



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Diseño de un Sistema de Energía y Control de la Orientación de un Planeador Submarino

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Ignacio Vidal Medina

DIRECTORES: Carlos Pérez Collazo

CURSO ACADÉMICO: 2021-2022

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño de un Sistema de Energía y Control de la Orientación de
un Planeador Submarino*

Grado en Ingeniería Mecánica

Intensificación en Tecnología Naval

Cuerpo General

UniversidadeVigo

RESUMEN

La Revolución Tecnológica 4.0 en la que nos vemos inmersos, ha hecho evolucionar el concepto de la guerra. La incorporación de vehículos autónomos capaces de operar sin intervención humana se hace resaltar en la Guerra Antisubmarina, donde la recolección de datos del entorno es una actividad de vital importancia para operar con seguridad y lograr el dominio del mar. El glider submarino es un vehículo autónomo capacitado para realizar esta misión mientras se desplaza planeando sigilosamente por el agua. Este movimiento se produce cambiando la flotabilidad del sistema para crear un desplazamiento vertical el cual, gracias a las alas que posee, genera a su vez uno horizontal. Este vehículo es comúnmente empleado en el ámbito de la investigación científica para la recolección de datos relativos a las aguas en las que navega. En el caso de este proyecto, el enfoque que se le desea dar es dentro de su incorporación en las Fuerzas Armadas como batitermógrafo autónomo, para la recolección de datos de forma masiva. El trabajo que se va a realizar a continuación consiste en el diseño de una sección de 120 mm para aplicarla a un glider modular, compuesta por el sistema de energía, y por el control de orientación en el plano horizontal contra el balance y cabezada.

PALABRAS CLAVE

Underwater Glider, Vehículo Autónomo, Diseño Digital, Impresión 3D

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer y dirigirme a aquellas personas que durante estos años de Escuela me han acompañado, apoyado, y animado. A mis compañeros, de los que me llevo grandes amigos de vida y que tantas veces me han aconsejado en mis decisiones del día a día. Sin su apoyo hubiera sido más difícil llegar hasta aquí.

Por supuesto, a mis profesores civiles y militares, que me han dado los conocimientos necesarios para formarme en mi futuro profesional. En especial a mi tutor, Don Carlos Pérez Collazo, por guiarme estos últimos meses con paciencia, y darme a conocer el mundo de los gliders. A todos ellos, gracias por lo aprendido, por su esfuerzo en enseñarnos, y por transmitirnos sus conocimientos.

Finalmente, a mi familia. Gracias por ser un modelo a seguir a lo largo de mi vida, por estar siempre ahí, y por formarme en valores tan necesarios para la vida.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	5
Índice de Tablas.....	7
1 Introducción.....	9
1.1 Antecedentes	9
1.2 Objetivos	12
1.3 Estructura del Trabajo	12
2 Estado del Arte	13
2.1 Introducción	13
2.2 La Guerra Antisubmarina.....	13
2.3 Vehículos autónomos	16
2.4 Vehículos autónomos submarinos	20
2.4.1 Limitación en las Comunicaciones	20
2.4.2 Clasificación	21
2.5 El Glider	23
2.5.1 Concepto	23
2.5.2 Principio de Movimiento	23
2.5.3 Cuerpo del Glider	25
2.5.4 Características y atributos.....	28
2.5.5 Funcionalidades del Glider	30
2.5.6 Tendencias futuras	31
3 Diseño Conceptual	35
3.1 Introducción	35
3.2 Sistema de Guiado	35
3.3 Requerimientos, Condiciones	36
3.4 Fase Inicial	37
3.5 Paquete Soporte de Baterías.....	38
3.5.1 Baterías y Soporte de Baterías	38
3.5.2 Pack Soporte de Baterías	39
3.5.3 Husillo y empuje.....	39
3.6 Paquete de Motor Translacional	39
3.6.1 Motor	39
3.6.2 Conjunto de Discos de Soporte.....	39

3.7 Paquete de Motor Rotacional	40
3.7.1 Engranajes.....	40
3.8 Paquete Estructural	41
3.8.1 Soporte Controlador.....	41
3.8.2 Sello	42
4 Metodología y Materiales.....	45
4.1 Introducción	45
4.2 Software	45
4.2.1 Autodesk	45
4.2.1.4 Ultimaker Cura	47
4.3 Flujo de Trabajo	48
4.3.1 Diseño en CAD.....	49
4.3.2 Tolerancias Dimensionales	49
4.3.3 Extrusión en Inventor	50
4.3.4 Corte en Cura	50
4.3.5 Impresión y análisis	51
4.4 Equipo y material	52
4.4.1 Ultimaker 3	52
4.4.2 Materiales	53
5 Propuesta de Diseño	55
5.1 Diseño Final	55
5.1.1 Paquete Soporte de Baterías	55
5.1.2 Paquete de Motor Translacional	57
5.1.3 Paquete de Motor Rotacional.....	57
5.1.4 Paquete Estructural	58
5.2 Ensamblaje Final.....	60
6 Conclusiones y Líneas Futuras	61
6.1 Conclusiones	61
6.1.1 Metodología del Diseño.....	61
6.1.2 Diseño Digital.....	61
6.1.3 Resultado físico	61
6.1.4 Resumen Final	62
6.2 Líneas Futuras	62
6.2.1 A corto Plazo	62
6.2.2 A largo plazo.....	62

7 Bibliografía.....	63
Anexo I: Husillo	67
Anexo II: Juntas Tóricas.....	71
Cálculo de la Junta	71
Cálculo del Hueco para la Junta.....	72
Anexo III: Modelo BIM	73
Introducción	73
Anexo IV: Presupuesto.....	75
Introducción	75
Desglose	75
Anexo V: Planos.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Pilares de la Industria 4.0 [1]	9
Figura 1-2 Robot Subacuático Lappa para Inspección y Mantenimiento de cascos [4]	10
Figura 1-3 Diseño Conceptual de un Glider [5]	11
Figura 2-1 Diferencias entre sónar activo y pasivo [8]	14
Figura 2-2 Transmisión acústica en aguas frías [9].....	15
Figura 2-3 Transmisión acústica en aguas cálidas [9].....	15
Figura 2-4 Concepto de Rolls- Royce del Puente de un Buque Autónomo [11]	17
Figura 2-5 Avión Remotamente tripulado Predator B [13].....	18
Figura 2-6 Estación de Control en Tierra del Predator [15].....	18
Figura 2-7 Fotografía del USV Sead 23 Operando en la Mar	20
Figura 2-8 Concepto del UUV Manta Ray [17]	21
Figura 2-9 Sistema Contramedida antiminas ROUV Seafox [19]	22
Figura 2-10 Balance de Fuerzas en el Desplazamiento del Glider [20]	23
Figura 2-11 Desplazamiento de un Glider [21].....	24
Figura 2-12 Hidrodinámica en distintos tipos de Gliders [22]	25
Figura 2-13 Estructura de un Glider [5]	26
Figura 2-14 Motor de Flotabilidad Circuito Cerrado de Aceite [22]	27
Figura 2-15 Visualización de los Flujos creados por el movimiento de un ala y hélice [22]	28
Figura 2-16 Spray Glider con capacidad de navegar sin límite de profundidad [24]	30
Figura 2-17 Ejemplo de inmersión estacionaria [25]	31
Figura 2-18 Estudio de la sustentación y arrastre en un Manta Glider [26].....	32
Figura 3-1 Disposición de las masas durante un viraje	37
Figura 3-2 Flujo de Diseño por Paquetes	37
Figura 3-3 Soporte Pack Baterías	38
Figura 3-4 Separación entre el Pack y los Soportes de las baterías.....	39
Figura 3-5 Concepto del Paquete de Soporte del Motor	40
Figura 3-6 Diseño del Conjunto de Engranajes.....	41
Figura 3-7 Concepto del Paquete Estructural.....	42
Figura 3-8 Juntas tóricas según Esfuerzo [27]	43
Figura 4-1 Diseño del Pack de Baterías en AutoCAD	46
Figura 4-2 Extrusión del Pack de Baterías en Inventor	46
Figura 4-3 Generación de Engranajes en GearGenerator 3.....	47
Figura 4-4 Impresión del Pack de Baterías en Ultimaker Cura.....	48
Figura 4-5 Flujo de Trabajo.....	48

Figura 4-6 Vista de un diseño de AutoCAD por capas	49
Figura 4-7 Pieza Referencia para Elementos Externos	50
Figura 4-8 Mala Impresión por Diseño	51
Figura 4-9 Impresora Ultimaker 3.....	52
Figura 4-10 Izquierda: extrusión directa; Derecha: extrusión Browden	53
Figura 4-11 Bobina de PLA para impresoras 3D	53
Figura 5-1 Comparación del Soporte Baterías Prototipo (izquierda) y la versión Final (derecha)..	55
Figura 5-2 ejes para contrapesos	56
Figura 5-3 Paquete Baterías	56
Figura 5-4 Ensamblaje del Paquete de Baterías	56
Figura 5-5 Paquete Motor Translacional.....	57
Figura 5-6 Paquete Motor Translacional.....	58
Figura 5-7 Tapa Soporte de Rodamientos	59
Figura 5-8 Vista del Corte del Sello	59
Figura 5-9 Vista del Paquete Estructural Después del Ensamblaje.....	59
Figura 5-10 Vista Desde la Proa del Conjunto al Completo	60
Figura 5-11 Vista Desde la Popa del Conjunto al Completo.....	60
Figura 0-1 Parámetros de Una Rosca	68
Figura 0-2 Rosca ACME [29]	69
Figura 0-1 Tabla Dimensiones de Instalación [27]	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Rendimientos Según el Circuito de la Vejiga	26
Tabla 2 Características de Impresión	51
Tabla 3 Dimensiones de las Roscas	68
Tabla 4 Cálculo de las Juntas [27].....	71
Tabla 5 Masas/Coste de las Piezas del Diseño	73

1 INTRODUCCIÓN

En este apartado se va a presentar el proyecto que se va a realizar: el diseño de un sistema de un sistema de energía y control de la orientación de un glider, un planeador submarino. Además, se procederá a explicar los antecedentes que han dado lugar al desarrollo de este trabajo, así como a especificar el objetivo principal, y aquellas otras tareas secundarias que se pretenden alcanzar.

1.1 Antecedentes

Desde el nacimiento de la Cuarta Revolución Industrial, son muchas las empresas que se han querido sumar a la carrera por ser el líder durante este avance. La vanguardia de esta era la encabezan las empresas tecnológicas. Sin embargo, su aplicación entra en cualquiera de los sectores de la sociedad, y la historia demuestra que aquellas que no se adaptan al nuevo mercado están abocadas al fracaso. Como no podía ser menos, la Armada Española busca su lugar en este movimiento tecnológico. Para ello, ha implementado un plan de renovación que se ha ido consolidando en los últimos años con la participación de empresas como Navantia, Seadrone, o Marine Instruments.

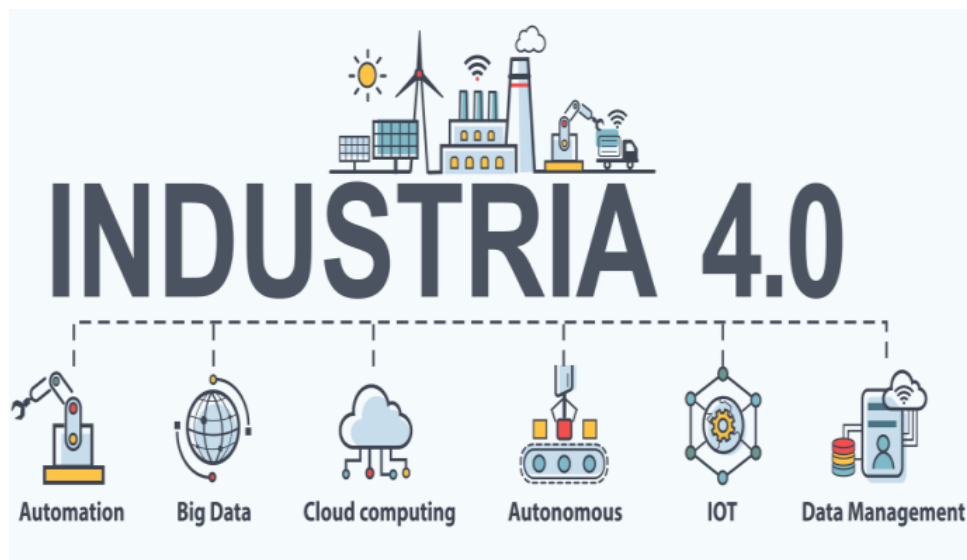


Figura 1-1 Pilares de la Industria 4.0 [1]

La Armada está realizando un esfuerzo por evolucionar al concepto Armada 4.0, presentado oficialmente en 2018. En ese entonces se forjaron como pilares el Apoyo Logístico y el Sostenimiento; sin embargo, en la Revista General de Marina, el Almirante jefe de Estado Mayor de la Armada don Teodoro E. López Calderón ya se pronunció a favor de la necesidad de la generación masiva de datos,

su análisis efectivo, y su compartición de forma ágil y rápida. En este caso me refiero al Big Data. En su artículo explica la necesidad de buscar la lógica de predecir el futuro simplemente con la posesión y análisis de datos. En esa misma edición, introduce los vehículos autónomos únicamente como buques no tripulados. Pese a ello, en este proyecto se ha querido dar una visión más amplia de este concepto, incluyendo al glider en este ámbito, puesto que técnicamente, el planeador, se trata de una sonda autónoma [2].

La ETID (Estrategia de Tecnología e Innovación) es la publicación del Ministerio de Defensa que se ha encargado de definir aquellos objetivos relacionados con el desarrollo de la I+D+i a través de las Metas Tecnológicas, una serie de tareas que han de cumplir las Fuerza Armadas para avanzar en esta nueva era tecnológica [3].

En el documento se redactan numerosas necesidades adaptadas a los distintos servicios de las FFAA, sin embargo, se pueden encontrar ciertos puntos en común que podrían resumir el avance en los siguientes aspectos:

- Integración de vehículos autónomos no tripulados y sus correspondientes tecnologías y sistemas.
- Recolección masiva de datos y predicción del entorno en base a ellos.
- Tecnología de información, comunicación, y simulación.
- Sensores y sistemas electrónicos.
- Armas y municiones.
- Tecnologías comunes a bases e instalaciones, plataforma, y combatiente.

Los dos primeros puntos son aquellos en torno a los que gira el concepto del Glider: Una sonda batitermógrafo autónoma que otorgue profundidad a las operaciones antisubmarinas, con la que poder recolectar una gran cantidad de datos, almacenarlos, y poder realizar entonces predicciones de alcances de acústica submarina. Todos estos conceptos se desarrollarán más adelante para su mejor comprensión.

El mercado de los vehículos autónomos está creciendo a una velocidad vertiginosa. Esto es debido al avance en una tecnología relativamente nueva que parece que cuanto más nos adentramos en ella, menos límites tiene. La primera impresión al pensar en este concepto suele ser la de coches que no necesitan de un conductor para manejarlo. Sin embargo, el mundo de la autonomía es mucho mayor.

Actualmente, en las Fuerzas Armadas, se pueden encontrar, ya operativos, aviones Predator que son remotamente tripulados, cuyo piloto se encuentra a miles de kilómetros de distancia; drones de reconocimiento embarcados en buques de la flota, como el Scan Eagle de la 11ª Escuadrilla de Aeronaves; o robots subacuáticos capaces de realizar mantenimiento a los cascos de buques. Como se puede observar, el campo de investigación de los vehículos autónomos es muy amplio, y se desarrollará en mayor profundidad, viéndose las diferencias entre los distintos tipos en el apartado Vehículos autónomos.



Figura 1-2 Robot Subacuático Lappa para Inspección y Mantenimiento de cascos [4]

El medio acuático no es un medio de transmisión ideal para las comunicaciones y la transmisión de información, por ello el desarrollo de los vehículos autónomos subacuáticos no se puede realizar en base a la tripulación remota. Sin embargo, esto ha supuesto mirar a este campo con un punto de vista distinto, la automatización de acciones: navegaciones preestablecidas, correcciones de rumbo automáticas, emersión a la superficie ante determinadas situaciones, etc. Algunos vehículos referentes en este mundo son los glider, y el manta ray.

El vehículo que se decide diseñar en este proyecto es del tipo glider, un planeador submarino cuya misión es monitorizar distintos parámetros oceanográficos, tales como la conductividad, densidad del agua, oxígeno, o la temperatura, durante largos períodos de tiempo de forma autónoma. Puede trabajar durante meses, de forma ininterrumpida, y enviando la información en tiempo real a la estación de control, sobre circuitos de navegación preestablecidos. Estos vehículos tienen su campo de aplicación mayormente en el ámbito de la investigación oceanográfica.

En la actualidad, los glider se diseñan como un único conjunto capaz de realizar una misión en un entorno y con unas capacidades específicas. Por lo tanto, no se dispone de apenas capacidad de modificación. Dado el ámbito de actuación de la Armada en todo tipo de misiones por todo el mundo, su incorporación requeriría la necesidad de comprar múltiples glider específicos para cada necesidad, encareciendo demasiado el coste. En este proyecto se plantea la creación de un planeador basado en módulos, y obtener la capacidad de personalización según lo requiera la situación.

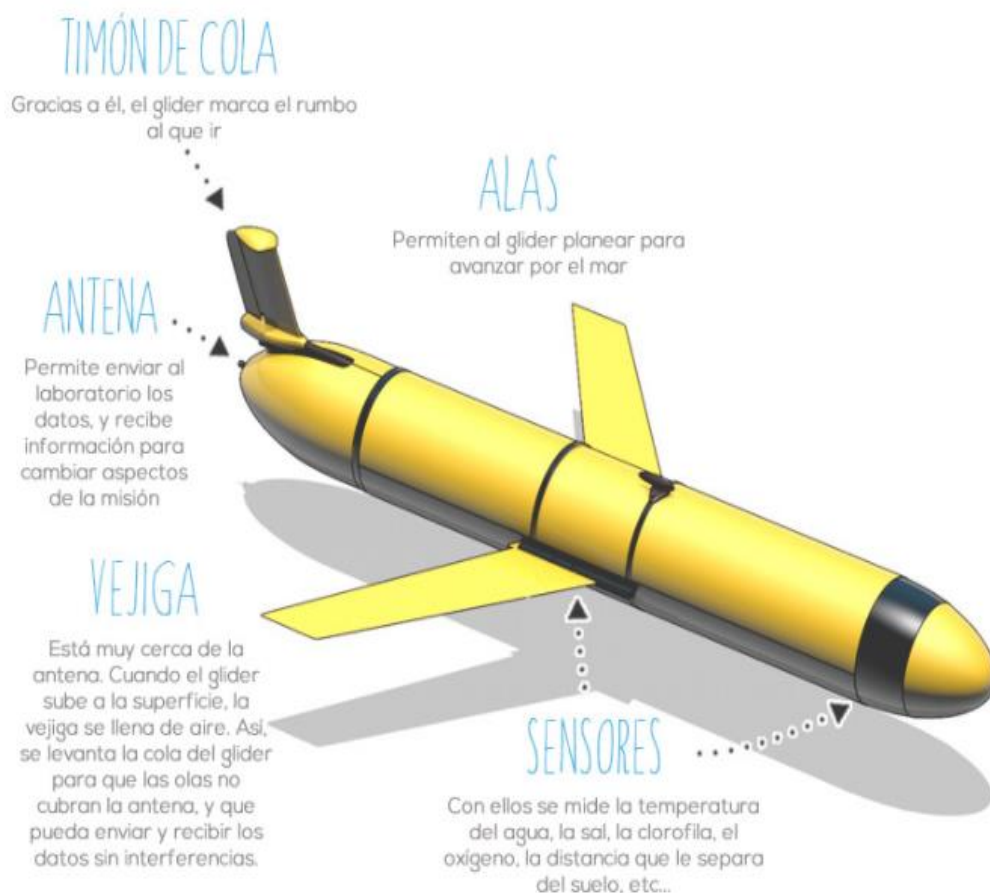


Figura 1-3 Diseño Conceptual de un Glider [5]

De este modo, queda justificado el objetivo de este Trabajo de Fin de Grado: diseñar uno de los módulos de un glider funcional, el sistema de energía y control de la orientación en el plano horizontal, que le otorgue la capacidad de navegar durante largos períodos de tiempo, de la forma más eficiente

posible, y con un diseño sencillo y económico; con el fin de recolectar los datos necesarios para la Guerra Antisubmarina. Así, la Armada se adentra aún más en el plan de Armada 4.0 a través de la generación masiva de datos, y la producción y empleo de vehículos autónomos.

1.2 Objetivos

En el título se establece el objetivo final del trabajo, diseñar el sistema energético y control de la orientación en el plano horizontal para un planeador submarino. La prioridad máxima durante el desarrollo del proyecto es diseñar un conjunto funcional, que se pueda incorporar en un glider en condiciones normales.

Adicionalmente, se pueden desglosar la siguiente lista de inputs que se han tenido en cuenta como de importancia en el desarrollo del concepto:

- Llevar a cabo un Estado del Arte sobre los gliders, y los avances tecnológicos desarrollados en los últimos años.
- Diseñar el sistema de energía y control de la orientación de forma modular, independiente del resto del glider.
- Lograr un prototipo funcional lo más económico posible, mediante la obtención del módulo a través de impresión 3D.

1.3 Estructura del Trabajo

Habiendo introducido el proyecto, en la Sección 2 se desarrollará el Estado del Arte en el cual se estudiará el entorno en el que se trabaja: el mundo de la guerra antisubmarina por la aplicación del glider a la Armada; los vehículos no tripulados, los vehículos autónomos submarinos, y el glider. Después en la Sección 3, se procederá a desarrollar el Diseño Conceptual del prototipo del glider de este TFG, en tanto a los diseños planeados como a los principios en los que nos basamos para el trabajo; seguidamente en la Sección 4 se presentarán la Metodología y Materiales empleados; a continuación, se mostrará y desarrollará en la Sección 5 la Propuesta de Diseño final del módulo; y finalmente se pasarán a explicar en la Sección 6 las Conclusiones y Líneas Futuras del trabajo realizado para futuras investigaciones y proyectos.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Introducción

En este apartado se va a estudiar aquellos campos que giran en torno al proyecto, desde el medio en el que surge, hasta la tecnología sobre la que trabaja. Para ello se van a desarrollar los siguientes temas:

1. La Guerra Antisubmarina y Acústica Antisubmarina: una introducción al mundo de la guerra antisubmarina, cómo y bajo qué circunstancias surge, así como una explicación del funcionamiento de la acústica submarina, puesto que los datos que recogerá el glider se emplearán para realizar predicciones en este ámbito.
2. Vehículos autónomos: explicación de los vehículos autónomos, distinción de los diferentes tipos, y algunos de los que ya se encuentran operando en la FFAA.
3. Vehículos autónomos submarinos: introducción a los vehículos específicos que trabajan bajo la superficie del mar, su empleo, y ejemplos ya presentes en el mercado.
4. El Glider: explicación del *glider*, el concepto sobre el que trabaja, funcionamiento, y las líneas sobre las que se emplea. Desarrollo modular.

2.2 La Guerra Antisubmarina

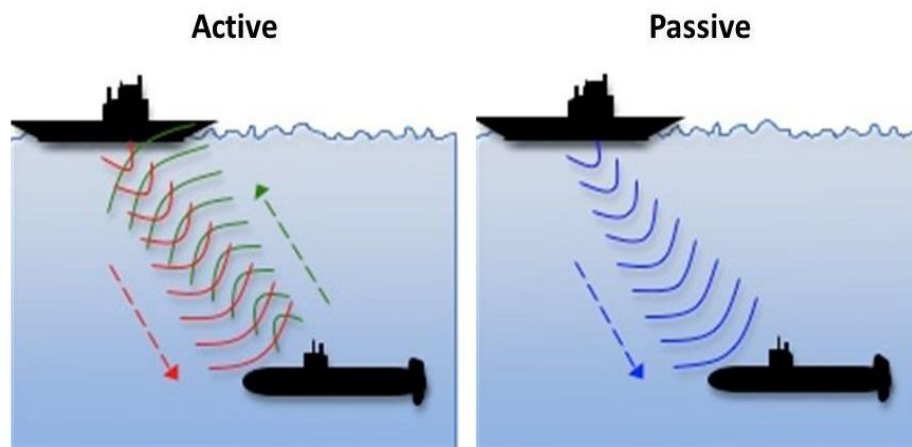
Los primeros datos que recogen el estudio de la acústica submarina datan del s.XV, cuando Leonardo da Vinci desarrolló el primer tipo de sónar pasivo (*Sound Navigation And Ranging*), un tubo que, al ser introducido en el agua, el individuo puede escuchar barcos en la lejanía. Después de ciertos estudios a lo largo de los siglos, el gran impulso en el estudio de la acústica submarina se dio en el s.XX. Los causantes principales del desarrollo de la tecnología del sónar fueron los submarinos en la guerra. El surgimiento de la guerra Antisubmarina dio lugar a un amplio estudio de esta ciencia [6].

En primer lugar, nos situaremos en la Primera Guerra Mundial. Durante el transcurso de ésta, los países, en especial Alemania, emplearon submarinos como medio para el dominio de los mares. Su uso era tan letal, que eran capaces de poner en jaque a la flota, siendo capaces de cortar todo tipo de operaciones y líneas mercantes con un único submarino. Debido a esta ventaja tecnológica, se desarrolló la Guerra Antisubmarina, un conjunto de técnicas y maniobras con las cuales hacer frente a los sumergibles de la época. Los sónares pasivos fueron empleados por ambas partes. Sin embargo, su capacidad era muy limitada, permitiendo únicamente conocer la demora, la posición angular con respecto al equipo, del contacto. En este contexto, la tecnología era tan primitiva que, aunque útil, no fue la más efectiva, por lo que en este tipo de Guerra prevalecieron otras técnicas y maniobras para superar a los submarinos, tales como el empleo de la aviación, el minado, o los convoyes.

No obstante, durante el período siguiente de entreguerras, algunas marinas vieron el potencial que poseía el sónar y decidieron invertir en su estudio. Los ingleses introdujeron en esta época el ASDIC en sus unidades, un sónar activo con el que, no solo se podía detectar la demora del contacto, sino que también se podía medir la distancia a la que se encuentra. El invento revolucionario facilitaba la detección de enemigos por debajo de la superficie, lo que suponía un elemento crucial para la caza de submarinos; aunque no siempre suponía una ventaja. De hecho, por norma general cuando los barcos empleaban el sónar, los submarinos eran capaces de detectar a los buques mucho antes de que estos supiesen de su presencia en la zona. Para entender este problema, haré una breve explicación entre el sónar pasivo y el activo [7]:

- Con el sónar pasivo recibimos sonidos y discriminamos la dirección de dónde vienen. Podemos determinar la frecuencia con la que nos llegan por lo que a través de una serie de tablas se puede distinguir con bastante precisión qué ha emitido ese ruido. Para hacer una idea al lector de qué información se es capaz de conocer, se pueden discriminar el número de ejes, número de palas que posee una hélice, si el ruido lo está provocando un motor, un sónar, etc. Finalmente, gracias a inteligencia, si se conocen información relativa a lo mencionado anteriormente, podríamos hasta diferenciar qué buques están emitiendo esas señales.
- Mediante un sónar activo emitimos nosotros un pulso y esperamos su respuesta. La discriminación en dirección es más precisa, pero lo realmente importante es que, según la velocidad de transmisión, y el tiempo de retorno, somos capaces de conocer la distancia a la que se encuentra el contacto, lo que nos da una situación del contacto clara y en el momento.

Sonar



Copyright © 2013 Discovery Education. All rights reserved. Discovery Education Inc. is a subsidiary of Discovery Communications, LLC.

Figura 2-1 Diferencias entre sónar activo y pasivo [8]

De las explicaciones anteriores hay un punto que define la clara desventaja que supone el sónar activo: la distancia de detección. Un sónar activo necesita que la onda viaje, rebote en el contacto, y vuelva a nuestra posición; mientras que uno pasivo basta de que llegue una onda sonora. Es decir, si un buque está emitiendo constantemente con su sónar, y un submarino lejano recibe esa señal, es muy probable que la onda se pierda en el camino de vuelta; por lo que el submarino conocerá la situación del buque antes, y le bastará con cambiar la trayectoria o atacar en otro momento. A todo esto, hay que sumar que había numerosos factores de transmisión que aún desconocían los científicos, lo que dificultaba el desarrollo de una fórmula capaz de predecir un alcance de detección. Entre ellos, podemos encontrar que, en distintos tipos de aguas, se obtenían alcances muy distintos aun teniendo en cuenta datos como la salinidad y la temperatura.

Esta información se completaría en el marco de la Guerra Fría, donde el empleo de submarinos como medida disuasoria alcanzó su máximo exponente, y de la mano de ésta, el estudio de la acústica submarina. La combinación entre el clima, la estación del año, y las corrientes de agua generan estructuras muy distintas las cuales se han de tener en cuenta para conocer el alcance sónico en las distintas profundidades. A continuación, se explicará la diferente estructura entre las aguas cálidas y frías. Para ello se ha empleado un programa que muestra un esquema general de propagación. Las imágenes están divididas por la mitad, a la izquierda se pueden ver temperaturas, y a la derecha velocidades; siendo las zonas verdes donde se presentan las más altas, ya sea por el aumento de temperatura o por la presión.

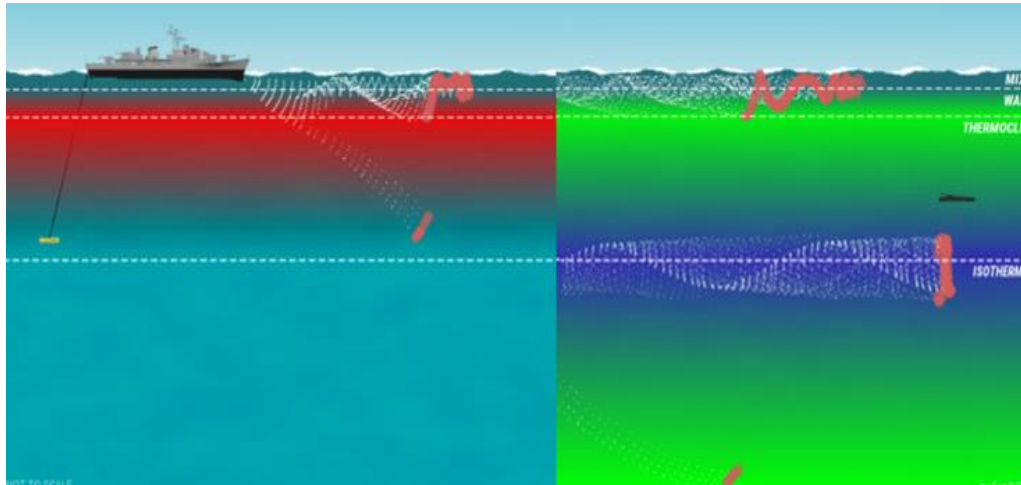


Figura 2-2 Transmisión acústica en aguas frías [9]

La Figura 2-2 presenta el movimiento que realiza una onda sonora emitida por un sónico en aguas frías. Como se puede ver, en la superficie de estas aguas encontramos temperaturas bajas, y a poca profundidad un gradiente térmico caliente muy grande antes de volverse fría de nuevo. Esta capa de separación se denomina termoclina. Ocurre que la superficie del agua por el mero hecho de la conducción térmica con el aire se enfría. Al descender en profundidad se pierde esta conducción, pero le siguen alcanzando la radiación solar por lo que se calienta de nuevo. Cuando ésta no penetra más, la temperatura cae bruscamente. Por lo tanto, podemos observar una capa de velocidades en la superficie que genera reflexión y atrapan el sonido. La segunda capa que se puede observar en la imagen se debe al aumento de la presión y la salinidad y provoca un efecto muy similar a la primera.

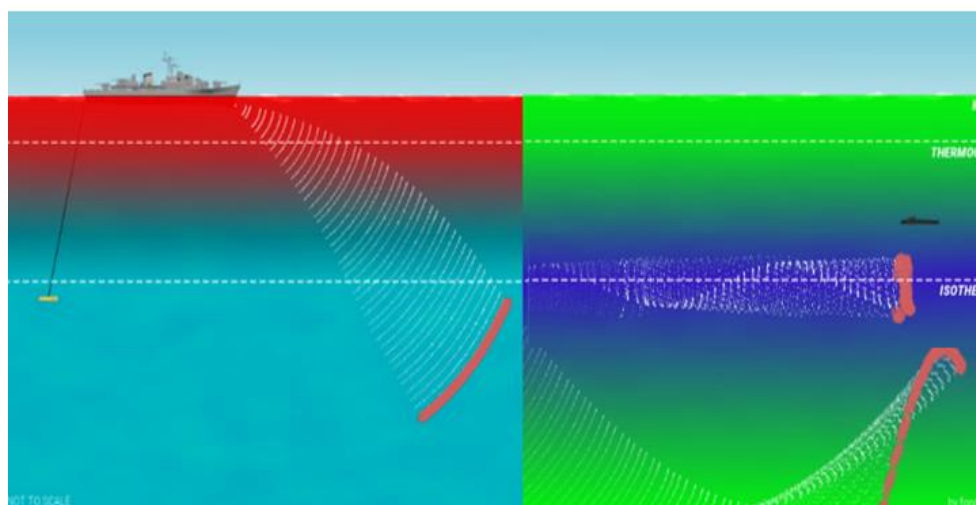


Figura 2-3 Transmisión acústica en aguas cálidas [9]

En esta figura se puede observar la propagación en un medio cálido. Como se puede observar, al estar el ambiente también caliente la temperatura desciende de forma gradual, provocando en las ondas sonoras un fenómeno de refracción que hace que caigan en picado hasta que, o bien reflexionan al alcanzar la suficiente velocidad, o rebotan en el fondo. Esta situación genera grandes zonas de “sombra” que aprovechaban los submarinos para esconderse. En la actualidad, existen medios para sortear los obstáculos que suponen las capas, como son los sónares calables a distintas profundidades.

Gracias al gran impulso que se dio en la Guerra Fría, y al desarrollo tecnológico que permitió pruebas de campo mucho más extensas, se han creado programas capaces de generar predicciones de alcance sonar, como el WADER 32 que emplea la Armada Española de desarrollo inglés. Sin embargo, estos requieren de grandes suposiciones, tales como medios completamente heterogéneos a lo largo de decenas de millas por la insuficiencia de datos de la zona, por lo que en ocasiones estas pueden ser muy poco acertadas. La recolección masiva de datos de una zona permitiría generar bases de datos con las cuales poder realizar predicciones mucho más acertadas.

2.3 Vehículos autónomos

El mundo de los vehículos autónomos surge en principio ante la idea de eliminar los errores que puedan causar los seres humanos en determinadas ocasiones, mediante la automatización de las acciones. A partir de entonces, han surgido multitud de conceptos e ideas que giran en torno a la automatización, lo que se ha traducido en la apertura a un campo que parece no tener límites. Aparentemente toda acción se podría automatizar; sin embargo, no siempre la autonomía completa es deseable. A continuación, se procede a realizar una reseña sobre el mundo de los vehículos autónomos, con especial atención al desarrollo militar.

Autonomía significa, de manera somera, que no se necesita la acción de un ser humano, ni para interactuar con el vehículo, ni para monitorizar su actividad. A pesar de ello, existen diferentes grados de autonomía, lo que abre el abanico a distintos tipos de vehículos.

El concepto sobre el que trabajan los vehículos autónomos es sencillo: dotar de sensores que recojan información para que cuando se den una serie de condiciones el vehículo actúe de determinada manera; por lo que su complejidad radica en la tecnología necesaria que implantar, así como la electrónica, y la falta de robustez que ésta puede implicar en comparación con los tradicionales sistemas mecánicos. Por lo tanto, no siempre se puede, e incluso ni se desea, implantar un sistema puramente autónomo, sino que se pretende introducir una automatización parcial. A continuación, procederé a explicar los diferentes grados de automatización con la que generalmente se suele clasificar a los vehículos [10]:

- Nivel 0: estaríamos considerando un vehículo sin ningún tipo de automatización. Dependencia completa en el conductor en todas las acciones.
- Nivel 1: funciones específicas relacionadas con el control quedan en manos del vehículo, tales como la estabilidad electrónica o en el caso de automóviles, la carga de frenos.
- Nivel 2: funciones combinadas. Se da cuando existen al menos dos controles principales que quedan relegados al vehículo.
- Nivel 3: conducción limitada automática. En esta situación, se sigue requiriendo un operador del vehículo que se encargue de tomar los mandos en determinadas situaciones de cambio. Es decir, el vehículo puede actuar por su propia cuenta y está preparado para lo que se podría denominar como “condiciones normales”, pero no está preparado para operar en un escenario cambiante, por lo que se diseña con la capacidad de devolver el control al conductor.
- Nivel 4: conducción automática completa. El vehículo es capaz de realizar viajes de forma completa, pudiendo tomar decisiones de actuación cuando se producen alteraciones a su estado actual.

Estos niveles se pueden adaptar a las necesidades que tengan nuestros vehículos. Sin ir más lejos, cuando establecemos circuito en el que un buque navega en el modo de piloto automático (rumbo y velocidad), le estamos dando autonomía a la plataforma a adaptarse para cumplir las condiciones establecidas. El futuro de los buques autónomos se presenta como un puente de navegación que se emplee únicamente como estación de control a bordo, desde donde se puedan controlar todas las actividades de la navegación, y monitorizar el estado del buque en todo momento. La Figura 2-4 muestra una imagen conceptual de un puente de navegación como el que se acaba de describir [10].



Figura 2-4 Concepto de Rolls- Royce del Puente de un Buque Autónomo [11]

Si nos remontamos a los últimos años, podemos observar que las Fuerzas Armadas en todo el mundo están realizando un esfuerzo económico y tecnológico para desarrollar este ámbito. Ampliando lo mencionado en la Introducción, fue en 2018 cuando el AJEMA estableció formalmente unas bases de un mundo en el que ya nos veíamos inmersos. Hay que tener en cuenta, que ya en aquel entonces la Armada poseía vehículos de este estilo: robots integrados en la Unidad Mixta de Investigación, destinados tanto a inspección y medidas de tanques, como a la realización de inventariado de forma automática desarrollados por la empresa de Navantia [2]. Sin embargo, estos están lejos de las intenciones operativas que requiere la Armada: el desarrollo de buques o aeronaves que sean desplegados y realicen tareas tácticas o de recolección de inteligencia de forma táctica. Un hecho conocido en el ámbito de los ejércitos internacionales es que se producen una enorme cantidad de bajas e incidencias, alrededor del 50% [12], durante procesos que a primera vista no parecen los más peligrosos en un conflicto: avituallamiento, petróleo (ésta es la actividad de repostaje de combustible mientras se navega o con una aeronave en vuelo, sin que cese su propia operación), y la entrega e intercambio de cualquier tipo materiales.

A menudo se puede encontrar cierta confusión entre la terminología de la tecnología autónoma, englobándola toda bajo un mismo concepto que lleva a inducir al error en cuanto a las capacidades que poseen ciertos vehículos. Un ejemplo de la confusión que suele producirse se da entre los conceptos de vehículos autónomos, con los remotamente tripulados y los drones. Por poner un ejemplo de estas características, con la llegada de los aviones MQ-9 Predator al Ejército del Aire a España, se habló mucho, no solo entre medios de comunicación, sino dentro del personal de las FF.AA. de la entrada de España en el mercado de los vehículos autónomos.



Figura 2-5 Avión Remotamente tripulado Predator B [13]

El concepto, a pesar de ser similar, difiere en la realidad de las características de cada uno. A modo de ejemplo, la OACI establece una serie de diferencias entre los distintos tipos de vehículos aéreos. A continuación, se presenta una breve clasificación sobre algunos vehículos que se pueden encontrar.

- UV: vehículo no tripulado.
- UAV: vehículo aéreo no tripulado.
- UAS: sistema aéreo no tripulado (aeronave + estación en tierra + enlace de comunicaciones).
- RPA: aeronave tripulada de forma remota.
- RPAS: sistema de aeronaves pilotado de forma remota.
- Drone: Se utiliza de forma genérica para englobar a todas las aeronaves no tripuladas, aunque es más correcto emplear este término para aquellas que están por debajo de los 25kg [14].

Al Predator se le suele asociar la definición de un avión no tripulado o un dron, lo cual en primera instancia puede parecer que se está hablando de lo mismo. Sin embargo, como se acaba de comprobar, el mundo de los vehículos autónomos es mucho más amplio, y corresponde al de los RPAS. El Predator ha de poseer su cabina propia en tierra, con sus antenas propias para realizar la comunicación entre la estación en tierra y el avión, y, sobre todo, ha de tener su tripulación, instruida en el vuelo, adiestrada en el empleo de la nave, y concienciada de que, a pesar de mantener los pies en tierra firme, están volando a miles de kilómetros de su posición. Estas definiciones se pueden relacionar de forma paralela a la autonomía náutica.



Figura 2-6 Estación de Control en Tierra del Predator [15]

A pesar de esto, llamar automatización a algunas tecnologías tan simples y usadas a lo largo de tantos años como es el piloto automático, suena poco ambicioso para los planes futuros de la Armada. La posibilidad de desarrollar la automatización en su más alto exponente está al alcance de nuestras manos, y a través de ella podríamos lograr grandes avances en el ámbito de las Fuerzas Armadas. Para empezar, estudios han demostrado que gracias a la automatización se es capaz de reducir los consumos generales al permitir al vehículo adaptar sus movimientos a las órdenes dadas y el entorno en el que se maneja; se ha comprobado la reducción de congestión de tráfico en ciertas zonas de algunas ciudades mediante coches autónomos. Se podría visualizar una comparación con buques en una maniobra de salida de puerto, donde no solo los movimientos del buque han de ser cuidados y medidos, sino que incluso se necesita de la ayuda de otros barcos “remolcadores” que apoyen la operación; por lo tanto, la disponibilidad de ambas acciones de forma automatizada podría reducir el riesgo de accidentes y optimizar las salidas y entradas en puertos de alto tráfico.

Tal y como se mencionó en este mismo apartado, existen grandes amenazas durante las maniobras militares de mayor vulnerabilidad. En el caso de la Armada, éstas son las operaciones con maniobra restringida, como son el petroleo, arriado e izado de embarcaciones, aprovisionamiento, toma y despegue de helicópteros, etc. En resumen, maniobras que limitan la movilidad de los componentes. Hay que comprender que hay ciertas situaciones en las que no se puede evitar poner en peligro la vida de las personas involucradas. Sin embargo, reducir este riesgo siempre se puede considerar como una victoria. La obtención de embarcaciones neumáticas rhib sin tripulación, empleadas especialmente en el rescate de náufragos, podría suponer una ventaja táctica. Para entender cómo tales embarcaciones pueden ser ventajosas hay que comprender la situación en las que se emplean.

En primer lugar, nos encontramos el caso de riesgo común, un MOB (hombre al agua, proveniente del inglés Man Over Board), en el que las condiciones meteorológicas son desfavorables: fuertes vientos, mar embravecida, incluso la posibilidad de visibilidad reducida por niebla o lluvia. En estas situaciones es primordial desplegar la rhib lo más pronto posible, por su elevada velocidad en comparación con el buque y su alta maniobrabilidad. A continuación, se establece un circuito de búsqueda sobre el que navegará hasta encontrar al náufrago. Estos patrones suelen cambiar según el tiempo que pase desde que cayó el náufrago.

En la actualidad, estas maniobras se confían en manos del patrón de la embarcación, quien debido a la meteorología puede perder el rumbo, la orientación (razón por la cual llevan utensilios de apoyo), e incluso generar incidentes por falta de percepción del entorno. Por lo tanto, es una maniobra que hay que ensayar de forma constante. Emplear vehículos autónomos podría suponer reducir enormemente la necesidad de adiestramiento en esta situación, y más aún, mejorar la eficacia al permitir a la embarcación calcular su propia ruta y permitir que se adapte al medio. Un flujo de comunicaciones rápidas con la embarcación implica los máximos niveles de optimización del movimiento: ejecución de órdenes de forma inmediata, desarrollo de operaciones de forma matemática eliminando la posibilidad de errores humanos, acomodando la embarcación a una situación cambiante y de gran emergencia. Una aplicación de ámbito más llamativo puede ser la que se desarrolló durante el ejercicio REP MUS a mediados de septiembre 2021, en la Península de Troia, Portugal. El ejercicio consistía precisamente en el empleo de tecnologías no tripuladas en su etapa de prototipo. La operación que se llevó a cabo fue la monitorización de una zona crítica, seguido de una interceptación de lanchas rápidas intentando penetrar en esta mediante vehículos tripulados remotamente. Sin querer entrar en detalles del ejercicio, fue satisfactorio, demostrando las capacidades que están alcanzando los vehículos no tripulados y los autónomos.

Las empresas de Navantia, UTEK, Marine Instruments, y Seadrone fueron las que protagonizaron este ejercicio con embarcaciones rápidas como el USV Sead 23 que se presenta en la Figura 2-7, y el dron aéreo UAV Airfox. Con esto, quiero mostrar que ideas de aplicación de los vehículos no tripulados sobran, y que las posibilidades conceptuales en un mundo aún no desarrollado del todo son ingentes.



Figura 2-7 Fotografía del USV Sead 23 Operando en la Mar

2.4 Vehículos autónomos submarinos

A continuación, nos encontramos con el mundo de los UUV (*Unmanned Underwater Vehicles*) o vehículos submarinos no tripulados, el cual supone una mayor complejidad en comparación con los aéreos y de superficie por la misma razón que tiene un submarino: las comunicaciones.

2.4.1 Limitación en las Comunicaciones

En el capítulo de La Guerra Antisubmarina se explicaba cómo funcionaba la propagación de las ondas acústicas en el agua. Sin embargo, no se ha explicado por qué no se emplean emisores radio tal y como lo hacen los radares de superficie.

Las ondas electromagnéticas y las sonoras pertenecen a dos familias muy distintas. Las primeras son capaces de propagarse por el vacío, mientras que las segundas son mecánicas y necesitan de un medio material para hacerlo. Se puede deducir por lo tanto que, en el aire, ambas ondas son capaces de ser transmitidas satisfactoriamente puesto que la atmósfera ofrece un medio material para las mecánicas con las que desplazarse, pero no lo suficientemente denso como para mitigar las electromagnéticas. En cambio, el agua al tener mayor densidad ofrece un medio ideal para la propagación acústica, pero genera tal degradación en las ondas radio que éstas son absorbidas por el medio rápidamente [16].

Esto no quiere decir que no se puedan realizar comunicaciones submarinas a través de ondas radio, puesto que se han empleado en el pasado, y las siguen utilizando hoy en día países como EEUU y Alemania, y la Royal Navy; pero sí que sí necesario construir antenas de gran tamaño, complejidad, y de costo elevado, para la efectividad que tienen.

Queda, por lo tanto, entendido el por qué no se puede establecer una comunicación continua con los vehículos submarinos autónomos para mandarles órdenes de actuación en tiempo real. La posibilidad de crear vehículos submarinos tripulados remotamente queda prácticamente relegada a únicamente aquellos que operan a bajas profundidades, lo que limita el campo de desarrollo en este mundo. Los UUV, por otra parte, tienen que trabajar sobre otro concepto distinto a la acción remota, la acción preplaneada: se le dan una serie de órdenes de actuación al vehículo (un circuito de navegación), una misión que realizar (almacenamiento de datos de temperatura, monitorización de corrientes marinas, recolección de inteligencia enemiga, etc.), y una respuesta a situaciones que le harán actuar de cierta manera, e incluso emerger a la superficie si fuese necesario (datos de alta relevancia, necesidad de nuevas órdenes, fallo en el sistema, etc.).

2.4.2 Clasificación

Como se mencionó anteriormente, el mundo de los UUV es más limitado que si lo comparamos con el de los UAV por la complejidad en la comunicación. No obstante, esto no implica que no se desarrollen distintos tipos de vehículos y drones operables en gran multitud de escenarios y para operaciones concretas. El fin último de la autonomía es la reducción de tareas manuales.

Podemos clasificar a los UUV en dos grandes familias: los AUV, vehículos submarinos autónomos, y los ROUV, vehículos submarinos operados remotamente.

2.4.2.1 AUV (*Autonomous Underwater Vehicle*)

Este tipo de vehículo es aquel que navega de forma autónoma en el agua, es decir, sin ser tripulado, ni manejado de forma remota, es capaz de llevar a cabo una misión. Generalmente, estos drones son empleados como medios para la toma de datos en la investigación oceanográfica, o para la realización de operaciones militares en aguas peligrosas.

En el campo de la investigación oceanográfica se puede destacar la alta capacidad de sensorización que poseen estos. Algunos de los datos más comunes que suelen recoger en sus misiones son la temperatura, salinidad, pH, y la concentración de ciertos compuestos en el agua, como podría ser el mercurio.

En cuanto a la actividad militar encontramos múltiples aplicaciones, siendo las más relevantes su uso como medio de contramedidas antiminas, y la guerra antisubmarina. La recolección de datos para las predicciones de alcances acústicos en el agua que realizan los glider se engloba dentro de este aspecto, sustituyendo a los convencionales batitermógrafos que se lanzan desde el barco y recogen únicamente los datos de la zona en la que se encuentra actualmente. Además, se pueden emplear también en acciones como la recogida de inteligencia, y vigilancia y monitorización de zonas de alta relevancia. Su pequeño tamaño, su capacidad de operación de forma sigilosa, y la respuesta mediante acciones preplaneadas otorgan la confianza de poder operar en entornos que, de llevar una tripulación a bordo, serían de alto riesgo humano. Un ejemplo de éstos últimos es el proyecto DARPA Manta Ray.

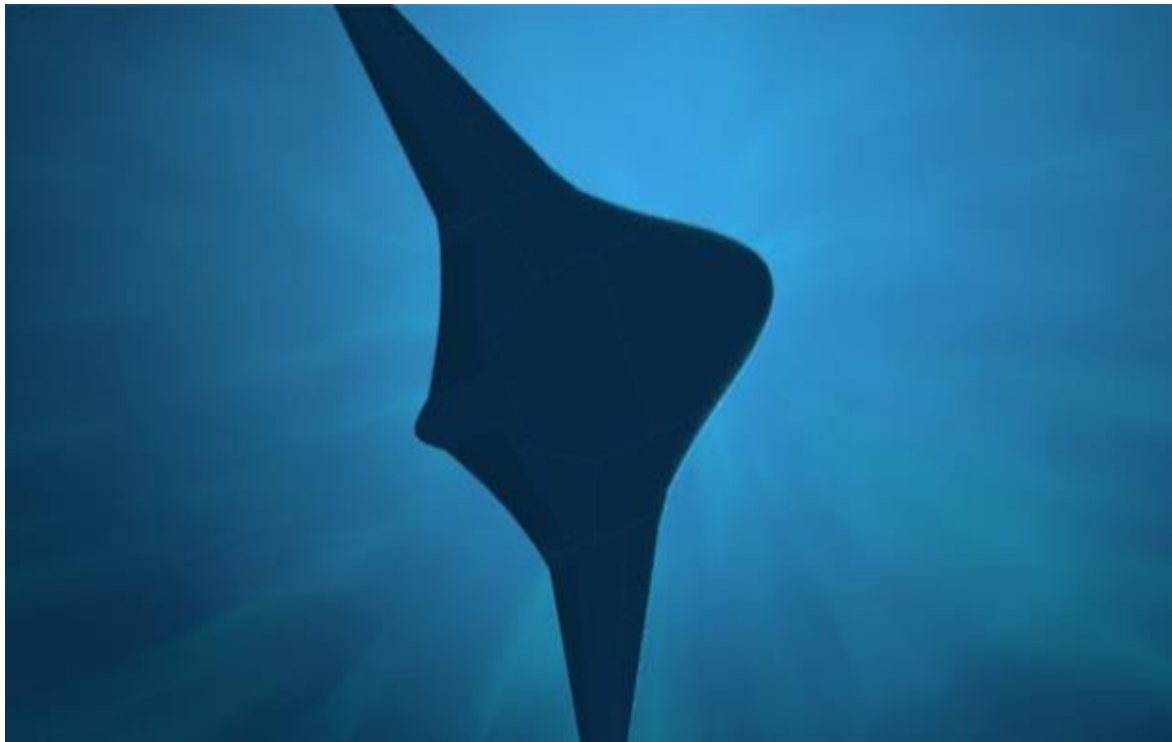


Figura 2-8 Concepto del UUV Manta Ray [17]

Estos vehículos suelen poseer ciertas características que les dotan de su operatividad. Entre ellas podemos destacar:

- Autonomía muy alta.
- Bajo consumo.
- Discreción.
- Alto grado de automatización.

Algunos de estos vehículos han incorporado la capacidad de comunicarse con la estación de control con el objetivo de dotar la capacidad de *mando y control* por parte del operario. Esta comunicación se realiza a través de módems acústicos la cual emplea formatos de mensajes flexibles.

2.4.2.2 ROUV (*Remotely Operated Underwater Vehicle*)

Estos vehículos son aquellos que pueden ser operados de forma remota por un operador cualificado. En los drones aéreos vimos que la comunicación era mediante ondas radio; sin embargo, en el ámbito subacuático ya se ha explicado la dificultad que presenta la comunicación radio, por lo tanto, este medio no se desarrolla tanto, sino en el de las comunicaciones por cable que conectan al robot con una estación madre.

Estos cables son conductores de alta tensión y permiten el envío de información tal y como son las órdenes emitidas desde el buque madre, como imágenes y vídeo enviado por el vehículo. La conexión por cables y la alta capacidad de transmisión de información permite la posibilidad de incorporar apéndices, como pueden ser brazos mecánicos, con los que realizar tareas.

Estas características abren el campo de acción a acciones submarinas, tales como la recogida de muestras en el fondo marino, trabajo en las profundidades, análisis de información, y hasta la limpieza de cascos de buque. Este último es una muestra de una tarea que es capaz de llevar a cabo un robot que no esté conectado por cable, sino que opere mediante la transmisión de ondas electromagnéticas [18].

En el ámbito militar, encontramos un uso muy extendido en la lucha contra la guerra de minas. El sistema de cableado permite operar con precisión un ROUV con el que se puede destruir, desactivar, e incluso recoger minas ya colocadas. Un ejemplo es el *Seafox* que posee la US Navy.



Figura 2-9 Sistema Contramedida antiminas ROUV Seafox [19]

2.5 El Glider

2.5.1 Concepto

El vehículo submarino que se presenta en este proyecto es *el Glider*, un planeador submarino. Un UUV cuya función principal es la recolección de datos concurrentes a las aguas marinas en las que navega.

El glider destaca por poseer gran capacidad de funcionamiento durante largos períodos de tiempo, la cual es otorgada por su forma de desplazamiento, planeando de forma silenciosa en el agua.

2.5.2 Principio de Movimiento

Este movimiento tan característico es otorgado por el fenómeno de la flotabilidad. El glider posee en su cabeza una vejiga que se puede hinchar de agua o aire para variar su flotabilidad. Al llenarse de agua, el planeador obtiene flotabilidad negativa y hunde su cabeza; cuando empieza a descender, se induce una diferencia de presiones en sus alas que le dan una capacidad de avance horizontal. A la profundidad deseada, la vejiga se vacía de agua y se llena de aire, obteniendo flotabilidad positiva y saliendo a la superficie; y del mismo modo, una fuerza hidrodinámica en sus alas le otorga la capacidad de avance horizontal. Por lo tanto, se observa que funciona de forma análoga a un planeador aéreo, el desplazamiento horizontal empleando la fuerza vertical del peso es logrado por unas alas cuyo plano es paralelo al del avance, y por lo tanto se induce una fuerza de sustentación perpendicular a este.

El avance se puede lograr únicamente si existe un ángulo entre la horizontal y el glider. Este concepto se puede observar en la Figura 2-10.

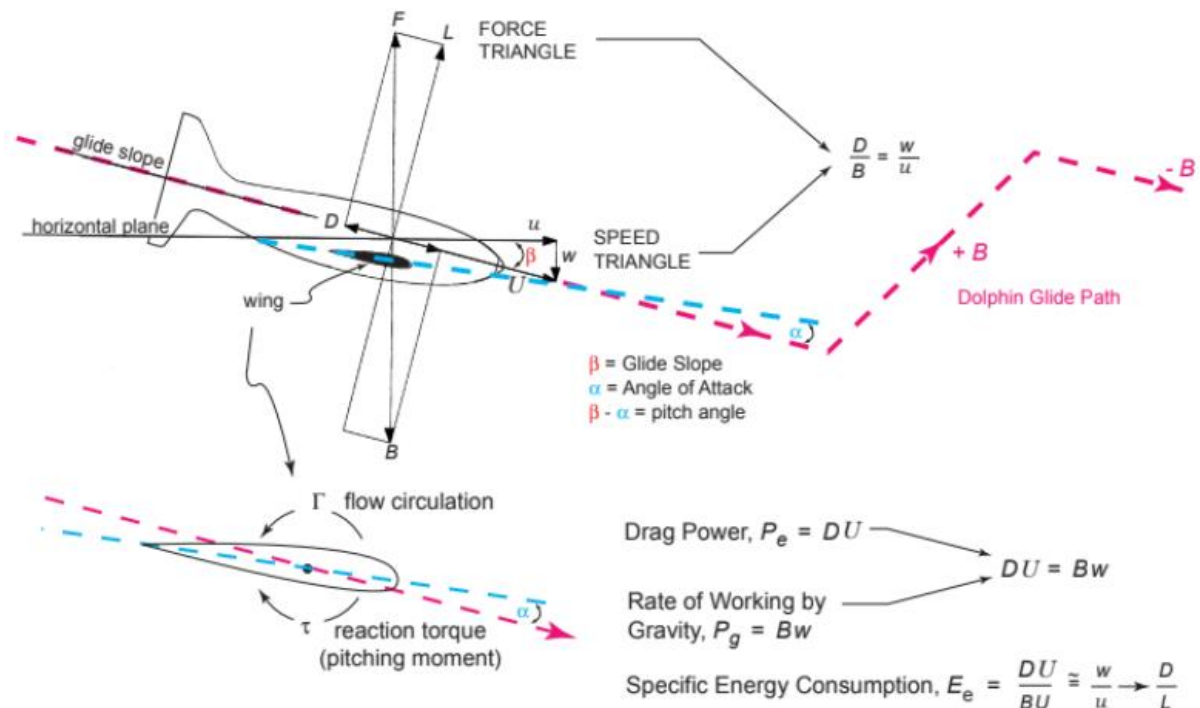


Figura 2-10 Balance de Fuerzas en el Desplazamiento del Glider [20]

En estado de equilibrio, podemos definir las fuerzas que afectan al glider como:

$$B * \sin(\beta) = D \quad (1)$$

$$B * \cos(\beta) = L \quad (2)$$

$$\tan(\beta) = \frac{D}{L} = w/u \quad (3)$$

Pudiendo observar entonces la necesidad del ángulo del glider con respecto al plano horizontal para realizar el avance. Las siguientes ecuaciones son empleadas para realizar una estimación de las fuerzas de sustentación y arrastre C_L y C_D con el coeficiente adimensional.

$$L = \frac{1}{2} * \rho * C_L AV^2 \quad (4)$$

$$D = \frac{1}{2} \rho C_D AV^2 \quad (5)$$

En la Figura 2-11 se muestra un desplazamiento genérico y simplificado del Glider. Gracias a este movimiento el planeador obtiene una autonomía muy alta en comparación con la energía que consume, siendo capaz de desplazarse distancias muy grandes durante largos períodos de tiempo. Como ejemplo, el glider de la empresa SOCIB es capaz de operar durante dos meses de forma autónoma.

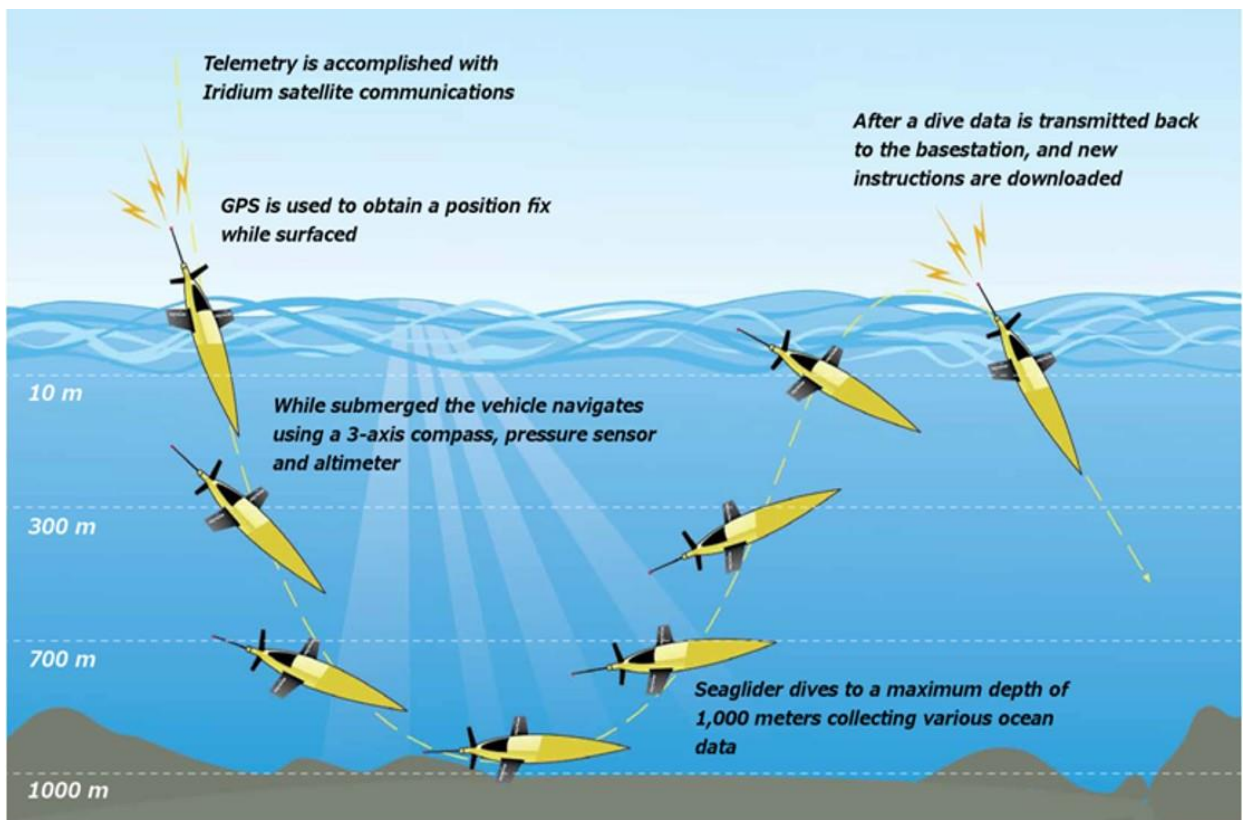


Figura 2-11 Desplazamiento de un Glider [21]

En el diseño de los Glider existe un coeficiente de alta relevancia llamado L/D (*Lift/Drag*) que se puede utilizar como referencia en cuanto a la eficiencia. Este coeficiente es representativo de la cantidad de avance horizontal que tiene el glider: cuanto mayor sea la sustentación (L), mayor será la

eficiencia de planeo. Este efecto se logra a través del estudio de diseño de las alas. En la Figura 2-12 se puede ver una comparación por colores del efecto hidrodinámico que producen las distintas formas.

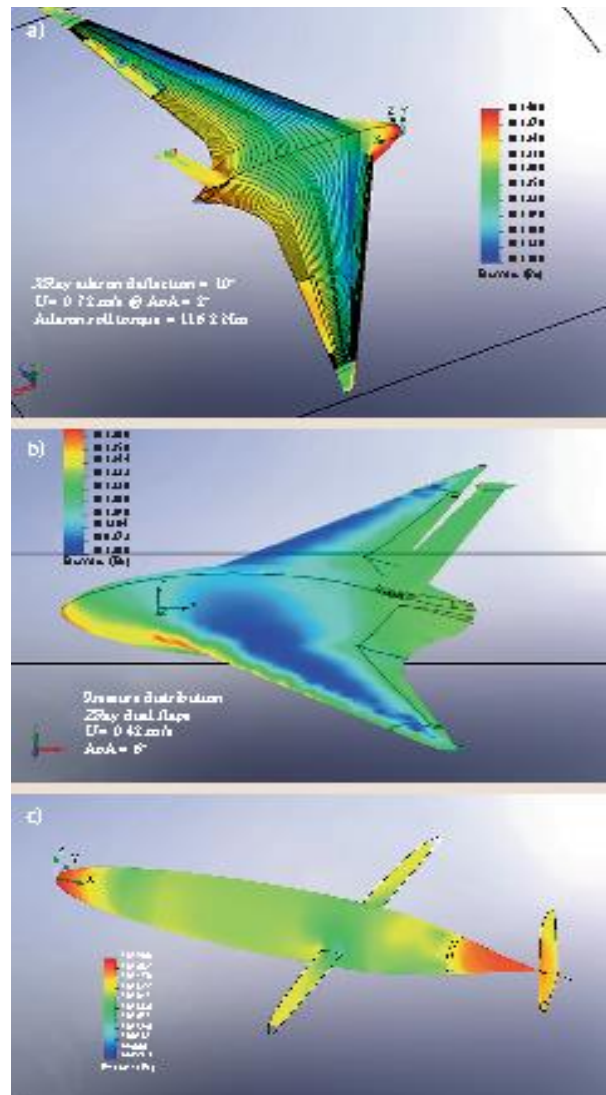


Figura 2-12 Hidrodinámica en distintos tipos de Gliders [22]

Sin embargo, existen diferencias entre un planeador aéreo y un glider submarino, como que el glider pueda variar su flotabilidad y, por lo tanto, capaz de realizar vuelos ascendentes. Esto requiere una variación en su cuerpo: cambio del centro de masas, alas adaptables a la situación, centro de flotabilidad, etc.

2.5.3 Cuerpo del Glider

El cuerpo del glider se puede estructurar de la siguiente manera que aparece en la Figura 2-13, siendo las partes para destacar por su mayor importancia:

- Las Aletas: que otorgan distintas capacidades hidrodinámicas.
- La Vejiga: variando la relación sustentación y arrastre L/D.
- Los sensores: que cambiarán con respecto a la misión del glider.
- Sistema de Navegación: donde se dispone el sistema encargado de controlar la navegación del vehículo.
- Bahía de Ciencia: encargada del control de los sensores.
- Sistema Energético: da energía al sistema para desplazarse y alimenta sus actividades de investigación [5].

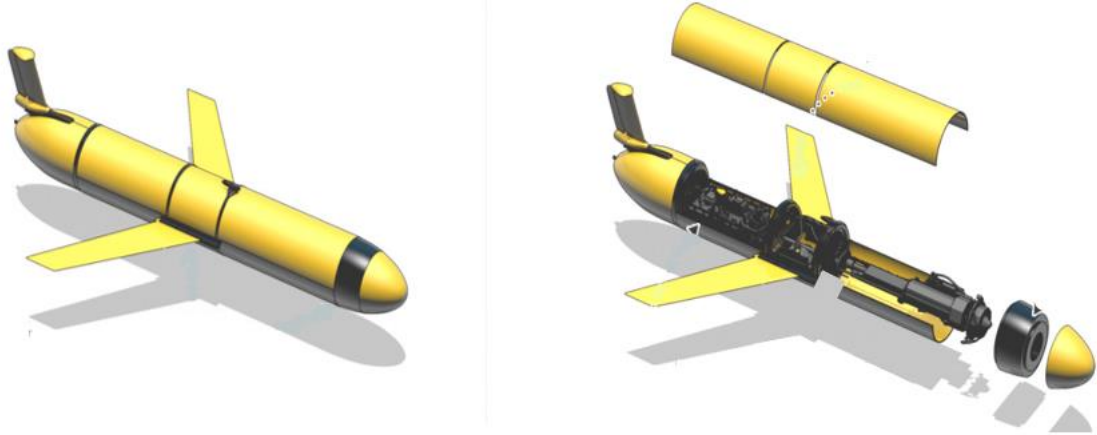


Figura 2-13 Estructura de un Glider [5]

Como se ha mencionado al principio del capítulo, el glider posee una vejiga la cual se hincha de agua para darle esa capacidad de cambio de flotabilidad. Esta variación supone un movimiento vertical, que las alas transforman en una traslación horizontal. La posición de la vejiga dentro del glider es una característica a tener en cuenta durante el diseño dependiendo de las prioridades que se den. Si por una parte se prefiere dar mayor importancia a la maniobrabilidad y el control del movimiento del dron, la vejiga se colocará en la proa para mejorar el equilibrio, como si se tratase de la tracción delantera de un vehículo terrestre; si, por otra parte, se desea facilitar la capacidad de comunicaciones, se posicionará en la aleta junto a las antenas para poder darle flotabilidad a éstas y que puedan entablar de forma más sencilla las comunicaciones con la estación de control.

Por lo tanto, es de suponer que tiene que haber una diferencia entre llevar un líquido almacenado dentro del propio glider con el que hinchar la vejiga, o cogerlo del medio. Siendo el V_b el incremento del volumen debido al fluido, y V_s el volumen físico del glider, se puede simplificar el volumen total V_0 como:

$$V_0 = V_s \pm V_b \quad (6)$$

El coeficiente de relación $\frac{V_b}{V_0}$ nos dice cómo de efectivo es el motor de capacidad de flotabilidad del glider. Podemos diferenciar por lo tanto los siguientes rendimientos:

Tabla 1 Rendimientos Según el Circuito de la Vejiga

Circuito cerrado de líquido	$0.1\% \leq \frac{V_b}{V_0} \leq 4\%$
Circuito abierto de agua salada	$1\% \leq \frac{V_b}{V_0} \leq 8\%$
Circuito abierto de gas comprimido	$5\% \leq \frac{V_b}{V_0} \leq 20\%$
Circuito abierto generador de compuestos gaseosos	$11\% \leq \frac{V_b}{V_0} \leq 28\%$

Dependiendo del tipo de misión y en las aguas en las que vayan a navegar, además del presupuesto disponible en el diseño y fabricación, se implementará un tipo de circuito u otro. La Figura 2-14 presenta un circuito cerrado de aceite. Estos presentan el problema de tener que cargar siempre con el peso del líquido que emplean, lo que significa una menor eficiencia en el movimiento. Además, se puede encontrar el caso de que los grandes cambios de presión pueden alterar el estado del aceite de líquido a gas durante la transferencia de fluido, implicando la imposibilidad de operar a grandes profundidades.

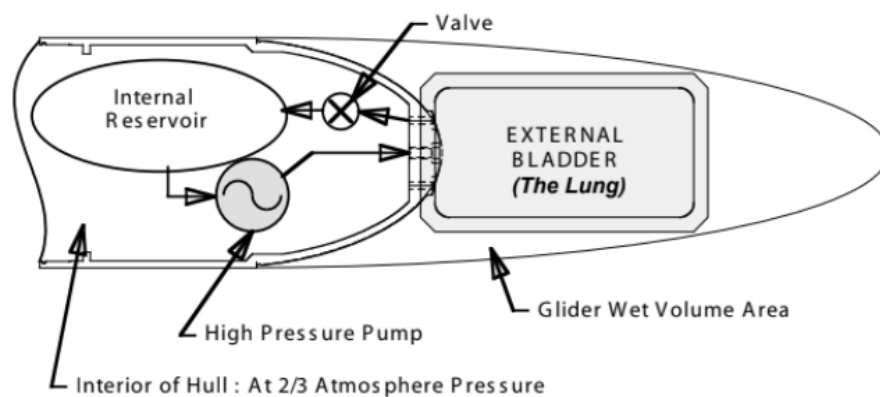


Figura 2-14 Motor de Flotabilidad Circuito Cerrado de Aceite [22]

Independientemente de los rendimientos, quiero mencionar que durante el funcionamiento de los motores se generan pequeñas descargas de pulso eléctrico para bombear el líquido. Éstas generan muy bajo ruido en comparación con un motor genérico, lo que significa un desplazamiento silencioso, característica que se mencionará más adelante.

Pese a que los gliders planean para avanzar por el agua, existen modelos que implementan hélices. Éstas se suelen emplear para: aumentar la velocidad, ganar estabilidad, y en especial, obtener maniobrabilidad. Hay que entender que la velocidad del glider es muy baja, y que no disponga además de un vuelo puramente horizontal significa que en zonas de grandes corrientes pueda ver muy alterada su navegación, en especial si no se ha realizado una planificación adecuada de la derrota y ha de atravesar aguas en sentido opuesto. La adición de un propulsor podría solventar estos problemas al superar las corrientes, e incluso, si hubiese una diferencia grande de velocidades entre las capas del agua, poder alternar entre estas para adaptarse al medio. El sistema auxiliar de propulsión supone tanto ventajas como desventajas que deben considerarse antes de implementarlo.

Por una parte, se considera como ventaja principal la adquisición de un vuelo horizontal continuado que abra el abanico a investigaciones a una misma profundidad, es decir, aumentar el tiempo de investigación en una zona. El vuelo horizontal que logra un planeador tipo SLOCUM de 200 m de profundidad permite velocidades de 0,3m/s consumiendo únicamente 0,6 W; duplicando la velocidad a 0,67 m/s se consumirían 4,25 W; estos consumos se explicarán a continuación. Sin embargo, hay que resaltar que se ha comprobado que en navegaciones a dichas profundidades se pueden lograr consumos de potencia con propulsores iguales, e incluso ligeramente menores, a los convencionales. Esto significaría por lo tanto que si se emplean de forma adecuada se podría mejorar el rendimiento global de los gliders actuales [23].

Por otra parte, hay que tener en cuenta que si se añade un propulsor se ha de adaptar la estructura del glider para incorporar la hélice y el eje, la “planta propulsora” en general, aumentando el peso del

planeador. La velocidad que se adquiere, aunque prometedora, sigue siendo baja; y como se ha visto, el aumento de esta implica un consumo de energía mucho mayor, reduciendo el tiempo que puede estar operando cuando éste es una de las principales ventajas del glider. El empleo de baterías más grandes significaría un mayor peso y espacio necesario, reduciendo la sustentación y aumentando el rozamiento con el agua, volviéndolos más ineficientes.

Por último, hay que mencionar que el planeo natural del glider es energéticamente muy eficiente, por ello que se diseñaran con estas características. Las alas del glider en su avance más eficiente producen un flujo de corriente que genera un vórtice en un único sentido, el mismo que el de avance. La potencia requerida para superar el rozamiento dinámico generado durante el movimiento del glider viene descrita por la siguiente expresión [22]:

$$P_e = \mu \int \int \int \left[\left(\frac{\partial w}{\partial y}, -\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right] dx dy dz \quad (7)$$

Sin embargo, el flujo producido por una hélice al rotar genera una turbulencia en los 3 ejes cartesianos. Se puede recurrir a la Figura 2-15 para visualizarlo más gráficamente. La expresión de la potencia necesaria para salvar estos dos nuevos términos es:

$$P_e = \mu \int \int \int \left[\left(\frac{\partial w}{\partial y}, -\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 + \frac{\partial u}{\partial z}, -\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial x}, -\frac{\partial u}{\partial y} \right] dx dy dz \quad (8)$$

Mayores potencias a su vez implican mayores disipaciones de energía y en conjunto un aumento creciente la potencia necesaria para solventar el rozamiento en el agua; de este modo queda justificado el alto coste energético que se mencionó previamente [22].

Como se ha comprobado, el empleo de hélices puede tener efectos positivos en las navegaciones: sin embargo, la decisión de si incorporarlo o no debe venir en el estudio de la misión que realizará. En el caso de un glider como el que se presente diseñar en este proyecto de navegación en aguas poco profundas, puede ser un elemento ventajoso para considerar.

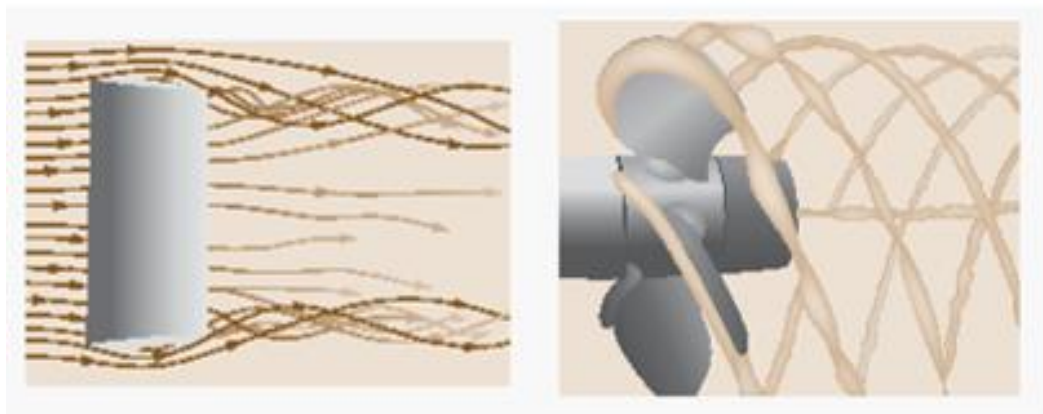


Figura 2-15 Visualización de los Flujos creados por el movimiento de un ala y hélice [22]

2.5.4 Características y atributos

Como ya se habrá podido intuir anteriormente, la característica de mayor relevancia de los gliders es la capacidad de operar durante largos períodos de tiempo sin interrupción. El bajo consumo

energético que tiene le permite desplazarse planeando por el agua sin gastar más energía que la necesaria para mantener los sensores y equipos activos. Puesto que la navegación no supone ningún coste adicional, el glider puede operar de forma continua en un entorno en el que se desplaza recolectando los datos necesarios para su misión. Sin embargo, un aspecto que ha pasado desapercibido pero el cual es vital para la actuación por debajo de la superficie del agua es la baja emisión acústica durante la navegación.

El empleo de energía eléctrica a través de baterías significa emisiones muy bajas que además ocurren de forma intermitente por cortos períodos de tiempo. Al alcanzar la cota deseada tiene que transmitir un pulso para cambiar su flotabilidad, si bien una vez se ha realizado esto, planea de forma silenciosa hasta la siguiente cota. De este modo, se ahorra las emisiones prolongadas producidas tanto por la maquinaria perteneciente a una planta propulsora, como las hidrodinámicas generadas en banda ancha por el movimiento. La contaminación acústica en el entorno marítimo supone un peligro para la fauna marina; considerando un vehículo autónomo como es el glider, capaz de navegar durante períodos largos de tiempo, alcanzando profundidades bajas, el silencio es una característica prioritaria.

Un aspecto negativo que considerar es la incapacidad de navegar a una misma profundidad, manteniendo el glider en un movimiento horizontal paralelo a la superficie del agua. Esto supone un problema en el estudio del agua de la zona a la hora de recolectar información. Un método para solucionarlo se mencionó en el apartado anterior, la adición de una hélice como método de propulsión auxiliar para navegación y maniobrabilidad en una misma cota; aunque la hélice tiene sus propias contrariedades que ya fueron explicadas en el capítulo sobre el Cuerpo del Glider. A pesar de esto, la capacidad de desplazarse tan fácilmente entre capas suele ser una ventaja preferente por encima de la navegación a una misma profundidad, debido a la heterogeneidad de las aguas en una misma zona.

La necesidad de planear al detalle, y con especial cuidado, la misión de un glider se ve reflejada en los inputs negativos que tiene su naturaleza propia. Durante las navegaciones, todo vehículo es susceptible de sufrir accidentes que no se tenían previstos (fallos en sistemas, colisión con buques en la superficie, pérdida de energía, choque con una aguja desconocida, etc.). Los vehículos autónomos tienen la desventaja de perder el factor humano el cual es capaz de improvisar ante un cambio del curso de la acción por una situación no planeada. Como todo vehículo submarino, las comunicaciones suelen ser un punto de inflexión en la misión. Tanto el envío de la información y datos recolectados, como la recepción de órdenes es una tarea complicada, únicamente realizable durante el tiempo de superficie, por lo que se habrá de esperar a que el glider emerja para poder enviarle los cambios necesarios para el transcurso de la misión. Por lo tanto, la automatización implica, más allá de la necesidad de cargar con todos los equipos necesarios para realizar de forma segura la navegación, una necesidad de estudio detallado de las situaciones que se pueden dar que puedan comprometer la misión del glider.

A pesar de que se haya mencionado la automatización como parte de un aspecto negativo, lejos de la realidad esta permite una gran variedad de operaciones las cuales serían inviables de otro método. En efecto, las comunicaciones a grandes profundidades no son posibles, por lo que ciertas misiones requerirían o bien de un submarino que las realizase, o de un buque madre que lleve a cabo las acciones a través de otro al cual transmitiría las órdenes de forma filoguiada. De ambos modos, existe la posibilidad de cruzarse con aguas peligrosas para el tránsito, las cuales se pueden atravesar mediante el uso de un UUV sin tener que poner en riesgo ninguna vida; además del ahorro económico que supone la emisión de un vehículo de las características de un glider en comparación con un buque madre o un submarino.

El desarrollo de la inteligencia artificial, y el estudio del entorno en el que va a operar, son dos elementos claves para el desarrollo de los gliders. El mínimo riesgo posible para éstos, se puede inducir como una menor probabilidad de perder el dron, lo cual se puede traducir en un potencial ahorro económico.

2.5.5 Funcionalidades del Glider

El primer modelo de glider surge en la década de los años 80, como un vehículo capaz de emplear el gradiente de temperatura entre las profundidades del océano y la superficie del mar, como fuente de energía para lograr un sistema de propulsión. Desde entonces, no solo se demostró la capacidad de poder emplear esta fuente de energía, sino que han surgido más modelos funcionales que varían según las capacidades y misión objetivo; algunos de los cuales están entre los que se muestran a continuación:

- **Glider Termal:** es el primero que se estudia para lograr obtener energía del gradiente de térmico en el agua. Gracias a esta fuente, se obtiene la capacidad de renovar la energía empleada en sistemas vitales, equipos de navegación, sensores, etc. Lo que le da al glider un tiempo de navegación muy alto. El gran salto térmico provoca efectos de expansión y contracción en materiales y fluidos, lo cual es aprovechado para generar energía dentro del sistema.
- **Sin límite de profundidad:** estos gliders navegan libremente en las profundidades del océano y no se ven limitados a trabajar en un intervalo de profundidades. Tienen que ser capaces de operar durante largos períodos de tiempo, aguantar las altas presiones que hay en bajas profundidades, y tener la mínima carga posible para mantener el rendimiento lo más alto posible.



Figura 2-16 Spray Glider con capacidad de navegar sin límite de profundidad [24]

- **Con límite de Profundidad:** esta funcionalidad se emplea para navegaciones donde hay poca profundidad, o el glider ha de trabajar en un margen de alturas, por lo que necesita la capacidad de cambiar rápidamente su flotabilidad. Además, necesita un buen control del equilibrio para sobrellevar los fenómenos de balance y cabezada que se pueden dar navegando cerca de la superficie. Estos gliders se ven muy beneficiados de la maniobrabilidad, tanto para corregir rumbos, mantenerse dentro de los márgenes establecidos, como esquivar posibles peligros a la navegación.
- **2-D Station Keeping:** esta es una capacidad que poseen casi todos los gliders, y consiste en mantenerse en una misma posición en el océano. Esta función permite al dron la monitorización de un punto específico; lo cual a la hora del movimiento del glider se traduce en la descripción de círculos de pocos metros para mantener latitud y longitud. Variando bruscamente la flotabilidad el glider puede adquirir velocidades pico con las que hacer frente a las corrientes y mantenerse estacionario. Otra versión de la misma

funcionalidad sería con el glider en una misma profundidad, tarea más complicada por su baja velocidad navegando con un propulsor auxiliar si no dispone de suficiente diferencia de flotabilidad con la que ganar aceleración. Por último, la estación en el fondo del mar, donde el glider se debe diseñar con capacidad suficiente de generar flotabilidad negativa que le permita posarse en el suelo marino, y después anclarse a éste con elementos externos, como puede ser un ancla, aunque este puede suponer un aumento del peso demasiado grande.

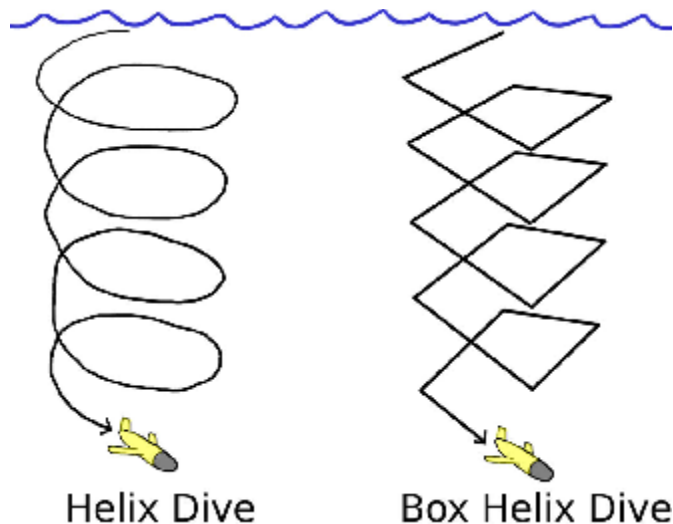


Figura 2-17 Ejemplo de inmersión estacionaria [25]

- Transporte de carga: esta es una funcionalidad que permite el glider. El traslado de grandes cargas consumiendo muy poca energía puede significar un ahorro en el desplazamiento de éstas, en situaciones donde el tiempo no sea un requerimiento de importancia. Sin embargo, considero que es una situación muy poco probable, puesto que el transporte siempre se realiza bajo márgenes de tiempo ajustados; por lo tanto, aunque viable, existen métodos más eficientes para el traslado de cargas.

2.5.6 Tendencias futuras

El glider demuestra ser un vehículo característico por su alta eficiencia energética en el desplazamiento, dejando casi toda la energía disponible para el uso de los sensores y el control de la misión. Es de suponer entonces que las futuras mejoras van dirigidas por lo tanto hacia: mejorar la capacidad energética; mejorar la eficiencia del glider; y ampliar el margen operacional del glider.

La capacidad energética es ajena al desarrollo del glider, puesto que la mejora de baterías y el menor consumo de los equipos vienen de la mano del desarrollo tecnológico global. Si bien es posible aumentar la capacidad empleando baterías más grandes, eso implica un uso de una plataforma mayor, por lo que no se puede considerar que eso sea una mejora, sino un cambio. Por otra parte, la optimización de las baterías mediante el empleo de distintos tipos, o el uso de fuentes de energía renovables para la alimentación de los equipos como se realiza en los gliders termales sí pueden suponer un avance en este campo. Otras líneas de investigación para aumentar la capacidad energética incluían el viento y el sol cuando asciende a la superficie, o el uso de la fuerza mareomotriz para generar energía durante el movimiento. Éstas por el momento no han demostrado ser energéticamente rentables, por lo que el desarrollo está dirigido actualmente a mejorar la tecnología de los gliders termales.

La eficiencia del glider puede verse mejorada de múltiples modos: diseño de las alas, optimización del casco, mejoras en la tecnología relativa a la alteración de la flotabilidad, etc. En general, en la actualidad la mayoría de los estudios están dirigidos hacia la mejora del movimiento que provocan las

alas. La posición de éstas, el ángulo de ataque, el control flexible para variar su postura según la situación, la geometría, etc. El estudio de las alas del glider va de la mano del mundo de las simulaciones, donde el objetivo es lograr una propulsión más eficiente para reducir el consumo energético, y por lo tanto prolongar la capacidad de navegación de forma continuada. La hidrodinámica parece ser la mejor posibilidad para mejorar la eficiencia en el desplazamiento del glider.

Por último, se explicó anteriormente la dificultad que tiene el glider por su naturaleza para actuar en ciertos escenarios. El desarrollo continuo debería de poder abrir las puertas a nuevas situaciones y al aumento de posibles escenarios. Un ejemplo de cómo desarrollarse en este campo viene de la mano, una vez más, de las alas; puesto que estas otorgarán al glider la maniobrabilidad, estabilidad, y velocidad con la que manejarse en distintas zonas. Actualmente, uno de los gliders conceptuales más estudiado es el *manta ray glider*, cuyas alas biónicas imitan el aspecto, movimiento, y frecuencia de las alas de una manta. Con ellas se podría navegar con una velocidad constante muy próximo al fondo oceánico para el estudio y la monitorización de esa zona [26].

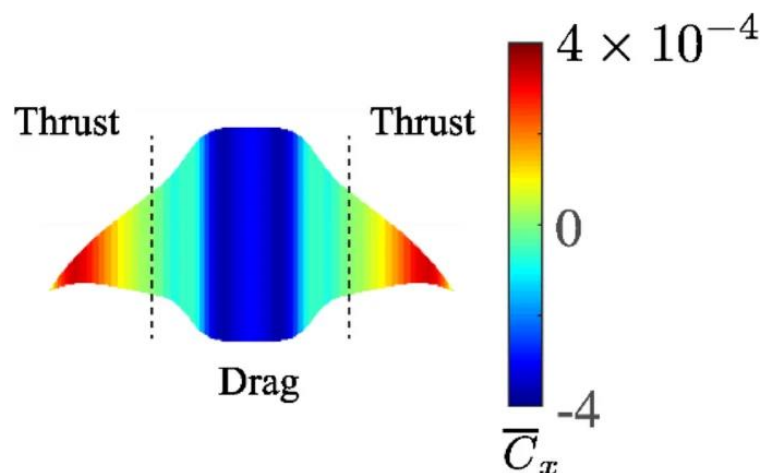


Figura 2-18 Estudio de la sustentación y arrastre en un Manta Glider [26]

2.5.6.1 Diseño Modular

En la actualidad, el diseño del glider es visualizado como un único bloque de distintas partes. Esto significa que, cuando se desean distintos tipos de operaciones, o una serie de características específicas, necesariamente se debe diseñar un glider específico para esas condiciones. Esta desventaja implica, no solo el encarecimiento de los costes de hacer misiones con gliders, sino que además genera la indeseable situación de tener que físicamente poseer multitud de gliders con distintas capacidades para abarcar todo el margen operacional posible.

El concepto de modularidad podría impulsar enormemente el empleo de los gliders. La división en módulos significa que, para operar en distintas aguas, o incluso en un mismo territorio, poder realizar nuevas investigaciones con un enfoque diferente. Todas estas acciones se podrían realizar sin tener que cambiar el glider, bastaría con únicamente sustituir la parte deseada y guardarla para poder ser empleada la próxima vez que se requieran sus necesidades.

Siendo todas las partes anteriormente mencionadas potencialmente modulares, se ha querido destacar los siguientes módulos por las posibilidades que ofrecen:

- Bahía de ciencia: nuevos parámetros, actualizar los sistemas que ya se poseen., poder medir distintas características del agua cambiando los sensores disponibles.
- Alas: distintos tipos de alas que permitan realizar navegaciones diferentes.
- Vejiga: poder cambiar el tipo de operación según el tiempo requerido, el coste deseado o la temperatura del medio.

- Sistema de Navegación: incluyendo las baterías, se puede cambiar los tamaños de estas para disponer de menor o mayor energía. mediante distintos tamaños de cilindros de presión.
- Hélice: Adición de un sistema de propulsión auxiliar como podría ser una hélice que permita el uso de esta o no según lo vaya a tener que requerir la misión. Hay que tener en cuenta que, si se trata de una misión larga, probablemente no merezca la pena tener una hélice que pueda a la larga consumir grandes cantidades de energía, por lo que se retiraría.

3 DISEÑO CONCEPTUAL

3.1 Introducción

El diseño de un UG (*Underwater Glider*) suele ser un proceso complejo y el cual necesita un aporte de capital amplio para poder llevarse a cabo. En el diseño de este glider se pretende crear un modelo funcional del Sistema de Guiado que incorpora, para poder emplearse como una tecnología modular, a través de diseño y modelado 3D.

En este apartado describiremos los primeros diseños y modelos que se realizaron, los cuales tomaron como modelo referencia el prototipo Open Source (código abierto) presentado en la página *hackaday*¹; el flujo de trabajo a la hora de diseñar las piezas, y los problemas presentados en los prototipos que implicaron la necesidad de cambiar los modelos.

3.2 Sistema de Guiado

Para mejor comprensión de qué se está diseñando, el sistema de guiado de un glider se considera como el sistema de energía y control de la orientación, esto es, lograr el equilibrio perturbado por los fenómenos producidos por el balance y la cabezada cuando el glider se encuentra navegando. Es la cámara desde donde se va a distribuir la energía al resto del glider mediante un sistema de cableado que emana de la fuente de alimentación (el conjunto de baterías). Para ello, disponemos de un cilindro estanco, o cámara de presión, que hará de soporte para los distintos elementos que se encuentran dentro.

Como se acaba de mencionar, la energía la proporcionarán una serie de baterías que actuarán como un bloque el cual se ha diseñado para que pueda desplazarse y rotar por dentro del cilindro para adaptar su centro de masas según lo requiera la situación.

Este bloque se conectará por ambos extremos de la siguiente manera:

- En el extremo de proa, lo conectaremos a un motor paso a paso que a través de un husillo le dará la capacidad de desplazamiento por dentro del cilindro de presión.
- En el de popa, lo conectaremos a otro motor y a un conjunto de engranajes que darán giro en torno al eje de crujía para que todo el conjunto rote.

Mediante el desplazamiento por el eje de crujía, el glider contrarresta el movimiento de cabezada; por otra parte, la rotación es capaz de solventar el fenómeno del balance y la escora. Por lo tanto, se

¹ <https://hackaday.io/project/20458-osug-open-source-underwater-glider>

concluye que a través del sistema de guiado buscamos lograr el equilibrio con respecto al plano horizontal.

A continuación, se explicarán las condiciones que se han debido tener en cuenta, y los requerimientos necesarios para el diseño.

3.3 Requerimientos, Condiciones

Los proyectos de ingeniería mecánica han de poseer una serie de bases, las cuales son comunes entre todos los de este tipo, independientemente de la finalidad que tenga. Se tratan de:

- **Funcional:** El diseño final ha de ser real, que se pueda operar realmente y no que quede únicamente en un concepto.
- **Competitivo:** El producto ha de poder competir en las condiciones que suponen el mercado moderno, donde la competencia es constante, variable, e internacional. Por lo que tiene que poder diferenciarse de productos similares, y atraer la elección de este.
- **Rentable:** el proceso de diseño, construcción, y venta del producto ha de suponer un beneficio, es decir, un ingreso superior al coste total del producto.

Adicionalmente, el diseño del sistema de guiado debe atender a las necesidades propias características de nuestro proyecto:

- **Ligereza:** el peso que implica este diseño ha de responder a una relación de maniobrabilidad y ligereza. Esto se puede entender de la siguiente manera: si se diseñase un carro muy pesado, podríamos perder autonomía al aumentar el arrastre generado durante el movimiento del glider. Precisamente una de las características del glider es el tiempo que puede permanecer operando, por lo que fallaríamos a una de las características básicas.
- **Fiabilidad:** la selección de piezas y materiales debe tener criterio, puesto que siendo el objetivo final que el glider se encuentre navegando de forma autónoma, un fallo o rotura supondría con gran seguridad la pérdida de este.
- **Sencillez:** el montaje no ha de suponer gran complejidad, ni los planos han de ser enrevesados, puesto que se desea que cualquier persona con un mínimo de preparación pueda convertirse en operario y técnico del glider, capaz tanto de manejarlo como de realizarle los mantenimientos necesarios.

Por último, las condiciones específicas que se establecieron para el diseño conceptual del conjunto son las siguientes:

- El trabajo final ha de conformar un único módulo indivisible con el que poder trabajar. Ha de formar un cilindro cerrado que pueda vincularse por ambos extremos a otros dos potenciales módulos con sus características propias. Esta especificación gira en torno al punto 2.5.6.1 referente al Diseño Modular como una de las líneas futuras de desarrollo de los gliders.
- El diseño se ha de realizar para incorporarse dentro de un cilindro de presión de 120 mm de diámetro exterior.
- **Simetría:** el diseño de un sistema lo más simétrico posible facilitará los cálculos necesarios para los movimientos que se requieran.
- **Distribución de Pesos:** Con el objetivo de aumentar la maniobrabilidad, la distribución de pesos es clave. En la situación inicial de navegación, el centro de masas se encuentra alineado con el eje. Cuando el dispositivo se dispone a virar, el conjunto al completo rota sobre el eje longitudinal, simulando el efecto de una palanca. Introduciendo un cambio en el equilibrio de fuerzas anteriormente mencionado, aplica un momento que facilita el cambio de rumbo.

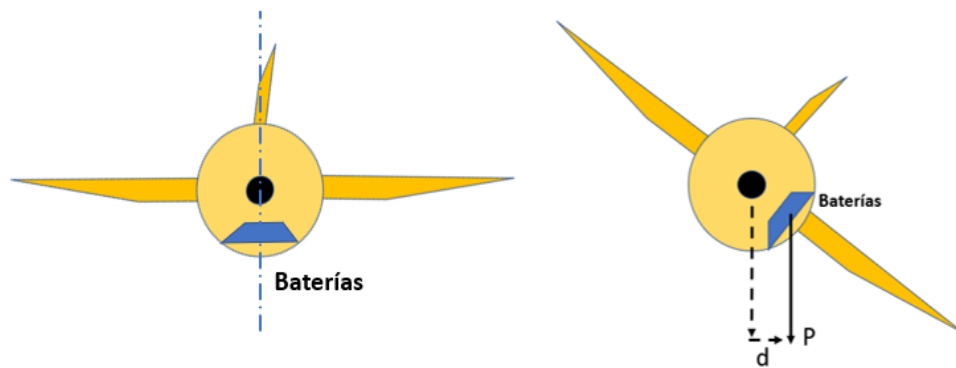


Figura 3-1 Disposición de las masas durante un viraje

- Elementos de unión: a la hora de realizar uniones dentro de, y entre las piezas, se han de buscar aquellas que puedan ser desmontables. Es importante minimizar el número de elementos que causen desperfectos o rotura de material en las piezas para que puedan desmontarse para realizar los respectivos mantenimientos. Concluimos entonces que, realizaremos en el mayor número de ocasiones posibles uniones rígidas desmontables y atornilladas.

Habiendo definido los requerimientos del diseño, a continuación, se procede a explicar el diseño del prototipo inicial.

3.4 Fase Inicial

Para la creación del sistema de guiado del glider se decide tomar como base que albergará todo el equipo un tubo de metacrilato de la empresa Transglass. Este tiene un diámetro exterior de 120 mm y el interior de 108 mm. Con estas medidas se puede crear un dron formado por elementos lo suficientemente grandes que le permitan aguantar las presiones encontradas en profundidades de entorno 200 m.

A la hora del diseño, se decide segmentar las distintas partes del conjunto de guiado en paquetes, para facilitar el trabajo y la visualización de los objetivos. La idea es no pasar al diseño del siguiente segmento hasta que se haya completado el actual.



Figura 3-2 Flujo de Diseño por Paquetes

Una vez establecida la referencia (el cilindro de presión), y el orden en el que se van a realizar los diseños, se pasa a la toma de medidas que darán origen a la pieza principal, las baterías para el soporte de baterías.

3.5 Paquete Soporte de Baterías

3.5.1 Baterías y Soporte de Baterías

La empresa *BlueRobotics*, proveedora de hardware opensource que se emplea para ROVs y Gliders, utiliza baterías cuadradas en los diseños para los soportes. Sin embargo, en este proyecto, debido al formato circular de los discos que conforman la estructura, se ha considerado que el empleo de las baterías cilíndricas del tipo 18650 de la marca Samsung, será más adecuado, puesto que facilitan el desplazamiento de los pesos a los perímetros para aumentar el momento torsor que producen al girar el conjunto al completo.

Dentro de cada Pack, las baterías se han de disponer indudablemente de forma simétrica, pues de lo contrario generaría un desajuste en las fuerzas que provocarían que el glider maniobrase continuamente hacia una misma banda.

El cálculo de la potencia necesaria se hace estimando con respecto al mismo modelo, el cual emplea 6 baterías de 3.6 V. Las baterías seleccionadas tienen una potencia de 3.6 V y un amperaje similar. Por lo tanto, el segmento se diseña para estar formado por dos Packs de 8 baterías cada uno. La disposición de estas es la que se muestra en la Figura 3-3, con 4 baterías en paralelo, y 4 en serie por cada Pack. Con esta distribución, el cálculo realizado da un margen energético amplio con el que poder trabajar.

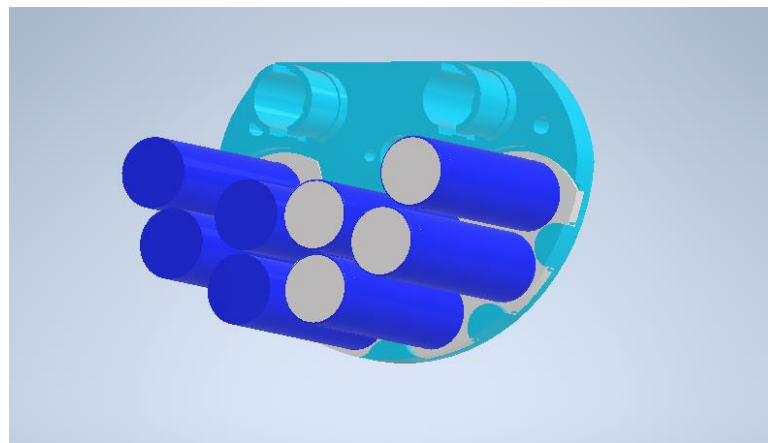


Figura 3-3 Soporte Pack Baterías

A continuación, se muestran las fórmulas de cálculo de circuitos en paralelo y en serie, con los que se ha hecho el cálculo de carga disponible.

$$V_{tserie} = V_1 + V_2 \quad (9)$$

$$V_{tparalelo} = V_1 = V_2 \quad (10)$$

Por lo tanto, se concluye que la potencia que se obtiene es de 15,3 V y se demuestra la mayor capacidad energética de la que se dispone.

El peso añadido al aumentar el número de baterías no supone un problema, puesto que actuará beneficiosamente en el desplazamiento del centro de masas; lo que se traduce en una mayor eficiencia en la maniobrabilidad.

3.5.2 Pack Soporte de Baterías

Una vez ideado el soporte que unificará las baterías, se decide diseñar el pack, elemento el cual hará las funciones de sustentáculo entre las baterías, los soportes de las baterías, y la unión al resto de paquetes de Sistema de Guiado.

Para ello, se ha de tener en cuenta que:

- Ha de sujetar los soportes de baterías, por lo que se ha de idear un sistema de fijación.
- El soporte no puede ir pegado a la base del pack. Tiene que haber un hueco que permita el libre paso de los conectores para realizar la alimentación en serie/paralelo.
- El husillo ha de ir en el centro para mantener el centro de masas correctamente alineado.
- Se necesitarán vigas que soporten el esfuerzo a flexión provocado por el peso. Además, servirán para establecer un plano junto al husillo.

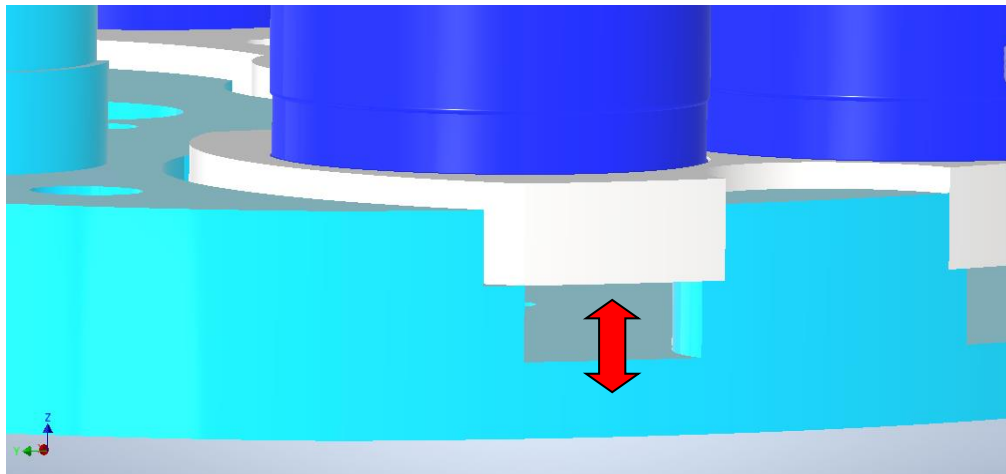


Figura 3-4 Separación entre el Pack y los Soportes de las baterías

3.5.3 Husillo y empuje.

El conjunto del pack de baterías se va a desplazar a través de un husillo roscado. Por lo tanto, es necesario conocer cómo se va a realizar este movimiento y las capacidades que tenemos. En el Anexo I: Husillo, se muestra el fundamento sobre el que sustenta el movimiento del husillo.

3.6 Paquete de Motor Translacional

El siguiente paquete que se va a realizar es el de soporte del motor. Lo forman una serie de discos que harán de soporte y unión entre los elementos del conjunto de transmisión de potencia para el avance en el sentido longitudinal.

3.6.1 Motor

El motor que se emplea en el glider de *Hackaday* es un motor paso a paso de la marca Longrunner utilizado en impresiones 3D por su fácil conexión. El motor funciona con una corriente de 1,7 A y tiene un par de fuerza de 0,59 Nm.

El motor paso a paso divide una revolución completa del eje en 200 pasos, con esto se puede lograr un control muy preciso del giro del motor mediante un Arduino.

3.6.2 Conjunto de Discos de Soporte

Los soportes que se diseñan tienen que cumplir tres funciones:

- Sujetar el motor.
- Conectarlos al paquete de baterías para que el motor otorgue el movimiento necesario en el eje longitudinal.
- Hacer de fin de carrera para todo el conjunto de las baterías. Como es de comprender, se necesitarán dos discos que realicen esta función, una en cada extremo del husillo.

Para realizar esto se van a diseñar una serie de discos que se conectarán entre ellos a través de vigas que soportarán los esfuerzos flectores. La intención es conectarlos con 3 soportes de manera que conformen un plano normal al eje longitudinal.

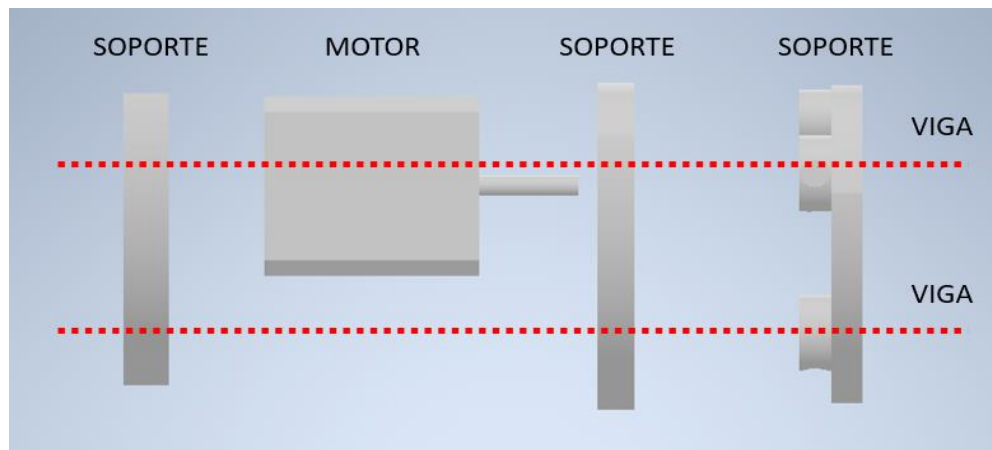


Figura 3-5 Concepto del Paquete de Soporte del Motor

Hay que recordar que el motor se va a conectar en su extremo a un acoplamiento flexible, el cual se va a enlazar con el husillo que desplazará todo el conjunto.

3.7 Paquete de Motor Rotacional

En esta sección disponemos de otro motor paso a paso como el mencionado en el anterior punto, solo que en esta ocasión se empleará, en vez de para lograr que el conjunto de las baterías se desplace en el eje longitudinal, para que rote en torno a este.

3.7.1 Engranajes

El cuerpo principal de este paquete lo conforman un conjunto de engranajes epicicloidales que convertirán el par de fuerza del motor, en un giro en todo el conjunto del paquete. El sistema ideado para llevar a cabo esta acción fue, empleando el programa GearGenerator 3, diseñar un conjunto de tres planetas engranados a un sol, que transmitan el par a un anillo el cual irá conectado al resto del cilindro.

Para su diseño, el orden más recomendable es comenzar por el sol y un planeta antes de comenzar a diseñar el anillo, sabiendo que el radio será de al menos dos veces el radio primitivo del planeta más el del sol. Hay que tener en cuenta el hueco que hay que dejar en sol para el eje del motor, el diámetro más externo que tendrá el anillo dependiente de la pared del cilindro; un margen donde irán colocados los elementos de unión al resto de elementos (tornillos).; y que los ángulos que separan los ejes de los engranajes no tienen por qué ser necesariamente 120 °.

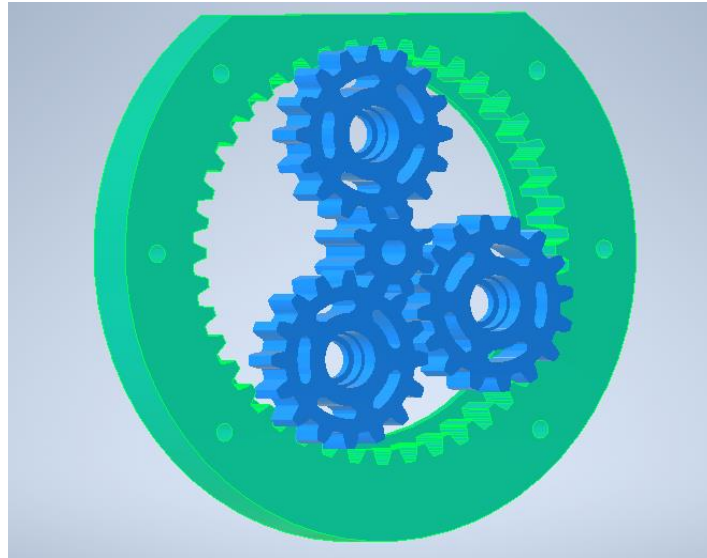


Figura 3-6 Diseño del Conjunto de Engranajes

Este anillo tendrá que transmitir el giro al *paquete de soporte de baterías*, por lo que es necesario diseñar un enlace entre ambos. En nuestro caso se hará a través de un disco que vaya unido al engranaje y pueda conectarse mediante elementos estructurales al conjunto de las baterías. Como se mencionó en el anterior apartado, el último elemento que se encuentra en este lado del cilindro de presión es un soporte de fin de carrera, por lo que ambos se tienen que diseñar para poder enlazarse entre sí.

Por otra parte, el sol irá conectado al motor paso a paso y será el que transmita la potencia. Será necesario diseñar un soporte al motor que evite el desplazamiento de este y el cual se una al paquete estructural.

3.8 Paquete Estructural

Este último paquete se utilizará para crear los nexos estructurales necesarios entre paquetes y las piezas que se emplearán para sellar el cilindro de presión, y hacer de soporte para el *módulo de gestión de baterías*: el control eléctrico.

3.8.1 Soporte Controlador

Está formado por dos piezas que irán al extremo libre del paquete de transmisión de potencia Translacional, y tiene tres funciones:

- Vincularse al Paquete del motor Translacional, desligándolo del giro que es producido por el Paquete Rotacional.
- Hacer de Soporte de los elementos que conforman el sistema eléctrico del módulo, tales como son los controladores de potencia y la distribución al resto del glider.
- Enlazarse con la pieza que actúa como fin del módulo, sellando el cilindro.

Hay que tener en cuenta la distancia que ha de separar ambos soportes que lo conformarán, y que necesariamente, el que va conectado al sello, tendrá que ir pegado a éste para hacer la unión lo más fuerte posible. La idea es atornillar el soporte controlador al sello.

Además, al conectarse al motor paso a paso introduciremos un rodamiento de bolas que permita independizar el giro producido por este en todo el conjunto posterior al del Paquete Estructural, por lo que es recomendable añadir una cubierta para proteger su movimiento.

3.8.2 Sello

Es la pieza que va a actuar como fin del cilindro de presión, por lo tanto, va a tener que hacer de cierre estanco para este. Lo más importante a destacar son las dos zonas del sello en donde se van a diseñar los huecos para las juntas tóricas:

- Exterior; la parte que se encuentra por fuera del cilindro tiene que cerrar el tubo. Sin embargo, debido al carácter de módulo independiente del resto de sistemas que se le desea dar al diseño, con vistas a un glider modular completo, se ha de establecer un sistema que permita la conexión con nuevas partes.
- Interior: la zona que se encuentra por dentro del cilindro a través de la cuál la presión se hará entre la pieza que actúa como vástago y la pared.

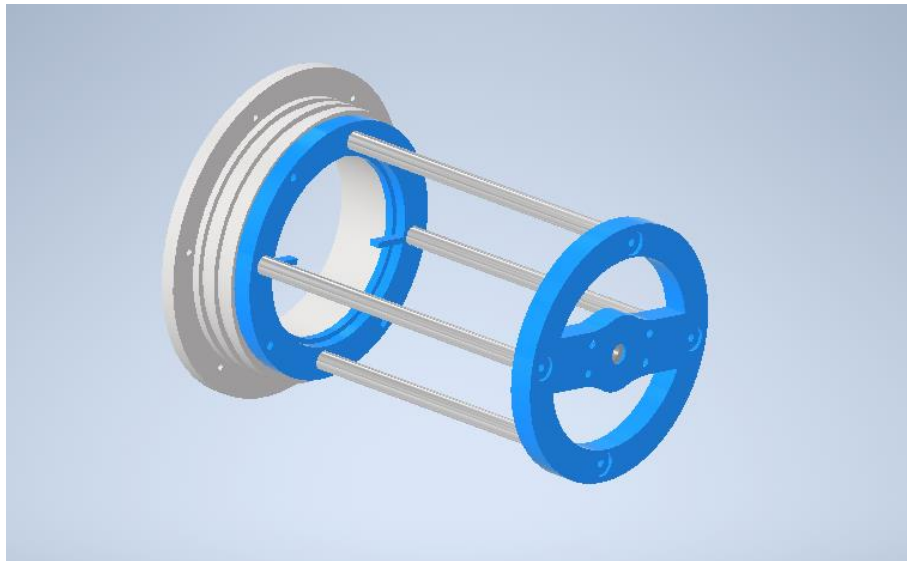


Figura 3-7 Concepto del Paquete Estructural

El diseño del sello incluye la necesidad de incorporar juntas que hermeticen el tubo del medio exterior para mantenerlo aislado de un entorno a una presión mucho mayor que con la que debería trabajar. Existen juntas tóricas de tamaño específico para cilindros del tamaño deseado. La intención es diseñar el sello de tal modo que se empleen dos juntas tóricas con una cámara de aire en medio. De este modo se reduciría a la mitad la presión que se ejerce en cada una.

3.8.2.1 Juntas Tóricas

Para el cálculo de las juntas se ha de tener en cuenta la disposición de la junta, es decir, la posición en la que se encuentra y cómo se le va a aplicar la fuerza. La siguiente gráfica muestra los dos casos que nos son necesarios para el diseño del sello y poder realizar una estanqueidad adecuada.

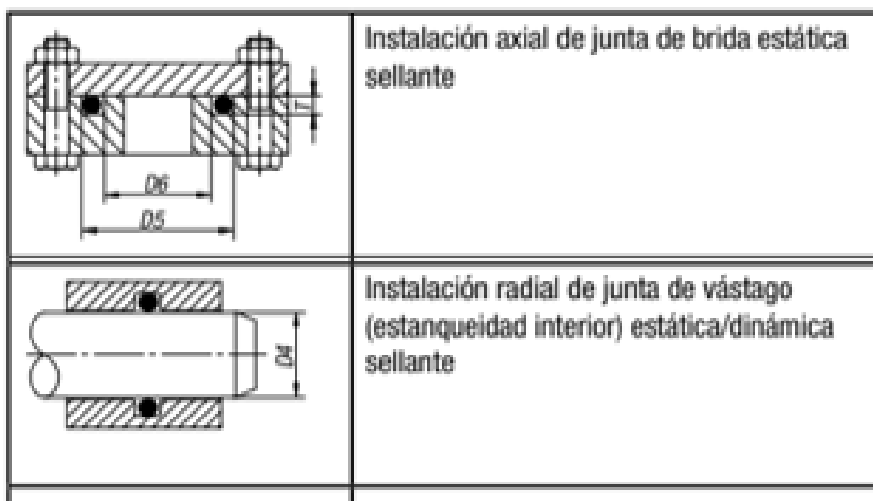


Figura 3-8 Juntas tóricas según Esfuerzo [27]

Siendo el primero el caso de la zona exterior del sello, y el segundo de las juntas interiores. En el Anexo III se presentan los cálculos necesarios y las ecuaciones y tablas correspondientes para las juntas y el hueco que hay que diseñar para ellas. Hay que tener en cuenta que las juntas aceptan márgenes de compresión y elongación dentro de los cuales siguen cumpliendo completamente su función

4 METODOLOGÍA Y MATERIALES

4.1 Introducción

En este capítulo se va a definir el software que se ha manejado para el desarrollo del proyecto; seguidamente se hará una explicación del flujo de trabajo que se ha seguido; y finalmente se expondrán los materiales empleados.

4.2 Software

Durante el trabajo se han empleado herramientas informáticas que han permitido realizar el diseño digital de los componentes del conjunto en 2D, modelado y ensamblaje en 3D de las piezas entre otros. Para el diseño y modelado de las piezas que se han fabricado para el planeador, se ha empleado principalmente el Software de Autodesk.

A través de la aplicación de escritorio que ofrece se han utilizado AutoCAD 2021.1.1 64-Bit para el diseño de los planos de las piezas, y a continuación se empleó Inventor Professional 2022.2 para su extrusión a formato 3D. Además, gracias a la opción de ensamblaje del propio programa, se realizó la comprobación digital de este; el diseño de los engranajes se realiza a través del programa GearGenerator 3; en cuanto a la impresión de las piezas se utilizó el programa Ultimaker Cura 4.13.1 que permitía la previsualización y el corte en capas de las piezas previa impresión.

4.2.1 Autodesk

El software de Autodesk lo conforman un conjunto de programas cuyo factor común es el diseño en 2D y/o 3D. Fue desarrollado por una empresa estadounidense en principio para el diseño de dibujos técnicos detallados para pequeñas empresas de diseño, ingeniería y arquitectura. Una gran ventaja que posee trabajar con esta aplicación es la relación entre sus distintos programas, puesto que no existe problemas de incompatibilidad entre ellos. Por ejemplo, pese a que con Inventor se pueden dibujar los planos de las piezas, es común emplear AutoCAD para el diseño de los planos por su mejor optimización, y a continuación importarlos al programa de Inventor para realizar las extrusiones, como ha sido en el caso de este proyecto.

Dentro de los múltiples programas que ofrece la aplicación, en este proyecto se han empleado AutoCAD e Inventor.

4.2.1.1 AutoCAD

Como se ha mencionado anteriormente, el programa de AutoCAD permite el diseño de dibujos técnicos de precisión. Además del dibujo técnico, se pueden realizar los planos necesarios para la fabricación de una pieza.

Una herramienta que ofrece la aplicación es el trabajo mediante capas para una única pieza. Este método facilita el diseño de una única pieza, puesto que permite el visualizado, o la ocultación de distintas cotas. De este modo, se puede trabajar empleando las anteriores capas como referencias, bloqueándolas para evitar modificarlas de forma accidental, o bien ocultándolas cuando no son necesarias; el empleo de las capas agiliza los procesos de diseño.

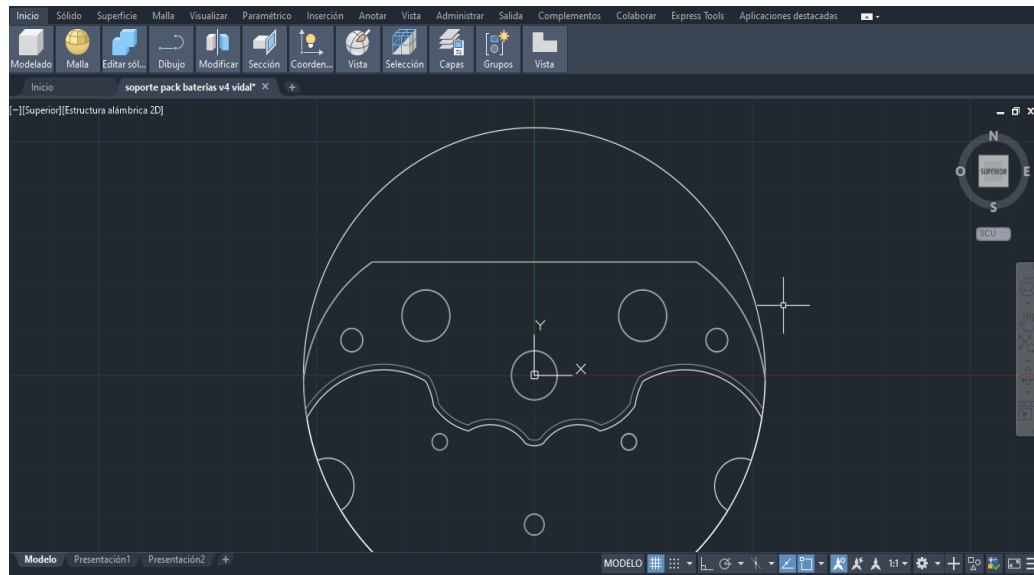


Figura 4-1 Diseño del Pack de Baterías en AutoCAD

4.2.1.2 Inventor

Inventor es un programa de modelado de sólidos en 3D. Sin embargo, no consiste en un programa tipo CAD, puesto que el programa mismo realiza de forma automática la actualización de las geometrías al alterar las dimensiones actuales. Con este software se han obtenido las piezas a través de la extrusión de los planos obtenidos a través de AutoCAD, y posteriormente se le han añadido los detalles que requerían las piezas que por dificultad de adición previamente se deciden incluir desde la propia opción de diseño que ofrece.

Inventor permite a su vez generar proyectos con los que realizar ensamblajes para el visualizado final de un conjunto. Además, nos encontramos ante un programa tipo CAE, por lo que hay que tener en cuenta que este programa permite realizar análisis de elementos finitos. Es decir, Inventor da la posibilidad de realizar análisis y estudio de fuerzas aplicadas.

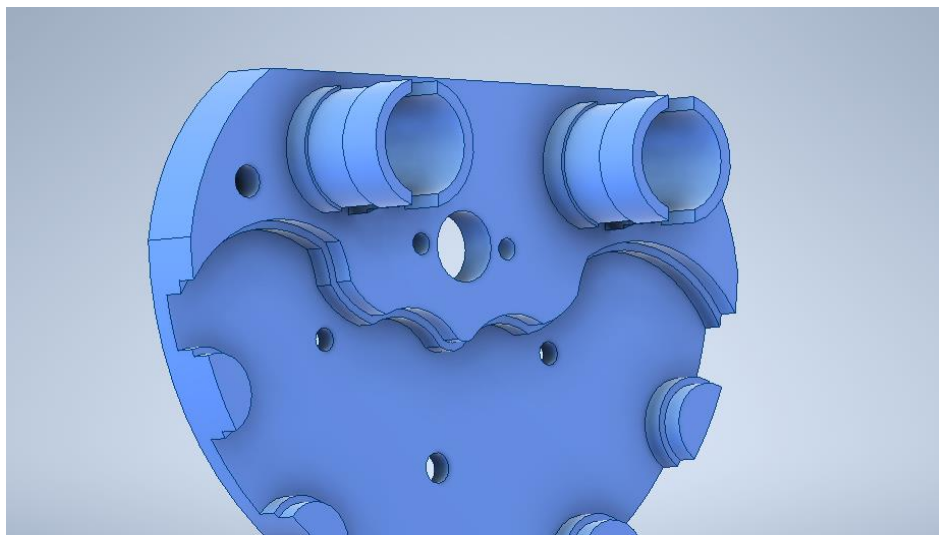


Figura 4-2 Extrusión del Pack de Baterías en Inventor

En el presente proyecto, se ha empleado Inventor para hallar el centro de gravedad de las piezas, así como del ensamblaje final. De este modo, se ha podido configurar el conjunto de todo el sistema para generar una tabla de datos con la que realizar un modelo BIM (ver Anexo III: Modelo BIM) para una potencial sensorización futura del carro de baterías para que pueda controlar la orientación con respecto al plano horizontal.

4.2.1.3 GearGenerator 3

Este programa sirve para crear plantillas de engranajes y generar sets tales como son los trenes de engranajes, correas, y los planetarios. El programa presenta las características necesarias para el diseño de los engranajes y actualiza automáticamente ante modificaciones los parámetros dependientes necesarios. Además, se obtuvieron los planos en digital de estas piezas para luego ser exportados a otros programas de diseño de precisión, como puede ser AutoCAD.

El programa no requiere de conexión a internet para su ejecución, aunque no es soportado por sistemas operativos que no pertenezcan a la familia de Microsoft.

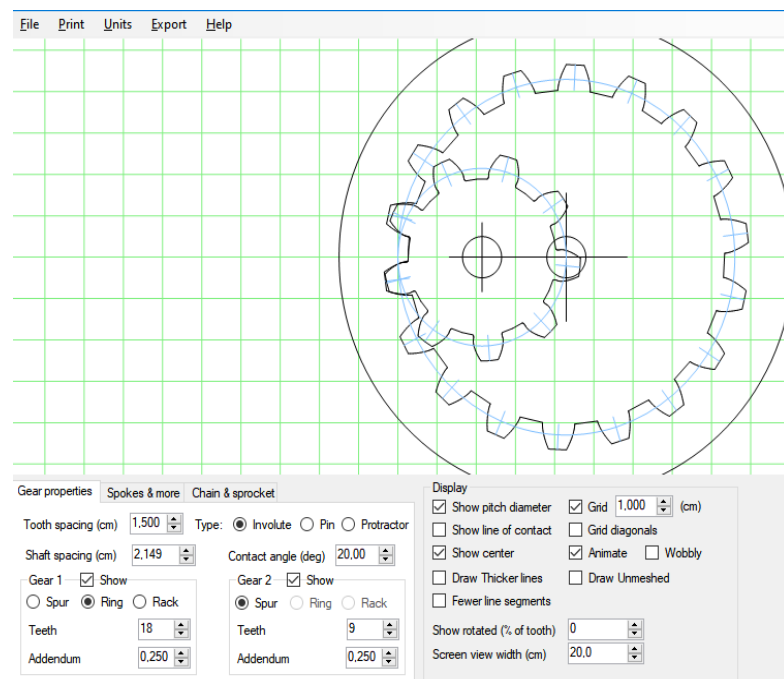


Figura 4-3 Generación de Engranajes en GearGenerator 3

El programa únicamente permite diseñar dos engranajes en un mismo tiempo, por lo que es necesario realizarlo por partes. El método más común empieza por diseñar el sol, en base al eje del motor, y uno de los planetas. A continuación, hay que diseñar el anillo con el planeta, teniendo en cuenta las características que tenía en la primera parte. Para realizar el modelo del anillo se ha de tener en cuenta el tamaño máximo del cilindro que le rodea. Puesto que no se va a diseñar para que toque con las paredes, basta con dejar cierto margen para colocar tornillos que permitan la unión con el resto de las piezas del conjunto. Por último, hay que considerar los diámetros primitivos de los planetas y el sol.

4.2.1.4 Ultimaker Cura

El programa de Ultimaker Cura es un software empleado para la impresión de piezas a través de impresoras 3D. Posee una amplia gama de impresoras, y permite la integración de programas CAD de terceros, lo que supone una fácil compatibilidad con otras aplicaciones como son las de Autodesk.

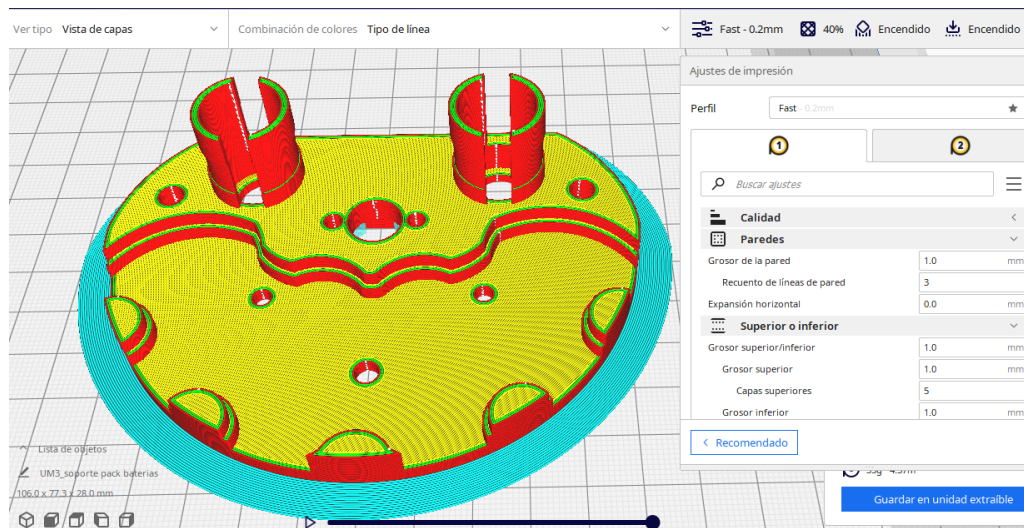


Figura 4-4 Impresión del Pack de Baterías en Ultimaker Cura

Este software presenta una interfaz cómoda con la que se pueden modificar las características de impresión. Además, el programa genera el corte de la pieza en capas, a través de la opción *slicing* con la que poder visualizar y comprobar cómo va a ser el proceso de creación, y una estimación del tiempo de impresión y la cantidad de material consumido. Los ajustes de impresión permiten realizar una adaptación cómoda a las necesidades de cada impresión, pudiendo modificar temperaturas, tamaños de capas y paredes, velocidades, soportes necesarios, etc.

En el caso de este proyecto, se han importado los diseños en 3D de las piezas que se realizaron en Inventor en formato .STL para imprimir en una impresora Ultimaker.

4.3 Flujo de Trabajo

Habiendo definido en el apartado anterior, Diseño Conceptual, el diseño modelo que se va a seguir, el siguiente paso consiste en llevar a cabo la idea presentada. Para ello, se ha seguido un flujo de trabajo para aumentar la eficiencia del proceso. La Figura 4-5 es una muestra gráfica del proceso realizado:

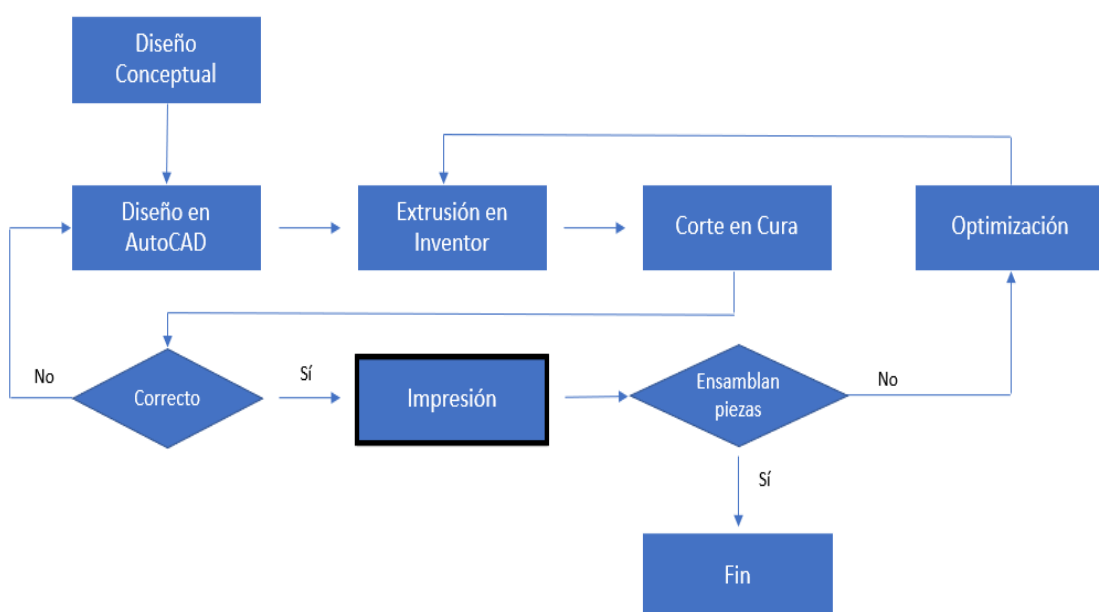


Figura 4-5 Flujo de Trabajo

4.3.1 Diseño en CAD

Partiendo del concepto inicial se realiza un diseño en AutoCAD. Hay que tener en cuenta ciertos inputs a la hora de realizar los diseños que ahorrarán esfuerzos posteriormente:

- Utilizar el centro del eje de coordenadas como centro del cilindro de presión. Esto ahorrará el tener que alinear las capas posteriormente para realizar la extrusión.
- No puede haber separaciones de elementos (agujeros, cortes, cotas,) dentro de una misma capa menores a 0,4 mm; la impresora imprime con un hilo de este tamaño, por lo tanto, de usar una separación menor, probablemente se acabe perdiendo esa medida como causa de las tolerancias.
- Diseñar las piezas por capas, puesto que esto también facilita el empleo del resto de capas como referencia gracias a la opción de bloqueo de las que no se están trabajando.

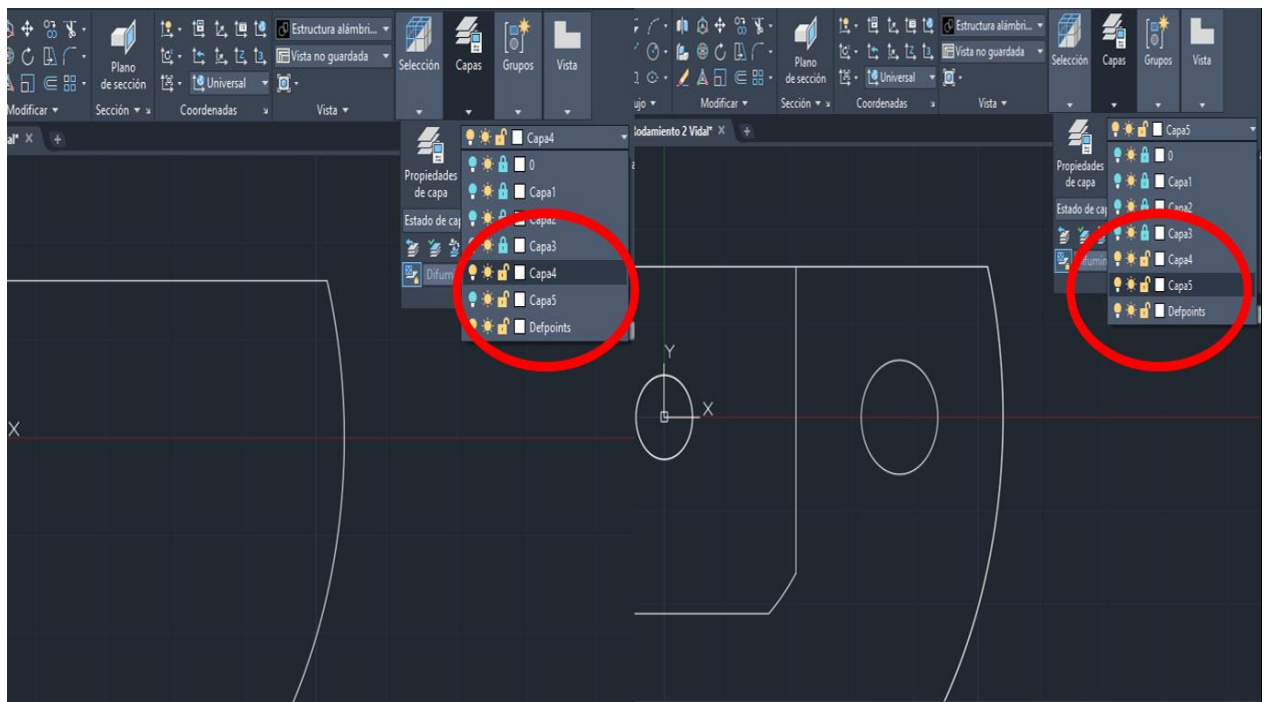


Figura 4-6 Vista de un diseño de AutoCAD por capas

Puesto que los elementos estructurales comprados poseen unas tolerancias, y tanto la impresora como el material empleado poseen otras, se ha realizado una pieza con la que realizar un calibrado de medidas para su ajuste.

4.3.2 Tolerancias Dimensionales

Con vistas a poder desarrollar de la manera más eficiente el proyecto, y tener que realizar el mínimo de impresiones debidas a errores de ensamblaje por incompatibilidad entre las piezas impresas y el material comprado, se ha diseñado una tabla que servirá como referencia para ciertas medidas. A través del mismo programa de Inventor con el que se están diseñando las piezas finales, se crea una que posee agujeros pasantes, cilindros, y hexágonos, con las medidas correspondientes a los distintos elementos que se han tenido que adquirir para realizar el proyecto.

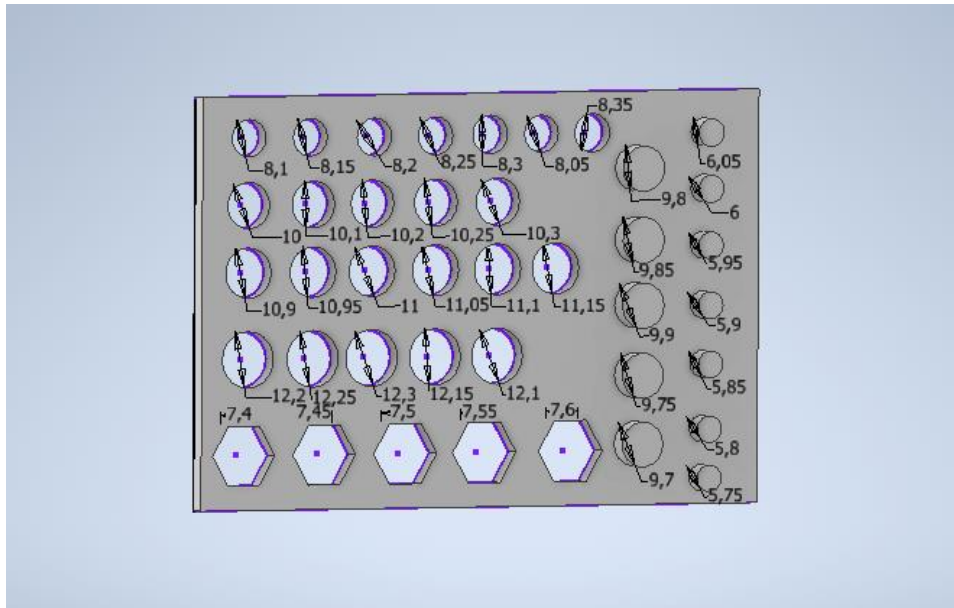


Figura 4-7 Pieza Referencia para Elementos Externos

Tratándose de elementos de pequeño tamaño, que requieren una buena precisión, los errores que pueden surgir durante la toma de medidas y diseño, ya sean errores sistemáticos o aleatorios, pueden suponer un grave problema a la hora de imprimir las piezas.

Los materiales que se seleccionan para medir son:

- Varillas de sujeción de acero cromado.
- Husillo roscado.
- Pilares de soporte.
- Tubos de metacrilato.

El diseño se realiza con saltos de unidades de 0,05 mm hasta un máximo de $\pm 0,2$ mm según el elemento original. Esto se realiza en base a las características de impresión de la impresora, que emplea un filamento de 0,4 mm y debería tener una precisión de entre 0,1-0,2 mm.

El diseño de esta pieza no asegura que no vayan a ocurrir errores en el ensamblaje, o que las piezas no vayan a quedar exactamente tal y como se diseñaron, simplemente es un proceso más para dar seguridad a la eficiencia del trabajo.

4.3.3 Extrusión en Inventor

Una vez se ha realizado el diseño en AutoCAD, exportamos la pieza a Inventor. Aquí iremos añadiendo las capas y extruyéndolas hasta alcanzar el tamaño deseado. Hay que recordar que hay ciertos detalles que no se habrán podido añadir en el proceso de diseño en CAD, tales como son los agujeros para tornillos.

Además, aprovechando la vista en 3D que ofrece el programa, se puede aprovechar para añadir detalles que de la otra manera no eran cómodos de incorporar.

4.3.4 Corte en Cura

Tras extruir la pieza, obtenemos el diseño completo de esta. Sin embargo, las características con las que trabaja la impresora utilizada pueden no permitir la realización de un diseño (capas demasiado finas, separaciones pequeñas, geometrías muy pequeñas, etc.).

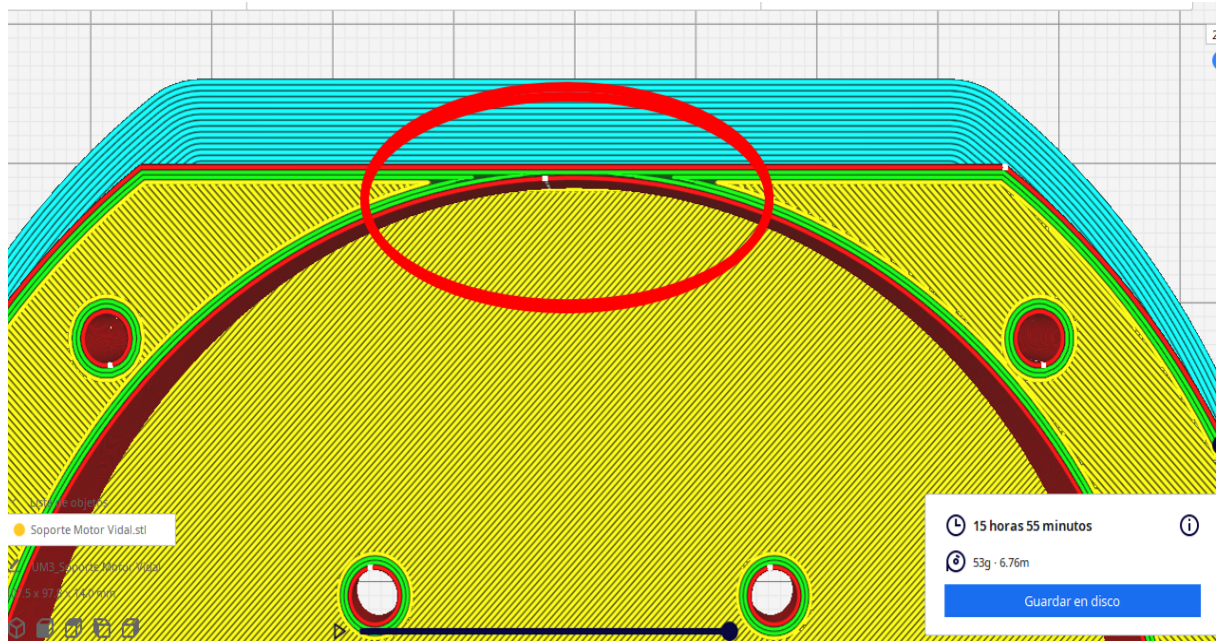


Figura 4-8 Mala Impresión por Diseño

Mediante la opción de corte en la aplicación de Cura podremos visualizar si, capa por capa, el proceso de creación de la pieza va a ser correcto, o si por lo contrario va a fallar en algún punto. El corte por capas es una acción importante, puesto que puede implicar grandes cambios en la geometría de las piezas. Si se detecta algún error para la impresión, es recomendable realizar el rediseño desde AutoCAD para que los cambios que se hagan trabajen con las mismas tolerancias que el resto del diseño. A pesar de esto, algunos cambios menores se pueden realizar también desde Inventor para ahorrar tiempo de trabajo.

4.3.5 Impresión y análisis

La impresión es un momento delicado del proceso, puesto que se pueden modificar multitud de parámetros que cambian el diseño, la estructura, y el acabado de la misma pieza. No todas las piezas requieren las mismas características por sus diseños y condición, por lo que es necesario adaptar algunas de ellas. Sin embargo, es recomendable no cambiar muchas de ellas relativas a calidad para mantener los márgenes con los que trabaja el conjunto.

Algunos de los parámetros recomendables que se han empleado para esta impresión se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2 Características de Impresión

PARÁMETRO	VALOR	OBSERVACIONES
Temperatura	210-220°	Recomendación del fabricante
Altura de capa	0,2 mm/s	Piezas con cotas muy ajustadas se puede bajar a 0,15 mm
Velocidad de Impresión	40-60	Mayor detalle implica menor velocidad
Relleno	40%	Las piezas requieren poca resistencia, pero no hay apenas ahorro al poner un valor menor

A pesar de estas características recomendadas, se recuerda que se utilizó PLA, por lo que siempre se pueden cambiar si se emplea otro material distinto, según la impresora que se maneja, o incluso si se desean probar nuevas características y acabados.

Teniendo diferentes piezas disponibles de un mismo conjunto, es recomendable comprobar que el ensamblaje se lleva a cabo de forma correcta, puesto que es posible que, aun siendo factible en Inventor, físicamente no encajen. Esto se puede deber a dos razones:

- Error de impresión: hay que comprobar que, una vez se obtiene la pieza, ésta ha salido sin errores de impresión que puedan afectar al conjunto. Las causas son múltiples (falta de material, temperatura baja, atasco en el extrusor, falta de material de soporte, etc.), y hay que estudiarlas antes de volver a imprimir para corregir el fallo y evitar desechar más impresiones.
- Error de diseño: Aún con las medidas de precaución, márgenes, y tolerancias tomadas para conseguir un ensamblaje lo más exacta posible pueden surgir errores durante la fase de diseño.

Una vez se ha impreso la pieza definitiva hay que limpiarla recortando los bordes sobrantes, y se recomienda limar ligeramente algunas paredes que estarán en contacto con otras piezas u otros materiales para corregir posibles fallos en el acabado superficial.

4.4 Equipo y material

El trabajo ha sido desarrollado casi en su totalidad en las instalaciones de la Escuela Naval Militar: el trabajo de diseño de las piezas fue realizado a través de un ordenador personal con las características necesarias para correr los programas de Autodesk y Ultimaker Cura, con las prestaciones que indican sus respectivos fabricantes; mientras que la impresión de las piezas se llevó a cabo en el Laboratorio de Investigación del Centro Universitario de la Defensa. La impresora empleada fue Ultimaker 3.

4.4.1 Ultimaker 3

La impresora Ultimaker 3 pertenece a la familia de impresoras Ultimaker. Además del hardware que lo compone, la empresa ofrece un software del mismo nombre, mencionado en el apartado anterior, que permite la modificación de los parámetros de impresión para facilitar su empleo.



Figura 4-9 Impresora Ultimaker 3

El equipo es una impresora FDM (Deposición Fundida de Material) que emplea una bobina de filamento, y genera la pieza por extrusión Browden: se extrae de una bobina un filamento del material en cuestión, en nuestro caso se empleó PLA 0,4 mm; a continuación, un motor la empuja hasta alcanzar el *printcore*, el cabezal donde el material se calienta hasta fundirse, y finalmente se extruye a través de una boquilla siguiendo un patrón generado por el propio programa según el diseño de la

pieza deseada y los parámetros de impresión que le hemos dado. El Sistema funciona por capas, de modo que hay que indicar el plano y la orientación inicial de la pieza.

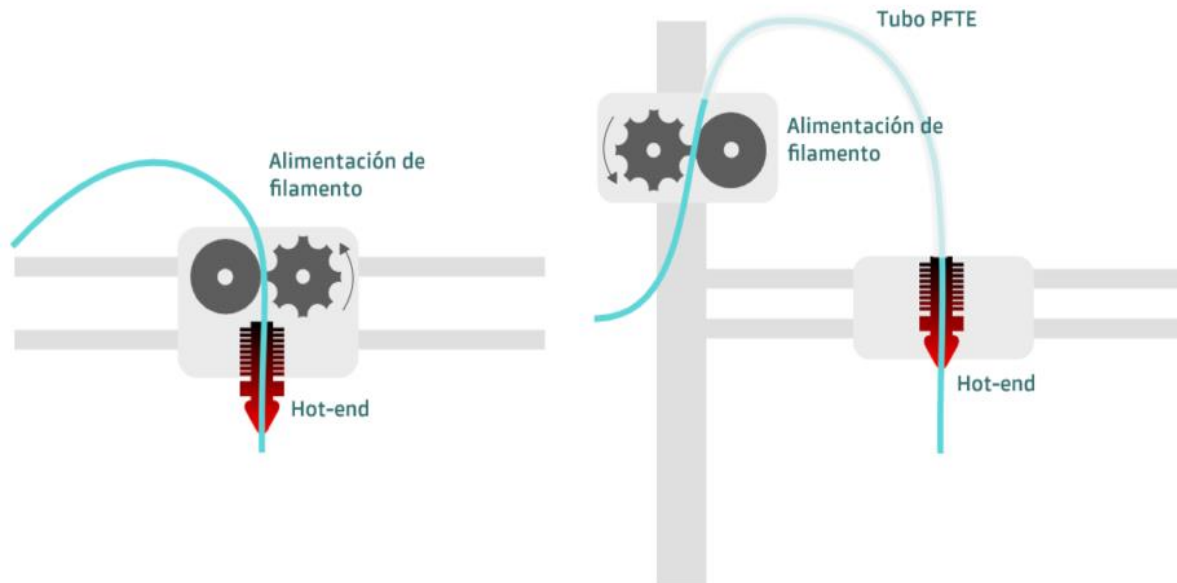


Figura 4-10 Izquierda: extrusión directa; Derecha: extrusión Browden

Este mismo sistema implica que hay ciertas formas que no se pueden lograr por su cuenta, como es por ejemplo el caso de apéndices, voladizos, o pestañas que aparecen “flotando” en una pieza terminada, pero durante la impresión al seguir caliente no se mantendrían en pie. La solución a este inconveniente es el empleo de un segundo material con el que se realizarán rellenos y apoyos que permitan la fabricación de este tipo de detalles. Es posible emplear el mismo material para los apoyos, aunque con parámetros específicos para esta función.

4.4.2 Materiales

4.4.2.1 Material de Extrusión

Como se mencionó en el apartado anterior, la impresora Ultimaker 3 imprime por extrusión un filamento para la construcción de las piezas. Este filamento se obtiene de una bobina hecha de ácido poliláctico, o PLA, el cual es un material derivado de materias primas naturales, biodegradable con una buena relación calidad-precio, perteneciente a la familia de los poliésteres y que no necesita de elevadas temperaturas; lo que lo convierte en un material adecuado para la fabricación de prototipos. Por las mismas razones, este material se ha utilizado también para los soportes y rellenos, es decir, como material de extrusión secundario.



Figura 4-11 Bobina de PLA para impresoras 3D

4.4.2.2 Juntas Tóricas

Las juntas tóricas son elementos con forma de anillo que se emplean para aislar un medio fluido de otro. Permiten distintos grados de elongación y aplastamiento según la función que se les quiera dar, tales como pueden ser las de estanqueidad dinámica, las rascadoras, o las de presión y estanqueidad estática. La relación de las dimensiones de la junta, y del hueco en el que van alojadas es de vital importancia, puesto que su efecto se cumple por la presión generada por el montaje y el entorno en el que trabaja.

El cálculo para el diseño de las juntas tóricas se realiza en el apartado 3.8.2.1, donde se detallan el tipo de juntas que vamos a emplear según su función, y cómo se llega a la conclusión de las ranuras.

En cuanto al material que emplearemos, ha de ser uno que responda a la dureza exigida las presiones que sufrirá el glider a gran profundidad. De entre las que podemos encontrar en el mercado, empleamos las de **NBR** puesto que además de ser resistente, es un material muy estandarizado y que se puede encontrar muy fácilmente en el mercado.

Finalmente concluimos que las juntas adquiridas deberían de ser del tipo OR 110X2,5 NBR70, tomando como referencia la tienda online de juntas tóricas *jiorings*²

² Jiorings: <https://tienda.jiorings.com/principal/es/familia/001001/dimensiones/114xx3>

5 PROPUESTA DE DISEÑO

Partiendo del proceso de diseño llevado a cabo y mostrado en el flujo de trabajo, el diseño final presenta una versión optimizada para el sistema de energía y orientación del glider. A continuación, se mostrará la propuesta de conjunto y de los diseños funcionales.

5.1 Diseño Final

El diseño detallado del sistema nace de un proceso iterativo de análisis de optimización de las piezas para hacer el conjunto lo más funcional posible. En este apartado se presentan únicamente los resultados obtenidos, los planos se mostrarán en el Anexo V: Planos.

5.1.1 Paquete Soporte de Baterías

En este paquete la evolución más evidente se encuentra en el soporte de las baterías. Como se ha mencionado con anterioridad, una de las tareas a realizar era maximizar el momento generado por las baterías cuando rotan; para ello, los diseños de esta pieza han ido optimizándose para hacer un mayor ajuste, esto es, concentrar las baterías lo más próximas al plano central y el perímetro inferior al disco.

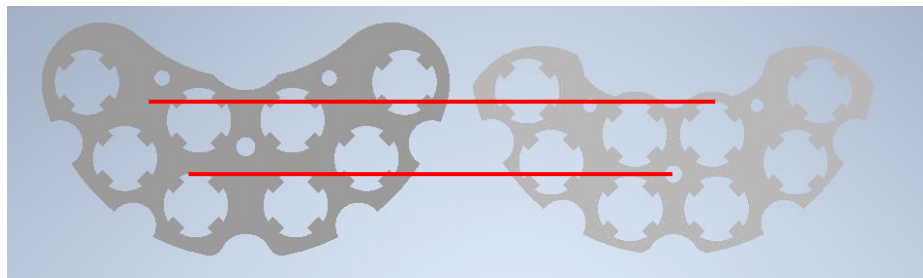


Figura 5-1 Comparación del Soporte Baterías Prototipo (izquierda) y la versión Final (derecha)

La complejidad en este punto surge para hacer un balance adecuado entre mantener el radio del centro de gravedad lo más grande posible, mientras se diseña un soporte estructuralmente resistente y que sea aceptable en cuanto a los parámetros limitantes de la Ultimaker 3.

En cuanto al Pack, se cumplen las condiciones de enlazarse al Soporte a presión, mientras que se deja la separación necesaria para establecer la conexión entre las baterías. Además, se decide añadirle un agujero a cada lado del eje en el sentido longitudinal del cilindro para colocar varillas roscadas M4 en las que se puedan colocar pesos que puedan aumentar la capacidad de compensación de fuerza contra el movimiento de cabezada.

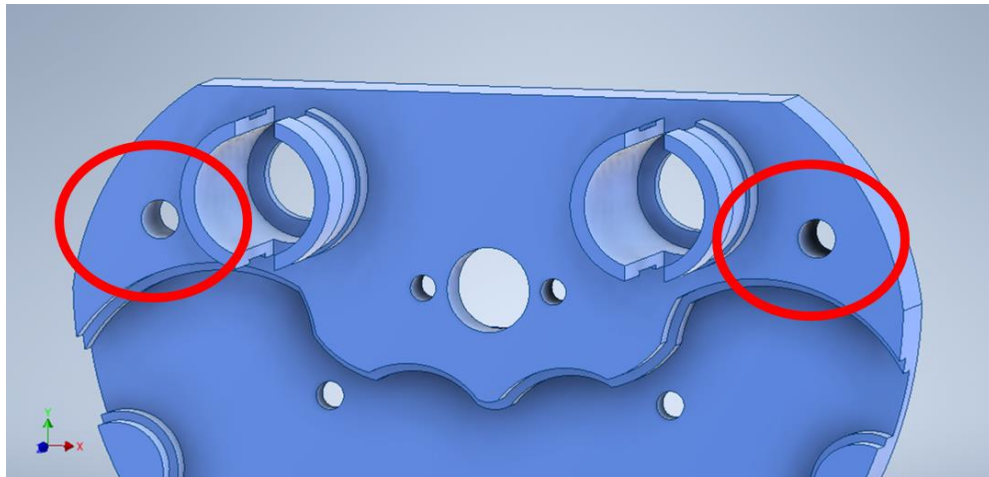


Figura 5-2 ejes para contrapesos

Finalmente, en la Figura 5-3 se muestran los últimos diseños y los elementos de relevancia que incorpora el disco: las baterías, la tuerca de empuje, y los ejes de precisión de acero.

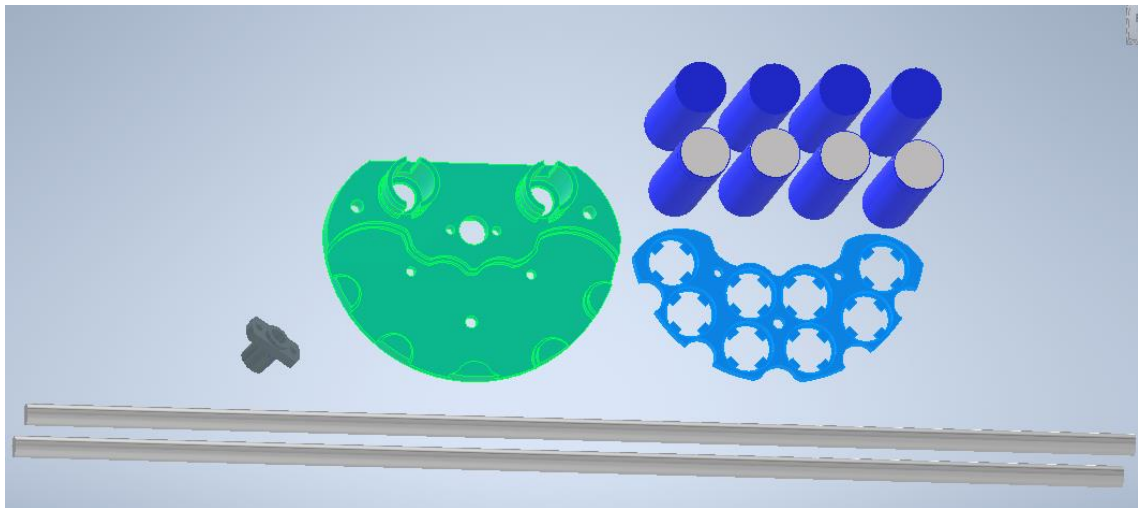


Figura 5-3 Paquete Baterías

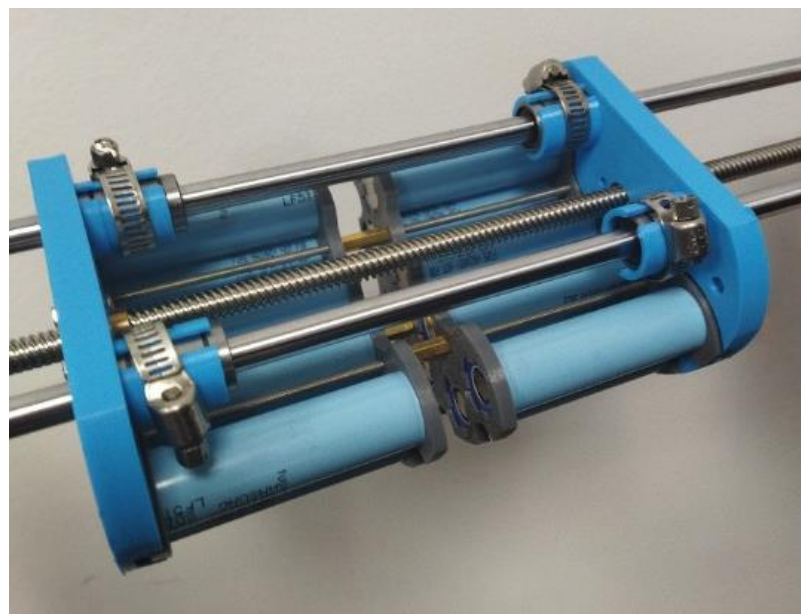


Figura 5-4 Ensamblaje del Paquete de Baterías

5.1.2 Paquete de Motor Translacional

En este caso, el cambio de mayor relevancia es que, a pesar de que un plano se forma por tres puntos, se ha decidido hacer el soporte estructural con 4 vigas. La razón es que en caso de que surjan desequilibrios durante el funcionamiento, el paquete se siga sustentando sobre 3 puntos. Estas se sustentan por presión, por lo que no ven necesitado el emplear tornillos para fijarlos a la estructura de los discos. Aún con esto, en el disco que actúa como fin de carrera se extruyen los huecos que sujetan las vigas hasta entrar en contacto con el siguiente disco, lo que refuerza en gran medida su estructura.

El hueco que se deja para el motor en los discos ayuda a su colocación y sujeción, sin embargo, no es necesario emplear unas paredes de soporte puesto que la mejor manera de fijarlo es a través de tornillos. A mayores, en este mismo disco, que actúa como base y soporte del motor, se ha de dejar un hueco que permita la salida de los cables, lo que da otra razón para utilizar simplemente una cama como sujeción.

Por otra parte, el fin de carrera se emplea uno que disponga tanto el pulsador como la salida de los cables de conexión perpendiculares al plano del disco. Se emplea una caja que proteja y aguante el pulsador que irá pegada a presión a los discos, y una tapa que haga de cierre del conjunto.

A continuación, se presentan los componentes de este paquete y su ensamblaje. Para aclaración, el paquete de baterías se debería encontrar en medio de los ejes de acero, en el eje de las piezas para mantener el centro de gravedad lo más centrado posible.

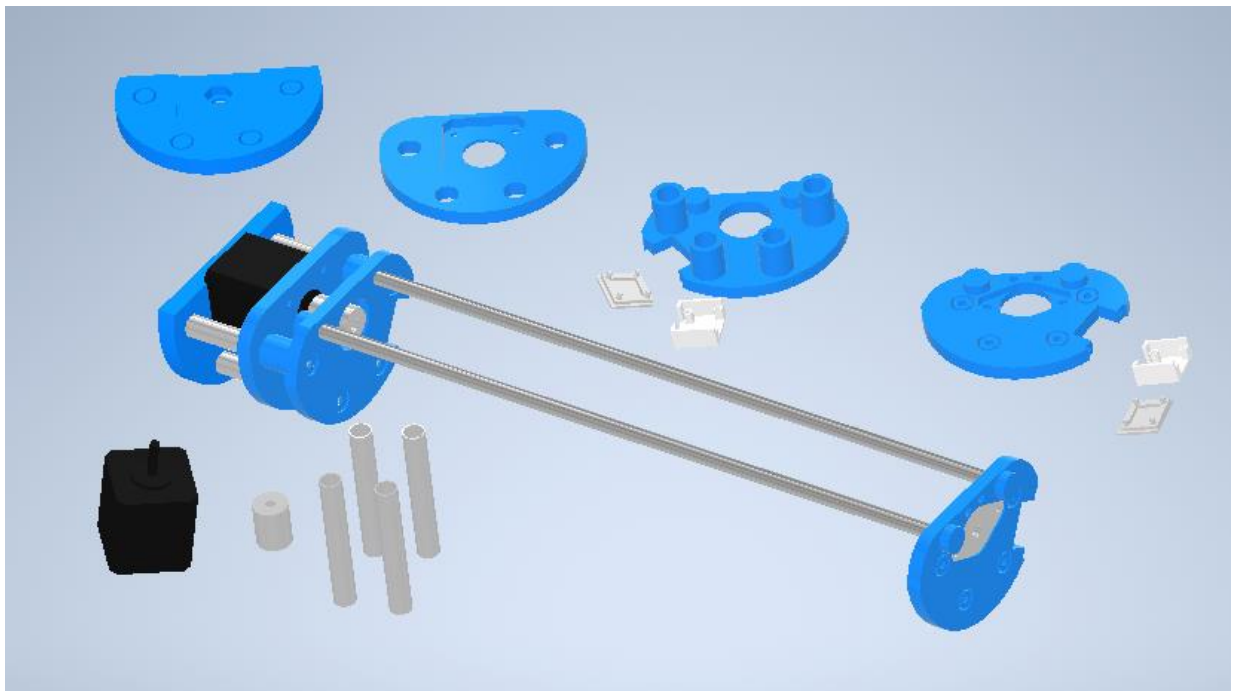


Figura 5-5 Paquete Motor Translacional

5.1.3 Paquete de Motor Rotacional

En este paquete podremos destacar de alta importancia el conjunto planetario de engranajes, así como sus soportes y sus conexiones.

Como se mencionó anteriormente, para el diseño de los engranajes se emplea el programa GearGenerator 3; sin embargo, debido a los cambios de formato de los planos desde este programa hasta llegar al panel de impresión de Cura, así como las tolerancias de la impresión, a la hora de engranar las piezas observamos que no encajan correctamente.

La solución finalmente consistió en:

- Reducir ligeramente (0,1 mm) el tamaño de los planetas y del anillo.
- Utilizar discos de apoyo que fijasen la distancia a la que se encuentran los ejes de los planetas con respecto al sol. Estos discos también sirven para proteger a los engranajes de los rozamientos innecesarios.

Además, cómo se mencionó que podía pasar en el apartado de Engranajes, los planetas no se encuentran formando 120° entre ellos, dato a tener en cuenta para hacer la alineación correcta de los discos a la hora de hacer el montaje.

La imagen de cómo queda el conjunto ya engranado aparece en el capítulo sobre los mismos, en la Figura 3-6 Diseño del Conjunto de Engranajes.

Con respecto a los soportes del conjunto, se decide diseñar un bloque que sujete al completo el motor. Las medidas del hueco donde encaja éste han de ser ligeramente superiores a las del motor para permitir que pueda entrar sin deslizarse libremente, y quedar ajustado al mismo tiempo.

Por último, resaltar que, la tapa del motor, a pesar de tener que encajar geométricamente con las paredes de éste, no puede ir a presión. Esto se debe a que, si el glider se encuentra sumergido, al aumentar la presión y si aumentase la temperatura, necesitaremos una pieza que haga de sacrificio y permita el juego entre las piezas. Por lo tanto, ésta deberá tener margen para deslizarse y moverse cuando no haya presión alguna, puesto que ya se ajustará al bajar en profundidad.

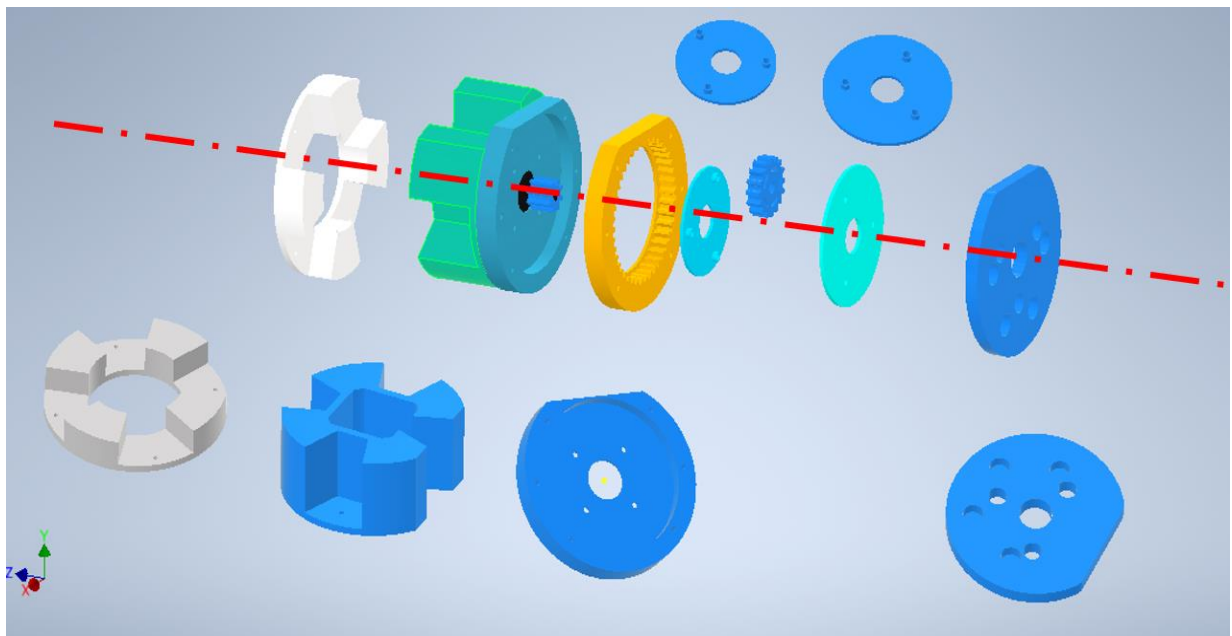


Figura 5-6 Paquete Motor Translacional

5.1.4 Paquete Estructural

En el diseño final de este paquete encontramos dos grandes puntos a resaltar, los relativos a los soportes controladores, y al sello del cilindro.

Respecto a los primeros, se tuvieron que realizar varios diseños de la tapa de los rodamientos que se mencionó en el capítulo 3.8.1, hasta conseguir un grosor adecuado con el cuál hacer frente a su fácil desgaste. En adición, se le decide añadir unas pestañas para poder actuar como soporte del equipo que se coloque relativo al sistema de energía. El modelo final queda, por lo tanto, de la siguiente manera:

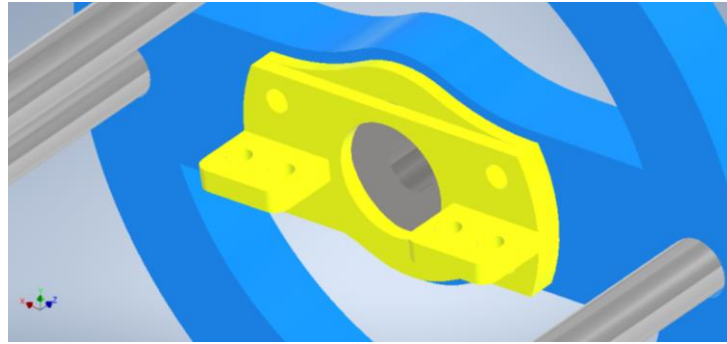


Figura 5-7 Tapa Soporte de Rodamientos

Por otra parte, para mantener las varillas estructurales correctamente fijas, se introduce una varilla roscada M3 por dentro de los tubos. En la pared del *Soporte de los Rodamientos* se decide dejar una cama en la que la tuerca se apoye y sea lo suficientemente grande como para emplear una llave para apretarla. En el lado contrario, la pared del *Soporte Controlador*, se mencionó en el diseño conceptual que tenía que ir pegada al sello, por lo que se diseña un hueco con la forma de la tuerca para poder ajustarla con el propio enroscamiento del lado contrario.

En relación con el *Sello* del cilindro, se realizaron los cálculos que vienen descritos en el capítulo Anexo II: Juntas Tóricas y se describen las juntas elegidas en el apartado 4.4.2.2. El diseño del hueco relativo a ambas se muestra en la Figura 5-8.

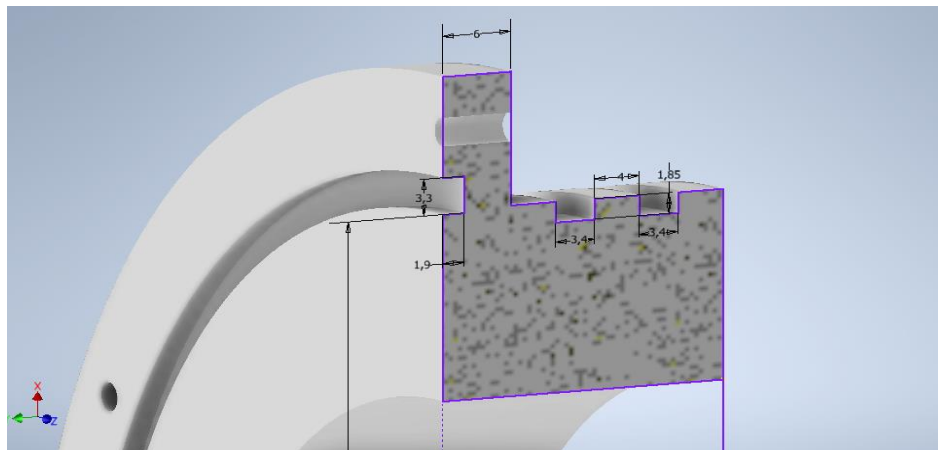


Figura 5-8 Vista del Corte del Sello

En la Figura 5-9 se puede comprobar que el ensamblaje físico de las piezas diseñadas coincide con el que se presentó en la Figura 3-7. Ésta tiene ensamblado el *Soporte de Rodamientos*.

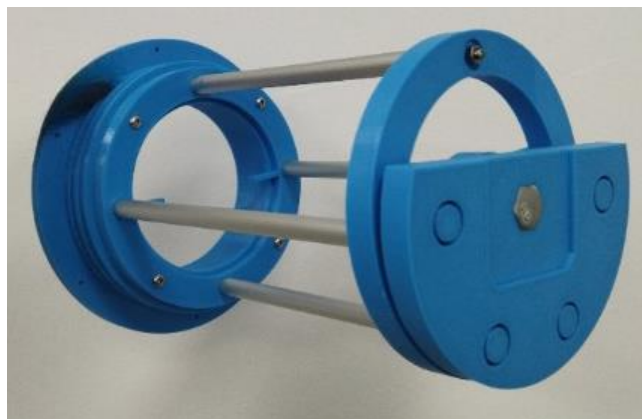


Figura 5-9 Vista del Paquete Estructural Después del Ensamblaje

5.2 Ensamblaje Final

Por último, concluiremos presentando a continuación la puesta a punto del ensamble al completo. De tal modo, en la Figura 5-10 se puede observar el Sistema visto desde la proa.

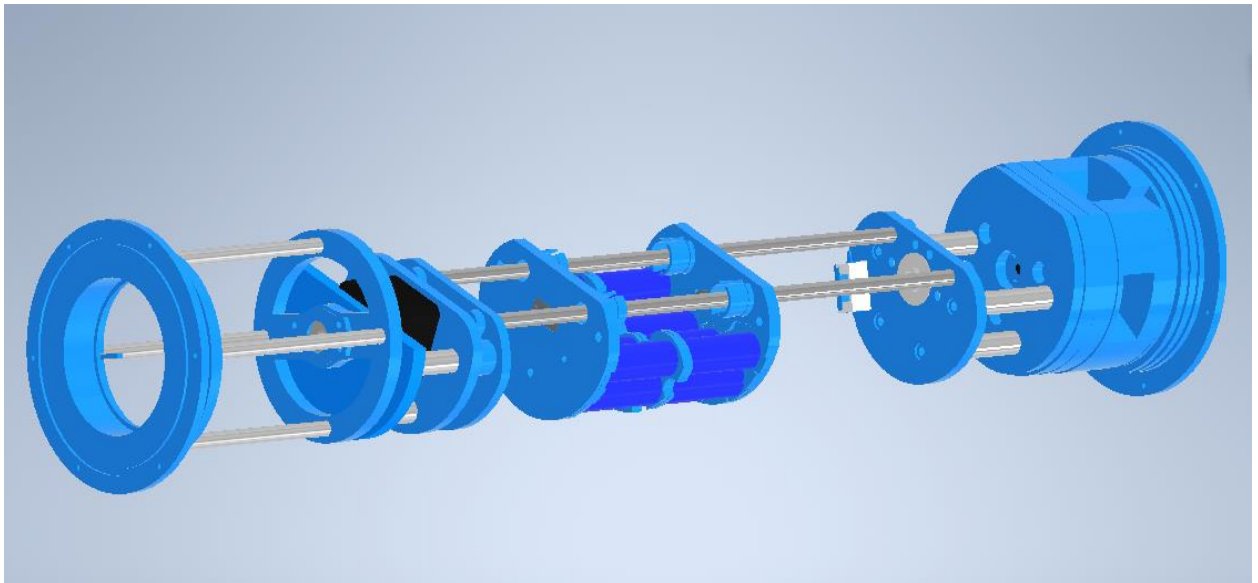


Figura 5-10 Vista Desde la Proa del Conjunto al Completo

Finalmente, en la Figura 5-11 tenemos una visión desde la popa del cilindro.

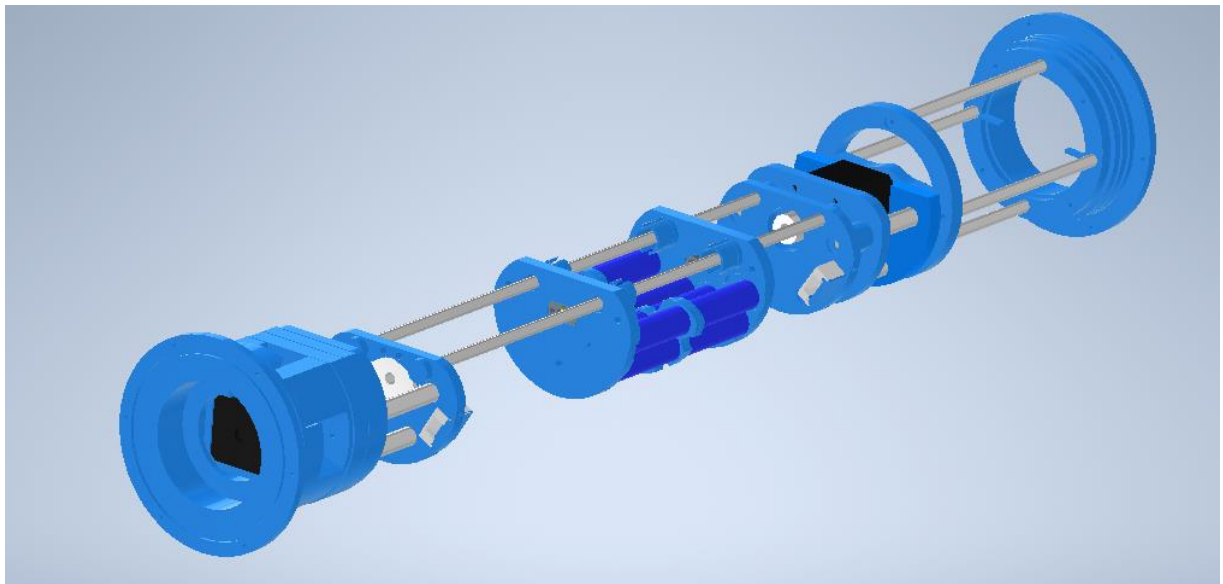


Figura 5-11 Vista Desde la Popa del Conjunto al Completo

6 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

En el presente capítulo se comentan las conclusiones de la realización del proyecto, razonando si se ha alcanzado el objetivo último o no. Por último, se desarrollarán las posibles líneas futuras de investigación de este proyecto para que pueda seguir adelante.

6.1 Conclusiones

Finalizado el proyecto, se puede distinguir de las distintas fases una serie de resultados, obteniéndose las siguientes conclusiones:

6.1.1 Metodología del Diseño

Durante el proceso de desarrollo del diseño, se decidió seguir un orden determinado para realizar los diseños, colocando el centro de gravedad en las baterías y organizando el trabajo en torno a ellas. Sin embargo, a pesar de haber cerrado su fase, el soporte siguió recibiendo cambios, teniendo que rediseñar piezas ya hechas.

Por lo tanto, se ha demostrado que es indispensable seguir con el orden determinado y cerrar etapas para continuar con el proyecto. Aun con esta situación, los resultados son favorables y han hecho merecedores el esfuerzo dedicado.

6.1.2 Diseño Digital

El uso de las aplicaciones de dibujo técnico y modelado en 3D de AutoDesk supusieron un excelente beneficio. La realización de los planos, la extrusión, y el ensamblaje posterior permitió ahorrar cuantiosas horas de impresión.

6.1.3 Resultado físico

Pese a tener diseños digitales favorables, numerosos problemas con las impresoras provocaron grandes retrasos en el avance del proyecto, teniendo que comprobar pieza por pieza la causa del error. La experiencia conseguida y la comparación con distintos equipos demostró que, en la mayoría de las ocasiones, eran causa de la impresora.

A pesar de ello, el empleo de impresoras 3D supone una ventaja debido a las posibilidades que ofrece. El mundo del diseño y la impresión ha demostrado ser capaz de realizar grandes avances a la mecánica, permitiendo obtener piezas completamente funcionales en cuestión de escasas horas en tu entorno de trabajo. El análisis global indica que el mayor porcentaje de los fallos es de un equipo en concreto, por lo que se insta a continuar empleando la impresión 3D para aumentar el abanico de futuros proyectos.

6.1.4 Resumen Final

Habiendo mencionado las conclusiones anteriores, el análisis global del proyecto resulta ser francamente positivo. Se puede comprobar que se han resuelto los objetivos propuestos. Se ha logrado desarrollar un estado del arte que hace comprender el entorno de los gliders, así como su inclusión en las Fuerzas Armadas; y, finalmente, se concluye entendiendo la ventaja de realizar un diseño modular, dándole sentido al proyecto. Se crea un diseño en digital del glider con todos los elementos necesarios para su correcto funcionamiento, y los planos para la reproducción del proyecto. Se construye el modelo en físico a través de la impresión 3D, demostrando que es posible obtener este módulo de forma económica. El desglose de los costes se puede ver en el Anexo IV: Presupuesto.

Hay que mencionar que ,como logro adicional, se cumple con los objetivos de diseño que surgen durante las fases de desarrollo conceptual, optimizando la capacidad de rotación del glider gracias al diseño de las baterías; y se ha obtenido un prototipo fiable y sencillo, capaz de diseñar y manejar por cualquier técnico sin apenas preparación.

Finalmente, tras haber comprobado que el trabajo se ha llevado a cabo de forma satisfactoria, se puede concluir que la incorporación del glider como vehículo autónomo para la Guerra Antisubmarina es un hecho realizable y provechoso. Una tecnología al alcance de nuestra mano, necesaria para desarrollar la Armada 4.0.

6.2 Líneas Futuras

El diseño del sistema de energía y control de la orientación del glider se ha llevado a cabo con éxito, abriendo las puertas a nuevos proyectos de desarrollo.

6.2.1 A corto Plazo

En primer lugar, parece evidente que el conjunto siempre se va a poder mejorar, bien sea con nuevos diseños no tenidos en cuenta, o con distintos materiales con mejores prestaciones. También se puede modificar el diseño para adaptarlo a tamaños de cilindro más grandes, o menores, para el diseño de distintos tipos de gliders.

Además, realizado el diseño mecánico, el siguiente paso coherente sería realizar la integración de la electrónica, circuitería, y las conexiones. De este modo, el prototipo se convertiría en un modelo puramente funcional.

Sin embargo, la prioridad de investigación futura debería de ser los diseños de los siguientes módulos. Disponiendo ya del sistema energético, se puede apuntar a diseñar una vejiga que genere los cambios de flotabilidad del glider, una bahía de ciencia destinada a la recolección y análisis de datos, y la transmisión y recepción de información, es decir, las comunicaciones con la estación base.

Por otro lado, sería de interés el estudio y diseño del sistema primario de propulsión: las alas. Éstas, como se ha demostrado ya, suponen un componente vital y es ampliamente estudiado, y de gran interés en el mundo de la ingeniería. Por último, considerar la adición de un sistema auxiliar de propulsión, una hélice.

6.2.2 A largo plazo

A largo plazo se debería tratar de expandir el conocimiento del glider debido a sus potenciales capacidades en el mundo de la marina y la investigación científica. Una de las capacidades menos explotada y en la cual se pueden realizar grandes avances es en la optimización de las misiones costeras (200-300 m de profundidad). Finalmente, se debería plantear la puesta a punto del glider al completo para obtener un modelo funcional el cual pueda incorporarse a las Fuerzas Armadas y poder, así, adentrarnos un poco más en la revolución 4.0

7 BIBLIOGRAFÍA

- D. H. Flores, «Ideas para evolucionar hacia la Industria 4.0,» 07 2019. [En línea]. Available:
1] <https://www.sherlock-ia.com/ideas-para-evolucionar-hacia-la-industria-4-0/>.
- G. B. Murga, «IMPLANTACIÓN DEL CONCEPTO 4.0 EN EL APOYO LOGÍSTICO,»
2] *Revista General de Marina*, 2018.
- T. e. I. Subdirección General de Planificación, «Subdirección General de ESTRATEGIA DE
3] TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN PARA LA DEFENSA ETID - 2020e Planificación, Tecnología e Innovación,» p. 161, 2021.
- R. J. D. Fernández, «Grupo Integrado de Ingeniería,» Xunta de Galicia, 30 09 2010. [En
4] línea]. Available: <http://www.gii.udc.es/proyectos/detalle/189>. [Último acceso: 19 02 2022].
- «MEDCLIC: Planeadores Submarinos: Planeadores Submarinos,» [En línea]. Available:
5] <https://medcllic.es/es/instrumentos/gliders/>.
- «Breve Historia del Sonar,» [En línea]. Available: [http://www.u-](http://www.u-historia.com/uhistoria/tecnico/articulos/sonar/sonar.htm)
6] [historia.com/uhistoria/tecnico/articulos/sonar/sonar.htm](http://www.u-historia.com/uhistoria/tecnico/articulos/sonar/sonar.htm). [Último acceso: 09 02 2022].
- L. d. I. Sierra, *El Mar En La Gran Guerra*, Barcelona: Editorial Juventud, S.A, 1984.
7]
- «Raspberry PI Projects,» 28 10 2021. [En línea]. Available: [https://projects-](https://projects-raspberry.com/underwater-3d-data-collection/)
8] [raspberry.com/underwater-3d-data-collection/](https://projects-raspberry.com/underwater-3d-data-collection/). [Último acceso: 09 02 2022].
- A. Molares, «fonsonic,» [En línea]. Available: <http://www.fonsonic.com/radar/sonarprop/>.
9] [Último acceso: 09 02 2022].
- S. A. Bagloee, «Autonomous vehicles: challenges, opportunities, and future implications for
10] transportation policies,» *Journal of Modern Transportation*, pp. 284-303, 2016.
- M. Mäkinen, «Autonomous Ships The Next Step,» *Ship Intelligence Marine*, p. 8, 2016.
11]
- A. O'Reilly, «Fox News,» 01 05 2018. [En línea]. Available:
12] [https://www.foxnews.com/tech/us-army-could-have-self-driving-vehicles-on-battlefield-long-](https://www.foxnews.com/tech/us-army-could-have-self-driving-vehicles-on-battlefield-long-before-tesla-and-uber-have-them-on-road-officials-say)
[before-tesla-and-uber-have-them-on-road-officials-say](https://www.foxnews.com/tech/us-army-could-have-self-driving-vehicles-on-battlefield-long-before-tesla-and-uber-have-them-on-road-officials-say). [Último acceso: 31 01 2022].

- 13] L. G., «Escuadrones,» 25 05 2020. [En línea]. Available: <https://escuadrones.es/BLOG/PREDATOR-en-Espana>. [Último acceso: 09 02 2022].
- 14] «Inta,» Inta Copernicus Relay, 29 03 2019. [En línea]. Available: https://www.inta.es/INTA/es/blogs/copernicus/BlogEntry_1553849310660#. [Último acceso: 09 02 2022].
- 15] I. M. Navarro, «Observatorio Ciske,» 24 12 2018. [En línea]. Available: <https://observatorio.ciske.es/actualidad/predator-una-poderosa-inversion-en-seguridad-para-todos-los-espanoles/>. [Último acceso: 09 02 2022].
- 16] E. Bautista, «Propagación de Ondas Electromagnéticas,» 2005.
- 17] «Darpa.mil,» Darpa, 20 12 2022. [En línea]. Available: <https://www.darpa.mil/news-events/2021-12-20>. [Último acceso: 03 03 2022].
- 18] S. Cohan, «Trends in ROV Development,» *Marine Technology Society*, vol. 42, nº 1, p. 124, 2008.
- 19] A. Elektronik, «DefenceTalk,» 05 2012. [En línea]. Available: <https://www.defencetalk.com/us-navy-contract-sea-fox-underwater-vehicles-42419/>. [Último acceso: 02 03 2022].
- 20] S. A. Jenkins, «UNDERWATER GLIDER SYSTEM STUDY Technical Report No. 53,» 06 05 2003. [En línea]. Available: https://escholarship.org/content/qt1c28t6bb/qt1c28t6bb_noSplash_8f45135a2fb9e138dd6d6048ba34fba6.pdf. [Último acceso: 27 2 2022].
- 21] «NOAA,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.aoml.noaa.gov/es/hurricane-glider-project/>. [Último acceso: 27 02 2022].
- 22] S. A. Jenkins y D. G., «Autonomous Underwater Gliders,» de *Springer Handbook of Ocean Engineering*, Springer, Cham, 2016, p. 22.
- 23] B. Claus, R. Bachmayer y C. Williams, «Development of an Auxiliary Propulsion Module for an Autonomous Underwater Glider,» *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part M Journal of Engineering for the Maritime Environment*, vol. 224, pp. 255-266, 2010-06.
- 24] «who,» Woods Hole Oceanographic Institute, [En línea]. Available: <https://www.who.edu/what-we-do/explore/underwater-vehicles/auvs/spray-glider/>. [Último acceso: 01 03 2022].
- 25] A. B. S. A. C. F. M. J. F. Y. C. D. F. D. A. O. S. M. F. A. T. E. B. Clark, «Station-Keeping Underwater Gliders Using a Predictive Ocean Circulation Model and Applications to SWOT Calibration and Validation,» *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 45, pp. 371-384, 2020.
- 26] Y. L. L. Z. Y. W. W. N. C. H. Yaqiang Zhu, «Dynamic Model and Motion Characteristics of an Underwater Glider with Manta-inspired Wings,» *Journal of Bionic Engineering*, vol. 19, pp. 1-15, 2022.
- 27] «Norelem,» Norelem, [En línea]. Available: https://www.norelem.com/xs_db/DOKUMENT_DB/www/NORELEM/Technische_Hinweise/23900-Oringe/23900_Informations-techniques-pour-le-joint-torique_ES.pdf. [Último acceso: 10 03 2022].

- P. I. R. A. López, «Centro de Bachillerato Tecnológico industrial y de servicios No. 50
28] MAQUINAR PIEZAS MEDIANTE EL TORNO,» México, 2015.
- «Ingemecanica,» Ingemecanica, [En línea]. Available:
29] <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn131.html>. [Último acceso: 27 02 2022].
- «Web de La Moncloa,» [En línea]. Available: <http://www.lamoncloa.gob.es>. [Último acceso:
30] 13 enero 2015].
- J. Rodríguez y V. Fernández, Cómo redactar el estado del arte de un trabajo, Editorial Genios,
31] 2010.
- P. Martínez y A. García, Cómo escribir una buena memoria de TFG, Publicaciones del 2000,
32] 2013.
- A. Pérez, Cómo escribir una bibliografía, Nuevas publicaciones.
33]
- «Abax Innovation Technologies,» [En línea]. Available:
34] <https://abax3dtech.com/2021/01/08/extrusor-impresora-3d-componentes-tipos-y-limpieza/>.
- «Abax Innovation Technologies,» [En línea]. Available:
35] <https://followtheglider.socib.es/estudiantes/comofunciona/>.
- «Filamento PLA Basic para impresión 3D - Filament2Print,» [En línea]. Available:
36] <https://filament2print.com/es/208-pla-basic>.
- «La Armada española apuesta por los vehículos no tripulados de superficie y submarinos -
37] Noticias Infodron.es,» infodron, 18 09 2021. [En línea]. Available:
[https://www.infodron.es/id/2021/09/18/noticia-armada-espanola-apuesta-vehiculos-tripulados-
superficie-submarinos.html](https://www.infodron.es/id/2021/09/18/noticia-armada-espanola-apuesta-vehiculos-tripulados-superficie-submarinos.html).
- P. P. Muñoz, «SONARES DE GUERRA ANTISUBMARINA,» p. 5.
38]
- L. Hassel, «Sound velocities, elastic constants: Temperature dependence,» *Materials Science*
39] *and Engineering: A*, vol. 442, pp. 31-34, 2006.
- «Primera Gran Guerra,» 10 07 2015. [En línea]. Available:
40] <https://www.primeragranguerra.com/submarinos-de-la-primera-guerra-mundial/>. [Último acceso:
09 02 2022].
- J. Rico, «CruceroAdicto,» [En línea]. Available: [https://cruceroadicto.com/hundido-por-
41\] submarino-aleman-rms-lusitania.html](https://cruceroadicto.com/hundido-por-). [Último acceso: 09 02 2022].
- W. Zihao, «Flying Wing Underwater Glider: Design, Analysis, and Performance Prediction,»
42] State Key Laboratory of Autonomous Underwater Vehicle, Harbin, China, 2015.
- A. H. J.W. Nicholson, «The Present State of Autonomous Underwater,» *Marine Technology*
43] *Society*, p. 24, 2008.

ANEXO I: HUSILLO

El funcionamiento de un husillo consiste en un cilindro roscado en un plano inclinado. Al hacer girar 360° una tuerca en el plano normal al eje del tornillo, esta se traslada sobre ese plano. Este desplazamiento que realiza la tuerca se llama paso, y corresponde, por lo tanto, al avance del husillo en una revolución.

El trabajo entonces se debe a un rozamiento entre la rosca y la tuerca. Este rozamiento ha de ser superado por un momento torsor T , relacionado de forma directamente proporcional al esfuerzo necesario para superar la fuerza de rozamiento P , y el radio primitivo r_m

$$T = P * r_m \quad (11)$$

La fuerza P se aplica para vencer el rozamiento para que la tuerca pueda ascender por el plano de la rosca. El equilibrio de fuerzas se alcanza en la siguiente condición:

$$P - N \sin \alpha - \mu * N \cos \alpha = 0 \quad (12)$$

$$F + \mu * N \sin \alpha - N \cos \alpha = 0 \quad (13)$$

Si despejamos la fuerza P en la ecuación previa obtenemos que:

$$P = \frac{F(\sin(\alpha) + \mu * \cos(\alpha))}{\cos(\alpha) - \mu * \sin(\alpha)} \quad (14)$$

Del ángulo del plano de la rosca, y el diámetro medio, conocemos la siguiente expresión:

$$T = P * \left(\frac{dm}{2}\right) \quad (15)$$

Finalmente, si se sustituye en la ecuación a P , obtenemos la fórmula que define el par de torsión,

$$T = \left(F * \frac{dm}{2}\right) * \frac{p + \mu * \pi * dm}{\pi * dm - \mu * p} \quad (16)$$

7.1.1.1 Definición del Paso y los Dientes

Una rosca es el resultado de una operación de torneado de surcos helicoidales en torno a un cilindro. Tras esta operación se obtiene un perfil “dentado” donde podemos observar una serie de parámetros. A continuación, se van a explicar algunos de éstos.

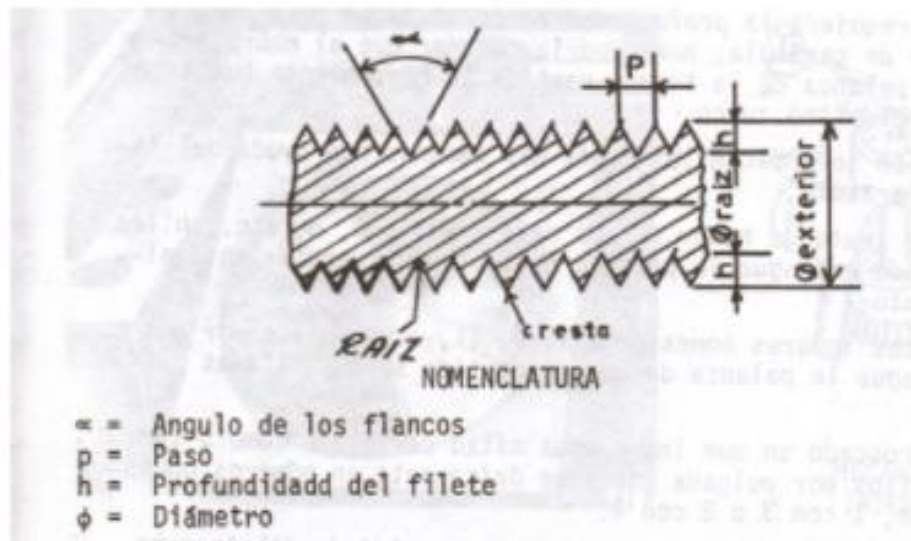


Figura 0-1 Parámetros de Una Rosca

En la Figura 0-1 podemos apreciar el paso, ésta es la distancia entre dos filetes consecutivos. Por otro lado, en un tornillo tenemos el concepto de avance, esta es la distancia que recorre el husillo al realizar una vuelta completa. El avance está influido de manera directamente proporcional al número de surcos, o entradas, que disponga.

Pese a los distintos tipos de rosa, el paso viene definido por la siguiente fórmula:

$P = \frac{1}{N}$	(17)
-------------------	------

Donde,

P= Paso.

N= Número de hilos o filetes por pulgada.

Por lo tanto, donde varía la ecuación es en la definición de N. El número de filetes se puede relacionar con la altura o profundidad del filete, h , y la raíz en el fondo, r . En la siguiente tabla se puede observar algunos ejemplos de roscas y las correspondientes relaciones de N.

Tabla 3 Dimensiones de las Roscas

ROSCA	r	h
Americana Estándar	$r = P/8$	$h = 0,64952/N$
Métrica Internacional	$r = 0,144 * P$	$h = 0,6134 * P$
Rosca Cuadrada	$r = P/2$	$h = P/2$
Rosca ACME	$r = \frac{0,3707}{N} - 0,0052"$	$h = \frac{P}{2} + 0,01"$

7.1.1.2 Rosca ACME

De los tipos de rosca que se pueden observar en la Tabla 3 el husillo emplea una rosca ACME, puesto que, a pesar de que la rosca cuadrada ofrece mejor rendimiento, esta tiene mucho mejor acoplamiento y está normalizada, siendo más fácil de encontrar medidas adaptadas a nuestras necesidades. Su uso principal es la transmisión de movimientos en mecanismos [28].

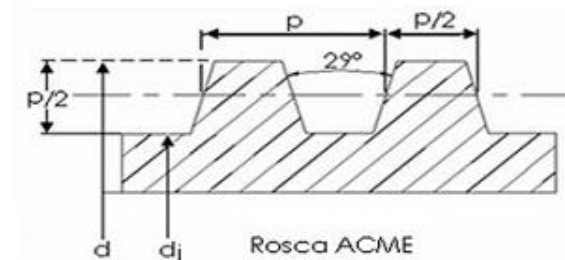


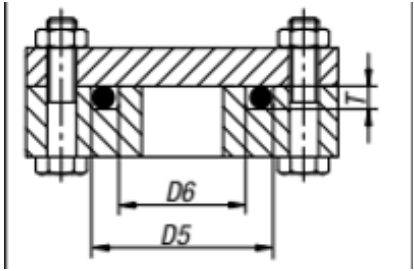
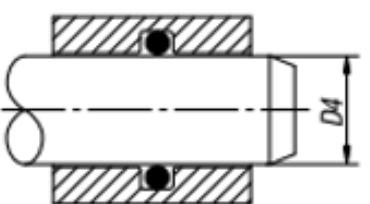
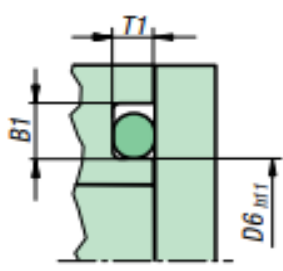
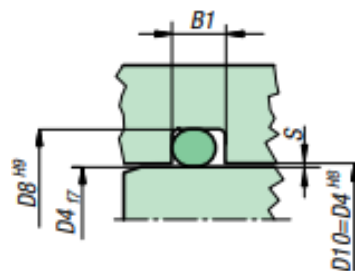
Figura 0-2 Rosca ACME [29]

ANEXO II: JUNTAS TÓRICAS

Cálculo de la Junta

La siguiente tabla muestra las ecuaciones necesarias para el cálculo del tamaño de la junta tórica según el esfuerzo que se le vaya a aplicar. Hay que recordar que las juntas aceptan márgenes de elongación aplastamiento entre los cuales siguen siendo completamente funcionales.

Tabla 4 Cálculo de las Juntas [27]

		
Diámetro junta	$D_{junta} = D_i \cdot 0,98$	$D_{junta} \leq D_{vástago}$
Sección ranura rectangular		

Empleando juntas tóricas de 110x2,5 mm podemos concluir que en la zona exterior dejaremos un diámetro de 112,25 mm, mientras que la interior el diámetro del vástago puede ser igual de la junta, por lo tanto, 110 mm.

Cálculo del Hueco para la Junta

Dimensiones de instalación							
Junta tórica sección cruzada	Instalación radialDiámetro base de ranura				Ancho de ranura	Instalación axial	
						Profundidad de ranura	Radio
	dinámico	estático	dinámico	estático			
D2	D3h9	D3h9	D8H9	D8H9	B1 +02	T1 +0,05	R2
0,5	-	D9-0,7	-	D4+0,7	0,8	0,35	0,2
0,74	-	D9-1,0	-	D4+1,0	1	0,5	0,2
1,00 1,02	-	D9-1,4	-	D4+1,4	1,4	0,7	0,2
1,2	-	D9-1,7	-	D4+1,7	1,7	0,85	0,2
1,25 1,27	-	D9-1,8	-	D4+1,8	1,7	0,9	0,2
1,3	-	D9-1,9	-	D4+1,9	1,8	0,95	0,2
1,42	-	D9-2,1	-	D4+2,1	1,9	1,05	0,3
1,50 1,52	D9-2,5	D9-2,2	D4+2,5	D4+2,2	2	1,1	0,3
1,60 1,63	D9-2,6	D9-2,4	D4+2,6	D4+2,4	2,1	1,2	0,3
1,78 1,80	D9-2,9	D9-2,6	D4+2,9	D4+2,6	2,4	1,3	0,4
1,83	D9-3,0	D9-2,7	D4+3,0	D4+2,7	2,5	1,35	0,4
1,9	D9-3,1	D9-2,8	D4+3,1	D4+2,8	2,6	1,4	0,4
1,98 2,00	D9-3,3	D9-3,0	D4+3,3	D4+3,0	2,7	1,5	0,4
2,08 2,10	D9-3,5	D9-3,1	D4+3,5	D4+3,1	2,8	1,55	0,4
2,2	D9-3,7	D9-3,2	D4+3,7	D4+3,2	3	1,6	0,4
2,26	D9-3,8	D9-3,4	D4+3,8	D4+3,4	3	1,7	0,4
2,30 2,34	D9-3,9	D9-3,5	D4+3,9	D4+3,5	3,1	1,75	0,4
2,4	D9-4,1	D9-3,6	D4+4,1	D4+3,6	3,2	1,8	0,5
2,46	D9-4,2	D9-3,7	D4+4,2	D4+3,7	3,3	1,85	0,5
2,5	D9-4,3	D9-3,7	D4+4,3	D4+3,7	3,3	1,85	0,5
2,62 2,65	D9-4,5	D9-4,0	D4+4,5	D4+4,0	3,6	2	0,6
2,7	D9-4,6	D9-4,1	D4+4,6	D4+4,1	3,6	2,05	0,6
2,8	D9-4,8	D9-4,2	D4+4,8	D4+4,2	3,7	2,1	0,6
2,92 2,95	D9-5,0	D9-4,4	D4+5,0	D4+4,4	3,9	2,2	0,6
3	D9-5,2	D9-4,6	D4+5,2	D4+4,6	4	2,3	0,6
3,1	D9-5,4	D9-4,8	D4+5,4	D4+4,8	4,1	2,4	0,6

Figura 0-1 Tabla Dimensiones de Instalación [27]

La tabla de dimensiones solo presenta hasta juntas de sección 2,5 mm, puesto que no es probable que se vayan a emplear de mayor tamaño. La información presentada además es relativa a juntas NBR 70 Shore A, aunque por lo general estos valores se pueden emplear para otros materiales y durezas.

Según la información de la tabla podemos diseñar el hueco de la junta exterior de 3,3x1,9 mm. Por otra parte, a la junta interior la correspondería un diseño 3,3x1,85, sin embargo, la recomendación del fabricante *jiorings* establece la ranura como 3,4x1,85. Por lo tanto, utilizaremos esa misma por compatibilidad de productora.

ANEXO III: MODELO BIM

Introducción

El modelo BIM es un modelo digital de elementos mecánicos creado a partir de numerosos datos almacenados con el fin de poder monitorizar el estado de elementos y poder sustituirlos con facilidad en caso de necesidad.

En este Anexo incluimos una tabla de información de masas para, en futuros trabajos de investigación, poder sensorizar el Glider al completo con mayor facilidad y realizar el control de orientación en el plano horizontal.

Para el desglose de los presupuestos en el Anexo IV: Presupuesto, se incluye en la siguiente tabla la estimación de los costes por pieza diseñada, y los materiales comprados. Para ello se considera que el PLA tiene un coste de 20,99€/Kg y únicamente la masa final, puesto que, dependiendo de los parámetros aplicados, tales como los soportes y el relleno, el peso puede variar en algunos gramos.

Tabla 5 Masas/Coste de las Piezas del Diseño

Pieza	Masa Producto Final (g)	Coste (€)
Anillo Engranajes	22	0,46
Apoyo Engranajes 1	5	0,11
Apoyo Engranajes 2	8	0,17
Caja Fin de Carrera	5	0,11
Disco 1	41	0,86
Disco 2	25	0,52
Disco 3	35	0,73
Planeta	5	0,11
Sello	85,4	0,49
Sol	4	0,08
Soporte Baterías	5,92	0,12
Soporte Controlador	35,9	0,75
Soporte Motor	21	0,44
Soporte Rodamientos 1	69,24	1,45
Soporte Rodamientos 2	28	0,59
Soporte Pack Baterías	31,1	0,65
Tapa Disco 1 Fin Carrera	1	0,03
Tapa Fin de Carrera	2	0,042

Tapa Soporte Rodamientos	3,8	0,08
Material	Peso (g)	Coste (€)
Abrazaderas ajustables Inox 10-16 mm	5	12,46
Acoplamiento Flexible	20	10,99
Alineación Cojinete	25	10,99
Baterías Litio 18650 3100mAh	46,34	6,37
Cadena de Arrastre	43	5,68
Conector Cadena de Arrastre	2,4	3,3
Husillo Rosca ACME T8x8mm paso 2mm	150	15,99
Interruptores Fin Carrera	4	8,99
Módulo Gestión Baterías PCM 4S	27	5
Motor Longrunner, paso a paso	360	18
Paso Roscado M3	6	2
Paso Roscado M4	8	2
Rodamiento Axial F8-16M	12	16,09
Rodamiento de Bolas 608zz	11,1	9,99
Rodamiento Lineal	13	10,99
Tubo de Metacrilato	1000	35,43
Tuerca de Empuje ACME T8x8mm, paso 2 mm	7,03	7,88
Varilla Acero Cromado	155	12,06
Varilla Soporte Al. Menor	6,5	2
Varilla Soporte Al. Mayor	7,55	2

ANEXO IV: PRESUPUESTO

Introducción

En este Anexo se desglosarán los recursos empleados para la realización de este trabajo, con el fin de hacer una estimación del gasto final.

Desglose

Los gastos se han dividido en 3 grupos para facilitar su cálculo. A continuación, se explican, y posteriormente se mostrarán en la tabla

- Informática, Hardware: durante el proyecto se ha trabajado con un ordenador personal. Los requerimientos de los programas empleados son muy básicos, por lo que no se requiere un equipo avanzado. La impresora utilizada es la Ultimaker 3, perteneciente al Laboratorio de Diseño del Centro Universitario de la Defensa de Marín.
- Informática, Software: Los programas de Autodesk requieren de una licencia costosa, sin embargo, con el carnet de estudiante universitario se obtiene una gratuita. La aplicación para imprimir, Ultimaker Cura, es ofrecida por la empresa Ultimaker y también era de uso gratuito. Finalmente, el software de GearGenerator 3 requiere de una licencia que hay que comprar.
- Materiales: El material empleado principalmente es el PLA para la impresión en 3D, su coste se proyecta en €/kg y las masas estimadas de las piezas diseñadas se encuentran en la Tabla 5; además se presentarán los gastos en materiales adquiridos para el ensamblaje del planeador. Se ha decidido añadir un coste de gastos de envío de 15 € en base a los varios pedidos realizados

Proyecto	Diseño de un Sistema de Energía y Control de la Orientación para un Planeador Submarino
Duración	3 meses

Desglose de Costes Directos

Informática: Hardware & Software	
Ordenador personal	350€
Ultimaker 3	3200€
AutoCAD	220€/mes 0€/mes
Inventor	363€/mes 0€/mes
Ultimaker Cura	0€
GearGenerator 3	28€
Total	6,7788€

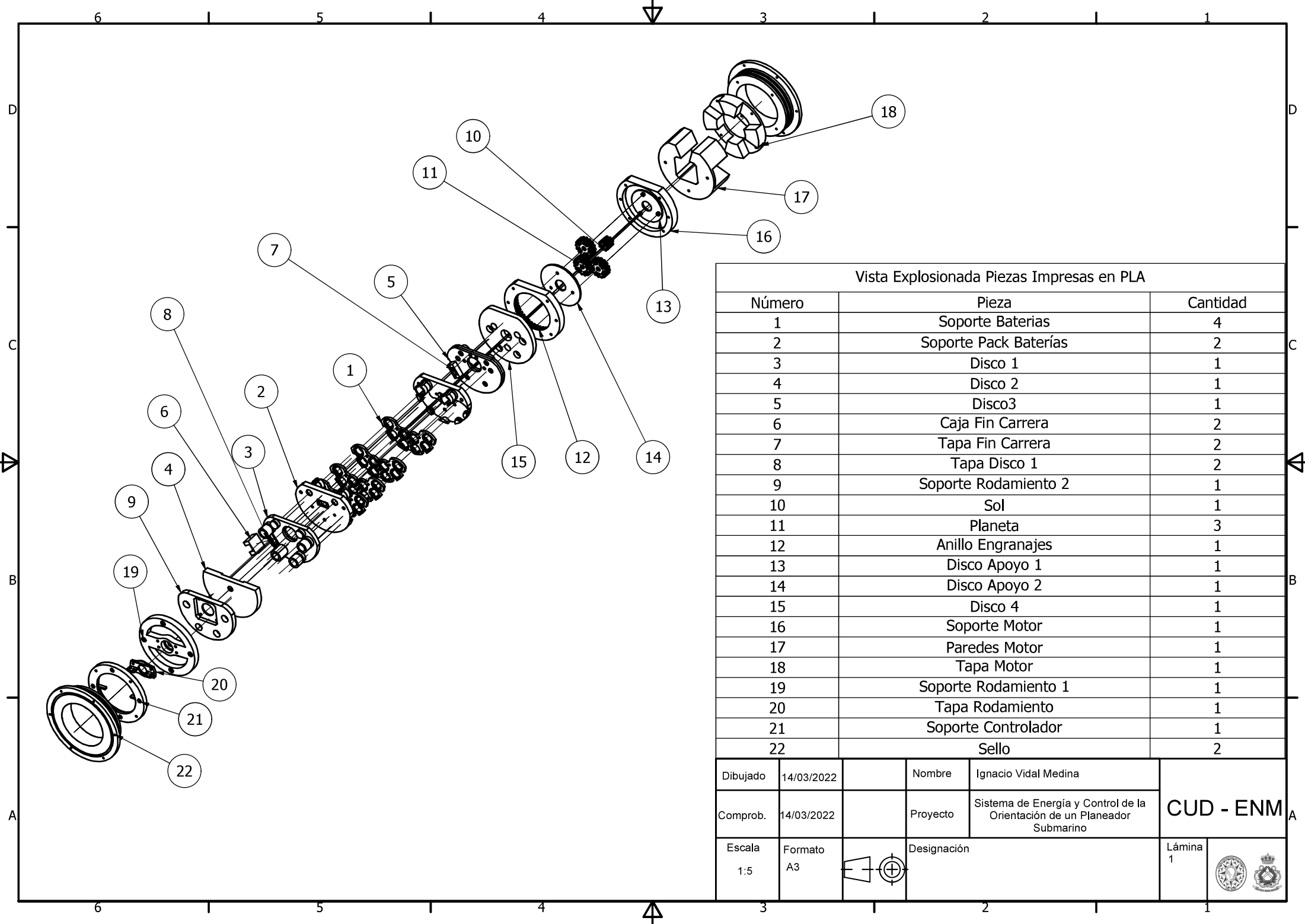
Materiales	
PLA (21€/kg)	18,9€
Material Comprado	198,21€
Gastos de Envío	15€
Total	232,11€

Para calcular cuánto PLA se utilizó, se realizó durante todo el proyecto un registro de la cantidad de material consumido en las impresiones, incluidas piezas fallidas. Debido a que éstas no siempre imprimen todo el material, se ha realizado una estimación de lo que consumieron en base al material sobrante en la bobina, aproximadamente 100 g. Concluimos entonces el gasto que aparece desglosado en la tabla.

En cuanto a los materiales comprados para el ensamblaje físico del glider, se encuentran descritos en la Tabla 5. Entre estos se ha decidido no incluir la bobina de PLA para visualizar de forma más clara el coste de las impresiones.

Como análisis del presupuesto, se puede observar que el mayor coste viene de parte de la informática. Teniendo en cuenta que alguien que se dispone a realizar este proyecto probablemente posea ya un ordenador personal sencillo, su propia impresora 3D, o pertenece a un laboratorio con una, y dispone de los programas de diseño digital, u otros viables como podrían ser SolidWorks o TinkerCad, el cual es de uso gratuito, el coste de los materiales necesarios para diseñar y construir el módulo completo se encuentra en torno a los 250 €. Demostrándose así la posibilidad de adquirir un elemento que se muestra de alto coste en el mercado a un coste muy bajo.

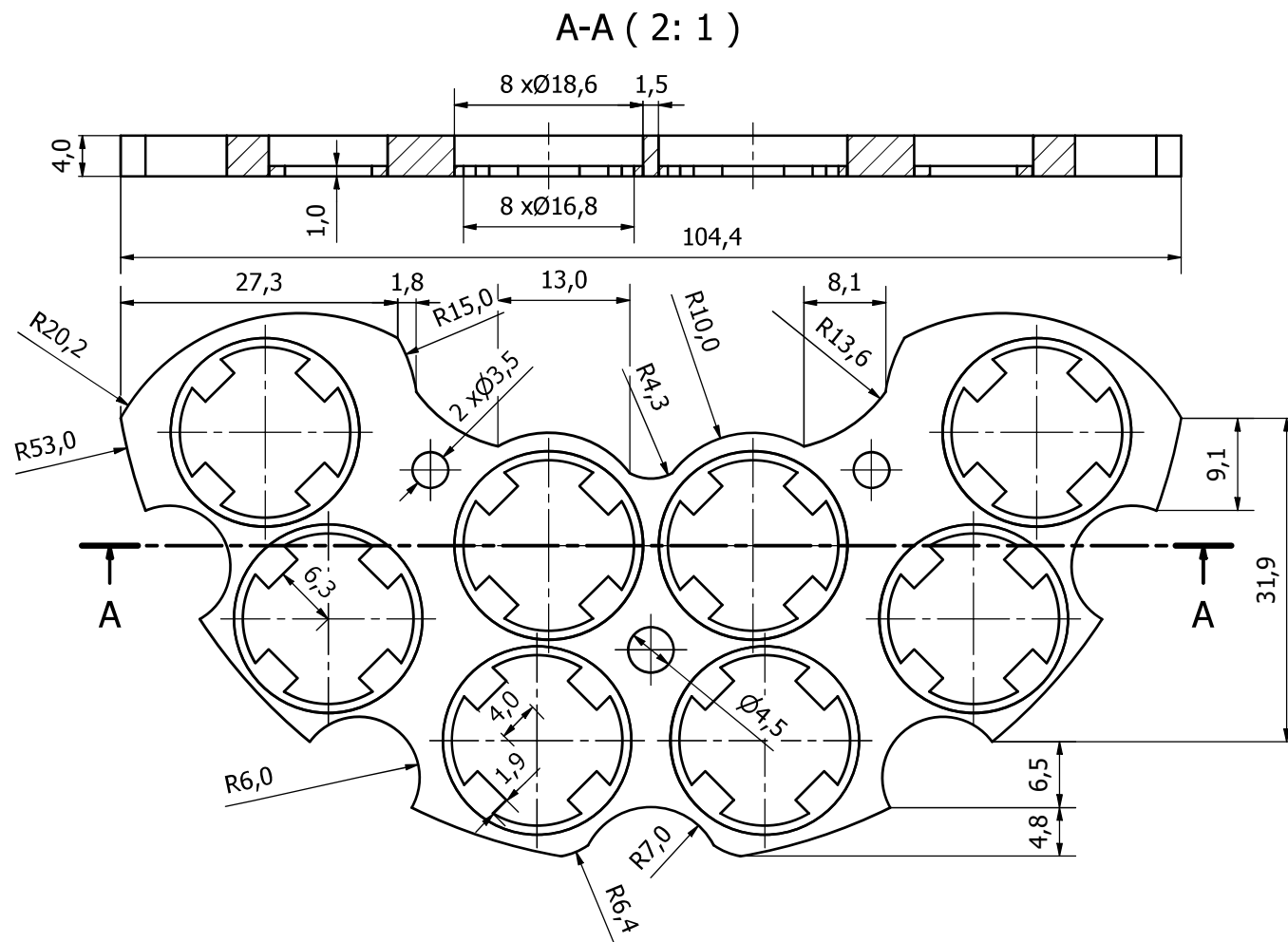
ANEXO V: PLANOS

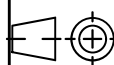


Vista Explosionada Piezas Impresas en PLA

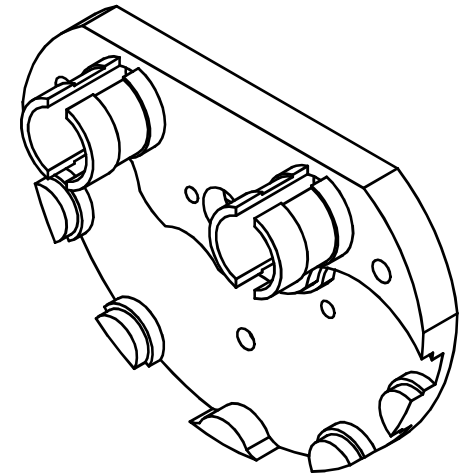
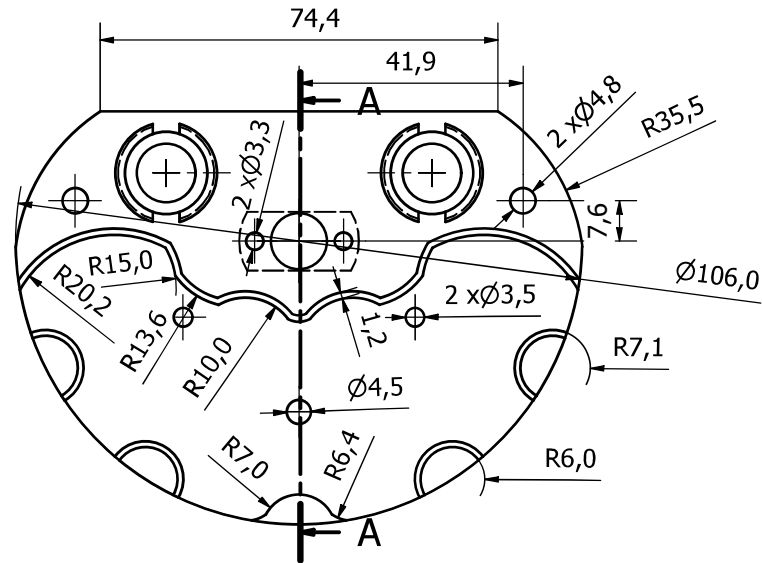
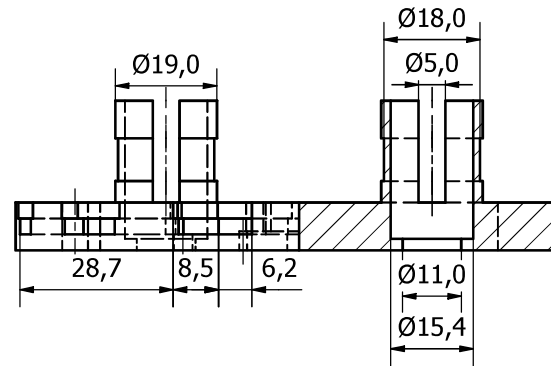
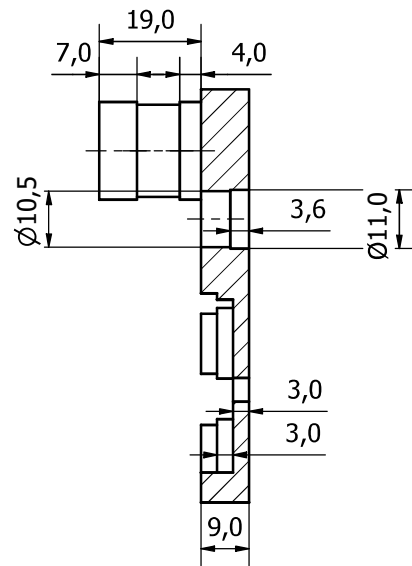
Número	Pieza	Cantidad
1	Soporte Baterías	4
2	Soporte Pack Baterías	2
3	Disco 1	1
4	Disco 2	1
5	Disco3	1
6	Caja Fin Carrera	2
7	Tapa Fin Carrera	2
8	Tapa Disco 1	2
9	Soporte Rodamiento 2	1
10	Sol	1
11	Planeta	3
12	Anillo Engranajes	1
13	Disco Apoyo 1	1
14	Disco Apoyo 2	1
15	Disco 4	1
16	Soporte Motor	1
17	Paredes Motor	1
18	Tapa Motor	1
19	Soporte Rodamiento 1	1
20	Tapa Rodamiento	1
21	Soporte Controlador	1
22	Sello	2

Dibujado	14/03/2022		Nombre	Ignacio Vidal Medina	CUD - ENM	
Comprob.	14/03/2022		Proyecto	Sistema de Energía y Control de la Orientación de un Planeador Submarino		
Escala	Formato		Designación		Lámina	
1:5	A3				1	



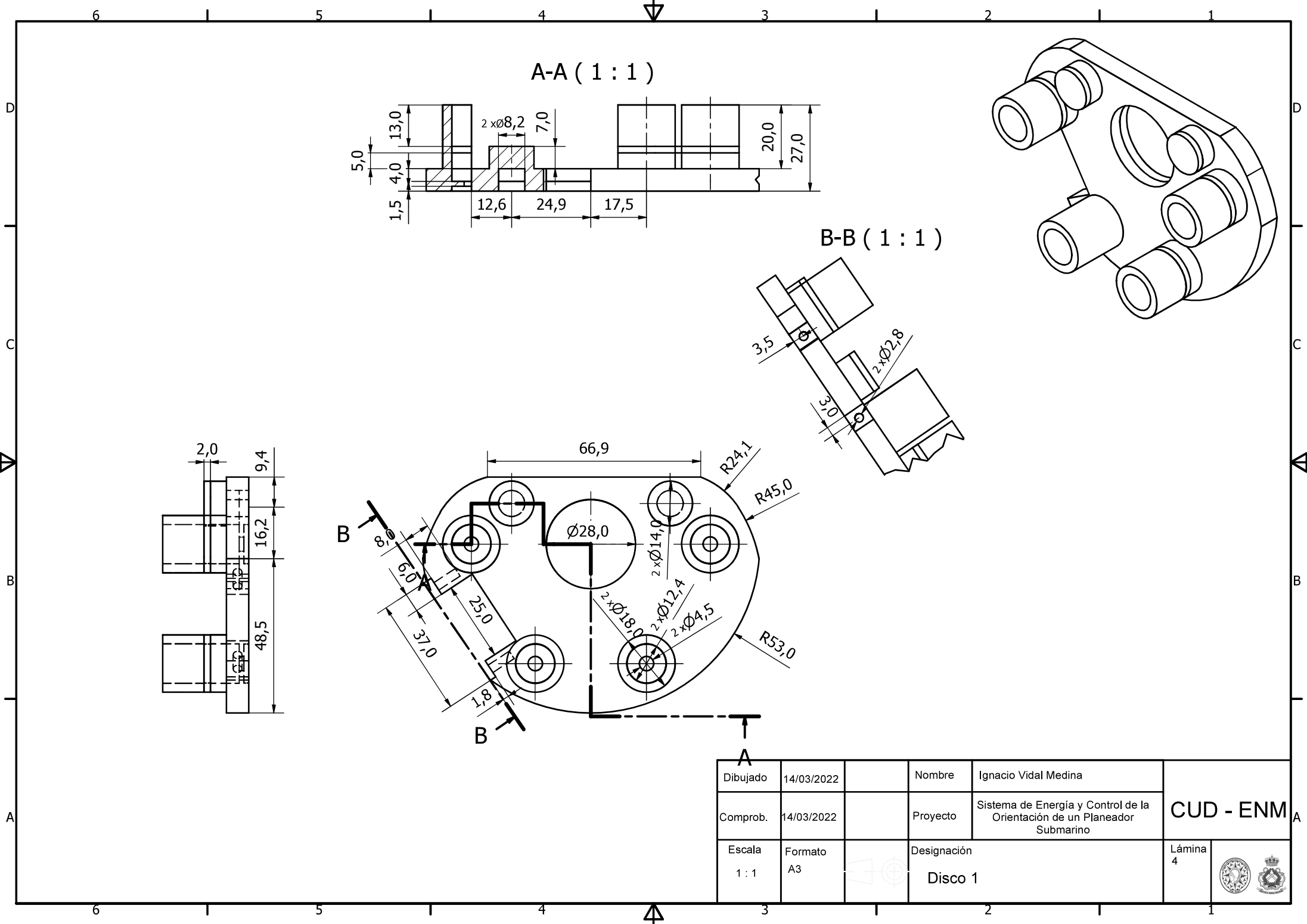
Dibujado	14/03/2022		Nombre	Ignacio Vidal Medina	CUD - ENM	
Comprob.	14/03/2022		Proyecto	Sistema de Energía y Control de la Orientación de un Planeador Submarino		
Escala 2: 1	Formato A3		Designación Soporte Baterías		Lámina 2	

A-A (1 : 1)



Dibujado	14/03/2022	Nombre	Ignacio Vidal Medina	CUD - ENM
Comprob.	14/03/2022	Proyecto	Sistema de Energía y Control de la Orientación de un Planeador Submarino	
Escala	Formato A3 1 : 1	Designación	Soporte Pack Baterías	Lámina 3

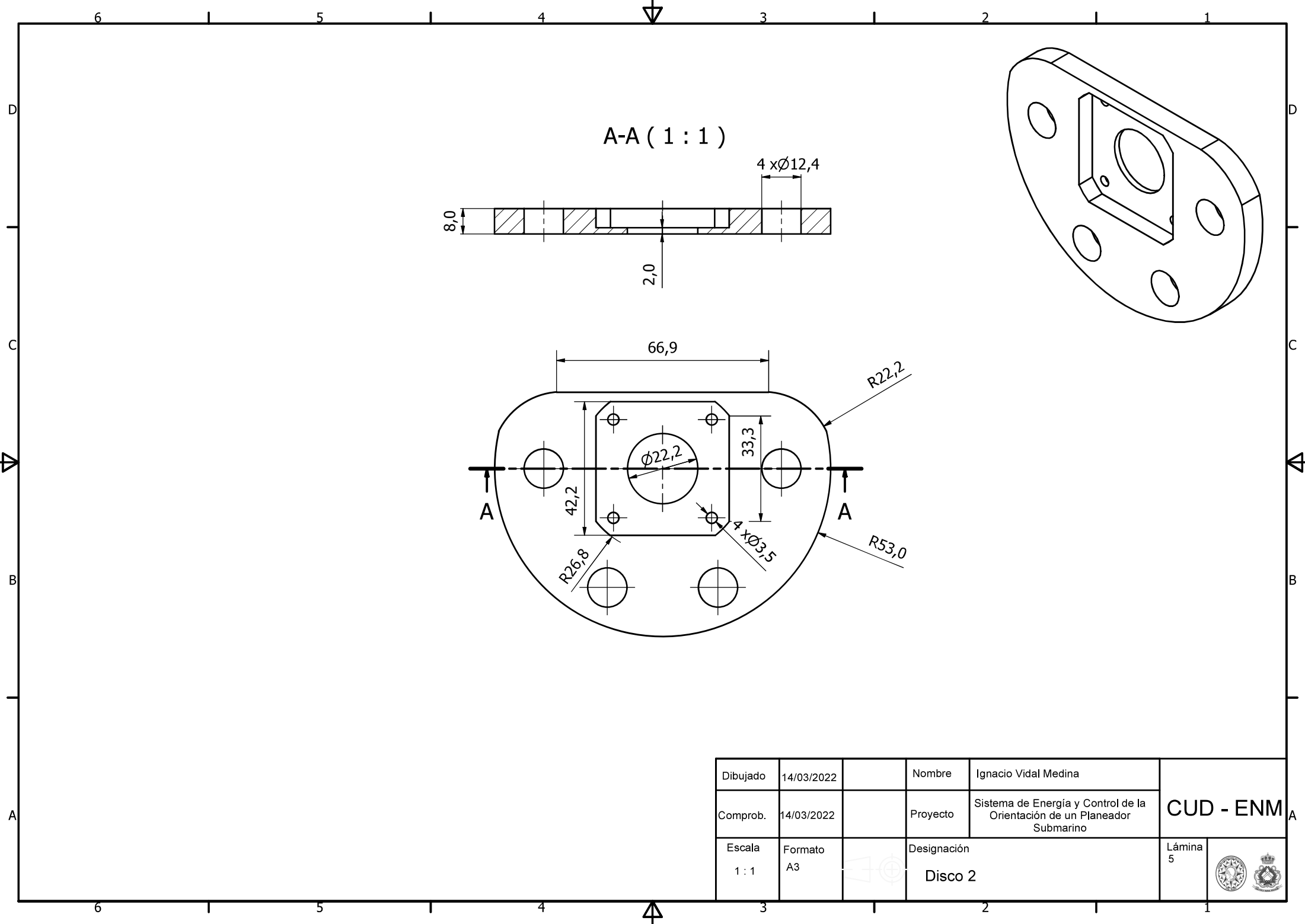




A-A (1 : 1)

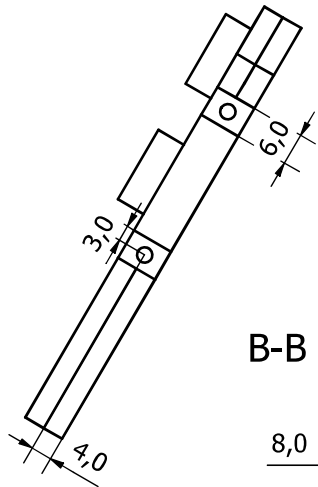
B-B (1 : 1)

Dibujado	14/03/2022		Nombre	Ignacio Vidal Medina	CUD - ENM	
Comprob.	14/03/2022		Proyecto	Sistema de Energía y Control de la Orientación de un Planeador Submarino		
Escala	Formato		Designación		Lámina	
1 : 1	A3		Disco 1		4	

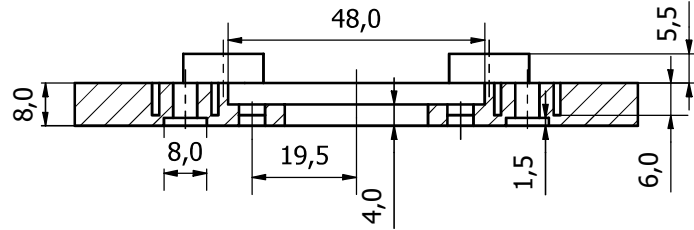


Dibujado	14/03/2022		Nombre	Ignacio Vidal Medina	CUD - ENM	
Comprob.	14/03/2022		Proyecto	Sistema de Energía y Control de la Orientación de un Planeador Submarino		
Escala	Formato		Designación		Lámina	
1 : 1	A3		Disco 2		5	

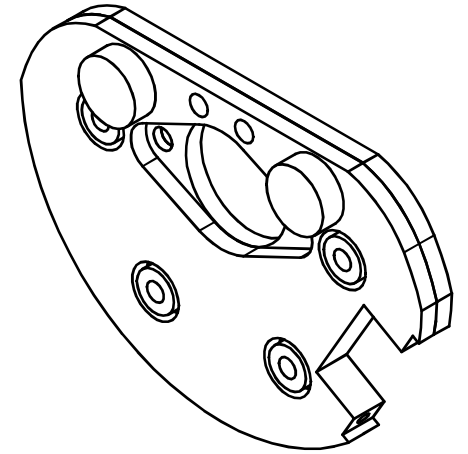
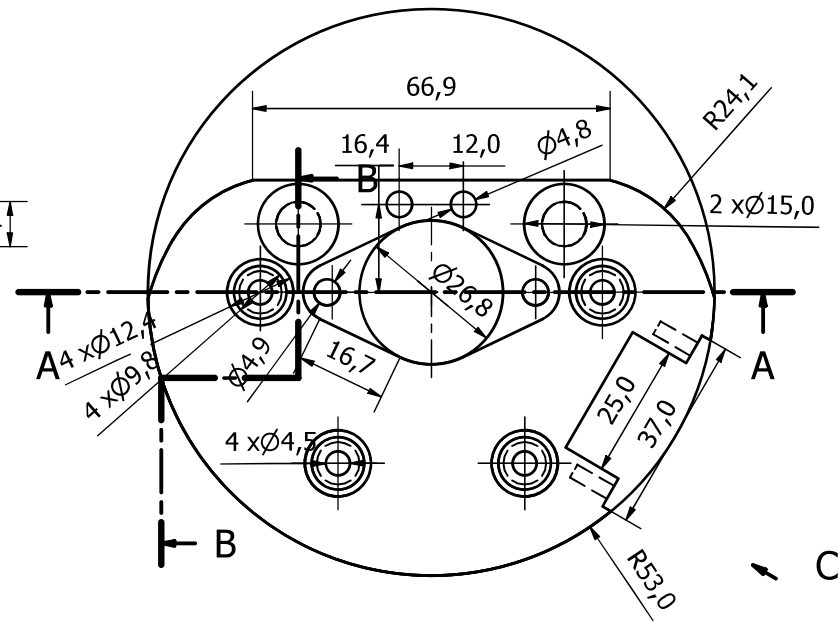
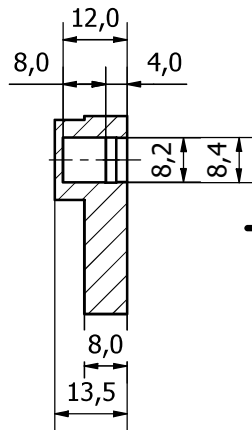
C (1 : 1)



A-A (1 : 1)

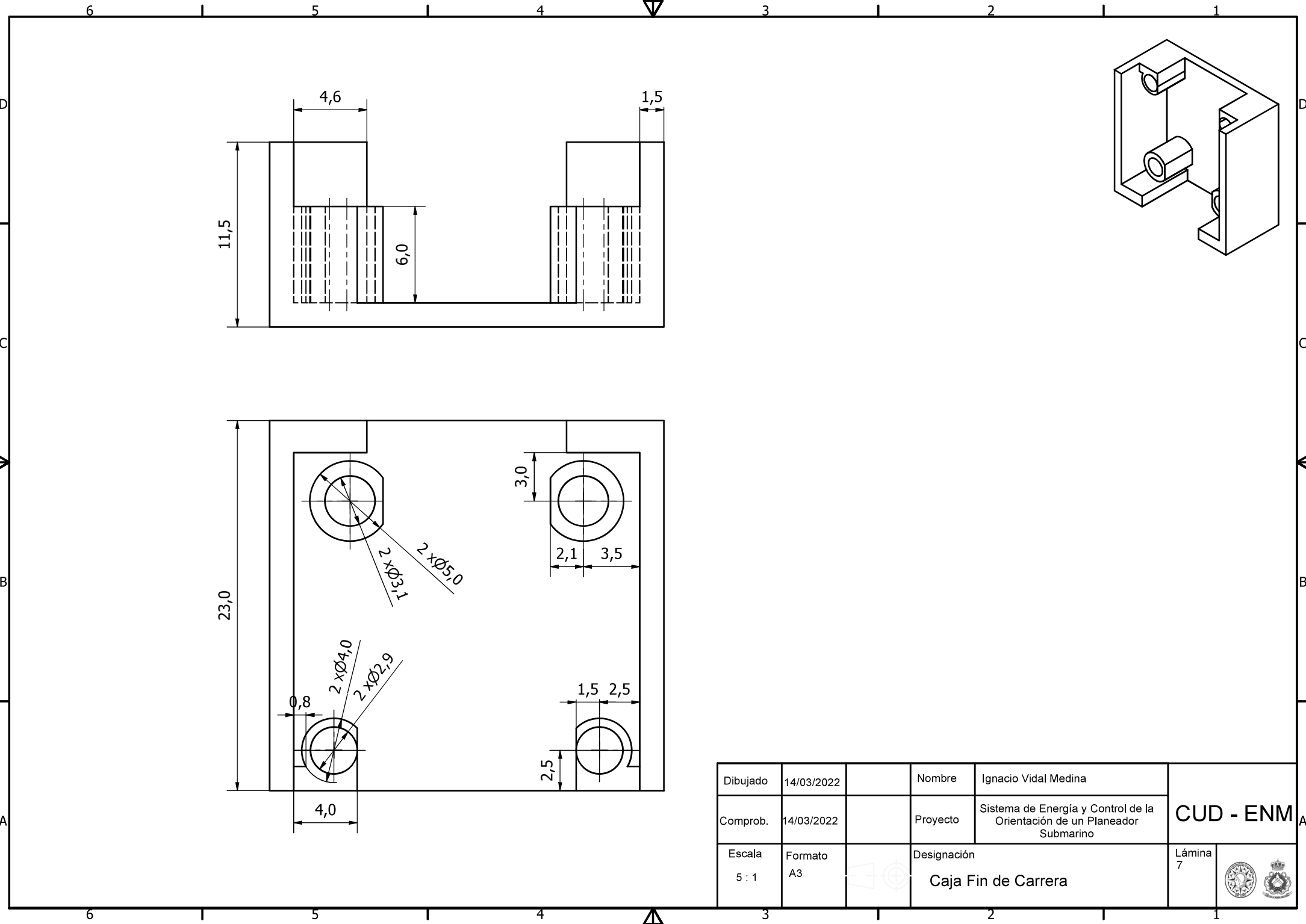


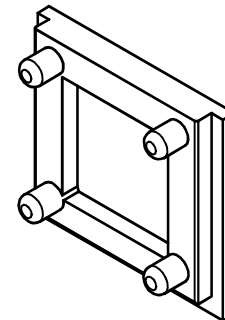
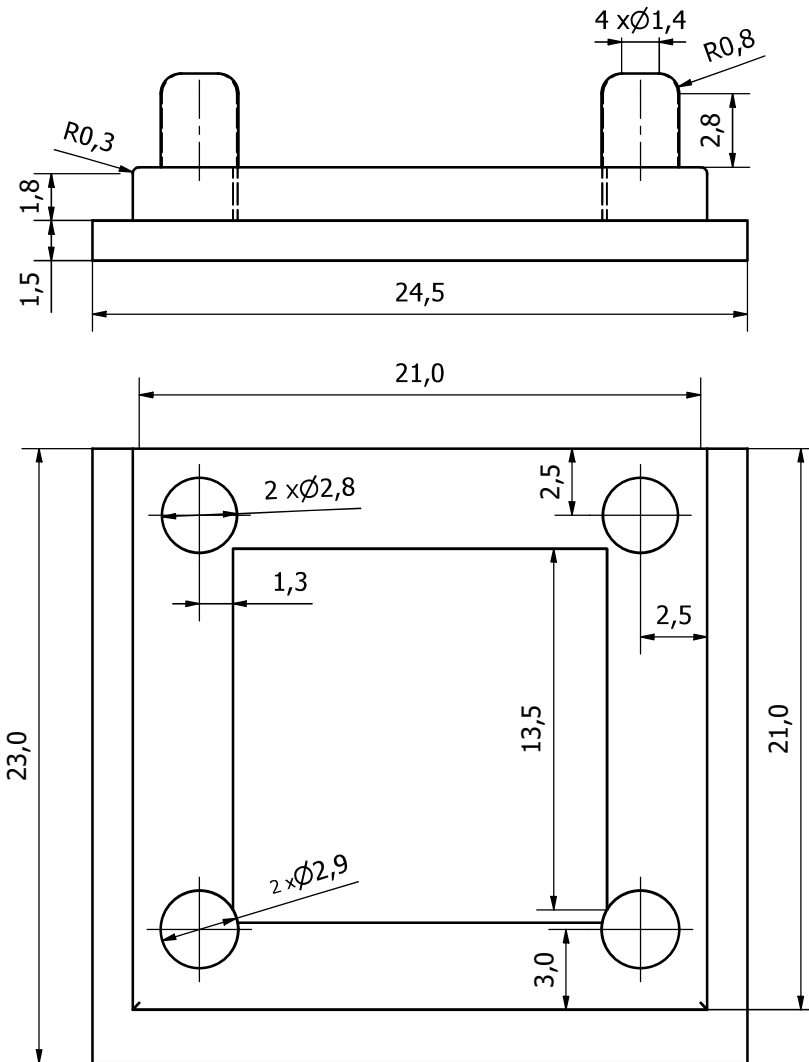
B-B (1 : 1)



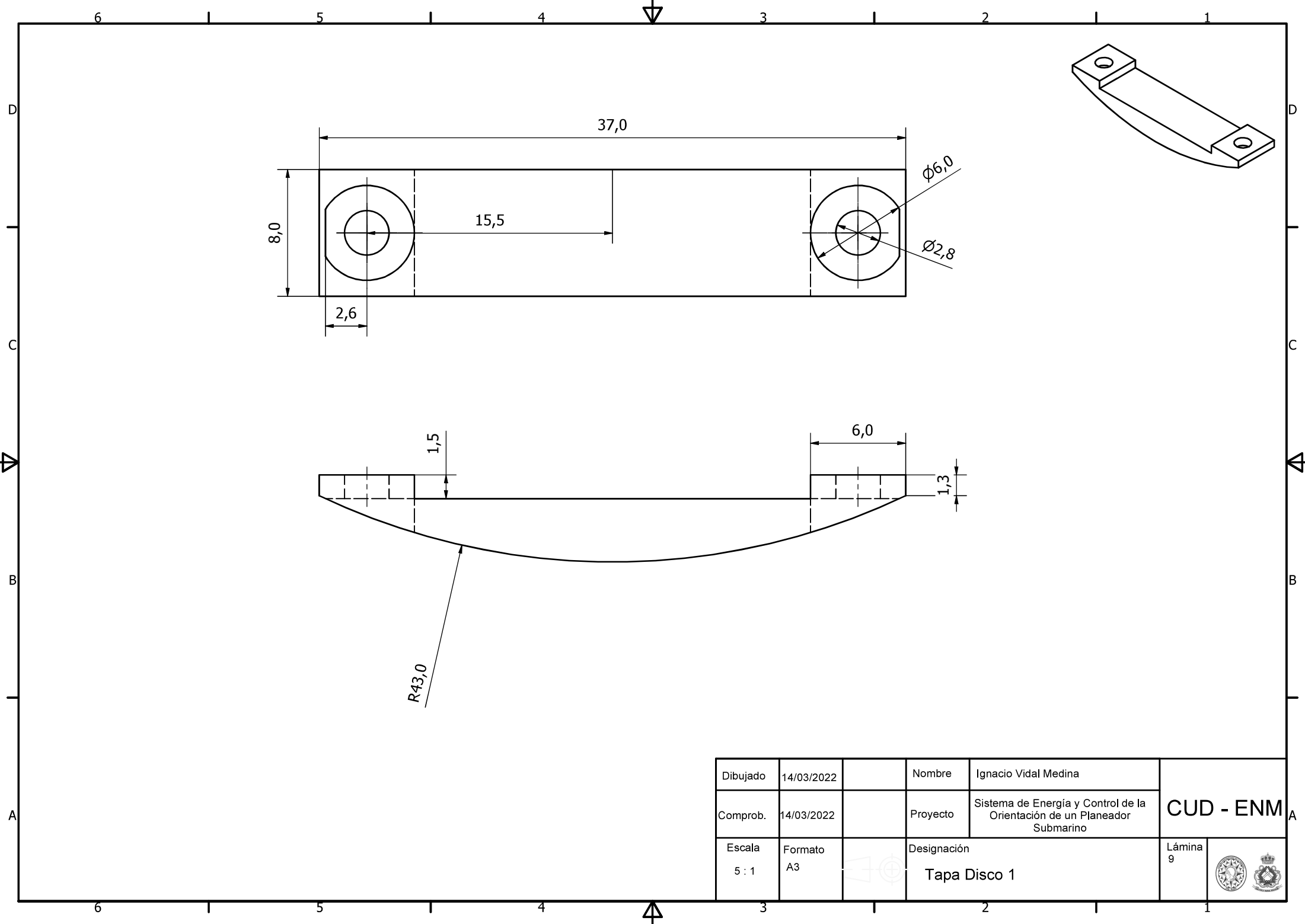
Dibujado	14/03/2022		Nombre	Ignacio Vidal Medina	CUD - ENM
Comprob.	14/03/2022		Proyecto	Sistema de Energía y Control de la Orientación de un Planeador Submarino	
Escala	Formato		Designación	Lámina	6
1 : 1	A3		Disco 3		



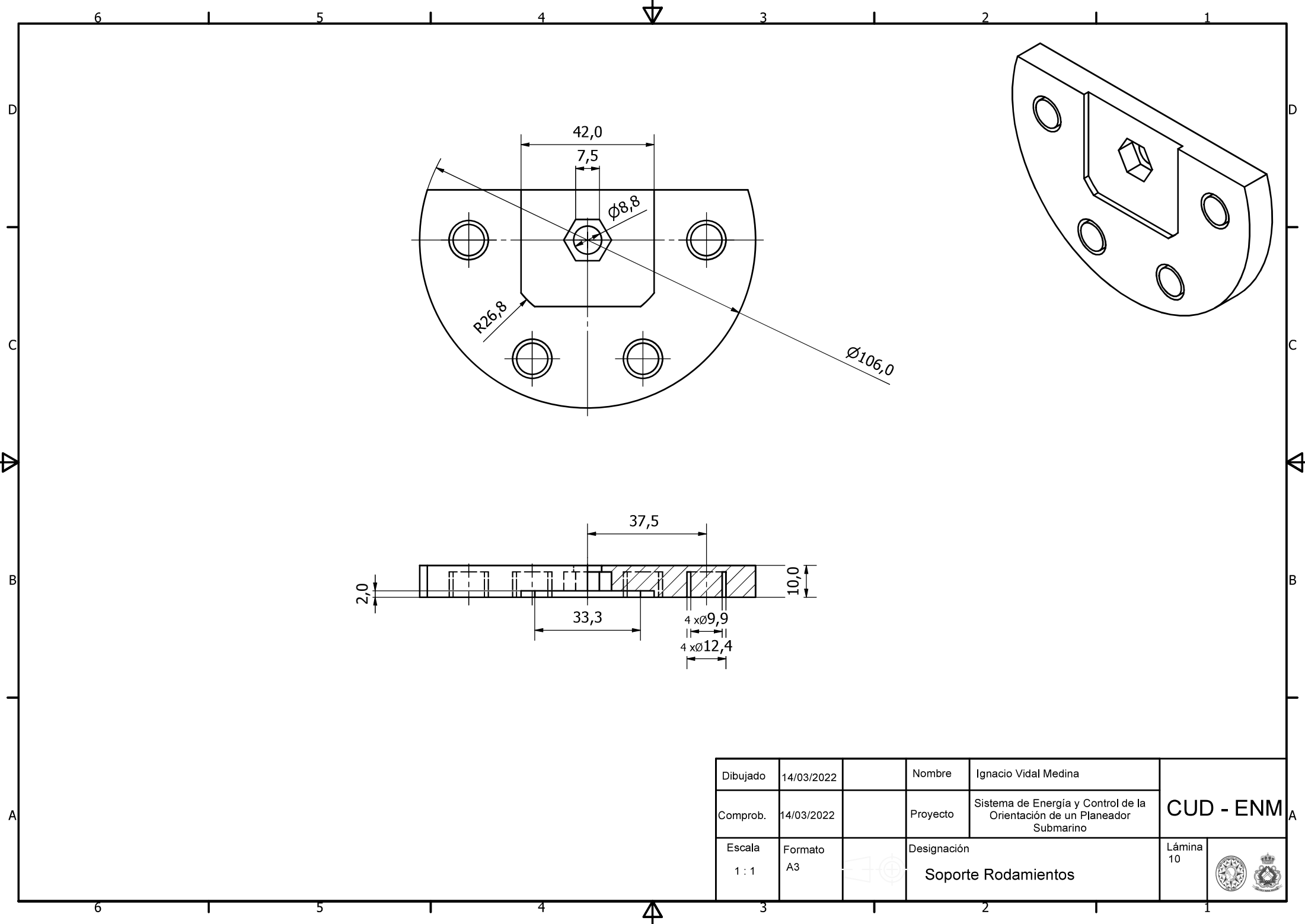




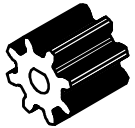
Dibujado	14/03/2022		Nombre	Ignacio Vidal Medina	CUD - ENM	
Comprob.	14/03/2022		Proyecto	Sistema de Energía y Control de la Orientación de un Planeador Submarino		
Escala 5 : 1	Formato A3		Designación Tapa Fin de Carrera		Lámina 8	



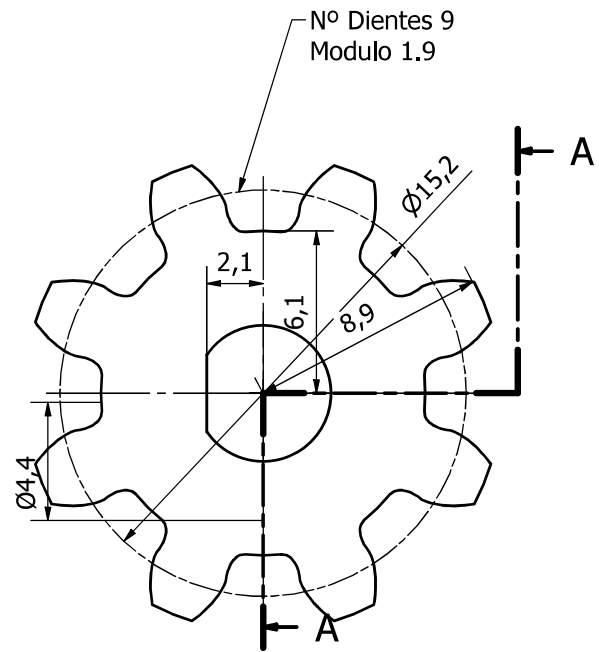
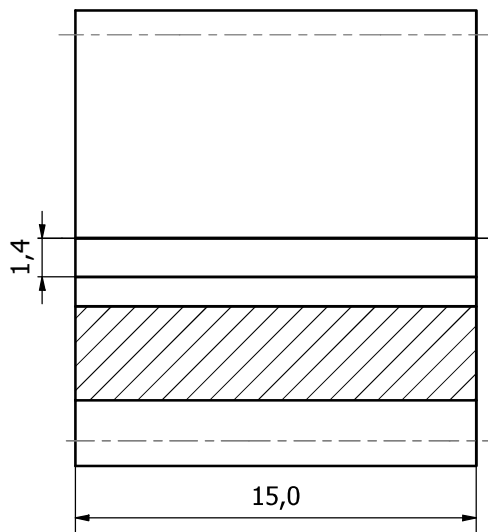
Dibujado	14/03/2022		Nombre	Ignacio Vidal Medina	CUD - ENM		
Comprob.	14/03/2022		Proyecto	Sistema de Energía y Control de la Orientación de un Planeador Submarino			
Escala 5 : 1	Formato A3		Designación Tapa Disco 1			Lámina 9	



Dibujado	14/03/2022		Nombre	Ignacio Vidal Medina	CUD - ENM	
Comprob.	14/03/2022		Proyecto	Sistema de Energía y Control de la Orientación de un Planeador Submarino		
Escala 1 : 1	Formato A3		Designación		Lámina 10	
			Soporte Rodamientos			

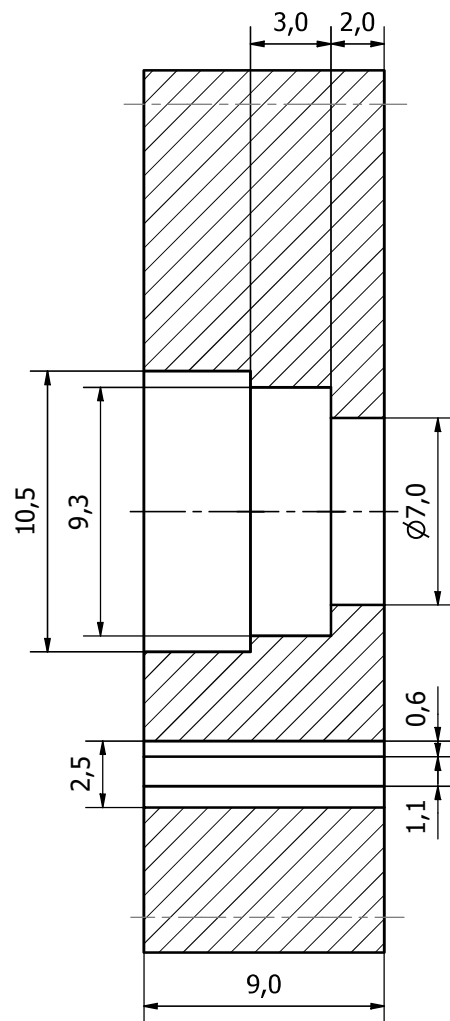


A-A (5 : 1)

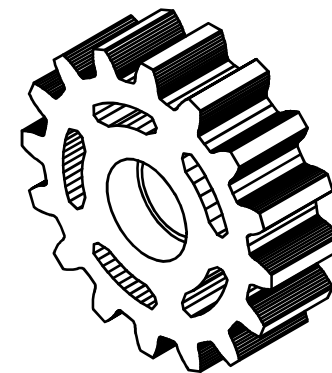
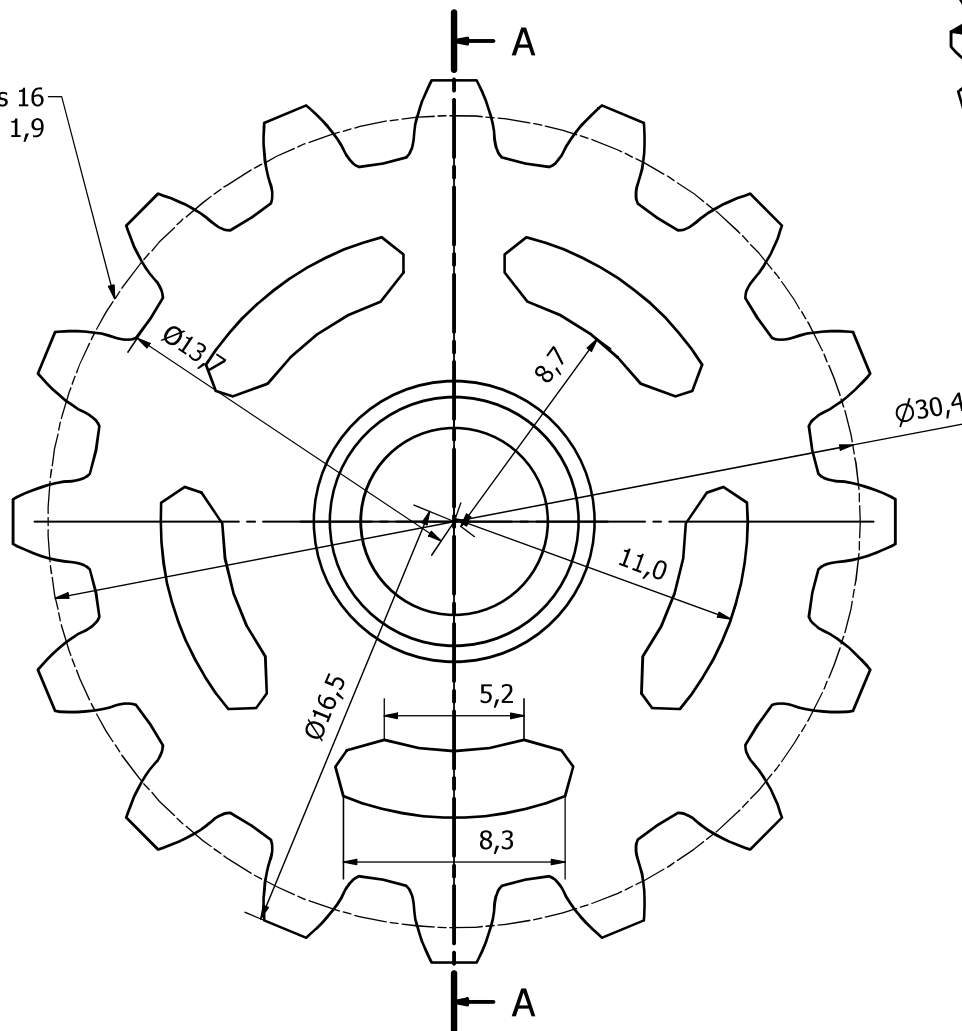


Dibujado	14/03/2022		Nombre	Ignacio Vidal Medina	CUD - ENM	
Comprob.	14/03/2022		Proyecto	Sistema de Energía y Control de la Orientación de un Planeador Submarino		
Escala	Formato		Designación		Lámina	
5 : 1	A3		Sol		11	

A-A (5 : 1)

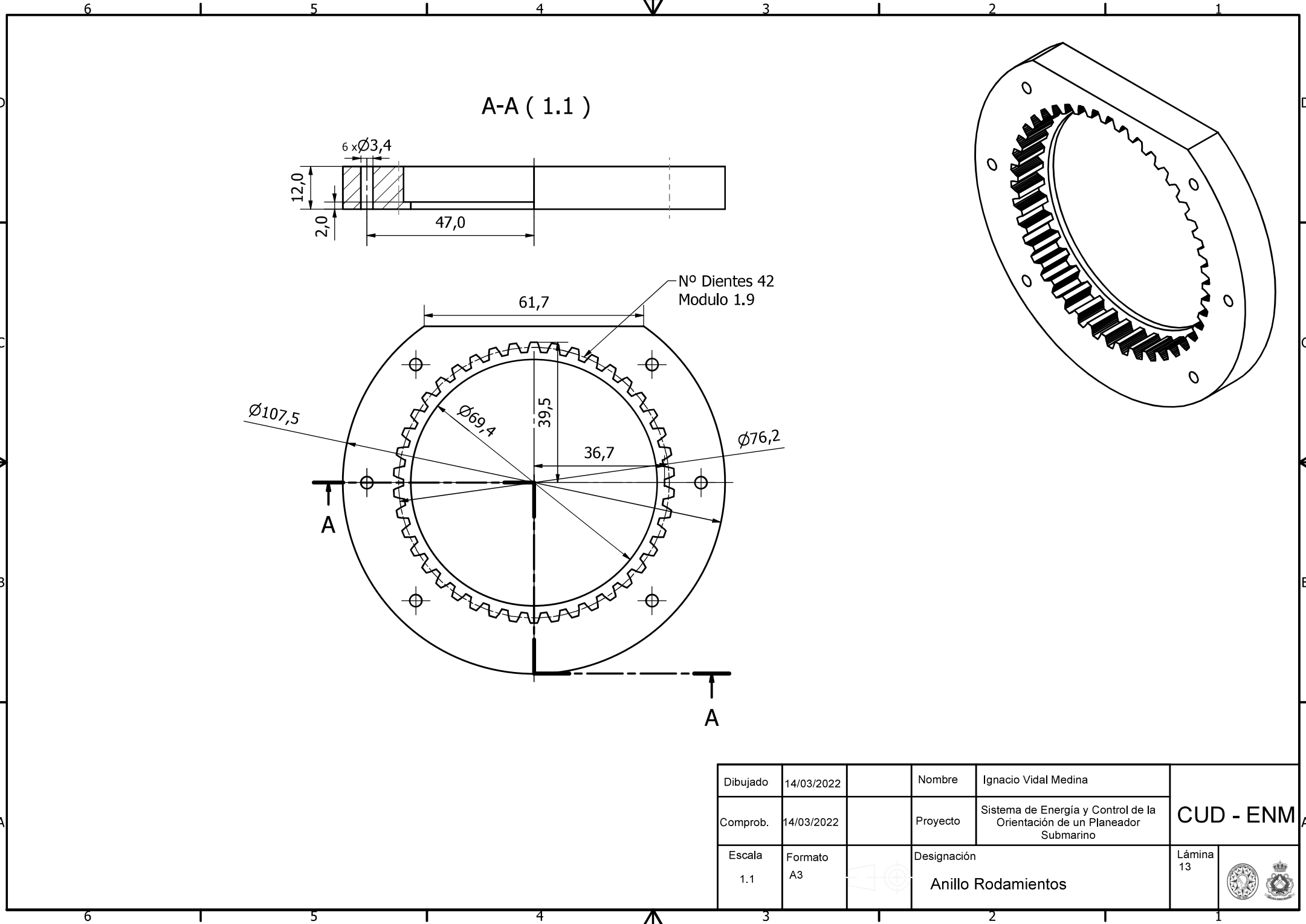


Nº Dientes 16
M 1,9

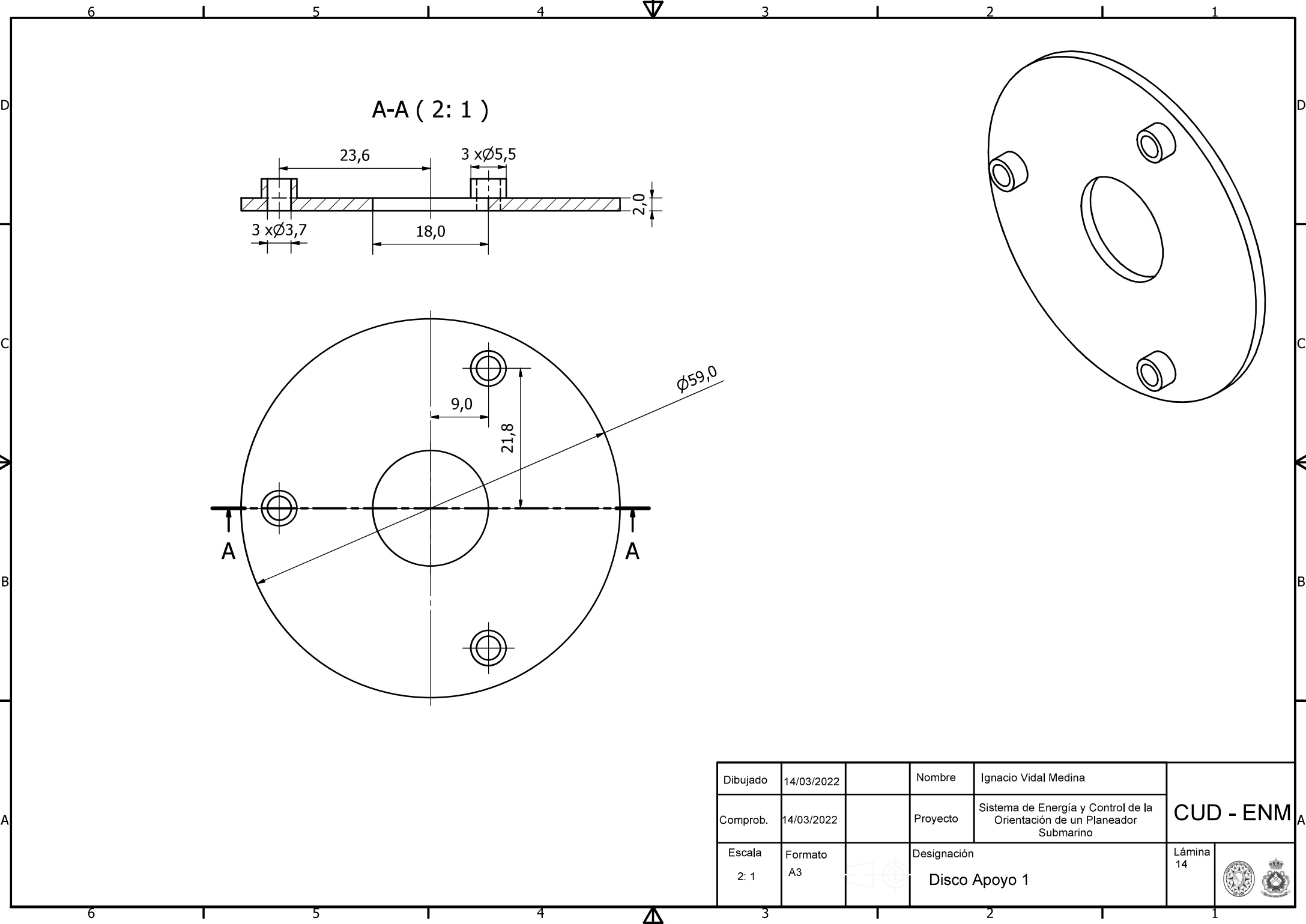


Dibujado	14/03/2022	Nombre	Ignacio Vidal Medina	CUD - ENM
Comprob.	14/03/2022	Proyecto	Sistema de Energía y Control de la Orientación de un Planeador Submarino	
Escala	Formato	Designación	Planeta	Lámina
5 : 1	A3			12

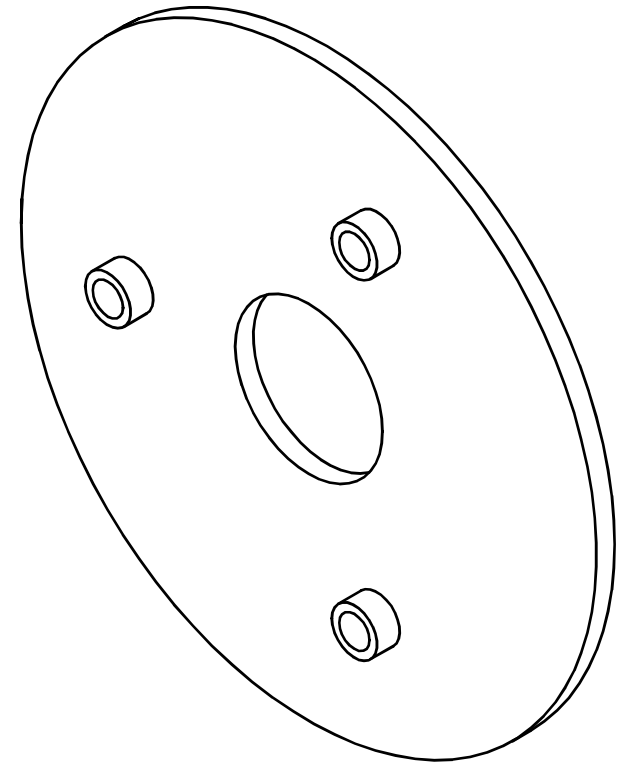
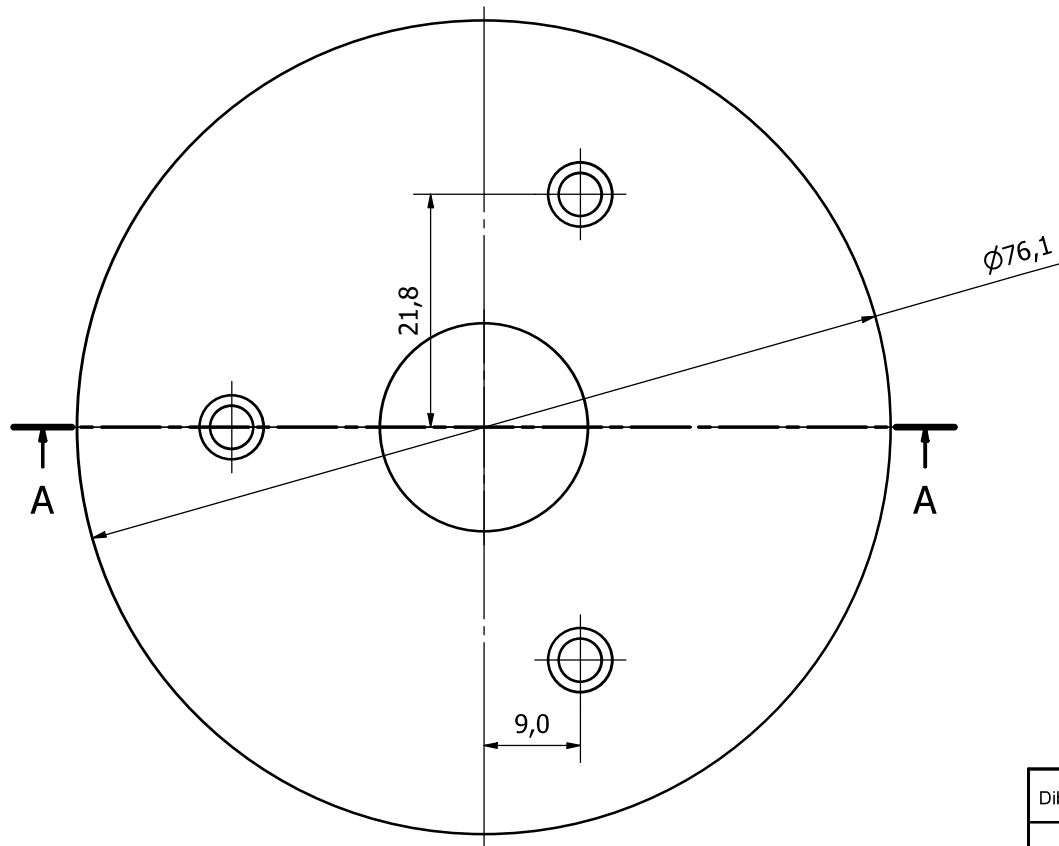
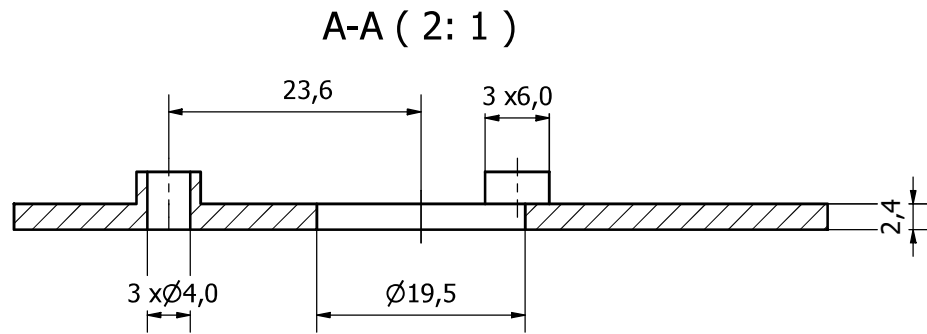




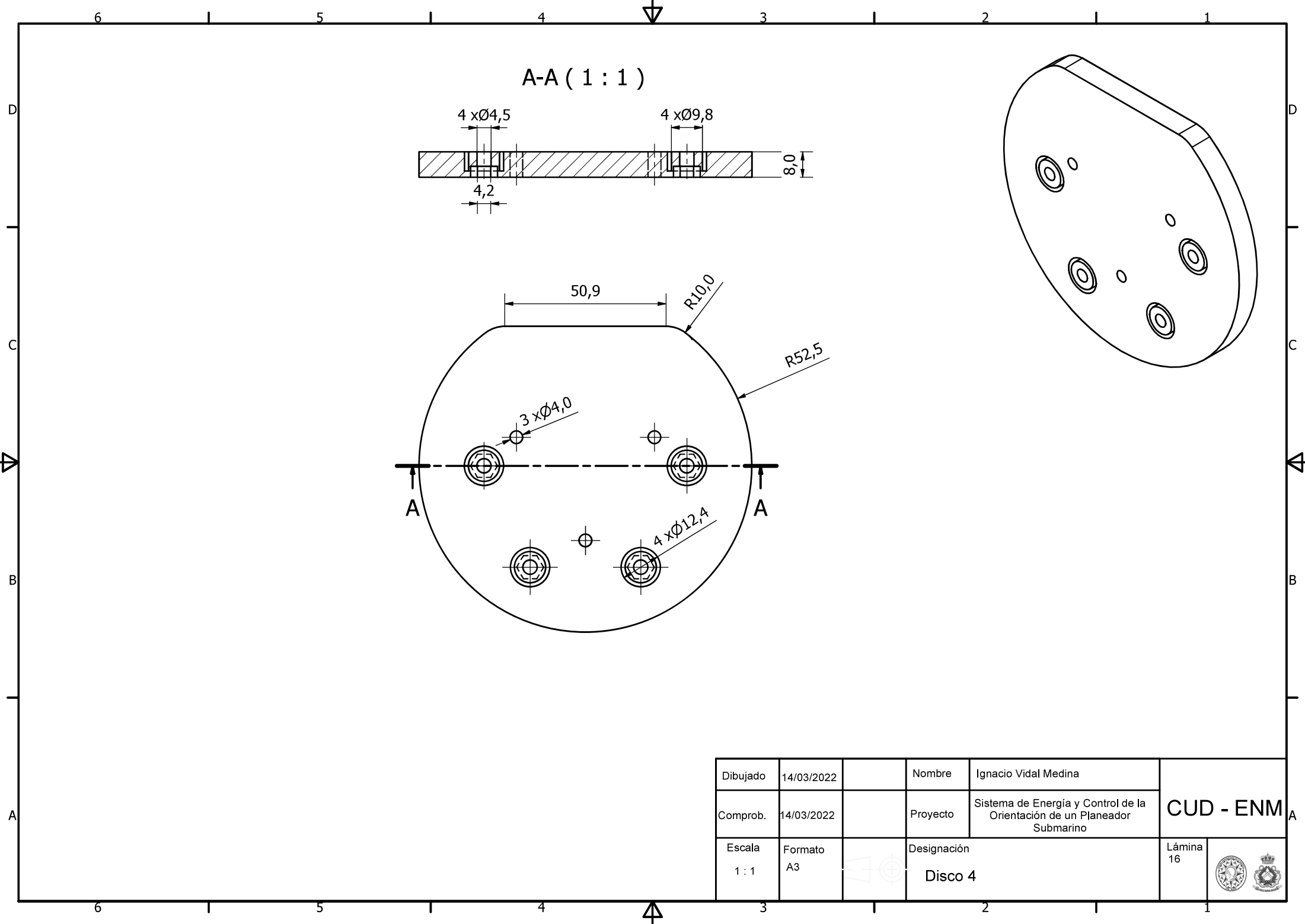
Dibujado	14/03/2022		Nombre	Ignacio Vidal Medina	CUD - ENM
Comprob.	14/03/2022		Proyecto	Sistema de Energía y Control de la Orientación de un Planeador Submarino	
Escala	Formato		Designación	Lámina	
1.1	A3		Anillo Rodamientos	13	



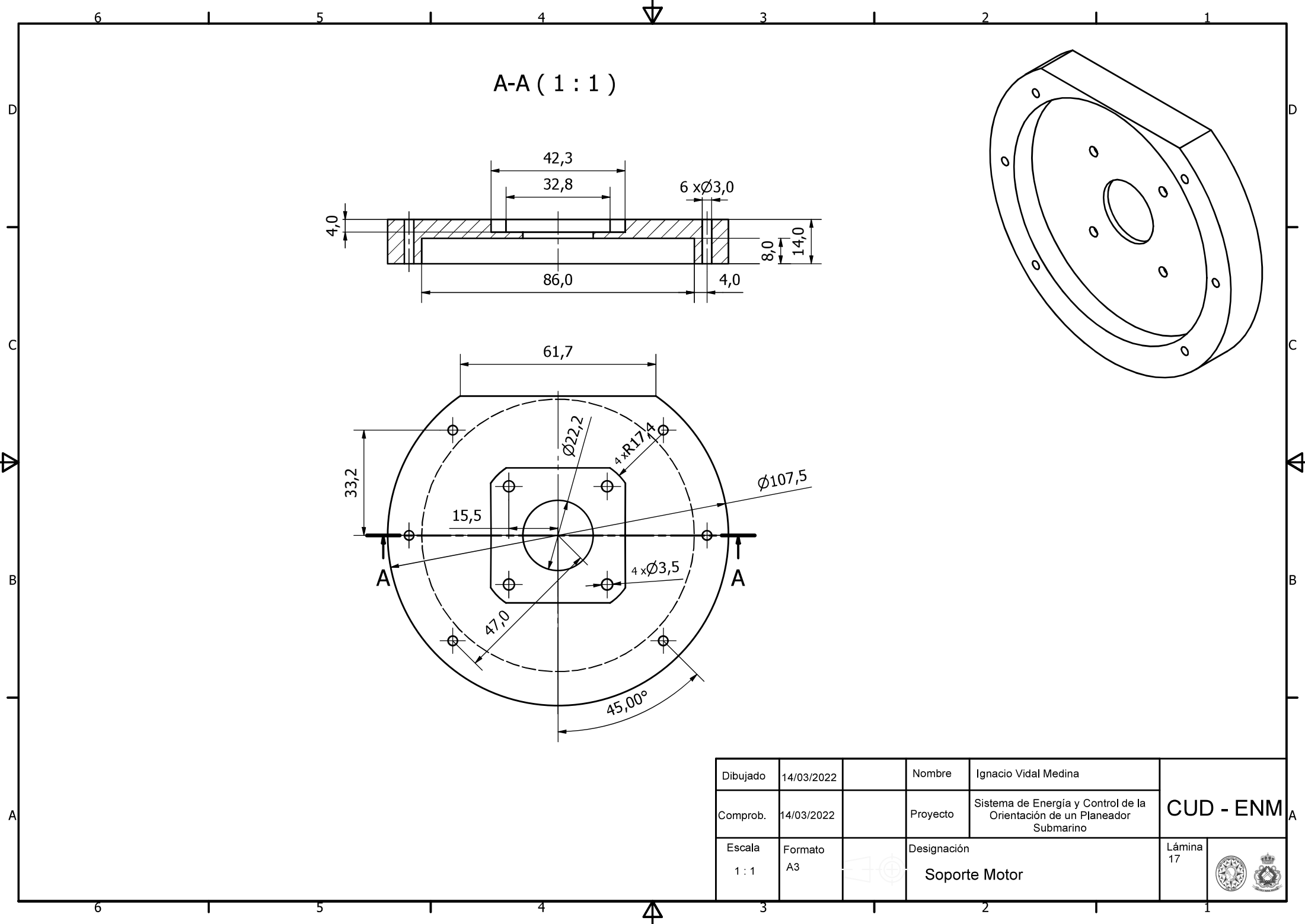
Dibujado	14/03/2022		Nombre	Ignacio Vidal Medina	CUD - ENM	
Comprob.	14/03/2022		Proyecto	Sistema de Energía y Control de la Orientación de un Planeador Submarino		
Escala	Formato		Designación	Lámina		
2: 1	A3		Disco Apoyo 1	14		

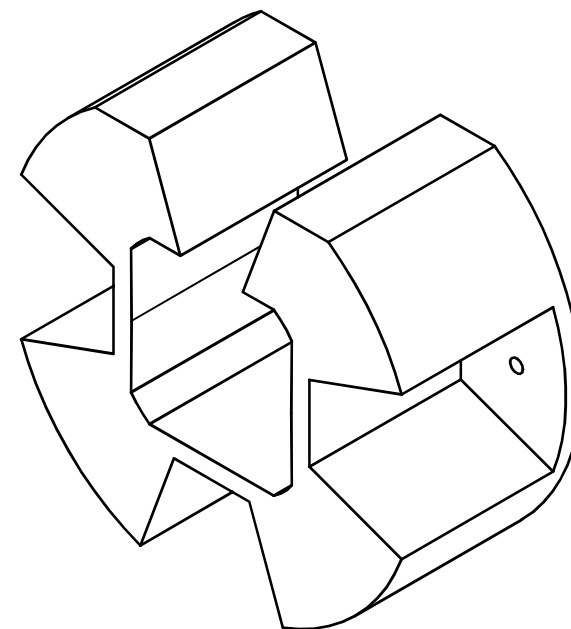
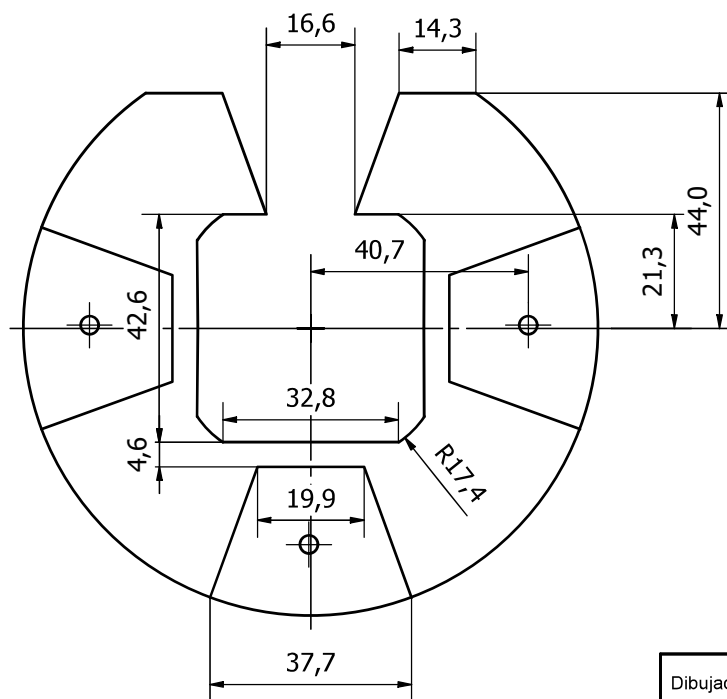
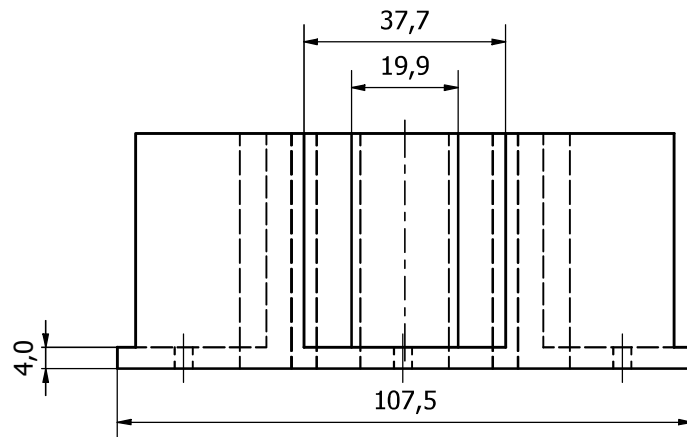


Dibujado	14/03/2022		Nombre	Ignacio Vidal Medina	CUD - ENM
Comprob.	14/03/2022		Proyecto	Sistema de Energía y Control de la Orientación de un Planeador Submarino	
Escala 2: 1	Formato A3		Designación	Disco Apoyo 2	Lámina 15
					

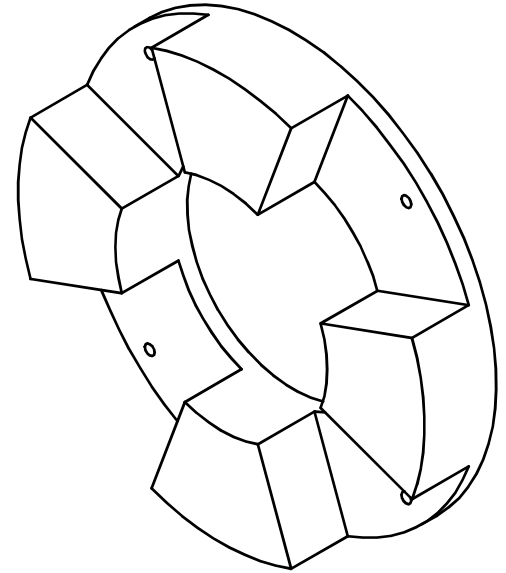
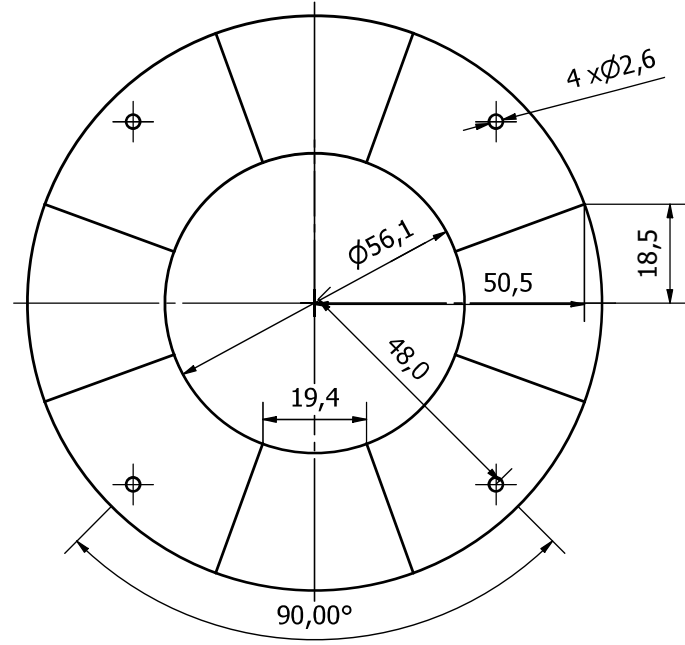
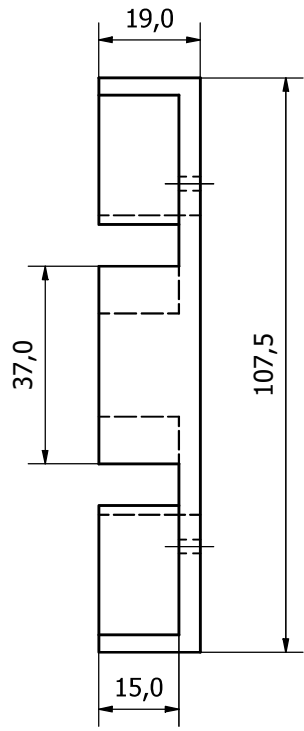


Dibujado	14/03/2022		Nombre	Ignacio Vidal Medina	CUD - ENM		
Comprob.	14/03/2022		Proyecto	Sistema de Energía y Control de la Orientación de un Planeador Submarino			
Escala 1 : 1	Formato A3		Designación Disco 4			Lámina 16	

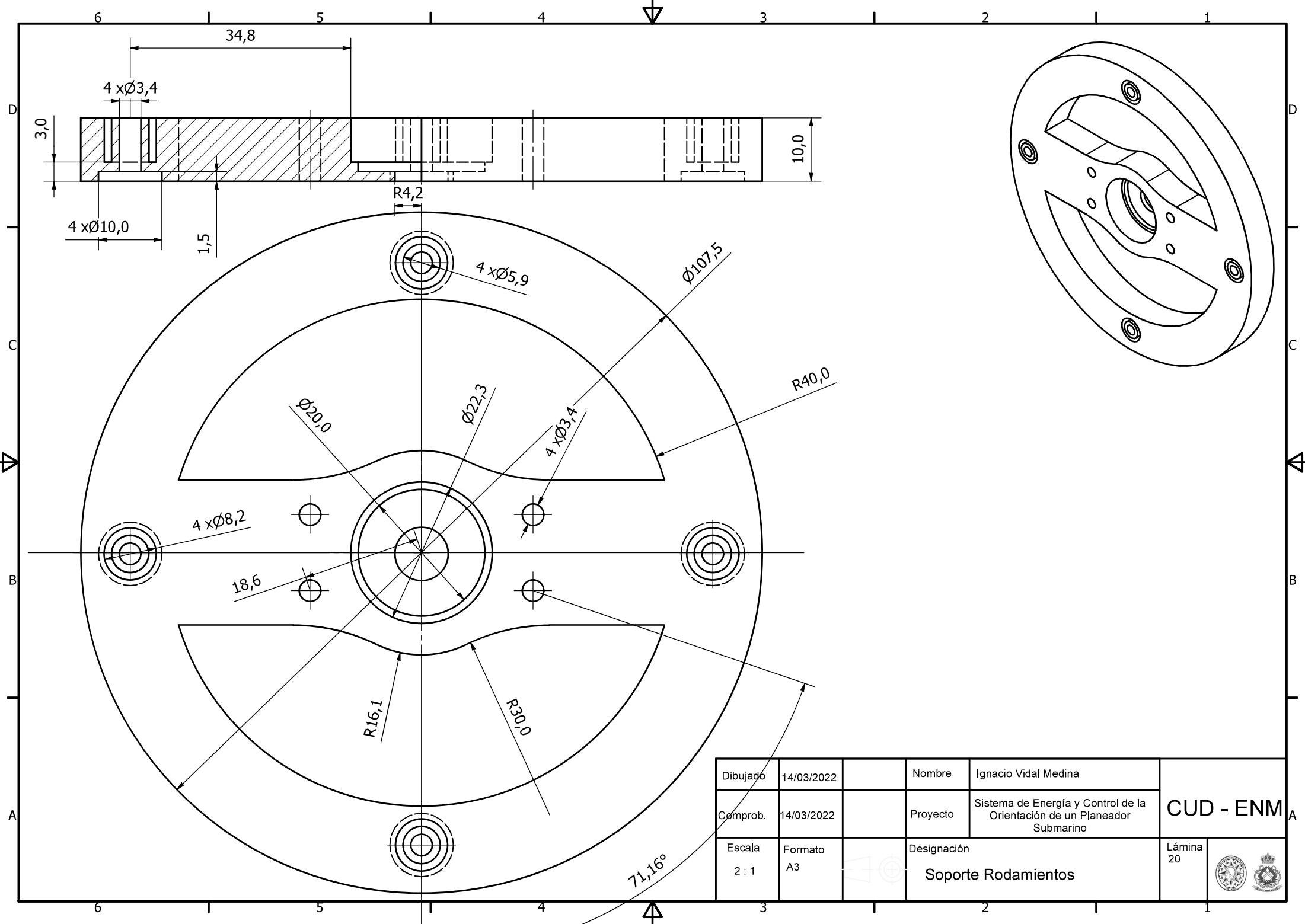




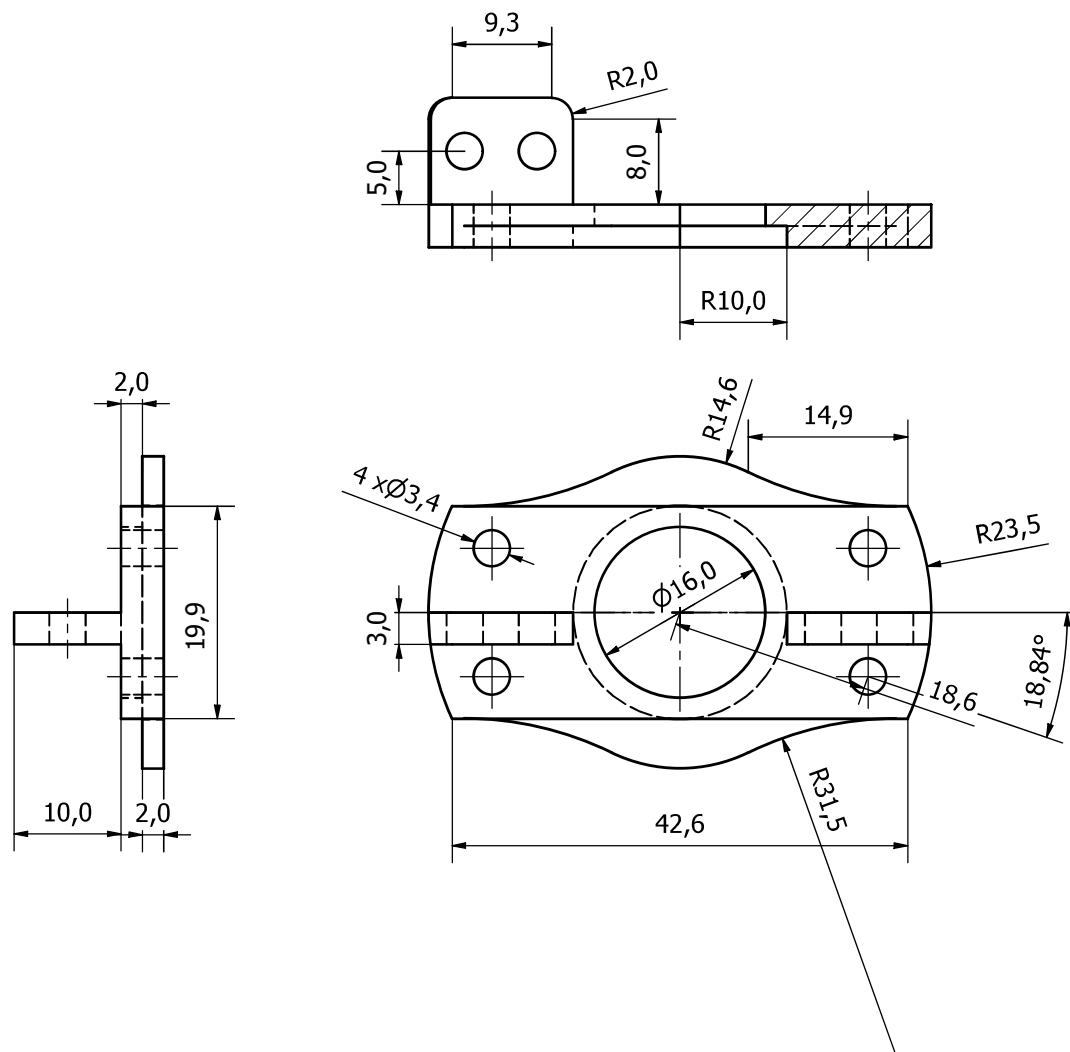
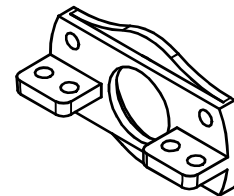
Dibujado	14/03/2022		Nombre	Ignacio Vidal Medina	CUD - ENM	
Comprob.	14/03/2022		Proyecto	Sistema de Energía y Control de la Orientación de un Planeador Submarino		
Escala 1 : 1	Formato A3		Designación Soporte Paredes Motor		Lámina 18	



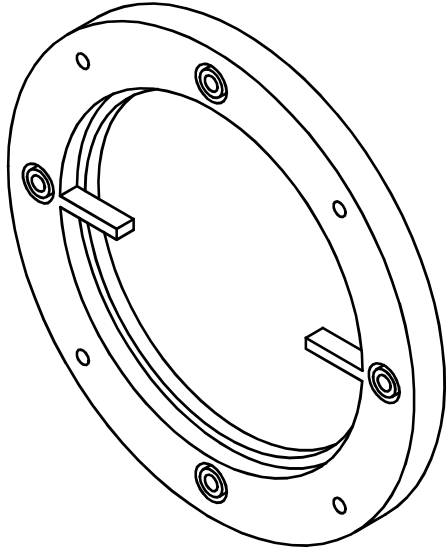
Dibujado	14/03/2022		Nombre	Ignacio Vidal Medina	CUD - ENM	
Comprob.	14/03/2022		Proyecto	Sistema de Energía y Control de la Orientación de un Planeador Submarino		
Escala 1 : 1	Formato A3		Designación Tapa Motor		Lámina 19	



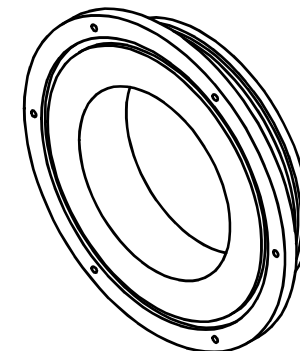
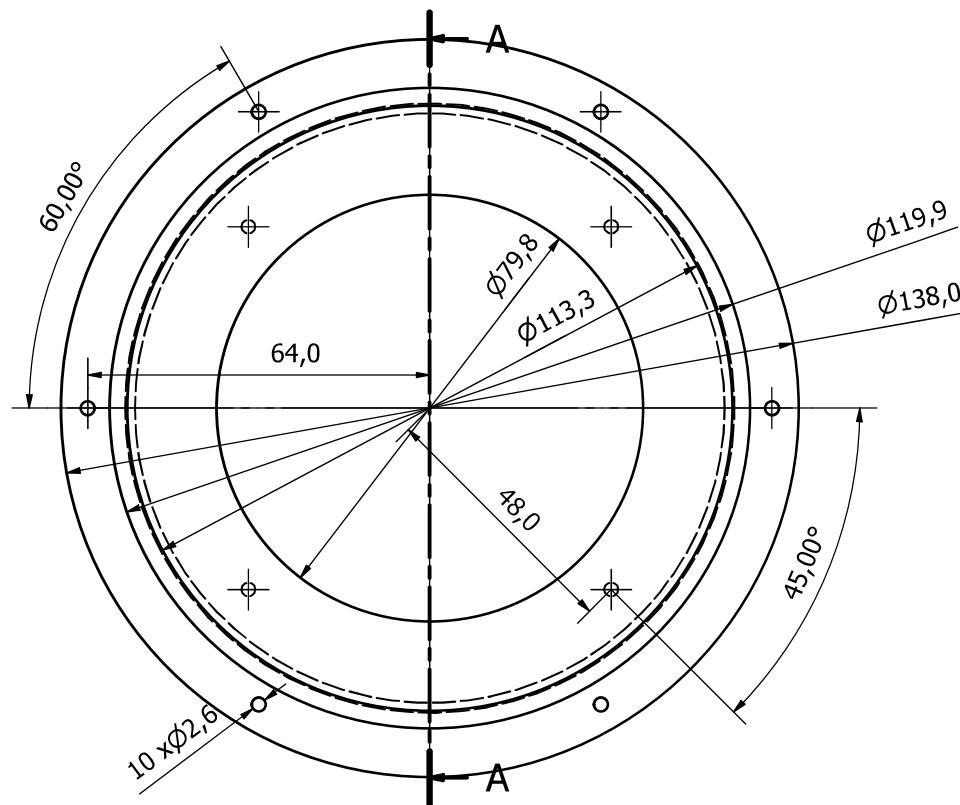
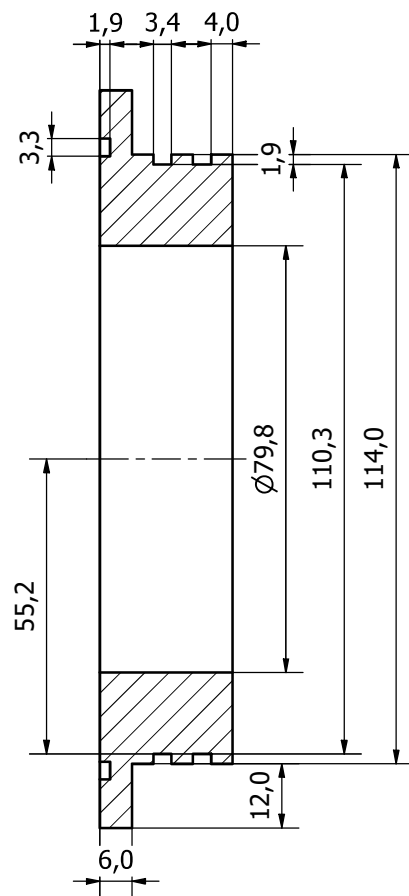
Dibujado	14/03/2022		Nombre	Ignacio Vidal Medina	CUD - ENM		
Comprob.	14/03/2022		Proyecto	Sistema de Energía y Control de la Orientación de un Planeador Submarino			
Escala 2 : 1	Formato A3		Designación Soporte Rodamientos			Lámina 20	 



Dibujado	14/03/2022		Nombre	Ignacio Vidal Medina	CUD - ENM
Comprob.	14/03/2022		Proyecto	Sistema de Energía y Control de la Orientación de un Planeador Submarino	
Escala 2: 1	Formato A3		Designación Tapa Soporte Rodamientos		Lámina 21



A-A (1 : 1)



Dibujado	14/03/2022	Nombre	Ignacio Vidal Medina	CUD - ENM
Comprob.	14/03/2022	Proyecto	Sistema de Energía y Control de la Orientación de un Planeador Submarino	
Escala	Formato	Designación	Sello	Lámina
1 : 1	A3			23

