



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

# GRADO EN INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO  
ROBOT LAZARILLO

Autor: Gonzalo María de Araluze Bergel  
Director: Dr. Antonio García y Garmendia

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título

Robot Lazarillo

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2023/24 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido

tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Gonzalo María de Araluce Bergel

Fecha: 21/08/2024

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Antonio García y Garmendia

Fecha: 21/08/2024





**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

# GRADO EN INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO  
ROBOT LAZARILLO

Autor: Gonzalo María de Araluze Bergel  
Director: Dr. Antonio García y Garmendia

Madrid

# **Agradecimientos**

Agradezco a mi tutor, Dr. Antonio García y Garmendia, su tiempo y dedicación a este trabajo.



## **ROBOT LAZARILLO.**

**Autor: De Araluce Bergel, Gonzalo María.**

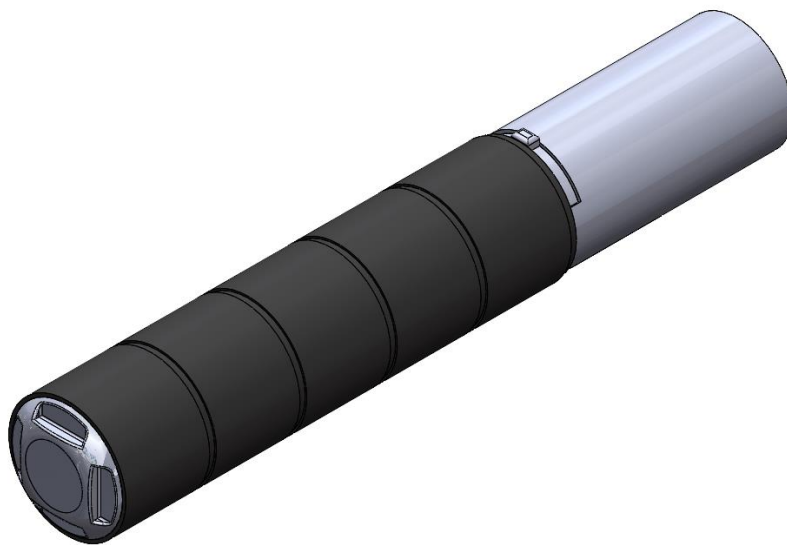
Director: García y Garmendia, Antonio.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

### **RESUMEN DEL PROYECTO**

En este proyecto se aborda el estudio y diseño de un sistema que ayude a las personas con la visión disminuida a desplazarse, guiando al usuario a su destino y evitando obstáculos mediante un sistema de detección de obstáculos integrado en el dispositivo sin restringir la movilidad del usuario.

Palabras clave: Ayuda de viaje electrónica, navegación en tiempo real, visión disminuida, visión reducida, detección de obstáculos, fotogrametría.



*Fig 1. Diseño final del mango del bastón blanco. Elaboración propia usando SolidWorks.*

## **1. Introducción.**

Con el rápido desarrollo de la tecnología encontramos avances en prácticamente todos los sectores de la sociedad, sin embargo, es fácil reconocer la brecha que hay a la hora de hacer que estos avances tecnológicos sean accesibles para todos, incluyendo aquellos con la visión disminuida, que podrían ser los mayores beneficiados de estos desarrollos tecnológicos, ganando tanto en autonomía y libertad de movimiento como en seguridad. Esto se hace patente en la escasez de sistemas de ayuda a personas con visión disminuida que cumplan unas condiciones que se pueden considerar básicas e imprescindibles y que marcarán la dirección que tomará este proyecto.

En primer lugar, como ya hemos mencionado, el dispositivo no debe restringir la movilidad del usuario (usando como base de medida la posibilidad de subir y bajar escaleras y subir y bajarse de un vehículo) y por lo tanto debe ser ligero y tener un tamaño reducido. Esto resulta especialmente crítico si se tiene en cuenta el posicionamiento de los sistemas más grandes, ya que tienen que estar situados en un lugar donde el usuario pueda desplazarse sin preocuparse por dañarlos, una consideración especialmente importante al tratarse de un dispositivo de ayuda para personas con la visión disminuida ya que, al tener una capacidad reducida para ubicarse en su entorno, todo debe estar posicionado en lugares en los que van a estar protegidos instintivamente como incorporados o cercanos al cuerpo del usuario. Esta son las razones por las cuales se opta por la integración del sistema de detección de obstáculos en los llamados “wearables”, permitiendo al usuario llevar el sistema consigo sin tener que estar constantemente pendiente de su posición.

Otra de las características del dispositivo es que debe de ser fácil de usar y permitir al usuario adaptarse a él rápidamente, pudiendo usarse con facilidad por individuos de todas las edades. Esto conlleva que uno de los principales objetivos debería de ser mejorar los sistemas existentes en vez de intentar reemplazarlos por sistemas más complicados como intentan hacer la mayoría de los productos en el mercado. Por esta razón, lo que se pretende es desarrollar un producto que sea complementario a los sistemas de ayuda a personas con la visión disminuida ya existentes, como el bastón blanco. Otra de las maneras a través de las que se puede conseguir esto es mediante la integración del teléfono

móvil en el dispositivo a desarrollar en este trabajo, ya que en la sociedad actual se ha convertido en una herramienta casi imprescindible. A través de su uso, se facilita y mejora la accesibilidad del sistema usando las funciones integradas en los teléfonos móviles como instrucciones por voz, sistemas de soporte para pantallas Braille o la retroalimentación mediante sistemas auditivos. Sin embargo, también es útil estudiar la capacidad del teléfono móvil para captar e interpretar las imágenes que permiten al sistema detectar obstáculos en el camino del usuario. Esto es posible debido a un gran aumento en la capacidad computacional de los dispositivos móviles en los últimos años, que continuará incrementándose, facilitando la ejecución de programas complejos de fotogrametría o similar para detectar estos obstáculos en la ruta (combinando esta función con la del GPS para guiar al usuario a su destino). Este aumento en capacidades también verá una mejoría exponencial con la introducción del cloud computing, que permitirá ejecutar modelos cada vez más precisos junto con otras ventajas que se examinarán con más detalle más adelante.

Una vez establecidos estos objetivos de diseño, pensaremos y desarrollaremos el método de trabajo a seguir, que también marcará la estructura básica del proyecto. En primer lugar, se procederá a realizar un estudio en profundidad de los inventos desarrollados hasta este momento, analizando las principales corrientes de desarrollo y tomando ideas para formar el concepto principal de nuestro invento. Aquellos más representativos se incluirán en el siguiente capítulo, el estado de la cuestión, para resumir las ideas más relevantes y analizar las ventajas y desventajas de cada línea de desarrollo. También es conveniente adelantar aquí que, mediante este estudio, descubriremos dos principales líneas de desarrollo, una centrada en sistemas de guía más voluminosos que ayudan al usuario a desplazarse físicamente (en formato de andador, por ejemplo) y otros más centrados en la accesibilidad, que se analizarán con más detalle debido a su especial relevancia para este proyecto, siendo este tipo de sistemas ligeros los que pretendemos mejorar con esta investigación.

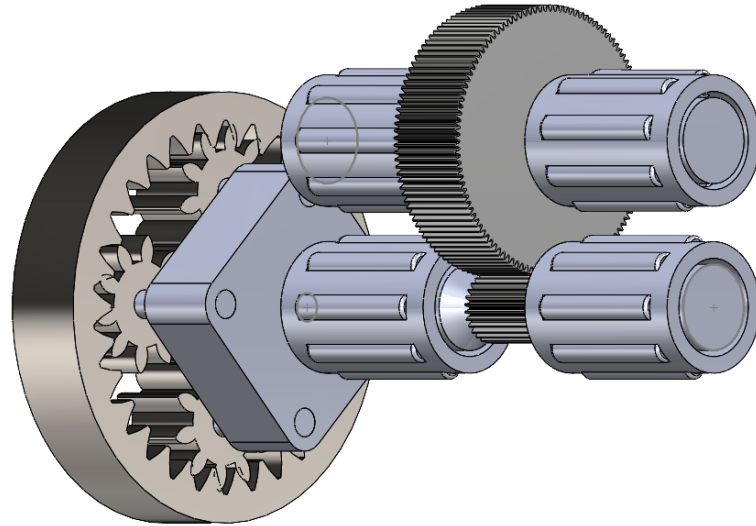
Una vez realizado este estudio, se procederá a concretar la idea detrás del proyecto, que consiste en el diseño del mango de un bastón blanco que, junto con un bastón blanco plegable y un sistema para tomar y procesar imágenes, pueda guiar al usuario a su destino final (introducido por el usuario en el teléfono móvil a través de instrucciones de voz) a través de un sistema de retroalimentación háptica. Además, para cumplir el objetivo de

no interferir en la movilidad del usuario, se optará por la integración del teléfono móvil en un arnés. Así, la cámara que capte las imágenes siempre estará apuntando en la dirección de movimiento del usuario, con un campo de visión relativamente despejado y el usuario tendrá conocimiento de donde está situado el sistema en todo momento, sin tener que preocuparse demasiado por golpearlo sin querer. Esto también significa que el diseño del bastón debe ser compacto, teniendo todos los componentes contenidos en su interior y sin protrusiones que puedan causar que el bastón se enganche o resulte incómodo de llevar. De hecho esto ha resultado ser uno de los principales problemas a la hora de diseñar el bastón, especialmente a la hora de escoger las baterías o el servomotor debido a las restricciones de tamaño.

En cuanto al diseño del mango del bastón en sí, incluiremos un servomotor que recibirá instrucciones de un receptor/controlador tipo Arduino nano o similar para ejecutar los movimientos indicados por el sistema de guiado. Sin embargo, debido a las restricciones de tamaño, los únicos servos disponibles están orientados al uso en aviación de modelaje y otros entornos similares en los que se necesiten motores pequeños y ligeros y por lo tanto presentan un par muy bajo con una velocidad angular de funcionamiento muy alta, por lo que se incluirá el diseño de una cadena de engranajes para que el sistema de retroalimentación háptico tenga unas propiedades adecuadas, con un par y velocidad angular más aceptables. En cuanto al sistema de retroalimentación háptica, se planteará el uso de un “bastón” que gire para indicar la dirección que deberá tomar el usuario, que “leerá” la dirección a tomar con el pulgar de la mano con la que sujeta el bastón.

Otro problema que encontramos debido al tamaño reducido del bastón es la dificultad de montar el sistema, ya que no se puede acceder con facilidad al interior de este. Por esto, montamos toda la cadena cinemática sobre una base que se atornillará a la carcasa una vez que se monte todo el sistema y se incluirá un sistema de raíles que permitirá fijar los demás componentes en el interior de la carcasa como la batería y controlador/receptor antes de introducirlas en el interior del mango del bastón. Además, estos raíles tendrán distintos tamaños para permitir la fijación de piezas de distintas longitudes y quedarán bloqueados en su sitio al cerrar la tapa del bastón, que se podrá enroscar para asegurar que permanece cerrado. Todas estas características también ayudan a mejorar la modularidad del bastón, permitiendo la modificación rápida de los componentes del

sistema y la introducción de otros nuevos sistemas en función de las preferencias del usuario.



*Fig 2. Diseño final del sistema de engranajes incluido en el sistema. Elaboración propia usando SolidWorks.*

Es importante mencionar también que el proceso de diseño de la cadena cinemática y del bastón son procesos simultáneos, pero en este trabajo, para mayor claridad, se diferenciarán y explicarán de manera separada, comentando primero el diseño y los cálculos realizados para la cadena cinemática (que se apoyará con simulaciones en SolidWorks) y luego el diseño de la carcasa del bastón en general.

Una vez terminado el diseño del bastón, realizaremos unas pruebas de fatiga e impacto para escoger los materiales de fabricación, además de para validar el diseño, seguido de una prueba de concepto del sistema de detección de obstáculos para confirmar la idea detrás del diseño del sistema y un análisis económico para determinar los métodos de producción más apropiados. Finalmente, se incluirá una conclusión en la que se evaluarán los resultados conseguidos, si se han cumplido los objetivos establecidos al principio del trabajo y el diseño general del sistema.

## **GUIDE ROBOT.**

**Author: De Araluce Bergel, Gonzalo María.**

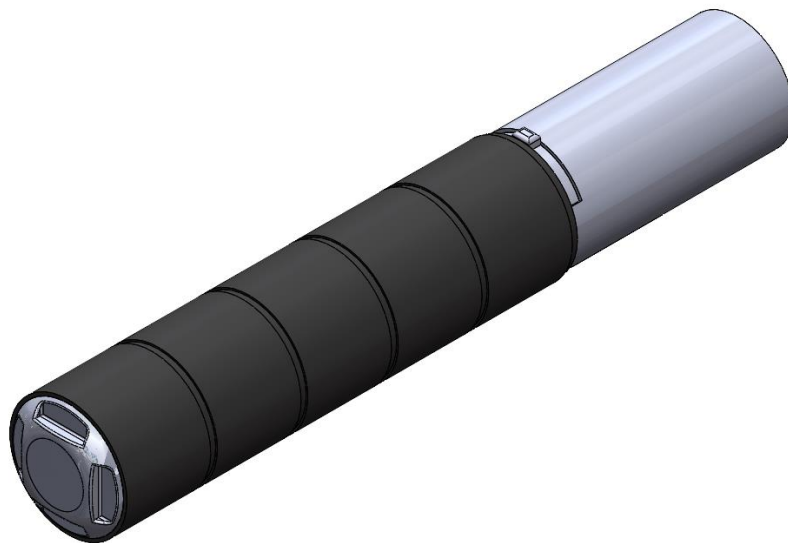
Director: García y Garmendia, Antonio.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

### **ABSTRACT**

In this project, we will design a system to help the visually impaired navigate through their environment in their everyday lives, guiding the user to their destination while avoiding obstacles without hampering the user's mobility. This will be achieved through the use of an obstacle detection system working in tandem with a GPS system.

Key words: Electronic Travel Aid (ETA), real-time navigation, visually impaired, reduced vision, obstacle detection, photogrammetry.



*Fig 3. Final design of the proposed grip for the white cane. Self-made using SolidWorks.*

### **1. Introduction.**

We have seen advancements in practically every aspect of society due to the fast technological development we are seeing nowadays, however, there is a clear breach in

the development of adaptive technology, meaning that these advancements aren't immediately available to everyone, including the visually impaired. Nevertheless, this group of people could be the audience to gain more from these technological developments, as there is a long way to go in regard to giving the visually impaired a more independent, and safer, way of life.

In first place, as we already mentioned, one of the conditions the device must meet is it must not negatively affect the user's mobility (setting the ability to walk up and down stairs and getting in and out of a car or taxi as the reference point for baseline mobility) and therefore, must be lightweight and compact. This point is especially critical when taking the positioning of bulkier systems into account, as they must be placed in a way that means the user will be able to move without being concerned about damaging these devices. Furthermore, this is especially important as the product is designed to help the visually impaired, which may have a harder time locating objects in space and therefore might be more prone to damaging these devices if they are not easily located in space. In order to make the objects easy to position in space, the design includes these bulkier systems in places close to or in contact with the users body, which is why the design relies heavily on the concept of "wearables".

Another important characteristic the device must have is its ease of use, allowing users to rapidly adapt and learn to use the system, including users of all ages. This means that one of the main focuses of the development of the product should be improving the existing systems rather than trying to replace them with more complicated designs as most existing products on the market attempt to. This is why the developed product is designed around existing navigation aids for the visually impaired, such as the white cane. Another of the design considerations that would help achieve this ease of use is by integrating the use of the mobile phone into the system, since this has become an ever-present part of society. Through its use, we can improve the devices useability by including the functions that are already commonly integrated in the available smartphones, such as the ability to give instructions via voice or by offering support for systems such as Braille screens or auditive feedback systems. However, another very interesting function that can be integrated into the system via the use of the mobile phone is using the cameras on smartphones to gather images and interpret them to detect obstacles and guide the user to their destination while avoiding obstacles. This can only be achieved due to the

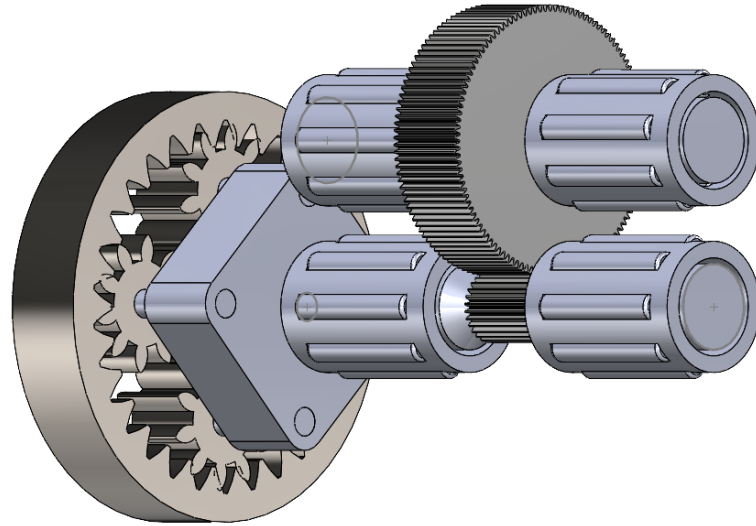
advancements in the computing capacity that smartphones have underwent recently, meaning that they have enough power to run the algorithms and programs for obstacle detection (such as those based on photogrammetry or similar methods) while simultaneously running GPS navigation systems while transmitting instructions to the feedback system on the device. It is also important to note that this computational capability will only be increased in the near future, especially with the introduction of technology such as cloud computing, which will allow for more precise models to be run, along with other advantages which we will examine in more detail further on.

Once the design objectives have been established, we will proceed to establish the methodology that this project will follow, which will in turn dictate the projects basic structure. In first place, we will proceed to analyse the released and patented products up to this point, identifying the main development routes and gathering information which will be used further on to form the basic concept behind the designed product. We will in turn take the ideas and products that give us a better understanding of the current situation regarding intelligent navigational aids for the visually impaired and analyse them in further detail in order to understand the advantages and disadvantages behind each concept. It is also important to note that, while conducting this study we find two main development paths, one of them being focused on creating larger systems that will help the user move (as a walking frame would, for instance), and the other being focused on creating lighter, more accessible solutions. In this research paper, we'll delve into the second category in more detail than the first one, as they are of greater relevance to the lightweight systems we plan on building upon.

The next step in the development process is to fully define the idea behind the project, in this case, designing a detachable grip for the white cane, which, together with a system to record and process real time video footage and a foldable white cane will help the user navigate to their final destination (which is inputted into the system via voice instructions using their mobile phone) using tactile feedback. Furthermore, in order to avoid interfering with the users mobility, the design will include a harness-like system to hold the users mobile phone close to their torso, ensuring that, in this way, the camera will always be pointing in the direction the user desires to move in with a relatively clear field of view. This also ensures that the user will know where the system is located at all times, as it is in a fixed point in space regarding their body, lowering the risk of accidentally

damaging the device. This constraint for the device handle design also means that the device must be compact, holding all of the components inside the device's shell and avoiding having any large objects or protrusions outside this shell which might cause the device to become tangled or become too unwieldy. This will in turn become one of the main problems we will encounter when designing the cane, especially when it comes to selecting the batteries and servomotor due to the sizing restrictions. When it comes to the design of the cane handle, we will include a servomotor which will be actuated by a controller like an Arduino nano or similar that will indicate the movements the servo should make as dictated by the guidance system. However, because of the sizing restrictions, the only available servomotors are those designed for use in the model airplane industry or similar areas where small and light motors are required. One of the problems with these motors is the low torque and high output velocity they present at the output shaft, which is why the design will include a geartrain to ensure that the tactile feedback system has a more acceptable torque and output speed. With regards to the tactile feedback system, the system chosen to convey changes in directions to the user will be a "stick" indicator which the user will feel with their thumb.

Another problem that we find when assembling the design is the difficulty when putting the device together due to the lack of space, meaning that there is no easy access to the inside of the device. This is why the whole powertrain is mounted on a supporting base which will be screwed into the main shell of the device once the powertrain is fully assembled. Furthermore, a sliding rail system will be fitted to the device to allow for the internal components such as the battery and controller being assembled outside the device's shell and then slid into the inside of the device. These sliding rails will also have different lengths to allow for different size attachments to be fitted to the device and will be locked in place by screwing the device cap on. All of the aforementioned characteristics will also help improve the device's modularity, allowing for the fast change of the internal components or the introduction of new systems if the user requires them.



*Fig 4. Final design of the proposed geartrain. Self-made using SolidWorks.*

It is also important to mention that the design process of the powertrain and the cane's shell is a simultaneous process, but a distinction will be made in this document, analysing the process taken to design the powertrain first (which will be supported by simulations using SolidWorks) and then examining the general design of the whole grip.

Once the design is finished, fatigue and impact tests will be made to determine the materials out of which the design will be made as well as to proof check the designs, followed by a proof of concept to demonstrate the process behind the obstacle detection software and the general system and an economic analysis to determine the most appropriate fabrication methods. This will be concluded by an evaluation of whether or not the objectives set at the beginning of the project have been met and a general overview of the system.



# *Índice de la memoria*

<b>Capítulo 1. Estado de la Cuestión .....</b>	<b>3</b>
1.1 Desarrollo actual de los productos de ayuda. ....	3
1.2 Análisis de la tecnología utilizada. ....	8
1.3 Comparativa entre diferentes líneas de desarrollo. ....	15
1.4 Conclusiones del capítulo y objetivos. ....	23
<b>Capítulo 2. Diseño de la cadena cinemática.....</b>	<b>25</b>
3.1 Diseño de la cadena cinemática del sistema. ....	25
3.1.1 Diseño del tren de engranajes compuesto revertido. ....	31
3.1.1.1 Valores de funcionamiento del tren de engranajes compuesto revertido. ....	34
3.1.1.2 Estudio de movimiento del primer sistema de engranajes utilizando SolidWorks. ....	50
3.1.2 Diseño del tren de engranajes compuesto planetario y compuesto revertido. ....	47
3.1.2.1 Diseño del tren de engranajes planetario. ....	49
3.1.2.2 Diseño del tren de engranajes compuesto revertido. ....	51
3.1.2.3 Valores de funcionamiento del segundo sistema de engranajes. ....	52
3.1.2.4 Estudio de movimiento del segundo sistema de engranajes utilizando SolidWorks. ....	55
3.2 Elección y diseño de los rodamientos. ....	63
3.2.1 Diseño de los rodamientos para la primera rueda dentada B1. ....	65
3.2.2 Diseño de los rodamientos para la primera rueda dentada B2. ....	67
3.2.3 Elección rodamientos. ....	68
3.3 Conclusiones del capítulo. ....	71
<b>Capítulo 3. Diseño del sistema.....</b>	<b>72</b>
4.1 Estudio del sistema general. ....	72
4.2 Estudio de la carcasa del bastón blanco. ....	76
4.3 Estudios SolidWorks y Simulaciones. ....	83
<b>Capítulo 4. Evaluación económica.....</b>	<b>92</b>
<b>Capítulo 5. Prueba de concepto de detección de obstáculos .....</b>	<b>97</b>
<b>Capítulo 6. Desarrollo a futuro.....</b>	<b>104</b>

7.1 Innovaciones tecnológicas.....	104
7.2 Conclusiones del capítulo.....	112
<b>Capítulo 7. Conclusión.....</b>	<b>114</b>
<b>Capítulo 8. Bibliografía.....</b>	<b>117</b>
<b>DOCUMENTO 2 - PLANOS .....</b>	<b>126</b>

# Capítulo 1. ESTADO DE LA CUESTIÓN.

Actualmente, existen un gran número de invenciones desarrolladas para ayudar a personas ciegas y con visión disminuida a orientarse o simplemente a facilitar su día a día. Para examinar el progreso de estas invenciones, seleccionaremos algunas de las líneas de desarrollo más relevantes para comentarlas agrupándolas por categorías y en orden cronológico para ver su desarrollo claramente. Posteriormente, explicaremos en mayor detalle la tecnología utilizada en estas invenciones y realizaremos un examen en mayor profundidad de algunas invenciones que resultan especialmente relevantes, comentando su funcionamiento y características que las hacen destacar por encima de las demás con mayor detenimiento. De esta forma, conseguiremos comprender los avances realizados en cuanto a productos para guiar a personas con la visión disminuida y nos encontraremos en una posición que nos permitirá decidir la línea a seguir con este trabajo.

## **1.1. Desarrollo actual de los productos de ayuda.**

En primer lugar, encontramos un enfoque particularmente curioso en el desarrollo urbanístico a gran escala cuando examinamos aquellos diseños más antiguos, entre los que encontramos ejemplos como un bastón con un lector de etiquetas RFID (o etiquetas de Identificación por Radio Frecuencia) para localizar estanterías y secciones en edificios con una estructura fija como los supermercados, ayudando además a escanear productos y comparar precios<sup>1</sup>. A pesar de que este bastón no está diseñado para guiar a personas como la mayoría de las otras invenciones que examinaremos en esta sección, es de especial relevancia para tener en cuenta un punto de referencia y demostrar el rápido progreso de la tecnología similar. Otro proyecto que requiere la instalación de etiquetas RFID (esta vez a mayor escala todavía en el entorno urbano) es el desarrollo del diseño de un bastón blanco con distintos lectores de etiquetas de radio frecuencia para proporcionar información relevante almacenada en el entorno urbano<sup>2</sup> (por ejemplo, en

---

<sup>1</sup> D. Hopkins (2009)

<sup>2</sup>Kim (2016)

semáforos para indicar de la proximidad de un cruce y del estado de este). También encontramos algunas líneas de desarrollo basadas en el desarrollo urbanístico que son de especial interés por utilizar infraestructura ya existente, como podría ser la invención de un accesorio para el bastón blanco que permite leer los mensajes del pavimento táctil a distancia<sup>3</sup>, avisando al usuario sobre los caminos a seguir o sobre posibles peligros en función de la lectura de los bloques Braille (que pueden ser direccionales, de peligro...). Sin embargo, esta invención no sería de igual provecho en distintos países con distintos niveles de infraestructura adaptada, siendo de mayor interés en países como Japón (Pioneros en la instalación de bloques Braille estandarizados según los Estándares Industriales Japoneses en 2001, que ahora recorren la extensión del país) o en Corea del Sur, lugar donde está registrada la patente, que siguió el ejemplo de Japón para adaptar su entorno urbano.

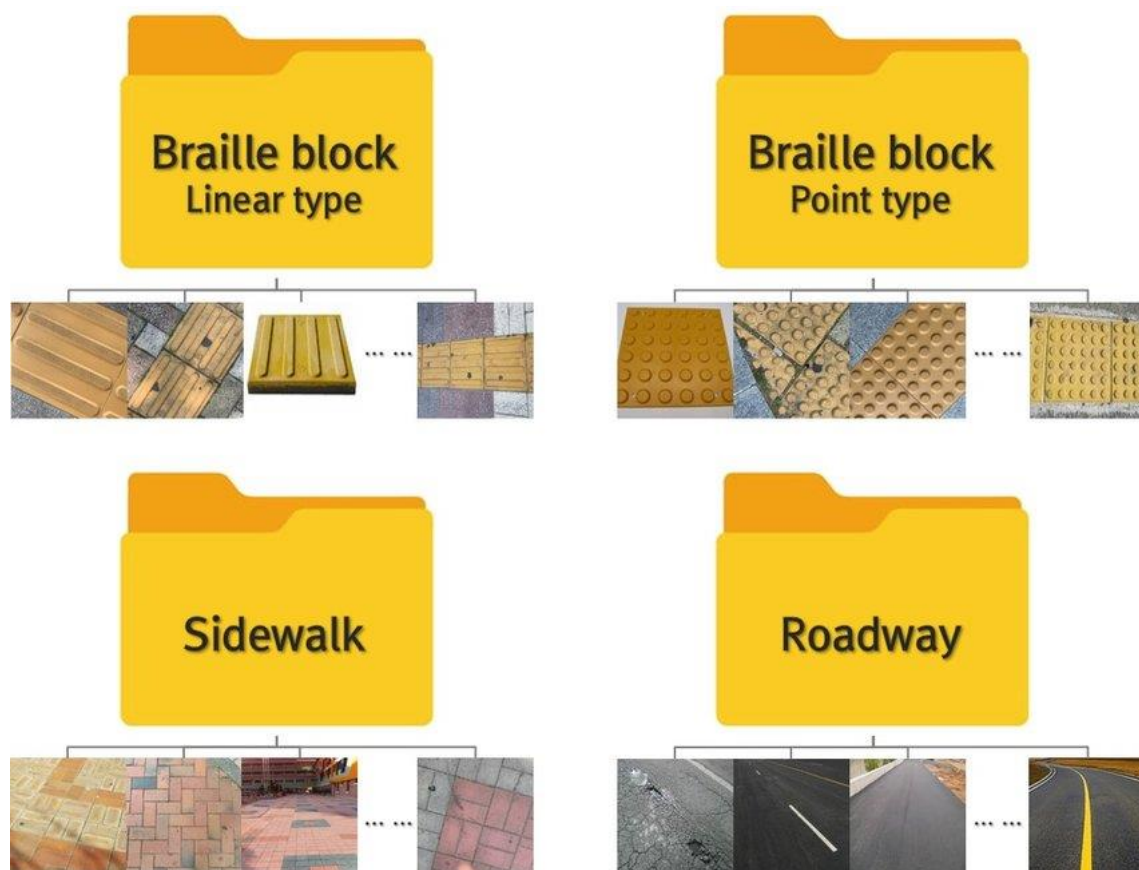


Fig 5. Datasets para el reconocimiento de bloques braille obtenidos para el diseño de una experiencia interactiva de un usuario simulando la experiencia de una persona con la visión disminuida. (Journal of the Korea Computer Graphics Society: Oh, J., Bong, C., & Kim, J., 2019).

<sup>3</sup> Gyu-sik, Jun-ki, Seung-min, Geon-do, Dong-ryeol, Han-hee (2017)

También es especialmente interesante para adentrarse en proyectos que diseñan métodos para guiar a los usuarios con la visión disminuida, como podría ser mediante la adaptación de altavoces súper-direccionales para indicar al usuario el camino o la ruta adecuada<sup>4</sup>. Sin embargo, también es curioso ver como el uso de comandos de voz y distintos sistemas táctiles remplazaron completamente esta forma de dar indicaciones, que no es tan intuitiva y fácil de usar como los otros mencionados. Para afrontar a estos problemas de interpretación, encontramos invenciones que integran métodos de señalización como el Braille y que permiten cambiar el patrón sobre bloques especiales para formular frases de este modo<sup>5</sup>. Esta incorporación parece especialmente interesante debido a la familiarización de las personas con la visión disminuida al lenguaje Braille, permitiendo transmitir información de forma rápida y sin malentendidos. Además, más recientemente encontramos líneas de desarrollo con un enfoque particular en la personalización de los sistemas, adaptándolo a las necesidades específicas del usuario y explorando distintas formas de transmitir información a través de sensaciones como la temperatura y la presión<sup>6</sup>.

Generalmente, estos sistemas de transmisión de información también van de la mano con innovaciones en otros aspectos, en muchos casos acompañados de bastones blancos, como con el desarrollo de un bastón con detectores integrados en el mango, que aún sin guiar al usuario avisa de la presencia de líquidos y humo en su camino, ayudándole a corregir la ruta y detectar situaciones potencialmente peligrosas<sup>7</sup> que no se podrían detectar sin esta invención en muchos casos. Además, también encontramos invenciones para detectar obstáculos en el camino del usuario mediante el uso de escáneres 3-D integrados en el bastón y tecnología de análisis de imágenes para obtener sus coordenadas con respecto a la posición del sistema. Comunicándole al usuario el camino a tomar a través de vibraciones en dispositivos como muñequeras<sup>8</sup>, siendo presentes estos elementos en un gran número de futuras patentes, que incorporarán tanto la tecnología LIDAR o similar para la detección de obstáculos como el uso de elementos de sujeción (como las muñequeras ya mencionadas o similares) para mantener tanto sensores como

---

<sup>4</sup> Shin-ryeol (2016)

<sup>5</sup> Gassert, Kim, Oggier, Riesch, Deschler, Prott, Beat Schneller, Hayward (2014),

<sup>6</sup>Shin-ryeol (2023)

<sup>7</sup> Shripad Subhashrao, Mahadevappa, Jayant (2016)

<sup>8</sup> Ye (2015)

transmisores de información sujetos al usuario. Esto se puede ver examinando líneas de desarrollo posteriores que usan medios más discretos para contener sensores, como con el uso de gafas para llevar cámaras que permitan la detección de obstáculos y recolectar información sobre la localización de una persona en tiempo real, ayudando a guiar a personas a un destino introducido en el sistema GPS<sup>9</sup>. Otro sistema con una funcionalidad parecida es el diseñado entorno a un chaleco con radares de onda milimétrica, permitiendo que el usuario lleve el sistema debajo de la capa exterior de la ropa, ganando en discreción y comodidad. Además, esta invención facilita el funcionamiento del sistema en un mayor número de lugares al integrar distintos sistemas GPS, como GALILEO<sup>10</sup>.

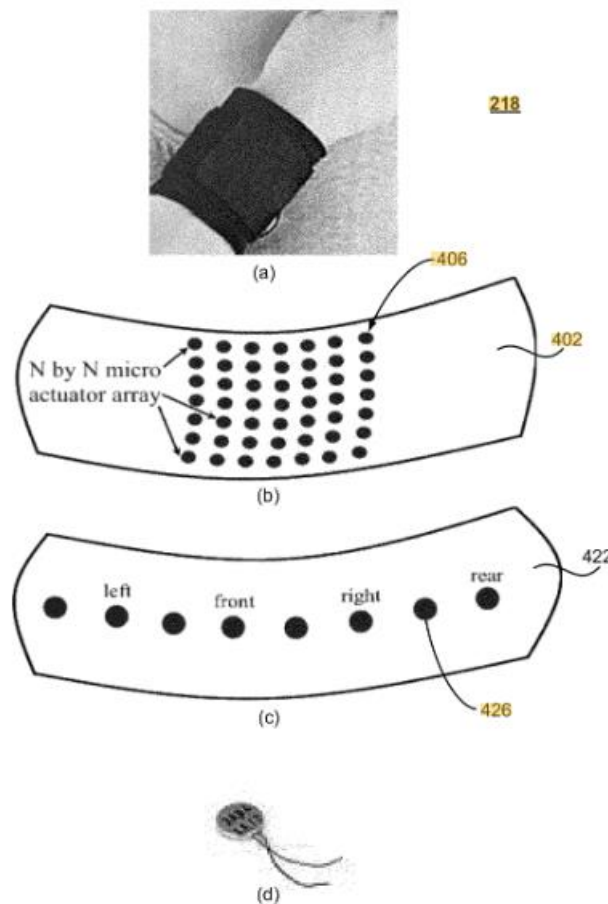


Fig 6. Imagen e ilustraciones mostrando el diseño de una muñequera para transmitir señales hápticas al usuario a través de vibraciones obtenido de la patente registrada bajo el número US9155675B2. (Portable robotic device: Ye, 2015)

<sup>9</sup>Min-ho, Jun-su, Ji-hoon (2014)

<sup>10</sup> Hirvonen, Kiuru, Hakli, Pursula (2022)

Como se puede ver con la patente anterior, el siguiente paso importante posterior a la detección de obstáculos es la capacidad de las distintas invenciones para guiar a los usuarios mediante el uso de GPS a lugares especificados por el usuario, añadiendo esta funcionalidad a las ya mencionadas anteriormente. De esta necesidad surgen invenciones tan variadas como robots guía en el sentido literal de la palabra<sup>11</sup>, que guían al usuario hasta su destino moviéndose por sus propios medios y permitiendo que el usuario se agarre a él como si de un bastón se tratase. Otra línea de investigación bastante popular añade además la funcionalidad del bastón “contactless”, integrando detectores inerciales de posición y medidores 3-D en el mango del bastón, (omitiendo el resto de este) para guiar al usuario en un entorno urbano y almacenar los cambios en la ruta y el entorno en un “mapa global”, permitiendo la comunicación entre usuarios a través de la red y resultando en un sistema más eficiente<sup>12</sup>. Además, como evolución de esta tecnología encontramos el desarrollo de una nueva invención que consigue omitir el bastón por completo y reemplazarlo por un brazalete con sensores, permitiendo liberar el uso de una mano<sup>13</sup>.

Sin embargo, el mayor avance que se puede observar en la tecnología para guiar a personas con la visión disminuida viene traído por el rápido desarrollo de los teléfonos móviles en los últimos años, ya que son accesibles a la gran mayoría de la población y contienen sensores y procesadores capaces de realizar tareas sin necesidad de diseñar aparatos más complejos y especializados. En esta línea de investigación encontramos invenciones que combinan sensores en el bastón blanco con sensores en el teléfono para medir distancias relativas con mayor precisión, trazando mejor la trayectoria del usuario en el espacio 3-D y ayudándole a superar los obstáculos que se interpongan en su camino<sup>14</sup>. Además, con el desarrollo de la tecnología relacionada con los teléfonos móviles también se aceleró el desarrollo de los sistemas de interpretación de voz e instrucciones, permitiendo a las personas con visión disminuida dictar instrucciones al teléfono móvil, que puede guiar al usuario a su destino a través de instrucciones de voz, combinando el GPS del teléfono con software de detección e interpretación de

---

<sup>11</sup>Ki-ho, Gu-young (2013)

<sup>12</sup>Tolstedt, Tolstedt (2015)

<sup>13</sup>Gameran (2022)

<sup>14</sup>Yu (2018)

imágenes<sup>15</sup>. Por último, para entender verdaderamente el potencial de los resultados de la integración de la tecnología aportada por los teléfonos en este ámbito de desarrollo, podemos examinar invenciones que añaden funcionalidades que no solo mejoran la experiencia a la hora de usar el bastón blanco sino que también sirven para mantener al usuario a salvo, usando botones en el bastón blanco para facilitar al usuario la manipulación del móvil y sensores adicionales para mejorar el reconocimiento de voz y añadir tecnología para la detección de situaciones de emergencia y para alejar al usuario de estas<sup>16</sup>.

## **1.2. Análisis de la tecnología utilizada:**

En primer lugar, debemos examinar la tecnología utilizada en estos inventos, que en muchos casos es compartida entre las distintas líneas de desarrollo, al presentar todas características similares (forzosamente debido a los aspectos compartidos entre sí). Entre estas tecnologías encontramos aspectos como el LIDAR o el GPS, que comentaremos a continuación.

El LIDAR, o Light Detection and Ranging, es un método de determinar las distancias a objetos a través de la emisión de rayos de luz, que ayudan al sistema a calcular la distancia con los objetos enfocados al medir el tiempo que tarda la luz emitida en volver al receptor. Sabiendo estas distancias se puede formar una “nube de puntos”, una imagen 3-D que representa los objetos en el entorno del sensor, utilizada para crear una imagen en tiempo real. Al cambiar esta imagen prácticamente en tiempo real, es especialmente interesante para el entorno urbano, siendo capaz de detectar a personas y objetos en movimiento.

Este sistema está compuesto por varios componentes, el principal siendo el láser, que permite el funcionamiento del sistema. El tipo de láser utilizado para aplicaciones no-científicas es de 600-1000 nm, siempre que su potencia esté capada para evitar el daño a la visión de personas y animales que sean iluminados por el sistema. Sin embargo, una

---

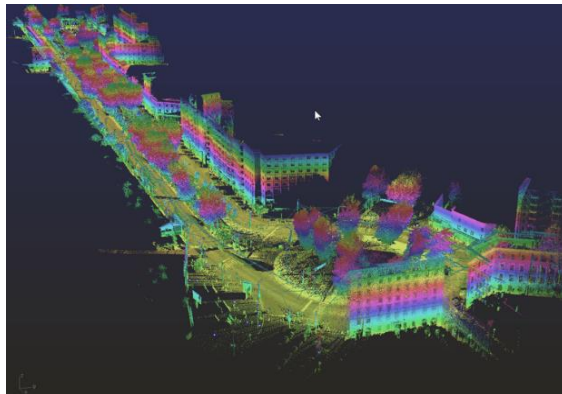
<sup>15</sup>Shukai, Fengyun, Jin, Shaobo, Lidan, Huamin (2018)

<sup>16</sup> Bagain (2018)

alternativa que me resulta especialmente interesante es el uso de láseres de 1550 nm, una longitud de onda a la que el ojo no es especialmente sensible, permitiendo el uso de láseres de mayor potencia que son capaces de detectar objetos a mayores distancias.

Otro de los aspectos que hace que este sistema sea especialmente interesante es la reciente inclusión de sistemas LIDAR en teléfonos móviles, desde 2019 en modelos de Samsung como el Galaxy S10 5G y desde 2020 en modelos de Apple a partir del iPhone 12 Pro. La incorporación de estos sensores tan potentes en tecnología al alcance del público supone un gran paso hacia delante para la accesibilidad y la

*Fig 7. Representación de una imagen tomada por un sistema LIDAR, obtenida por Trimble Applanix LiDAR QC Tools. (2024).*



mejoría de la calidad de vida de las personas disminuidas, además de ser de gran ayuda para el desarrollo de sistemas de ayuda, ya que suponen ser un paquete de sensores integrados en un dispositivo ligero con mucha potencia disponible, de sobra para llevar a cabo el análisis y la interpretación de la información recibida.

Además, los sistemas LIDAR también cuentan con su propia fuente de iluminación al tener sensores activos, significando que estos sensores son capaces de funcionar hasta en la oscuridad, suponiendo una gran ventaja sobre sistemas contruidos en torno a cámaras tradicionales, como la fotogrametría.

La fotogrametría es un sistema de reconstrucción del entorno basado en el uso de cámaras para recolectar información a partir de imágenes tomadas en tiempo real. Esta recopilación de información se puede enfocar a través de dos tipos de sistemas, monoculares y aquellos basados en un enfoque estéreo. Los sistemas monoculares solo necesitan una cámara, y destacan por su velocidad de procesamiento. Las formas de procesar la información contenida en la imagen varían en función del sistema. En primer lugar, encontramos los métodos basados en la extracción de información basados en la apariencia de los objetos en la imagen, entrenando a un dispositivo a detectar fondos de imagen como el cielo y el suelo en sistemas terrestres para luego superponer los objetos detectados en la imagen usando “Conventional Neural Networks” para acelerar la

velocidad de procesamiento y poder aplicar el sistema a aplicaciones en la vida real. El resultado de este análisis es una imagen binaria, con el fondo representado con píxeles negros y los obstáculos representados por píxeles blancos. Analizando los resultados de estas imágenes podemos observar como este sistema es muy útil para la detección de obstáculos, pero no tanto para posicionarlos en el entorno del detector, careciendo información como la distancia o posición en la que se encuentran estos obstáculos.

Otros sistemas que se utilizan con frecuencia son aquellos basados en el movimiento, que asumen que los objetos en movimiento tienen aristas claramente definidas cuyo movimiento entre dos fotogramas sacados con intervalos de tiempo muy pequeños se puede representar a través de vectores de movimiento. Examinando el módulo de los vectores se puede determinar la distancia a la que se encuentran los objetos teniendo en cuenta la perspectiva del usuario, siendo los vectores de mayor tamaño los que más cerca se encuentran del receptor. En cuanto a aplicaciones a la vida real encontramos que la calidad del muestreo de imágenes en tiempo real depende en gran medida de la cantidad de fotogramas por segundo además de la calidad de los puntos que se seleccionan, con las aristas pudiendo perder nitidez al pasar a un formato de video. Este método también se puede complementar con los basados en la expansión de los objetos detectados, que examina los vectores de movimiento de las aristas para determinar la velocidad de expansión de los objetos detectados, determinando la velocidad de acercamiento a partir de esta información.

Sin embargo, el método que más apropiado resulta para nuestra aplicación en concreto es el de detección basado en el análisis de profundidad de campo de las imágenes obtenidas a través de una cámara. Esto permite detectar objetos en cualquier situación, incluyendo cuando el sistema de detección está estático, ya que no necesita analizar los vectores de movimiento de los objetos para detectarlos (una gran desventaja para los sistemas basados en la expansión y movimiento de los objetos). Además, gracias a los avances recientes en tecnología como el deep learning podemos evitar la necesidad de tener dos cámaras distintas para llevar a cabo este análisis (que en principio solo estaba disponible para sistemas estéreo). Estos sistemas se entrenan mediante el uso de librerías de datos recolectados a través de sistemas LIDAR, que los dotan de una gran precisión. Una importante ventaja de estos sistemas sobre los demás es que, al calcular la profundidad de los píxeles de la imagen sin necesidad de realizar los cálculos vectoriales se obtiene

una mayor velocidad de procesamiento, permitiendo obtener un análisis en tiempo real a través de la integración de estas librerías en lenguajes como Python or Jupyter Notebook.

En este proyecto también demostraremos la viabilidad de este método de procesamiento de imágenes para la detección de imágenes, analizando los distintos modelos y examinando los beneficios y desventajas de usar modelos de distintos tamaños, con algunos modelos más complejos permitiendo una mayor velocidad de procesamiento (permitiendo analizar más fotogramas por segundo) a costa de mayor nitidez de interpretación.

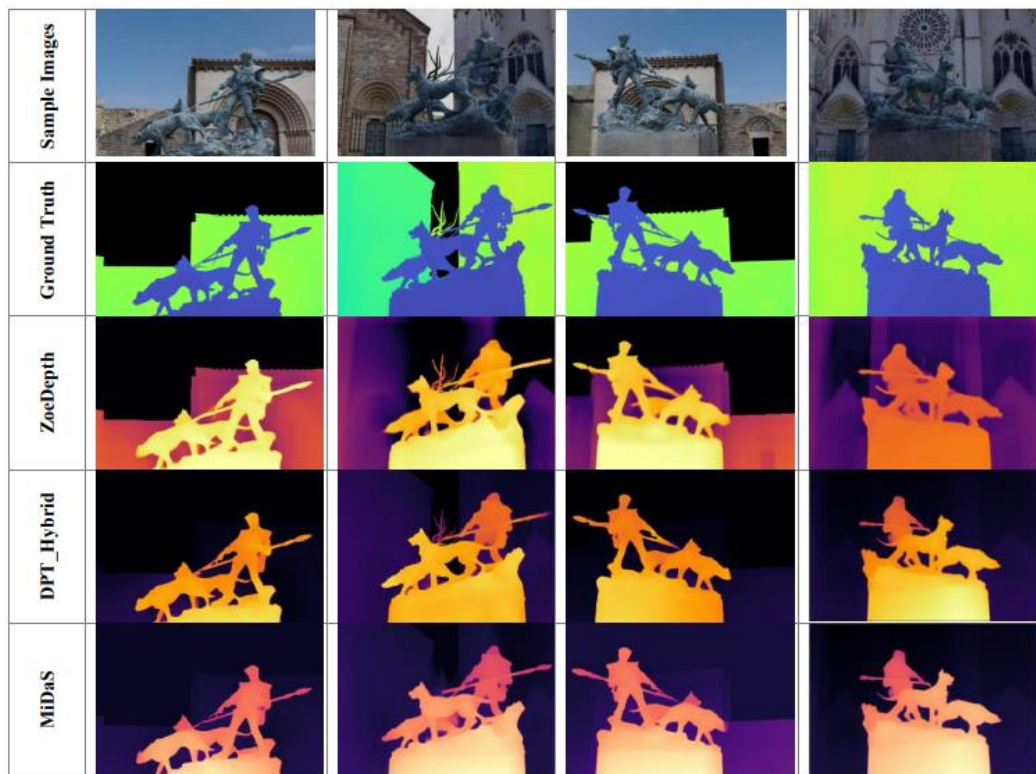


Fig 8. Representación de distintos métodos de procesamiento de imágenes, imagen toma de la Sociedad Internacional de Fotogrametría y Sensores Remotos (ISPRS) (2024).

En cuanto a los denominados sistemas estéreo son capaces de ofrecer una mayor resolución, pero requieren un sistema para procesar imágenes más complejo. Además, obtener el mapa 3-D a través de la composición de dos imágenes necesitan sistemas de calibración muy precisos, que puede suponer un problema en aplicaciones que vayan a ser sometidos a muchas vibraciones como podría ser su integración en un sistema de guía

para personas con la visión disminuida (al ser sometidos a las vibraciones producidas por la interacción del dispositivo y su entorno como podría ser la producida por el contacto de un bastón blanco con bloques Braille). Sin embargo, una de las formas con las que se podría evitar el problema sería a través de la integración de las cámaras en dispositivos fijados al usuario, como podría ser un chaleco, evitando estas vibraciones.

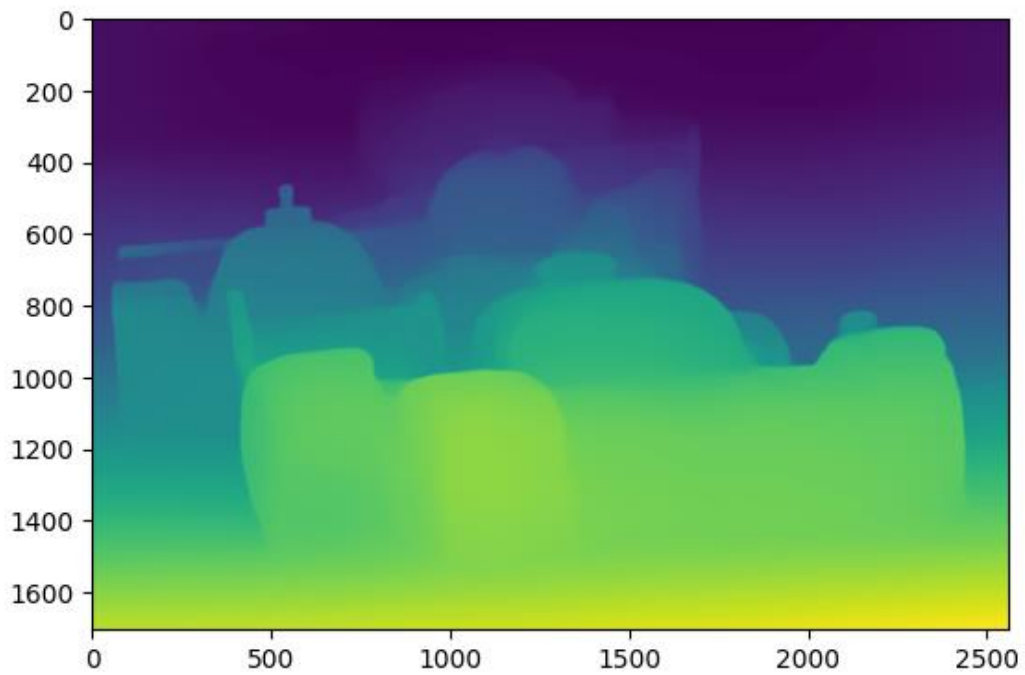


Fig 9. Imagen representando el sistema de detección de la profundidad de píxeles en una imagen. Elaboración propia usando Python y el programa MiDaS (2024).

Además, un factor que se ha de tener en cuenta es la posibilidad de combinar el LIDAR y la fotogrametría para obtener mejores resultados de detección de obstáculos, ya que tienen diferencias entre ellos que pueden funcionar para complementarse entre sí.

En primer lugar, encontramos que el LIDAR tiene una mayor precisión que la fotogrametría, aunque esta diferencia cada vez se puede ver más reducida a través de la evolución del deep learning, sobre todo si los modelos de aprendizaje toman datos directamente de sistemas LIDAR, además, los sistemas LIDAR son capaces de visualizar obstáculos a través de vegetación como arbustos, que, a pesar de ser una ventaja en ciertas situaciones puede resultar perjudicial en nuestro caso, ya que el sistema también debe ser capaz de detectar y avisar al usuario de la presencia de estos tipos de obstáculos. A su vez, también es importante volver a destacar que no todas las situaciones son abarcables a través de la fotogrametría, ya que es dependiente de la presencia de luz para obtener las fotografías necesarias.

La efectividad de la combinación de LIDAR y fotogrametría se puede ver claramente examinando imágenes que representan esta integración.

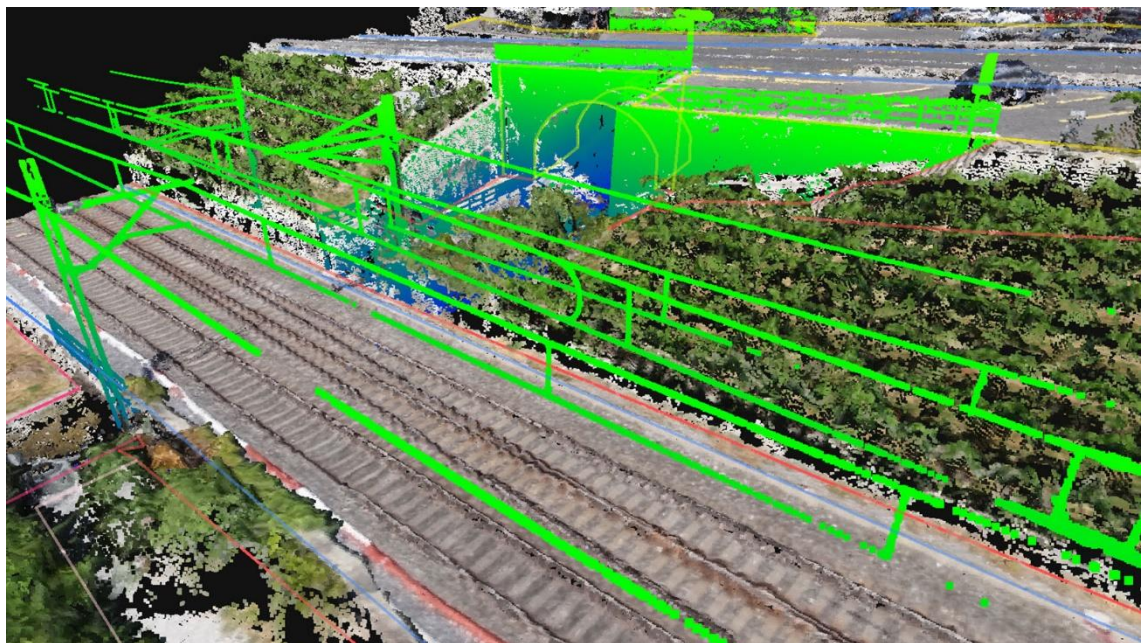


Fig 10. Imágen mostrando la combinación de LIDAR y fotogrametría para obtenida por Pix4D. Imagen de "LiDAR vs Fotogrametría: ¿Cuál es la diferencia y cuándo usarlos?". (Pix4D, 2024)

Se puede ver claramente como hay detalles que no son captados por la fotogrametría, ya sea debido a la resolución de la imagen original o debido a la pérdida de información en

el procesamiento de la imagen. Sin embargo, al combinar esta imagen con el resultado obtenido por LIDAR se puede conseguir una imagen completa y a alta resolución del entorno. Además, mientras que el LIDAR detecta obstáculos más pequeños (y por lo tanto más difíciles de captar) como los guardarraíles y la catenaria, la fotogrametría también ayuda a obtener la imagen completa al captar la vegetación en la escena. (Se puede observar cómo el LIDAR no detecta los arbustos encima de la boca del túnel y muestra la salida del túnel detrás de estos).

Otro de los sistemas cruciales para cualquier tipo de dispositivos de ayuda a personas con la visión disminuida es el GPS o Global Positioning System, un sistema de navegación por satélite desarrollado por los Estados Unidos que se ha convertido en el sistema referente de la navegación por satélite. El funcionamiento es relativamente sencillo, con cada satélite transmitiendo una señal única que es detectada por el receptor, capaz de medir la distancia al satélite en función del tiempo que tarda en llegar la señal desde su emisión. Es capaz de posicionar un receptor con una precisión de 7 metros en cualquier punto de la superficie de la tierra (o cercano a ella) un 95% de las veces. Para conseguir esta precisión, se necesitan 4 satélites, cada uno para obtener acerca de la altitud, latitud, longitud y diferencias de tiempo entre la emisión de las señales y su recepción, siendo esto posible gracias a red de más de 30 satélites orbitando la tierra en todo momento. A pesar de la dominancia del sistema GPS, hay otros sistemas que han sido incorporados en inventos ya desarrollados como hemos visto anteriormente, por ejemplo, el invento “Navigational aid with adaptive radar”<sup>17</sup>, integra sistemas como el GALILEO Europeo o el GLONASS Ruso para una mayor cobertura y compatibilidad.

Este sistema es crucial para los sistemas de ayuda a personas con la visión disminuida debido a la posibilidad que ofrece de planificar rutas, permitiendo al dispositivo no solo evitar obstáculos con los otros sensores sino ser de una mayor utilidad. Además, este sistema también está integrado hasta en los teléfonos móviles más básicos, eliminando la necesidad de integrar un sistema y receptor GPS separado en el producto.

---

<sup>17</sup> Hirvonen, Kiuru, Hakli, Pursula (2022)

### **1.3. Comparativa entre diferentes líneas de desarrollo:**

Examinando estas líneas de desarrollo encontramos varios planteamientos claramente distintos que deberemos examinar de manera más profunda para determinar cuál será el enfoque más adecuado para nuestro caso. Aunque estas invenciones comparten el resultado final de su aplicación a la vida real (guiar a una persona con la visión disminuida de un sitio a otro evitando obstáculos), la forma en la que llevan a cabo esta tarea y el concepto mediante el cual llevan a cabo esto varía drásticamente. Es por esto por lo que examinaremos a continuación los principales conceptos en mayor profundidad, seleccionando aquellas invenciones más representativas y comentando sus aspectos técnicos en detalle.

En primer lugar, encontramos un tipo de diseños centrados en el enfoque del andador, caracterizados por permitir que el usuario se apoye en el invento, ya sea empujándolo para moverlo o siendo este semoviente, usando motores y ruedas para propulsarse. En esta categoría encontramos el proyecto de Glide<sup>18</sup>, un nuevo concepto presentado este año y con lanzamiento anticipado en la primavera de 2024 con forma de andador autoguiado (no motorizado) diseñado para facilitar la movilidad autónoma a personas con la visión disminuida. Combina aspectos mencionados anteriormente, como el uso de señales hápticas (señales táctiles estandarizadas para transmitir información, como podría ser el Braille) transmitidas al usuario a través del mango, además de una gran variedad de sensores como sensores de profundidad para la detección de obstáculos y una Unidad de Medida Inercial para calcular el desplazamiento del usuario de forma más precisa. Otra función que destaca de esta invención es la posibilidad de regenerar energía con el movimiento del sistema a través de la rotación de sus ruedas, permitiendo una larga duración de la batería. El funcionamiento es relativamente sencillo, ya que, al no tener motor y ser impulsado por el usuario solo debe registrar los obstáculos en la ruta establecida por el usuario y guiar al usuario a través de las señales del mango y de la rotación de este, permitiendo el empuje en la dirección de movimiento deseada. Otra característica del deslizador es la implementación de nuevas tecnologías en desarrollo como el uso de Glidance AI, una inteligencia artificial que obtiene datos a través de los sensores del sistema en tiempo real para optimizar las rutas a seguir por el sistema, evitar

---

<sup>18</sup> [GLIDE, un deslizador Robótico que irrumpe en escena y aspira a ser un auxiliar de movilidad más - InfoTecnoVision](#)

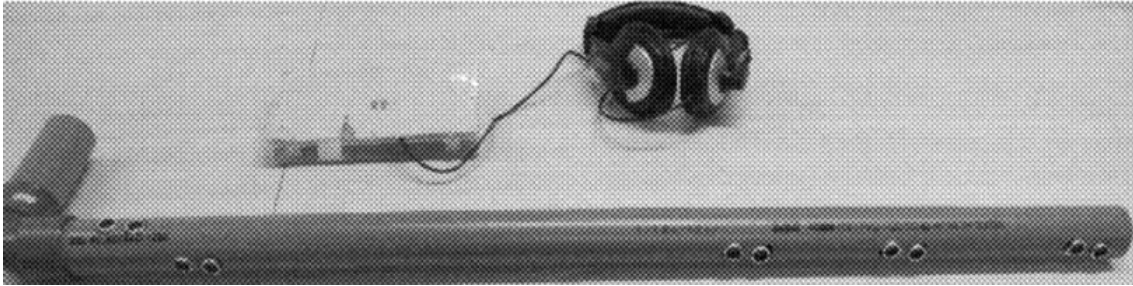
peligros y objetos en la ruta designada e interpretar situaciones potencialmente peligrosas como el principio y final de escaleras para avisar al usuario de estas. Además, el sistema es ligero y capaz de sustentar su propio peso, facilitando su uso y transporte, cumpliendo de esta forma los requisitos que se planteaban en la motivación del proyecto.

Otro de los enfoques que encontramos es el de integrar el sistema de guiado en el bastón blanco, aprovechando la familiaridad de las personas con la visión disminuida con este método de detección de obstáculos. De este modo, encontramos una solución para mejorar las capacidades de uno de los principales apoyos de las personas con discapacidades visuales, en vez de intentar reemplazarlo. Esto es una de las grandes ventajas presentadas por esta línea de desarrollo, ya que de esta forma se puede conseguir reforzar la confianza de las personas que requieran del uso de esta invención desde el primer momento, sin necesidad de que pasen por un periodo de adaptación que podrían perder confianza en el invento y más importante, en sí mismos.

En cuanto a los productos de este tipo ya desarrollados conviene comentar en profundidad dos de los anteriormente mencionados, empezando por VENUCANE<sup>19</sup>, un producto diseñado a través del Indian Institute of Technology Kharagpur, que pretendía ayudar a las personas con la visión disminuida con un sistema basado en torno a la mínima interferencia física del usuario, con la capacidad de guiar al usuario e informarle de los obstáculos en la ruta a través de un sistema auditivo. La base de este producto es el bastón blanco, compartido con muchos otros productos de asistencia a personas con discapacidades visuales, pero, sin embargo, integra elementos que lo diferencian de los demás, razón por la que nos detenemos a examinarlo en detalle. Este producto puede ser proporcionado tanto con tecnología inalámbrica como cableada, proporcionando el elemento de modularidad, permitiendo adaptar el producto a las necesidades del usuario y abaratar costes en el caso de que sea necesario. Además, cuenta con sensores muy particulares y de gran utilidad como detectores de humo, líquidos y metales. De esta forma, consigue avisar al usuario de peligros que muchos otros productos con características similares no podrían detectar.

---

<sup>19</sup> Shripad Subhashrao, Mahadevappa, Jayant (2016)



*Fig 11. Imágen mostrando el sistema de transmisión de información al usuario y un prototipo del bastón Venucane,. (Venucane: an electronic travel aid for visually impaired and blind people: Shripad Subhashrao, Mahadevappa, Jayant, 2016)*

Este “paquete” de sensores está integrado en el mango del bastón para aprovechar el espacio interior del bastón blanco, una característica especialmente interesante para nuestra aplicación ya que uno de los objetivos que se han de alcanzar con el invento a desarrollar es conseguir que este sea plegable y fácil de transportar, que puede resultar difícil con otros sistemas que integran los sensores y procesadores en el exterior del mango del bastón. Además, de esta forma se consigue conservar la ergonomía del bastón original, resultando en un sistema mucho más cómodo para el usuario que cualquier otro que requiera una adaptación especial del usuario a la hora de usarlo. En cuanto a los sensores, encontramos que están agrupados en un “paquete” que los agrupa y envía las señales detectadas a un microcontrolador que procesa la información. Este paquete de sensores está compuesto por un detector de obstáculos del nivel del suelo al nivel de la cintura (formado en sí por 8 sensores ultrasónicos enfocando en diversas direcciones para cubrir todo el entorno del usuario) y detectores de humo, líquidos y metales, que se seleccionan en base a la altura del usuario y el bastón para conseguir una mayor fiabilidad y comodidad. Esta invención también destaca frente a las demás con la división del procesador en dos zonas para procesar y recolectar datos por categorías. Por un lado, encontramos la sección de seguridad, encargada de detectar los obstáculos de líquido como podrían ser charcos en el suelo, humo fuego o gas además de vallas metálicas o bolardos (a través del detector de metales). Por otro lado, encontramos la partición dedicada al control del sistema, usando un microcontrolador de 8 bits para procesar la información recolectada por la sección de seguridad y enviando las decisiones tomadas a partir de estos datos al usuario mediante comandos de voz.

Esta forma de transmitir información también debe ser considerada a la hora de decidir la forma de transmitir información al usuario en nuestro proyecto. Por un lado, encontramos

que de esta forma se puede transmitir una gran cantidad de información al usuario de una forma relativamente sencilla, al estar la lista de instrucciones guardada en una memoria interior. Sin embargo, hay que considerar que, en un entorno urbano muy ruidoso, estas instrucciones se podrían confundir fácilmente, resultando frustrante para el usuario. Además, hay que tener en cuenta que llevar audífonos retransmitiendo sistemas de voz puede ser un problema de seguridad, ya que está comprobado que los audífonos reducen la percepción espacial de las personas, con una gran cantidad de accidentes siendo provocados por personas con audífonos, siendo especialmente peligroso en personas con discapacidad visual.

Otra característica interesante que viene de la mano de la distribución de los sensores en la caña del bastón es la capacidad de detectar escaleras usando el bastón. Gracias a los sensores orientados hacia delante, el sistema es capaz de detectar las escaleras de subida, con los sensores orientados en la parte de atrás de la caña (mirando hacia abajo) siendo capaces de detectar escaleras de bajada. De esta forma se puede avisar al usuario de la presencia de estas para una mayor seguridad y comodidad.

Como hemos comentado antes, en invenciones más recientes podemos encontrar la integración de sensores de mayor precisión como el LIDAR<sup>20</sup>. Además, la combinación de sensores resulta ser de especial interés en esta aplicación debido a que es de esta forma se pueden detectar obstáculos con mayor seguridad, contrastando la información obtenida a través de varios métodos y dotando al usuario de una mayor seguridad al usar la invención. Sin embargo, esta combinación de sensores solo ha podido ser desarrollada en los últimos años debido al abaratamiento del coste computacional, traído por el desarrollo de nuevos chips más ligeros y baratos.

Además, encontramos un claro desarrollo de esta tecnología con la integración de sistemas contactless. En esta línea de desarrollo encontramos sistemas más complejos que los anteriormente mencionados, debido a que necesitan sensores más poderosos para reemplazar completamente la sensibilidad del usuario, que ya no puede usar el bastón blanco para orientarse. En nuestro estudio de las tecnologías existentes conviene

---

<sup>20</sup> Ye (2015)

profundizar en una invención ya mencionada anteriormente, desarrollada por Jonathan y Maxwell Tolstedt. Esta invención resulta especialmente interesante y relevante a nuestro caso debido a la decisión de incluir parte del bastón blanco, con el mango sirviendo como carcasa para los sensores encontrados en el interior del bastón. Dentro de esta carcasa encontramos sistemas como una unidad de medición inercial compuesta por tanto acelerómetros como giroscopios para detectar el movimiento lineal y rotacional en los 3 ejes de movimiento (generalmente 1 acelerómetro y 1 giroscopio situado en cada eje del espacio), micrófonos para recibir comandos de voz o sistemas GPS para localizar al usuario y poder guiar al usuario. Además, una importante diferencia de este sistema frente a los mencionados anteriormente es que este dispositivo tiene un receptor inalámbrico para recibir instrucciones y actualizaciones sin necesidad de tener un procesador integrado en el bastón (que añadiría bastante peso), aunque si se puede complementar para aplicaciones que requieran una mayor capacidad de procesamiento. Además, este dispositivo también puede ser equipado con un sistema de augmentación GNSS, sistemas que mejoran la precisión de los sistemas de GNSS (Global Navigation Satellite System) como el GPS, siendo WAAS, EGNOS, MSAS y GAGAN los mencionados en la patente de la invención. Además, de esta forma se consigue obtener un dispositivo con precisión suficiente para detectar la dirección en la que está orientado, permitiendo dirigir al usuario en entornos que requieren un gran conocimiento del espacio entorno al usuario, como buzones, pulsadores para cruzar pasos de zebra o escaleras. Esta precisión se puede observar a través de los comentarios de Tolstedt en la descripción detallada del invento en la patente con número US9037400B2 “For example, using these sensors in combination with map data downloaded from the internet and stored in non-volatile memory, it could tell when it is being held seven floors above the ground, from a window in Room 737 in Rienow Hall dormitory at the University of Iowa in Iowa City, Iowa, pointing down at the ground directly to the east of the building at an angle of 45 degrees off of horizontal. If the map information stored in the device also included information about the structure of the building itself, the virtual walking stick could then give you instructions that would guide you to the door of the room, out into the hall, down to the stairs, and out of the building into the street.”<sup>21</sup> Este nivel de precisión no es una exageración, si no el que se debe alcanzar para que una persona sea plenamente autónoma en el mundo actual, resaltando la necesidad de combinar elementos de productos ya

---

<sup>21</sup> [US9037400B2 - Virtual walking stick for the visually impaired - Google Patents](#)

existentes para mantener o mejorar la capacidad de detección pero mejorando la portabilidad y ergonomía del sistema.

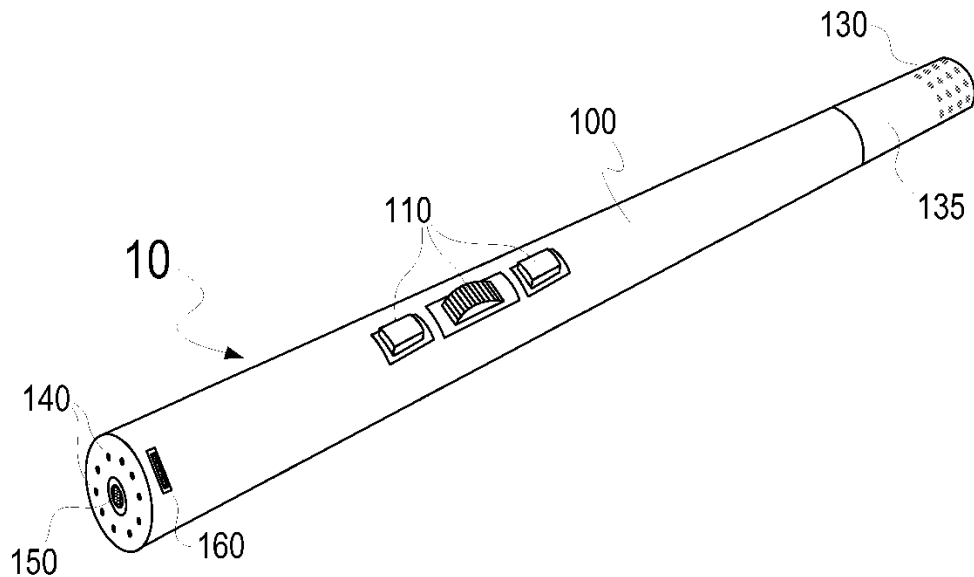


Fig 12. Imagen mostrando el diseño de Jonathan y Maxwell Tolstedt incluido en su patente número US9037400B2<sup>22</sup>. (Tolstedt, 2015).

Siguiendo esta misma línea de desarrollo, también encontramos invenciones diseñadas para conseguir incluir esta tecnología contactless en sistemas minimalistas. Para conseguir este objetivo, este nuevo enfoque incluye la integración de la tecnología en las determinadas “wearables”, o prendas que permiten llevar sensores y otros elementos necesarios para el funcionamiento adecuado de la invención. En este producto en concreto, se consiguen integrar los sensores y plataformas de procesamiento (Arduino en este caso) en una banda que puede llevar el usuario, con los transmisores de información hápticos siendo integrados en guantes<sup>23</sup>. Además, en esta invención también se destaca la modularidad, pudiendo modificar fácilmente la forma de llevar los sensores y transmisores de información, como los propios sensores y la forma de transmitir la información, permitiendo cambiarla para mantener la efectividad al pasar de una plataforma “wearable” a otra. Esto se puede ver claramente examinando la estructura del dispositivo, formado entorno a un Arduino Uno, un microcontrolador de código abierto de mucha flexibilidad, permitiendo integrar una gran cantidad de sistemas al producto, en función de las preferencias del usuario.

<sup>22</sup> Tolstedt, Tolstedt (2015)

<sup>23</sup> K P Venkat Vivek, J Vandana, K Sripooja , Abhishek Choubey (2022)



Fig 13. Diagrama de bloques mostrando el entorno de la invención, en el que se puede ver claramente la modularidad del sistema y la capacidad de añadir sistemas de interacción con el usuario (A la derecha del bloque representando al Arduino Uno). (A Smart Wearable Guiding Device for the Visually Impaired People: K P Venkat Vivek, J Vandana, K Sripooja, Abhishek Choubey, 2022)

Además, debido a que debe transmitir más información al usuario a través de los sensores se deben incorporar nuevas formas de comunicación para no sobre estimular al usuario, transmitiendo información de una forma que permita interpretar las señales claramente. Entre estas invenciones encontramos la desarrollada por Noah Eitan Gamerman, una “ayuda para el desplazamiento electrónica” para personas con la visión disminuida, que ya hemos comentado anteriormente. Está invención también sigue el enfoque de las “wearables”, integrando los sensores necesarios en una muñequera, midiendo las distancias a los obstáculos en el camino del usuario a través de un sensor laser. Sin embargo, una de las características más relevantes para nuestro caso es la forma de transmitir la información recabada por el sensor al usuario. Esto se realiza a través de señales hápticas que varían en intensidad en función de la cercanía de los objetos. Además, estas señales vibro-táctiles son transmitidas a través de un módulo que puede ser posicionado en cualquier lugar del cuerpo del usuario, dependiendo de su preferencia (volviendo de nuevo al aspecto de la modularidad). Otra característica importante es la posibilidad de calibrar la ganancia de las señales transmitidas, permitiendo al usuario variar el enfoque del sistema de detección, pudiendo centrarse tanto en distancias más largas como en aplicaciones de corto alcance en función de sus necesidades.

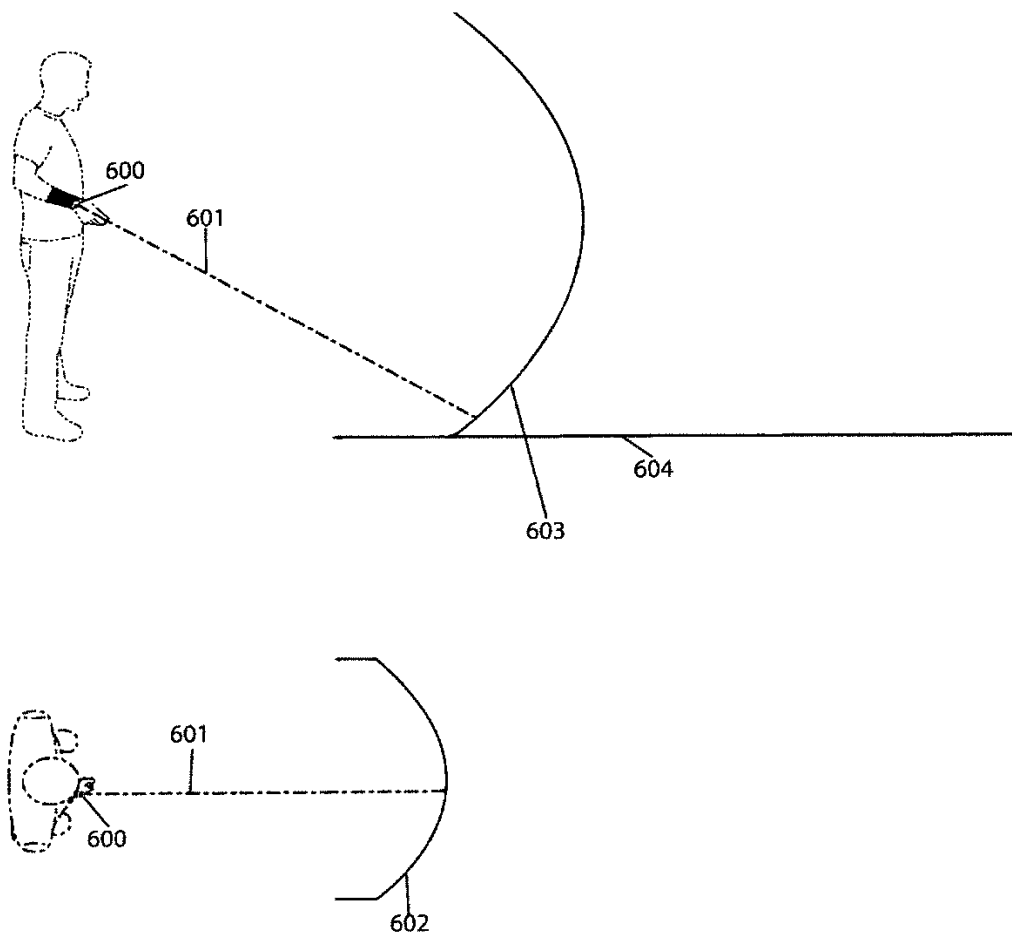


Fig 14. Ilustración mostrando la aplicación de la integración del sistema de detección de obstáculos en una muñequera el incluido en la patente con número US1136543B2<sup>24</sup>. (Gamerman, 2022)

También encontramos un nuevo avance presente en esta invención en la utilización de piezas estándar fabricadas a través de la impresión 3D. De esta forma, se consigue utilizar tecnología que solo ha sido disponible a gran escala a partir de los últimos años para facilitar la producción de estas piezas a gran velocidad. Además, debido a la simplicidad del proceso de fabricación, se permite una mayor personalización de las piezas. Otras de las ventajas que también tiene la impresión 3D sobre otros métodos tradicionales de fabricación también son el bajo coste de fabricación, o el alto rendimiento de las piezas producidas debido al desarrollo de filamentos de gran resistencia pero sumamente ligeros a la vez, como podría ser el filamento de Policarbonato, que con un diámetro de tan solo 1.75 mm y una densidad de 1.2 g/cm<sup>3</sup> es capaz de mantener una resistencia a la tracción de 65 MPa<sup>25</sup>.

<sup>24</sup> Gamerman (2022)

<sup>25</sup> Datos del fabricante: [PC Filament, 1.75 mm, 750 g, glass-clear / transparent \(orbi-tech.de\)](https://www.orbi-tech.de/PC-Filament-1.75-mm-750-g-glass-clear-transparent/)

#### **1.4 Conclusiones del capítulo y objetivos:**

En conclusión, a pesar de que todos los inventos desarrollados tienen la misma finalidad (guiar a personas con la visión disminuida a un destino seleccionado por el usuario evitando obstáculos en el camino) podemos hacer una clara distinción entre dos líneas de desarrollo muy marcadas. En la primera línea, encontramos sistemas de guía más voluminosos que cumplen funciones de andador, orientan al usuario a través de su propio movimiento. Sin embargo, estos sistemas vienen con un coste adicional además de una movilidad reducida, sobre todo si incluyen sistemas de autoguiado, al tener que incluir motores en el dispositivo. Mientras que estos sistemas pueden resultar extremadamente útiles en algunas situaciones en las que el usuario tenga la movilidad reducida o necesite un soporte para poder desplazarse, también puede resultar un inconveniente en situaciones en las que el usuario requiera una mayor autonomía, permitiendo que el usuario se desplace más ágilmente y permitiendo el uso de escaleras y situaciones similares.

En cuanto a la otra línea de desarrollo encontramos un enfoque más centrado en la accesibilidad, generalmente integrando sensores de guiado y para detectar obstáculos en sistemas como el bastón blanco. De esta forma, se pretende ofrecer una mayor seguridad al usuario sin retirarle un sistema ya conocido como el bastón. Además, podemos encontrar distintos enfoques dentro de este tipo de invenciones, con algunas más enfocadas en la sencillez de la interacción del usuario con el dispositivo y algunas más enfocadas en la innovación a través de sistemas más complejos como la tecnología contactless. Sin embargo, una característica que tienen en común todos estos sistemas es la necesidad de transmitir la información de guiado al usuario de una forma rápida y efectiva, permitiendo que el usuario tome decisiones rápidas para evitar obstáculos en su camino. Este aspecto de la invención es especialmente complejo y por lo tanto muchas invenciones desarrollan sus propios modelos de transmisión adaptado a las condiciones específicas de funcionamiento. Algunas de las alternativas que se pueden ver en estos productos pueden ser tanto sistemas basados en la retroalimentación háptica, transmitiendo la información al usuario mediante bloques Braille o señales vibro-táctiles, como sistemas auditivos, retransmitiendo las direcciones a tomar al usuario, así como los peligros y obstáculos en su camino a través de señales auditivas almacenadas en una memoria interna.

Otra de las características que está presente a través del desarrollo en el tiempo de estos productos es el enfoque cada vez más presente en la modularidad de los sistemas, permitiendo al usuario adaptar el producto a sus necesidades para una experiencia personalizada más cómoda.

Habiendo examinado las distintas corrientes de desarrollo y las características de los productos nos damos cuenta de que ninguno de los sistemas actuales solucionan los problemas que hemos propuesto solucionar con efectividad y de la importancia de considerar las distintas alternativas a la hora de incorporar funcionalidades a nuestro producto, ya que estas pequeñas decisiones de diseño pueden cambiar drásticamente la funcionalidad y el concepto del producto desarrollado, resultando en un producto final que no cumple con los requisitos establecidos al principio del proyecto. Por estas razones, deberemos establecer unos objetivos muy claros para el desarrollo adecuado de este proyecto.

En primer lugar, encontramos que la mayoría de estos productos no están centrados en la movilidad del usuario, significando que este no pueda realizar tareas básicas en su día a día pudiendo, por ejemplo, subir y bajar de un vehículo con facilidad y subir y bajar escaleras. Esto puede llegar a resultar incluso frustrante para el usuario, que podría ver como un dispositivo que en teoría debería ayudarle se convierte en un inconveniente a la hora de realizar actividades en su día a día. También vemos la importancia de tener un dispositivo que sea fácil de usar para personas de todas las edades y que complemente los productos de ayuda existentes. Esto es especialmente relevante cuando vemos, tras el estudio de los dispositivos examinados, que en muchos casos estos intentan reemplazar los productos como el bastón blanco por sistemas más complicados, retirando de esta forma un apoyo clave en el día a día de las personas con la visión disminuida con el que las personas con la visión disminuida se manejan con gran destreza. Es por esto por lo que en los siguientes capítulos explicaremos con más detalle las características que incluiremos en nuestro diseño para solucionar estos problemas.

## Capítulo 2. Diseño cadena cinemática.

### 2.1. Diseño de la cadena cinemática del sistema.

En esta sección del trabajo estudiaremos los componentes y realizaremos el diseño de la cadena cinemática del sistema, es decir, todos aquellos componentes que produzcan movimiento y trasladen fuerza desde el motor hasta el sistema de retroalimentación háptico. Esta cadena empieza con el motor, que transforma energía eléctrica proveniente de la batería en energía cinética, y por lo tanto uno de los componentes cruciales del sistema. Sin embargo, la elección de este componente no es una tarea fácil, sobre todo debido a las restricciones de tamaño del mango de la invención. Esta condición de tamaño máximo significa que el servo debe caber en el interior de este cómodamente, con una altura máxima de 28 mm y una anchura máxima de 13.7 mm como se puede ver en las figuras mostradas a continuación.

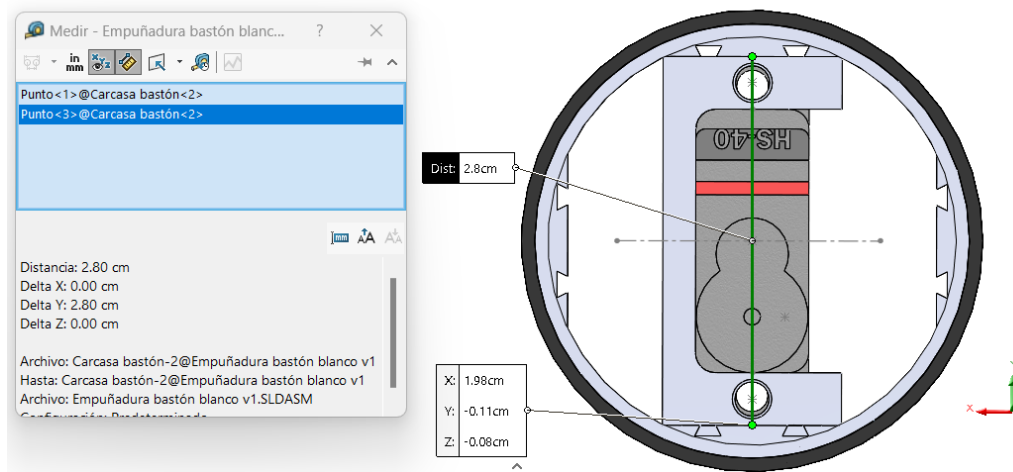


Fig 15. Captura de pantalla mostrando la medida mínima del motor en la dirección Y del sistema de coordenadas del plano. Elaboración propia usando SolidWorks.

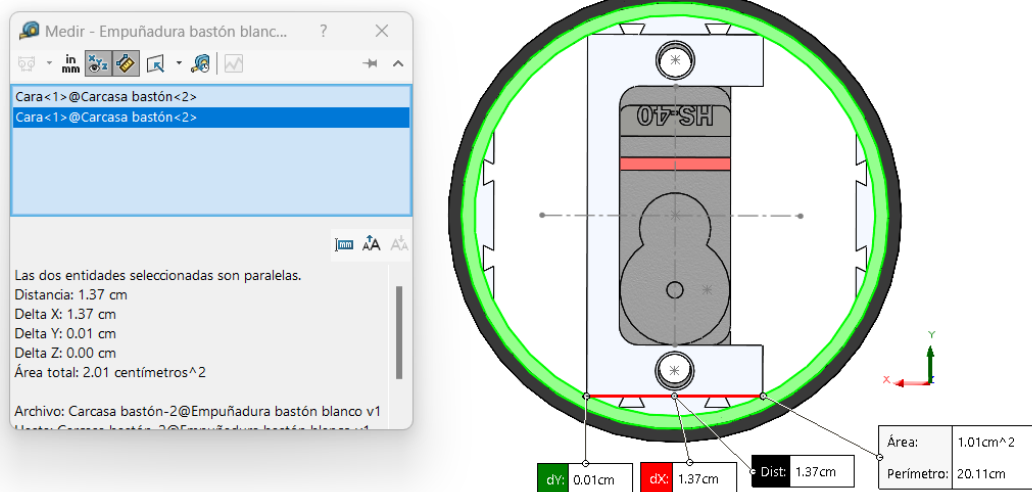


Fig 16. Captura de pantalla mostrando la medida mínima del motor en la dirección X del sistema de coordenadas del plano. Elaboración propia usando SolidWorks.

Como se puede ver en las figuras anteriores, el espacio dentro del mango del bastón blanco está muy restringido, por lo que deberemos acudir a motores diseñados para la aviación de modelaje. Estos motores son especialmente ligeros y consiguen entregar una potencia alta en un paquete muy compacto. Esto es de especial importancia debido a que, además de estar hechos a una escala pequeña (aplicando condiciones de tamaño similares a las que presenta nuestro problema) también debe dar suficiente par para elevar el avión y permitir alcanzar velocidades elevadas.

Es por estas razones que, tras mucho estudio de los motores disponibles en el mercado, nos decantamos por la elección del nano servomotor Hitec HS-40, fabricado por la empresa Hitec RCD, una empresa dedicada a la fabricación de sistemas de radio control. Las características de este motor se pueden resumir fácilmente en una tabla como la vista a continuación obteniendo los datos de la página web oficial del fabricante<sup>26</sup>.

<sup>26</sup> [HS-40 Economical, Nano, Nylon Gear | HITEC RCD USA](https://www.hitec.com/hs-40-economical-nano-nylon-gear-hitec-rcd-usa)

<b>Tensión de funcionamiento</b>	4.8V ~ 6.0V
<b>Velocidad angular (segundos @ 60°)</b>	0.12 ~ 0.10
<b>Máximo intervalo de torque (kg-cm)</b>	0.6 ~ 0.75
<b>Dimensiones (cm)</b>	20.0 x 8.6 x 17.0
<b>Peso (gramos)</b>	4.8

Fig 17. Tabla mostrando los datos más relevantes del servo HS-40 de Hitec. Elaboración propia usando los datos de la página del fabricante [HS-40 Economical, Nano, Nylon Gear | HITEC RCD USA](#).

Este motor puede funcionar en un intervalo de tensión de 4.8V a 6V como se puede ver en la tabla, y, al ser mejores las especificaciones de este funcionando a una tensión de 6V, esta será la tensión de funcionamiento que escogeremos para el sistema. Sin embargo, la mayoría de las fuentes de alimentación tienen otros valores nominales de voltaje y tamaños que no son compatibles con nuestro diseño. Sin embargo, encontramos una batería de ion de litio de 7.4 V fabricado por la empresa fabricante de baterías Melasta (modelo RC74-LI12-DTME-2) con unas dimensiones de 120mm x 20 mm x 6mm, y un peso de tan solo 80g, que la convierte en la batería perfecta para nuestra aplicación al caber dentro del mango del bastón blanco y ser ligera, además de tener una capacidad nominal de 1200 mAh. Para solucionar el problema de la tensión de alimentación del servo, incluiremos un “Buck converter” en la conexión de la batería y el servo, consiguiendo una tensión de entrada al servo de 6V.

Además, examinando los datos de la tabla en la figura 17 podemos ver como las dimensiones de este motor son claramente inferiores a los límites impuestos por el diseño ( $17 < 28$  y  $8.6 < 13.7$ ), dejando espacio suficiente para el diseño de una carcasa para sujetar el motor. Sin embargo, para entender mejor estos datos debemos convertir los datos de velocidad angular y par a unidades del sistema internacional de la siguiente manera:

Velocidad angular (segundos @ 60°) a rad/s:

$$0.10 \text{ segundos}/60^\circ = 0.1 \text{ segundos}/\frac{\pi}{3} \text{ rad}$$

$$0.1 \text{ segundos}/\frac{\pi}{3} \text{ rad} \rightarrow 10.472 \text{ rad/s}$$

Par (kg cm) a Nm:

$$1 \text{ kg} \rightarrow 9.81 \text{ N}$$

$$1 \text{ cm} \rightarrow 0.01 \text{ m}$$

$$0.75 \text{ kg cm} \rightarrow 0.75 \text{ kg cm} \times \frac{9.81 \text{ N}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} = 0.0736 \text{ Nm}$$

Además, para calcular el tiempo que tardaría el “bastón” encargado de transmitir la dirección a tomar al usuario debemos de ver la distancia a recorrer, en este caso, 114.43°, como se puede ver en el croquis insertado a continuación:

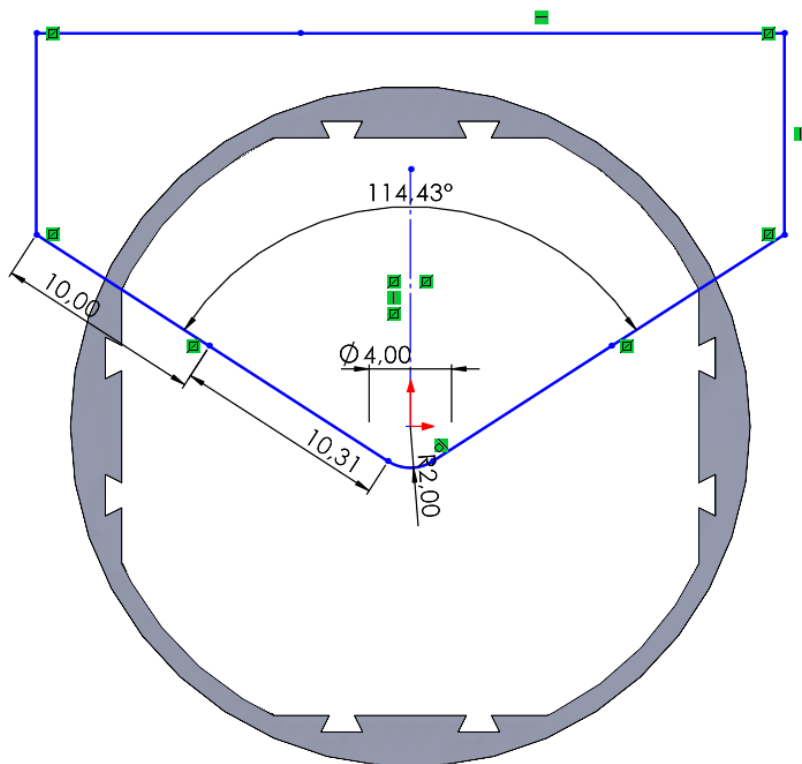
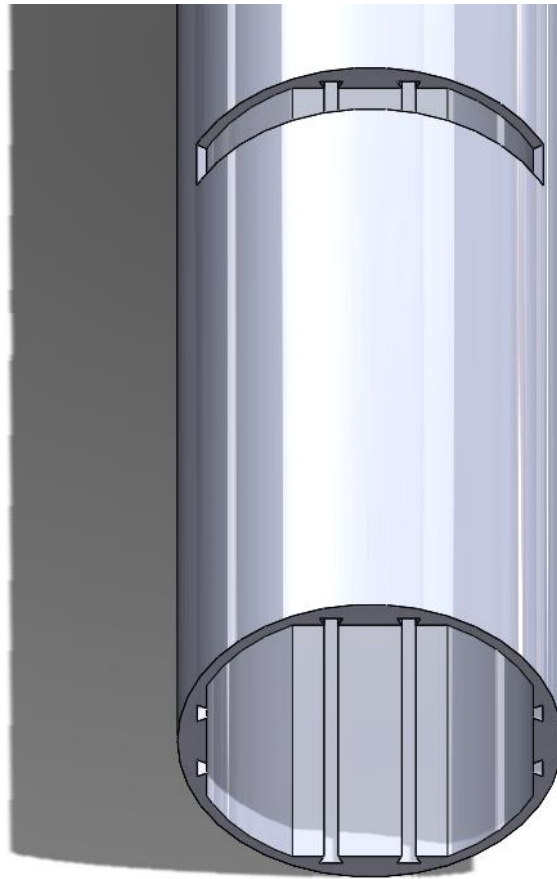


Fig 18. Captura de pantalla mostrando el recorrido del sistema de retroalimentación háptica. Elaboración propia usando SolidWorks.

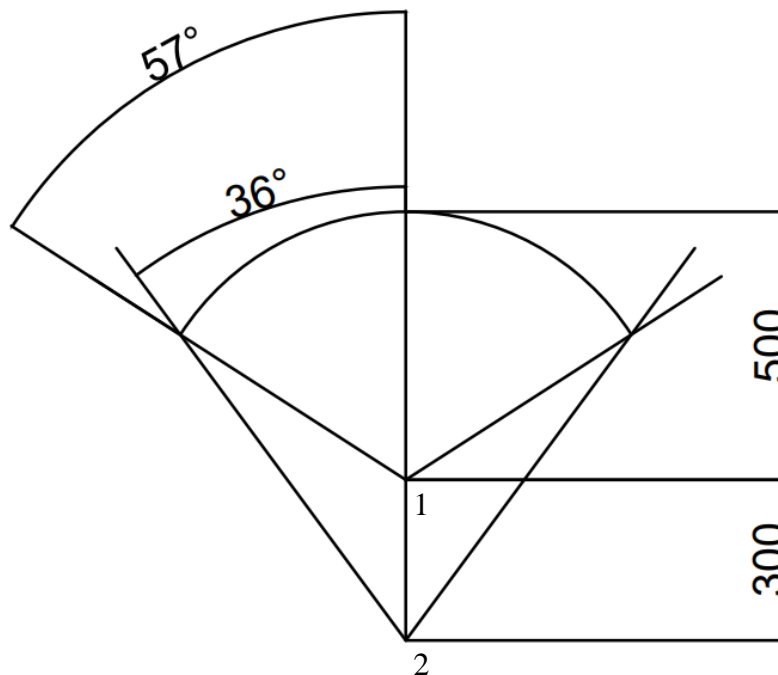


*Fig 19. Captura de pantalla para ilustrar la apertura en la carcasa del bastón blanco por la que sobresaldría el "bastón" diseñado para que el usuario pueda ver la dirección que tomar en función del tacto. Elaboración propia usando SolidWorks.*

En este caso, con una velocidad angular de  $0.6 \text{ segundos}/360^\circ$  tardaría 0.19 segundos en recorrer todo el rango de su movimiento. Esto resulta innecesariamente rápido para la aplicación que estamos planteando, y, por lo tanto, podemos aprovechar la integración de una caja de cambios para aumentar el par y bajar la velocidad del sistema de retroalimentación a unos valores razonables. Es por estas razones que nos decantamos por la inclusión de una caja de cambios con una relación de transmisión total de 16. De este modo, el sistema de retroalimentación tardaría tan solo 1.5 segundos en recorrer la mitad de su recorrido y daría un par de 1.1776 Nm, suficiente para que el usuario pueda notar la fuerza de la retroalimentación con el pulgar.

Otra de las funciones útiles de la caja de cambios será desplazar el eje de rotación al eje central del bastón blanco, ya que sin la caja de cambios el eje de rotación mediante el cual rotaría el bastón estaría muy por debajo de este debido al posicionamiento del motor debido a que el eje no está centrado respecto a este (siendo esta la única forma en la que

el motor cabe en el interior de la carcasa), limitando su recorrido angular como se muestra en la figura ilustrativa a continuación.



*Fig 20. Ilustración mostrando la importancia de evitar perder sensibilidad en la transmisión de información al reducir el recorrido angular posible. Elaboración propia usando AutoCAD.*

En esta figura se puede ver cómo, con el origen en el punto 1, el recorrido angular que tiene el bastón es de 57°, como el que permite el diseño de la carcasa del bastón blanco, sin embargo, al modificar el eje de rotación del motor y desplazarlo hacia abajo en el plano del dibujo se puede ver cómo se pierde una gran cantidad de recorrido angular. Esto es de especial interés debido a que, al conservar un mayor recorrido angular se obtiene una mayor sensibilidad, pudiendo dar al usuario información más precisa y de una forma en la que sean más evidentes los cambios de dirección a realizar (es mucho más fácil para el usuario detectar un cambio de 57 grados del bastón que uno de 36 o un ángulo menor). Es por esta razón por la que añadiremos una condición adicional al diseño de la caja de cambios, forzando a que el eje de rotación de la última rueda dentada coincida con el eje central de la carcasa del bastón blanco.

Para el proceso de diseño de la caja de cambios lo primero que deberemos hacer es decidir el tipo de tren de engranaje a utilizar. Encontramos dos opciones que parecen ser opciones viables para la transmisión de potencia, un tren de engranajes compuesto revertido o un sistema de engranajes planetario con un tren de engranajes revertido al final para centrar

el eje de transmisión final. A continuación, explicaremos el proceso de diseño y estudiaremos el comportamiento de cada uno empezando por el tren de engranajes compuesto revertido.

### 2.1.1 Diseño del tren de engranajes compuesto revertido.

En primer lugar, para el diseño de este sistema de engranajes deberemos encontrar el número de dientes que tendrá cada rueda dentada. Además, deberemos tener en cuenta las condiciones impuestas anteriormente de tamaño (permitiendo que el sistema quepa dentro de la carcasa), relación de transmisión y de coincidencia del eje de la carcasa con el de la última rueda dentada del sistema.

Además, es conveniente aclarar que para el diseño de este tren usaremos la notación y nomenclatura utilizada en el libro Shingley's Mechanical Engineering Design, Ninth edition, haciendo referencia a la figura mostrada a continuación.

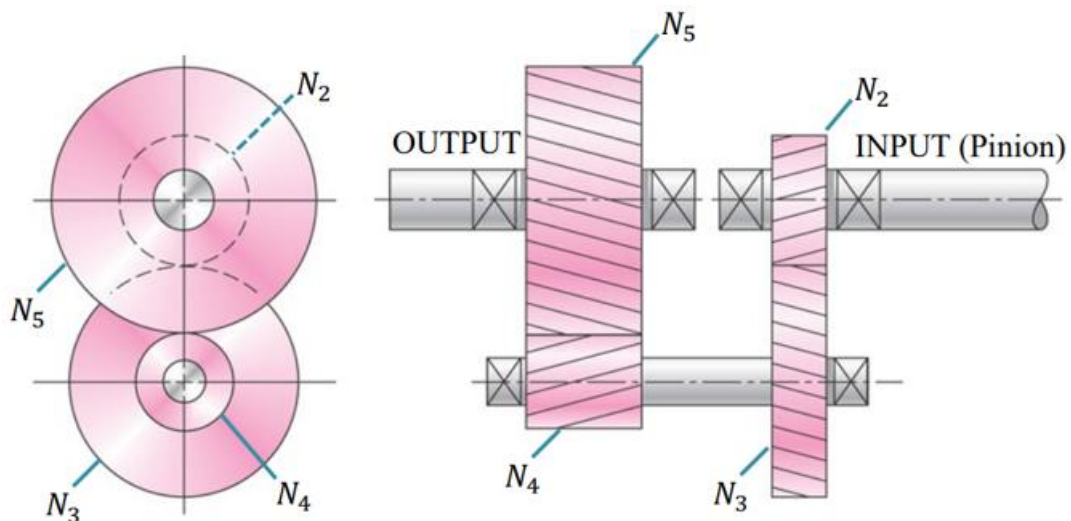


Fig 21. Ilustración mostrando el diseño y nomenclatura a utilizar en este capítulo para referirse a las ruedas dentadas que forman el tren de engranajes compuesto revertido. Shingley's Mechanical Engineering Design, Ninth edition, capítulo 13-13, página 698, fig 13-29.

Para poder incluir las condiciones mencionadas anteriormente, hay que tomar las medidas de tanto el eje de transmisión de potencia del servo a la pared de la carcasa del bastón blanco, como del eje central de la carcasa a el eje de transmisión de potencia del servo,

obteniendo las distancias de 8.4 mm y 5.8 mm respectivamente, como se puede ver en las figuras a continuación.

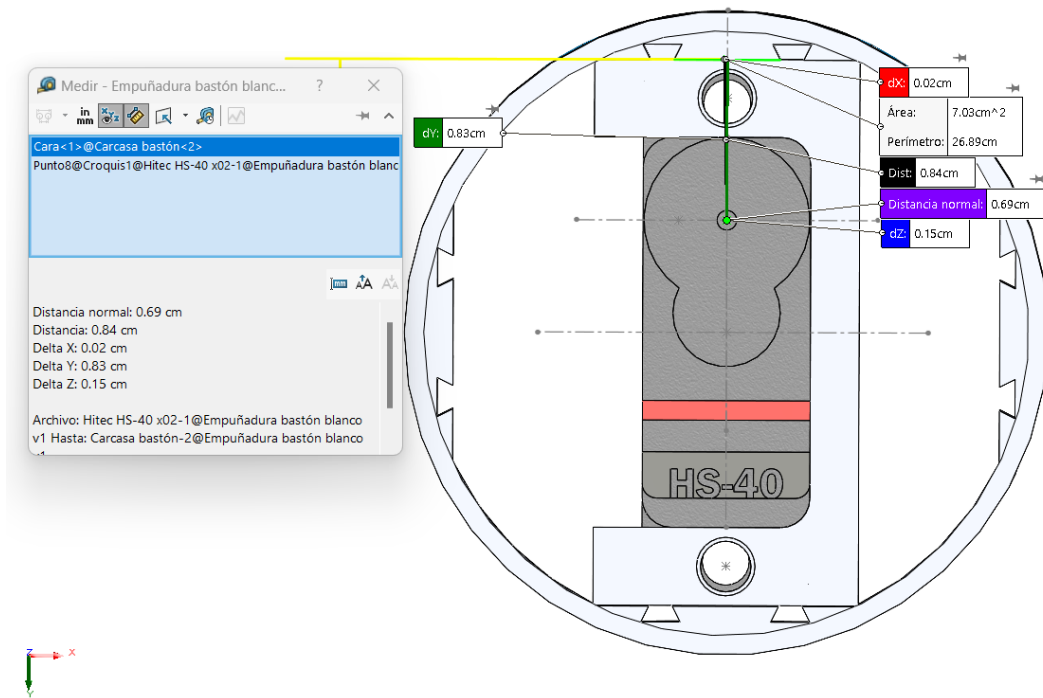


Fig 22. Captura de pantalla mostrando la distancia en el eje Y entre el eje de transmisión de potencia del servo y la pared de la carcasa del bastón. Elaboración propia usando SolidWorks.

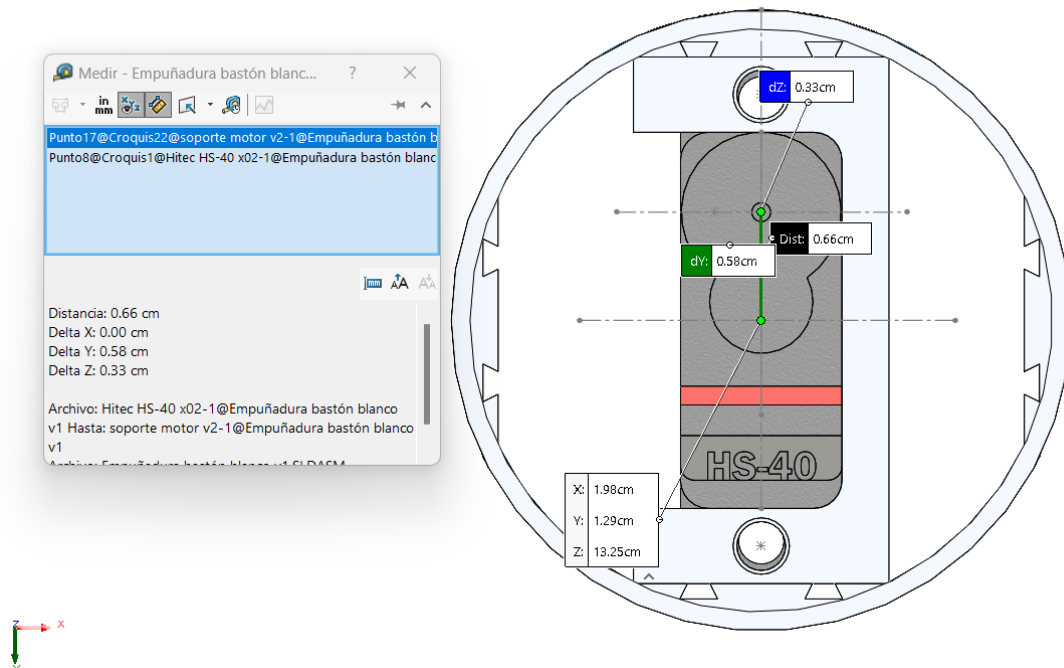


Fig 23. Captura de pantalla mostrando la distancia en el eje Y entre el eje de transmisión de potencia del servo y el eje central de la carcasa del bastón blanco. Elaboración propia usando SolidWorks.

Matemáticamente, estas condiciones se pueden expresar de la siguiente manera:

$$\frac{d_2}{2} + d_3 \leq 8.4 \quad (1)$$

$$\frac{d_4}{2} + \frac{d_5}{2} = \frac{d_2}{2} + \frac{d_3}{2} + 5.8 \quad (2)$$

Además, para que este tren de engranajes multiplique la potencia a la salida del sistema, la rueda 2 debe ser mayor que la rueda 3, y de forma similar, la rueda 5 debe ser mayor a la rueda 3, proporcionando las siguientes condiciones:

$$d_3 > d_2 \quad (3)$$

$$d_5 > d_4 \quad (4)$$

Otra de las consideraciones importantes a tomar en cuenta para el diseño de este tren de engranajes es que mantendremos el módulo de los engranajes para una mayor simplicidad, y, por lo tanto, a través de la propiedad que relaciona el módulo (P) de los engranajes con su número de dientes y diámetro primitivo, obtendremos las siguientes fórmulas:

$$d = \frac{N}{P} \quad (5)$$

$$\frac{N_3}{P} > \frac{N_2}{P} \quad (6)$$

$$\frac{N_5}{P} > \frac{N_4}{P} \quad (7)$$

$$N_3 > N_2 \quad (8)$$

$$N_5 > N_4 \quad (9)$$

Siendo  $N_x$  el número de dientes en la rueda dentada número X, también está vinculada a las condiciones impuestas inicialmente, ya que la relación de transmisión se obtiene de la siguiente forma:

$$G_{25} = 16 = \frac{N_3 N_5}{N_2 N_4} \quad (10)$$

$$G_{23} = \frac{N_3}{N_2} \quad (11)$$

$$G_{45} = \frac{N_5}{N_4} \quad (12)$$

$$G_{23} \times G_{45} = G_{25} \quad (13)$$

Estableciendo un módulo  $P=4.5$  y el número de dientes  $N_2=12$ , podemos encontrar el número de dientes de la rueda dentada 3 sustituyendo en la ecuación 1:

$$\frac{d_2}{2} + d_3 \leq 8.4$$

$$d_2 = \frac{N_2}{P} = \frac{12}{4.5} = 2.667$$

$$\frac{2.667}{2} + d_3 \leq 8.4$$

$$d_3 \leq 7.065$$

Como el diámetro primitivo de los engranajes es menor al diámetro exterior, en vez de usar  $N_3=31$ , usaremos  $N_3=29$  para dar resguardo a la pared de la carcasa, obteniendo un diámetro  $d_3$  y una relación de transmisión  $G_{23}$ :

$$d_3 = \frac{N_3}{P} = \frac{29}{4.5} = 6.44$$

$$G_{23} = \frac{N_3}{N_2} = \frac{29}{12} = 2.417$$

Sustituyendo estos valores en la fórmula 13, podemos obtener la relación de transmisión  $G_{45}$ , que después usaremos para obtener los valores correspondientes a los engranajes 4 y 5.

$$G_{23} \times G_{45} = G_{25} \quad (13)$$

$$2.417 \times G_{45} = 16$$

$$G_{45} = 6.6207$$

Sustituyendo el valor de  $G_{45}$  en la fórmula 12 y reorganizando encontramos la relación entre el número de dientes y los diámetros primitivos de las ruedas 4 y 5, que a su vez podemos sustituir en la fórmula número 2 junto con el diámetro de la rueda 3 para obtener los valores de las ruedas 4 y 5 de la siguiente manera:

$$6.6207 = \frac{N_5}{N_4}$$

$$6.6207 \times N_4 = N_5$$

$$6.6207 \times d_4 = \frac{6.6207 \times N_4}{4.5} = \frac{N_5}{4.5} = d_5$$

$$\frac{d_4}{2} + \frac{d_5}{2} = \frac{d_2}{2} + \frac{d_3}{2} + 5.8 \quad (2)$$

Sustituyendo y solucionando este sistema de ecuaciones obtenemos los siguientes valores:

$$N_4 = 13$$

$$d_4 = 2.773$$

$$N_5 = 82$$

$$d_5 = 18.222$$

$$G_{45real} = \frac{82}{13} = 6.307$$

En resumen, tras estudiar las condiciones que restringen los valores que podemos asignar a cada rueda dentada y aplicando las fórmulas apropiadas para determinar los valores de los engranajes encontramos que el sistema compuesto por cuatro ruedas dentadas tiene los siguientes valores:

$$Módulo = P = 4.5 \text{ dientes/mm}$$

$$N_2 = 12$$

$$d_2 = 2.667$$

$$N_3 = 29$$

$$d_3 = 6.44$$

$$N_4 = 13$$

$$\begin{aligned}
 d_4 &= 2.773 \\
 N_5 &= 82 \\
 d_5 &= 18.222 \\
 G_{23real} &= 2.417 \\
 G_{45real} &= 6.307 \\
 G_{25real} &= 15.244
 \end{aligned}$$

### 2.1.1.1 Valores de funcionamiento del tren de engranajes compuesto revertido.

Con los valores obtenidos anteriormente (características mecánicas del sistema), y teniendo en cuenta los valores de entrada del servo, podemos encontrar el par y las velocidades (tanto velocidad periférica como en revoluciones por minuto) de cada eje (tanto de entrada como de salida y secundario).

En primer lugar, calcularemos la velocidad periférica de la primera pareja de ruedas dentadas  $V_{23}$  y para la segunda pareja  $V_{45}$ , así como la velocidad angular de cada eje. Usando la velocidad angular de entrada proporcionada por el motor con un suministro de 6V (de acuerdo con los datos proporcionados por el fabricante y mencionados anteriormente) podemos ir paso por paso hasta encontrar todas las velocidades angulares del sistema de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 n_2 &= n_{eje\ servo} = 10.472 \text{ rad/s} \\
 n_2 &= \frac{10.472 \text{ rad}}{s} \times 60 \frac{\text{segundos}}{\text{minuto}} \times \frac{1 \text{ revolución}}{2 \pi \text{ radianes}} = 100 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

Teniendo en cuenta que las velocidades angulares se relacionan con la fórmula:

$$\begin{aligned}
 G_{ij} &= \frac{n_i}{n_j} = \frac{N_j}{N_i} \quad (14) \\
 G_{23} &= \frac{n_2}{n_3} \\
 n_3 &= \frac{n_2}{G_{23real}} = \frac{100}{2.417} = 41.374 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

Además, la velocidad de la rueda dentada 3 es igual a la de la rueda dentada 4, al estar unidas por el eje secundario, lo que nos permite sacar la velocidad angular de la rueda 5, o de la salida del tren de engranajes de la siguiente manera:

$$n_5 = \frac{n_4}{G_{45real}} = \frac{41.374 \text{ rpm}}{6.307} = 6.56 \text{ rpm}$$

$$n_5 = \frac{6.56 \text{ revoluciones}}{\text{minuto}} \times \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}} \times \frac{2 \pi \text{ radianes}}{1 \text{ revolución}} = 0.687 \text{ rad/s}$$

Para comprobar si hemos conseguido un diseño adecuado que se adapte a nuestros objetivos podemos comprobar si esta velocidad de salida es la que pretendíamos conseguir inicialmente, es decir, que el indicador táctil hiciese un recorrido de  $57.215^\circ$  en 1.5 segundos.

Para realizar esta comprobación deberemos pasar este ángulo a radianes y dividir entre la velocidad en radianes por segundo como mostramos en el siguiente cálculo:

$$\frac{57.215^\circ}{360^\circ} \times 2\pi \text{ radianes} = 1 \text{ rad}$$

$$\frac{1 \text{ rad}}{0.687 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} = 1.46 \text{ segundos}$$

Al realizar esta operación, podemos ver como el sistema tarda 1.45 segundos en recorrer el ángulo de 1 radian, es decir, es un diseño que cumple con los objetivos planteados de forma muy satisfactoria, sobre todo teniendo en cuenta que conseguir relaciones de transmisión exactas es muy difícil en estas condiciones restringidas debido a que los engranajes solo pueden tener números de dientes enteros, que causa que muchos de los valores finales sean aproximados en vez de valores exactos.

Para determinar las velocidades periféricas  $V_{23}$  y  $V_{45}$  usaremos la siguiente fórmula:

$$V = \pi \times d \text{ (mm)} \times n \text{ (rpm)}$$

$$V_{23} = \pi \times 2.667 \text{ (mm)} \times 100 \text{ (rpm)} = 837.863 \text{ mm/min}$$

$$V_{45} = \pi \times 18.222 \text{ (mm)} \times 6.56 \text{ (rpm)} = 375.534 \text{ mm/min}$$

Otro valor importante a determinar es el par entregado por cada rueda, que también se puede encontrar a través de la relación de transmisión y la ventaja mecánica con la siguiente fórmula:

$$m_{23}^* = \frac{T_3^*}{T_2} = G_{23}$$

En este caso,  $m_{23}^*$  es la ventaja mecánica ideal, que es igual a la relación de transmisión, calculando el par como se muestra a continuación:

$$m_{23}^* = \frac{T_3^*}{0.0736 \text{ Nm}} = 2.417$$

$$T_3^* = 2.417 \times 0.0736 \text{ Nm} = 0.178 \text{ Nm}$$

$$m_{45}^* = \frac{T_5^*}{0.178 \text{ Nm}} = 6.307$$

$$T_5^* = 6.307 \times 0.178 \text{ Nm} = 1.122 \text{ Nm}$$

Sin embargo, este planteamiento es una idealización que no refleja la realidad de un sistema con pérdidas. Para realizar una primera estimación de los valores reales de par transmitidos por el sistema asumiremos una eficiencia del 90% en cada etapa del tren de engranajes:

$$T_2 \times \eta \times G_{25} = T_5 = 0.0736 \text{ Nm} \times 0.9 \times 0.9 \times 15.244 = 0.909 \text{ Nm}$$

De esta forma, podemos observar que se cumple la condición  $T_2 > T_5^*$ . Además, a modo de resumen para aportar claridad, haremos un listado de valores relevantes y especialmente interesantes para el diseño de este tren:

$$n_2 = 100 \text{ rpm}$$

$$n_3 = n_4 = 41.374 \text{ rpm}$$

$$n_5 = 6.56 \text{ rpm}$$

$$V_{23} = 837.863 \text{ mm/min}$$

$$V_{45} = 375.534 \text{ mm/min}$$

$$T_5^* = 1.122 \text{ Nm}$$

$$\eta_1 = \eta_2 = 0.9$$

$$T_5 = 0.909 \text{ Nm}$$

Otra representación especialmente interesante en nuestro caso, debido a que se puede ver claramente la evolución del sistema entre engranajes es el diagrama de flujos de potencia. (Nota: Los valores de par son los valores reales estimados teniendo en cuenta el rendimiento)

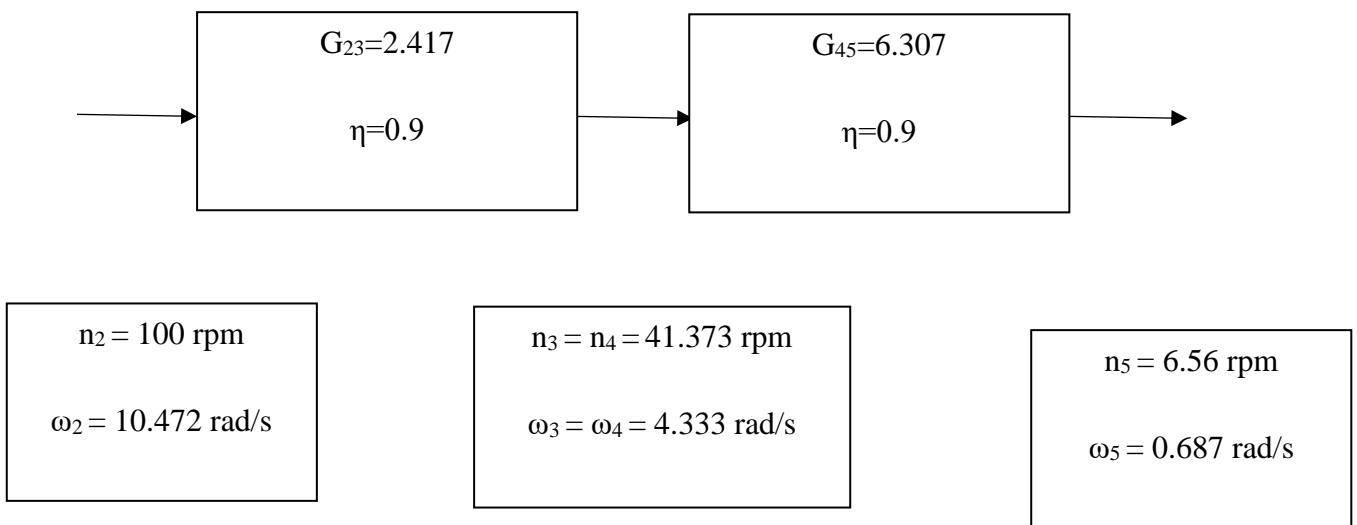


Fig 24. Diagrama de flujo de potencias para el primer engranaje (Compuesto revertido). Elaboración propia.

Si no se realiza ningún otro estudio, estos valores aproximados no tendrían ningún valor, debido a que están basados en cálculos teóricos y no hay fuentes que confirmen su validez o funcionamiento en la vida real, comprobando los supuestos valores de eficiencia por ejemplo. Es por esto por lo que realizaremos un estudio de movimiento en SolidWorks, para comprobar la veracidad de los resultados y los valores de eficiencia asignados a los engranajes.

### 2.1.1.2 Estudio de movimiento del primer sistema de engranajes utilizando SolidWorks.

En primer lugar, deberemos montar el sistema de engranajes, introduciendo las relaciones de posición adecuadas para conseguir el sistema final.

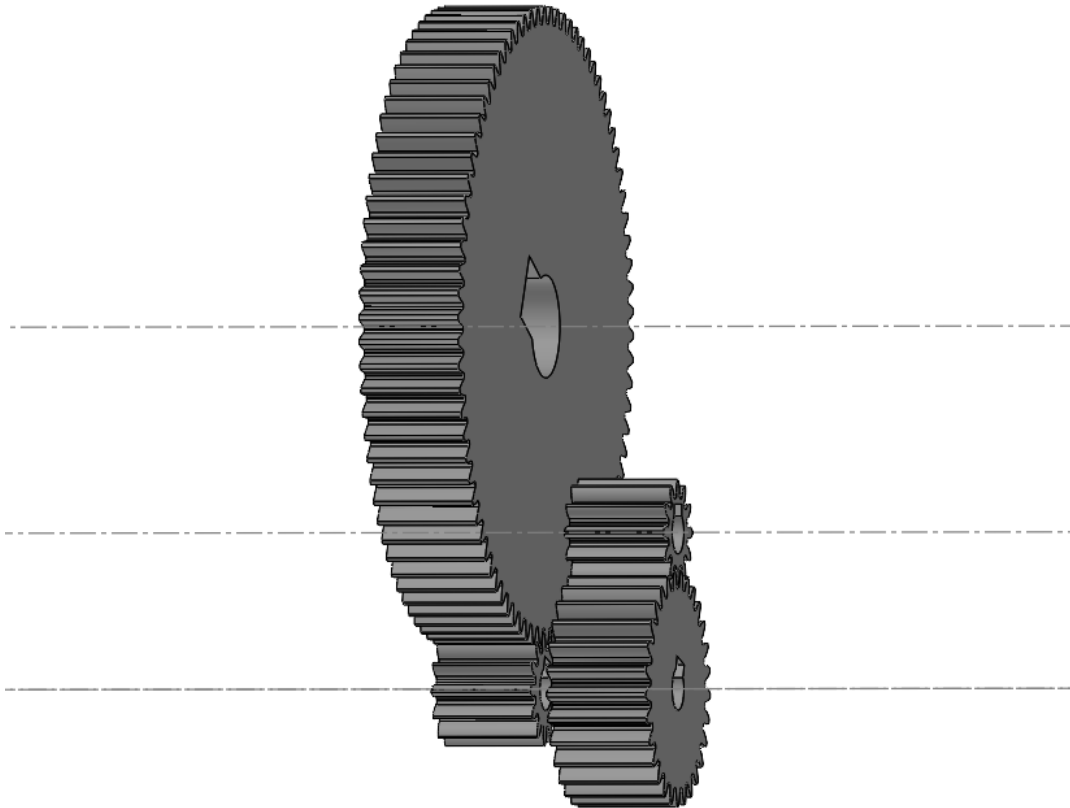


Fig 25. Captura de pantalla enseñando el primer tren de engranajes. Elaboración propia usando SolidWorks.

Para calcular el tiempo de simulación deberemos tomar una revolución del engranaje más lento, dividiendo la velocidad del engranaje final entre 60, para sacar el tiempo que este tarda en dar una revolución entera.

$$t = \left( \frac{n_2}{60 \times G_{25}} \right)^{-1} = \left( \frac{100}{60 \times 15.244} \right)^{-1} = 9.15 \text{ segundos}$$

Para asegurarnos que obtenemos una revolución entera del engranaje, tomaremos una muestra de tiempo de 10 segundos para obtener el análisis completo.

Para realizar el estudio, definiremos las fuerzas aplicadas a los engranajes y el contacto entre los sólidos. Para definir estos valores, debemos tener en cuenta los parámetros que podemos medir en función de las fuerzas introducidas en la simulación. Estos parámetros que mediremos serán, la velocidad en cada uno de los engranajes ( $n_2$ ,  $n_3 = n_4$ , y  $n_5$ ), además del par final T5. Para poder medir el par de la última rueda dentada del sistema (5), deberemos situar un motor en su eje, que obliga a que uno de los valores de entrada de la simulación sea la velocidad angular de este último engranaje. Además, para completar la simulación, añadiremos un valor de torsión para la torsión de salida del servo.

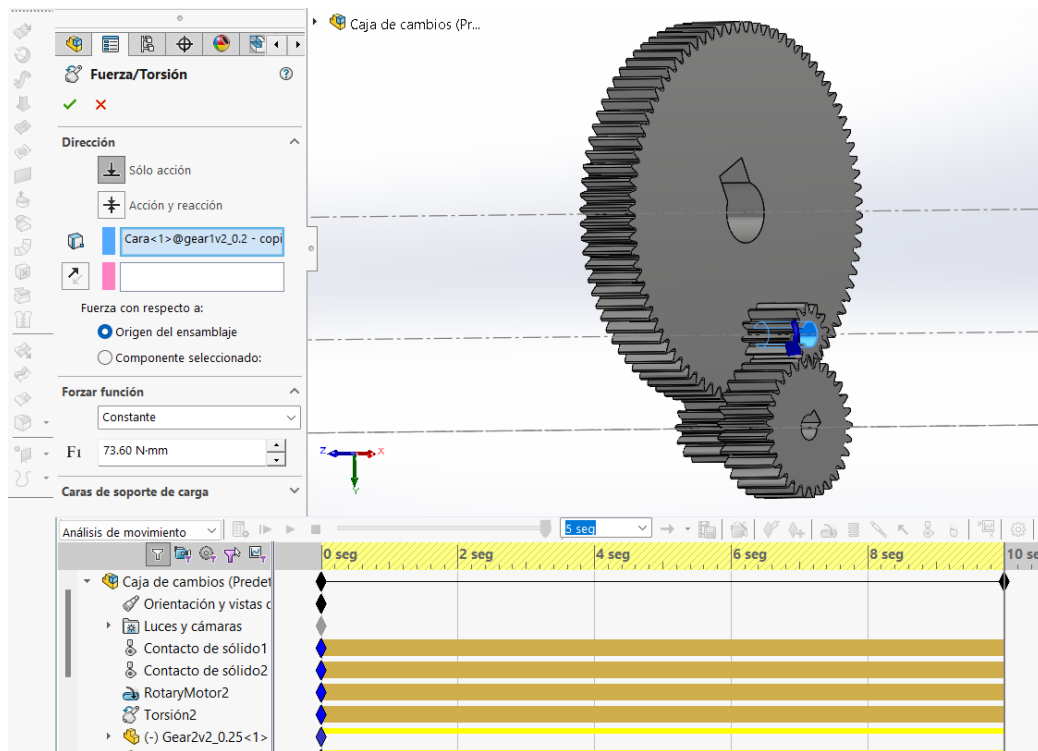


Fig 26. Captura de pantalla enseñando la condición de torsión introducida en la simulación del primer tren de engranajes. Elaboración propia usando SolidWorks.

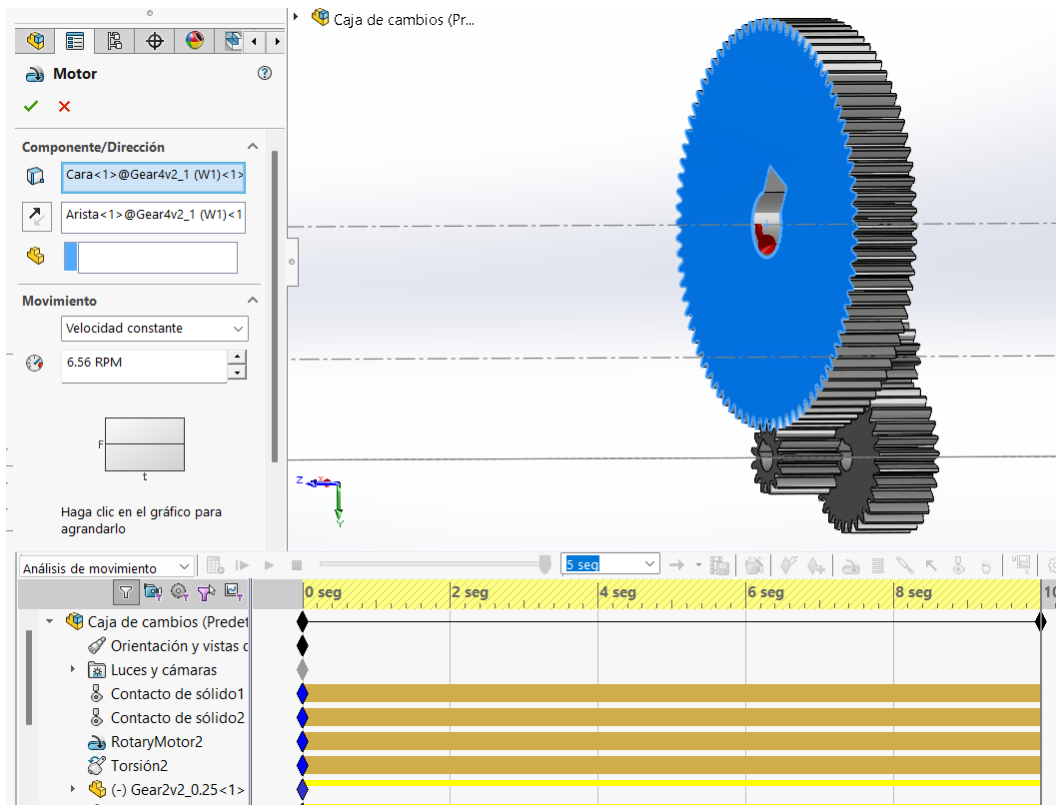


Fig 27. Captura de pantalla enseñando la condición de velocidad angular introducida en la simulación del primer tren de engranajes. Elaboración propia usando SolidWorks.

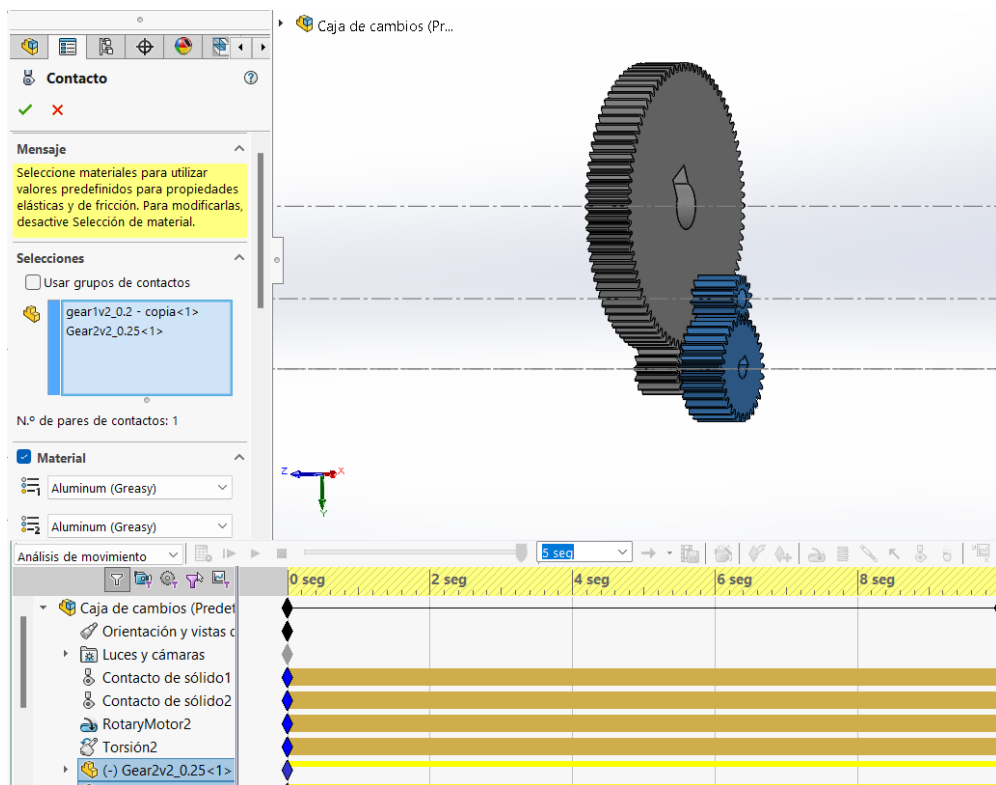


Fig 28. Captura de pantalla enseñando el contacto en la simulación del primer tren de engranajes entre los engranajes 2 y 3. Elaboración propia usando SolidWorks.

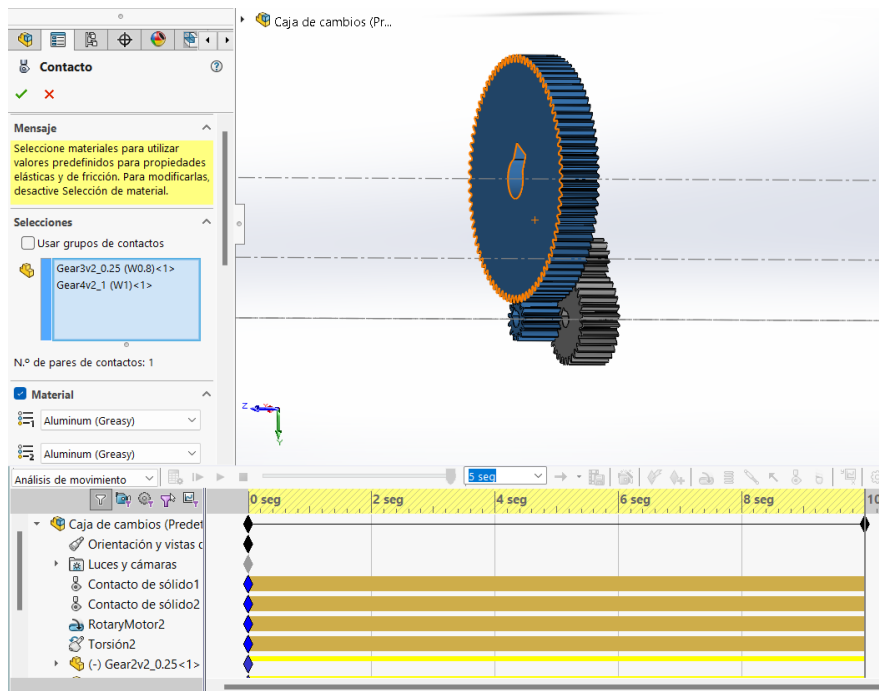


Fig 29. Captura de pantalla enseñando el contacto en la simulación del primer tren de engranajes entre los engranajes 4 y 5. Elaboración propia usando SolidWorks.

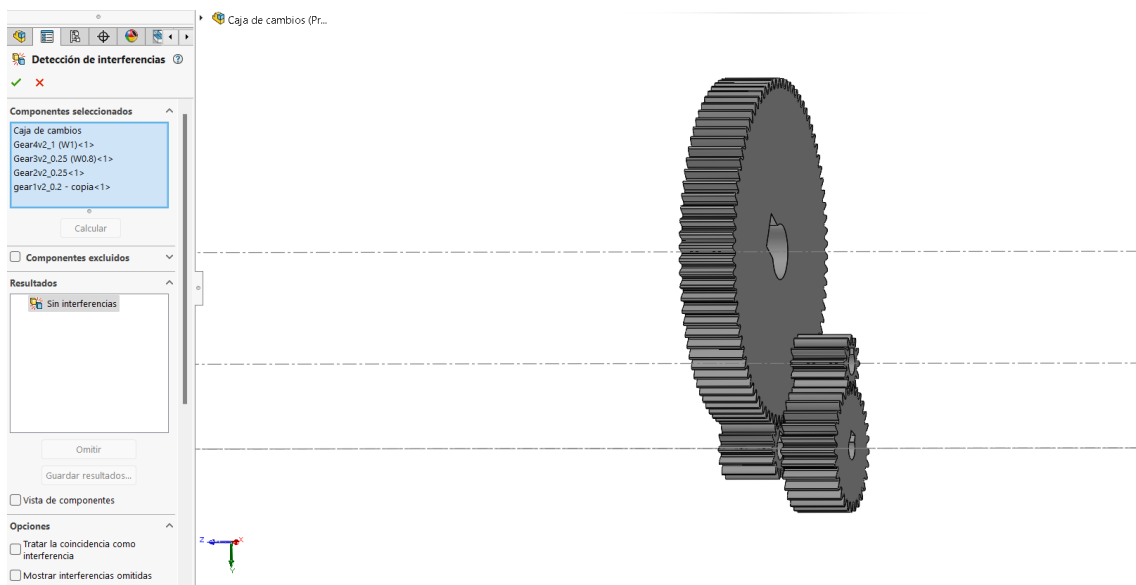


Fig 30. Captura de pantalla enseñando la condición de no interferencia del primer tren de engranajes. Elaboración propia usando SolidWorks.

Una vez ejecutada la simulación, podemos tomar las medidas adecuadas y exportarlas como un archivo .CSV. de este modo, podremos abrir las tablas de valores obtenidos usando Excel y transformar los valores, aplicando los filtros adecuados para mejorar su interpretabilidad y obteniendo unos gráficos mucho más adecuados y que incluiremos a continuación.

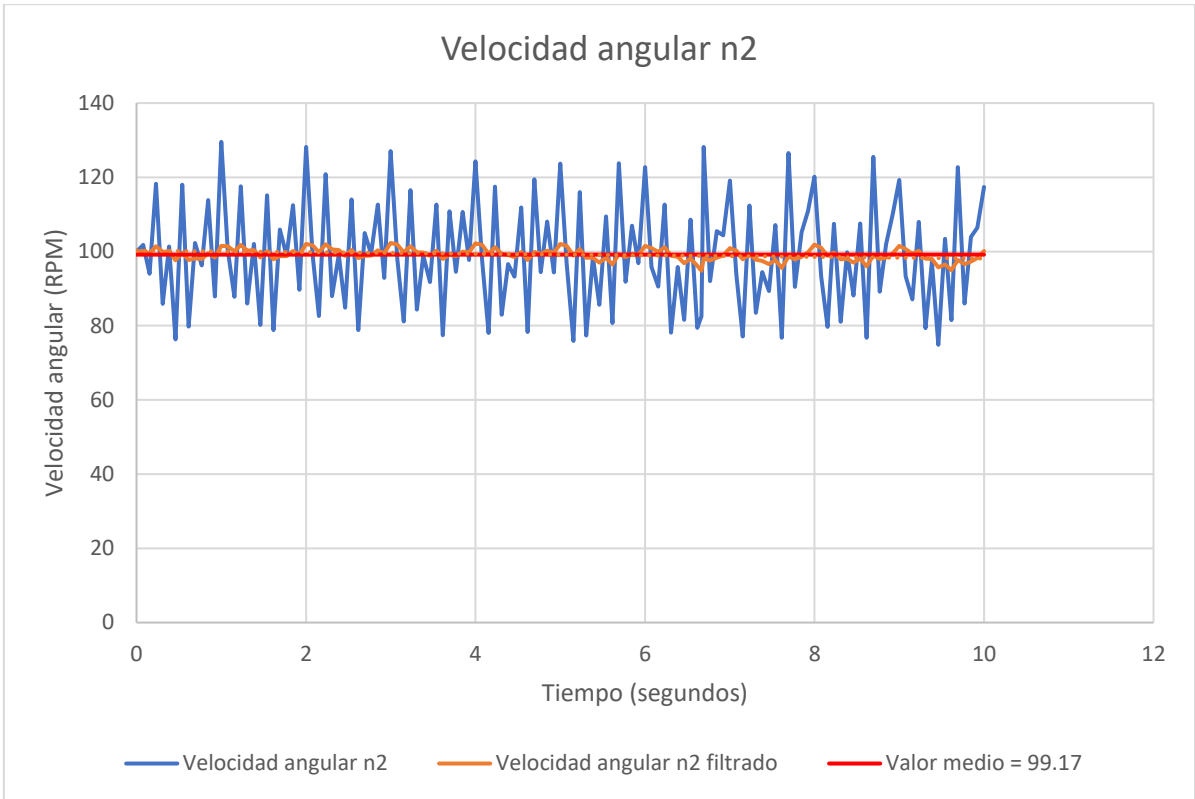


Fig 31. Gráfico enseñando la velocidad angular n2 obtenida a partir de la simulación del primer tren de engranajes. Elaboración propia usando SolidWorks.

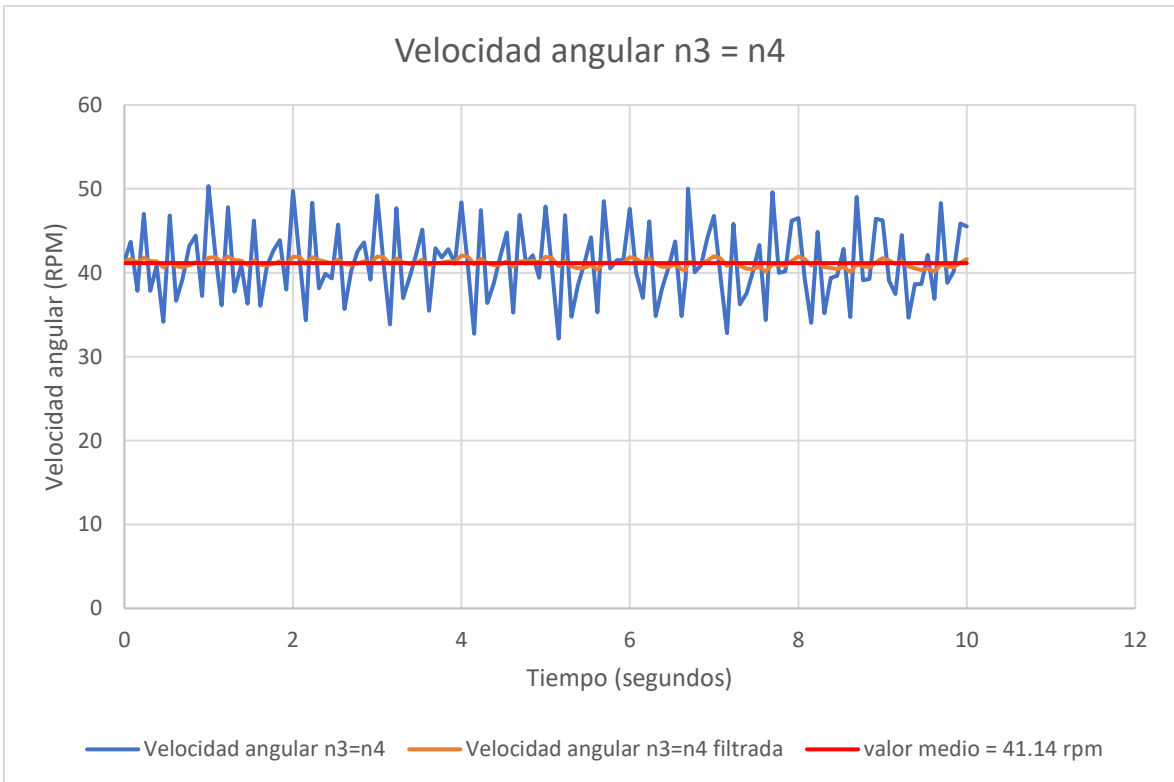


Fig 32. Gráfico enseñando la velocidad angular n3 = n4 obtenida a partir de la simulación del primer tren de engranajes. Elaboración propia usando SolidWorks.

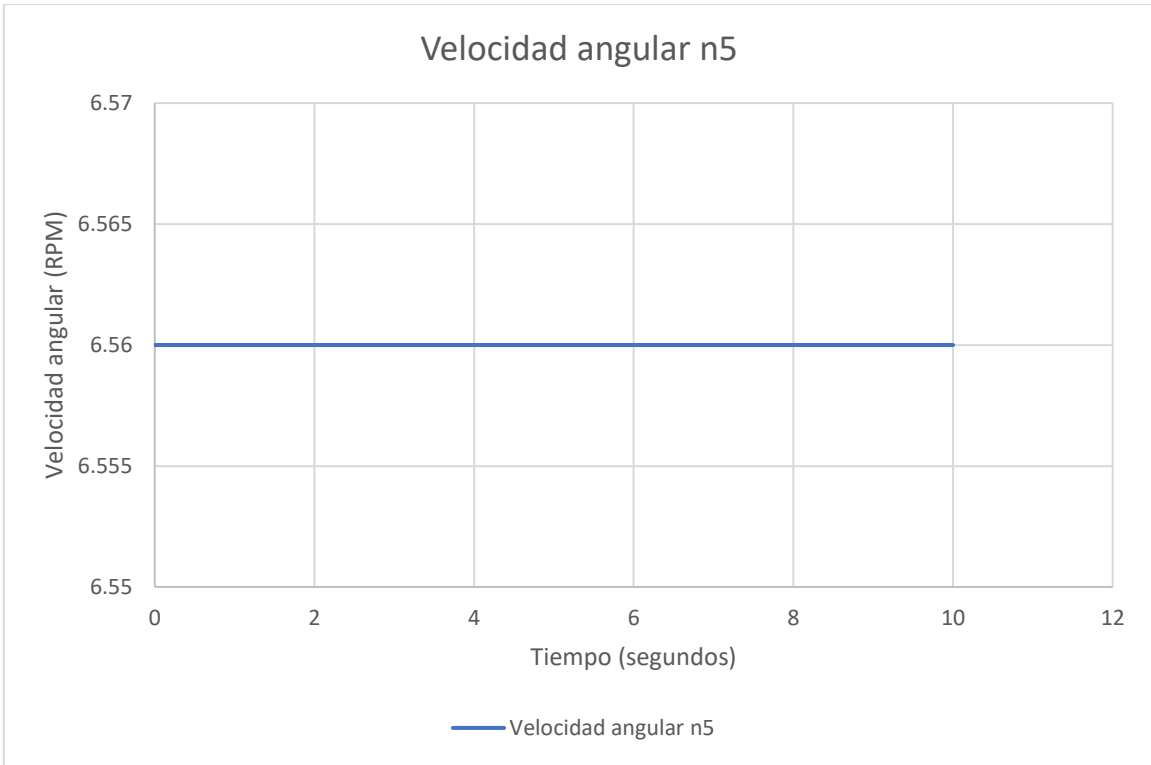


Fig 33. Gráfico enseñando la velocidad angular n5 obtenida a partir de la simulación del primer tren de engranajes. Elaboración propia usando SolidWorks.

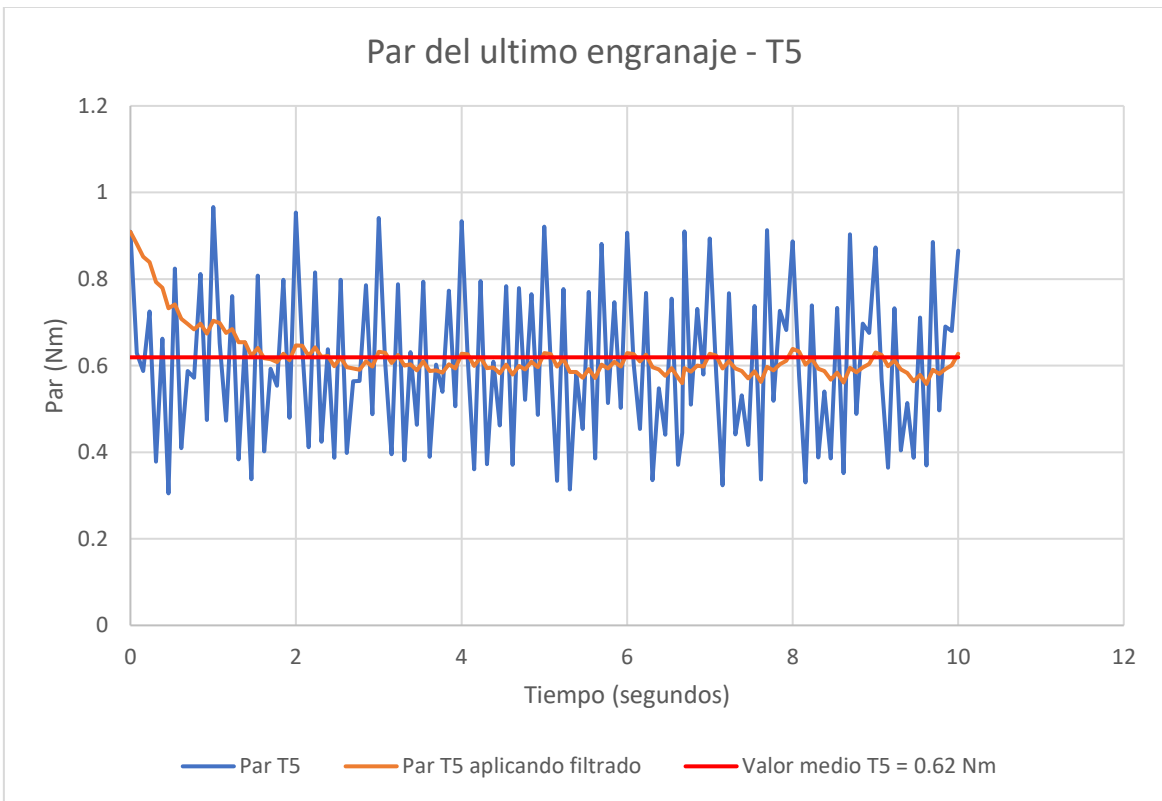


Fig 34. Gráfico enseñando el par de salida del sistema T5 obtenida a partir de la simulación del primer tren de engranajes. Elaboración propia usando SolidWorks.

Es destacable mencionar el proceso de interpretación de datos que deberemos realizar para obtener los gráficos mostrados anteriormente, ya que las velocidades angulares extraídas por SolidWorks tienen unidades de grados/segundo y el par tiene unidades de N-mm.

Para realizar las conversiones a las unidades apropiadas usaremos las siguientes fórmulas:

$$n \left( \frac{\text{revoluciones}}{\text{minuto}} \right) = n \left( \frac{\text{grados}}{\text{segundo}} \right) \times 60 \left( \frac{\text{segundos}}{\text{minuto}} \right) \times \frac{1}{360} \left( \frac{\text{revoluciones}}{\text{grado}} \right)$$

$$\text{Par (Nm)} = \text{Par (N mm)} \times \left( \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \right)$$

Para obtener los valores de las simulaciones usaremos el valor medio de los valores post-filtrado, ya que de esta forma reduciremos el ruido de la simulación (presente habitualmente en las simulaciones de contacto de engranajes en SolidWorks debido a la falta de fluidez de la simulación), obteniendo los siguientes resultados:

$$n_{2SW} = 99.17 \text{ rpm}$$

$$n_{3SW} = n_{4SW} = 41.14 \text{ rpm}$$

$$n_{5SW} = 6.56 \text{ rpm}$$

$$T_{5SW} = 0.62 \text{ Nm}$$

En primer lugar, calcularemos las diferencias porcentuales de cada valor para ver la precisión de la simulación. (Debemos tener en cuenta que la diferencia porcentual de  $n_{5SW}$  será igual a 0 ya que este valor es un parámetro de entrada de la simulación.)

$$\text{Diferencia porcentual } n_{2SW} = \frac{n_2 - n_{2SW}}{n_2} \times 100 = \frac{100 - 99.17}{100} \times 100 = 0.83\%$$

$$\begin{aligned} \text{Diferencia porcentual } n_{3SW} &= \frac{n_3 - n_{3SW}}{n_3} \times 100 = \frac{41.373 - 41.14}{41.373} \times 100 \\ &= 0.56\% \end{aligned}$$

$$\text{Diferencia porcentual } T_{5SW} = \frac{T_5 - T_{5SW}}{T_5} \times 100 = \frac{0.909 - 0.62}{0.909} \times 100 = 31.79\%$$

Podemos ver como las velocidades angulares tienen una diferencia porcentual mínima y despreciable, con lo que podemos ver que la simulación y la interpretación de los datos es muy adecuada. Sin embargo, la diferencia porcentual más alta para el valor del par de salida del sistema se debe a una estimación inadecuada de la eficiencia del sistema. Para calcular la eficiencia real del sistema usaremos la siguiente fórmula:

$$T_2 \times G_{25} \times \eta_{25 REAL} = T_{5SW}$$

$$0.0736 Nm \times 15.244 \times \eta_{25 REAL} = 0.62 Nm$$

$$\left( \frac{0.0736 Nm \times 15.244}{0.62 Nm} \right)^{-1} = \eta_{25 REAL}$$

$$\eta_{25 REAL} = 0.5526$$

Esto significa que la eficiencia de cada etapa se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$\eta_{23 REAL} \times \eta_{45 REAL} = \eta_{25 REAL}$$

$$\eta_{23 REAL} = \eta_{45 REAL}$$

$$\eta_{23 REAL} = \eta_{45 REAL} = \sqrt{\eta_{25 REAL}}$$

$$\eta_{23 REAL} = \eta_{45 REAL} = \sqrt{0.5526} = 0.7434$$

Gracias a esta simulación, podemos ver que el valor real de la eficiencia de cada engranaje del sistema es más cercana al 74.34% en lugar de al valor de 90% estimado al principio, más razón todavía para explorar el diseño de una caja de cambios usando engranajes planetarios, más eficientes que un engranaje compuesto revertido, por lo que procederemos a su estudio y diseño a continuación.

### 2.1.2 Diseño del tren de engranajes compuesto planetario y compuesto revertido.

Debido a los requerimientos de una relación de transmisión relativamente alta y el poco espacio del que disponemos para la caja de cambios, un engranaje planetario parece una muy buena opción, ya que este tipo de engranajes se caracteriza por tener una gran densidad de potencia y una alta eficiencia. Debido a que la naturaleza de transmisión de potencia de este tipo de engranajes es lineal, a través de un solo eje, también necesitaremos añadir un tren de engranajes compuesto al final para cuadrar la salida de potencia con el eje central de la carcasa del bastón.

Para esta sección también sacaremos la notación y nomenclatura utilizada del libro Shingley's Mechanical Engineering Design, Ninth edition, haciendo referencia a la figura mostrada a continuación.

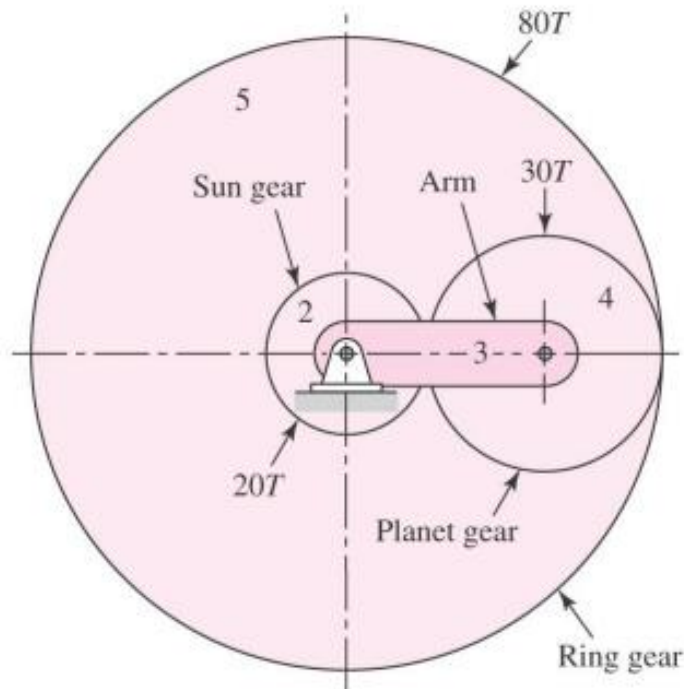


Fig 35. Ilustración mostrando el diseño y nomenclatura a utilizar en este capítulo para referirse a las ruedas dentadas que forman el tren de engranajes planetario. Shingley's Mechanical Engineering Design, Ninth edition, capítulo 13-13, página 702, fig 13-30.

Para este diseño deberemos tener en cuenta que el objetivo debe seguir siendo mantener la relación de transmisión total  $G_{AB} = 16$ . Conseguiremos esta relación de transmisión final a través de dos engranajes distintos, uno con un tren de engranajes planetario con una relación de transmisión de  $G_A = 4$  acoplado a un engranaje compuesto revertido con una relación de transmisión  $G_B = 4$ .

$$G_A \times G_B = G_{AB}$$

$$4 \times 4 = 16 = G_{AB}$$

### 2.1.2.1 Diseño del tren de engranajes planetario.

Para el diseño del tren de engranajes planetario deberemos tener en cuenta que el objetivo final es conseguir una relación de transmisión  $G=4$  para cada etapa del sistema planetario (compuesto por una rueda Sol, 4 planetas, un portaplanetas y una corona). En este caso, la modalidad de funcionamiento (que puede ser variable en los engranajes planetarios) estará basada en la entrada de potencia por el engranaje sol, con el portaplanetas transmitiendo la potencia de salida y la corona estática. Obteniendo de esta forma la mayor relación de transmisión posible. Esta relación de transmisión vendrá dada por la fórmula:

$$G_A = 1 + \frac{R}{S}$$

Siendo R el número de dientes de la corona y S el número de dientes de la rueda sol. Además, los engranajes planetarios presentan restricciones en cuanto al tamaño de las ruedas dentadas que lo componen. Para que se cumpla esta condición de no interferencia, el diámetro de la corona siendo igual al diámetro de la rueda sol más el diámetro de dos de los planetas (situados simétricamente a cada lado del sol). Esto se puede ver claramente en la figura 20, y se puede expresar matemáticamente de la siguiente manera:

$$dS + 2 \times dP = dR$$

Además, cabe destacar que el módulo será igual para todas las ruedas dentadas que conforman el sistema y que el tamaño de estas viene regido por la fórmula vista anteriormente:

$$d = \frac{N}{P}$$

Siendo d el diámetro de la rueda dentada, N el número de dientes y P el módulo de esta.

Para una mayor sencillez a la hora de realizar las iteraciones para encontrar los valores adecuados de las ruedas diseñaremos una tabla de Excel para calcular estos valores, presentada a continuación.

Valores de diseño engranaje planetario	Número de dientes	Diámetros de las ruedas dentadas	Módulo de las ruedas dentadas
SOL S	10	2.5	4
PLANETAS P	10	2.5	4
CORONA R	30	7.5	4
RELACIÓN DE TRANSMISIÓN	4		

Condición de no interferencia

$$dS + 2 \times dP = 7.50$$

Si se cumple

Si no se cumple



Fig 36. Tabla para el diseño del engranaje planetario, mostrando el número de dientes, diámetro y módulo de cada rueda dentada, así como la relación de transmisión total y si se cumple la condición de no interferencia usando formato condicional. Elaboración propia usando Excel.

Como se puede ver, para estos valores se cumple la condición de no interferencia y conseguimos la relación de transmisión deseada, siendo  $G_A = 4$ . Para resumir los contenidos de la tabla mostraremos los valores clave a continuación:

$$P = 4 \text{ dientes/mm}$$

$$G_A = 4$$

$$S = 10$$

$$dS = 2.5 \text{ mm}$$

$$P = 10$$

$$dP = 2.5 \text{ mm}$$

$$R = 30$$

$$dR = 7.5 \text{ mm}$$

### 2.1.2.2 Diseño del tren de engranajes compuesto revertido.

En cuanto al diseño del tren compuesto revertido de este segundo sistema de engranajes, encontramos dos condiciones que se deben cumplir, en primer lugar, la distancia entre los ejes de los engranajes debe ser 5.8 mm y la relación de transmisión  $G_B$  debe ser igual a 4. Para conseguir cumplir estas condiciones, realizaremos los siguientes cálculos:

$$\frac{d_{B1}}{2} + \frac{d_{B2}}{2} = 5.8 \text{ mm}$$

$$\frac{N_{B2}}{N_{B1}} = 4$$

$$N_{B1} = d_{B1} \times P_B$$

Con un módulo de 12.5 dientes/mm, encontramos los siguientes valores para los diámetros de las ruedas dentadas y número de dientes, siendo B1 la primera rueda dentada del sistema y B2 la rueda dentada de salida del sistema:

$$N_{B1} = 29 \text{ dientes}$$

$$d_{B1} = 2.32 \text{ mm}$$

$$N_{B2} = 116 \text{ dientes}$$

$$d_{B2} = 4.64 \text{ mm}$$

Una vez conocemos estos valores, podemos hacer un estudio parecido al realizado con el tren de engranajes compuesto revertido, para encontrar la velocidad angular y par al final del sistema.

En este caso, encontramos que la velocidad angular y para a la salida del servo HS-40 es igual que en el caso anterior, pero incluiremos los valores aquí otra vez para que sirvan de referencia.

*Velocidad* angular a la entrada del sistema = 10.472 rad/s.

$$n_{eje \text{ sistema}} = \frac{10.472 \text{ rad}}{s} \times 60 \frac{\text{segundos}}{\text{minuto}} \times \frac{1 \text{ revolución}}{2 \pi \text{ radianes}} = 100 \text{ rpm}$$

Par a la entrada del sistema =  $T_{eje\ sistema} = T_{entrada\ A} = 0.0736\ Nm$ .

### 2.1.2.3 Valores de funcionamiento del segundo sistema de engranajes (un engranaje planetario y un engranaje compuesto revertido).

Para el segundo sistema de engranajes, que presenta tan solo dos etapas formadas por un engranaje planetario y un engranaje compuesto revertido seguiremos la siguiente nomenclatura:

$n_{eje\ sistema} = n_{entrada\ A} \rightarrow$  *velocidad angular a la salida del servo.*

$n_{salida\ A} = n_{entrada\ B} \rightarrow$  *velocidad angular a la salida del engranaje planetario.*

$n_{salida\ B} \rightarrow$  *velocidad angular a la salida del engranaje compuesto revertido*

Para los pares motores, seguiremos una nomenclatura parecida, pero aun así la aclararemos para evitar confusión.

$T_{eje\ sistema} = T_{entrada\ A} \rightarrow$  *Par a la salida del servo.*

$T_{salida\ A} = T_{entrada\ B} \rightarrow$  *Par a la salida del engranaje planetario.*

$T_{salida\ B} \rightarrow$  *Par a la salida del engranaje compuesto revertido*

En este sistema encontramos dos relaciones de transmisión distintas, una para el engranaje planetario (el primero en la cadena de transmisión), y otra para el engranaje compuesto revertido, a los que nos referiremos como  $G_A = 4$  y  $G_B = 4$  respectivamente.

A continuación, encontraremos las velocidades a la salida de la primera etapa y al final del sistema, aplicando la siguiente fórmula:

$$G_{ij} = \frac{n_i}{n_j} = \frac{N_j}{N_i} \quad (14)$$

$$G_A = \frac{n_{eje\ sistema}}{n_{salida\ A}} = 4$$

$$n_{salida\ A} = n_{entrada\ B} = \frac{n_{eje\ sistema}}{G_{A2}} = \frac{100}{4} = 25\ rpm$$

$$G_B = \frac{n_{entrada B}}{n_{salida B}} = 4$$

$$n_{salida B} = \frac{n_{entrada B}}{G_B} = \frac{25}{4} = 6.25 \text{ rpm}$$

$$n_{salida B} = \frac{6.25 \text{ revoluciones}}{\text{minuto}} \times \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}} \times \frac{2 \pi \text{ radianes}}{1 \text{ revolución}} = 0.6545 \text{ rad/s}$$

Como anteriormente, para comprobar si hemos conseguido un diseño adecuado que se adapte a nuestros objetivos podemos comprobar si esta velocidad de salida es la que pretendíamos conseguir inicialmente, es decir, que el indicador táctil hiciese un recorrido de  $57.215^\circ$  en 1.5 segundos.

Para realizar esta comprobación deberemos pasar este ángulo a radianes y dividir entre la velocidad en radianes por segundo como mostramos en el siguiente cálculo:

$$\frac{57.215^\circ}{360^\circ} \times 2\pi \text{ radianes} = 1 \text{ rad}$$

$$\frac{1 \text{ rad}}{0.6545 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} = 1.527 \text{ segundos}$$

Al realizar esta operación, podemos ver como el sistema tarda 1.527 segundos en recorrer el ángulo de 1 radian, un valor muy cercano al objetivo de 1.5 segundos planteado.

En cuanto a los pares de este segundo sistema podemos encontrarlos de la siguiente manera:

$$m_A^* = \frac{T_{salida A}^*}{T_{eje sistema}} = G_A$$

$$m_A^* = \frac{T_{salida A}^*}{0.0736 \text{ Nm}} = 4$$

$$T_{salida A}^* = 4 \times 0.0736 \text{ Nm} = 0.2944 \text{ Nm}$$

$$m_B^* = \frac{T_{salida B}^*}{T_{entrada B}} = G_B = 4$$

$$T_{salida B}^* = 4 \times 0.2944 \text{ Nm} = 1.1776 \text{ Nm}$$

Sin embargo, como hemos podido ver antes, este cálculo del par no refleja la realidad de un sistema con pérdidas y deberemos incluir la eficiencia de los engranajes para encontrar un valor aproximado más adecuado. Como anteriormente, usaremos un valor  $\eta_C=90\%$  para aproximar el rendimiento del engranaje compuesto revertido, mientras que para el engranaje planetario (destacable por su alta eficiencia teóricamente) usaremos un valor de eficiencia mucho más alto, con  $\eta_A=97\%$ .

Usando estos valores de eficiencia, encontramos que el par real estimado a la salida del sistema es de:

$$T_{\text{entrada A}} \times \eta_A \times \eta_B \times G_{AB} = T_{\text{salida B}}$$

$$T_{\text{salida B ESTIMADO}} = 0.0736 \text{ Nm} \times 0.97 \times 0.9 \times 16 = 1.028 \text{ Nm}$$

Para poder interpretar mejor estos datos los incluiremos en un diagrama de flujo de potencias, de manera que sea fácil seguir las conversiones de los valores relevantes al ser afectadas por las relaciones de transmisión. (Nota: Los valores de par son los valores reales estimados teniendo en cuenta el rendimiento)

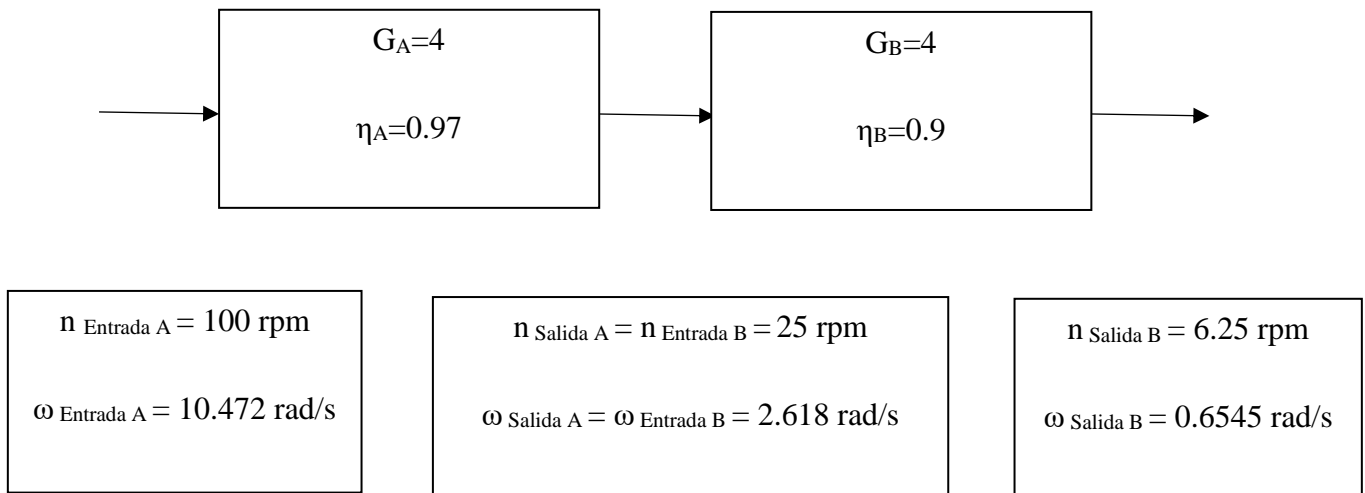


Fig 37. Diagrama de flujo de potencias para el segundo engranaje (Compuesto planetario y compuesto revertido). Elaboración propia.

#### 2.1.2.4 Estudio de movimiento del segundo sistema de engranajes utilizando SolidWorks.

Al igual que el estudio anterior, al mantenerse la relación de transmisión total, se mantiene la velocidad angular de salida del sistema, significando que el tiempo de estudio debe volver a ser de 10 segundos como queda demostrado a continuación.

$$t = \left( \frac{n_2}{60 \times G_{25}} \right)^{-1} = \left( \frac{100}{60 \times 16} \right)^{-1} = 9.6 \text{ segundos}$$

Para asegurarnos que obtenemos una revolución entera del engranaje, tomaremos una muestra de tiempo de 10 segundos para obtener el análisis completo.

Al igual que en la simulación anterior deberemos introducir una condición de contacto entre los engranajes del sistema, siendo esta entre el sol y los planetas, los planetas y la corona para el engranaje planetario y el contacto entre las ruedas dentadas del engranaje compuesto revertido. Otra característica especial para tener en cuenta de este contacto es que, al tener que simular el contacto entre un engranaje y varios otros, usaremos la función de grupos de contacto para evitar el error derivado de intentar simular el contacto entre todos los planetas para sus respectivas condiciones de contacto con el sol y la corona. También deberemos introducir la condición de velocidad angular de salida  $n_{\text{SALIDA B}}$  en la última rueda dentada del engranaje y la condición de par de entrada  $T_{\text{ENTRADA A}}$  en la rueda dentada sol del engranaje planetario, que mostraremos a continuación en las siguientes figuras, además de la verificación de la condición de no interferencia entre los engranajes, necesaria para la construcción adecuada del sistema de engranajes.

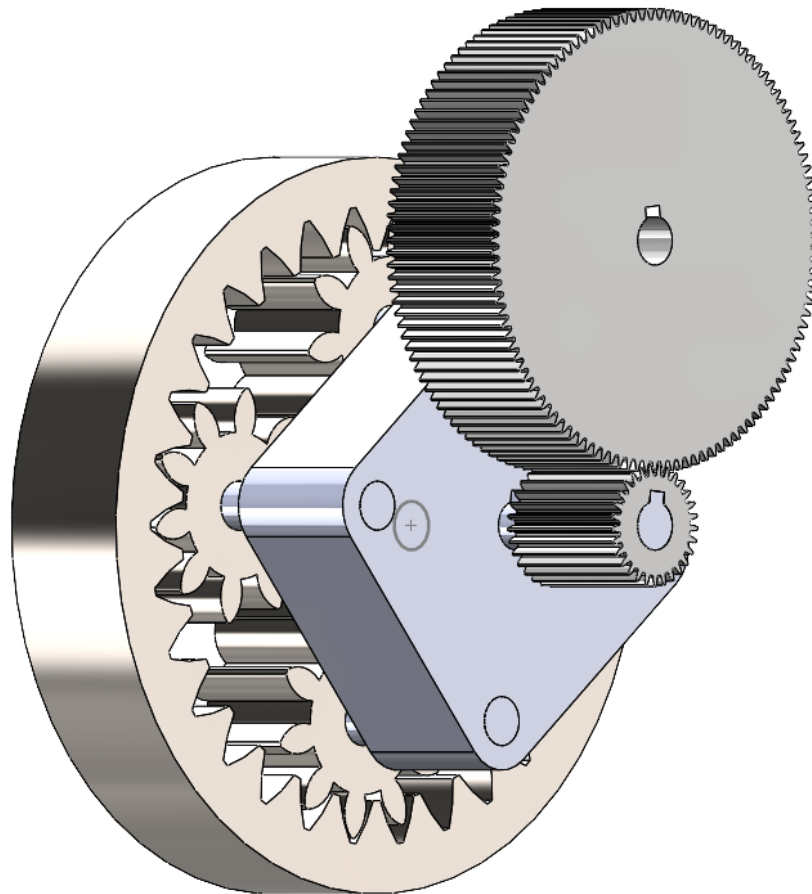


Fig 38. Captura de pantalla enseñando el segundo sistema de engrajes. Elaboración propia usando SolidWorks.

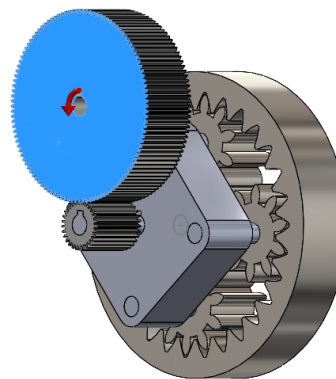
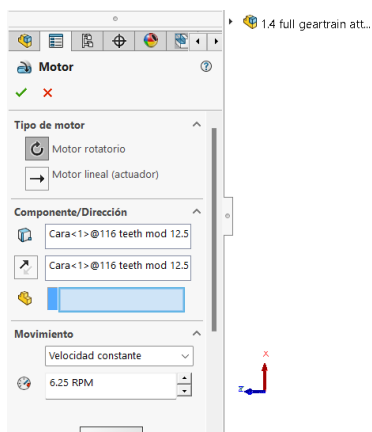


Fig 39. Captura de pantalla enseñando la condición de velocidad de salida del segundo sistema de engrajes. Elaboración propia usando SolidWorks.



Fig 40. Captura de pantalla enseñando la condición de par de entrada del segundo sistema de engranajes. Elaboración propia usando SolidWorks.



Fig 41. Captura de pantalla enseñando la condición de contacto entre el sol y los planetas del segundo sistema de engranajes. Elaboración propia usando SolidWorks.

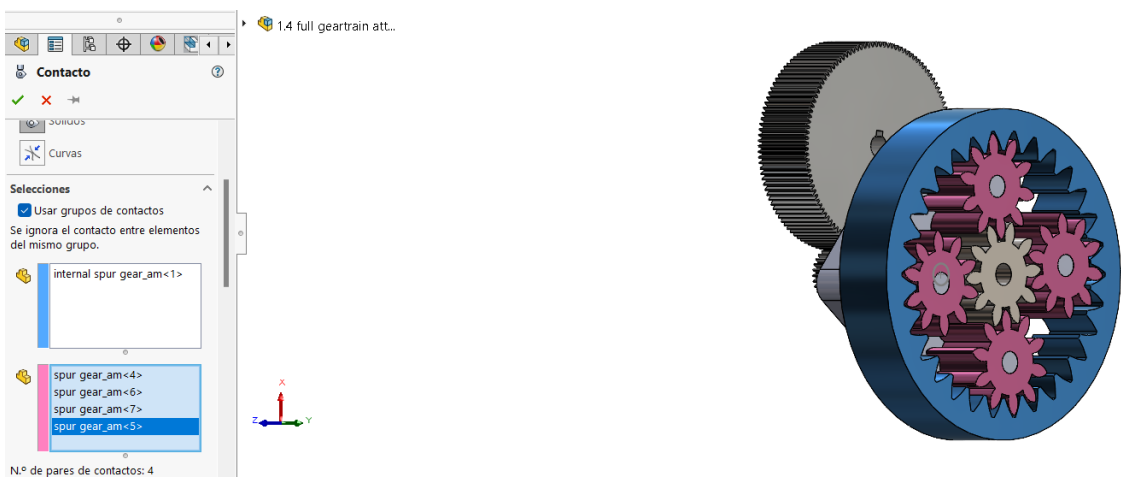


Fig 42. Captura de pantalla enseñando la condición de contacto entre los planetas y la corona del segundo sistema de engranajes. Elaboración propia usando SolidWorks.

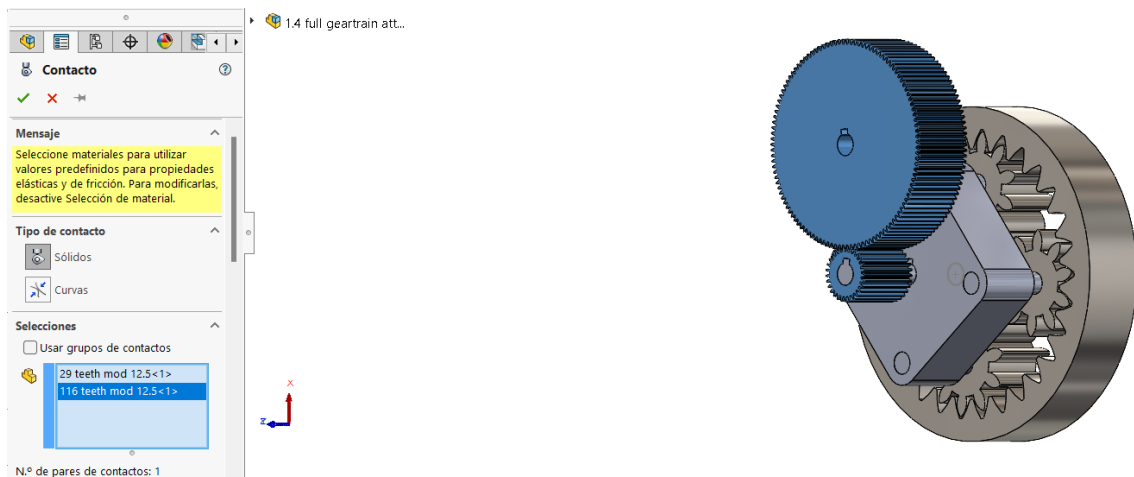


Fig 43. Captura de pantalla enseñando la condición de contacto de la etapa final del segundo sistema de engranajes. Elaboración propia usando SolidWorks.

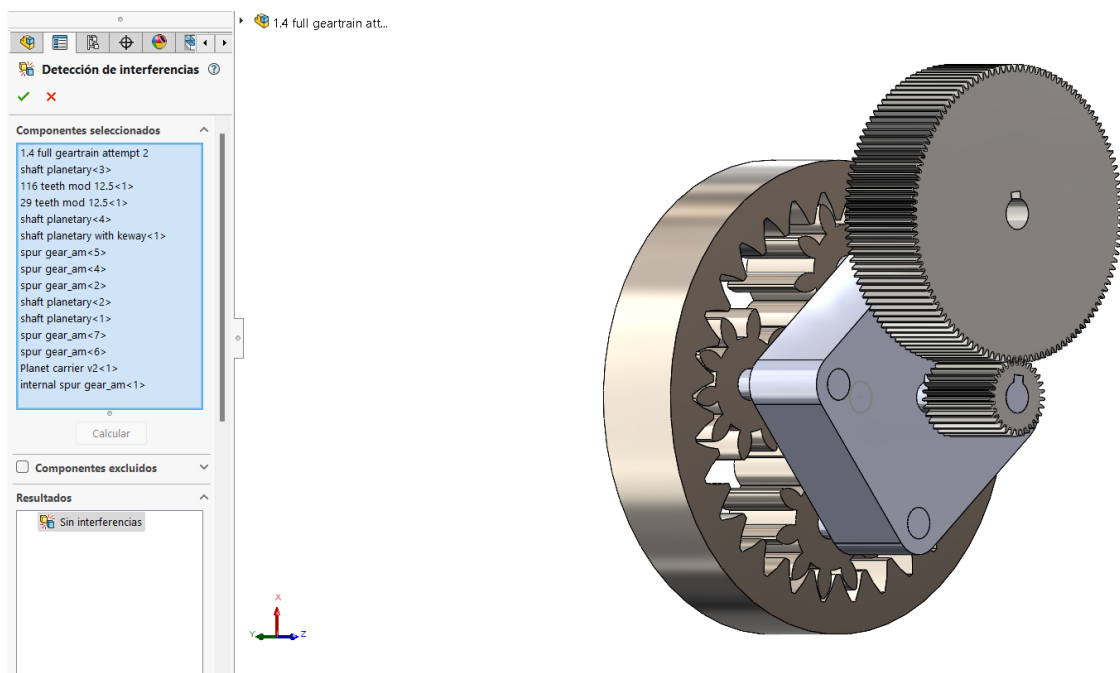


Fig 44. Captura de pantalla enseñando la condición de no interferencia del segundo sistema de engranajes. Elaboración propia usando SolidWorks.

Al igual que con el primer sistema de engranajes, una vez ejecutada la simulación podemos tomar las medidas adecuadas y exportarlas como un archivo .CSV. realizando los procesos de análisis de datos relevantes y analizándolos como se muestra a continuación.

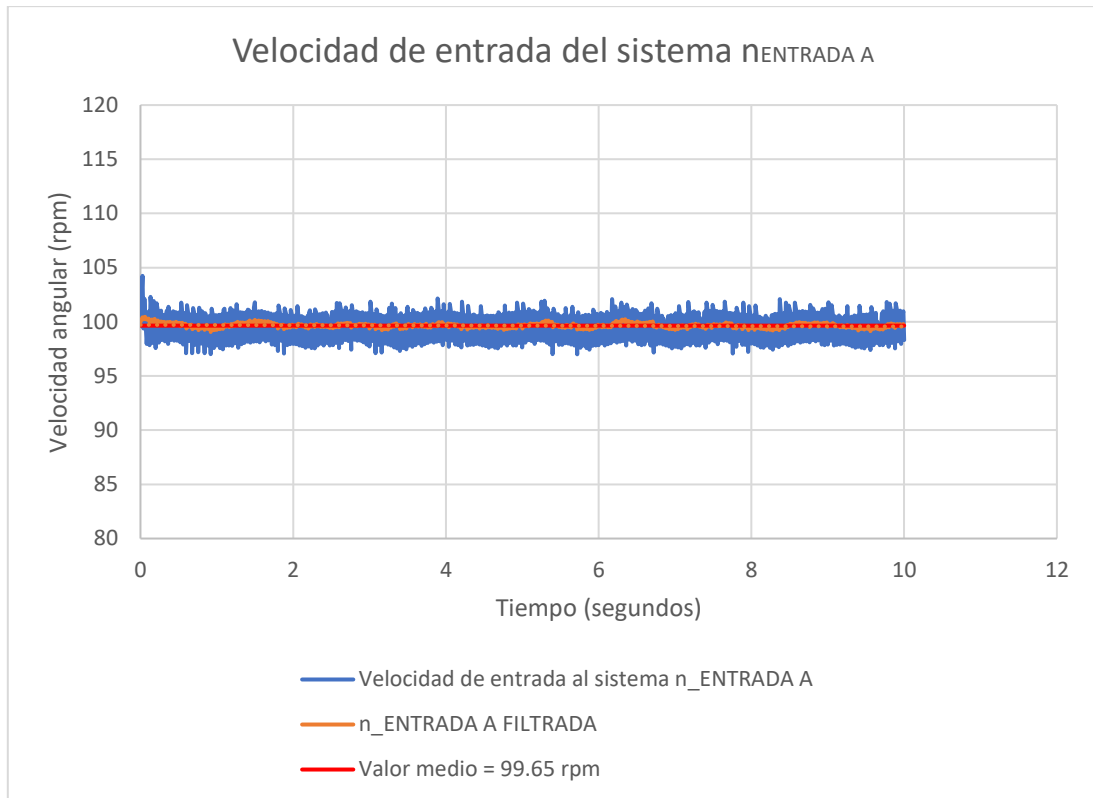


Fig 45. Gráfico enseñando la velocidad angular  $n_{ENTRADA A}$  obtenida a partir de la simulación del segundo tren de engranajes. Elaboración propia usando SolidWorks.

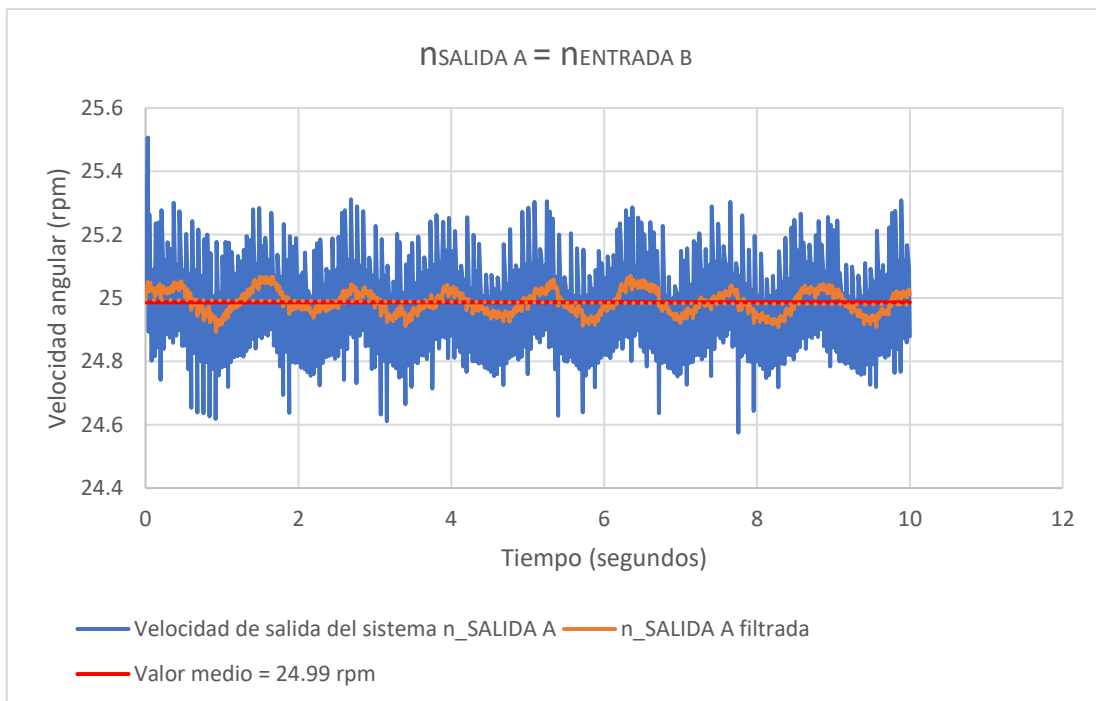


Fig 46. Gráfico enseñando la velocidad angular  $n_{SALIDA A} = n_{ENTRADA B}$  obtenida a partir de la simulación del segundo tren de engranajes. Elaboración propia usando SolidWorks.

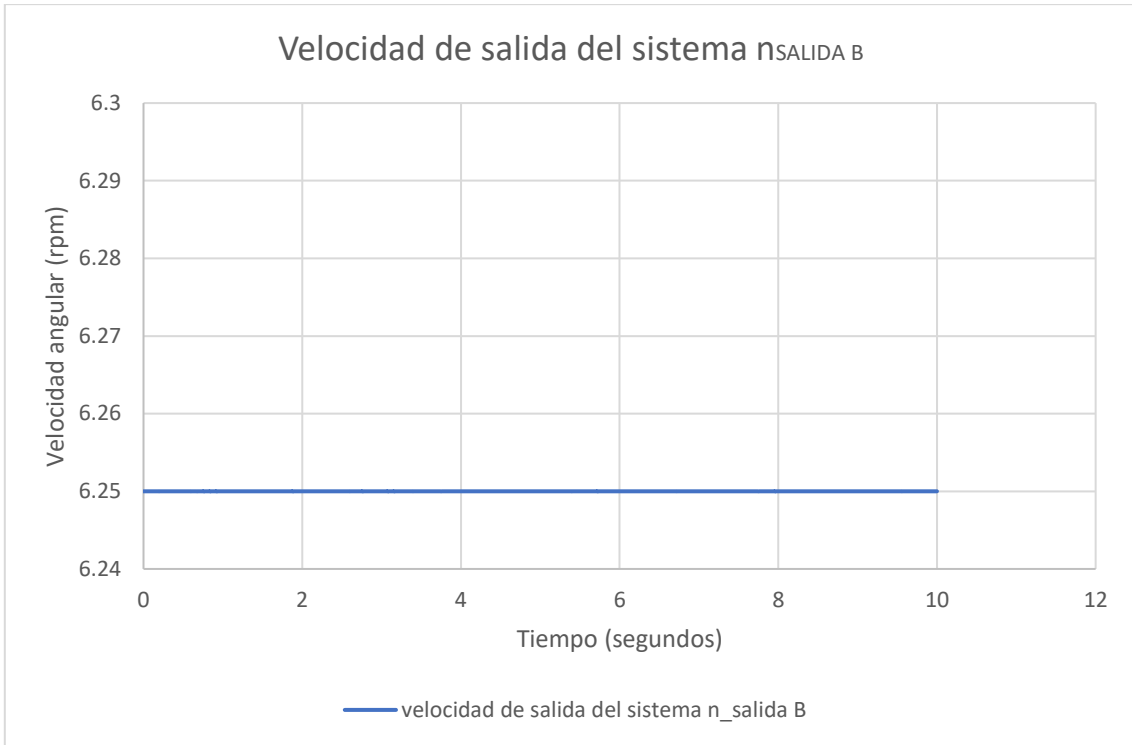


Fig 47. Gráfico enseñando la velocidad angular  $n_{SALIDA B}$  obtenida a partir de la simulación del segundo tren de engranajes. Elaboración propia usando SolidWorks.

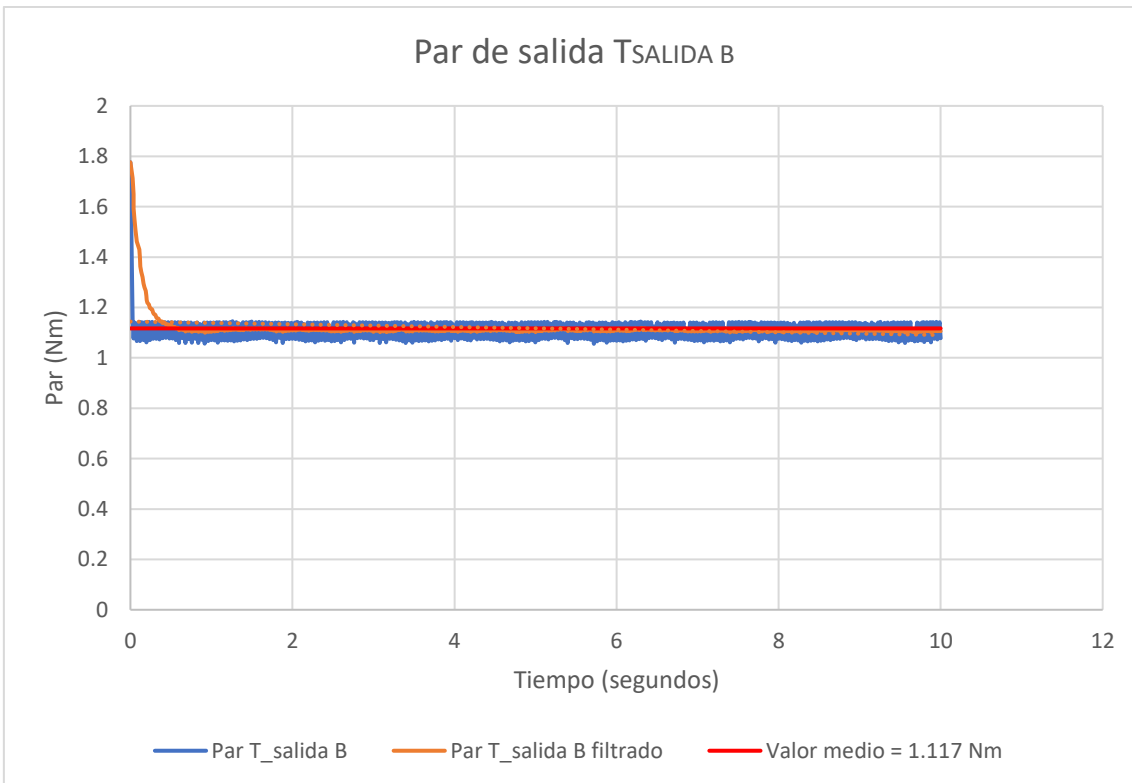


Fig 48. Gráfico enseñando el par de salida del sistema  $T_{SALIDA B}$  obtenido a partir de la simulación del segundo tren de engranajes. Elaboración propia usando SolidWorks.

Para obtener resultados que sean comparables, es necesario convertir las unidades de salida de la simulación para obtener resultados en unidades estándar, siendo estas revoluciones por minuto en vez de grados/segundo y Nm en vez de Nmm.

Para realizar las conversiones a las unidades apropiadas usaremos las siguientes fórmulas:

$$n \left( \frac{\text{revoluciones}}{\text{minuto}} \right) = n \left( \frac{\text{grados}}{\text{segundo}} \right) \times 60 \left( \frac{\text{segundos}}{\text{minuto}} \right) \times \frac{1}{360} \left( \frac{\text{revoluciones}}{\text{grado}} \right)$$

$$Par (Nm) = Par (N mm) \times \left( \frac{1 m}{1000 mm} \right)$$

También aplicaremos el mismo filtrado que en la simulación anterior para reducir ruido y poder comparar los resultados adecuadamente. Tras realizar la media de los valores post-filtrado obtenemos los siguientes valores del sistema.

$$n_{ENTRADA A SW} = 99.65 \text{ rpm}$$

$$n_{SALIDA A SW} = n_{ENTRADA B SW} = 24.99 \text{ rpm}$$

$$n_{SALIDA B SW} = 6.25 \text{ rpm}$$

$$T_{SALIDA B SW} = 1.117 \text{ Nm}$$

En primer lugar, calcularemos las diferencias porcentuales de cada valor para ver la precisión de la simulación. (Debemos tener en cuenta que la diferencia porcentual de  $n_{5SW}$  será igual a 0 ya que este valor es un parámetro de entrada de la simulación.)

$$\text{Diferencia porcentual } n_{ENTRADA A SW} = \frac{n_{ENTRADA A} - n_{ENTRADA A SW}}{n_{ENTRADA A}} \times 100$$

$$\text{Diferencia porcentual } n_{ENTRADA A SW} = \frac{100 - 99.65}{100} \times 100 = 0.35\%$$

$$\text{Diferencia porcentual } n_{SALIDA A SW} = \frac{n_{SALIDA A} - n_{SALIDA A SW}}{n_{SALIDA A}} \times 100$$

$$\text{Diferencia porcentual } n_{SALIDA A SW} = \frac{25 - 24.99}{25} \times 100 = 0.04\%$$

$$\text{Diferencia porcentual } T_{SALIDA B SW} = \frac{T_{SALIDA B SW} - T_{SALIDA B}}{T_{SALIDA B}} \times 100$$

$$\text{Diferencia porcentual } T_{SALIDA B SW} = \frac{1.117 - 1.028}{1.117} \times 100 = 7.967\%$$

En esta simulación las diferencias porcentuales para los valores de velocidad angular también son despreciables, un buen indicador de que la simulación es fiable. También encontramos que el valor de par de salida de la simulación es más elevado debido a que la primera estimación de los valores de eficiencia fue algo conservadora, sin embargo, esta diferencia es prácticamente despreciable de todos modos.

Sin embargo, podemos ver como la suposición de esperar un mayor rendimiento del engranaje planetario era correcta, resultando en un valor de salida de par más alto que con el primer sistema. Este valor de eficiencia real del sistema se puede calcular de la siguiente manera:

$$T_{ENTRADA A} \times \eta_{AB REAL} = T_{SALIDA B REAL}$$

$$T_{SALIDA B REAL} = 0.0736 Nm \times \eta_{AB REAL} \times 16 = 1.117 Nm$$

$$\eta_{AB REAL} = \frac{1.117 Nm}{0.0736 Nm \times 16} = 0.9485$$

$$\eta_{AB REAL} = 94.85 \%$$

Al ser este valor de eficiencia mucho mayor que el del primer sistema, podemos ver como la elección de tren de engranajes resulta claro, dando este segundo sistema (compuesto por tanto un engranaje planetario como por un engranaje compuesto revertido) resultados mucho mejores y más acercados a los que teníamos en mente a la hora de realizar el diseño. Por lo tanto, elegiremos este sistema para realizar la transmisión de potencia del sistema y procederemos a la elección y diseño de los rodamientos necesarios a continuación.

$$n_{ENTRADA A SW} = 99.65 rpm$$

$$n_{SALIDA A SW} = n_{ENTRADA B SW} = 24.99 rpm$$

$$n_{SALIDA B SW} = 6.25 rpm$$

$$T_{SALIDA B SW} = 1.117 Nm$$

## 2.2. Elección y diseño de los rodamientos:

Para la elección de los rodamientos hace falta tener los valores de torsión y velocidad angular del sistema, que tomaremos de los valores de diseño del segundo sistema y mostraremos a continuación para mayor claridad, además, para dar un mayor factor de seguridad, tomaremos el rendimiento de cada etapa como si fuese del 100%.

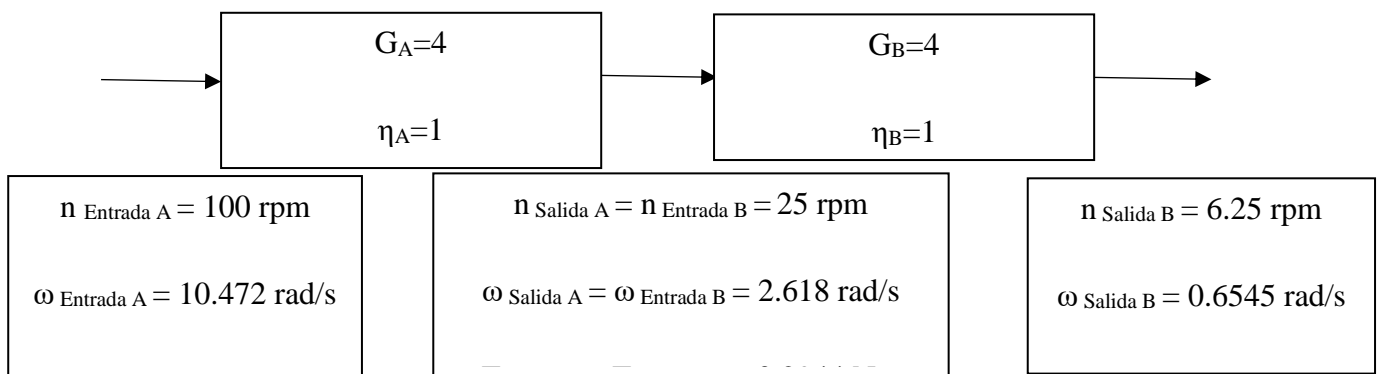


Fig 49. Diagrama de flujo de potencias para el segundo engranaje (Compuesto planetario y compuesto revertido) para el diseño de los rodamientos. Elaboración propia.

Al estar los rodamientos situados en los dos ejes de las ruedas dentadas que forman el sistema de engranajes compuesto revertido, los valores más relevantes para este estudio serán:

$$n_{\text{Salida A}} = n_{\text{Entrada B}} = 25 \text{ rpm}$$

$$\omega_{\text{Salida A}} = \omega_{\text{Entrada B}} = 2.618 \text{ rad/s}$$

$$T_{\text{Salida A}} = T_{\text{Entrada B}} = 0.2944 \text{ Nm}$$

$$n_{\text{Salida B}} = 6.25 \text{ rpm}$$

$$\omega_{\text{Salida B}} = 0.6545 \text{ rad/s}$$

$$T_{\text{Salida B}} = 1.1776 \text{ Nm}$$

A continuación, deberemos calcular las fuerzas radiales y tangenciales aplicadas en el engranaje para poder seleccionar rodamientos adecuados que soporten las cargas adecuadamente. Además, deberemos aclarar la nomenclatura a utilizar en el cálculo de las fuerzas, siendo  $F_B^t$  la fuerza tangencial aplicada en el engranaje y  $F_B^r$  la fuerza radial aplicada en este mismo engranaje. Para el cálculo, procederemos a aplicar estas fórmulas:

$$F_B^t = \frac{T_{SALIDA B}}{\frac{d_{B2}}{2}}$$

$$F_B^r = F_B^t \tan \phi^\circ$$

Siendo  $\phi$  el ángulo de presión de los engranajes ( $14.5^\circ$ ) y  $d_{B2}$  el diámetro de la última rueda dentada del sistema. Además, cabe recordar que los valores de construcción del engranaje compuesto revertido son:

$$N_{B1} = 29 \text{ dientes}$$

$$d_{B1} = 2.32 \text{ mm}$$

$$N_{B2} = 116 \text{ dientes}$$

$$d_{B2} = 4.64 \text{ mm}$$

$$F_B^t = \frac{T_{SALIDA B}}{\frac{d_{B2}}{2}} = \frac{1.1776 \text{ Nm}}{\frac{0.00464}{2}} = 507.586 \text{ N}$$

$$F_B^r = F_B^t \tan \phi^\circ = 507.586 \times \tan 14.5^\circ = 131.27 \text{ N}$$

### 2.2.1. Diseño de los rodamientos para la primera rueda dentada B1:

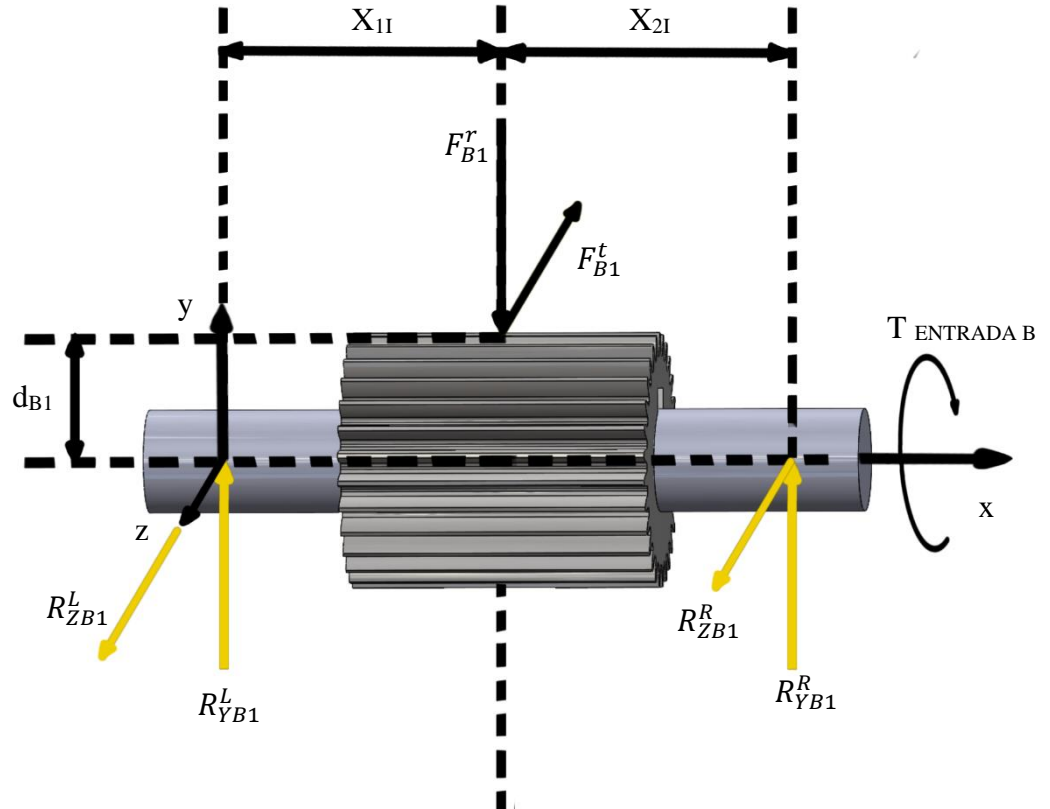


Fig 50. Diagrama de fuerzas y momentos para la rueda dentada B1. Elaboración propia.

Tomando la suma de fuerzas en la dirección y:

$$-F_{YB1}^r + R_{YB1}^L + R_{YB1}^R = 0$$

Y tomando el balance estático de fuerzas en el eje z:

$$-F_{ZB1}^t + R_{ZB1}^L + R_{ZB1}^R = 0$$

Además, tomaremos la suma de momentos en torno a los ejes y y z respectivamente:

$$R_{ZB1}^L \times x_{1I} - R_{ZB1}^R \times x_{2I} = 0$$

$$R_{YB1}^L \times x_{1I} - R_{YB1}^R \times x_{2I} = 0$$

Como en nuestro caso  $x_{2I} = x_{1I}$ :

$$R_{YB1}^L = R_{YB1}^R = \frac{F_B^r}{2} = \frac{131.27 \text{ N}}{2} = 65.64 \text{ N}$$

$$R_{ZB1}^L = R_{ZB1}^R = \frac{F_B^t}{2} = \frac{507.586 \text{ N}}{2} = 253.79 \text{ N}$$

$$R_i = \sqrt{(R_{Y1}^L)^2 + (R_{Z1}^L)^2} = \sqrt{(65.64 \text{ N})^2 + (253.79 \text{ N})^2}$$

$$R_i = 262.14 \text{ N}$$

Además, debido a que las velocidades de diseño son relativamente bajas, usaremos rodamientos de rodillo cilíndrico, siendo  $a=10/3$ . Como la vida de diseño propuesta  $\mathcal{L}_D = 20000$ , usaremos la siguiente fórmula:

$$C_{10i} = R_i \left( \frac{\mathcal{L}_D n_{B1} (60 \text{ min/hora})}{L_R} \right)^a$$

$$C_{10i} = 262.14 \text{ N} \left( \frac{20000 \times 25 \times (60 \text{ min/hora})}{10^6} \right)^{10/3} = 0.727 \text{ KN}$$

### 2.2.2. Diseño de los rodamientos para la segunda rueda dentada B2:

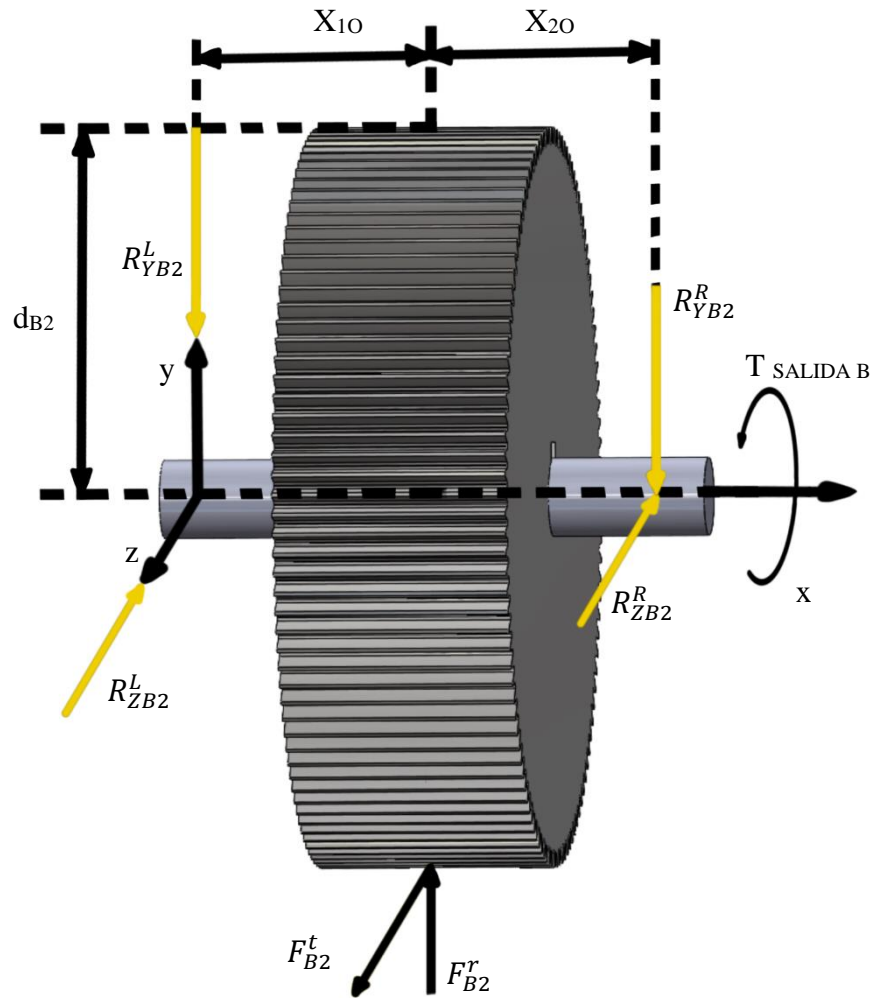


Fig 51. Diagrama de fuerzas y momentos para la rueda dentada B2. Elaboración propia.

Tomando la suma de fuerzas en la dirección y:

$$F^r_{YB2} - R^L_{YB2} - R^R_{YB2} = 0$$

Y tomando el balance estático de fuerzas en el eje z:

$$F^t_{ZB2} - R^L_{ZB2} - R^R_{ZB2} = 0$$

Además, tomaremos la suma de momentos en torno a los ejes y y z respectivamente:

$$R_{ZB2}^L \times x_{10} - R_{Z2}^R \times x_{20} = 0$$

$$R_{YB2}^L \times x_{20} - R_{YB2}^R \times x_{10} = 0$$

Al tomar  $X_{10} = X_{20}$ :

$$R_{YB2}^L = R_{YB2}^R = \frac{F_B^r}{2} = \frac{131.27 \text{ N}}{2} = 65.64 \text{ N}$$

$$R_{ZB2}^L = R_{ZB2}^R = \frac{F_B^t}{2} = \frac{507.586 \text{ N}}{2} = 253.79 \text{ lbf}$$

$$R_{i2} = \sqrt{(R_{YB2}^L)^2 + (R_{ZB2}^L)^2} = \sqrt{(101.950489 \text{ lbf})^2 + (280.106665 \text{ lbf})^2}$$

$$R_{i2} = 262.14 \text{ N}$$

Como las velocidades angulares siguen siendo bajas usaremos rodamientos de rodillo cilíndrico, siendo  $a=10/3$ . La vida de diseño propuesta seguirá siendo la misma  $\mathcal{L}_D = 20000$ , y, por lo tanto, usaremos la siguiente fórmula:

$$C_{100} = R_i \left( \frac{\mathcal{L}_D n_{B1} (60 \text{ min/hora})}{L_R} \right)^a$$

$$C_{100} = 262.14 \text{ N} \left( \frac{20000 \times 6.25 \times (60 \text{ min/hora})}{10^6} \right)^{10/3} = 0.48 \text{ KN}$$

### 2.2.3. Elección rodamientos.

Una vez realizados estos cálculos, podremos buscar los rodamientos apropiados en la página de SKF, empresa líder en el mercado de rodamientos. Se buscará tanto en el catálogo de rodamientos<sup>27</sup> como en el selector de productos<sup>28</sup>. Más en concreto, se seleccionarán aquellos rodamientos con el menor diámetro interior y exterior posible que

<sup>27</sup> [0901d196802809de\\_pdf\\_preview\\_medium.pdf \(skf.com\)](#)

<sup>28</sup> [SKF Product select](#)

cumplan la condición de capacidad de carga básica. Entre ellos encontramos dos opciones que parecen muy interesantes, el rodamiento BK 0306 TN y el K 3X5X7 TN.

Eje	Capacidad de carga básica	Velocidad de diseño	Rodamiento SKF	Diámetro interior	SKF $C_{10}$ (kN)	SKF rpm
B1	$C_{10i} = 0.727$ kN	$n_{B1} = 25$ rpm	BK 0306 TN	3 mm	1.23 kN	24000
B2	$C_{10o} = 0.48$ kN	$n_{B2} = 6.25$ rpm	BK 0306 TN	3 mm	1.23 kN	24000

Fig 52. Tabla de especificaciones para los rodamientos BK 0306 TN. Datos obtenidos de BK 0306 TN - Rodamientos de agujas | SKF.

Eje	Capacidad de carga básica	Velocidad de diseño	Rodamiento SKF	Diámetro interior	SKF $C_{10}$ (kN)	SKF rpm
B1	$C_{10i} = 0.727$ kN	$n_{B1} = 25$ rpm	K 3X5X7 TN	3 mm	1.51 kN	40000
B2	$C_{10o} = 0.48$ kN	$n_{B2} = 6.25$ rpm	K 3X5X7 TN	3 mm	1.51 kN	40000

Fig 53. Tabla de especificaciones para los rodamientos K 3X5X7 TN. K 3X5X7 TN - Rodamientos de agujas | SKF.

Como se puede ver en las tablas mostradas anteriormente, ambos rodamientos cumplen las condiciones requeridas, sin embargo, para decidir entre uno y otro, miraremos los diámetros exteriores, siendo el del rodamiento BK 0306 TN de 6.5 mm y el del rodamiento K 3X5X7 TN de 5 mm. Aunque la longitud del primer rodamiento es menor que el del rodamiento K 3X5X7 TN (6 mm y 7 mm respectivamente) esto no supone un problema, debido a que hay una gran cantidad de espacio a lo largo del bastón, pero el espacio entre los ejes está muy restringido. Es por esta misma razón por la que elegimos el rodamiento K 3X5X7 TN, ya que caben apilados entre los ejes.

Una vez elegidos los rodamientos, se descargará el archivo CAD proporcionado por el fabricante y se incluirá en el diseño de la caja de cambios final, resultando en el siguiente diseño.

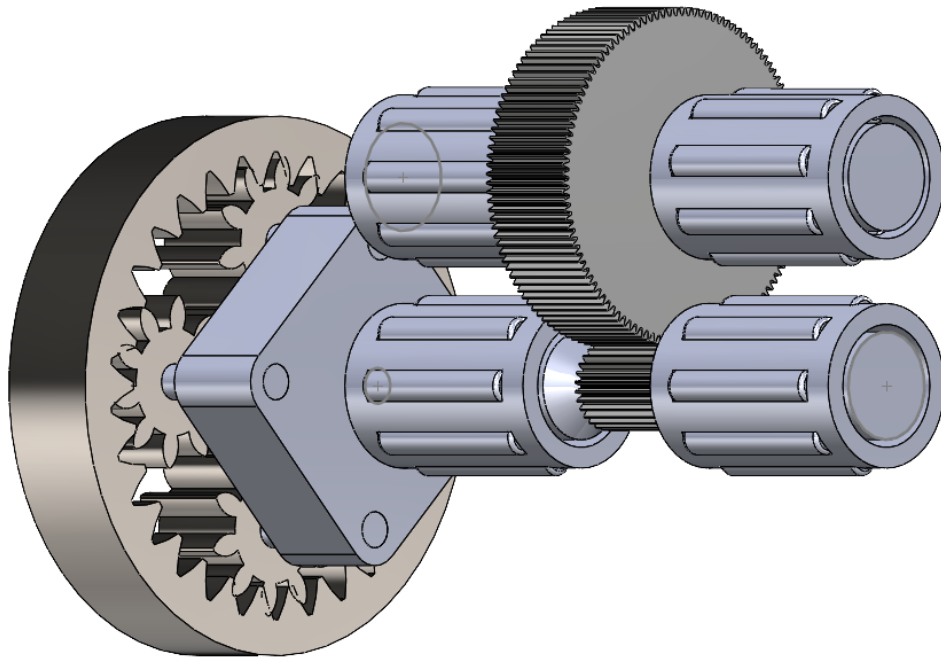


Fig 54. Imagen mostrando el diseño final de la caja de cambios, incluyendo los rodamientos. Elaboración propia usando SolidWorks.

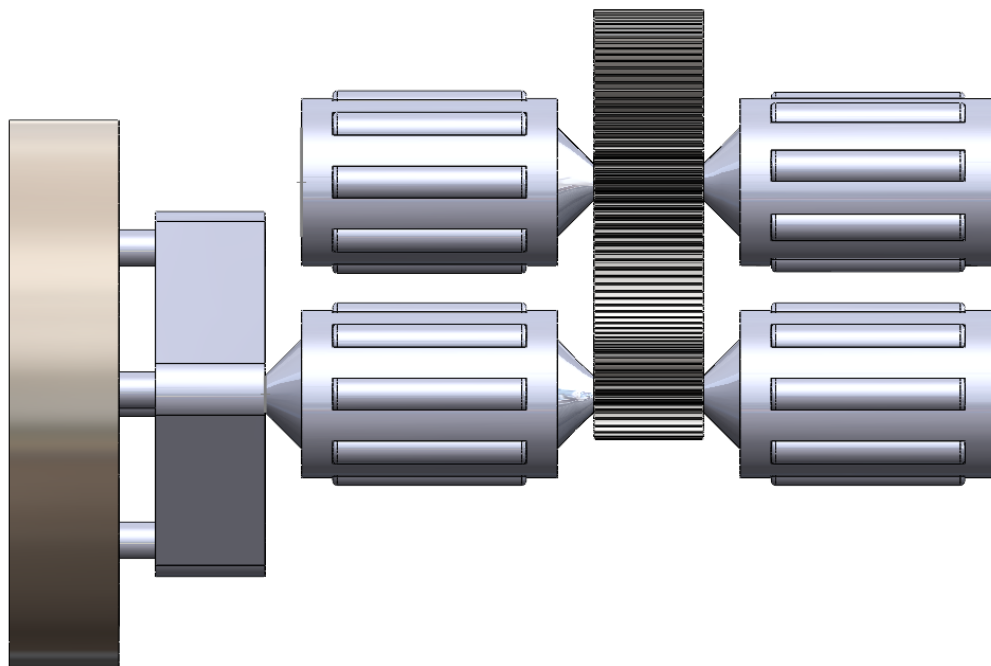


Fig 55. Imagen mostrando el diseño final de la caja de cambios, incluyendo los rodamientos. Elaboración propia usando SolidWorks.

### **2.3. Conclusiones del capítulo:**

En este capítulo hemos diseñado la cadena cinemática de nuestro diseño, una de las partes cruciales y más complejas de este trabajo. Empezamos por la elección del motor utilizado para generar el movimiento del sistema (Con opciones muy restringidas debido a las condiciones de contorno del sistema, sobre todo en cuanto a tamaño). A partir de la selección, planteamos los parámetros de salida del sistema, diseñando los engranajes para conectar el motor con el sistema de retroalimentación háptica. Además, exploramos varias formas de realizar la misma tarea, obteniendo un diseño que funcionaba claramente mejor que el otro, a pesar de su complejidad mayor. Sin embargo, como estos cálculos teóricos no tendrían relevancia sin ser apoyados por simulaciones o valores experimentales, realizamos estudios de movimiento en SolidWorks para comprobar los valores reales del sistema, obteniendo una mejor idea de la eficiencia de cada uno de ellos y los valores de salida. A través de la comparación entre las simulaciones y los valores teóricos, vemos como la opción de usar un engranaje planetario resulta en una eficiencia muy alta, como predijimos al principio del capítulo.

Otra de las tareas que realizamos en este capítulo es el estudio y selección de los rodamientos a incluir en el diseño, elementos imprescindibles para colocar en los ejes del sistema de engranajes para permitir la rotación de estos libremente en el sistema real.

A continuación, en el siguiente capítulo, comentaremos el diseño de todos los aspectos del bastón que no pertenezcan a la cadena cinemática, es decir, tanto la carcasa del bastón en sí, como el soporte de la propia cadena cinemática entre otros elementos estructurales y sus funcionalidades específicas.

## Capítulo 3. Diseño del sistema.

### 3.1. Estudio del sistema general.

En este capítulo del documento examinaremos los planos y diseños que conforman el bastón blanco. En primer lugar, deberemos realizar una evaluación completa del diseño del bastón, no solo del mango diseñado, que es la parte mecánica que más se altera. También realizaremos un análisis estático de la fuerza soportada por el bastón en un impacto y un análisis de fatiga y vibraciones para ver la resistencia del bastón.

Este mango está pensado para ir acoplado a una base de bastón blanco tradicional telescópica para una mayor movilidad, añadiendo una rosca al final del bastón para poder incluir los adaptadores necesarios al final para realizar este acople. Esto resultaría en un bastón ligero y muy maniobrable a pesar de incluir las ventajas de un bastón inteligente, sin perder las ventajas de un bastón blanco tradicional como mencionamos anteriormente. Además, para al usar el móvil como receptor y procesador de imágenes, tomamos la decisión de incluir el móvil en un arnés en vez de en el propio bastón como hacen algunos otros inventos. De esta forma, conseguimos aligerar el peso del bastón y, por lo tanto, la ergonomía del sistema, aumentando la comodidad para el usuario. Además, de esta forma nos aseguramos de que la cámara del teléfono móvil siempre tiene una línea de visión clara de la dirección en la que camina el usuario. Esto se podría conseguir a través de una gran variedad de chalecos y porta móviles en el mercado, pero para ilustrar este ejemplo incluiremos un sistema arnés-sujeción para móviles disponible a través de Walmart por 30.4 euros en conjunto (13.86 arnés, 16.54 sujeción).



Fig 56. Bastón blanco plegable mostrando el concepto en torno al que se diseña el bastón, permitiendo una mayor movilidad. <https://www.ortopediamimas.com/movilidad/ayudas-a-la-marcha/bastones/6938-baston-blanco-para-ciegos.html>



Fig 57. Arnés para llevar el porta teléfonos. [Soporte de Clip para teléfono fijo en el pecho, correa de fijación portátil para estante de teléfono móvil para MB-03 | Walmart en línea](#)



Fig 58. Porta teléfonos plegable o tablero de navegación plegable con las medidas correspondientes. [\[Con video\]](#) [\[N.º artículo: MB-03\]](#) [\[Vendido en combinación con 991993\]](#) Tablero navegación plegable soporte molle soporte universal para tipo chaleco soporte para (color barro) | Walmart en línea



Fig 59. Porta teléfonos plegable o tablero de navegación plegable acoplado al arnés.

Cabe mencionar que encontramos una gran variedad de sistemas que cumplirían la misma función en cuanto al sistema de arnés-porta teléfonos, pero encontramos que esta opción es adecuada debido a su ligereza y la protección que ofrece al teléfono móvil, pesando el sistema completo tan solo 310 gramos, con el arnés pesando 160 gramos<sup>29</sup> y el porta teléfonos 150 gramos<sup>30</sup>. Además, encontramos que es un sistema altamente modular, con el velcro en la parte trasera del porta teléfonos significando que podemos añadir cualquier accesorio MOLLE o Modular Lightweight Load-carrying Equipment como pequeñas bolsas para llevar emisores de señal, dispositivos GPS u otros sistemas necesarios para su funcionamiento. Sin embargo, es importante que estas bolsas se puedan añadir al sistema sin interrumpir la visibilidad de la cámara del teléfono móvil, como los que mostramos a continuación.



Fig 60. Ejemplo de los accesorios que se podrían añadir verticalmente al sistema para llevar componentes extra en el sistema del arnés para no interrumpir la visibilidad de la cámara del teléfono. Dimensiones 12.7 x 3,81 x 3,81 cm. [TKO Pouch - Spiritus Systems](#)

<sup>29</sup> [Soporte de Clip para teléfono fijo en el pecho, correa de fijación portátil para estante de teléfono móvil para MB-03 | Walmart en línea](#)

<sup>30</sup> [\[Con video\] \[N.º artículo: MB-03\] \[Vendido en combinación con 991993\] Tablero navegación plegable soporte molle soporte universal para tipo chaleco soporte para \(color barro\) | Walmart en línea](#)

### **3.2. Estudio de la carcasa del bastón blanco.**

A continuación, examinaremos el diseño del mango del bastón en sí, aclarando la nomenclatura utilizada para las piezas y planos finales.

- FI se utilizará para denominar al producto final, con todos los componentes incluidos.
- CA se utilizará para referirse a las piezas que conformen la carcasa exterior del bastón.
- CC se utilizará para referirse a los componentes de la cadena cinemática del bastón.
- SO se utilizará para referirse a los tornillos y piezas que actúen como soporte para el bastón y sus componentes internos.

Además, organizaremos los planos en secciones, agrupando las piezas en dos grupos principales, aquellas que conforman el exterior de la carcasa y las pertenecientes a la cadena cinemática, incluyendo planos de ensamblaje para el bastón final y la cadena cinemática, tanto con y sin soporte, siguiendo la estructura de árbol mostrada a continuación.

#### **TFG-FI-0001 FINAL ASSEMBLY**

TFG-CA-0001 CARCASA BASTÓN

TFG-CA-0002 FUNDA EXTERIOR BASTÓN

TFG-CA-0003 TAPA BASTÓN

TFG-CA-0004 BASE RAIL 13 CM

TFG-CA-0005 BASE RAIL 4 CM

TFG-CA-0006 BASE RAIL 3 CM

TFG-CA-0007 BASE RAIL 2.5 CM

TFG-SO-0006 M3x05

TFG-SO-0001 CADENA CINEMÁTICA ASSEMBLY (CON SOPORTE)

TFG-CC-0001 CADENA CINEMÁTICA ASSEMBLY

TFG-CC-0002 RUEDA DENTADA 10T

TFG-CC-0003 CORONA PLANETARIO

TFG-CC-0004 PORTAPLANETAS PLANETARIO

TFG-CC-0005 RUEDA DENTADA 29T

TFG-CC-0006 RUEDA DENTADA 116T

TFG-CC-0007 EJE PLANETARIO

TFG-CC-0008 EJE B1

TFG-CC-0009 EJE B2

TFG-CC-0010 RODAMIENTO K 3X5X7 TN

TFG-CC-0011 INDICADOR DIRECCIÓN

TFG-CC-0012 CIERRE APERTURA

TFG-SO-0002 CARCASA ENGRANAJE PLANETARIO 1

TFG-SO-0003 CARCASA ENGRANAJE PLANETARIO 2

TFG-SO-0004 BASE SERVO

TFG-SO-0005 BASE SOPORTE CADENA CINEMÁTICA

TFG-SO-0007 TORNILLO M2x04x20.2

TFG-CC-0013 SERVOMOTOR HS-40



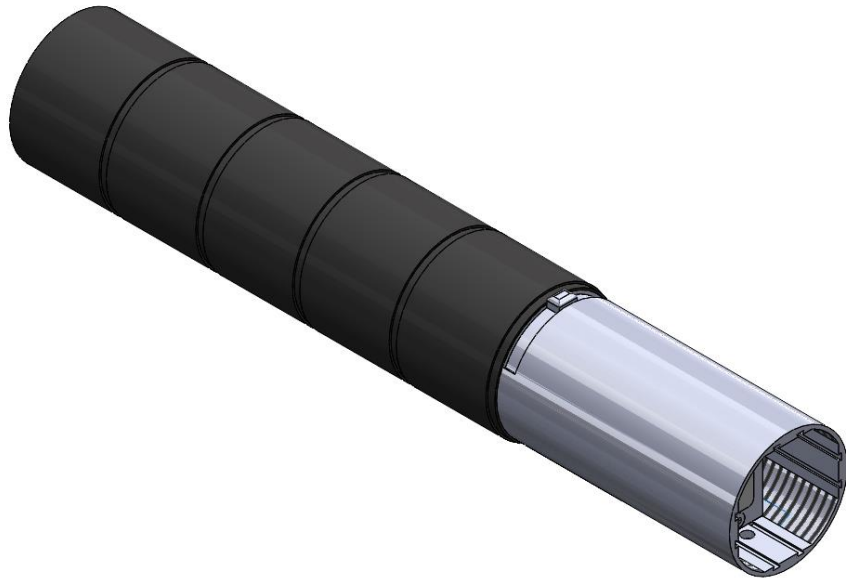


Fig 63. Imagen de referencia del mango del bastón blanco TFG-FI-0001. Elaboración propia usando SolidWorks.

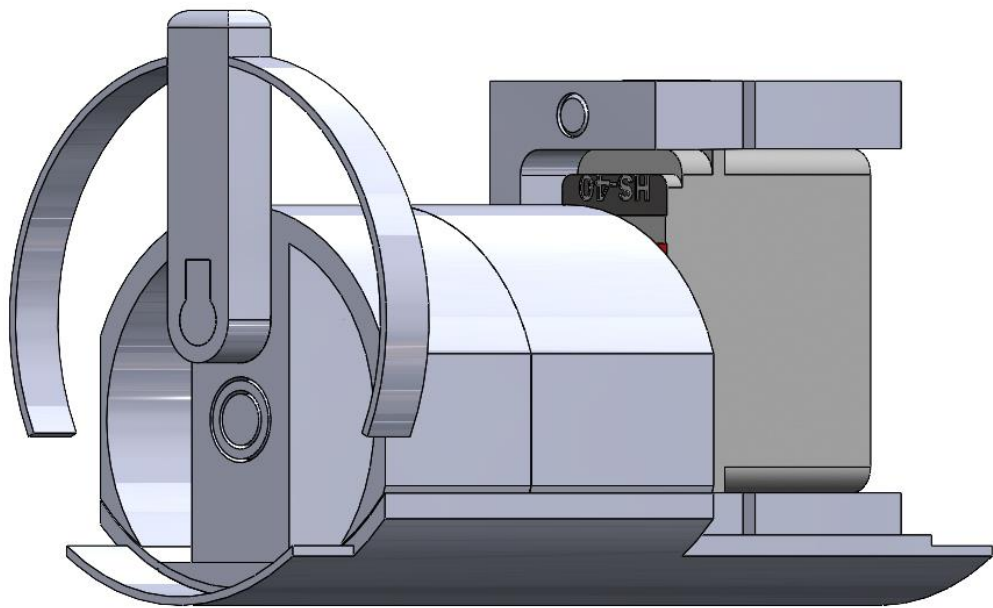


Fig 64. Imagen de referencia de la cadena cinemática incluyendo el soporte TFG-SO-0001. Elaboración propia usando SolidWorks.

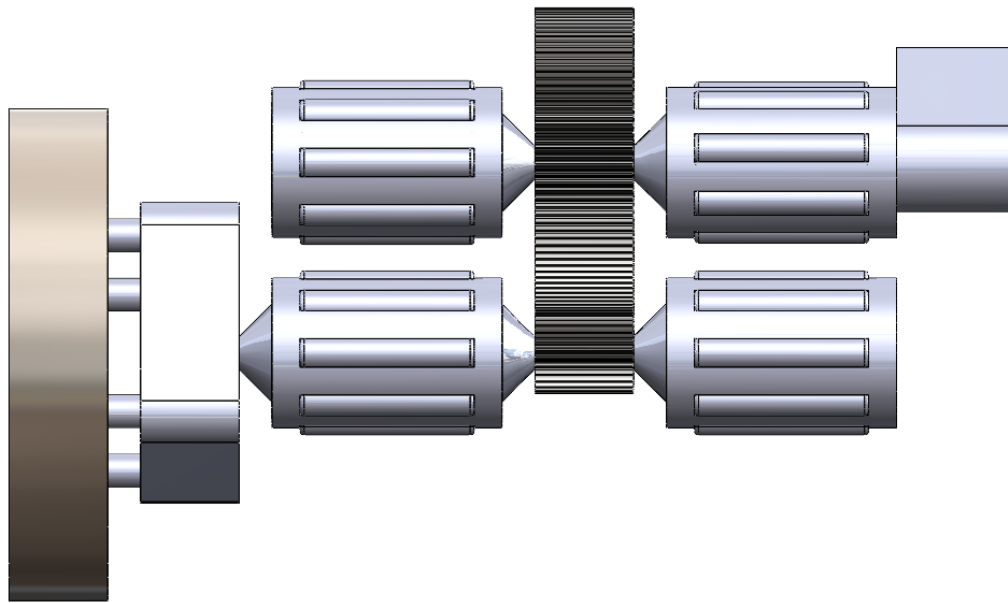


Fig 65. Imagen de referencia de la cadena cinemática TFG-CC-0001. Elaboración propia usando SolidWorks.

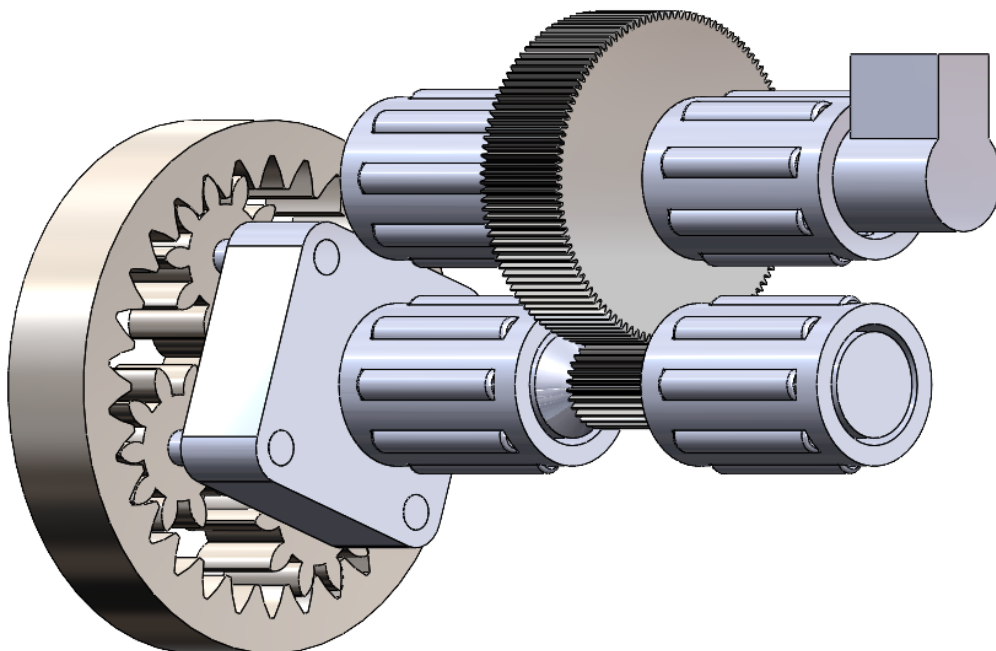


Fig 66. Imagen de referencia de la cadena cinemática TFG-CC-0001. Elaboración propia usando SolidWorks.

Como se puede ver en los planos mostrados en el documento 2 y en las imágenes de referencia mostradas anteriormente, el producto está formado principalmente por una carcasa que contiene en su interior tanto la cadena cinemática como la batería del bastón. Además, para el fácil acceso y montaje del bastón, la cadena cinemática se monta sobre el soporte exteriormente y luego se introduce en la carcasa por abajo, sujetándola con los tornillos TFG-SO-0006. Además, la batería y otros componentes interiores se montan sobre el sistema de raíles en el interior del bastón, diseñado para un acceso más fácil, ya que asegurar todas las piezas en el interior sería difícil debido al espacio reducido. Por esto, la idea detrás de los raíles asegurar todo a ellos con cinta adhesiva de doble cara y luego introducirlos en el interior de la carcasa. Además, las medidas están hechas de tal forma para que, al cerrar el bastón con la tapa, las “bases” queden aseguradas entre la tapa del bastón y los topes presentes en la carcasa del bastón (TFG-CA-0001), consiguiendo que no haya ningún juego o piezas sueltas en el interior del bastón. Además, la carcasa TFG-CA-0001 tiene topes incluidos en su interior para retener tanto estas bases como la propia cadena cinemática, visibles en la sección del ensamblaje general TFG-FI-0001.

En cuanto a la cadena cinemática y sus soportes, es de especial interés mencionar que también está diseñada para minimizar el juego de las piezas, ensamblándose fuera y montándose luego en la carcasa. Por ejemplo, el servo se encaja en su base TFG-SO-0004, asegurándose luego con los tornillos TFG-SO-0007. Además, el sistema de engranajes se monta por su cuenta, antes de introducirlo en su carcasa compuesta por las piezas TFG-SO-0002 Y TFG-SO-0003, que también cuentan con topes diseñados en su interior para retener los engranajes y los rodamientos. Además, todos estos van asegurados a la propia carcasa una vez que se introducen dentro de ella usando los tornillos TFG-SO-0006. Otra pieza que conviene mencionar en especial es la pieza TFG-CC-0012, diseñada para evitar que la carcasa tenga un agujero al aire libre por el que podrían entrar partículas o agua al interior de la carcasa, estropeando el mecanismo. Hay que mencionar que esta pieza está diseñada para ir encajada en el indicador de dirección y va asegurada por los topes en el interior de la carcasa, estando recortada por abajo para permitir que el recorrido completo del indicador de dirección sin chocar con elementos en el interior de la carcasa. Aunque esto no resulta en un invento plenamente impermeable, si que ayuda a mantenerlo seguro frente a elementos exteriores, con la impermeabilidad plena del invento siento un factor a considerar en futuras versiones del

bastón. También cabe destacar la ligereza del sistema del bastón, que pesa 207 gramos en total contando con la batería.

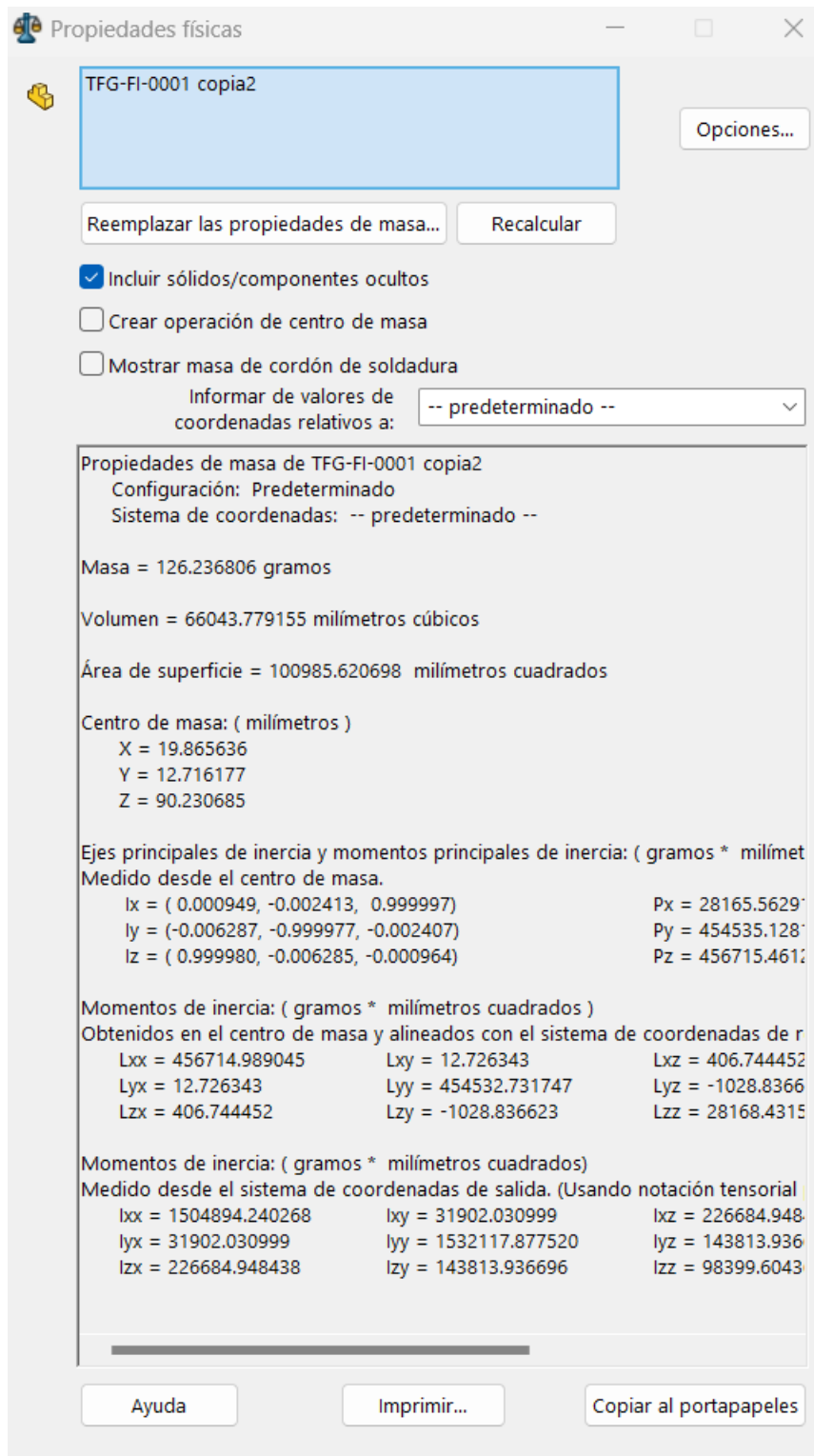


Fig 67. Propiedades físicas del producto final sin incluir la batería. Elaboración propia usando SolidWorks.

### **3.3. Estudios SolidWorks y simulaciones.**

Para concluir este apartado, realizaremos dos simulaciones para ver el efecto de las fuerzas de impacto y de fatiga en el bastón blanco. Para esto, localizaremos los dos componentes críticos más afectados por estos tipos de esfuerzos. Siendo la carcasa la más afectada por las caídas y el eje B2 TFG-CC-0009 el componente más afectado por los esfuerzos de fatiga debido al movimiento constante del indicador de dirección TFG-CC-0011 y la fricción del dedo del usuario, que causa un par de torsión opuesto al movimiento del indicador en el eje.

Para el estudio de impacto, realizaremos un modelo de la carcasa asimilando el peso total del dispositivo y acercando el centro de gravedad al original lo máximo posible, conseguimos esto integrando un bloque representando la batería y haciendo una representación de tanto el servo y los engranajes como de su carcasa. Además después de fijar el peso en las propiedades del material realizamos el mallado de la simulación y escogemos el material de simulación (de este modo se cambian las propiedades de la pieza pero se mantiene el peso total de la pieza), siendo en este caso aluminio 6061 y ABS para ver la viabilidad de un proceso de maquinado CNC y un proceso de fabricación de impresión 3D.

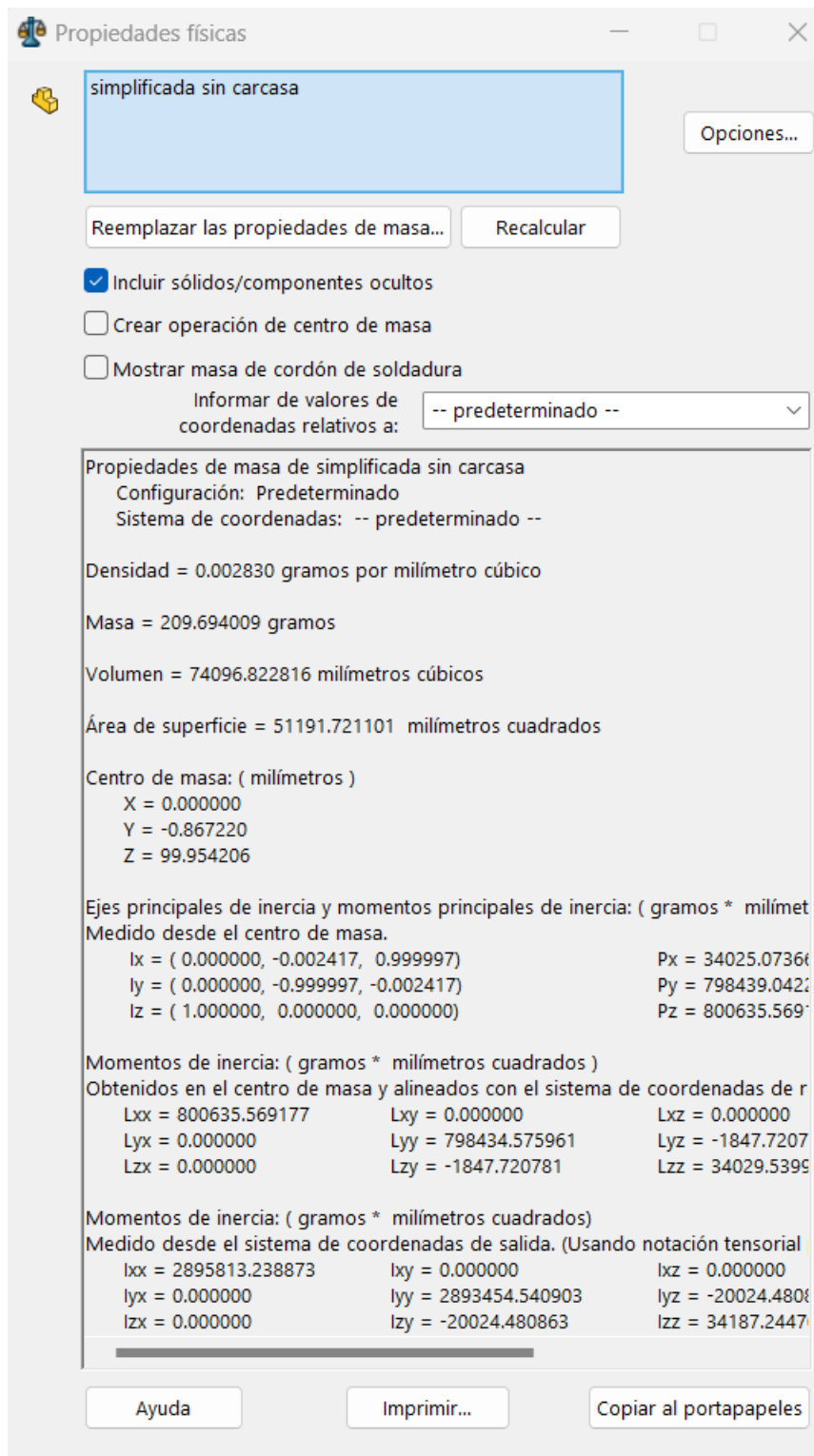


Fig 68. Propiedades físicas de la carcasa para la simulación de impacto (Nota, el centro de masa está en un lugar diferente debido al origen diferente sobre el plano). Elaboración propia usando SolidWorks.

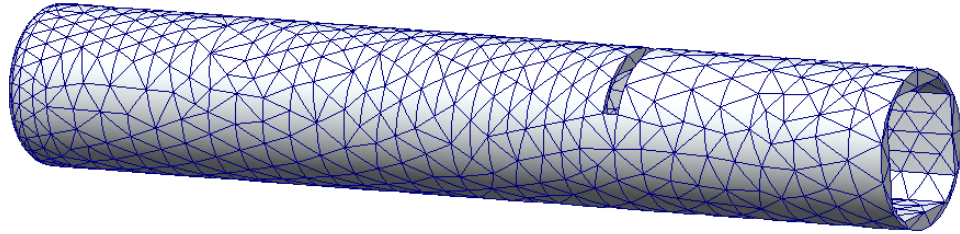


Fig 69. Representación del mallado de la pieza para la simulación de impacto . Elaboración propia usando SolidWorks.

Propiedades Tablas y curvas Apariencia Rayado Personalizado Datos de aplicación

**Propiedades de material**  
 No se pueden editar los materiales en la biblioteca predeterminada. Para editar un material, cópielo primero a una biblioteca personalizada.

Tipo de modelo: **Plasticidad - von Mises**  Guardar tipo de modelo en la biblioteca

Unidades: **SI - N/m<sup>2</sup> (Pa)**

Categoría: **Aleaciones de aluminio**

Nombre: **6061-O (SS)**

Criterio de fallos predeterminado: **Tensión de von Mises máx.**

Descripción:

Origen:

Sostenibilidad: **Definido**

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	6.900000067e+10	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.33	N/D
Límite de tracción	124999998.5	N/m <sup>2</sup>
Límite elástico	62052815.64	N/m <sup>2</sup>
Módulo tangente		N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica	2.4e-05	/K
Densidad de masa	2700	kg/m <sup>3</sup>
Factor de endurecimiento	0.85	N/D

Guardar Config... Aplicar Cerrar Ayuda

Fig 70. Propiedades de la aleación de aluminio 6061 para la simulación de impacto. Elaboración propia usando SolidWorks.

Propiedades Tablas y curvas Apariencia Rayado Personalizado Datos de aplicación

Propiedades de material  
 No se pueden editar los materiales en la biblioteca predeterminada. Para editar un material, cópielo primero a una biblioteca personalizada.

Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal  Guardar tipo de modelo en la biblioteca

Unidades: SI - N/m<sup>2</sup> (Pa)

Categoría: TFG ABS

Nombre: ABS PC

Criterio de fallos predeterminado: Desconocido

Descripción:

Origen:

Sostenibilidad: ABS PC en solidworks materials: Plásticos

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2410000000	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.3897	N/D
Módulo cortante	862200000	N/m <sup>2</sup>
Densidad de masa	1070	kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción	40000000	N/m <sup>2</sup>
Límite de compresión		N/m <sup>2</sup>
Límite elástico	32000000	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica		/K
Conductividad térmica	0.2618	W/(m·K)
Calor específico	1900	J/(kg·K)

Fig 71. Propiedades de la aleación del ABS para la simulación de impacto. Elaboración propia usando SolidWorks.

Además, impondremos las mismas condiciones para las dos simulaciones, una caída desde una altura de 1 metro (altura común desde la que se sujeta el bastón) sobre una superficie rígida sin amortiguación y con la gravedad estándar de 9.81 m/s.

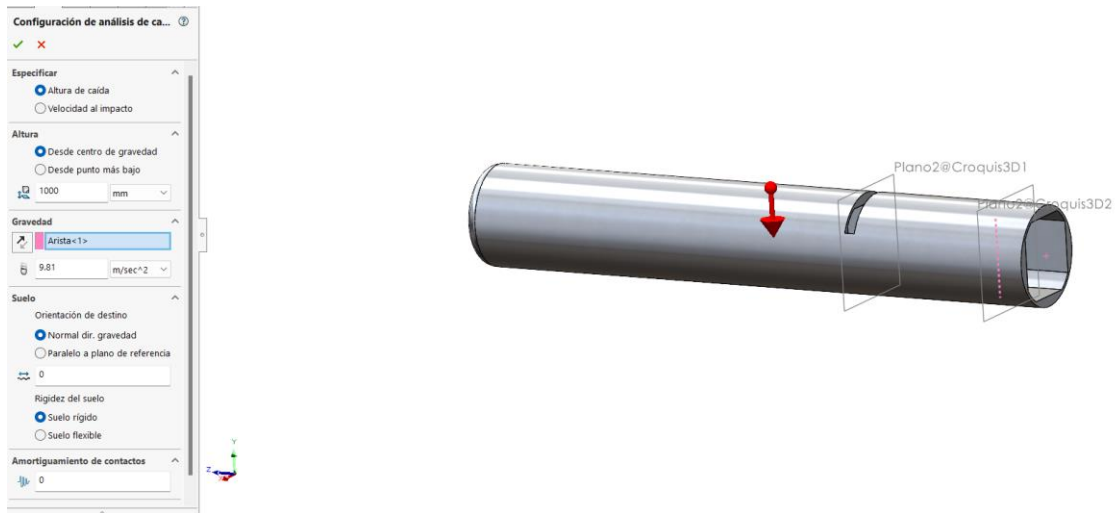


Fig 72. Condiciones de la simulación de impacto. Elaboración propia usando SolidWorks.

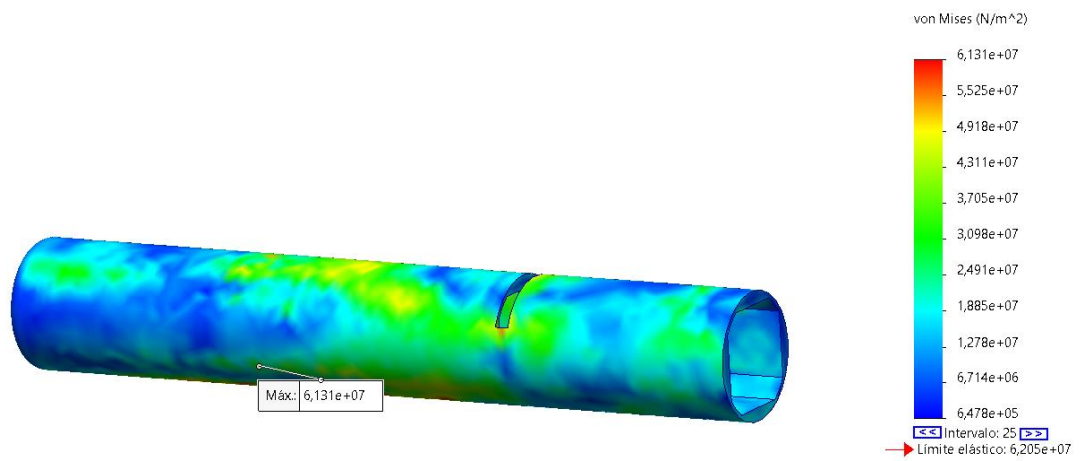


Fig 73. Resultados de la simulación de impacto usando la aleación de aluminio 6061. Elaboración propia usando SolidWorks.

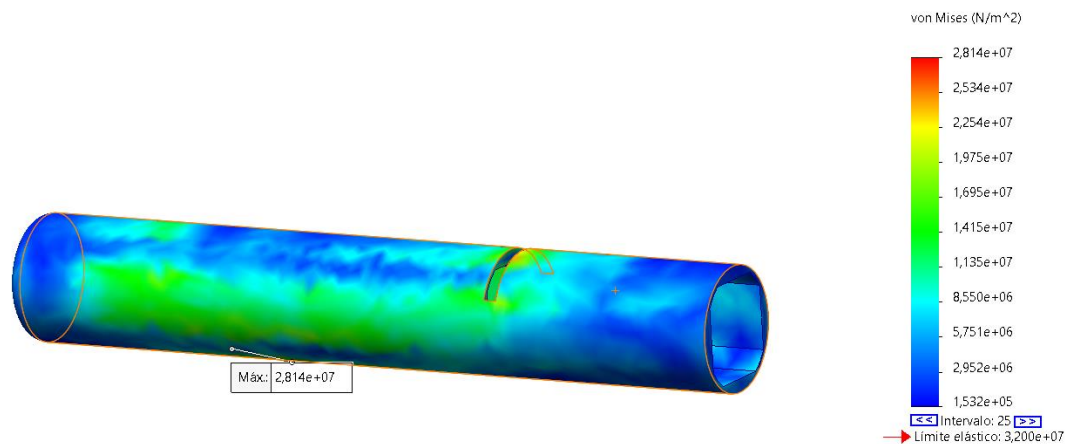


Fig 74. Resultados de la simulación de impacto usando ABS. Elaboración propia usando SolidWorks.

Como podemos ver, la máxima tensión de von Mises se da en el mismo sitio en las dos simulaciones, debajo de la batería debido a que esta supone un peso muy grande en comparación con el peso general de la carcasa, y crea tensiones en la carcasa. Sin embargo, como podemos ver, en ninguno de los casos se supera el límite elástico, que justifica la elección de cualquiera de los dos materiales. Sin embargo, como veremos en la evaluación económica, resulta mucho más económico fabricar la pieza usando técnicas de impresión 3D, por lo que nos decantaremos por la carcasa fabricada en polímero ABS.

Para el estudio de fatiga haremos unos cálculos rápidos para ver la fuerza de torsión a la que es sometida el eje B2, que como veremos a continuación, trabaja bajo condiciones que significan que la selección del material de fabricación del eje BS estén muy restringidas. Además, tendremos en cuenta que la torsión de salida en el eje B2 es de 1.117 Nm y que el coeficiente de fricción de la piel con el indicador de dirección TFG-CC-0011 es de 0.59<sup>31</sup>. Para el funcionamiento de este dispositivo, asumimos el pulgar del usuario descansará sobre el indicador de dirección pero no lo presionará. Para calcular la fuerza que supondría esto, pesamos el pulgar de varias personas, resultando una media de 0.07 kg, sin embargo, para dar un poco de margen, simularemos que el pulgar ejerce una fuerza normal de 1N, significando que la fuerza de resistencia debido a la fricción del dedo con la cara superior del indicador de dirección es de 0.59N.

<sup>31</sup> Zhang, M., & Mak, A. F. T. (1999). In vivo friction properties of human skin. *Prosthetics and Orthotics International*

Para realizar la simulación, haremos un ensamblaje del eje B2 con el indicador de dirección, para poder aplicar las fuerzas de reacción en el extremo de este. En primer lugar, deberemos realizar el mallado, aplicando el material adecuado y las condiciones de contorno adecuadas, resultando en la siguiente pieza:

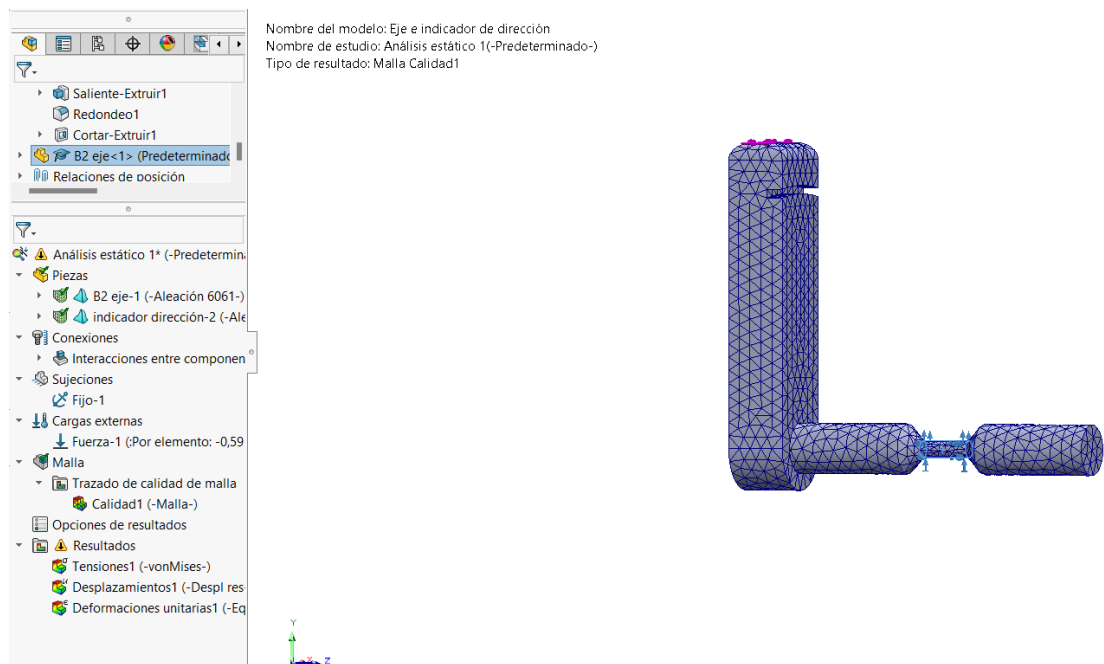


Fig 75. Condiciones de contorno y mallado para el análisis de fatiga. Elaboración propia usando SolidWorks.

Además, realizaremos dos estudios estáticos (necesarios como una base para el estudio de fatiga) con los dos materiales mencionados anteriormente, Aluminio Al 6061 y plástico ABS usado para la impresión 3D, enseñando los resultados a continuación.

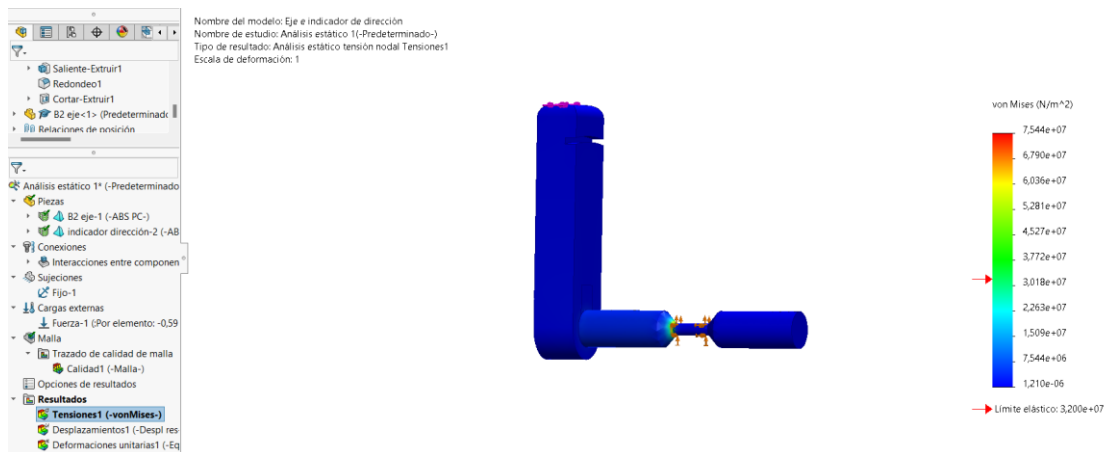


Fig 76. Resultados del análisis estático para la pieza fabricada en ABS. Elaboración propia usando SolidWorks.

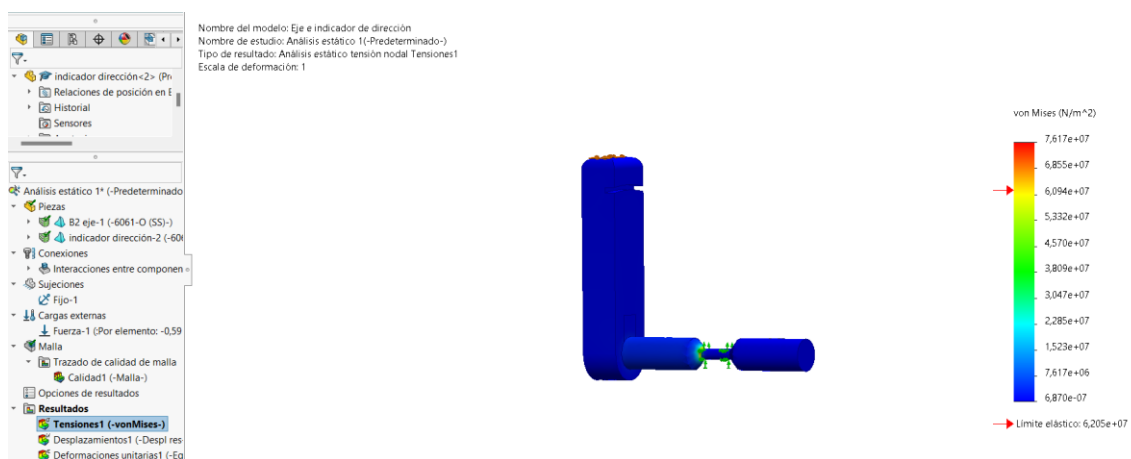


Fig 77. Resultados del análisis estático para la pieza fabricada en Al 6061. Elaboración propia usando SolidWorks.

Como podemos ver, usando el plástico ABS se supera con creces el límite elástico en el ensayo estático debido a las condiciones en las que trabaja el eje B2, significando que para el diseño de este eje debamos utilizar materiales más resistentes como el aluminio Al 6061, diseño sobre el cual aplicaremos el estudio de fatiga que mostraremos a continuación.

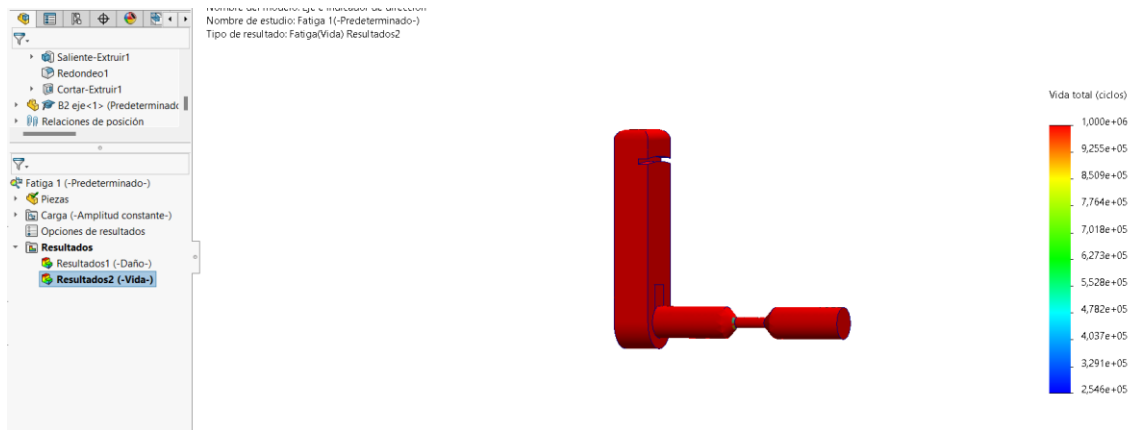


Fig 78. Resultados del análisis de fatiga para la pieza fabricada en Al 6061. Elaboración propia usando SolidWorks.

Como podemos observar, el eje B2 aguantaría 254600 ciclos de movimiento antes de romperse, más que suficiente para aguantar el funcionamiento normal del bastón. Significando que deberemos fabricar los ejes en Al 6061 o materiales más resistentes si queremos garantizar el funcionamiento correcto del bastón.

En conclusión, en este apartado, se expande sobre la construcción y el diseño del sistema, no solo centrándose en la carcasa en sí pero además examinando el diseño de los sistemas complementarios necesarios para su funcionamiento como el arnés de sujeción del teléfono móvil o sistema de procesamiento de imágenes. Sin embargo, queda examinar el coste de todo el sistema y en el caso de la carcasa, justificar la elección del material, ya que como hemos podido comprobar, se podría utilizar tanto el plástico de impresión 3D ABS como el Aluminio Al 6061, que haremos en el siguiente capítulo en base de las cuestiones económicas.

## Capítulo 4. Evaluación económica.

En este breve capítulo, examinaremos el aspecto económico del proyecto, realizando una estimación del coste de producción y los factores que pueden significar un cambio en el precio del producto, además de usar este análisis económico para realizar la justificación para la elección de los materiales utilizados para la construcción de la carcasa.

En primer lugar, podemos ver fácilmente el precio de los accesorios externos, es decir, aquellos que compramos para completar el producto. Estos son, el arnés y porta teléfonos, la base del bastón blanco y algunos elementos de la cadena cinemática como la batería y el servomotor.

El precio del arnés y el porta teléfonos es de 30.4 euros en total, como ya hemos mencionado anteriormente, siendo el precio del arnés de 13.86 euros<sup>32</sup> y 16.54 el del porta teléfonos<sup>33</sup>). Además, encontramos que el precio de un bastón blanco plegable de calidad es de aproximadamente 23 euros. También podemos sacar el precio de tanto la batería como del servomotor de las páginas web de los fabricantes, siendo el precio de la batería de 24 euros<sup>34</sup> y el del servo motor de 15,40 euros<sup>35</sup>. Esto significa que, en total, el precio de los accesorios a comprar sería de 92.8 si solo compramos una sola unidad de cada producto. Esto significaría que al comprar más unidades obtendríamos un descuento importante debido a economías de escala, sin embargo, tomaremos los valores anteriores de referencia como el máximo valor que podría costar.

En cuanto al precio de fabricación de la propia carcasa y las otras piezas, esto depende en gran medida del material utilizado, y es por esta razón por la que en los casos en los que sea posible, escogeremos fabricar piezas en ABS usando impresión 3D, una alternativa mucho más económica que el mecanizado de grandes piezas, razón por la que fabricaremos la carcasa usando el polímero ABS. Para ver la diferencia de precio

---

<sup>32</sup> [Soporte de Clip para teléfono fijo en el pecho, correa de fijación portátil para estante de teléfono móvil para MB-03 | Walmart en línea](#)

<sup>33</sup> [\[Con video\] \[N.º artículo: MB-03\] \[Vendido en combinación con 991993\] Tablero navegación plegable soporte molle soporte universal para tipo chaleco soporte para \(color barro\) | Walmart en línea](#)

<sup>34</sup> [2 piezas 7,4 V 1200mAh recargable Lipo batería para RC drone coches aviones helicópteros barcos robot de juguete actualización quadcopter FPV Racing \(aliexpress.com\)](#)

<sup>35</sup> [HS-40 Economical, Nano Servo for Indoor Models - WEEKENDER WAREHOUSE](#)

examinaremos en primer lugar el coste de fabricación usando Al 6061. En primer lugar, supongamos que, en vez de encargar las piezas, las fabricaremos usando maquinaria alquilada o comprada. Para cada bastón utilizamos una barra de 200 mm de longitud y 35 mm de diámetro para fabricar la carcasa, extrayendo el núcleo para aprovechar y fabricar el resto de las piezas del interior de esta. En este caso, podríamos conseguir una barra de 35mm de diámetro y de 1 metro de longitud por 56.9 euros<sup>36</sup>, significando que el coste del material de fabricación sería de 11.38 euros por cada barra. En total, esto significaría que el precio de los materiales y todos los componentes sería de 111.38 euros sin contar con el precio de fabricación, que no podemos estimar ya que depende en gran medida de si se hace una inversión inicial para comprar una máquina CNC o si se alquila una máquina para la fabricación, una solución a corto plazo pero que podría ser menos rentable económicamente si se produce una gran cantidad de piezas. Sin embargo, hay que considerar que, para la fabricación en masa de este producto, se requeriría la compra de una máquina de CNC que, consultando la página web del fabricante HASS, se puede conseguir a partir de los 31895 euros<sup>37</sup>, una inversión considerable. Sin embargo, si se pretende fabricar este producto en grandes cantidades, es necesario tener en cuenta el elevado precio medio estimado de alquilar una máquina CNC de aproximadamente 150 euros por hora, significando que con 213 horas de uso de la máquina fresadora se amortizaría esta alta inversión inicial.

Sin embargo, con el uso de la impresión 3D el coste total del producto sería reducido significativamente. Esto se debe tanto al coste del filamento que se puede conseguir a precios extremadamente económicos si se compran a gran escala (desde 0.98 euros por metro de filamento<sup>38</sup>) hasta el coste de las impresoras 3D industriales, que se pueden conseguir por hasta 4599\$<sup>39</sup>.

Es por esto que para la fabricación de la carcasa y demás elementos recomendaría la compra de una impresora 3D que permita la fabricación de piezas en grandes partidas. Sin embargo, para piezas más especializadas que requieran su fabricación en metal como

---

<sup>36</sup> [EN AW-6060 - Redondo 35 x 1.000 mm - RA - redondo - 1000 mm - EN AW-6060 - Aluminio - Abrams Aceros Premium \(premium-steel.eu\)](#)

<sup>37</sup> [Mini Mill – EDU | Fresadora con cono ISO 40 | Fresadoras verticales \(haascnc.com\)](#)

<sup>38</sup> [Pla Pro 3d Printer Filament Black - 1.75mm Petg Abs Tpu 1 Kg 3d Printing Consumables Material - Buy 3d Printing Filament Materials,Pla Abs Petg Filament,Pla Filament 3d Product on Alibaba.com](#)

<sup>39</sup> [Best Industrial-Grade 3D Printer - Pro3 | \\$5,599 | Raise3D](#)

hemos visto con el eje B2, sería interesante examinar también la posibilidad de encargar las piezas al por mayor, usando servicios como los de Xometry<sup>40</sup> o servicios de fabricación por demanda similares. Con estos servicios, se pueden conseguir piezas de distintas características con importantes descuentos por economías de escala, consiguiendo piezas de tamaño más grande pero poca complejidad como los ejes por tan solo 0.8\$ la unidad y piezas de mayor complejidad como engranajes por 1\$. De esta forma, podríamos conseguir fabricar los engranajes y componentes críticos de la cadena cinemática por alrededor de 15\$ por unidad.

Dashboard / Quotes / Q85-8003-4656  
Quote Q85-8003-4656

ITAR/EAR Controlled Handling

+ Add Certifications Download Share

1 Part Uploaded Collapse All

1 B2 eje.SLDPRT v0

Repeat Part

Quantity 4500

Measurement: 22.50 mm × 5.00 mm × 3.00 mm, 144.67 mm<sup>3</sup> | 0.886 in × 0.197 in × 0.118 in, 0.009 in<sup>3</sup>

Process: CNC Machining

Material: Aluminum 6061-T6

Finish: Standard

Threads and Tapped Holes: 0

Inserts: 0

Precision Tolerance: +/- .005" (+/- 0.13mm)

Precision Surface Roughness: Smallest Roughness: 125µin/3.2µm Ra

Inspection: Standard Inspection

Expedite   Made in USA	\$3.33 ea.
26 business days	<b>\$14,985.00</b>
	<del>\$15,185.00</del> (Save \$200.00)

Standard   Made in USA	\$1.90 ea.
49 business days	<b>\$8,550.00</b>
	<del>\$8,750.00</del> (Save \$200.00)

Economy   Made in USA	\$1.57 ea.
75 business days	<b>\$7,065.00</b>
	<del>\$7,225.00</del> (Save \$160.00)

Economy   Made Internationally	\$0.80 ea.
57 business days	<b>\$3,600.00</b>
	<del>\$3,700.00</del> (Save \$100.00)

Eligible for free standard shipping

Recent Activity Log

discount and free shipping.

Order within the next 11 hours, 25 minutes (11:59PM ET) to ship by October 27. Different shipping options are available at Checkout.

Subtotal **\$8,550.00**

Continue to Checkout

Forward to Purchaser

GO GREEN INITIATIVE Offset Carbon Emissions

Xometry offsets all CO2e generated from shipping your order. You can counteract the rest of your order's manufacturing carbon footprint by investing in carbon offsetting initiatives and renewable energy projects.

588 kilograms of CO2e

The estimated amount of emissions that will be generated from manufacturing these parts.

Fig 79. Captura de pantalla mostrando el presupuesto para la fabricación del eje B2. [Where Big Ideas Are Built | Production Parts and Prototypes | Xometry](#)

<sup>40</sup> [Where Big Ideas Are Built | Production Parts and Prototypes | Xometry](#)


Dashboard / Quotes / Q75-0710-4529

Quote Q75-0710-4529

ITAR/EAR Controlled Handling

+ Add Certifications Download Share

1 Part Uploaded Collapse All Recent Activity Log

1  Good Metric - Internal spur gear 1.5EXT 0.4M 30T 20PA 3FW --- S30S15OD 1AF.SLDPRT

Repeat Part

Quantity 4500

Measurement: 15.00mm x 15.00mm x 3.00mm, 183.55mm<sup>3</sup> | 0.591in x 0.591in x 0.118in, 0.011in<sup>3</sup>

Process: CNC Machining

Material: Aluminum 6061-T6

Finish: Standard

Threads and Tapped Holes: 0

Inserts: 0

Precision Tolerance: +/- .005" (+/- 0.13mm)

Precision Surface Roughness: Smallest Roughness: 125uIn/3.2um Ra

Inspection: Standard Inspection

Expedite   Made in USA	\$4.17 ea.
20 business days	<b>\$18,765.00</b>
	<del>\$18,965.00</del> (Save \$200.00)
Standard   Made in USA	\$2.30 ea.
37 business days	<b>\$10,350.00</b>
	<del>\$10,550.00</del> (Save \$200.00)
Economy   Made in USA	\$1.92 ea.
57 business days	<b>\$8,640.00</b>
	<del>\$8,800.00</del> (Save \$160.00)
Economy   Made Internationally	\$1.01 ea.
44 business days	<b>\$4,545.00</b>
	<del>\$4,645.00</del> (Save \$100.00)

Eligible for free standard shipping

Lead Time

Made in USA

- Expedite - 20 Business Days \$18,765.00
- Standard - 37 Business Days \$10,350.00**
- Economy - 57 Business Days \$8,640.00

Made Internationally

- Economy - 44 Business Days \$4,545.00

Learn More

Apply Promo +

Welcome to Xometry! This order includes a discount and free shipping.

Order within the next 10 hours, 35 minutes (11:59PM ET) to ship by October 9. Different shipping options are available at Checkout.

Subtotal **\$10,350.00**

Continue to Checkout

Fig 80. Captura de pantalla mostrando el presupuesto para la fabricación de la corona del engranaje planetario. [Where Big Ideas Are Built | Production Parts and Prototypes | Xometry](#)

Sin embargo, el precio por unidad para encargar piezas de impresión 3D es bastante más elevado para piezas más voluminosas como la carcasa del bastón que cuestan hasta 17.2\$ la unidad y alrededor de 4\$ por el resto de piezas de soporte. Es decir, contando con todas las piezas que habría que imprimir por cada bastón saldría a alrededor de 40\$ por cada bastón.


Tomando el precio de referencia de una impresora 3D industrial de 4599\$ bastaría con tan solo la producción de 115 conjuntos de piezas impresas en 3D (siendo un conjunto las piezas necesarias para la construcción de un bastón) para amortizar el coste de la impresora.

Dashboard / Quotes / Q42-6967-5890

## Quote Q42-6967-5890

1 Part Uploaded  Collapse All

1



**Carcasa bastón v2.SLDPRT** v0

[Configure Part](#) [Revise CAD](#) [+ Upload Drawings](#) [Remove](#)

Repeat Part ⓘ

Quantity

^

**Measurement:** 200.00 mm × 33.00 mm × 33.00 mm,  
26962.40 mm<sup>3</sup> | 7.874 in × 1.299 in × 1.299 in, 1.645 in<sup>3</sup>

**Process:** 3D Printing

**Technology:** Selective Laser Sintering (SLS)

**Material:** Nylon 12, Color: As Printed, Off White (Natural)

**Finish:** Standard

**Threads and Tapped Holes:** None

**Inserts:** None

**Inspection:** Standard Inspection

<b>Expedite</b>   Made in USA	\$35.80 ea.
🕒 16 business days	<b>\$132,460.00</b>
	<del>\$162,857.63</del> (Save \$30,397.63)

<b>Standard</b>   Made in USA	\$21.81 ea.
🕒 32 business days	<b>\$80,697.00</b>
	<del>\$99,212.79</del> (Save \$18,515.79)

<b>Economy</b>   Made in USA	\$17.20 ea.
🕒 35 business days	<b>\$63,640.00</b>
	<del>\$78,243.49</del> (Save \$14,603.49)

Eligible for free standard shipping

Fig 81. Captura de pantalla mostrando el presupuesto para la fabricación de la carcasa del bastón. [Where Big Ideas Are Built | Production Parts and Prototypes | Xometry](#)

Es por esta razón que para la producción a gran escala se sugiere la compra de una impresora 3D que permita la fabricación de piezas simultáneamente para acelerar el proceso de producción, pero sin embargo, se encarguen los componentes internos de la cadena cinemática como ejes y engranajes debido al bajo coste de encargar estas piezas.

Teniendo todo esto en cuenta, podemos afirmar que la fabricación del bastón sería relativamente económica, sobre todo teniendo en cuenta las economías de escala que desconocemos con las baterías y soportes para el móvil, cuyo precio se vería muy reducido también.

## Capítulo 5. Prueba de concepto de detección de obstáculos.

Para un entendimiento más completo del proyecto, consideramos oportuno redactar un pequeño apartado reflejando la viabilidad del uso de un sistema de fotogrametría para detectar obstáculos, uno de los principales usos del proyecto. Por esto, a pesar de no ser parte de las características mecánicas del proyecto, realizaremos un pequeño estudio del software que se puede utilizar para detectar obstáculos, separando obstáculos del fondo de las imágenes captadas usando machine learning como hemos descrito anteriormente en el estado de la cuestión. Más en concreto, realizaremos un estudio de dos enfoques distintos, uno siendo el uso de modelos más pesados computacionalmente que pueden obtener una mayor definición con menos fotogramas por segundo, y el segundo enfoque siendo el de usar modelos más ligeros que permitan obtener más fotogramas por segundo.

Para el funcionamiento correcto del programa deberemos instalar primero todos los módulos, siguiendo unos pasos que detallaremos a continuación. También cabe destacar que todos los programas mencionados a continuación son de ciencia abierta con una licencia de tipo MIT.

En primer lugar, deberemos instalar la versión más reciente de Python a través de la página web oficial ([Download Python | Python.org](https://www.python.org/downloads/)), siendo esta la versión 3.12.3 en el momento de realizar el proyecto. (Hay que tener cuidado de descargar la versión de la página oficial y no de la tienda de Microsoft, ya que esta restringe el uso de módulos como OpenCV, impidiendo el correcto funcionamiento del programa). Además, para permitir el funcionamiento de estos módulos, deberemos seleccionar la opción de añadir Python a las variables de entorno PATH. Esto es un paso que también deberemos realizar para las herramientas que instalaremos a continuación, permitiéndonos acceder a ellas desde el símbolo del sistema para descargar las librerías necesarias además de facilitar el acceso a estas herramientas, que podremos usar desde cualquier directorio sin tener que especificar la ruta completa. Para añadir un archivo a las variables de entorno del sistema en windows se deberán seguir los siguientes pasos:

- 1) En configuración, seleccionar la función para “Editar las variables de entorno del sistema”
- 2) En la pestaña de “Opciones avanzadas”, hacer click en el botón de “Variables de entorno...”
- 3) En el menú de variables del sistema, seleccionar la variable Path y hacer click en el botón de editar.
- 4) En la pestaña de “Editar variable de entorno”, seleccionar el botón de nuevo e introducir la dirección del archivo.

El segundo paso a tomar debe ser instalar las librerías y herramientas requeridas para que funcione el programa, Git, wget, pip y pynput, cuyo uso y procedimiento se explicará en más detalle a continuación:

En primer lugar, encontramos Git, que está diseñado para descargar repositorios de internet, usándola en este caso para descargar los archivos de MiDaS en GitHub ([GitHub - isl-org/MiDaS: Code for robust monocular depth estimation described in "Ranftl et. al., Towards Robust Monocular Depth Estimation: Mixing Datasets for Zero-shot Cross-dataset Transfer, TPAMI 2022"](https://github.com/isl-org/MiDaS)). Para descargar Git, debemos descargar el archivo desde la página web oficial ([Git - Downloads \(git-scm.com\)](https://git-scm.com)), asegurándonos de añadir el archivo descargado a las variables de entorno del sistema.

El procedimiento para descargar wget es muy parecido, descargando la aplicación de la página oficial ([Wget - GNU Project - Free Software Foundation](https://www.gnu.org/software/wget/)) y siguiendo las instrucciones mencionadas anteriormente para añadir la aplicación wget.exe a las variables de entorno del sistema. Esta es una herramienta usada para descargar modelos o librerías de internet, usada en este caso específico para descargar los modelos de detección de imágenes de Intel.

Para descargar pip (el instalador de paquetes para Python usado para instalar los paquetes requeridos por el programa como pynput o torch) deberemos descargar el archivo de la página oficial ([bootstrap.pypa.io/get-pip.py](https://bootstrap.pypa.io/get-pip.py)). Una vez guardado en nuestro ordenador, usando el símbolo del sistema para descargar el instalador a partir del archivo usando Python. El código usado sería como el que se muestra a continuación:

*-cd (Para acceder a la ubicación del archivo descargado, Downloads por ejemplo si el archivo ha sido guardado en descargas.)*

*-python get-pip.py*

*-pip --version (para comprobar la version instalada)*

Una vez instalado pip, podremos usar este instalador para instalar el resto de los paquetes necesarios para el funcionamiento usando los siguientes comandos en el símbolo del sistema:

`pip install pynput` (Permite a Python acceder a dispositivos externos, en este caso a la cámara del ordenador, utilizada para obtener las imágenes a analizar.)

`pip install opencv-python` (Para procesar imágenes y tomar los fotogramas de la transmisión de la cámara)

`pip install torch torchvision torchaudio` (Necesario para programas que usen machine learning o Deep learning para interpretar imágenes de video)

`pip install timm` (Que habilita el acceso del programa a modelos de interpretación de video e integra estos modelos en PyTorch para procesar imágenes, o reconocer características que ayudan al programa a separar objetos de su fondo.)

Una vez instalados todos los componentes necesarios, deberemos ver cuales son los modelos disponibles, para seleccionar el modelo más relevante para las aplicaciones en tiempo real, es decir, aquel que ofrezca un mayor número de fotogramas por segundo. Para esto, ejecutaremos el siguiente código:

```
import cv2
import torch
import time
import numpy as np

available_models = torch.hub.list("intel-isl/MiDaS")
print(available_models)
```

Este código devolverá los siguientes modelos que se podrán utilizar:

```
['DPTDepthModel', 'DPT_BEiT_B_384', 'DPT_BEiT_L_384', 'DPT_BEiT_L_512',  
'DPT_Hybrid', 'DPT_Large', 'DPT_LeViT_224', 'DPT_Next_ViT_L_384',  
'DPT_SwinV2_B_384', 'DPT_SwinV2_L_384', 'DPT_SwinV2_T_256',  
'DPT_Swin_L_384', 'MiDaS', 'MiDaS_small', 'MidasNet', 'MidasNet_small',  
'transforms']
```

Para saber cual es el más indicado en nuestro caso, examinaremos el gráfico disponible en la página de GitHub del software MiDaS, viendo cual es el que da mayor rendimiento, que en este caso sería el v2.1 Small 256.

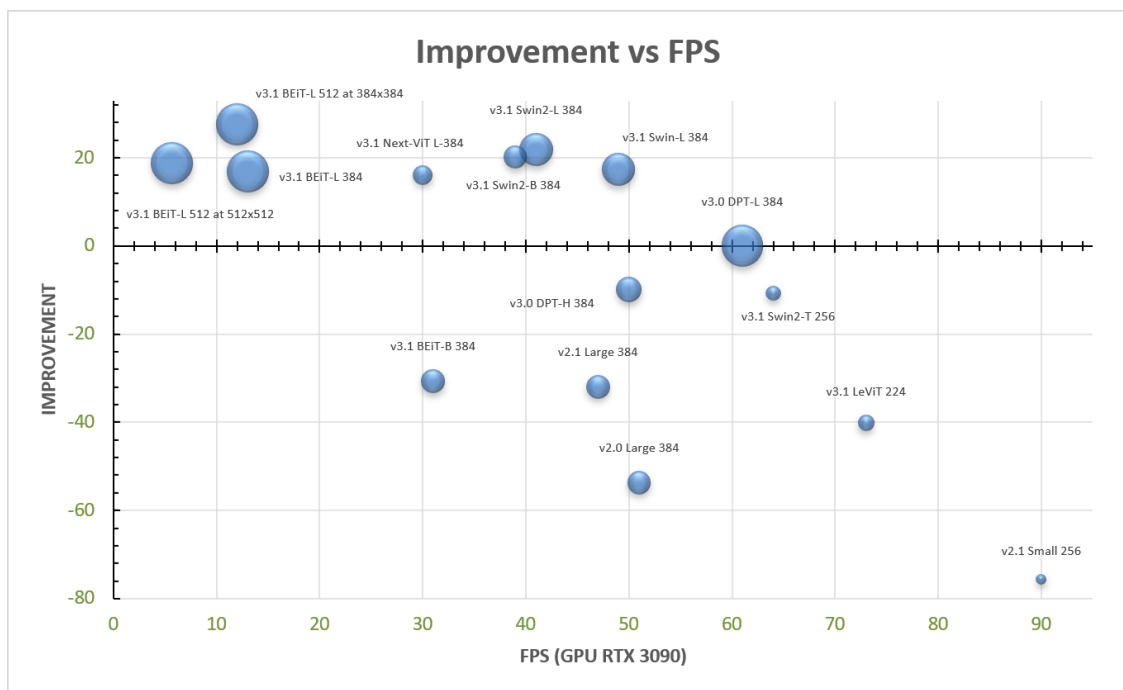


Fig 82. Gráfico enseñando los distintos modelos de análisis de imágenes comparando fotogramas por segundo contra rendimiento de los modelos en su plataforma de ensayo. (<https://github.com/isl-org/MiDaS>, 2019)

Una vez escogido el modelo a analizar, ejecutaremos el código obtenido del repositorio para realizar un ensayo y ver si es capaz de detectar objetos con precisión. Como este modelo tiene que ser capaz de localizar objetos en un entorno urbano que se mueve con velocidad, veremos si es capaz de localizar una pelota siendo lanzada, ya que, de esta

forma, podremos poner al límite las capacidades del modelo, viendo su capacidad para detectar objetos rápidos a distintas distancias.

En primer lugar, mostraremos el código que se ejecutará, obtenido del repositorio de GitHub de [niconielsen32](#):

```
import cv2
import torch
import time
import numpy as np

# Load a MiDaS model for depth estimation
model_type = "MiDaS_small" # "DPT_Large" # or "DPT_Hybrid" or
"MiDaS_small"
midas = torch.hub.load("intel-isl/MiDaS", model_type)
device = torch.device("cuda" if torch.cuda.is_available() else "cpu")
midas.to(device).eval()

# Load transforms
midas_transforms = torch.hub.load("intel-isl/MiDaS", "transforms")
transform = midas_transforms.dpt_transform if "DPT" in model_type else
midas_transforms.small_transform

# Open video capture from webcam
cap = cv2.VideoCapture(0)

if not cap.isOpened():
    print("Failed to open webcam.")
    exit()

while cap.isOpened():
    success, img = cap.read()

    if not success:
        print("Failed to read frame from webcam.")
        break

    start = time.time()

    img = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2RGB)

    # Apply input transforms
    input_batch = transform(img).to(device)

    # Prediction and resize to original resolution
    with torch.no_grad():
        prediction = midas(input_batch)
        prediction = torch.nn.functional.interpolate(
            prediction.unsqueeze(1),
            size=img.shape[:2],
```

```

        mode="bicubic",
        align_corners=False,
    ).squeeze()

    depth_map = prediction.cpu().numpy()
    depth_map = cv2.normalize(depth_map, None, 0, 1,
norm_type=cv2.NORM_MINMAX, dtype=cv2.CV_64F)

    end = time.time()
    fps = 1 / (end - start)

    img = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_RGB2BGR)

    depth_map = (depth_map * 255).astype(np.uint8)
    depth_map = cv2.applyColorMap(depth_map, cv2.COLORMAP_MAGMA)

    cv2.putText(img, f'FPS: {int(fps)}', (20, 70),
cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 1.5, (0, 255, 0), 2)
    cv2.imshow('Image', img)
    cv2.imshow('Depth Map', depth_map)

    if cv2.waitKey(5) & 0xFF == 27:
        break

cap.release()
cv2.destroyAllWindows()

```

Cabe destacar que hay que cambiar el valor de la siguiente línea de código “cap = cv2.VideoCapture(0)” dependiendo de la webcam que use el ordenador, siendo este valor un 0 en este caso (al estar integrada en el sistema sin ser una webcam externa)

Al ejecutar el código, veremos dos pantallas, una que muestra el video sin procesar obtenido directamente de la cámara y otra que muestra las imágenes procesadas en tiempo real.

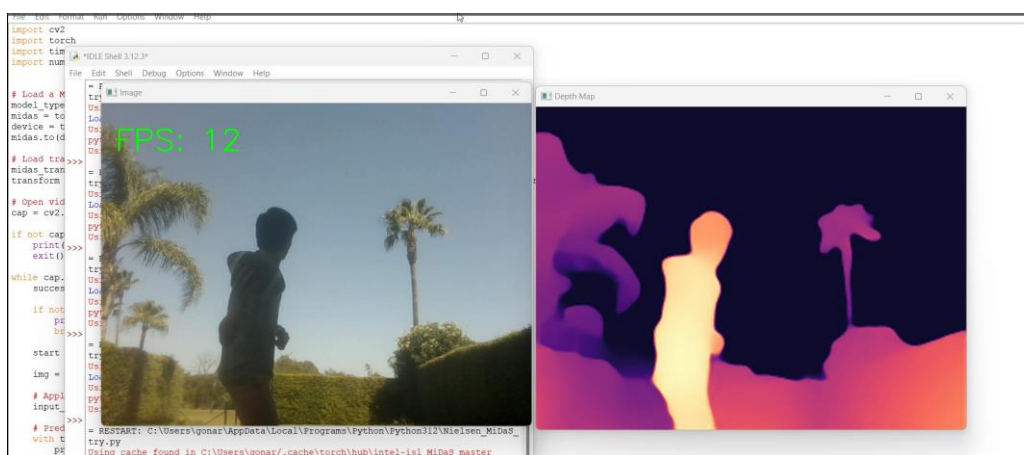


Fig 83. Imagen mostrando la salida del programa con un movimiento lento (preparación del lanzamiento). Elaboración propia usando el programa de Estimación de profundidad desarrollado por Nicolas Nielsen usando la librería MiDaS.

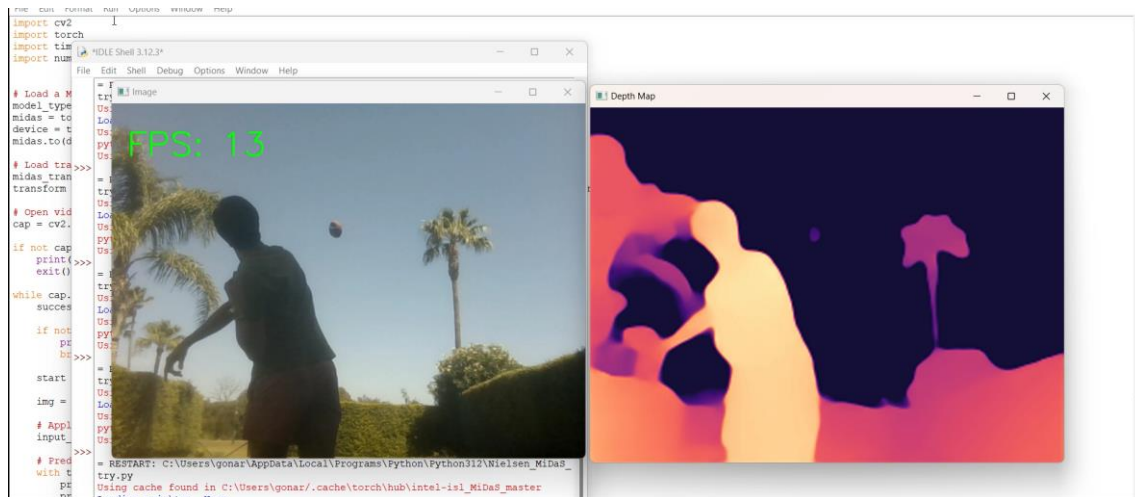


Fig 84. Imagen mostrando la salida del programa con un movimiento rápido (balón en movimiento). Elaboración propia usando el programa de Estimación de profundidad desarrollado por Nicolas Nielsen usando la librería MiDaS.

Como podemos ver, hasta el modelo más sencillo es capaz de detectar objetos pequeños moviéndose rápido, aunque con un pequeño error en la detección de la profundidad de campo, mostrando el balón más lejos de lo que está en realidad. Sin embargo, se puede ver como este modelo detecta la profundidad de campo de manera muy precisa en imágenes con movimiento a menor velocidad, incluso detectando la diferencia en profundidad de campo entre la cabeza y los hombros en la figura 29.

Con este pequeño análisis, queda demostrada la posibilidad de usar estos sistemas para la detección de obstáculos, ya que, como se puede ver, estos sistemas son capaces de detectar objetos pequeños moviéndose a una velocidad elevada, un caso extremo que muestra la habilidad del modelo para interpretar imágenes en situaciones urbanas, solo necesitando la calibración del sistema para poder convertir la escala de colores en números concretos. Además, cabe mencionar que con la revolución del cloud computing, se podrán usar modelos mucho más potentes para aplicaciones en tiempo real, sin necesidad de procesadores complejos, haciendo que esto sea una posibilidad todavía más factible con el desarrollo a futuro.

## Capítulo 6. Desarrollo a futuro.

### 6.1. Innovaciones tecnológicas.

Predecir tendencias y desarrollos tecnológicos a largo plazo siempre es difícil, pero podemos hacernos una idea de la dirección de desarrollo de una tecnología en específico observando con detenimiento los enfoques actuales en el desarrollo tecnológico, viendo sus posibles aplicaciones a nuestro proyecto. Es por esto que en este capítulo examinaremos tanto las tecnologías que nos ayudarán en el futuro a conseguir una mayor comodidad y seguridad para el usuario.

Como vimos en el estado de la cuestión, el desarrollo de las invenciones recientes en el área se centran en incluir “wearables” para mejorar la experiencia del usuario, ya sea a través de muñequeras con sistemas de retroalimentación hápticos o sensores y plataformas de procesamiento incluidas en chalecos como en nuestro caso. Se puede ver fácilmente como la eficiencia de estos sistemas depende de la velocidad de interconexión de estos sistemas, ya que, actualmente, uno de los mayores factores limitantes de la habilidad de procesamiento de datos es la cantidad de información que se puede transmitir de un dispositivo a otro. Aspecto que se verá revolucionado con la introducción de la tecnología 5G. Según la compañía de telecomunicaciones Ericsson, se estima que más de 5 billones de personas estarán conectadas a redes 5G y que el 85% de la población mundial tendrá acceso a ellas<sup>41</sup>.

Una de las principales características del 5G es el uso de frecuencias de radio mucho más altas y menos ocupadas para enviar información, por lo que pueden transportar información a una velocidad, mucho mayor. Con la latencia extremadamente baja de las redes 5G, los tiempos de respuesta serán extremadamente bajos, y ayudará con la transmisión en tiempo real de datos como la detección de obstáculos y la navegación GPS. Además, las redes 5G son ideales para el entorno de funcionamiento del dispositivo, que será utilizado mayoritariamente en entornos urbanos, esto es debido a la conectividad mejorada en zonas de alta densidad de población, pudiendo soportar

---

<sup>41</sup> <https://think.ing.com/articles/more-people-will-benefit-from-5g-connection-in-2024-but-speed-improvements-vary/>

hasta 1000 dispositivos más por metro que las redes 4G<sup>42</sup>, asegurando que se pueda mantener una conexión más estable y con menos interrupciones, asegurando que el dispositivo funcione en todo momento, un aspecto crucial cuando se trata de sistemas de seguridad que no se pueden permitir fallar cuando están en uso.

Otro de los aspectos de mejora que traerán las redes 5G y que comentaremos en más detalle posteriormente es la capacidad de soporte de procesamiento en la nube, también conocido como Edge computing. Esto permite que el procesamiento de datos complejos se realice en un servidor externo al sistema, con un retraso mínimo. De esta forma, no solo se aumenta la duración de la batería, sino que también permite que el bastón sea más ligero, ahorrando en el peso de los procesadores de información y baterías más pequeñas.

Como hemos mencionado antes, al permitir la conexión de una gran cantidad de dispositivos simultáneamente, se facilita la integración de la invención en la red del Internet de las Cosas, o Internet of Things (IoT). El Internet de las Cosas es una red de objetos que tienen sensores y software integrados que les permiten conectarse con otros dispositivos de la red e intercambiar datos entre sí, y también traerá una gran cantidad de avances consigo para mejorar las funcionalidades del bastón. En primer lugar, y el caso más claro en el que el Internet de las Cosas ayudará en nuestro caso será con la interacción con infraestructura inteligente, es decir, captando señales emitidas por semáforos en cruces peatonales, señalización de obras o indicadores de sitios vacíos y horarios de transporte público entre otra infraestructura parecida, sin embargo, esto requiere mucha inversión por parte del gobierno para conseguir que la infraestructura urbana esté conectada y por lo tanto no parece que sea una opción a considerar a corto plazo. De todas formas, el Internet de las Cosas puede traer muchas otras ventajas que no requieran inversiones tan grandes como el monitoreo del dispositivo a través de su ubicación en tiempo real, siendo accesible para familiares o personas que requieran su localización, aumentando su seguridad al permitir que terceros puedan recibir alertas en caso de emergencia. Esto también se podría implementar con alertas para los servicios de emergencia, enviando la ubicación del

---

<sup>42</sup> <https://www.adweek.com/performance-marketing/the-shift-from-4g-to-5g-will-change-just-about-everything/#:~:text=Improved%20precision,than%20those%20used%20by%204G.&text=5G%20can%20therefore%20support%20approximately,to%20meet%20surging%20data%20demands.>

usuario con su ubicación en situaciones de emergencia para que el usuario reciba ayuda rápidamente cuando la necesite.



Fig 85. Ilustración mostrando la aplicación del Internet de las Cosas para ayudar a personas con la visión disminuida u otras discapacidades. (Bansal, M., & Garg, S., 2021)

Como hemos mencionado antes, cabe destacar la ventaja que supondría para nuestro proyecto una mayor capacidad de computación, debido a que la fotogrametría es un proceso muy pesado computacionalmente. Aunque también es verdad que un aumento en la capacidad de computación de chips convencionales también es beneficiosa para el proyecto desarrollado y la tecnología diseñada para ayudar a personas con la visión disminuida, el “cloud computing” será de especial relevancia debido a que uno de los objetivos de nuestro trabajo es hacer que el dispositivo sea lo más fácil de transportar posible, buscando dotar al usuario de maniobrabilidad plena. De esta forma, se reducirá el peso que tendrá que llevar el usuario en gran medida. Es por esto por lo que profundizaremos en la tecnología basada en computación en la nube en vez de en la tecnología tradicional. En primer lugar, como ya hemos mencionado anteriormente, la mayor ventaja de este sistema es que los dispositivos asistivos (no encargados del procesamiento de datos, sino que solo se encargan de transferir la carga de procesamiento a servidores remotos) no son tan costosos y pesados como los dispositivos de interpretación de datos, que hace que los dispositivos que incorporen esta tecnología sean más asequibles y ligeros. Además, al estar basado en la nube, esta propia tecnología de interpretación de datos puede ser actualizada continuamente, asegurando que el usuario siempre tenga a su disposición las versiones más recientes sin necesidad de cambiar el hardware del dispositivo, resultando en un ahorro considerable a largo plazo. Además, otra ventaja del cloud computing (que ya está siendo implementado a través de plataformas como Amazon

Web Services<sup>43</sup> o Google Cloud Platform<sup>44</sup>) es que facilita la integración del sistema en el Internet de las Cosas, conectando al usuario tanto con otros usuarios como con aplicaciones móviles, sistemas de transporte público y otros servicios imprescindibles a través del bastón. Es aquí cuando conviene recordar la invención patentada por Tolsted que mencionamos en el estado de la cuestión en el que se presenta un sistema en el que todos los sistemas están interconectados, almacenando cambios en la ruta creando un “mapa global” que se actualiza cada vez que un usuario pasa por ese sitio con el bastón<sup>45</sup>. Esto es un claro ejemplo de lo que se podría hacer usando la computación en la nube, ya que, si no fuese gracia al almacenamiento en la nube, no se podrían almacenar todos los datos recopilados sin necesidad de grandes servidores o sistemas de almacenamiento en el dispositivo, que añadirían mucho peso al sistema.

Otra categoría donde también destacaría el cloud computing debido a la gran capacidad de interpretación de datos sería con la denominada visión por computadora, una aplicación de la inteligencia artificial que permite interpretar y procesar imágenes para detectar y reconocer obstáculos entre otras cosas. A través de cámaras y sensores, el software puede detectar obstáculos como bordillos o escaleras, de manera similar a la interpretación realizada por la fotogrametría o el LIDAR, que mencionamos anteriormente. Sin embargo, la Inteligencia artificial añade funcionalidades que no se pueden implementar de otra forma. Estas incluyen el reconocimiento de señales y texto, que permite reconocer señales en la vía pública o ayuda a navegar entornos urbanos con letreros como estaciones, donde las personas con la visión disminuida están en una gran desventaja debido a que, en casi todos estos sitios, la mayor parte de la información se muestra en pantallas. Esta información reconocida por el sistema se podría pasar al usuario a través de sistemas de texto a voz, por ejemplo. Expandiendo sobre este último punto, otra funcionalidad que se podría implementar fácilmente a través de esta tecnología de visión por computadora es la traducción de señales y letreros en otros idiomas, facilitando de esta manera la autonomía de personas con la visión disminuida en otros países, de viaje o en entornos en los que no conocen el idioma, objetivo muy alcanzable como ya se ha visto con la implementación de sistemas de interpretación de texto y traducción en tiempo real por

---

<sup>43</sup> [¿Qué es AWS? - Computación en la nube con Amazon Web Services](#)

<sup>44</sup> [Cloud Computing Services | Google Cloud](#)

<sup>45</sup> Tolstedt, Tolstedt (2015)

aplicaciones como el traductor de Google. Además, los datos obtenidos a través de la visión por computadora se podrían combinar con el proyecto del mapa global de Tolsted, ya que de esta forma se podría detectar sitios en los que ya se ha estado y comparar y actualizar los cambios detectados en el análisis tanto en exteriores como en interiores, combinando los datos obtenidos de la visión por computadora con aquellos obtenidos a través del GPS, otro de los aspectos que se van a ver revolucionados por la nueva tecnología.

Debido a que la mayoría de los sistemas de ayuda a personas con la visión disminuida son muy dependientes en los sistemas GPS para guiar al usuario hasta la ubicación deseada, la revolución de estos sistemas supondrá un gran salto en las posibilidades de estos dispositivos. En primer lugar, encontramos las mejoras más esperadas, un aumento en la precisión de los dispositivos GPS, permitiendo que los usuarios se muevan de manera independiente. Sin embargo, el desarrollo que personalmente encuentro más interesante es la asistencia en la navegación interior ya que con los sistemas de posicionamiento global tradicionales, esto resulta un desafío enorme, ya que en estos espacios la señal GPS es muy débil. Este problema se puede solucionar a través del uso de tecnología como balizas Bluetooth Low Energy, la wifi de los propios edificios, cámaras y sensores infrarrojos, pudiendo determinar la localización exacta de los usuarios dentro de edificios clave como hospitales o aeropuertos, garantizando su autonomía en entornos en los que hasta ahora, era difícil garantizarla. Además, de esta forma se permite generar mapas detallados de interiores y poder generar instrucciones paso a paso basadas en la ubicación en tiempo real del usuario.

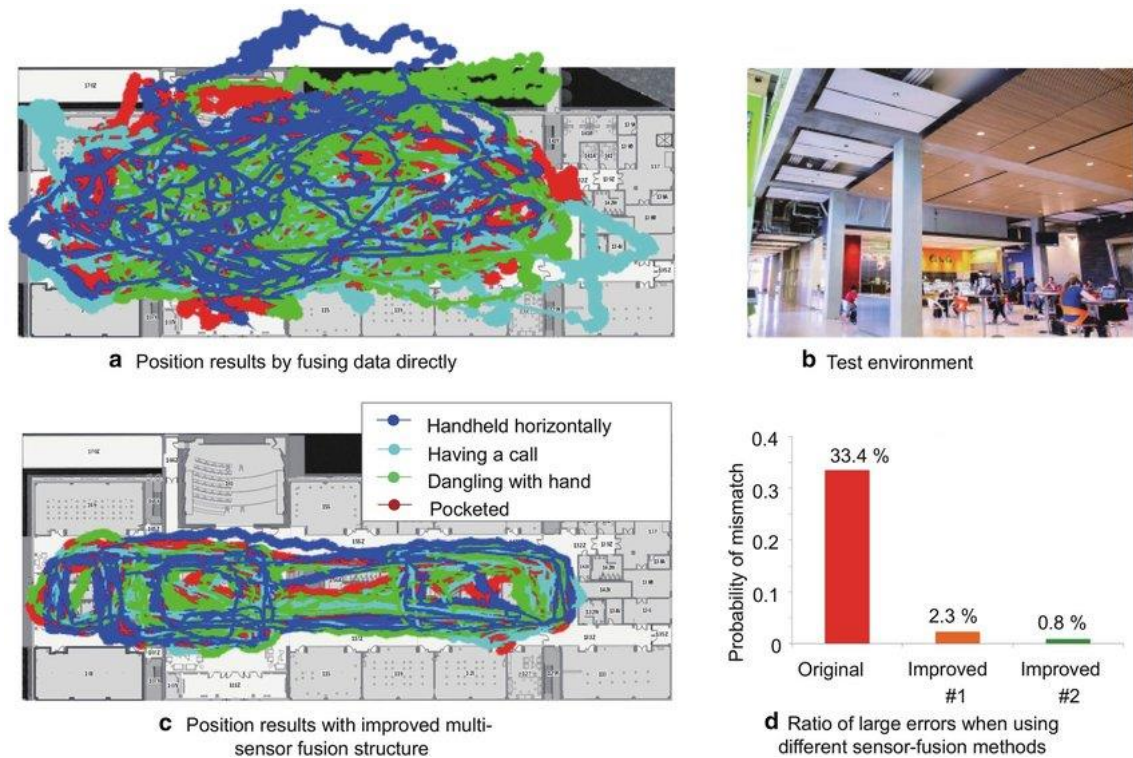


Fig 86. Figura mostrando la reducción de errores en el mapeo de interiores combinando sistemas inerciales, WIFI y sistemas de navegación magnéticos integrados en los teléfonos móviles. (Inertial/ WiFi/ magnetic integrated smartphone navigation... (s. f.). ResearchGate, 2021)

Otra de las posibles aplicaciones que se pueden desarrollar gracias al desarrollo de nuevas versiones de GPS es el denominado geofencing. Como su nombre indica, este método se basa en crear cercas virtuales alrededor de ciertos lugares geográficos, ya sean estas zonas de seguridad como cruces de carretera o sitios en obras, que pueden resultar peligrosos para el usuario. A través de esta tecnología, se podría alertar al usuario de su presencia, recalcular la ruta para evitar estas zonas o incluso enviar notificaciones a aplicaciones cuando el usuario cruce determinadas zonas. Esto también podría tener aplicaciones relacionadas con el Internet de las Cosas como hemos mencionado anteriormente, por ejemplo, avisando al usuario de los horarios del transporte público cuando se pare dentro de un centro de transporte o parada de autobús.

Mientras que en esta sección hemos hablado principalmente de mejoras basadas en software, también observamos desarrollo tecnológico en aspectos mecánicos de los productos desarrollados. Por ejemplo, encontramos que la mejora en el desarrollo de sensores y actuadores ayudará a impulsar nuevos métodos de retroalimentación

háptica debido a la precisión mejorada. Esto se debe a que estos nuevos actuadores podrán reaccionar más rápido a las instrucciones proporcionadas, permitiendo una respuesta más rápida a situaciones cambiantes. Además, los sensores mejorados permitirán una detección de obstáculos más precisas y a distancias más largas, avisando al usuario de peligros en la ruta con más tiempo, garantizando una mayor seguridad. Esto también se puede lograr con la introducción de sensores multimodales, integrando la habilidad de integrar varios tipos de sensores en uno solo, reduciendo la complicación del sistema y generando una representación más adecuada del entorno. Otra característica mejorada que viene del desarrollo de los sensores es la tendencia hacia la miniaturización de estos, facilitando su integración en los dispositivos, llevando a un diseño más ergonómico y facilitando su uso. Aparte de todos estos factores, el desarrollo de los sensores y actuadores también está claramente centrado en ser más eficientes energéticamente, permitiendo que estos funcionen durante más tiempo o reducir el tamaño de las baterías, otro elemento del hardware de estos sistemas que también se verá muy beneficiado por los avances tecnológicos.

Uno de los principales desafíos del proyecto fue encontrar una batería lo suficientemente potente para suministrar potencia al sistema pero que cupiese en el interior del bastón blanco y cumpliera las condiciones de espacio limitado y reducido, además de ser uno de los componentes más costosos y pesados del proyecto. Es por esto por lo que con el desarrollo de baterías de alta densidad, se conseguirá reducir en gran medida el coste, peso y la vida entre carga y carga de los dispositivos de ayuda a personas con la visión disminuida, aumentando su nivel de independencia y calidad de vida.

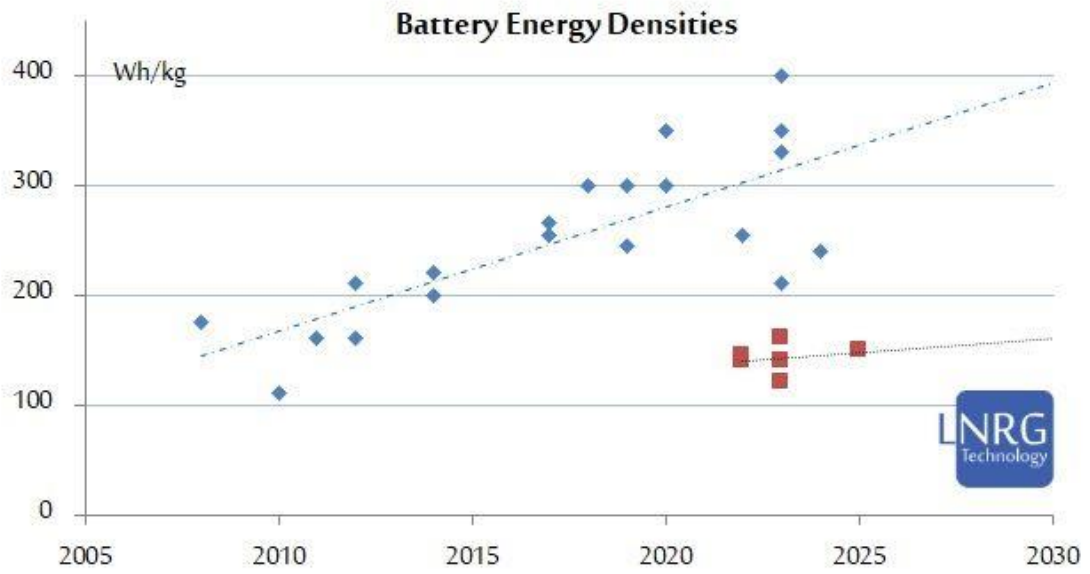


Fig 87. Gráfico mostrando la densidad de energía de las baterías comerciales LI-ion en azul y Na-ion en rojo hasta la fecha y la predicción a futuro, demostrando la tendencia a baterías con capacidad de almacenar energía con mayor densidad. (Analysis of innovative rechargeable battery technologies 2023. LNRG Technology, 2023)

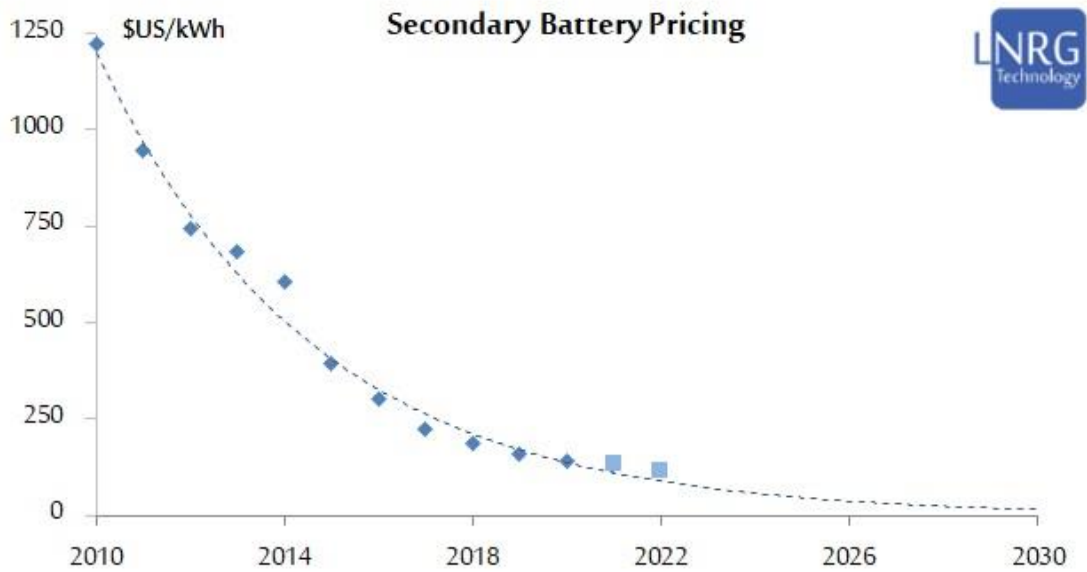


Fig 88. Gráfico mostrando el precio de las baterías disponibles hasta la fecha y la predicción para el futuro en \$US/kWh. (Analysis of innovative rechargeable battery technologies 2023. LNRG Technology, 2023)

## 6.2. Conclusiones del capítulo.

En este capítulo hemos podido examinar algunos de los avances tecnológicos que causarán una revolución en las posibilidades de los dispositivos de ayuda a personas con la visión disminuida. Sin embargo, también hemos podido comprobar como todos se complementan entre sí, y en muchos casos, van de la mano, con avances que no serían posibles si no se producen los otros desarrollos. Esto se puede ver claramente con la capacidad de obtención de datos mejorada. Mientras que los sensores multimodales son extremadamente útiles al combinar datos de muchas fuentes distintas, pudiendo no solo detectar la presencia de un objeto, sino también su forma, distancia, tamaño y otros parámetros, todos estos datos no se podrían procesar sin un avance en la tecnología de interpretación de datos, traída por ejemplo a través del cloud computing, y quedarían inutilizables. Además, la cantidad de datos a procesar también puede confundir al sistema, perdiéndose los datos realmente importantes si no se aplica un filtrado adecuado, procesos que pueden ser agilizados a través del desarrollo de la inteligencia artificial.

Centrándonos más en nuestro trabajo, podemos ver como claramente, los procesos que más mejorarían su rendimiento a corto plazo serían las mejoras en las baterías, sobre todo en cuanto a reducción de peso (debido a que la batería es el mayor factor contribuyente al peso del sistema, factor que queremos evitar a toda costa ya que se pretende que el dispositivo sea lo más maniobrable posible) y una mejora en la potencia de computación del sistema. Esto en especial, aligeraría la carga a llevar en el chaleco por parte del usuario, resultando en un invento mucho más transportable y ligero. Esto se debe a que la fotogrametría, proceso utilizado para detectar los obstáculos en el camino del usuario es un proceso muy pesado computacionalmente hablando, y por lo tanto requiere que el usuario lleve un teléfono móvil o dispositivo similar para recolectar, procesar y enviar las imágenes al Arduino situado en el bastón blanco. De la otra forma, bastaría con que el usuario llevase en el chaleco una pequeña cámara con conectividad a la nube (una cámara inteligente integrada en sistemas IoT) para enviar las imágenes a interpretar, procesándose en la nube y descargándose los datos directamente desde el microcontrolador en el bastón. De esta forma, se ahorraría la necesidad de que el dispositivo en el chaleco tomase las imágenes, las interpretase

y luego enviando las imágenes al bastón, necesitando solo tomar las imágenes que se enviarían en tiempo real a la nube para su interpretación.

Otro de los aspectos más controversiales que pueden traer estos productos y de gran interés es la seguridad y la necesidad de protección de la información generada que viene con el uso de estos dispositivos. Esto es especialmente importante cuando consideramos los dispositivos conectados a la red del Internet de las Cosas, donde todos los dispositivos están conectados entre si y comparten datos e información. Por esto cabe mencionar que hay muchos tratados de gran interés sobre este tema en concreto (como el citado; Lu, Y. (2023). Security and Privacy of Internet of Things: A Review of Challenges and Solutions. *Journal of Cyber Security and Mobility*), y es un aspecto importante que considerar al examinar el desarrollo de las nuevas tecnologías.

## Capítulo 7. Conclusiones.

En este capítulo de conclusiones evaluaremos los resultados obtenidos en este trabajo, examinando con detenimiento los objetivos planteados al principio de este trabajo de investigación y comprobando si se han alcanzado. Para esto, recordaremos estos objetivos que eran conseguir un dispositivo ligero, maniobrable (que, por ejemplo, permitiese al usuario entrar y salir de un taxi con facilidad) y que permitiese al sistema procesar imágenes y guiar al usuario usando el teléfono móvil para una mayor accesibilidad.

Evaluando el diseño del producto final, podemos ver varias características que ayudan a cumplir esta función. En primer lugar, el sistema de sujeción del teléfono móvil facilita el movimiento del usuario debido a que no solo es un sistema extremadamente ligero (pesando tan solo 310 gramos contando con el peso del arnés), sino también porque está situado cerca del torso del usuario, lo cual supone que no es incómodo al agacharse o al realizar movimientos similares que pueden resultar difíciles con otros sistemas. Así, el usuario no tiene que estar especialmente pendiente de su localización para no dañar el teléfono móvil como ocurre con otros sistemas en los que los componentes delicados están muy expuestos. Esto también permite al usuario captar imágenes directamente en la dirección en la que enfoca su torso, asegurándose de que las imágenes siempre serán relevantes a su dirección de movimiento (a diferencia de aquellos dispositivos que presenten las cámaras o detectores de obstáculos en la carcasa del bastón o en wearables en otras zonas del cuerpo del usuario). Esto es una gran ventaja debido a que de esta forma no se confunde al sistema de guiado, confusión que podría ocasionarse en caso de incluir el sistema de detección en la carcasa del bastón que realiza un movimiento oscilante. Además, se reduce la complejidad del sistema, evitando tener que posicionar un sensor triaxial en el interior del bastón para compensar este movimiento.

Esta filosofía de diseño se mantiene en el desarrollo de la carcasa del bastón, diseñando un sistema que pesa tan solo 207 gramos y que mantiene la forma del mango estándar del bastón, sin protrusiones que puedan incomodar al usuario debido a la dificultad que supondría tener en cuenta la posición de objetos salientes en todo momento. Además, su integración en el bastón blanco plegable también cumple uno de los objetivos principales propuestos al principio del proceso de diseño, ya que con la inclusión de los sistemas de

guiado en el bastón blanco se pretende complementar el sistema de ayuda a personas con la visión disminuida que lo utilizan, pues el bastón blanco se ha mostrado como una herramienta muy útil que no tendría sentido intentar reemplazar debido a la habilidad y destreza que ya han desarrollado en su uso las personas con la visión disminuida.

También es conveniente repasar el funcionamiento del producto desarrollado, empezando por el concepto general detrás del sistema. La idea principal es facilitar la navegación de un punto a otro evitando obstáculos en la ruta. La navegación se consigue a través del teléfono móvil (situado en un porta-teléfonos que llevará el usuario en un arnés) capaz de recibir instrucciones del usuario en formatos distintos como pueden ser las instrucciones por voz. Además, los obstáculos en la ruta se pueden captar a través de la cámara del teléfono móvil, interpretando las imágenes recibidas en tiempo real para detectar obstáculos, advirtiendo al usuario de su presencia. Esto se realizaría enviando señales a un procesador tipo Arduino-nano o similar dentro de la carcasa del bastón, que recibirá las señales y las transmitirá al servo motor dentro de la carcasa, que actuará el indicador de dirección, enseñando al usuario la dirección a tomar para llegar al destino final y evitar los posibles obstáculos en el camino.

Otra característica especialmente relevante del sistema es su modularidad, cada vez más relevante en los diseños recientes como hemos podido ver en el estado de la cuestión. Esta modularidad permite adaptar el bastón a las necesidades específicas del usuario, por ejemplo, añadiendo pantallas Braille para facilitarle la lectura de instrucciones, añadiendo distintos sistemas de retroalimentación como instrucciones de voz o simplemente modificando el sistema en sí, cambiando las baterías, receptores o procesadores dentro del dispositivo con facilidad debido al sistema de raíles. Además, el bastón cuenta con una tapa con rosca para fácil acceso, permitiendo su carga fácilmente.

En un futuro próximo, pueden incorporarse al diseño propuesto en este trabajo nuevas características, como podría ser la inclusión de un sistema carga inalámbrica, proporcionando una mayor autonomía al usuario debido a que un cargador inalámbrico (que podría ser adaptado para tener una mayor superficie y por lo tanto ser más localizable) sería más fácil de encontrar para una persona con la visión disminuida que un cargador estándar. Este producto también se verá muy impactado por el desarrollo tecnológico en el futuro, que a su vez nos lleva a pensar cuáles serán los cambios que

sufrirá a medida que se van desarrollando nuevas tecnologías. Por ejemplo, uno de los avances que ha sufrido un gran desarrollo en los últimos años es el cloud computing, que, una vez implementado en el dispositivo reduciría significativamente la carga computacional en el teléfono móvil, además de evitar la necesidad de realizar mejoras de hardware continuamente (al actualizarse el software de interpretación en la nube sin necesidad de mejoras de procesador y similares), suponiendo un gran ahorro. Esto se podría aplicar para procesar las imágenes captadas por el sistema o gestionar el sistema de guiado en la nube, dando las instrucciones al receptor del bastón o incluso permitiendo la sustitución de el teléfono móvil por una cámara inteligente que suba las imágenes captadas directamente a la nube, ahorrando en peso si el usuario lo desea.

En definitiva, podemos observar como este producto se encuentra en continua evolución, viéndose afectado significativamente por los futuros desarrollos tecnológicos, acelerando su progreso y suponiendo una mejora significativa en la calidad de vida de las personas con la visión disminuida, aumentando su independencia y mejorando su seguridad en el día a día.

# Capítulo 8. BIBLIOGRAFÍA.

## 8.1. Patentes

Bhatlawande Shripad Subhashrao, Manjunatha Mahadevappa, Jayant Mukhopadhyay (06-08-2014), Venucane: an electronic travel aid for visually impaired and blind people, EP2760410A1.

Billy D. Hopkins (05-02-2009), Location, orientation, product and color identification apparatus, system and method for the blind or visually impaired, US20090032590A1.

Boutros Baqain (13-12-2018), Intelligent navigation assistance device, US20180356233A1.

Cang Ye (13-10-2015), Portable robotic device, US9155675B2.

Cao Qingheng (23-02-2023), Tactile sensing system and method for using same, WO2023019376A.

Chenshu Wu, Feng Zhang, Beibei Wang ,Yuqian Hu, K. J. Ray Liu, Oscar Chi-Lim Au, Xiaolu Zeng, Hung-Quoc Duc Lai, David N Claffey ,Jeng-Feng Lee, Chao-Lun Mai, Zhung-Han Wu, Dan Bugos, Chun-Chia Jack Shih (19-08-2020), Method, apparatus, and system for wireless gait recognition, EP3695783A1.

Duan Shukai, Zhang Fengyun, Zhang Jin, Lin Shaobo, Wang Lidan, Wang Huamin (30-11-2018) A kind of mobile blind guiding system based on smart phone , CN106821694B.

Han Woo-yong, Kim Ji-hong (06-04-2018), Apparatus for guiding blind person using signal of transmitter/receiver, KR20180035289A.

Jihoon Kim (30-11-2016), Road guidance system for the visually impaired, WO2012102506A2.

Jonathan Louis Tolstedt, Maxwell Louis Tolstedt (19-05-2015), Virtual walking stick for the visually impaired, US9037400B2.

Lee Min-ho, Kang Jun-su, Kim Ji-hoon (26-08-2015), Smart System for a person who is visually impaired using eyeglasses with camera and a cane with control module, KR20150097043A.

Lee Shin-ryeol (31-12-2010), Acoustic guide apparatus for blind person and method thereof, system for guidance of the road using the same, KR20100137763A.

Loc Yu (23-01-2018), Navigational aid with adaptive radar, CA2961290.

Mervi Hirvonen, Tero Kiuru, Janne Hakli, Pekka Pursula (06-12-2022), Obstacle avoidance using mobile devices, US9872811B2.

Noah Eitan Gamerman (29-06-2022), Non-visual precision spatial awareness device, US11369543B2.

Roger Gassert, Yeongmi Kim, Thierry Oggier, Markus Riesch, Mathias Deschler, Cornelia Prott, Stefan Beat Schneller, Vincent Hayward (30-12-2014), White cane with integrated electronic travel aid using 3D TOF sensor, US8922759B2.

Seunghan Yang, Seongryeong Park, Youngcheol Song (23-06-2016), Three-dimensional guidance device for informing visually handicapped person of obstacle, guidance system for providing surrounding information using same, and method therefor, WO2016099052A1.

Yang Gyu-sik, Yang Jun-ki, Choi Seung-min, Seok Geon-do, Ye Dong-ryeol, Song Han-hee (17-02-2017), Braille Block Pattern Recognition System Equipped Stick for The Visually Handicapped Person, KR101708144B1.

Yoo Ki-ho, Jeong Gu-young (22-10-2013), Walking guide device for a blind man, KR101321187B1.

## 8.2. Recursos bibliográficos

*Acelera tus operaciones con IOT.* (s. f.). Recuperado 12 de agosto de 2024, de <https://www.oracle.com/es/internet-of-things/>

Applanix. (s.f.). Imagen de LiDAR QC Tools. Applanix. Obtenida May 20, 2024, de <https://www.applanix.com/products/lidar-qc-tools.htm>

Badrloo, S., Varshosaz, M., Pirasteh, S., & Li, J. (2022). Image-Based Obstacle Detection Methods for the Safe Navigation of Unmanned Vehicles: A Review. *Remote Sensing*, 14(15), Article 15. <https://doi.org/10.3390/rs14153824>

Bansal, M., & Garg, S. (2021). *Internet of Things (IoT) based Assistive Devices*. 1006-1009. <https://doi.org/10.1109/ICICT50816.2021.9358662>

Best Industrial-Grade 3D Printer—Pro3 | \$5,599 | Raise3D. (s. f.). *Raise3D: Reliable, Industrial Grade 3D Printer*. Recuperado 19 de agosto de 2024, de <https://www.raise3d.com/products/raise3d-pro3-3d-printer/>

*BK 0306 TN - Rodamientos de agujas / SKF.* (s. f.). Recuperado 9 de agosto de 2024, de <https://www.skf.com/es/products/rolling-bearings/roller-bearings/needle-roller-bearings/drawn-cup-needle-roller-bearings/productid-BK%200306%20TN>

*ComputerVision/MonocularDepth/midasDepthMap.py at master · niconielsen32/ComputerVision · GitHub.* (s. f.). Recuperado 18 de agosto de 2024, de <https://github.com/niconielsen32/ComputerVision/blob/master/MonocularDepth/midasDepthMap.py>

*[Con video] [N.º artículo: MB-03] [Vendido en combinación con 991993] Tablero navegación plegable soporte molle soporte universal para tipo chaleco soporte para (color barro) | Walmart en línea.* (s. f.). Walmart | Tu tienda en línea. Recuperado 16 de agosto de 2024, de <https://www.walmart.com.mx/ip/autos-y-llantas/refacciones-y-autopartes/piezas-de-motor/-con-video-n-articulo-mb-03-vendido-en-combinacion-con-991993-tablero-navegacion-plegable-soporte-molle-soporte-universal-para-tipo-chaleco-soporte-para-color-barro-/00064808714434>

EN AW-6060—Redondo 35 x 1.000 mm—RA - redondo—1000 mm—EN AW-6060—Aluminio—Abrams Aceros Premium. (s. f.). Recuperado 17 de agosto de 2024, de [https://shop.premium-steel.eu/es\\_sp/catalog/product/view/id/79090/category/384/](https://shop.premium-steel.eu/es_sp/catalog/product/view/id/79090/category/384/)

Farooq, M. S., Shafi, I., Khan, H., Díez, I. D. L. T., Breñosa, J., Espinosa, J. C. M., & Ashraf, I. (2022). IoT Enabled Intelligent Stick for Visually Impaired People for Obstacle Recognition. *Sensors*, 22(22), Article 22. <https://doi.org/10.3390/s22228914>

Fleck, A. (2018, junio 18). *5G vs. 4G: What's the Difference?* | *Adweek*. <https://www.adweek.com/performance-marketing/the-shift-from-4g-to-5g-will-change-just-about-everything/>

G, D. (2018, febrero 23). What Is the Wget Command and How to Use It (12 Examples Included). *Hostinger Tutorials*. <https://www.hostinger.com/tutorials/wget-command-examples/>

Garmin. (s. f.), What is GPS? | Recuperado 28 de mayo de 2024, de <https://www.garmin.com/en-US/aboutgps/>

*Git Explained: The Basics*. (2020, mayo 9). DEV Community. [https://dev.to/milu\\_franz/git-explained-the-basics-igc](https://dev.to/milu_franz/git-explained-the-basics-igc)

GLIDE, un deslizador Robótico que irrumpe en escena y aspira a ser un auxiliar de movilidad más. *InfoTecnoVision*. Abad, R. (2024, marzo 14). <https://www.infotecnovision.com/glide-un-deslizador-robotico-que-irrumpe-en-escena-y-aspira-a-ser-un-auxiliar-de-movilidad-mas/>

GNSS Augmentation—Navipedia. (s. f.). Recuperado 30 de mayo de 2024, de [https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GNSS\\_Augmentation](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GNSS_Augmentation)

Gruner, H. (s. f.). New Aspects of Mono-Photogrammetry. *PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING*.

*HS-40 Economical, Nano, Nylon Gear* / *HITEC RCD USA*. (s. f.). Recuperado 22 de julio de 2024, de <https://hitecred.com/products/servos/analog/micromini/hs-40/product>

*Isl-org/MiDaS*. (2024). [Python]. Intelligent Systems Lab Org. <https://github.com/isl-org/MiDaS> (Obra original publicada en 2019)

*K 3X5X7 TN - Rodamientos de agujas / SKF*. (s. f.). Recuperado 9 de agosto de 2024, de <https://www.skf.com/es/products/rolling-bearings/roller-bearings/needle-roller-bearings/needle-roller-and-cage-assemblies/productid-K%203X5X7%20TN>

Khan, N. (2023, junio 12). Getting Started with Depth Estimation using MiDaS and Python. *Artificialis*. <https://medium.com/artificialis/getting-started-with-depth-estimation-using-midas-and-python-d0119bfe1159>

*Kostavelis, I., Nalpantidis, L., & Gasteratos, A. (2010). Comparative Presentation of Real-Time Obstacle Avoidance Algorithms Using Solely Stereo Vision.*

Kumar, S., Gupta, G., & Singh, K. R. (2015). 5G: Revolution of future communication technology. *2015 International Conference on Green Computing and Internet of Things (ICGCIoT)*, 143-147. <https://doi.org/10.1109/ICGCIoT.2015.7380446>

LiDAR vs. Photogrammetry: The Ultimate Showdown for 3D Mapping (2024). (2024, enero 3). JOUAV. <https://www.jouav.com/blog/lidar-vs-photogrammetry.html>

LiDAR: What it is, and how it is useful for photogrammetry. (2021, enero 6). Pix4D. <https://www.pix4d.com/blog/lidar-photogrammetry>

*Manufacturing on Demand*. (s. f.). Recuperado 19 de agosto de 2024, de <https://www.xometry.com/>

*Mini Mill – EDU / Fresadora con cono ISO 40 / Fresadoras verticales*. (s. f.). Recuperado 17 de agosto de 2024, de <https://www.haascnc.com/es/machines/vertical-mills/mini-mills/models/minimill-edu.html>

Oh, J., Bong, C., & Kim, J. (2019). Design of Immersive Walking Interaction Using Deep Learning for Virtual Reality Experience Environment of Visually Impaired People. *Journal of the Korea Computer Graphics Society*, 25, 11-20. <https://doi.org/10.15701/kcgs.2019.25.3.11>

Okolo, G. I., Althobaiti, T., & Ramzan, N. (2024). Assistive Systems for Visually Impaired Persons: Challenges and Opportunities for Navigation Assistance. *Sensors*, 24(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/s24113572>

Orbi-Tech. (s.f.). Imagen del Filamento de PC 1.75 mm, 750 g, transparente claro. Orbi-Tech. Recuperado el 29 de mayo de 2024, de <https://orbi-tech.de/shop/3D-Filaments/PC/PC-Filament-1-75-mm-750-g-glass-clear-transparent::388.html?language=en>

Padkan, N., Trybala, P., Battisti, R., Remondino, F., & Bergeret, C. (2023). EVALUATING MONOCULAR DEPTH ESTIMATION METHODS. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-1-W3-2023, 137-144. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-1-W3-2023-137-2023>

*Palo para Ciegos Plegables*. (s. f.). Ortopedia Mimas. Recuperado 16 de agosto de 2024, de <https://www.ortopediamimas.com/movilidad/ayudas-a-la-marcha/bastones/6938-baston-blanco-para-ciegos.html>

*Palo para Ciegos Plegables*. (s. f.). Ortopedia Mimas. Recuperado 16 de agosto de 2024, de <https://www.ortopediamimas.com/movilidad/ayudas-a-la-marcha/bastones/6938-baston-blanco-para-ciegos.html>

Photogrammetry vs. LIDAR - Choosing the right sensors for your job. RotorDrone. RotorDroneMag.com. (2022, julio 22). <https://www.rotordronepro.com/photogrammetry-vs-lidar-choosing-the-right-sensors-for-your-job/>

*Pla Pro 3d Printer Filament Black—1.75mm Petg Abs Tpu 1 Kg 3d Printing Consumables Material—Buy 3d Printing Filament Materials, Pla Abs Petg Filament, Pla Filament 3d Product on Alibaba.com*. (s. f.). Recuperado 19 de agosto de 2024, de [https://www.alibaba.com/product-detail/PLA-Pro-3D-Printer-Filament-Black\\_1600649398977.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal\\_offer.d\\_price.324f3f0aaJxoZR](https://www.alibaba.com/product-detail/PLA-Pro-3D-Printer-Filament-Black_1600649398977.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_price.324f3f0aaJxoZR)

Qué es 5G y cómo está revolucionando el futuro de las redes. (2024, enero 4). *Redes&Telecom*. <https://www.redestelecom.es/especiales/que-es-5g-y-como-esta-revolucionando-el-futuro-de-las-redes/>

Ragavan, S., Tarun, A., Yogeeshwar, S., Kumar, B., & Reka, S. (2023). A realtime portable and accessible aiding system for the blind – a cloud based approach. *Multimedia Tools and Applications*, 82. <https://doi.org/10.1007/s11042-023-14419-9>

Ranftl, R., Lasinger, K., Hafner, D., Schindler, K., & Koltun, V. (2020). Towards Robust Monocular Depth Estimation: Mixing Datasets for Zero-shot Cross-dataset Transfer (arXiv:1907.01341; Versión 3). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1907.01341>

Relly Victoria Petrescu, Narcisa Popescu, Florian Ion Petrescu (2007). *Determining Gear Efficiency | Gear Solutions Magazine Your Resource to the Gear Industry..* <https://gearsolutions.com/features/determining-gear-efficiency/>

Richard G. Budynas, Keith Nisbett (2012). *Shingley's Mechanical Engineering Design, Ninth edition., capítulo 13-13, página 698, fig 13-29.*

Satellite Navigation—GPS - How It Works | Federal Aviation Administration. (s. f.). Recuperado 28 de mayo de 2024, de [https://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/ato/service\\_units/techops/navservices/gnss/gps/howitworks](https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/gps/howitworks)

Semary, H. E., Al-karawi, K. A., Abdelwahab, M. M., & Elshabrawy, A. M. (2024). A Review on Internet of Things (IoT)-Related Disabilities and Their Implications. *Journal of Disability Research*, 3, 20240012. <https://doi.org/10.57197/JDR-2024-0012>

*SKF Product select.* (s. f.). Recuperado 9 de agosto de 2024, de <https://productselect.skf.com/#/type-arrangement/single-bearing>

Slijkerman, D. S., Jan Frederik. (s. f.). *More people will benefit from 5G connection in 2024 but speed improvements vary.* ING Think. Recuperado 11 de agosto de 2024, de

<https://think.ing.com/articles/more-people-will-benefit-from-5g-connection-in-2024-but-speed-improvements-vary/>

*Soporte de Clip para teléfono fijo en el pecho, correa de fijación portátil para estante de teléfono móvil para MB-03* | Walmart en línea. (s. f.). Walmart | Tu tienda en línea. Recuperado 16 de agosto de 2024, de <https://www.walmart.com.mx/ip/celulares/fundas-micas-y-accesorios/otros-accesorios-para-celular/soporte-de-clip-para-telefono-fijo-en-el-pecho-correa-de-fijacion-portatil-para-estante-de-telefono-movil-para-mb-03/00914523434650>

Terven, J. R., Salas, J., & Raducanu, B. (2014). New Opportunities for Computer Vision-Based Assistive Technology Systems for the Visually Impaired. *Computer*, 47(4), 52-58. Computer. <https://doi.org/10.1109/MC.2013.265>

*The Cloud Can Support a New Generation of Accessible Technologies*. (2014, marzo 6). Microsoft Accessibility Blog. <https://blogs.microsoft.com/accessibility/the-cloud-can-support-a-new-generation-of-accessible-technologies/>

*TKO Pouch*. (s. f.). Spiritus Systems. Recuperado 16 de agosto de 2024, de <https://www.spiritussystems.com/tko-pouch-all-colors/>

UAVLatam. (s. f.). ¿Qué es y para qué sirve la fotogrametría? - Recuperado 20 de mayo de 2024, de <https://uavlatam.com/que-es-la-fotogrametria-como-funciona/>

*Using timm at Hugging Face*. (s. f.). Recuperado 18 de agosto de 2024, de <https://huggingface.co/docs/hub/timm>

Vivek, K. P. V. (2022). A Smart Wearable Guiding Device for The Visually Impaired People. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10(6), 1568-1572. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.44153>

*What is 5G | Everything You Need to Know About 5G | 5G FAQ | Qualcomm*. (s. f.). Recuperado 12 de agosto de 2024, de <https://www.qualcomm.com/5g/what-is-5g>

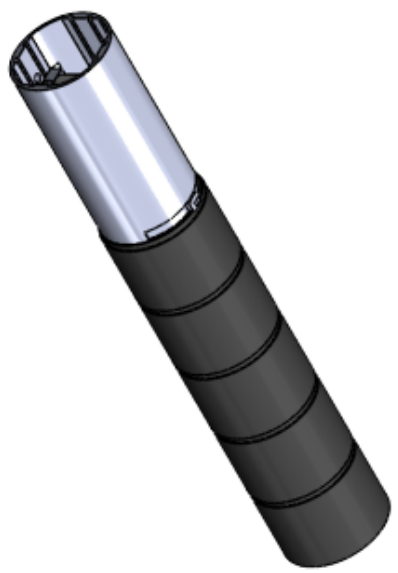
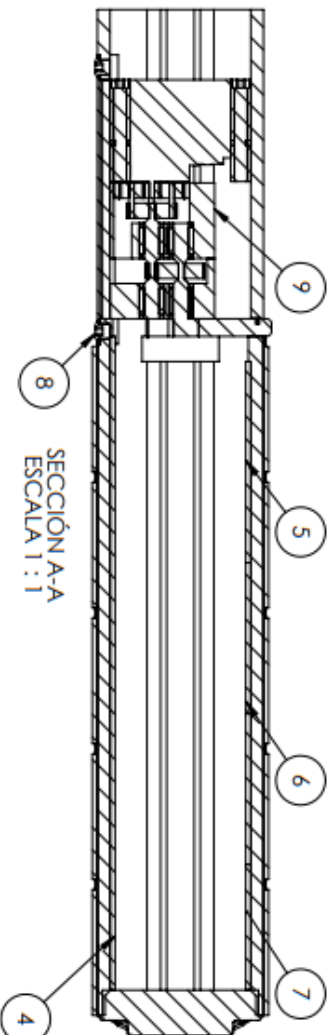
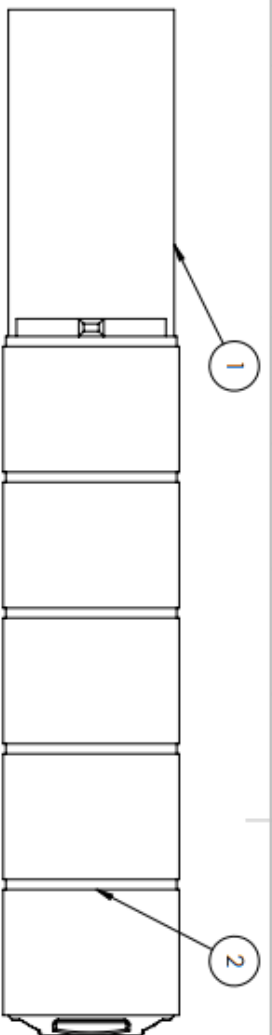
Zhang, M., & Mak, A. F. T. (1999). In vivo friction properties of human skin. *Prosthetics and Orthotics International*, 23(2), 135-141. <https://doi.org/10.3109/03093649909071625>



# DOCUMENTO 2 – PLANOS.

## *Índice del documento 2*

<b>TFG-FI-0001 FINAL ASSEMBLY</b> .....	<b>144</b>
TFG-CA-0001 CARCASA BASTÓN .....	145
TFG-CA-0002 FUNDA EXTERIOR BASTÓN .....	146
TFG-CA-0003 TAPA BASTÓN .....	147
TFG-CA-0004 BASE RAÍL 13 CM .....	148
TFG-CA-0005 BASE RAÍL 4 CM .....	149
TFG-CA-0006 BASE RAÍL 3 CM .....	150
TFG-CA-0007 BASE RAÍL 2.5 CM .....	151
TFG-SO-0006 TORNILLO M3x05 .....	152
<b>TFG-SO-0001 CADENA CINEMÁTICA ASSEMBLY (CON SOPORTE)</b> .....	<b>153</b>
<b>TFG-CC-0001 CADENA CINEMÁTICA ASSEMBLY</b> .....	<b>154</b>
TFG-CC-0002 RUEDA DENTADA 10T .....	155
TFG-CC-0003 CORONA PLANETARIO .....	156
TFG-CC-0004 PORTAPLANETAS PLANETARIO .....	157
TFG-CC-0005 RUEDA DENTADA 29T .....	158
TFG-CC-0006 RUEDA DENTADA 116T .....	159
TFG-CC-0007 EJE PLANETARIO .....	160
TFG-CC-0008 EJE B1 .....	161
TFG-CC-0009 EJE B2 .....	162
TFG-CC-0010 RODAMIENTO K 3X5X7 TN .....	163
TFG-CC-0011 INDICADOR DIRECCIÓN .....	164
TFG-CC-0012 CIERRE APERTURA .....	165
TFG-SO-0002 CARCASA ENGRANAJE PLANETARIO 1 .....	166
TFG-SO-0003 CARCASA ENGRANAJE PLANETARIO 2 .....	167
TFG-SO-0004 BASE SERVO .....	168
TFG-SO-0005 BASE SOPORTE CADENA CINEMÁTICA .....	169
TFG-SO-0007 TORNILLO M2x04x20.2 .....	170
TFG-CC-0013 SERVOMOTOR HS-40 .....	171



ITEM	DESCRIPTION	QTY	PART N°
1	CARCASA BASTÓN	1	TFG-CA-0001
2	FUNDA EXT. BASTÓN	1	TFG-CA-0002
3	TAPA BASTÓN	1	TFG-CA-0003
4	BASE RAIL 13 CM	1	TFG-CA-0004
5	BASE RAIL 4 CM	1	TFG-CA-0005
6	BASE RAIL 3 CM	2	TFG-CA-0006
7	BASE RAIL 2.5 CM	1	TFG-CA-0007
8	TORNILLO M3x05	2	TFG-SO-0006
9	CADENA CINEMÁTICA SO ASSY.	1	TFG-SO-0001

SI SE REEMPLAZA O CAMBIA:  
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
 ACABADO SUPERFICIAL:  
 TOLERANCIAS:  
 MATERIAL:  
 APLICAR

ACABADO:  
 FECHA:  
 15/08/2024

NO CAMBIAR LA ESCALA  
 REVISIÓN:  
 ICAI

TÍTULO:  
 FINAL ASSEMBLY.

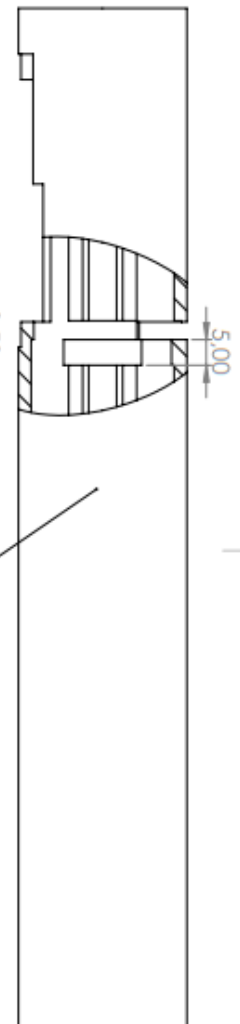
N.º DE DIBUJO:  
 TFG-FI-0001

NO. DE DIBUJO	FECHA	REVISIÓN
TFG-FI-0001	15/08/2024	1

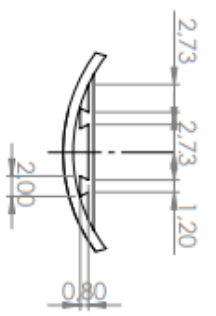
FECHA	REVISIÓN

FECHA	REVISIÓN

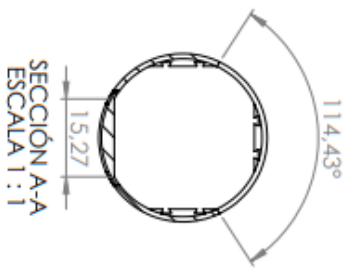
8 7 6 5 4 3 2 1



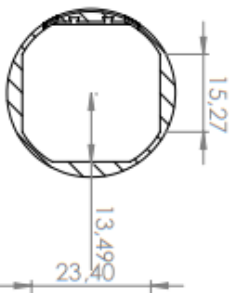
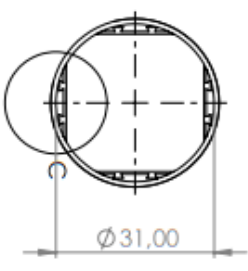
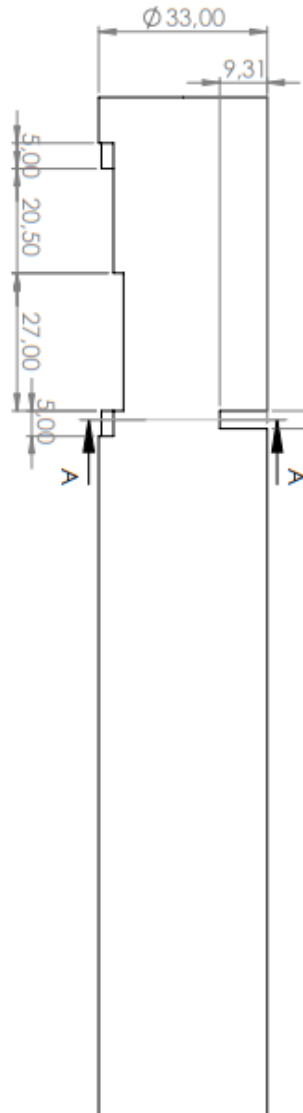
VISTA DE RECORTE MOSTRANDO EL GROSOR INTERIOR DE LOS TOPES



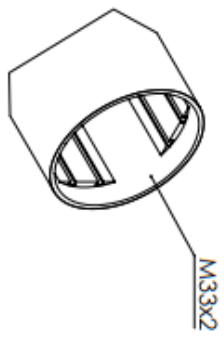
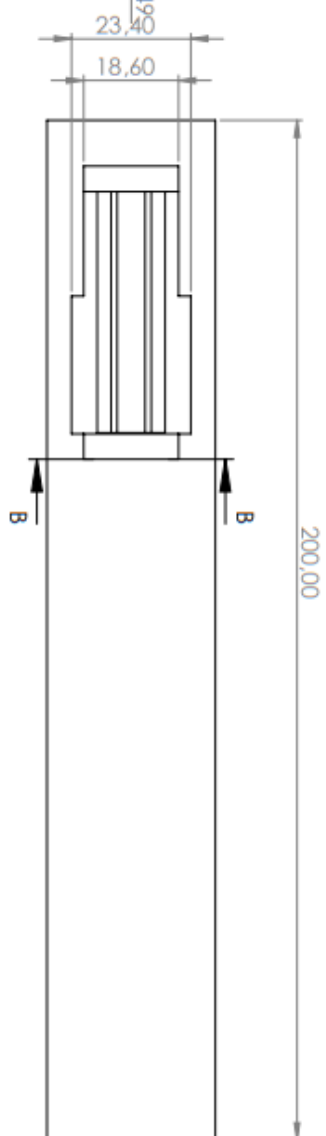
DETALLE C  
ESCALA 2 : 1



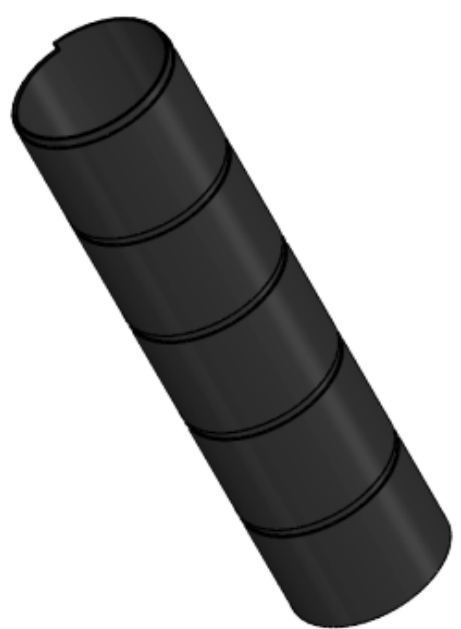
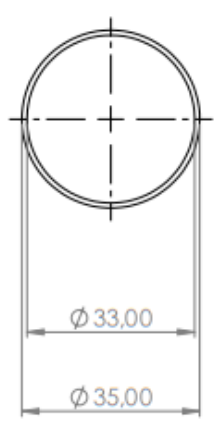
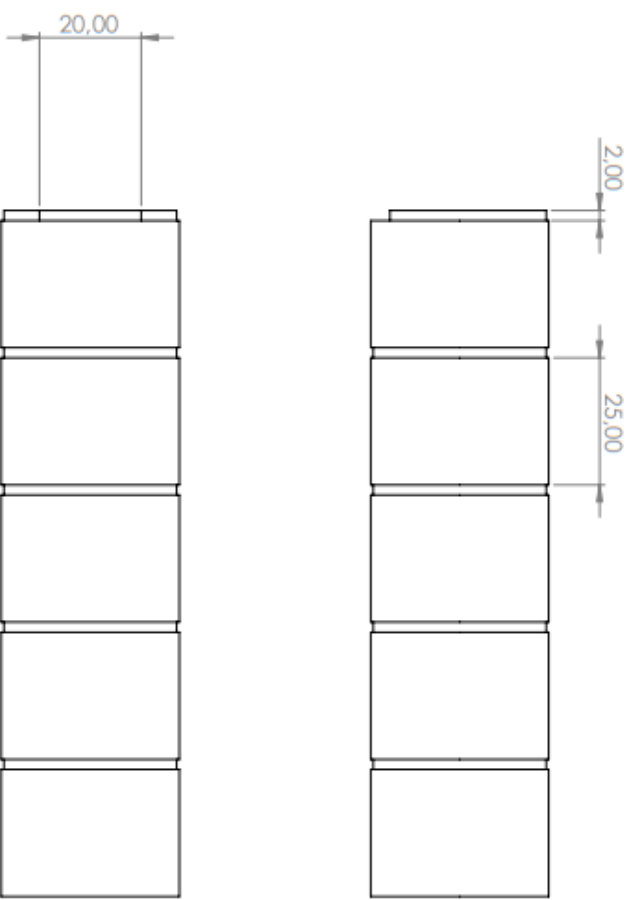
SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 1



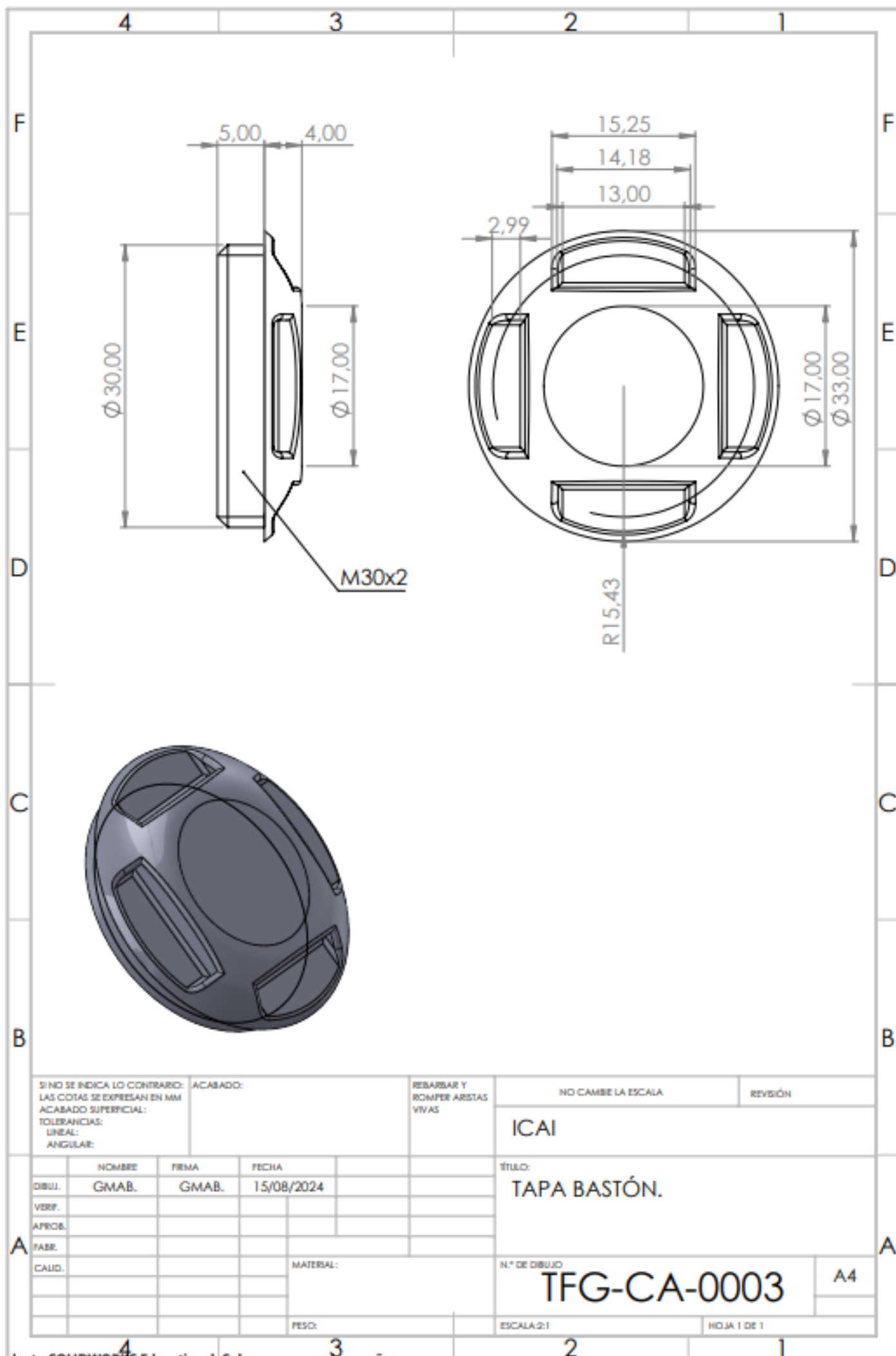
SECCIÓN B-B  
ESCALA 1 : 1



SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE ENTENDEN EN MM		ACABADOS:		REFINAR Y EQUIPAR AISTAS VIVAS	
ACABADO SUPERFICIE:		ACABADO:		REVISION:	
TOLERANCIAS:					
MATERIAL:					
CALIBRO:					
FECHA:					
NO. DE DISEÑO:		TÍTULO:		NO. DE LA ESCALA:	
TFG-CA-0001		CARCASA BASTON		1	
A3		ICAI			



3 NO SE RECALA LO COMBINADO. ACABADO: LAS CORTAS SE ENTREÑAN EN 45º		ACABADO: TOBERNADO SUPERFICIAL		RETRASAR Y RECAPAR ASISTIA VIVAS	
ACABADO SUPERFICIAL: ANGULAR				NO CAMBIA LA ESCALA	
NO. DE DISEÑO	FECHA	NO. DE DISEÑO	FECHA	NO. DE DISEÑO	FECHA
GMAB.	15/08/2024	GMAB.		GMAB.	
VERIF.		VERIF.		VERIF.	
APROB.		APROB.		APROB.	
PAIS.		PAIS.		PAIS.	
CAID.		CAID.		CAID.	
TITULO: FUNDA EXT. BASTÓN		TITULO: FUNDA EXT. BASTÓN		TITULO: FUNDA EXT. BASTÓN	
ICAI		ICAI		ICAI	
Nº DE DISEÑO: TFG-CA-0002		Nº DE DISEÑO: TFG-CA-0002		Nº DE DISEÑO: TFG-CA-0002	
ESCALA: 1:1		ESCALA: 1:1		ESCALA: 1:1	
A3		A3		A3	



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

ACABADO:

REBARBAR Y  
 ROMPER ARISTAS  
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

ICAI

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	GMAB.	GMAB.	15/08/2024
VERIF.			
APROB.			
FASE			
CALID.			

TÍTULO:  
 TAPA BASTÓN.

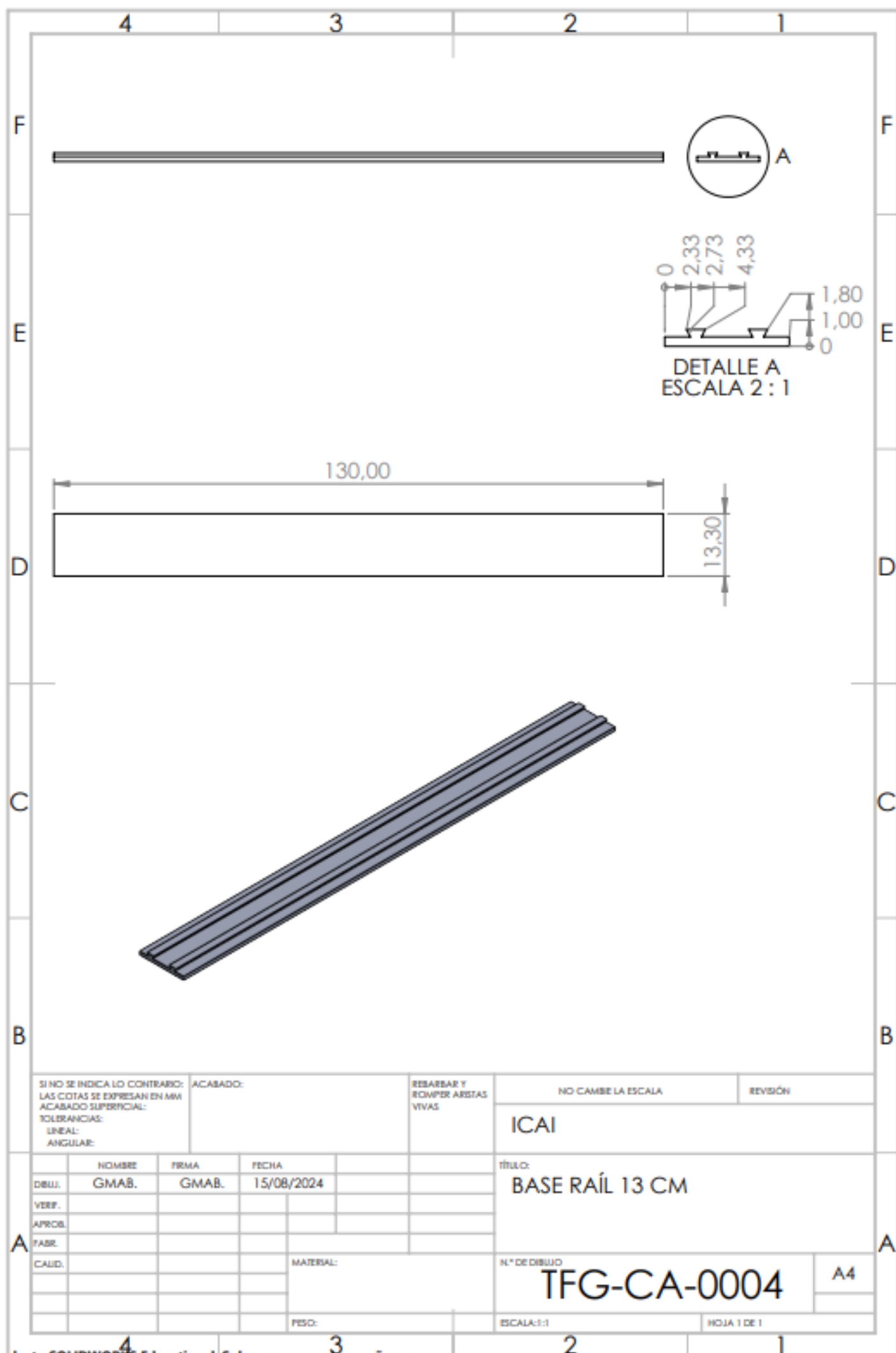
N.º DE DIBUJO  
**TFG-CA-0003**

A4

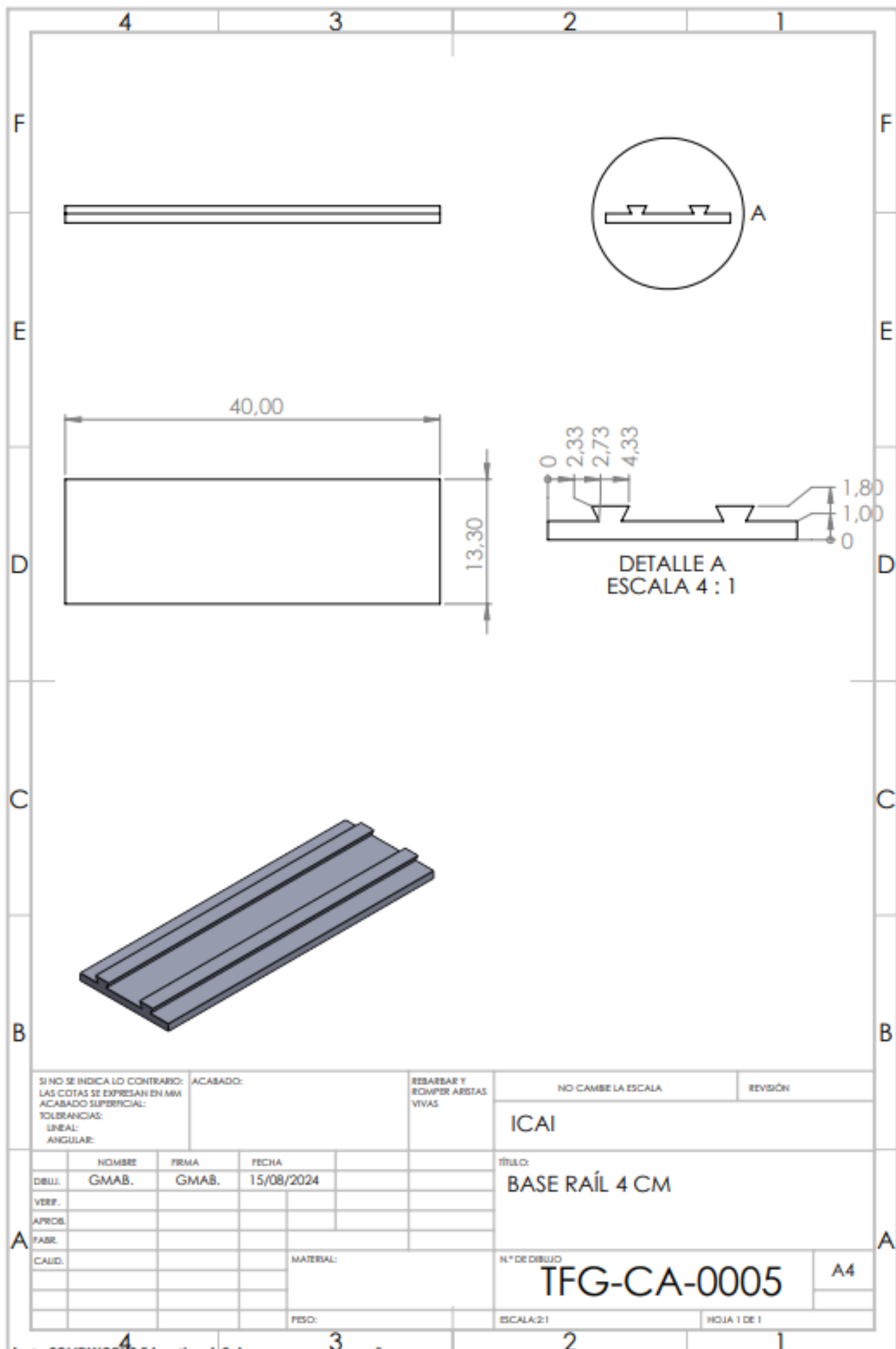
PESO:

ESCALA:2:1

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBE LA ESCALA	REVISIÓN
					ICAI	
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:		
VERIF.	GMAB.	GMAB.	15/08/2024	BASE RAÍL 13 CM		
APROB.				N.º DE DIBUJO		
FABR.				TFG-CA-0004		
CAUD.				MATERIAL:	ESCALA: 1:1	A4
				PESO:	HOJA 1 DE 1	



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

ACABADO:  
  
 RESABAR Y  
 ROMPER ARISTAS  
 VIVAS

NO CAMBE LA ESCALA

REVISIÓN

ICAI

TÍTULO:  
**BASE RAÍL 4 CM**

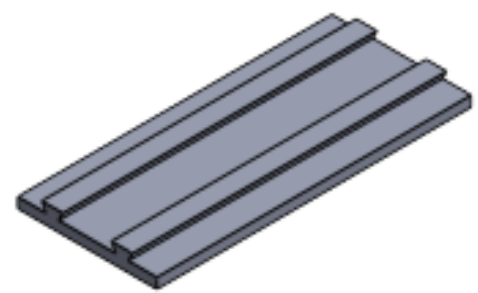
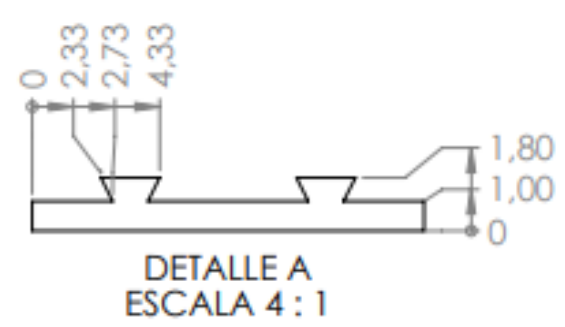
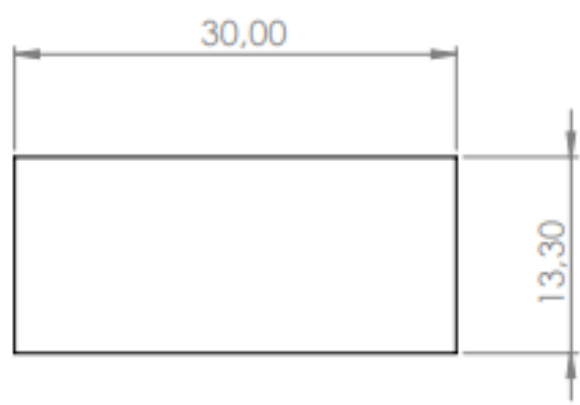
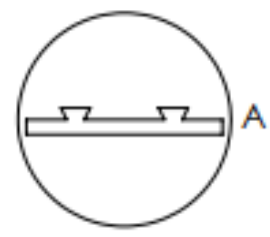
Nº DE DIBUJO  
**TFG-CA-0005**

A4

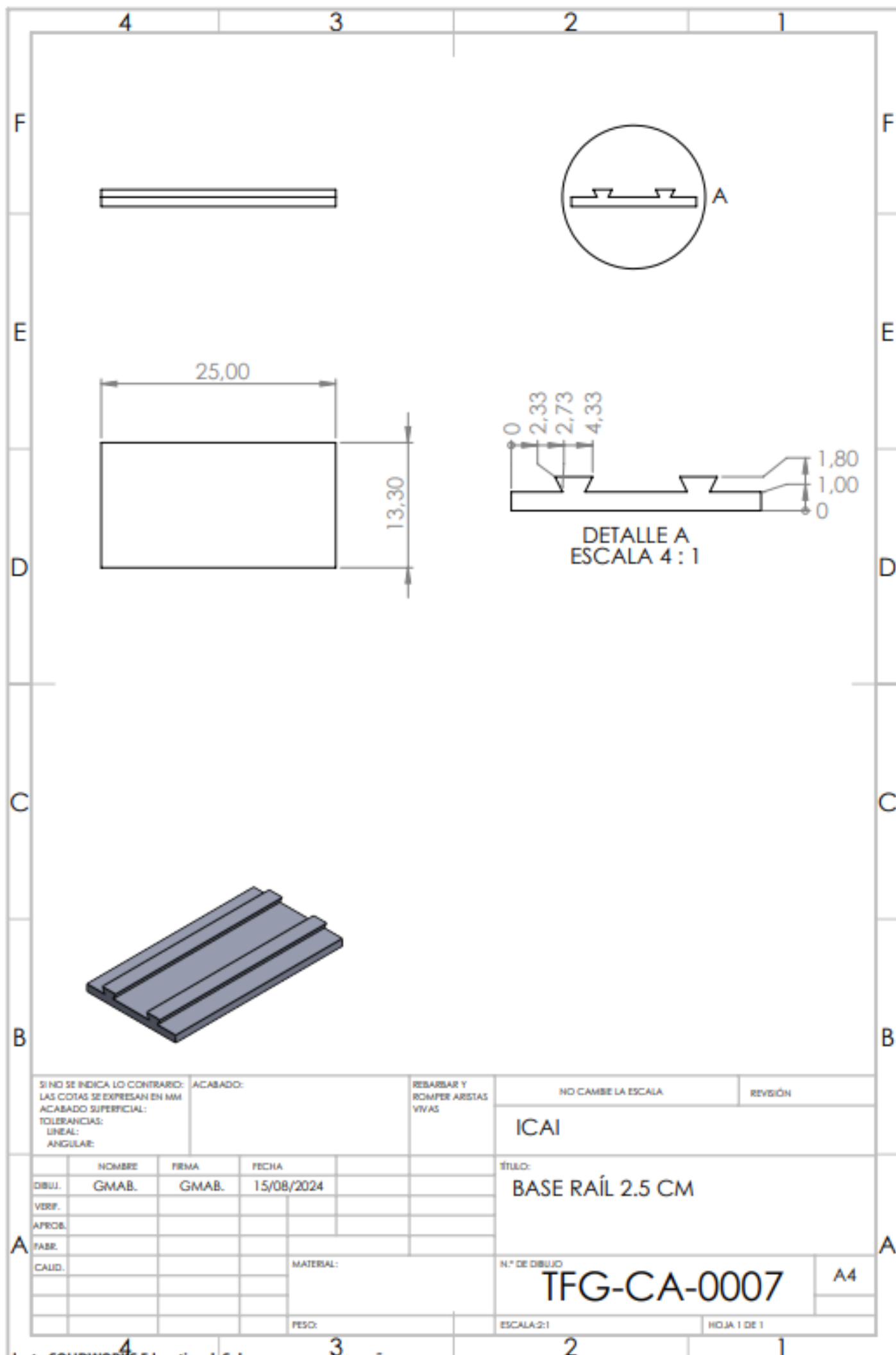
ESCALA:2:1

HOJA 1 DE 1

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	
DIBUJ.	GMAB.	GMAB.	15/08/2024	
VERIF.				
APROB.				
FABR.				
CAUID.				MATERIAL:
				PESO:



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
				ICAI	
				TÍTULO: BASE RAÍL 3 CM	
NOMBRE			FIRMA	FECHA	
DIBUJ.	GMAB.	GMAB.	15/08/2024		
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CAUD.				MATERIAL:	N.º DE DIBUJO
				TFG-CA-0006	
				ESCALA:2:1	HOJA 1 DE 1



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

ACABADO:  
  
 REBARBAR Y  
 ROMPER ARISTAS  
 VIVAS

NO CAMBE LA ESCALA REVISIÓN

ICAI

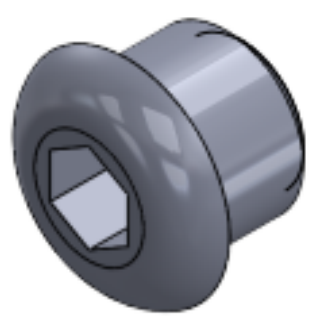
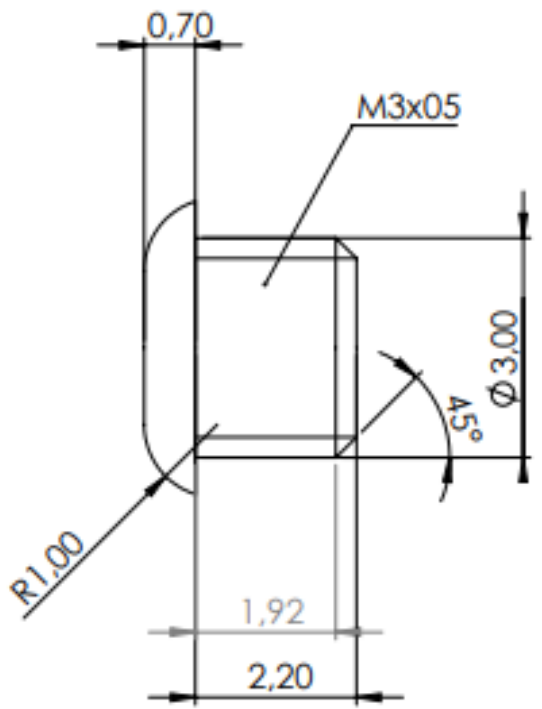
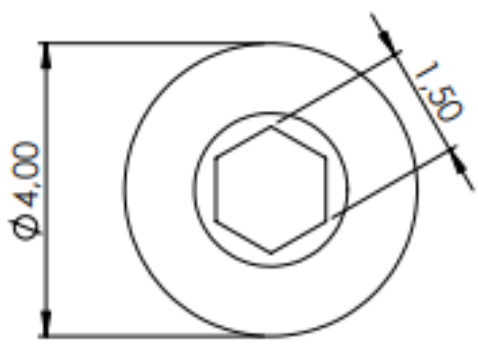
	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	GMAB.	GMAB.	15/08/2024
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO:  
 BASE RAÍL 2.5 CM

N.º DE DIBUJO

TFG-CA-0007 A4

PESO: ESCALA:2:1 HOJA 1 DE 1



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

ACABADO:

RESABAR Y  
 ROMPER ARISTAS  
 VIVAS

NO CAMBE LA ESCALA

REVISIÓN

ICAI

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	
DIBUJ.	GMAB.	GMAB.	15/08/2024	
VERIF.				
APROB.				
FABR.				
CAUD.				MATERIAL:
				PESO:

TÍTULO:  
 TORNILLO M3x05

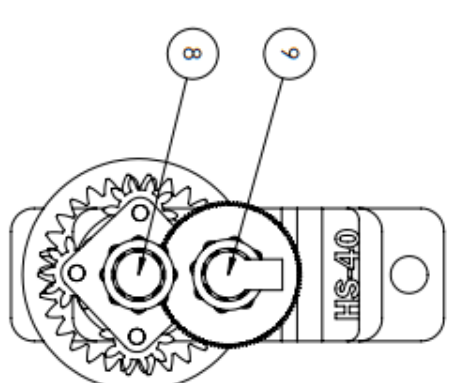
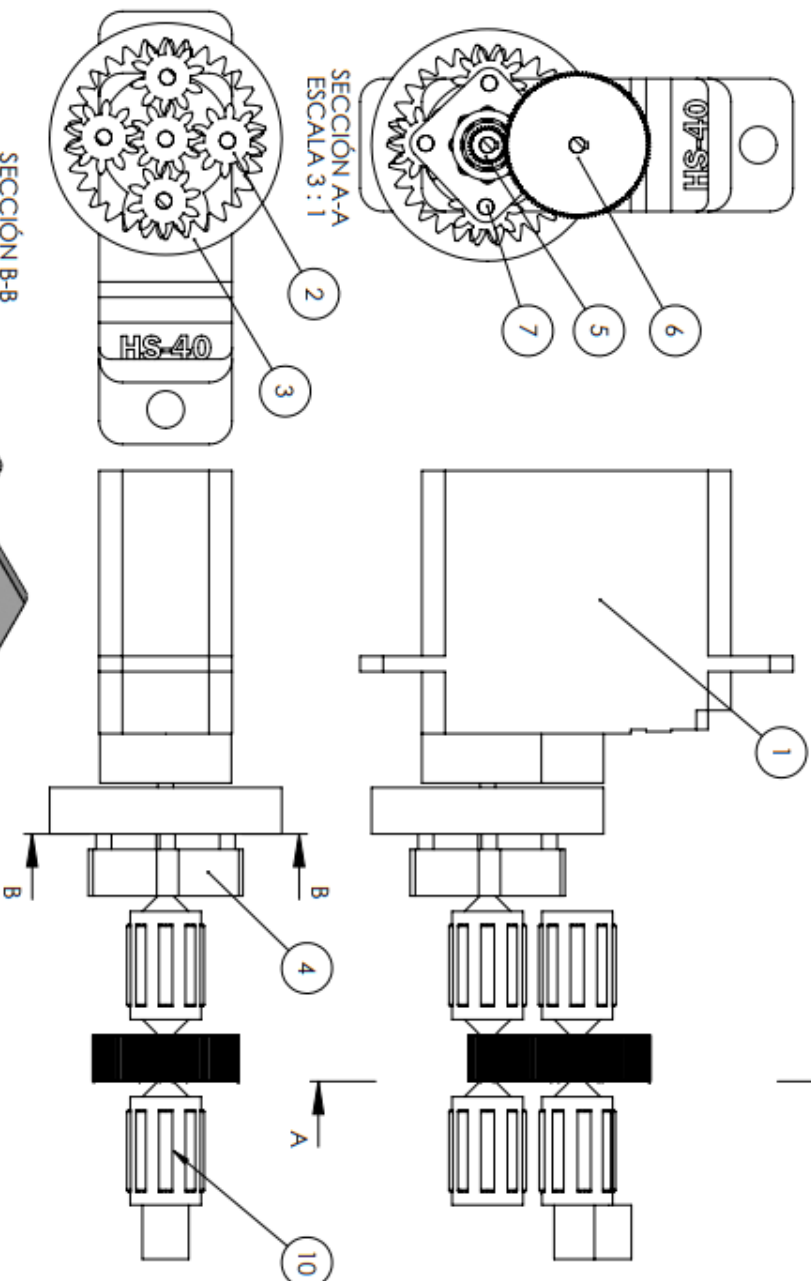
N.º DE DIBUJO  
**TFG-SO-0006**

A4

ESCALA:10:1

HOJA 1 DE 1



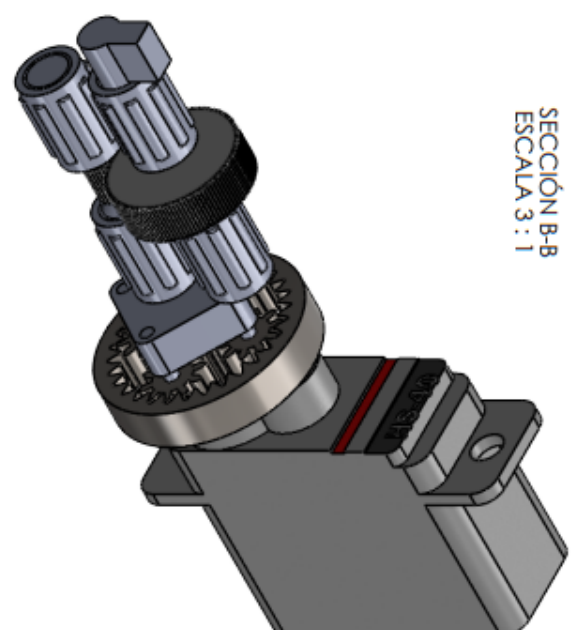


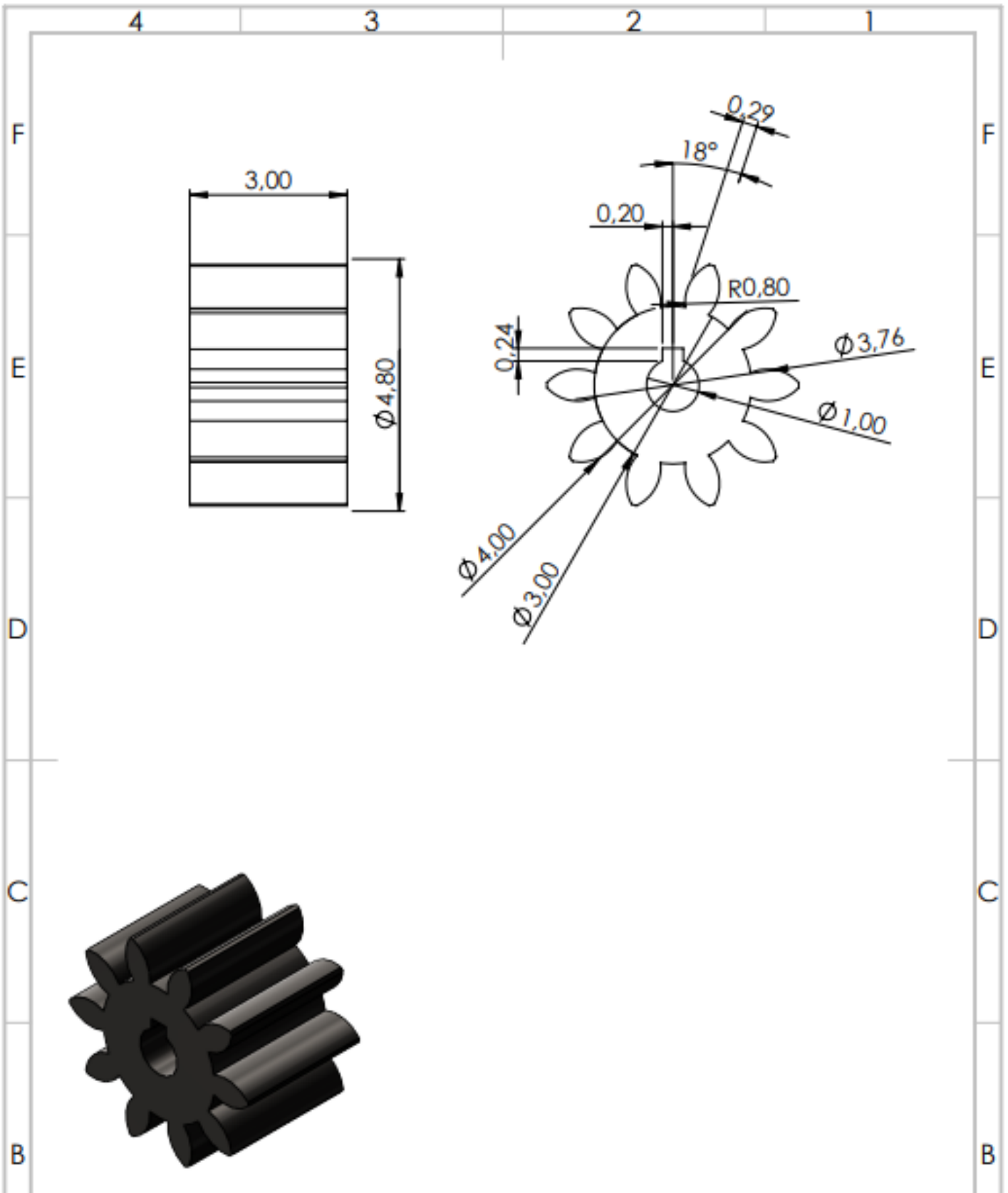
ITEM	DESCRIPTION	QTY	PART N°
10	RODAMIENTO K 3X5X7 TN	4	TFG-CC-00110
9	EJE B2	1	TFG-CC-00009
8	EJE B1	1	TFG-CC-00008
7	EJE PLANETARIO	5	TFG-CC-00007
6	RUEDA DENTADA 116T	1	TFG-CC-00006
5	RUEDA DENTADA 29T	1	TFG-CC-00005
4	PORTA PLANETAS PLANETARIO	1	TFG-CC-00004
3	CORONA PLANETARIO	1	TFG-CC-00003
2	RUEDA DENTADA 10T	5	TFG-CC-00002
1	SERVOMOTOR HS-40	1	TFG-CC-00113

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO, APLICAR: LAS COTAS SE ENTENDEN EN MM TOLERANCIAS TOLERANCIAS TITULO: DESCRIPCION: AUTORIA: FECHA:	ACABADO: NO CAMBIAR LA ESCALA REVISOR: REVISOR:
NO SE CAMBIA LA ESCALA	REVISOR:

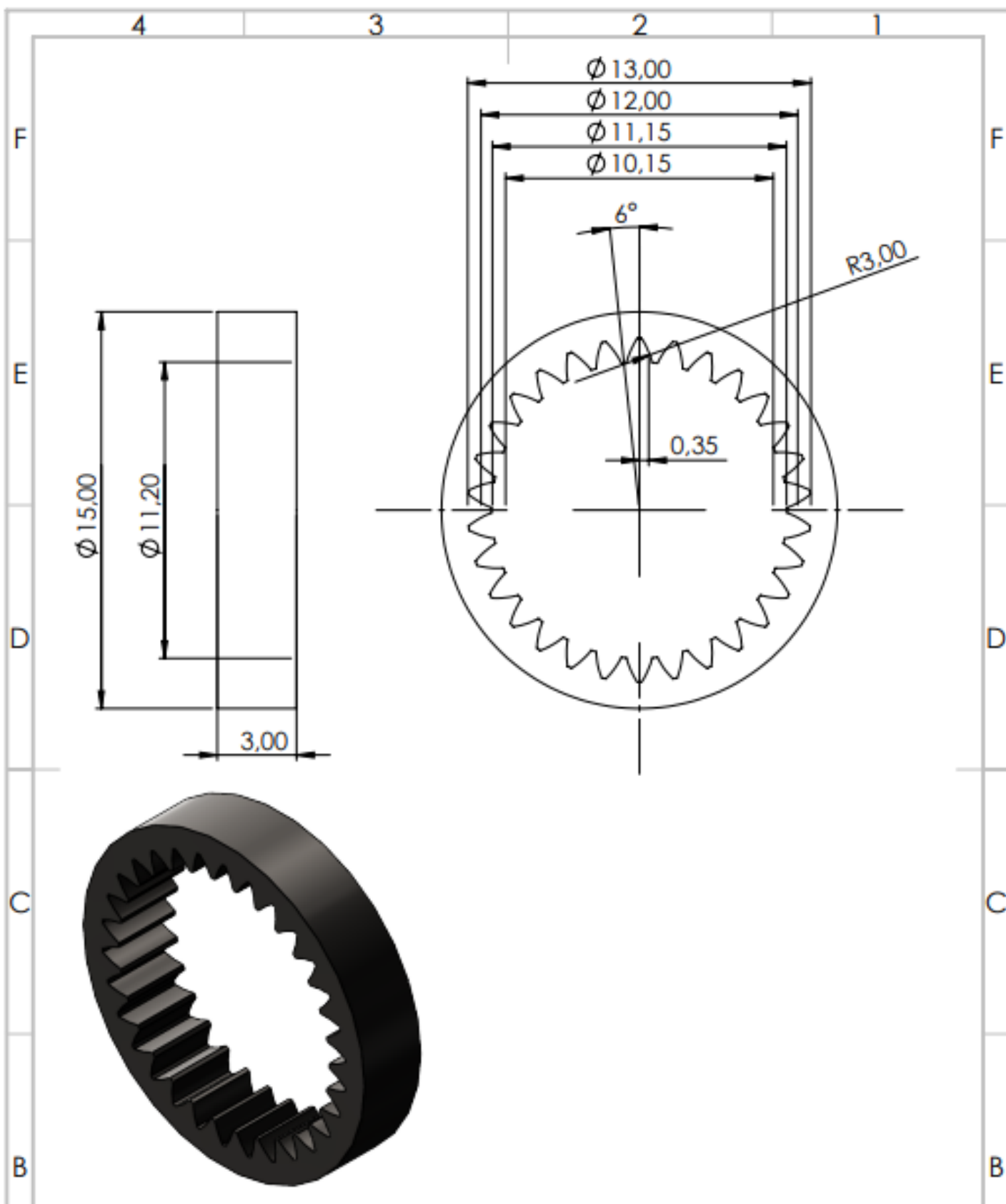
FECHA:	15/08/2024
PROYECTO:	TFG-CC-0001
DESCRIPCION:	CADENA CINEMATICA ASSEMBLY
FECHA:	
PROYECTO:	
DESCRIPCION:	

FECHA:	15/08/2024
PROYECTO:	TFG-CC-0001
DESCRIPCION:	CADENA CINEMATICA ASSEMBLY
FECHA:	
PROYECTO:	
DESCRIPCION:	

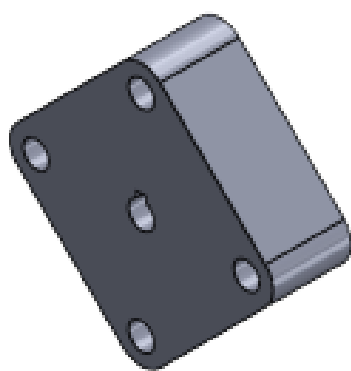
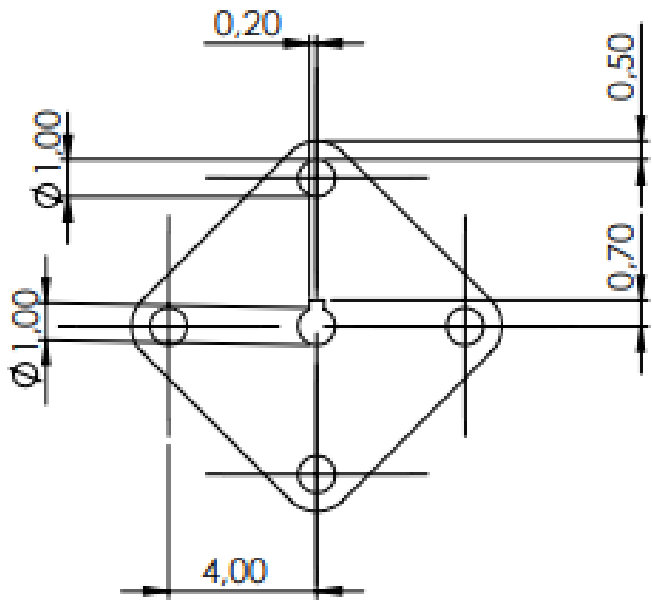
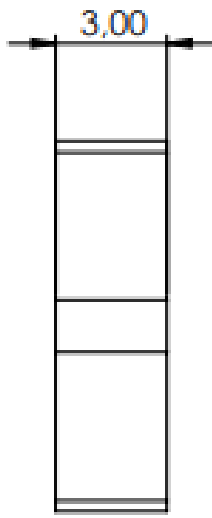




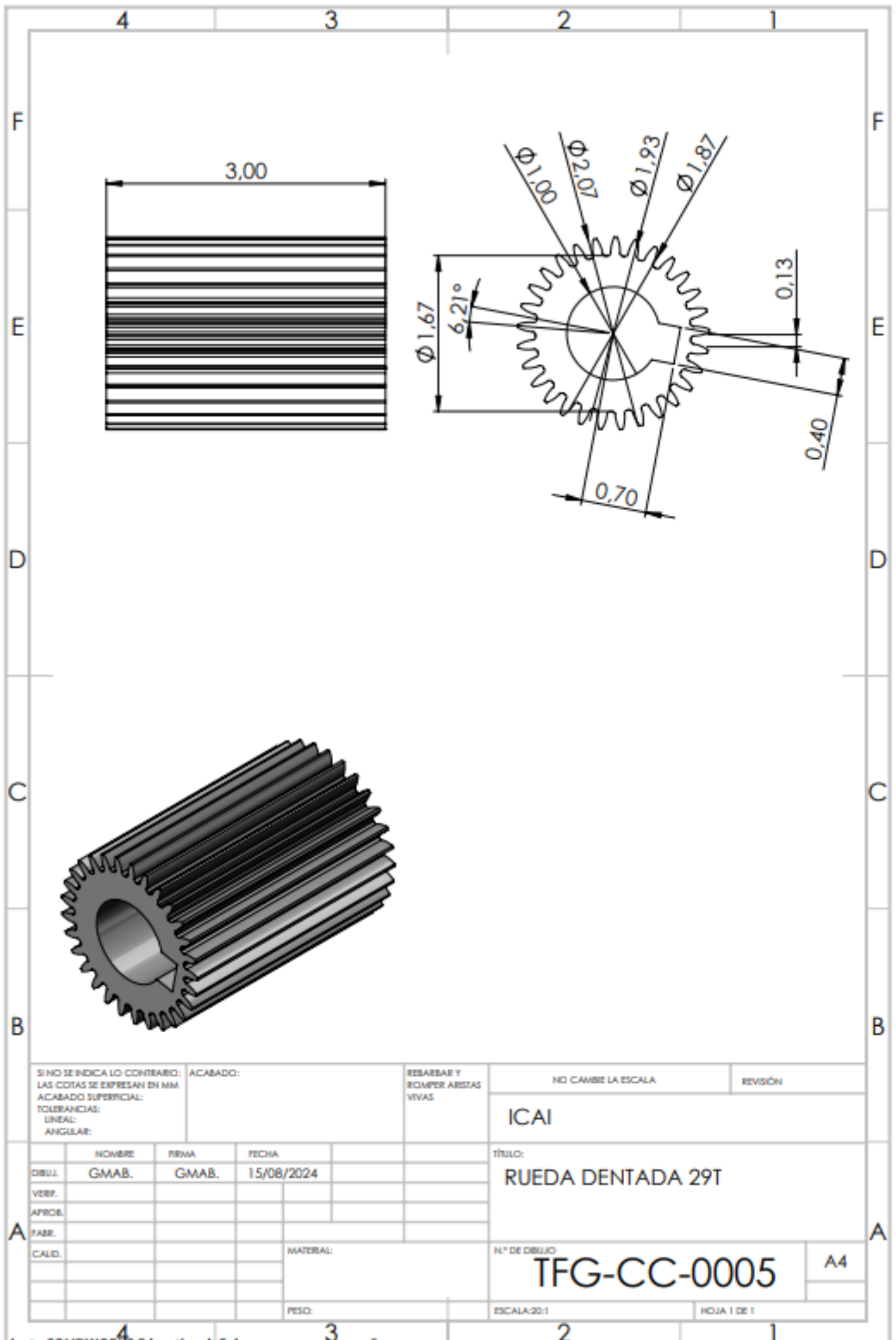
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	RESABAR Y ROMPER ARSTIAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
					ICAI	
NOMBRE			FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ.	GMAB.	GMAB.	15/08/2024	RUEDA DENTADA 10T		
VERIF.						
APROB.						
FABR.						
CAUD.				MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	A4
					TFG-CC-0002	
				PESO:	ESCALA:10:1	HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBE LA ESCALA		REVISIÓN	
DIBUJ.		NOMBRE		FECHA		TÍTULO:			
VERIF.		GMAB.		15/08/2024		CORONA PLANETARIO			
APROB.		FIRMA				N.º DE DIBUJO			
FABR.		GMAB.				TFG-CC-0003			
CALID.				MATERIAL:		ESCALA: 5:1		A4	
				PESO:		HOJA 1 DE 1			



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBE LA ESCALA	REVISIÓN
				ICAI	
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
GMAB.	GMAB.		15/08/2024	PORTAPLANETAS PLANETARIO	
VERIF.				N.º DE DIBUJO	
APROB.				TFG-CC-0004	
FABR.				ESCALA: 1	A4
CALD.				HOJA 1 DE 1	
			MATERIAL:		
			PESO:		



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

ACABADO:

RESBARBAR Y  
 ROMPER ARISTAS  
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

ICAI

TÍTULO:

RUEDA DENTADA 29T

	NOMBRE	REVA	FECHA
DIBUJ.	GMAB.	GMAB.	15/08/2024
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

MATERIAL:

N.º DE DIBUJO

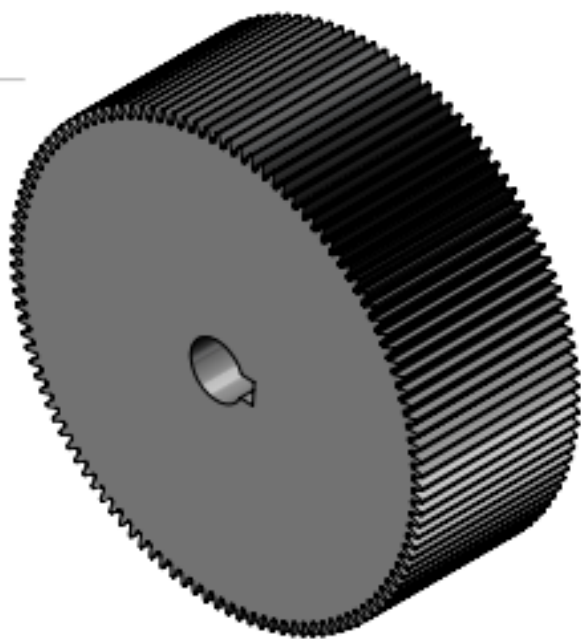
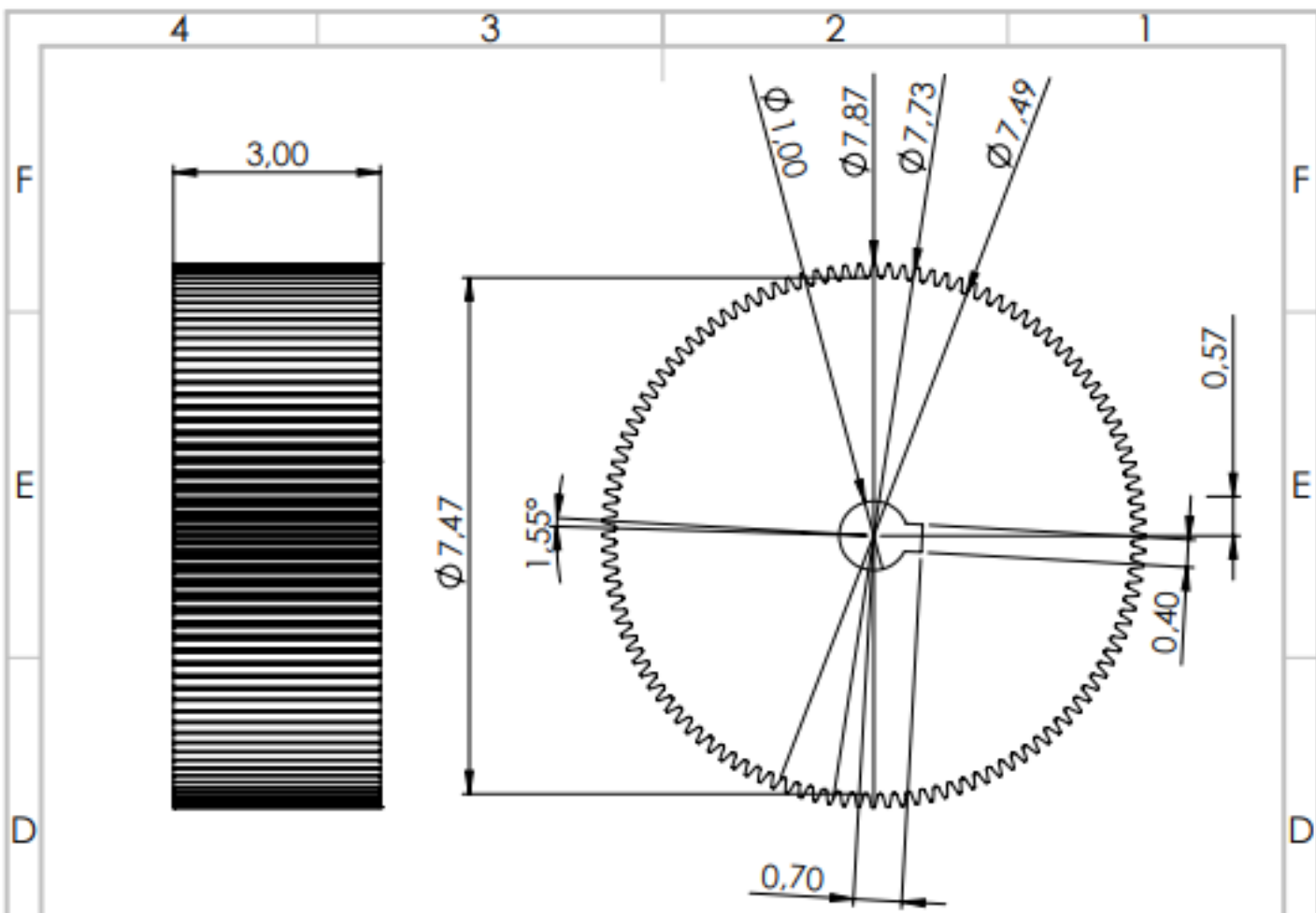
TFG-CC-0005

A4

PESO:

ESCALA:20:1

HOJA 1 DE 1



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

ACABADO:

RESARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

ICAI

TÍTULO:

RUEDA DENTADA 116T

N.º DE DIBUJO

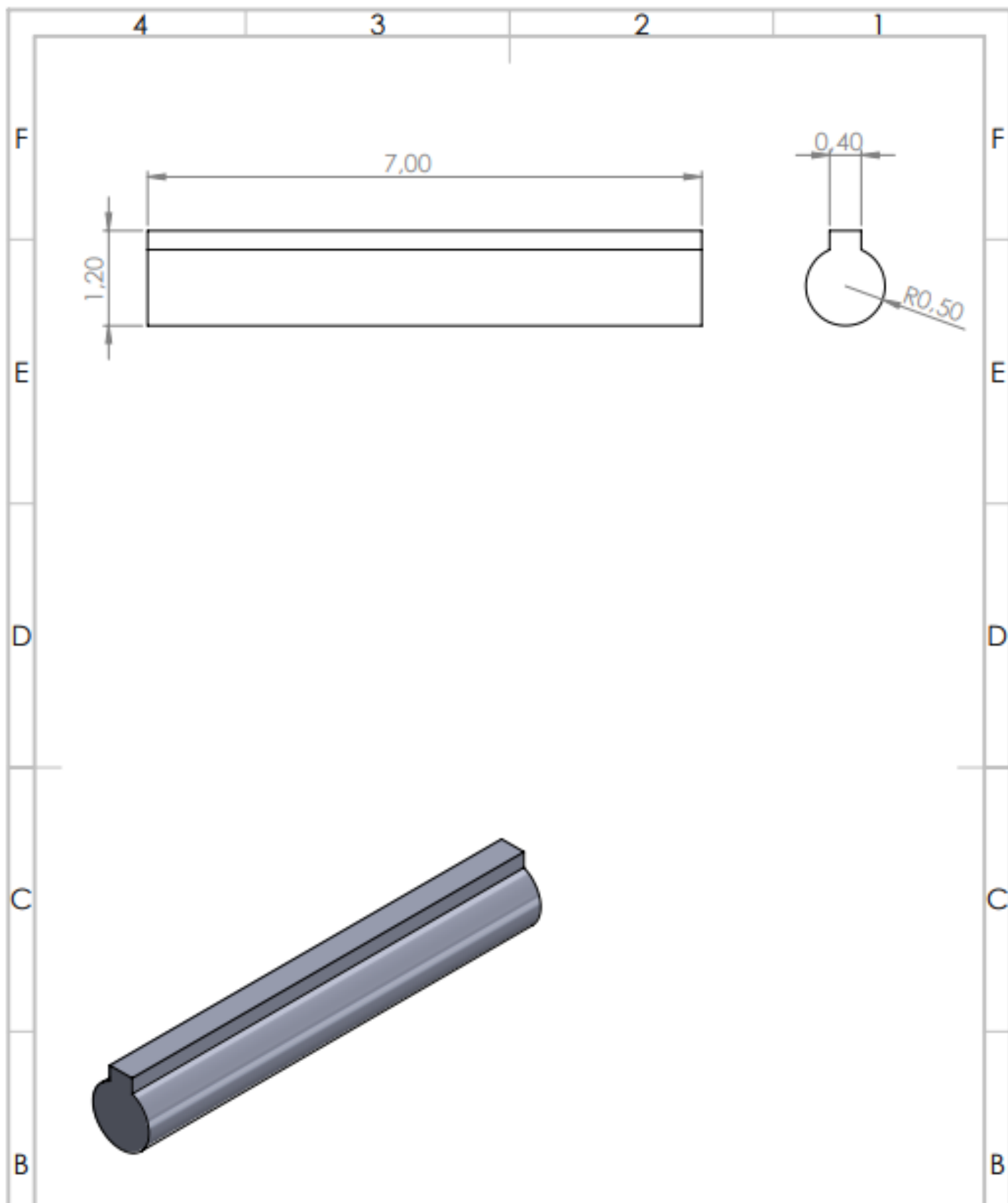
TFG-CC-0006

A4

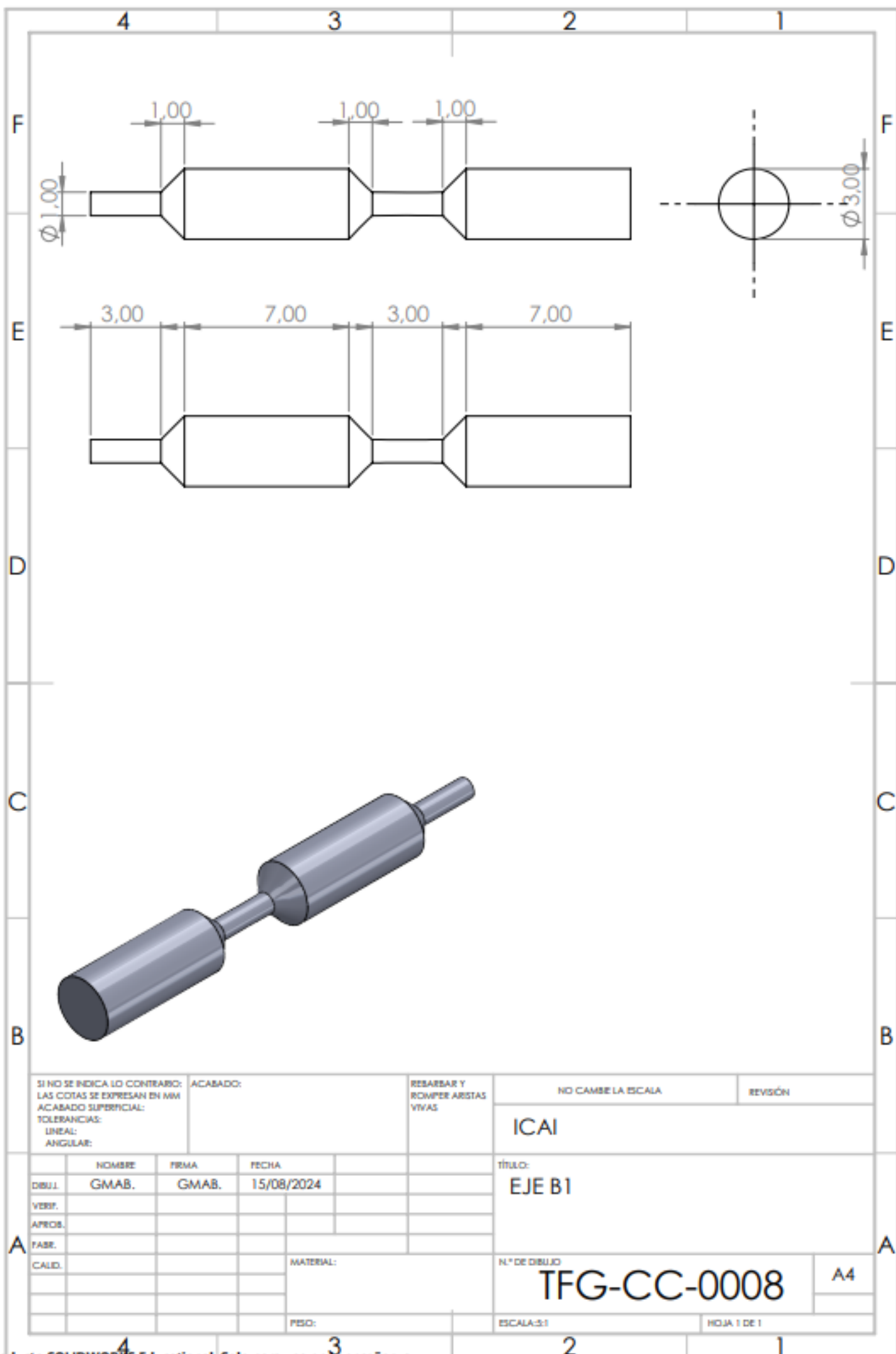
PESO:

ESCALA: 10:1

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	RESABAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
					ICAI	
					TÍTULO: EJE PLANETARIO	
NOMBRE			FIRMA	FECHA	N.º DE DIBUJO	
DIBUJ. GMAB.			GMAB.	15/08/2024	TFG-CC-0007	
VERIF.					A4	
APROB.					ESCALA:1:1	
FABR.					HOJA 1 DE 1	
CALID.				MATERIAL:		
				PESO:		



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

ACABADO:

RESABAR Y  
 ROMPER ARISTAS  
 VIVAS

NO CAMBE LA ESCALA

REVISIÓN

ICAI

TÍTULO:

EJE B1

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	GMAB.	GMAB.	15/08/2024
VERIF.			
APROS.			
FASE.			
CALID.			

MATERIAL:

N.º DE DIBUJO

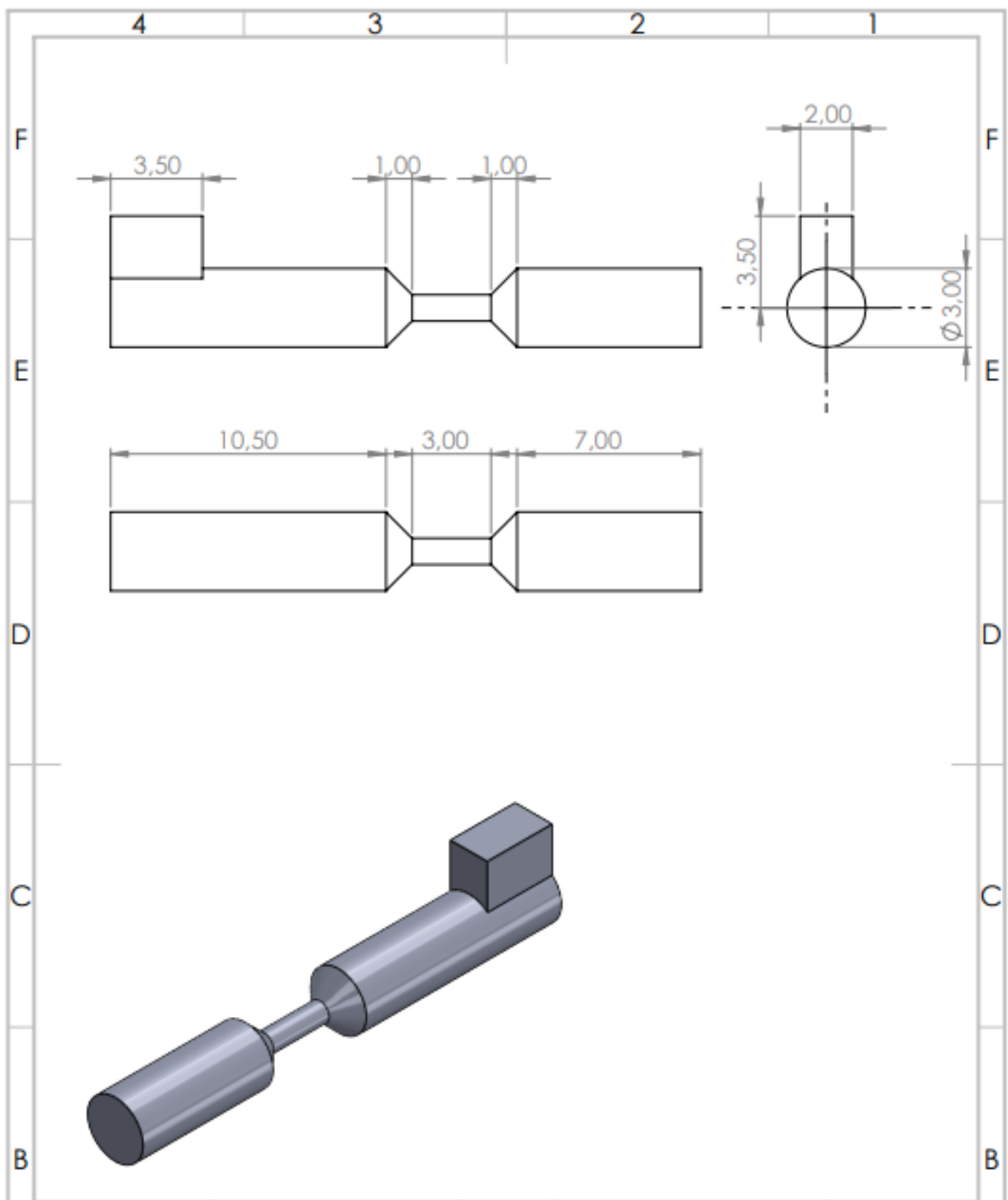
TFG-CC-0008

A4

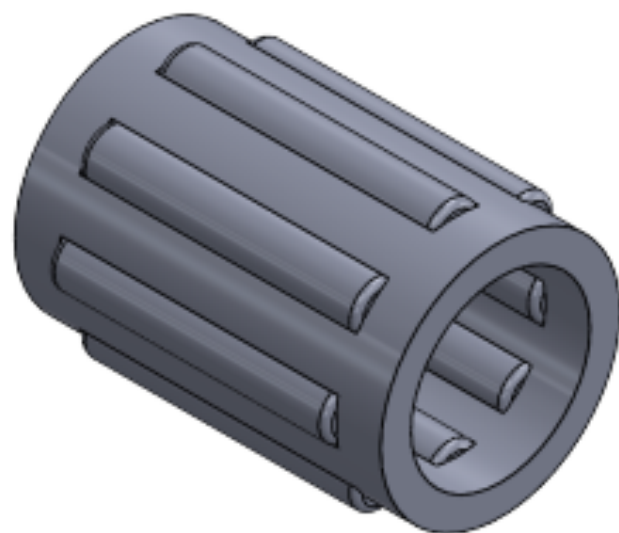
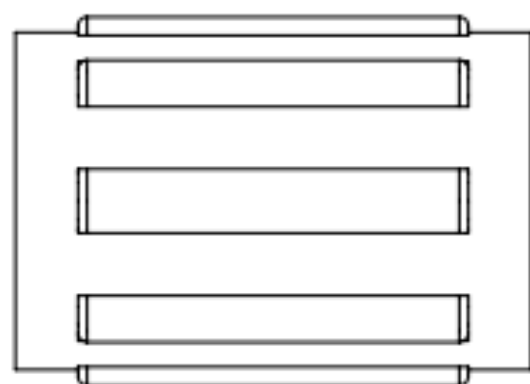
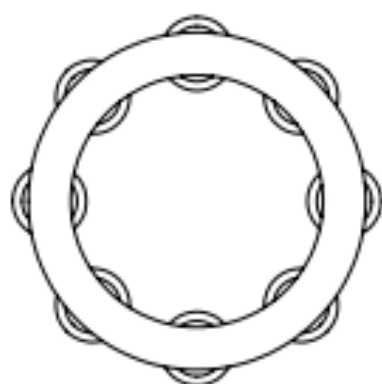
PESO:

ESCALA: 1:1

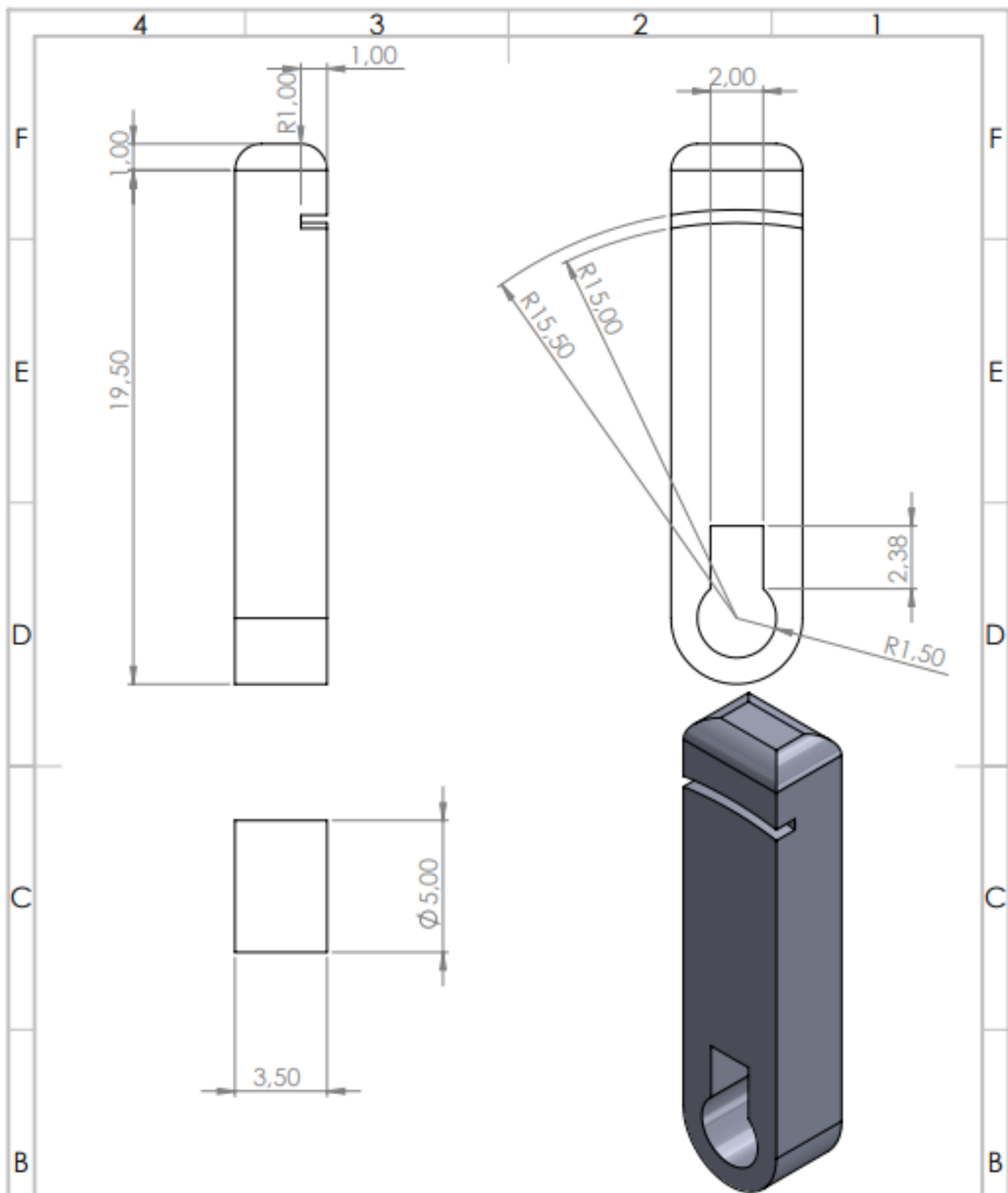
HOJA 1 DE 1



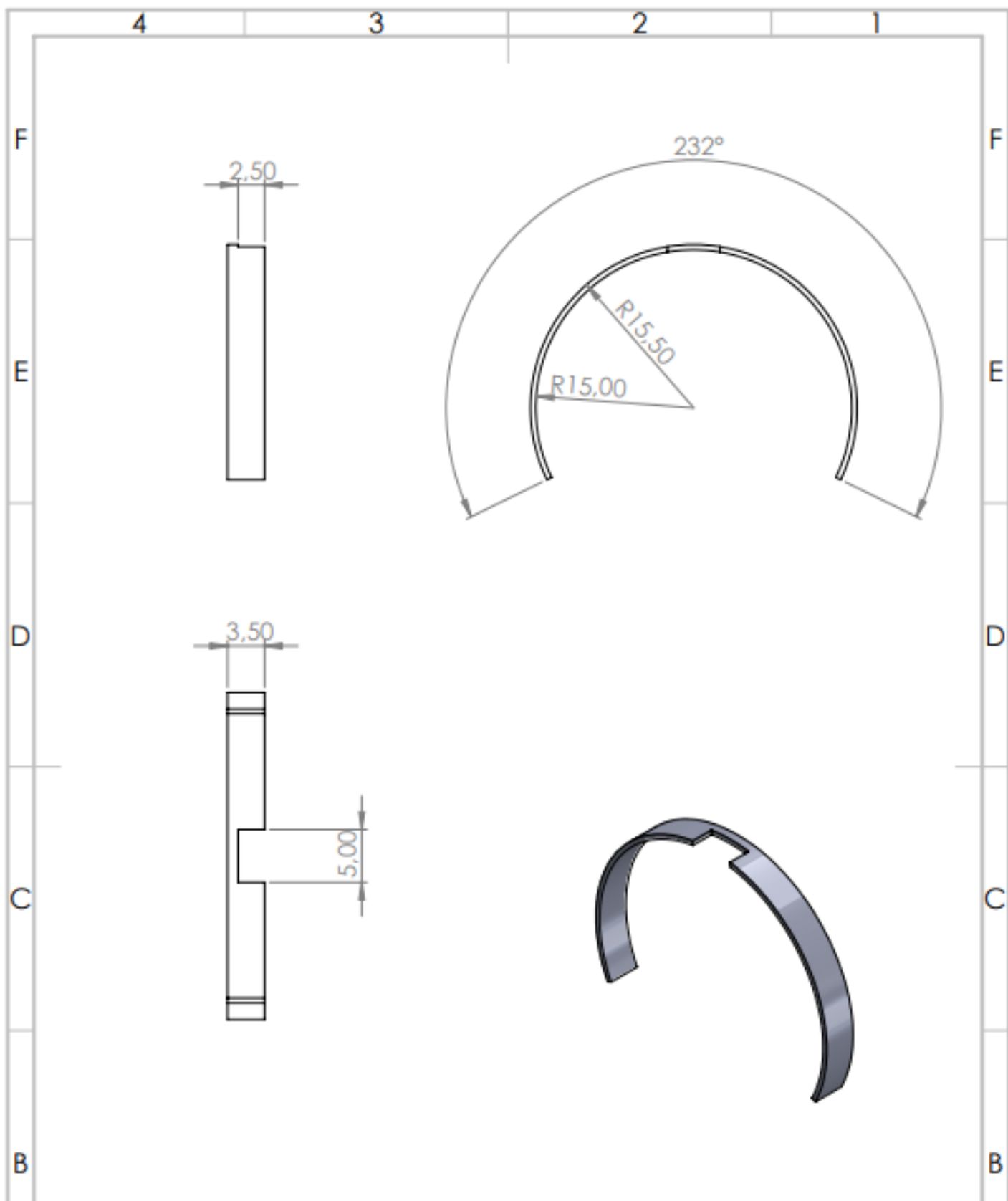
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	RESABAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
				ICAI	
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
VERIF.	GMAB.	GMAB.	15/08/2024	EJE B2	
APROB.				N.º DE DIBUJO	
FABR.				TFG-CC-0009	
CALD.			MATERIAL:	A4	
			PISO:	ESCALA: 1:1	HOJA 1 DE 1



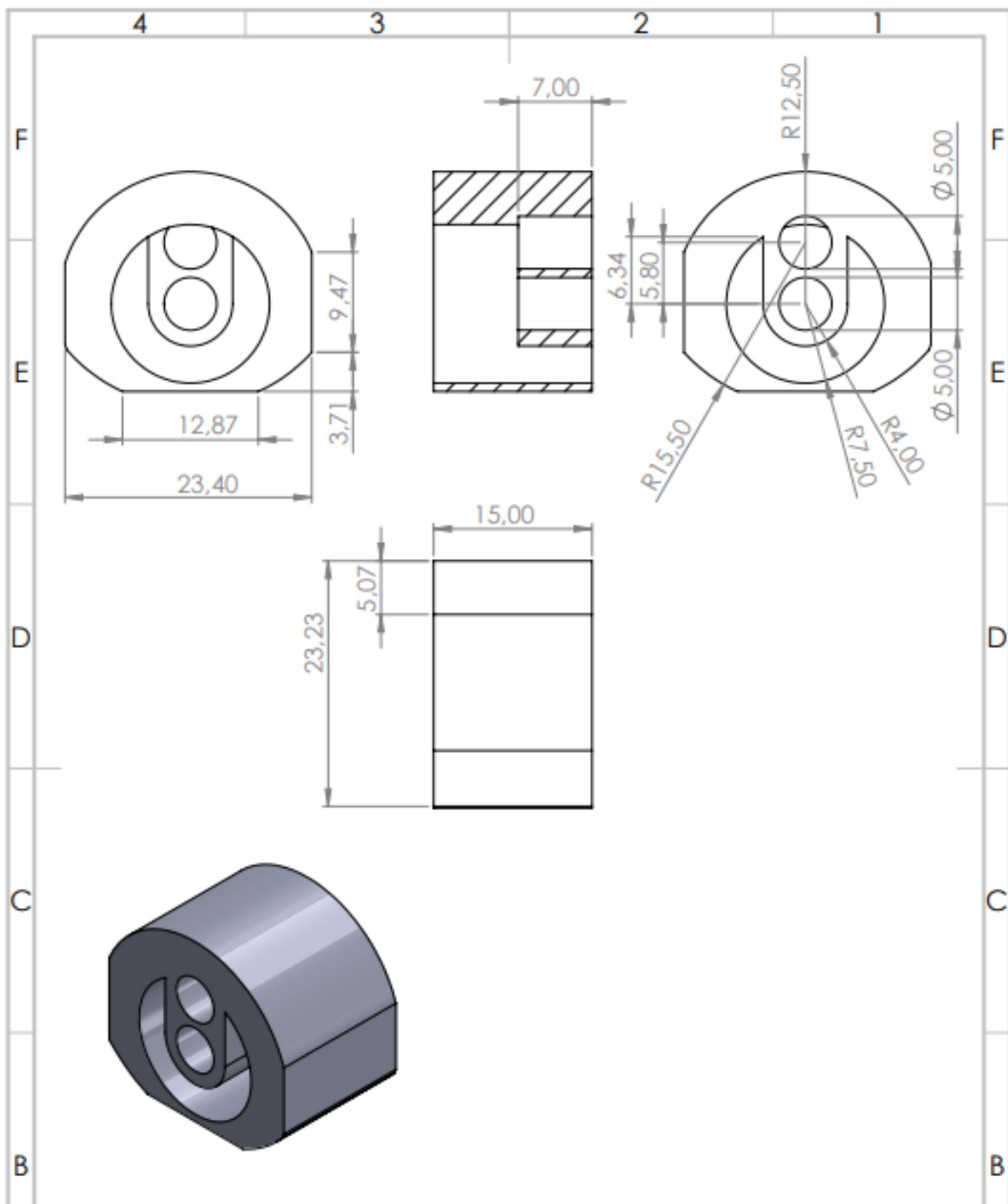
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARSTIAS VIVAS	NO CAMBE LA ESCALA	REVISIÓN																							
					ICAI																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>NOMBRE</th> <th>FIRMA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DIBUJ.</td> <td>GMAB.</td> <td>GMAB.</td> <td>15/08/2024</td> </tr> <tr> <td>VERIF.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>APROB.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FABR.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CALID.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					NOMBRE	FIRMA	FECHA	DIBUJ.	GMAB.	GMAB.	15/08/2024	VERIF.				APROB.				FABR.				CALID.				TÍTULO: RODAMIENTO K 3X5X7 TN	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA																										
DIBUJ.	GMAB.	GMAB.	15/08/2024																										
VERIF.																													
APROB.																													
FABR.																													
CALID.																													
				N.º DE DIBUJO TFG-CC-0010		A4																							
				ESCALA: 10:1		HOJA 1 DE 1																							



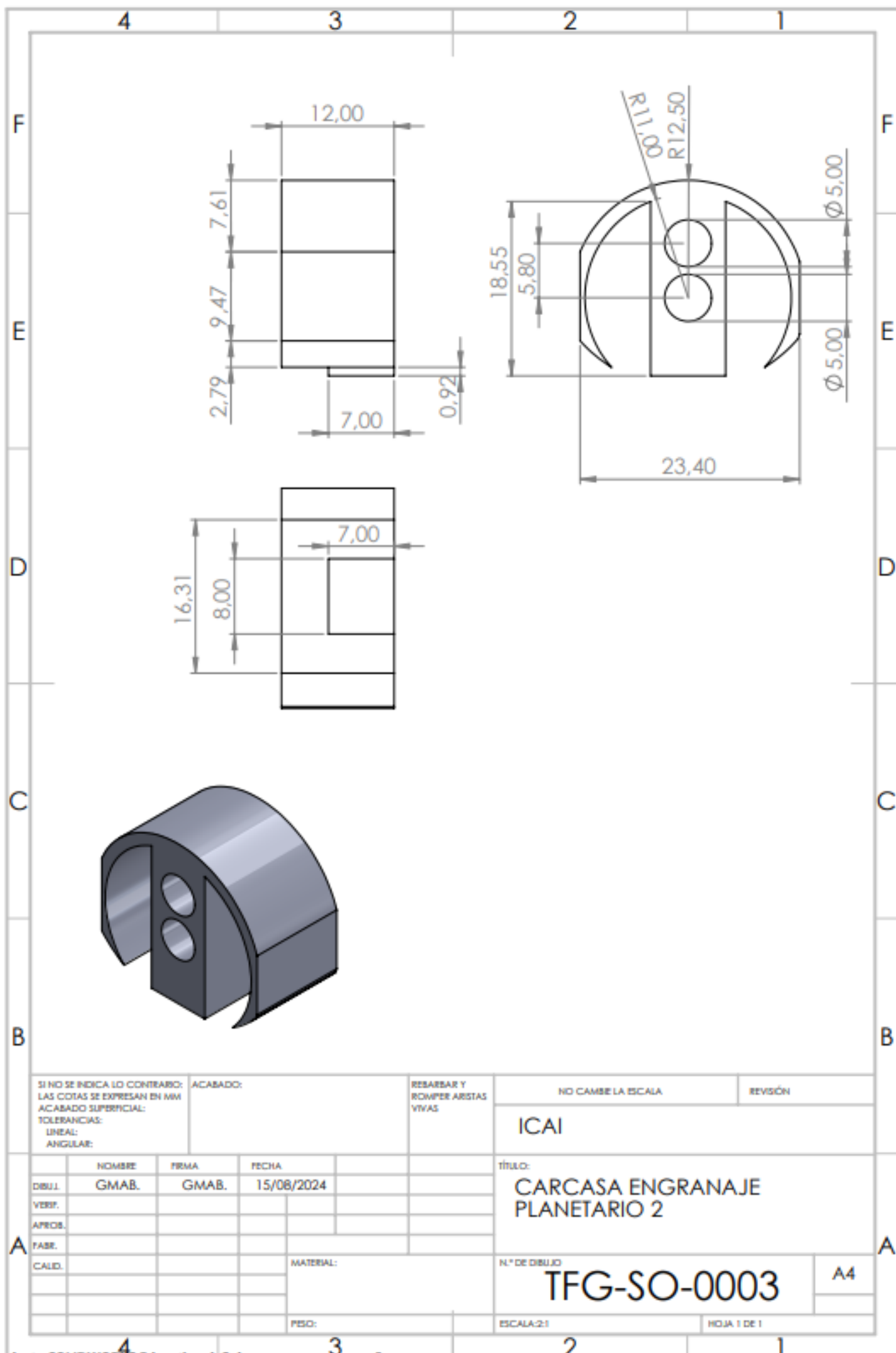
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	RESABAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
					ICAI	
					TÍTULO: INDICADOR DIRECCIÓN	
					N.º DE DIBUJO TFG-CC-0011	
					ESCALA: 5:1	
					HOJA 1 DE 1	
MATERIAL:						
PESO:						



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	RESABAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBE LA ESCALA	REVISIÓN
				ICAI	
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
GMAB.	GMAB.	15/08/2024		CIERRE APERTURA	
VERIF.				N.º DE DIBUJO	
APROB.				TFG-CC-0012	
FABR.				A4	
CALID.			MATERIAL:	ESCALA:2:1	
			PESO:	HOJA 1 DE 1	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		RESABAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBE LA ESCALA		REVISIÓN	
						ICAI			
						TÍTULO: CARCASA ENGRANAJE PLANETARIO 1			
						N.º DE DIBUJO TFG-SO-0002			
						ESCALA: 2:1		HOJA 1 DE 1	
NOMBRE		FIRMA		FECHA					
DIBUJ. GMAB.		GMAB.		15/08/2024					
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CALD.						MATERIAL:			
						PISO:			



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

ACABADO:

RESABAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VVVVS

NO CAMBE LA ESCALA

REVISIÓN

ICAI

TÍTULO:

CARCAZA ENGRANAJE  
PLANETARIO 2

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	GMAB.	GMAB.	15/08/2024
VERIF.			
APROS.			
FABR.			
CALID.			

MATERIAL:

N.º DE DIBUJO

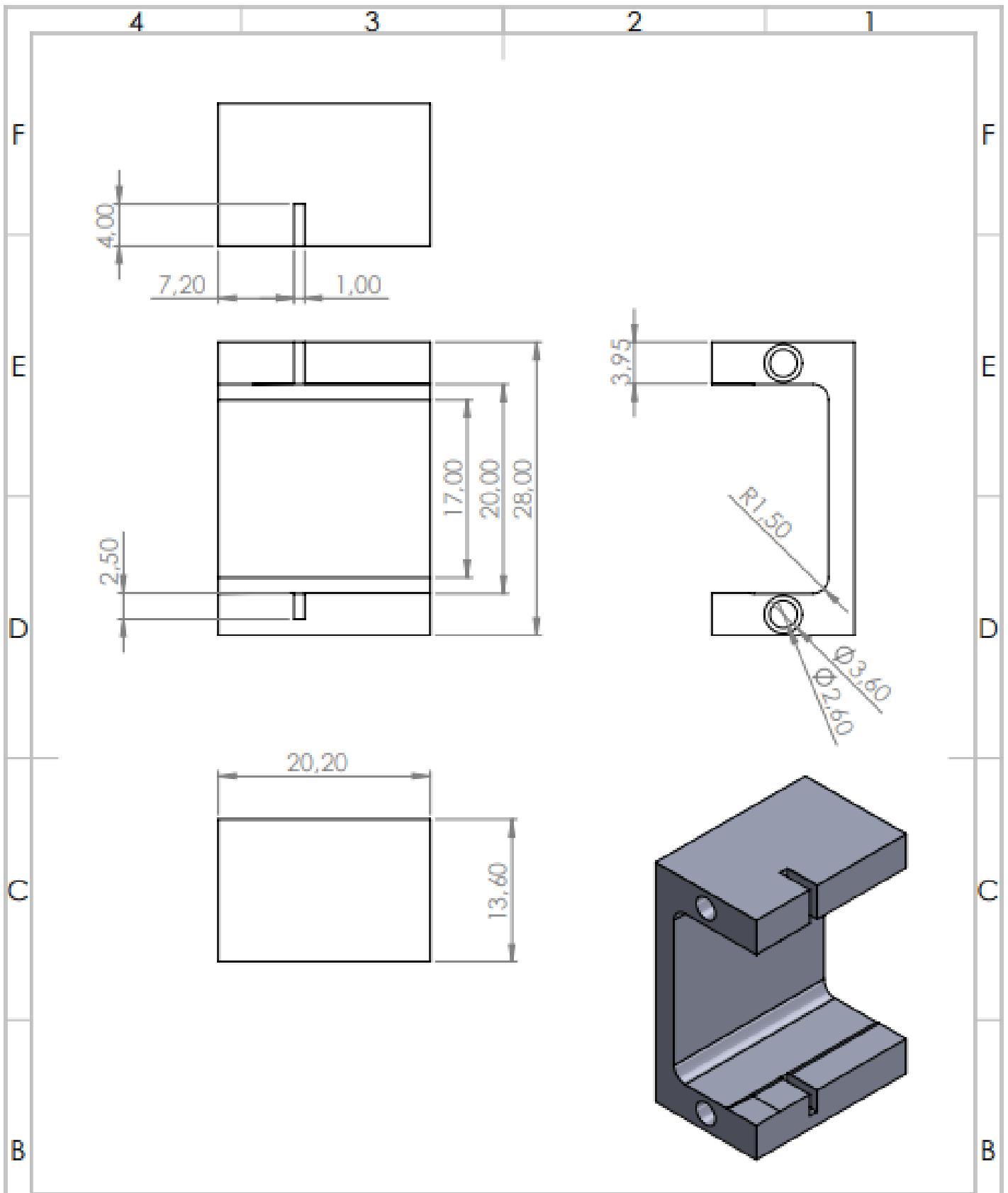
TFG-SO-0003

A4

PESO:

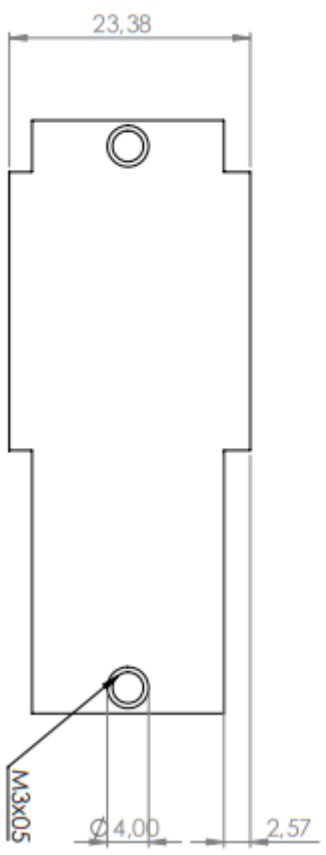
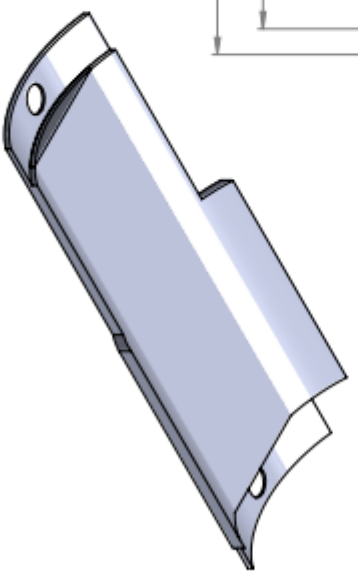
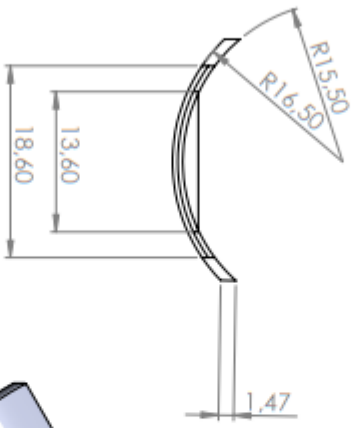
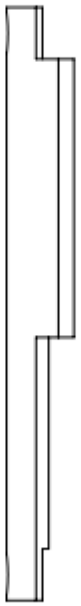
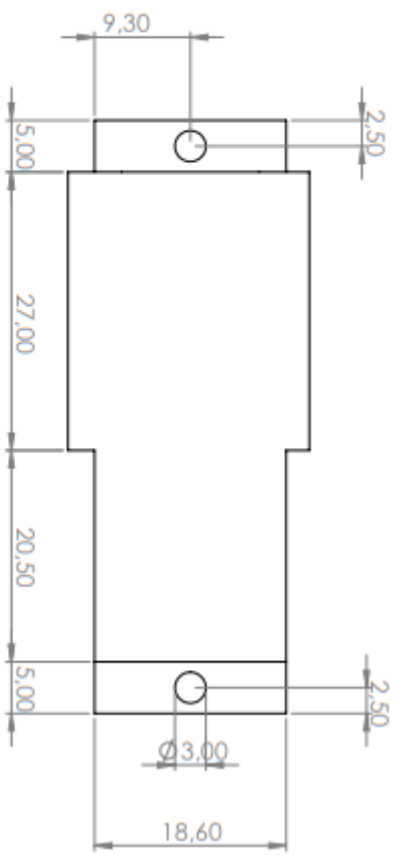
ESCALA:2:1

HOJA 1 DE 1

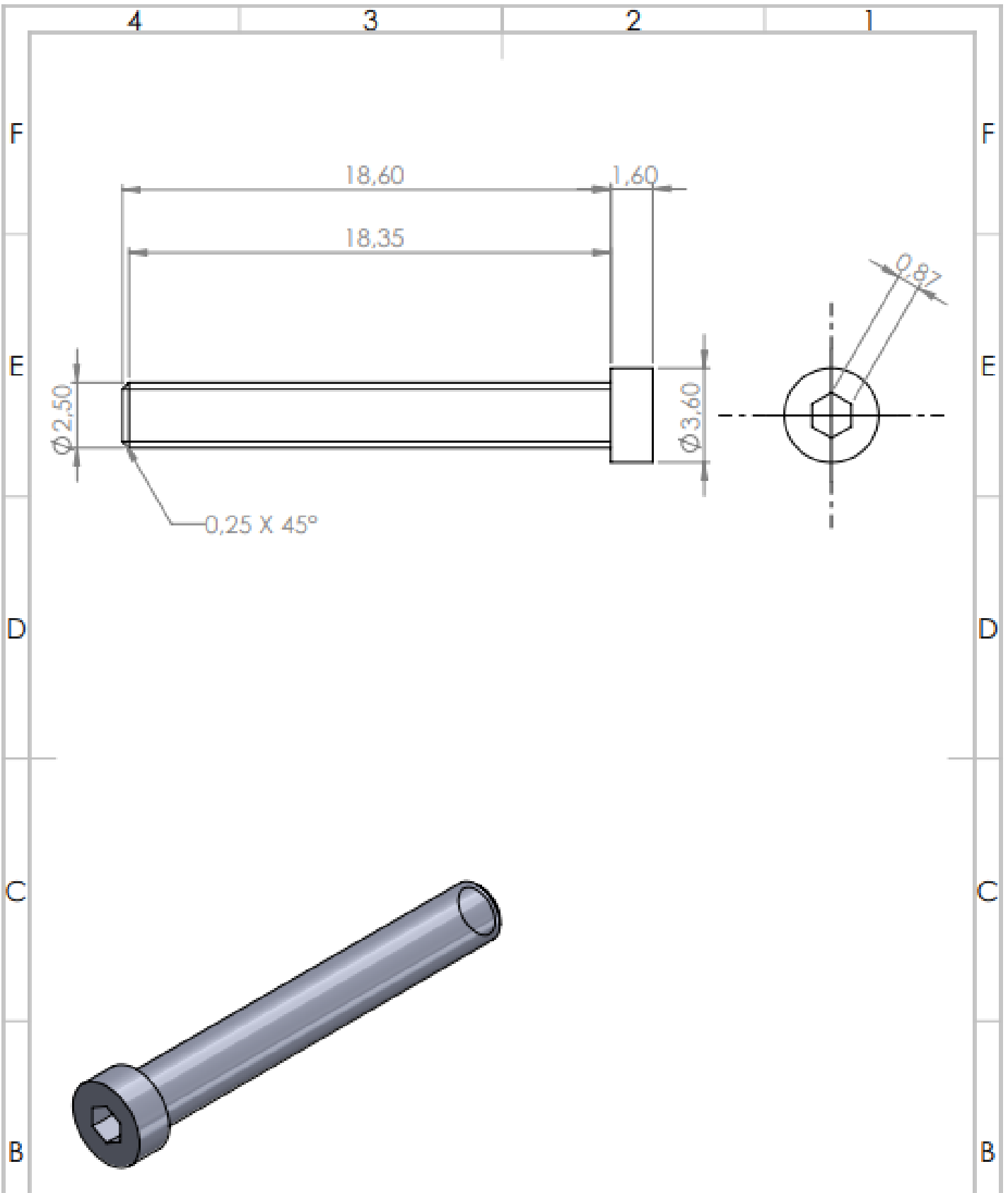


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM. ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARESTAS VVVVS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
						ICAI	
						TÍTULO: BASE SERVO	
						N.º DE DIBUJO TFG-SO-0004	
						ESCALA: 2:1	
						HOJA: 1 DE 1	

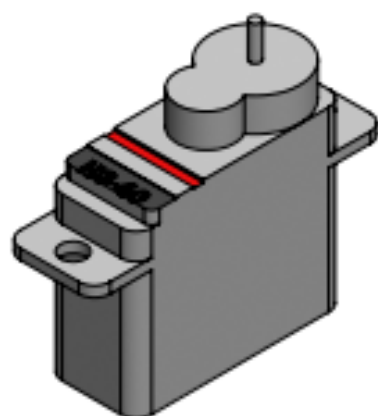
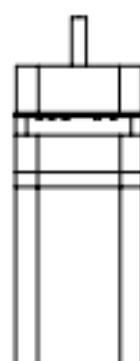
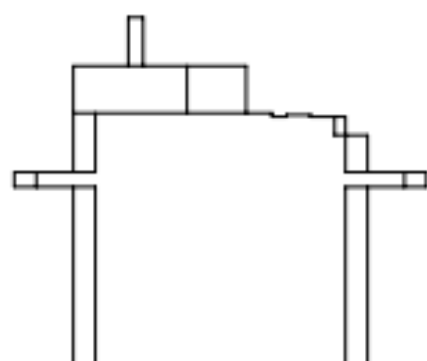
	NOMBRE	FECHA	
DIBUJ.	GMAB.	15/08/2024	
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CAID.			
		MATERIAL:	
		PESO:	



SINO SE INDICA LO CONTRARIO, ACABADO: LAS CANGAS SE ENTORNAN EN SU TOLERANCIA		ACABADO:		REBARBAR Y CORTE ARISTAS VIVA		NO CAMBIAR LA ESCALA		VERSION	
TITULO: DESCRIPCIÓN:		NOMBRE GMA/B.		FECHA GMA/B.		FECHA GMA/B.		VERSION	
AUTOR:		DISEÑO: GMA/B.		15/08/2024					
MATERIAL:		VERSIÓN:							
CALIBRO:		AUTOR:							
		MATERIAL:							
		CALIBRO:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							
		FECHA:							
		MATERIAL:							



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISION
					ICAI	
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:		
GMAB.	GMAB.		15/08/2024	TORNILLO M2x04x20.2		
VERIF.				N° DE DIBUJO		
APROB.				TFG-SO-0007		
TABL.				MATERIAL:	A4	
CAID.				PISO:	ESCALA: 1:1	HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLENCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		RESABAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBE LA ESCALA		REVISIÓN	
						ICAI			
DIBUJ.		NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:	
GMAB.		GMAB.		15/08/2024				SERVOMOTOR HS-40	
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CAUD.						MATERIAL:		N.º DE DIBUJO	
								TFG-CC-0013	
						PESO:		ESCALA:2:1	
								HOJA 1 DE 1	
								A4	

