | Aprobó | | | |
| Acero Inox. AISI 304 | Cant. 1 | Excéntrico de 10mm | | Código |
| Peso: 86g | | | | Pieza |
| | Toler. Rug. ∇ | | | POD-CM-PM-G4-35 Plano PM-A-G4-35 |



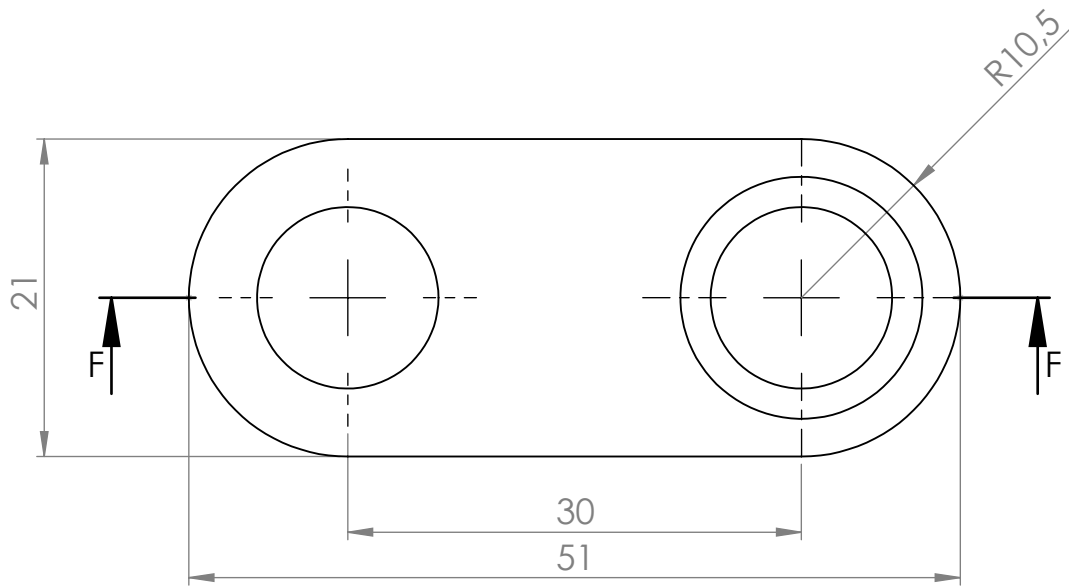
| | | | | |
|----------------------|----------------------|-------------------|---------|---|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | |
| Material: | Aprobó | | | |
| Acero Inox. AISI 304 | Cant. 1 | | | Código |
| Peso: 86g | Toler. Rug. ∇ | Excéntrico de 5mm | | Pieza POD-CM-PM-G4-36 |
| | | | | Plano PM-A-G4-36 |



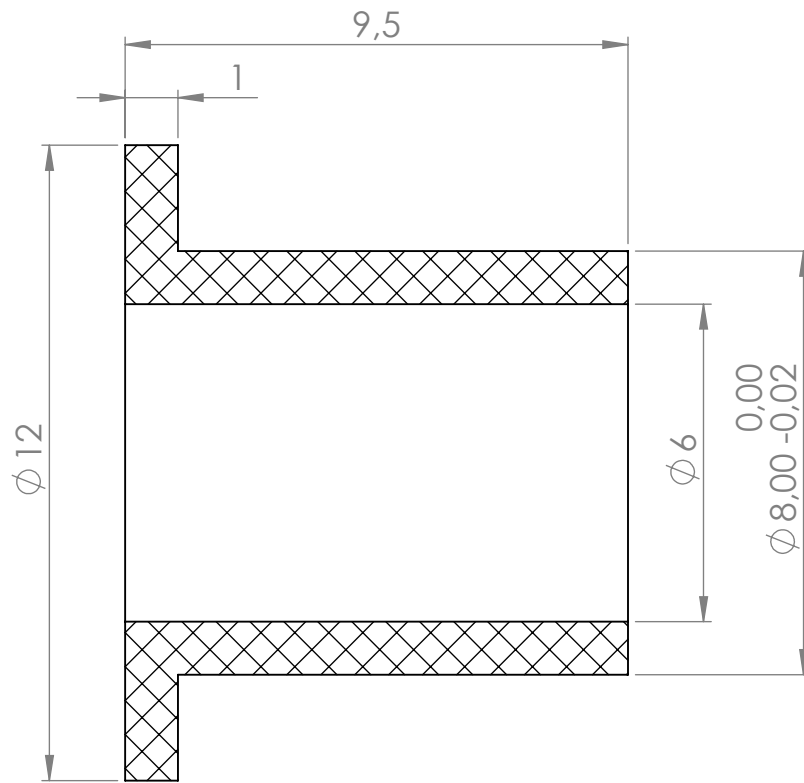
| | | | | |
|----------------------|-----------------------------|----------------|---------|--|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | |
| Material: | Aprobó | | | |
| Acero Inox. AISI 304 | Cant. | <h1>Perno</h1> | | Código <u>Pieza</u> POD-CM-PM-G4-37 |
| Peso: | 1 | | | <u>Plano</u> PM-A-G4-37 |
| 6,6g | Toler. Rug. $\nabla \nabla$ | | | |



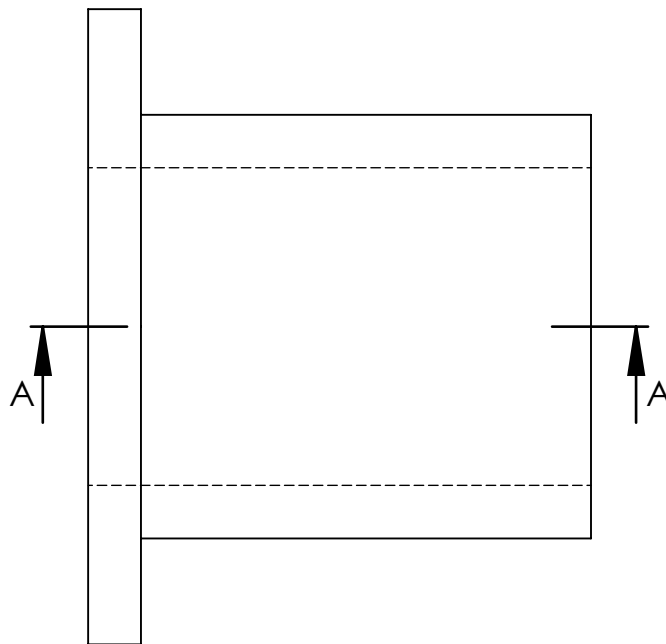
SECCIÓN F-F



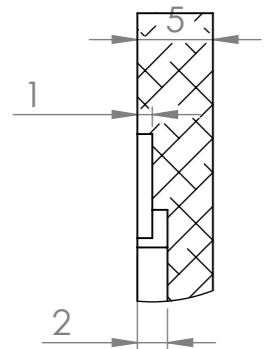
| | | | | |
|----------------------|-----------------------------|--|---------|--|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | |
| Material: | Aprobó | | | |
| Acero Inox. AISI 304 | Cant. | <h1 style="text-align: center;">Biela</h1> | | Código |
| Peso: 28,4g | 1 | | | Pieza |
| | Toler. Rug. $\nabla \nabla$ | | | Plano |
| | | | | PM-A-G4-38 |



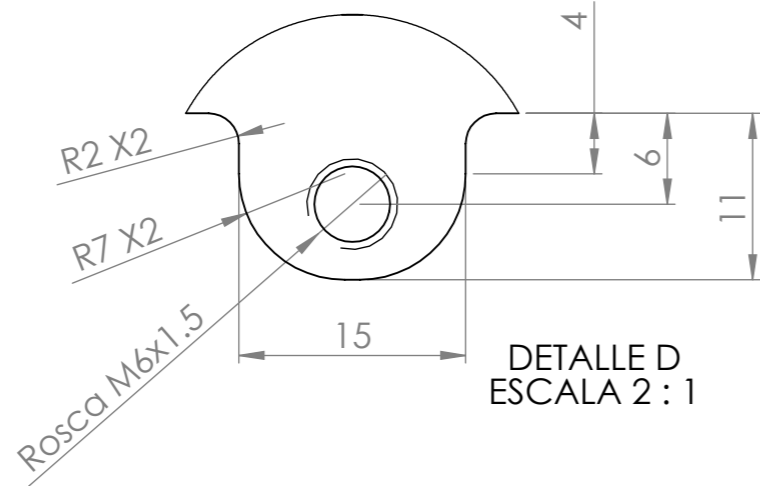
SECCIÓN A-A



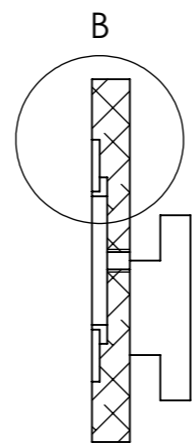
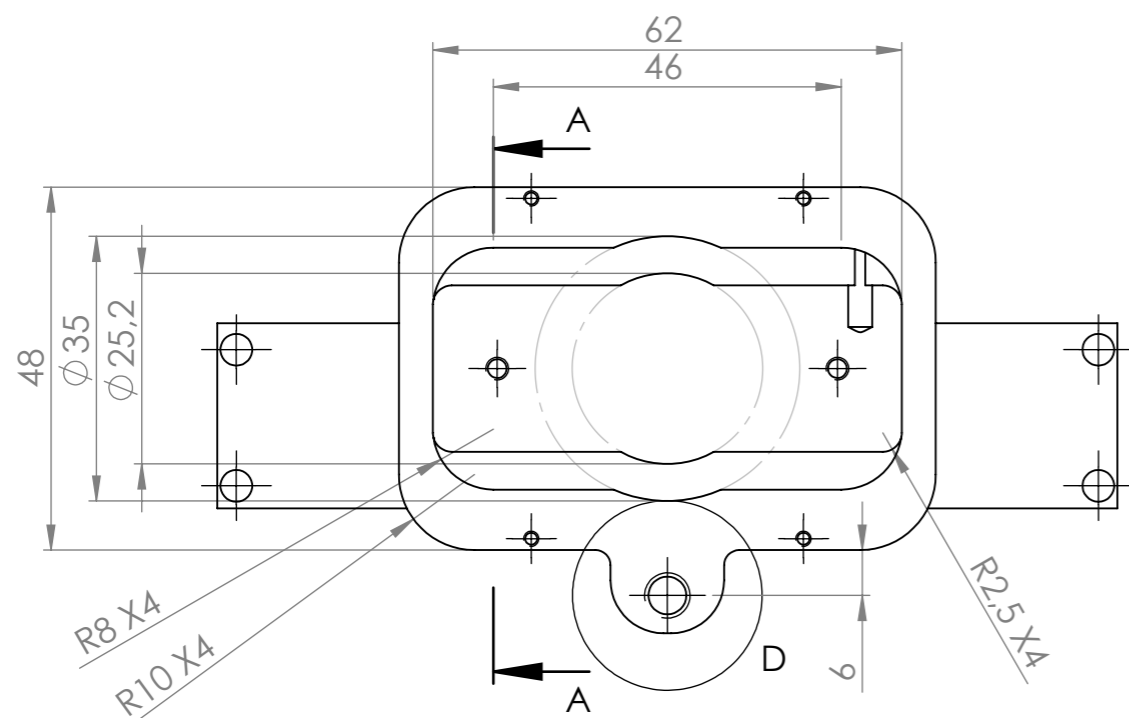
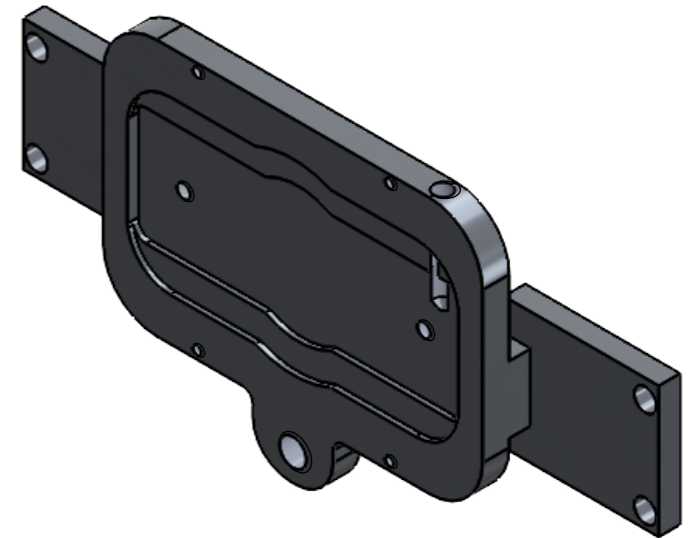
| | | | | |
|-------------------------|---|---|---------|--|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | |
| Material: | Aprobó | | | |
| Acero Inox. AISI 304 | Cant. | <h1 style="text-align: center;">Buje de acoplamiento</h1> | | Código |
| | 1 | | | Pieza |
| |  | | | POD-CM-PM-G4-39 |
| Toler. Rug. |  | | | Plano PM-A-G4-39 |



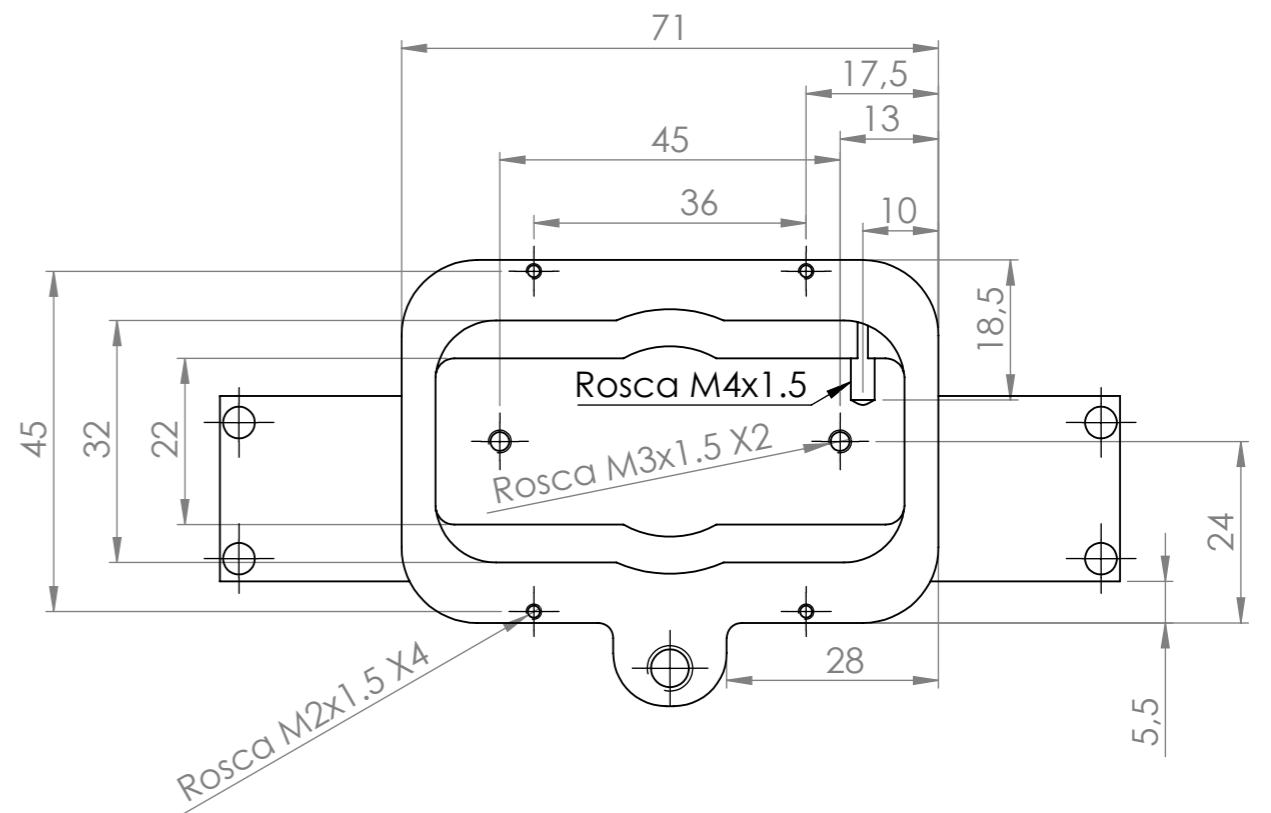
DETALLE B
ESCALA 2 : 1



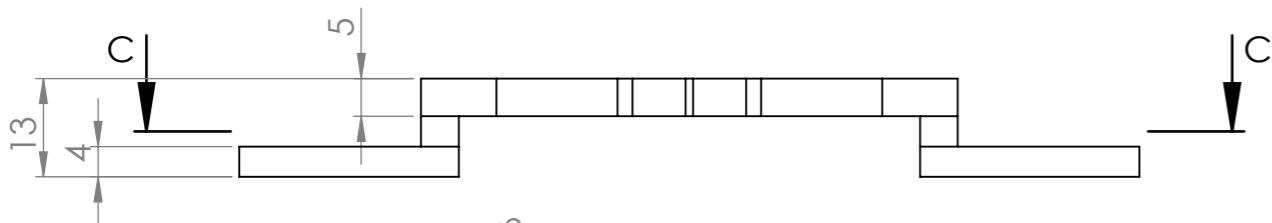
DETALLE D
ESCALA 2 : 1



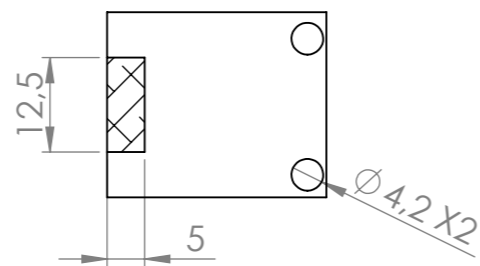
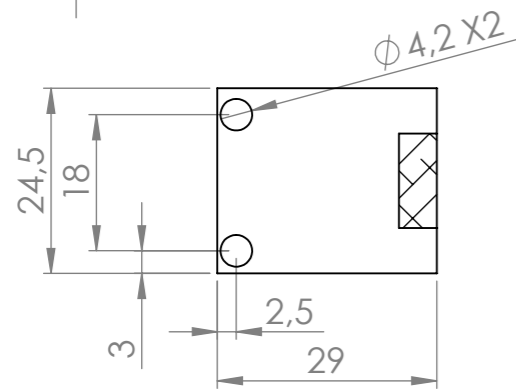
SECCIÓN A-A



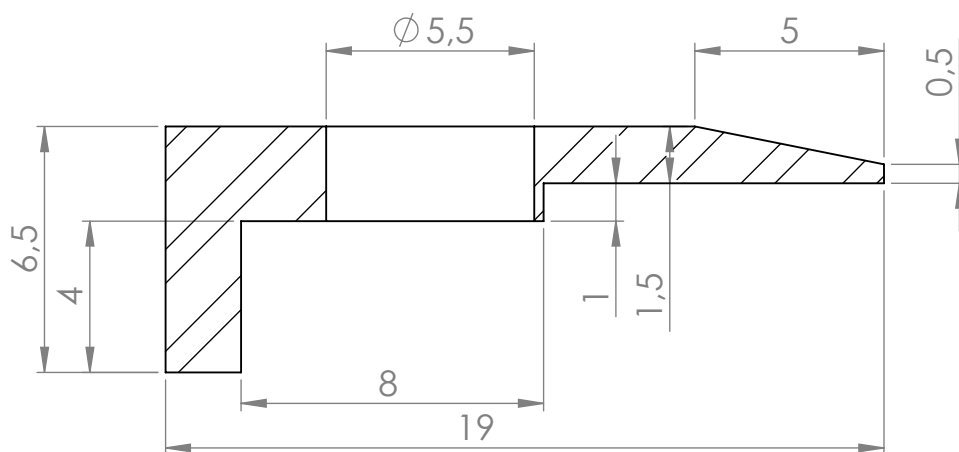
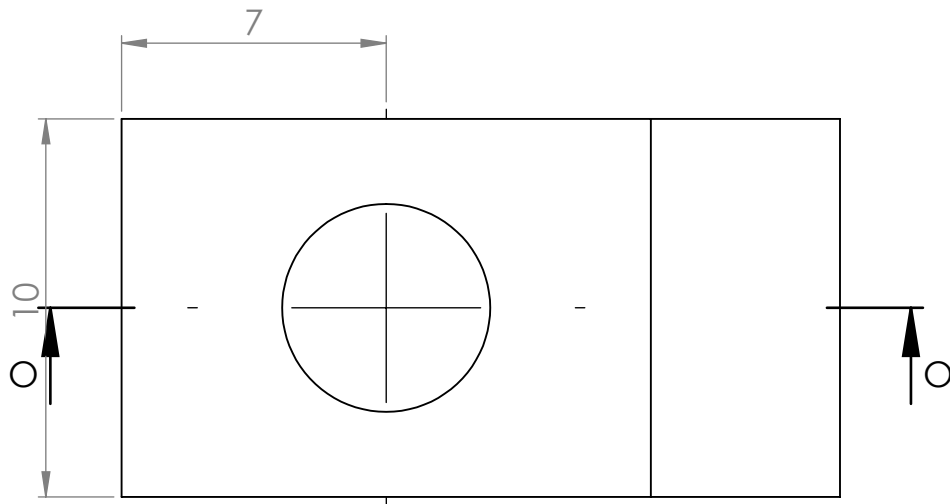
Rosca M2x1.5 X4



SECCIÓN C-C

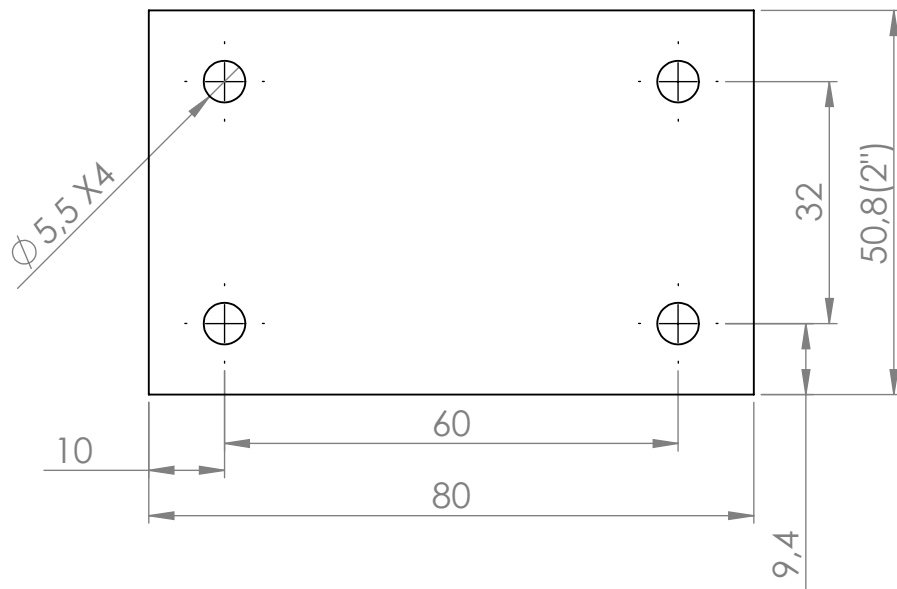
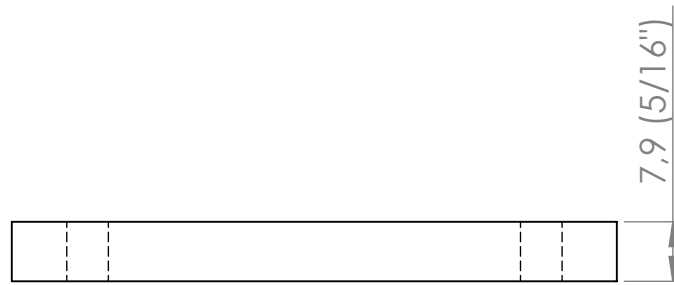


| | | | | |
|---------------------|-----------------------------|----------------|---------|---|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | |
| Material: | Aprobó | Código | | Pieza |
| Aluminio 6061-T6510 | Cant. 1 | | | |
| Peso: | Toler. Rug. $\nabla \nabla$ | Porta probetas | | Plano |
| 53g | | | | PM-A-G1-40 |

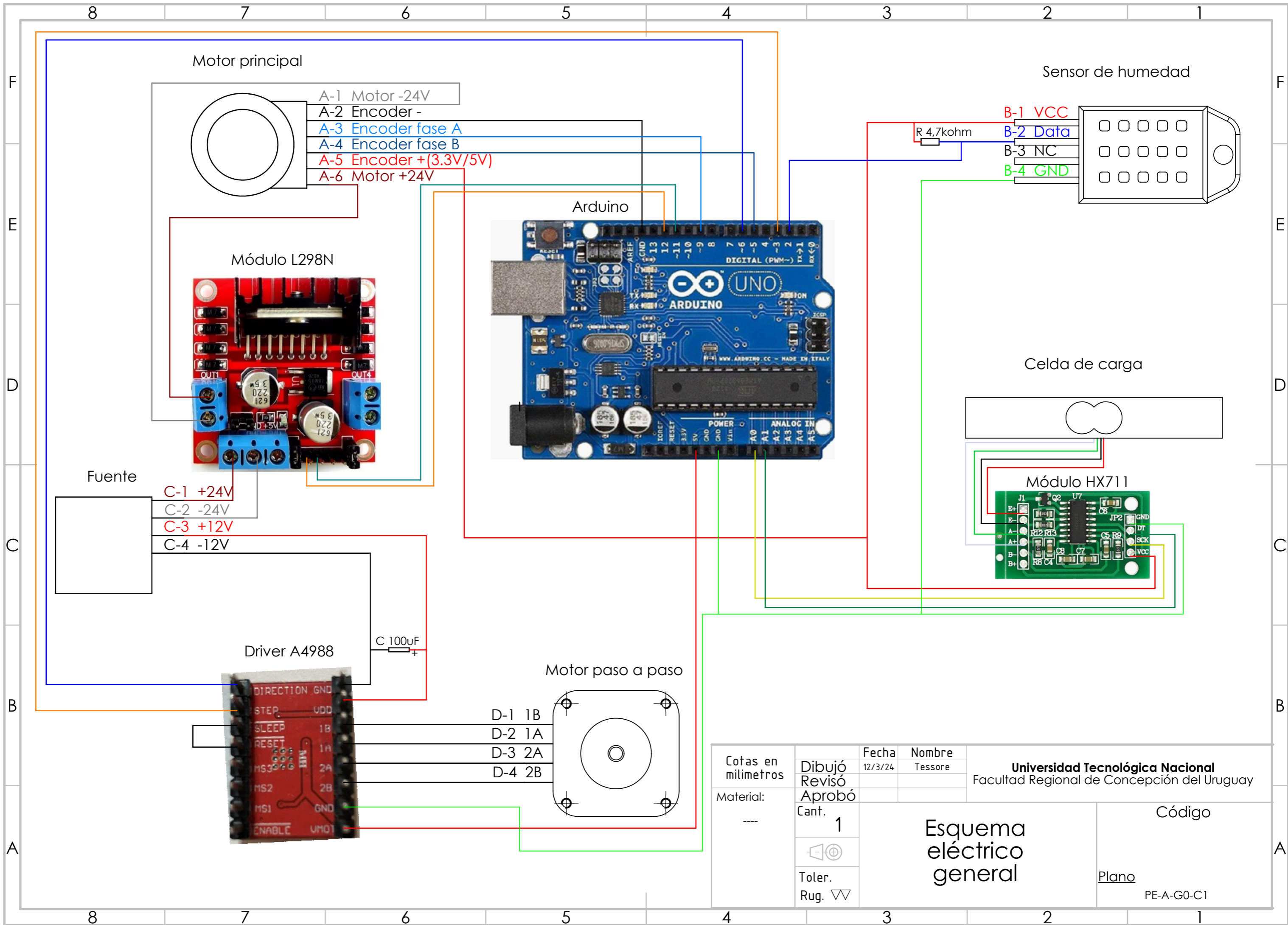


SECCIÓN O-O

| | | | | |
|----------------------------|--------|---------------------------|---------|--|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | |
| Material: | Aprobó | | | |
| Acero Inox. AISI 304 | Cant. | Agarre de probetas | | Código |
| | 2 | | | Pieza |
| | | | | POD-CM-PM-G4-42 |
| Toler. Rug. $\nabla\nabla$ | | | | Plano |
| | | | | PM-A-G4-42 |



| | | | | |
|-------------------------|--------------------------------|---|---------|--|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay |
| | Revisó | 12/8/23 | Tessore | |
| Material: | Aprobó | | | |
| Acero Inox. AISI 304 | Cant. | Planchuelas 2" x 5/16" | | Código |
| | 4 | | | Pieza |
| | Toler. Rug. $\nabla \nabla$ | | | Plano |
| | | | | POD-CM-PM-G4-43 |
| | | | | PM-A-G4-43 |



Motor principal

- A-1 Motor -24V
- A-2 Encoder -
- A-3 Encoder fase A
- A-4 Encoder fase B
- A-5 Encoder +(3.3V/5V)
- A-6 Motor +24V

Sensor de humedad

- B-1 VCC
- B-2 Data
- B-3 NC
- B-4 GND

Módulo L298N

Arduino

Celda de carga

Fuente

- C-1 +24V
- C-2 -24V
- C-3 +12V
- C-4 -12V

Módulo HX711

Driver A4988

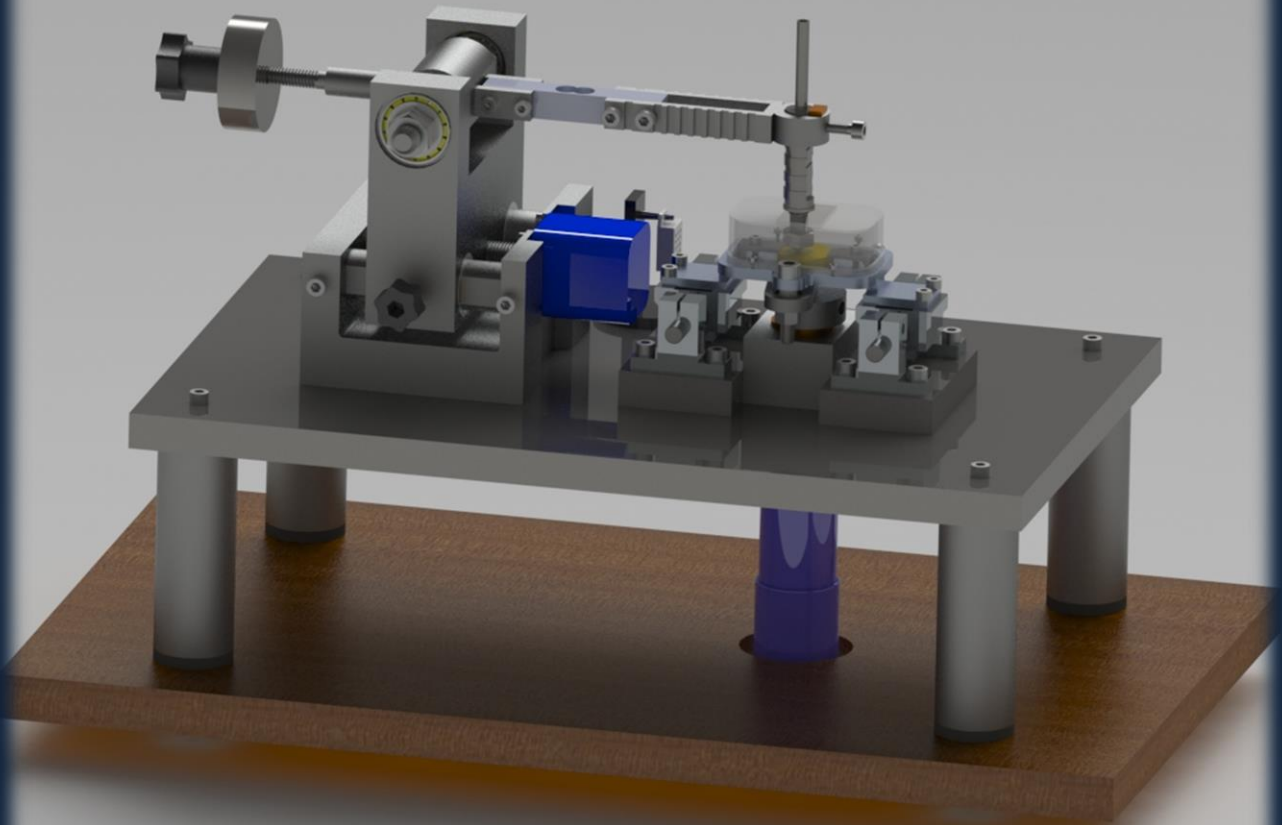
C 100uF

Motor paso a paso

- D-1 1B
- D-2 1A
- D-3 2A
- D-4 2B

| | | | | |
|---------------------|----------------|----------------------------------|---------|--|
| Cotas en milímetros | Dibujó | Fecha | Nombre | Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Concepción del Uruguay |
| | Revisó | 12/3/24 | Tessore | |
| Material: | Aprobó | Esquema eléctrico general | | Código |
| --- | Cant. 1 | | | |
| | Toler. Rug. ∇∇ | | | |

2024



Manual de usuario

PIN-ON-DISK AND BALL-ON-FLAT

TESSORE JONATHAN
PROYECTO FINAL DE CARRERA | Facultad Regional de Concepción del Uruguay

Introducción

Manual de usuario una máquina de ensayos de desgaste. Esta máquina brinda la oportunidad de evaluar el comportamiento de los materiales bajo condiciones ambientales controladas y variables, permitiendo realizar un análisis detallado de su coeficiente de fricción y del tipo de mecanismo de desgaste involucrado. La información obtenida será de vital importancia para el desarrollo de nuevos materiales o la selección del recubrimiento más adecuado para las condiciones de trabajo de la pieza en estudio.

La máquina cuenta con la capacidad de realizar ensayos como el Pin-On-Disk, que sigue los parámetros establecidos por la norma ASTM G99 y permite la evaluación del daño progresivo en una trayectoria de desgaste circunferencial. Además, este ensayo puede realizarse a elevadas temperaturas.

Por otro lado, el ensayo Ball-On-Flat, que sigue los parámetros de la norma ASTM G133, este genera un daño progresivo en una trayectoria de desgaste lineal. Esta prueba también le ofrece la posibilidad de sumergir la probeta completamente en líquidos para simular diferentes condiciones de trabajo.

Este manual le proporcionará toda la información necesaria para operar la máquina de manera segura y eficiente, así como para interpretar los resultados obtenidos de los ensayos realizados.

Instrucción de montaje

En relación con el montaje del equipo, es importante destacar que este se dividirá en tres partes principales. La primera consistirá en el montaje general de la máquina, mientras que las otras dos se llevarán a cabo en función del tipo de ensayo que sea necesario realizar.

Montaje general

Paso 1: Montaje del variador de radio

Para dar inicio al montaje, se procederá a ajustar la base del variador de radio y los apoyos a la base principal, además de colocar por ajuste el rodamiento en la base del variador de radio (ver Figura 1). Seguidamente, se ensamblará de forma individual el soporte del brazo de carga, instalando por ajuste los rodamientos de rodillos cónicos y los bujes que se deslizarán por las guías correspondientes con sus respectivas fijaciones (ver Figura 2). Finalmente, se procederá a unir estas piezas, iniciando por colocar los pernos en la base del variador de radio y el soporte del brazo de carga, llevándolos a su posición y fijándolos con tornillos. Posteriormente, se insertará el eje roscado a través del soporte del brazo de carga hasta encajar por ajuste en el rodamiento, fijándolo en un extremo con un buje y un bulón mientras que en su contraparte se instalará el motor paso a paso fijado con cuatro bulones a la base del variador de radio y asegurado mediante un prisionero al eje roscado (ver Figura 3).

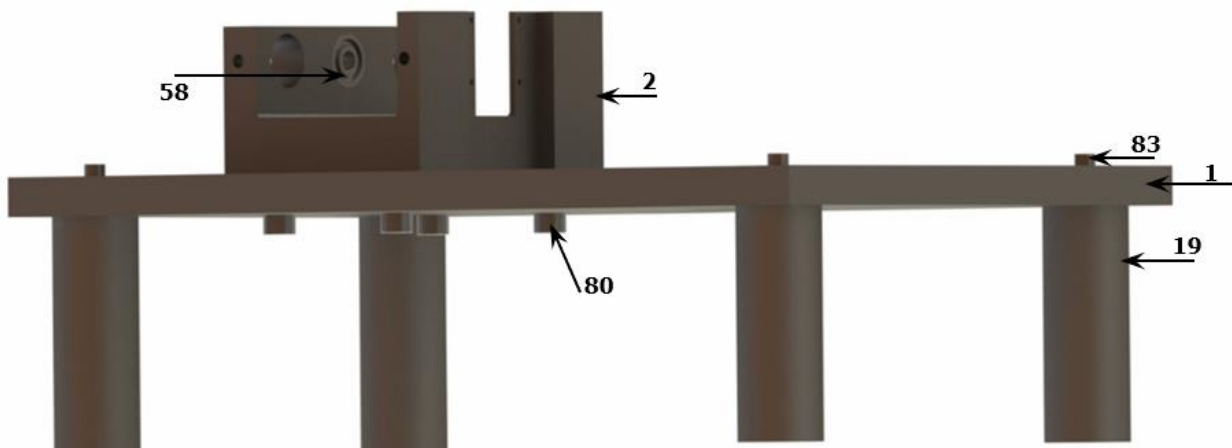


Figura 1

| Pieza | Cant. | Descripción |
|-------|-------|--------------------------------|
| 1 | 1 | Base principal |
| 2 | 1 | Base de variador de radio |
| 19 | 4 | Apoyos |
| 58 | 1 | Rodamiento rígido de bolas 608 |
| 80 | 4 | Bulón M8x25mm ISO 4762 |
| 83 | 4 | Bulón M5x40mm ISO 4762 |

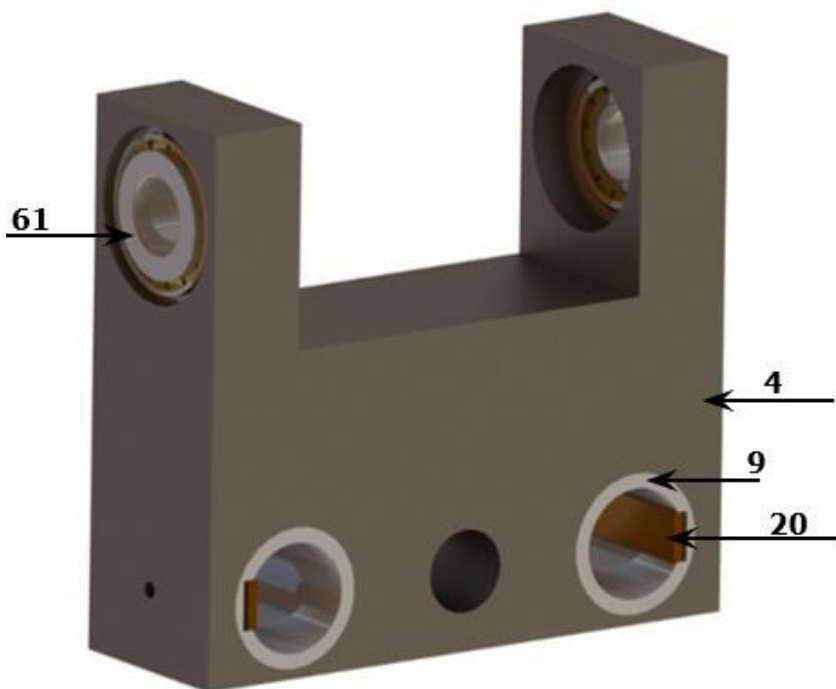


Figura 2

| Pieza | Cant. | Descripción |
|-------|-------|--------------------------------------|
| 4 | 1 | Soporte de brazo de carga |
| 9 | 2 | Bujes |
| 20 | 2 | Ajuste de perno |
| 61 | 2 | Rodamiento de rodillos cónicos 30202 |

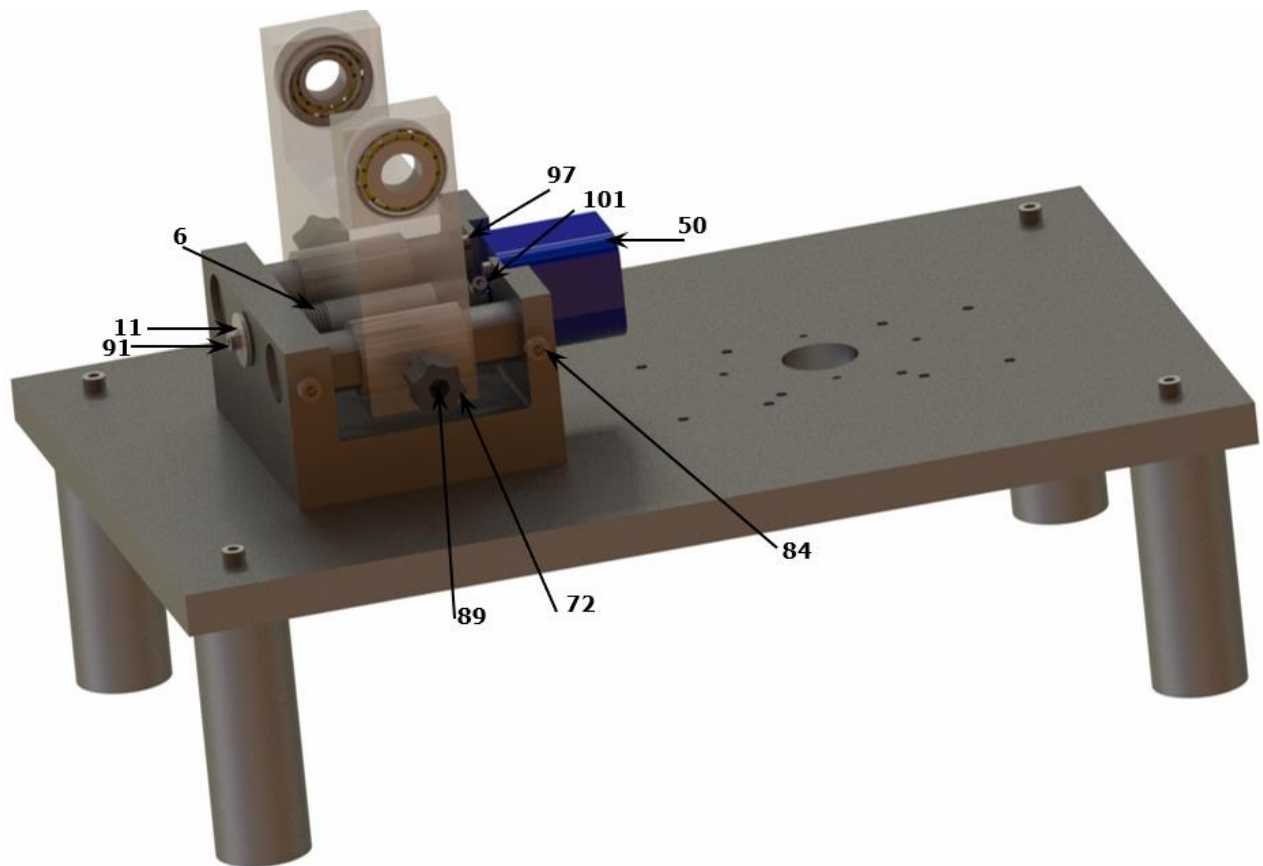


Figura 3

| Pieza | Cant. | Descripción |
|-------|-------|--------------------------------------|
| 1 | 1 | Base principal |
| 2 | 1 | Base de variador de radio |
| 3 | 2 | Pernos de variador de radio |
| 4 | 1 | Soporte de brazo de carga |
| 6 | 1 | Eje de movimiento axial |
| 9 | 2 | Bujes |
| 11 | 1 | Buje de esfuerzo axial |
| 19 | 4 | Apoyos |
| 20 | 2 | Ajuste de perno |
| 50 | 1 | Motor paso a paso |
| 58 | 1 | Rodamiento rígido de bolas 608 |
| 61 | 2 | Rodamiento de rodillos cónicos 30202 |
| 72 | 2 | Ajuste de base |
| 80 | 4 | Bulón M8x25mm ISO 4762 |
| 83 | 4 | Bulón M5x40mm ISO 4762 |
| 84 | 4 | Bulón M5x20mm ISO 4762 |
| 89 | 2 | Bulón M4x20mm ISO 4017 |
| 91 | 1 | Bulón M4x10mm ISO 4762 |
| 97 | 4 | Bulón M3x10mm ISO 4762 |
| 101 | 1 | Bulón M3x5mm ISO 4762 |

Paso 2: Montaje brazo de carga

Para llevar a cabo el ensamblaje del brazo de carga, se procederá primeramente a situar el brazo en el eje pivotante y a ajustar su posición utilizando tuercas M18. Posteriormente, se ajustará el brazo en los rodamientos de rodillos cónicos del soporte del brazo de carga, empleando tuercas M12. Acto seguido, en un extremo del brazo se instalará un contrapeso, cuya posición se fijará mediante una pieza termoplástica con una tuerca en su interior. En el otro extremo del brazo se montarán la celda de carga y el brazo de carga.

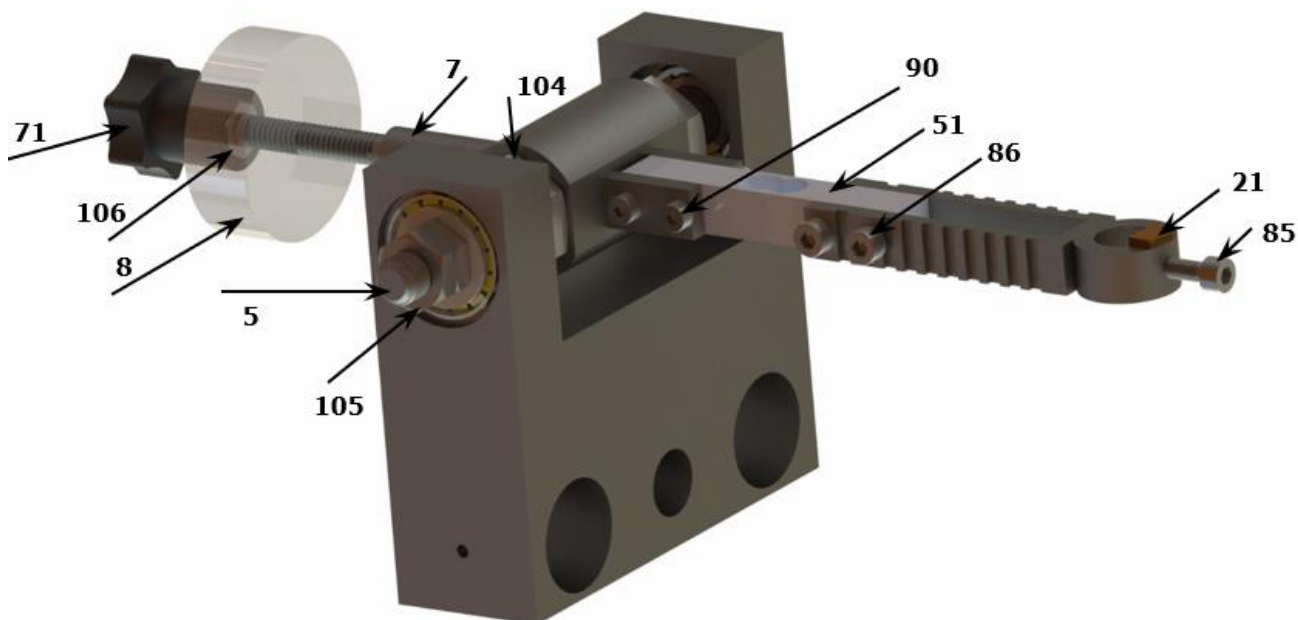


Figura 4

| Pieza | Cant. | Descripción |
|-------|-------|----------------------------------|
| 5 | 1 | Eje pivotante |
| 7 | 1 | Brazo de contrapeso |
| 8 | 1 | Carga de contrapeso |
| 10 | 1 | Brazo de carga |
| 21 | 1 | Ajuste de perno - Soporte de PIN |
| 51 | 1 | Celda de carga |
| 71 | 1 | Ajuste de contrapeso |
| 85 | 1 | Bulón M5x20mm ISO 4762 |
| 86 | 4 | Bulón M5x10mm ISO 4762 |
| 90 | 4 | Bulón M4x10mm ISO 4762 |
| 104 | 2 | Tuerca M18 |
| 105 | 4 | Tuerca M12 |
| 106 | 1 | Tuerca M8 |

Paso 3: Montaje del motor principal

Se comenzará sujetando la base fija a la base principal y posicionando el buje en su interior. Posteriormente, se fijará la pieza 15 al motor principal utilizando cuatro bulones, se ajustará el rodamiento en la pieza 14 y se unirán ambas para seguidamente colocar el acoplamiento flexible. Finalmente, se asegurará la estructura a la base principal mediante su respectiva fijación.

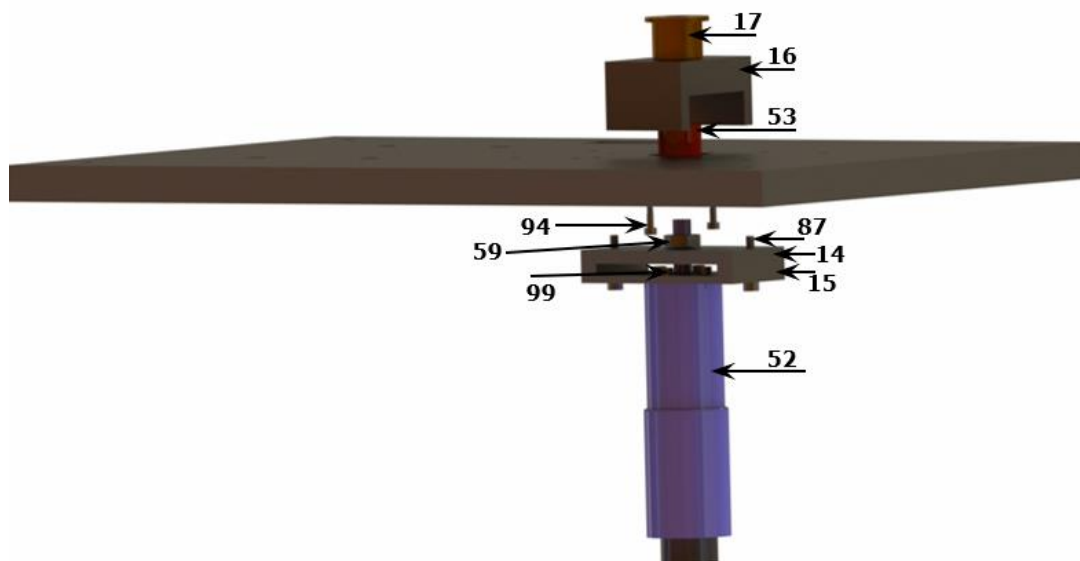


Figura 5

| Pieza | Cant. | Descripción |
|-------|-------|-------------------------------------|
| 14 | 1 | Sujeción de motor |
| 15 | 1 | Sujeción de rodamiento |
| 16 | 1 | Base fija |
| 17 | 1 | Buje |
| 52 | 1 | Motor principal |
| 53 | 1 | Acoplamiento flexible |
| 59 | 1 | Rodamiento rígido de bolas 628/8 2Z |
| 87 | 2 | Bulón M4x20mm ISO 4762 |
| 94 | 2 | Bulón M3x16mm ISO 4762 |
| 99 | 4 | Bulón M4x10mm ISO 4762 |

Paso 4: Montaje fijo completo

Para finalizar con el montaje del grupo de piezas que mantienen presentes en cada ensayo, agregamos el sensor de humedad y su respectivo soporte, luego fijamos los apoyos a un lugar firme, a través de piezas de caucho y bulones para reducir las vibraciones.

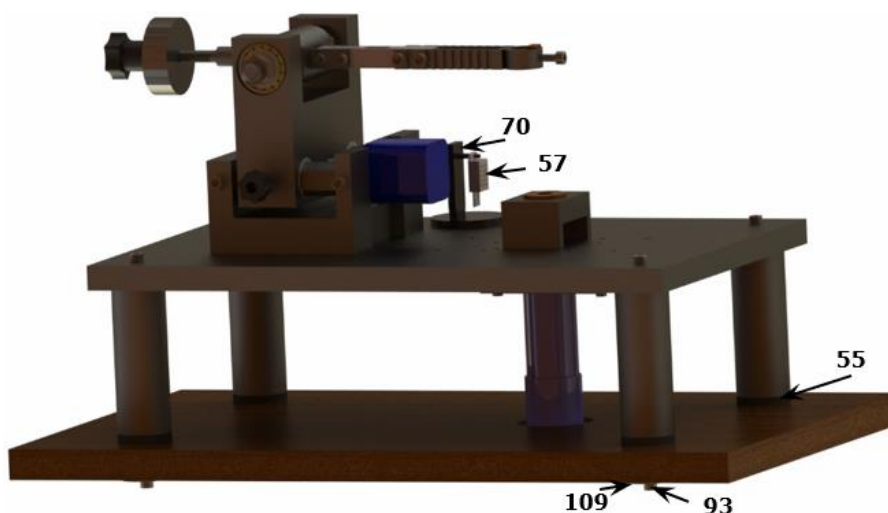


Figura 6

| Pieza | Cant. | Descripción |
|-------|-------|------------------------------|
| 55 | 8 | Apoyos de caucho |
| 57 | 1 | Sensor de humedad |
| 70 | 1 | Soporte de sensor de humedad |
| 93 | 4 | Bulón M5x40mm ISO 4762 |
| 109 | 4 | Arandelas planas M5 ISO 7093 |

Paso 5 – Soportes de PIN

La mencionada máquina estará equipada con dos opciones de funcionamiento en cuanto al pin a utilizar, disponiendo de dos mecanismos diferentes, uno destinado a sostener un pin cilíndrico y otro diseñado para sostener un pin esférico. La pieza central de ambos mecanismos se coloca mediante ajuste contra una pieza de bronce y un bulón en el extremo del brazo de carga.

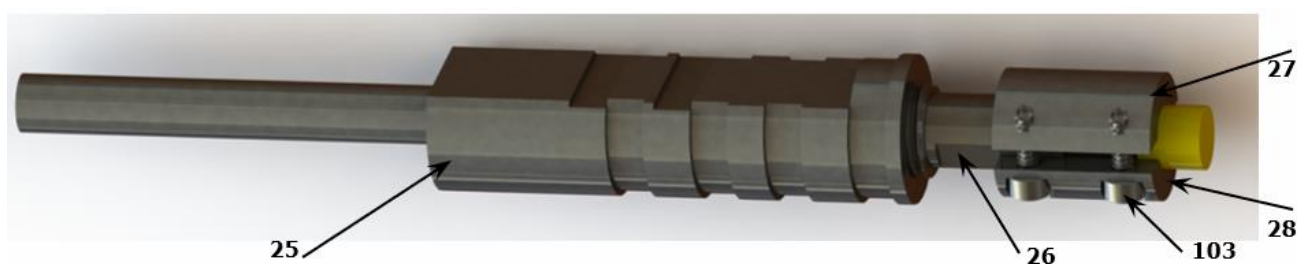


Figura 7

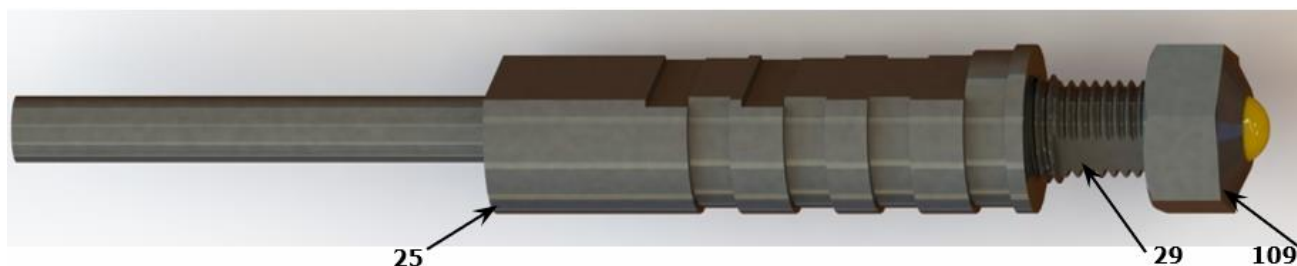


Figura 8

| Pieza | Cant. | Descripción |
|-------|-------|-----------------------|
| 25 | 1 | Parte fija |
| 26 | 1 | Conector |
| 27 | 1 | Ajuste roscado |
| 28 | 1 | Ajuste principal |
| 29 | 1 | Conector |
| 103 | 4 | Bulón M2x8mm ISO 4762 |
| 109 | 1 | Tuerca ciega M8 |

Paso 6 – Modo Pin-On-Disk

Para llevar a cabo el ensayo de Pin-On-Disk, es necesario colocar el porta probeta en su posición y ajustar el acoplamiento flexible. En el caso de realizar el ensayo sin temperatura (Figura 9), se debe colocar un apoya probetas sujeto con dos prisioneros y los respectivos agarres de probeta. En el caso de querer realizar el ensayo con temperatura (figura 10), se debe colocar un apoya probetas sujeto con dos prisioneros y un agarre de probeta, además de agregar una resistencia eléctrica como fuente de calor y una cápsula para retener la temperatura.

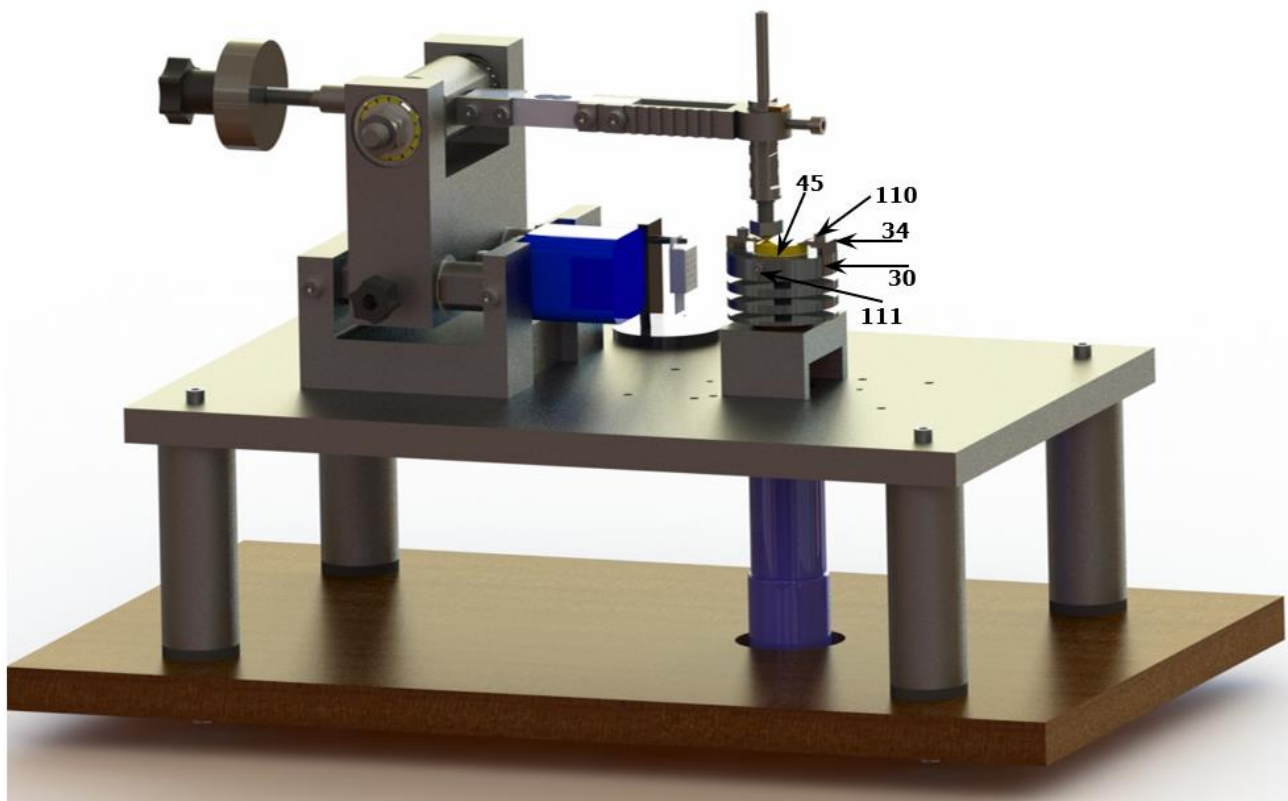


Figura 9

| Pieza | Cant. | Descripción |
|-------|-------|------------------------|
| 30 | 1 | Porta probetas |
| 34 | 2 | Agarre de probetas ST |
| 45 | 1 | Apoya probetas ST |
| 110 | 2 | Bulón M3x10mm ISO 4762 |
| 111 | 2 | Bulón M3x10mm ISO 4762 |

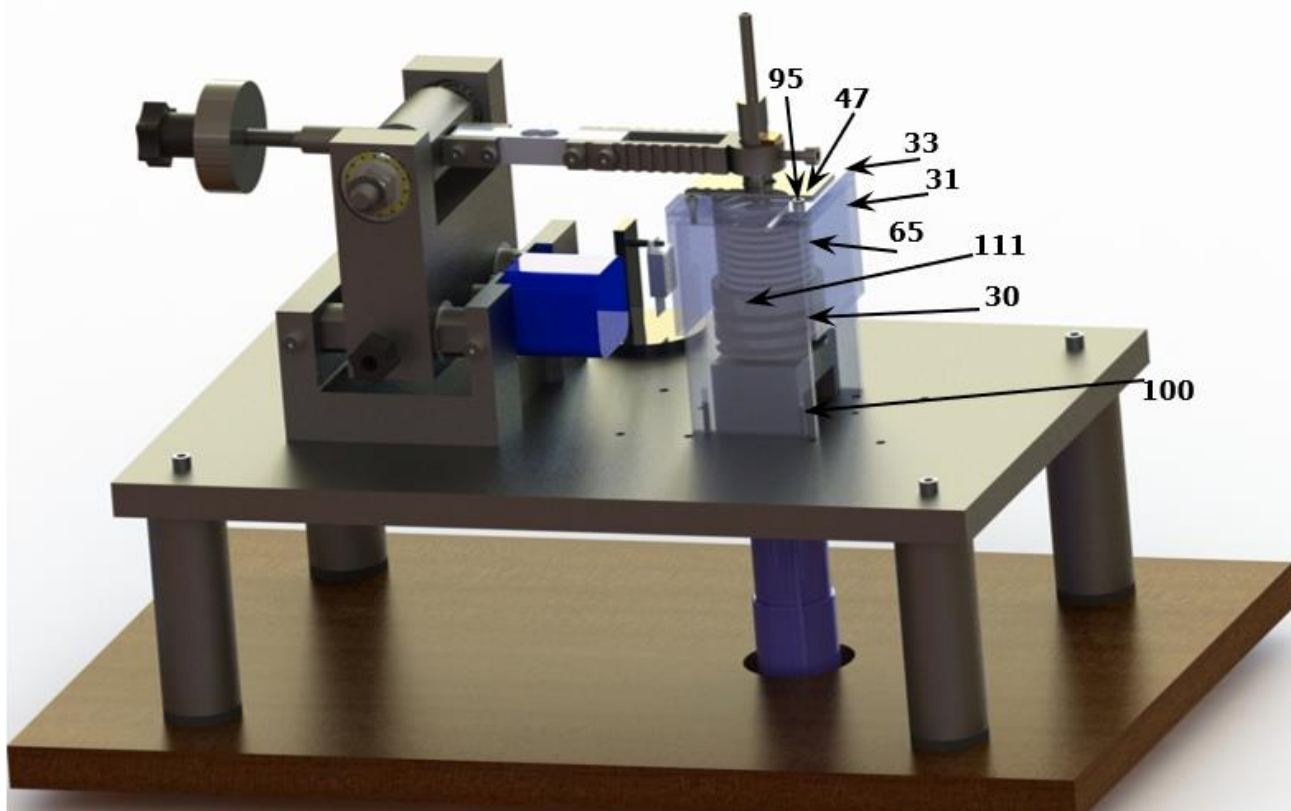


Figura 10

| Pieza | Cant. | Descripción |
|-------|-------|------------------------|
| 30 | 1 | Porta probetas |
| 31 | 1 | Cámara de temperatura |
| 32 | 1 | Agarre de probetas CT |
| 33 | 1 | Tapa de cámara |
| 46 | 1 | Apoya probetas CT |
| 47 | 1 | Cobertura de radiación |
| 65 | 1 | Resistencia eléctrica |
| 95 | 2 | Bulón M3x10mm ISO 4762 |
| 100 | 2 | Bulón M3x30mm ISO 4762 |
| 111 | 2 | Bulón M3x10mm ISO 4762 |

Paso 7 – Modo Ball-On-Flat

Para llevar a cabo el ensayo Ball-On-Flat, es imprescindible seguir una serie de pasos específicos. En primer lugar, se debe ubicar el excéntrico en su posición y ajustarlo al acoplamiento flexible. Posteriormente, se procederá a colocar el perno (37) a través del rodamiento (60) anclado a la biela (38) y asegurarlo al excéntrico mediante un prisionero (98). En el extremo opuesto de la biela se instalará el buje de acoplamiento.

El siguiente paso consistirá en fijar los soportes (63) de las guías de deslizamiento sobre las planchuelas de apoyo de la base principal. Luego, se colocarán las guías (62) y la base de deslizamiento (64). Sobre esta última se ubicará el porta probeta con los agarres de probetas correspondientes (42), y por último se fija su posición a la biela mediante un bulón (81).

En el caso de que se desee realizar el ensayo con lubricantes, se deberá colocar un recipiente en la parte superior del porta probetas, sobre una junta de goma y sujeto por cuatro bulones para prevenir derrames.

Asimismo, se colocará un bulón (92) en la parte lateral del porta probetas, el cual actuará como salida de desagote al finalizar el ensayo.

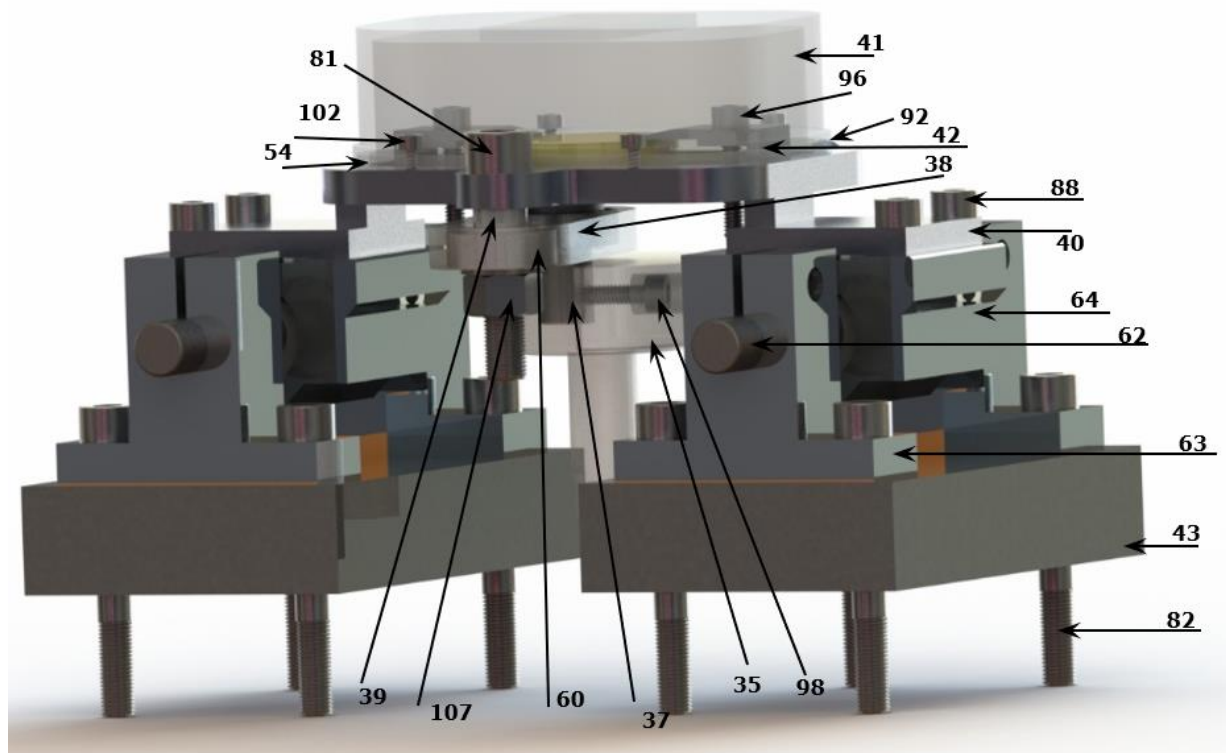


Figura 11

| Pieza | Cant. | Descripción |
|-------|-------|-------------------------------------|
| 35 | 1 | Excéntrico |
| 37 | 1 | Perno de excéntrico |
| 38 | 1 | Biela |
| 39 | 1 | Buje de acoplamiento |
| 40 | 1 | Porta probeta |
| 41 | 1 | Recipiente de fluidos |
| 42 | 2 | Agarre de probetas |
| 43 | 4 | Planchuelas de apoyo |
| 54 | 1 | Junta de recipiente |
| 60 | 2 | Rodamiento rígido de bolas 628/8 2Z |
| 62 | 2 | Barra de deslizamiento |
| 63 | 4 | Soporte de barra de rod. Lineales |
| 64 | 2 | Base de guía |
| 81 | 1 | Bulón M6x30mm ISO 4762 |
| 82 | 8 | Bulón M5x40mm ISO 4762 |
| 88 | 4 | Bulón M4x20mm ISO 4762 |
| 92 | 1 | Bulón M4x6mm ISO 4762 |
| 96 | 2 | Bulón M3x16mm ISO 4762 |
| 98 | 1 | Bulón M3x10mm ISO 4762 |
| 102 | 4 | Bulón M2x8mm ISO 4762 |
| 107 | 1 | Tuerca M6 ISO 4032 |

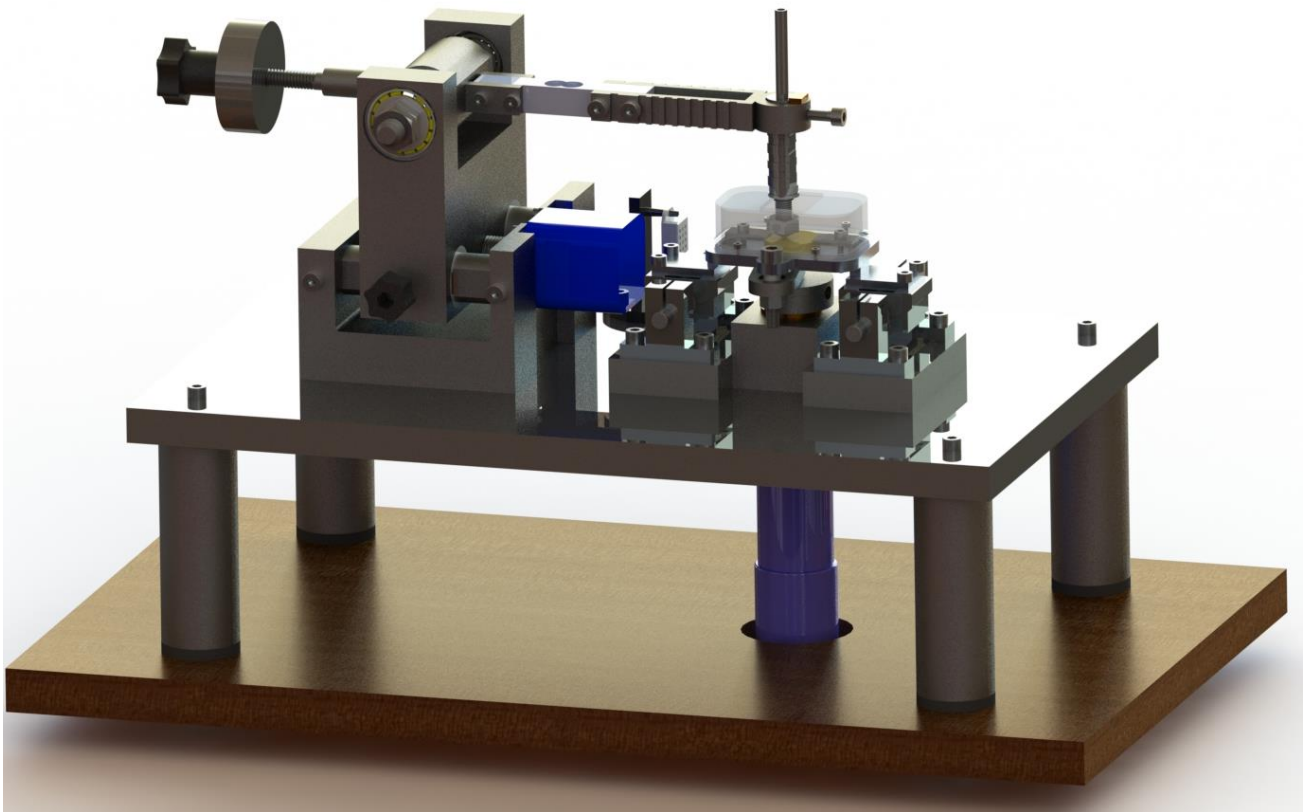


Figura 12

Instrucciones de uso

Para realizar cualquier tipo de ensayo, es necesario seguir un procedimiento específico. En primer lugar, se debe encender la fuente de energía junto con los componentes eléctricos, así como la computadora vinculada. Una vez realizada esta acción, se procederá a iniciar el programa correspondiente.

El siguiente paso consiste en seleccionar el tipo de ensayo que se desea llevar a cabo. En este sentido, se debe especificar si se trata de un ensayo del tipo Pin-On-Disk, indicando si se realizará a temperatura ambiente o si se utilizará una fuente de calor. Del mismo modo, se debe mencionar si se trata de un ensayo del tipo Ball-On-Flat y, seleccionando si este se realiza utilizando algún tipo de lubricante, en caso afirmativo, se deberá especificar el tipo de lubricante utilizado.

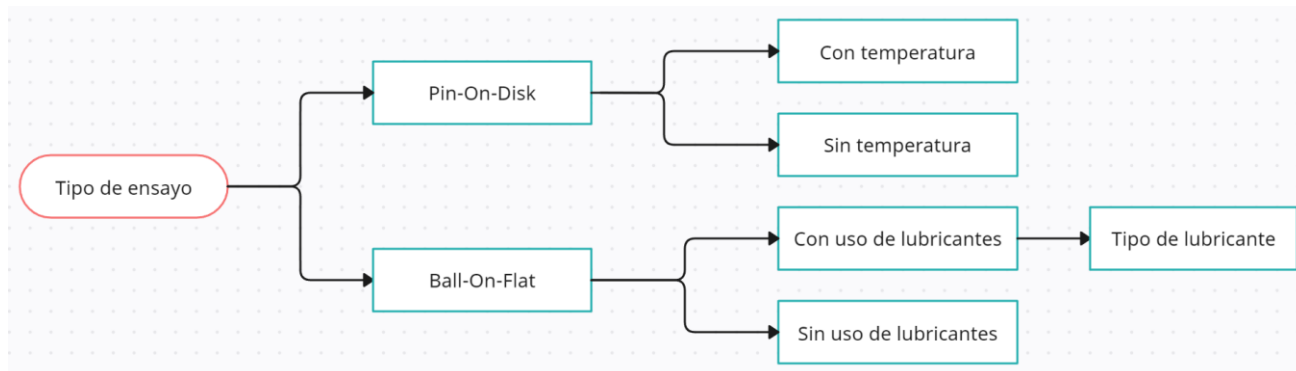


Figura 13

A continuación, es necesario detallar las especificaciones del ensayo, tales como el nombre este, el nombre del operario responsable, el material utilizado en la muestra y en el pin, la carga aplicada durante el ensayo, así como la distancia a recorrer y la trayectoria de desgaste.



Figura 14

Posteriormente, se procede a ajustar la posición de la muestra en la máquina y a limpiar meticulosamente su superficie. Seguidamente, se coloca el pin en su posición adecuada y se introduce la carga requerida según lo establecido previamente en el programa. Es de vital importancia destacar que una vez ubicada la carga en su posición correcta, se procede a desplazar la carga de contrapeso hasta que la fuerza de fricción, indicada por la celda de carga, alcance el valor de 0. Asimismo, es necesario asegurar la posición del soporte del brazo de carga mediante las mariposas correspondientes, con el fin de evitar cualquier desplazamiento durante el ensayo provocado por vibraciones. Una vez completada esta fase, se da inicio al ensayo correspondiente.

Protocolo de ensayo

Con esta máquina se obtendrá el coeficiente de fricción en función del tiempo y la tasa de desgaste de una muestra, ofreciendo datos útiles para el estudio del comportamiento tribológico de un material o recubrimiento.

Parámetros de ensayo

- A) Disco: Muestra a caracterizar. Limpiar con alcohol y secar antes de colocarla.
- B) Pin: Contraparte. Es una bolilla que puede ser de distintos materiales y se sostiene mediante una tuerca, se recomienda un diámetro de entre 5mm – 6,35mm. Se aconseja girarlo para evitar que la misma zona intervenga nuevamente en el ensayo. También se puede utilizar un pin cilindro, que se ajusta con morsetos.
- C) Carga: Se utilizan pesas calibradas colocadas sobre soporte de pin, una vez balanceado el brazo de carga.
- D) Distancia recorrida: por la contraparte sobre la muestra. Puede ser 100m, 200m, 300m, 500m, 1000m y 1500m.
- E) Radio de trayectoria: se varía el radio con el motor paso a paso ajustándolo previamente en el programa.
- F) Temperatura: se puede variar la temperatura mediante una resistencia entre la temperatura ambiente y una máxima de 300°C.
- G) Humedad relativa: esta se puede variar a colocando recipientes con agua en la cercanía de la muestra.

Procedimiento de ensayo

- A) Se selecciona el ensayo, y se coloca el módulo correspondiente.
- B) Se selecciona la muestra y el material del pin a utilizar. Se coloca la muestra en el porta probetas y el pin en el soporte correspondiente dependiendo del tipo que se requiera.
- C) Se cargan los parámetros en el programa y se ajusta el radio del ensayo, una vez que se ubica en el radio establecido se ajustan los pernos de la base del brazo de carga.
- D) Se ajusta la altura del soporte de pin hasta dejar el brazo de carga en posición horizontal y pin en contacto con la muestra. Luego se balancea el brazo de carga moviendo el contrapeso y se ajusta su posición con la una tuerca mariposa.
- E) Se colocan las pesas necesarias.

Instrucciones de mantenimiento

Se recomienda realizar una inspección completa de la máquina de forma mensual para prevenir desgastes prematuros de sus piezas. Algunos aspectos para tener en cuenta son los siguientes:

- Motores: es aconsejable poner en funcionamiento los motores y estar atentos a cualquier ruido inusual, ya que podría indicar una rotura interna.
- Rodamientos: se debe comprobar el movimiento de estos, observar y escuchar para detectar posibles fallas en sus partes móviles y, en caso de ser necesario, proceder a su reemplazo.
- Eje roscado y guías de movimiento recíprocante: se recomienda lubricar de forma regular para evitar su desgaste.
- Limpieza: dada la presencia de numerosas piezas móviles en la máquina, se debe realizar una limpieza periódica para prevenir posibles roturas.

Cuidados del personal y del equipo

A continuación, se presentarán algunas recomendaciones para garantizar el cuidado tanto del operario como de la máquina:

1. Es importante evitar instalar el equipo sobre una superficie inestable, ya que podría provocar que se caiga si no está correctamente anclado. Esto podría ocasionar lesiones graves o dañar el producto, por lo que es fundamental revisar las recomendaciones de montaje proporcionadas.
2. No se debe instalar el equipo a la intemperie, ya que no está diseñado para su uso en exteriores.
3. Durante el ensayo, es crucial evitar manipular o tocar el equipo, ya que esto podría generar anomalías en los resultados del ensayo.
4. Teniendo en cuenta que el equipo cuenta con piezas en movimiento durante el ensayo, se debe evitar cualquier tipo de contacto mientras esté en funcionamiento. De lo contrario, se corre el riesgo de dañar la muestra o inclusive generar lesiones en el operario.
5. En el momento de llevar a cabo el ensayo del tipo Pin-On-Disk con temperatura, evitar la manipulación de las piezas de la máquina sin el debido equipo de protección personal (EPP) ya que podría resultar en una lesión grave del operario.
6. Desconecte y limpie el equipo al finalizar su utilización.

Piezas y componentes

El sistema de codificación de las piezas se compone de tres cuatro: los primeros tres dígitos corresponden al código del proyecto.

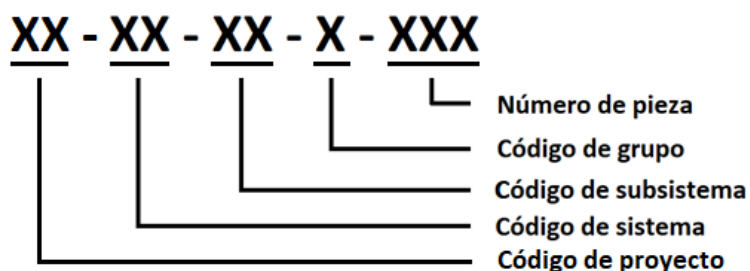


Figura 15 – Codificación general de piezas

Código del sistema

La máquina estará compuesta por dos sistemas principales

| Código | Sistema |
|--------|------------------------|
| CE | Componentes eléctricos |
| CM | Componentes mecánicos |

Código de los subsistemas

| Código | Subsistema |
|--------|-------------------------|
| PM | Piezas mecanizadas |
| PI | Piezas por impresión 3D |
| PF | Piezas de fijación |
| EM | Elementos mecánicos |
| 0 | Sin especificación |

Código de grupos

Además de los subsistemas, las piezas mecanizadas se dividen en grupos dependiendo de su ubicación; los demás subsistemas que no cuenten con un grupo asociado se les asignará un valor de 0.

| Código | Subsistema |
|--------|---|
| G0 | Subsistemas sin grupo |
| G1 | Piezas fijas |
| G2 | Piezas de soporte de PIN |
| G3 | Piezas que forman parte del movimiento rotacional |
| G4 | Piezas que forman parte del movimiento recíproco |

Numeración de partes

Cada pieza tendrá asignada un número único.

| Código | Piezas de Tornería | Cant. | Material | Designación | Ubicación | |
|-------------------------|----------------------------------|---|----------------------|----------------------------------|--------------------------|----------------|
| POD - CM - PM - G1 - 1 | Grupo 1 - Piezas fijas | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Base principal | --- | |
| POD - CM - PM - G1 - 2 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Base | Variador de radio | |
| POD - CM - PM - G1 - 3 | | 2 | Acero Inox. AISI 304 | Perno | Variador de radio | |
| POD - CM - PM - G1 - 4 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Soporte | Brazo de carga | |
| POD - CM - PM - G1 - 5 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Eje pivotante | Brazo de carga | |
| POD - CM - PM - G1 - 6 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Eje de movimiento axial | Variador de radio | |
| POD - CM - PM - G1 - 7 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Brazo | Contra peso | |
| POD - CM - PM - G1 - 8 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Carga | Contra peso | |
| POD - CM - PM - G1 - 9 | | 2 | Teflón | Buje | Variador de radio | |
| POD - CM - PM - G1 - 10 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Brazo de carga | --- | |
| POD - CM - PM - G1 - 11 | | 1 | Teflón/Acero 1045 LC | Buje de esfuerzo axial | Variador de radio | |
| POD - CM - PM - G1 - 14 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Sujeción de motor | Base de motor principal | |
| POD - CM - PM - G1 - 15 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Sujeción de rodamiento | Base de motor principal | |
| POD - CM - PM - G1 - 16 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Base fija | Eje principal | |
| POD - CM - PM - G1 - 17 | | 1 | Bronce | Buje | Eje principal | |
| POD - CM - PM - G1 - 18 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Eje principal | --- | |
| POD - CM - PM - G1 - 19 | | 4 | Acero Inox. AISI 304 | Apoyo | Base principal | |
| POD - CM - PM - G1 - 20 | | 2 | Bronce | Ajuste de perno | Variador de radio | |
| POD - CM - PM - G1 - 21 | | 1 | Bronce | Ajuste de perno - Soporte de PIN | Brazo de carga | |
| POD - CM - PM - G2 - 25 | | Grupo 2 - Piezas de soporte de PIN | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Parte fija | Brazo de carga |
| POD - CM - PM - G2 - 26 | | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Conector | PIN Cilíndrico |
| POD - CM - PM - G2 - 27 | 1 | | Acero Inox. AISI 304 | Ajuste roscado | PIN Cilíndrico | |
| POD - CM - PM - G2 - 28 | 1 | | Acero Inox. AISI 304 | Ajuste principal | PIN Cilíndrico | |
| POD - CM - PM - G2 - 29 | 1 | | Acero Inox. AISI 304 | Conector | PIN Esférico | |
| POD - CM - PM - G3 - 30 | Grupo 3 - M. Rotacional | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Porta Probetas - M. Rot. | Eje principal | |
| POD - CM - PM - G3 - 31 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Cámara de temperatura | Porta Probetas - M. Rot. | |
| POD - CM - PM - G3 - 32 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Agarre de probetas CT | Porta Probetas - M. Rot. | |
| POD - CM - PM - G3 - 33 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Tapa de cámara | Porta Probetas - M. Rot. | |
| POD - CM - PM - G3 - 34 | | 2 | Acero Inox. AISI 304 | Agarre de probetas ST | Porta Probetas - M. Rot. | |
| POD - CM - PM - G3 - 45 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Apoya probeta ST | Porta Probetas - M. Rot. | |
| POD - CM - PM - G3 - 46 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Apoya probeta CT | Porta Probetas - M. Rot. | |
| POD - CM - PM - G3 - 47 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Cobertura de radiación | Porta Probetas - M. Rot. | |
| POD - CM - PM - G4 - 35 | Grupo 4 - M. Reciprocante | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Excéntrico de 10mm | Eje principal | |
| POD - CM - PM - G4 - 36 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Excéntrico de 5mm | Eje principal | |
| POD - CM - PM - G4 - 37 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Perno | Excéntrico | |
| POD - CM - PM - G4 - 38 | | 1 | Acero Inox. AISI 304 | Biela | Excéntrico | |
| POD - CM - PM - G4 - 39 | | 1 | Teflón | Buje de acoplamiento | Porta Probetas - M. Rec. | |
| POD - CM - PM - G4 - 40 | | 1 | Aluminio 6061-T6510 | Porta Probetas - M. Rec. | --- | |
| POD - CM - PM - G4 - 41 | | 1 | PLA | Recipiente de fluidos | Porta Probetas - M. Rec. | |
| POD - CM - PM - G4 - 42 | | 2 | Acero Inox. AISI 304 | Agarre de probetas | Porta Probetas - M. Rec. | |
| POD - CM - PM - G4 - 43 | | 4 | ---- | Planchuelas 1 1/2" x 5/16" | Base principal | |

| Código | Componentes | Cant. | Designación | Ubicación | Fabricante/Código |
|------------------------|-----------------------------------|-------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| POD - CM - EM - G1 -50 | Motor paso a paso | 1 | NEMA 15 - SY39ST44-0304A | Variador de radio | MicroPaP |
| POD - CM - EM - G1 -51 | Celda de carga | 1 | | Brazo de carga | Starware/HX711 10KG |
| POD - CM - EM - G1 -52 | Motor principal | 1 | 44 engranajes | Base principal | CIRCUSPLAY/MR-08-D |
| POD - CM - EM - G1 -53 | Acoplamiento flexible | 1 | Antibackflash | Eje principal | TecnoliveUSA/25x19 |
| POD - CM - EM - G4 -54 | Junta del recipiente | 1 | e2,62mm - L250mm | Porta Probetas - M. Rec. | --- |
| POD - CM - EM - G1 -55 | Apoyo | 8 | --- | Apoyo de base principal | --- |
| POD - CM - EM - G0 -56 | Sensor de temperatura | 1 | Termocupla tipo J | Soporte de PIN | PRIVARSA/N-ZTCJ1-200 |
| POD - CM - EM - G1 -57 | Sensor de humedad | 1 | Sensor DHT22 | Base principal | Candy-Ho Electronics/DHT22 |
| POD - CM - EM - G1 -58 | Rodamiento rígido de bolas | 1 | 608 - Una hilera de bolas | Variador de radio | SKF |
| POD - CM - EM - G1 -59 | | 1 | 628/8 2Z - Una hilera de bolas | Eje de motor principal | SKF |
| POD - CM - EM - G4 -60 | | 2 | 628/8 2Z - Una hilera de bolas | Biela | SKF |
| POD - CM - EM - G1 -61 | Rodamiento de rodillos cónicos | 2 | 30202 - Una hilera de rodillos | Eje pivotante - Brazo de carga | SKF |
| POD - CM - EM - G4 -62 | Barra templada | 2 | 8mm | Base de Guía | Mecatronix/h73 |
| POD - CM - EM - G4 -63 | Soporte de barra de rod. Lineales | 4 | SK 8 | Base principal | Mecatronix/SK8 |
| POD - CM - EM - G4 -64 | Base de Guía | 2 | SCS 8 UU | Apoyo de guía | TecnoliveUSA/SCS 8 UU |
| POD - CM - EM - G3 -65 | Resistencia eléctrica | 1 | PRO610 | M. Rotacional | PRIVARSA/PRO610 |
| POD - CM - PI - G1 -70 | Soporte sensor de humedad | 1 | --- | Base principal | --- |
| POD - CM - PI - G1 -71 | Ajuste de contrapeso | 1 | --- | Brazo de carga | --- |
| POD - CM - PI - G1 -72 | Ajuste de base | 2 | --- | Variador de radio | --- |

| Código | Ferretería | Cant. | Largo/Altura | Designación | Ubicación |
|------------------------|-----------------------------|-------|-----------------|---------------------------|-------------------------------|
| POD - CM - PF - G1 -80 | Bulones ISO 4762 Grado 12.9 | 4 | 25mm | M8 x 1,25 | Base de apoyo - V. R. |
| POD - CM - PF - G4 -81 | | 1 | 30mm | M6 x 1 | M. Reciprocante |
| POD - CM - PF - G4 -82 | | 8 | 40mm | M5 x 0,8 | Base - M. Reciprocante |
| POD - CM - PF - G1 -83 | | 4 | | | Apoyos de la máquina |
| POD - CM - PF - G1 -93 | | 4 | | | Apoyos de la máquina inferior |
| POD - CM - PF - G1 -84 | | 4 | 20mm | Base - Variador de radio | |
| POD - CM - PF - G1 -85 | | 1 | | Sujeción - Soporte de PIN | |
| POD - CM - PF - G1 -86 | | 4 | 10mm | Celda de carga | |
| POD - CM - PF - G1 -87 | | 2 | 20mm | M4 x 0,7 | Base - Motor principal |
| POD - CM - PF - G4 -88 | | 4 | | | Base de guía |
| POD - CM - PF - G1 -89 | Bulones ISO 4017 Grado 8.8 | 2 | | Sujeción - Mariposas | |
| POD - CM - PF - G1 -90 | Bulones ISO 4762 Grado 12.9 | 4 | 10mm | M4 x 0,7 | Celda de carga |
| POD - CM - PF - G1 -91 | | 1 | | | Buje de esfuerzo axial |
| POD - CM - PF - G1 -99 | | 4 | Motor principal | | |
| POD - CM - PF - G4 -92 | | 1 | 6mm | Desagote de líquidos | |

| | | | | | |
|-------------------------|-----------------------------|--------------|-------------|---------------------------|--------------------------------|
| POD - CM - PF - G1 -94 | | 2 | 15mm o 16mm | M3 x 0,5 | Base fija - Eje principal |
| POD - CM - PF - G3 -110 | | 2 | 10mm | | Agarre de probetas - M. Rot. |
| POD - CM - PF - G3 -111 | | 2 | | | Apoya probetas - M. Rot. |
| POD - CM - PF - G3 -95 | | 2 | | | Agarre de tapa de cámara |
| POD - CM - PF - G4 -96 | | 2 | 15mm o 16mm | | Agarre de probetas - M. Rec. |
| POD - CM - PF - G1 -97 | | 4 | 10mm | | Motor Paso a paso |
| POD - CM - PF - G4 -98 | Prisionero | 2 | | | Excéntricos |
| POD - CM - PF - G1 -100 | Bulones ISO 4762 Grado 12.9 | 1 | 30mm | | Cámara de resistencia |
| POD - CM - PF - G1 -101 | Prisionero | 1 | 5mm | | Eje - Variador de radio |
| POD - CM - PF - G4 -102 | Bulones ISO 4762 Grado 12.9 | 4 | 8mm | | M2 x 0,4 |
| POD - CM - PF - G2 -103 | | 4 | | Soporte de PIN Cilíndrico | |
| POD - CM - PF - G1 -104 | Tuerca hexagonal ISO 4035 | 2 | 9mm | M18 x 1,5 | Eje pivotante - Brazo de carga |
| POD - CM - PF - G1 -105 | | 4 | 6mm | M12 x 1,25 | |
| POD - CM - PF - G1 -106 | Tuerca hexagonal ISO 4032 | 1 | 6,5mm | M8 | Contra peso |
| POD - CM - PF - G4 -107 | | 1 | 5mm | M6 | M. Recíprocante |
| POD - CM - PF - G2 -108 | | Tuerca ciega | 1 | | M8 |
| POD - CM - PF - G1 -109 | Arandela ISO 7093 | 4 | 1,2mm | M5 | Apoyos de la maquina |

| Código | Componentes eléctricos | Cant. | Ubicación | Fabricante/Código |
|------------------------|---------------------------|-------|--------------------|-------------------|
| POD - CE - 0 - G1 -115 | Codificador de cuadratura | 1 | Motor principal | |
| POD - CE - 0 - G1 -116 | Módulo Hx711 | 1 | Celda de carga | Emakers/EM8743 |
| POD - CE - 0 - G1 -117 | Driver a4988 | 1 | Motor Paso a paso | E-Labshop/4988 |
| POD - CE - 0 - G1 -118 | Arduino Uno | 1 | Tablero de control | Duaitek |
| POD - CE - 0 - G1 -119 | Módulo L298N | 1 | Motor principal | Andino/L298N |

Tabla 16– Características de piezas y componentes

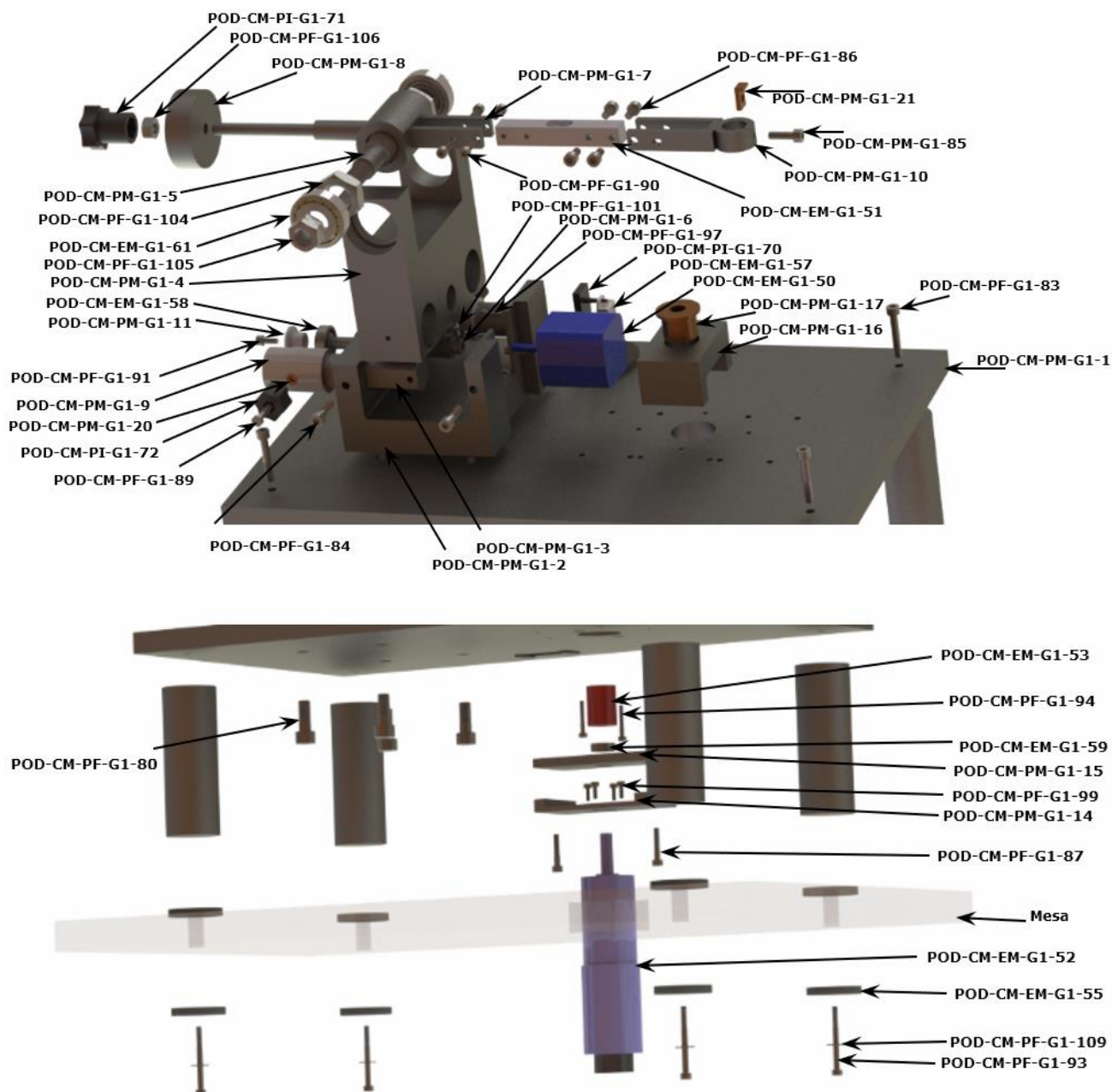
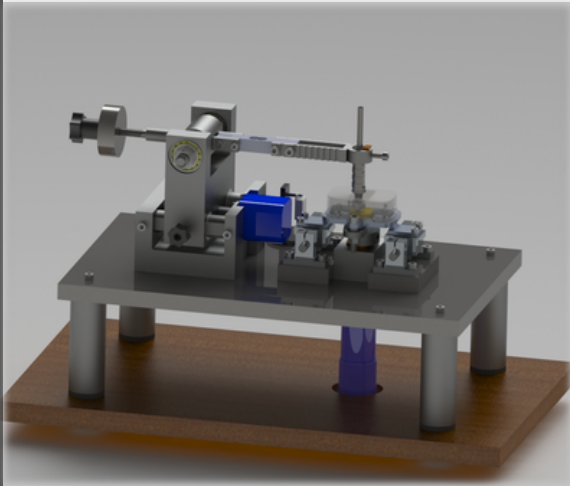


Figura 17 – Grupo 1 con referencias de códigos

Contacto

Correo electrónico: jonathantessore9@gmail.com

FICHA TÉCNICA



PIN-ON-DISK AND BALL-ON-FLAT

El tribómetro modular proporciona datos para generar soluciones a los problemas de desgaste de una industria. Cuenta con la capacidad de realizar los ensayos de Pin-On-Disk (rotacional) y Ball-On-Flat (reciprocante), permitiendo la evaluación del daño progresivo en una trayectoria de desgaste circunferencial y lineal.

Normas de referencia

Pin-On-Disk

- ASTM G99
- DIN 50324

Ball-On-Flat

- ASTM G133

Características generales

- Peso : 32,4 [kg]
- Alto : 298 [mm]
- Ancho : 250 [mm]
- Largo : 400 [mm]

Características técnicas

- Potencia : 638 [W]
- Alimentación : 220 [V AC]

Parámetros

- Fuerza normal: 1 - 75 [N]
- Ambiente: Aire
- Temperatura: Temp. Ambiente - 300 [°C]
- Humedad: Variable

Pin-On-Disk

- Velocidad de deslizamiento: 0,1 [m/s]
- Radio o distancia de trayectoria: 5 - 12 [mm]
- Diámetro del pin: 5 - 6,35 [mm]

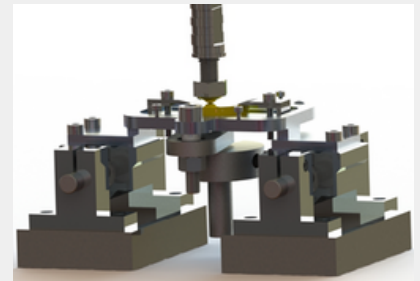
Ball-On-Flat

- Velocidad de deslizamiento: 0,157 [m/s]
- Radio o distancia de trayectoria: 5 o 10 [mm]
- Diámetro del pin: 6 [mm]

MÓDULOS DE PRUEBA



Rotacional

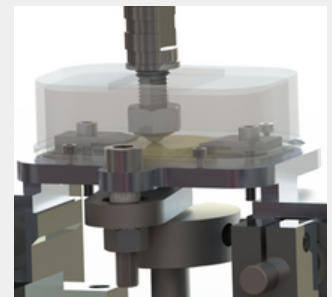


Reciprocante

MÓDULOS AMBIENTALES



Alta temperatura



Líquidos

MÓDULOS DE PIN



Pin cilíndrico



Pin esférico

Descripción

La máquina cuenta con un mecanismo automático para variar la trayectoria de desgaste mediante un motor paso a paso, lo que brinda mayor precisión. Además, cuenta con un motor principal que controla la velocidad de ensayo a través del software y una medición digital de la fuerza de fricción.

Estará equipada con dos módulos para analizar el desgaste, módulos para variar las condiciones ambientales y otros dos módulos para variar la forma de pin.

Contacto

jonathantessore9@gmail.com

3442 563992