

Máster Universitario en Ingeniería Industrial

Trabajo Fin de Máster

**Diseño de una carcasa ligera para una
cámara destinada a la obtención de
imágenes de alta resolución en aguas
profundas mesopelágicas de Canarias,
vinculada al proyecto DeepCom de la
ULL**

Autora: Carmen Corbella Pardo

Tutor: Jorge Martín Gutiérrez

7 de septiembre de 2020

La publicación de este Trabajo Fin de Máster solo implica que el estudiante ha obtenido al menos la nota mínima exigida para superar la asignatura correspondiente, no presupone que su contenido sea correcto, aunque si aplicable. En este sentido, la ULL no posee ningún tipo de responsabilidad hacia terceros por la aplicación total o parcial de los resultados obtenidos en este trabajo. También pone en conocimiento del lector que, según la ley de protección intelectual, los resultados son propiedad intelectual del alumno, siempre y cuando se haya procedido a los registros de propiedad intelectual o solicitud de patentes correspondientes con fecha anterior a su publicación.

Agradecimientos

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a:

Al Doctor Jorge Martín Gutiérrez, Director de este Trabajo de Fin de Máster, por su magnífica implicación, dedicación y buenos consejos que han hecho posible el desarrollo del presente proyecto.

A la Doctora Natacha Aguilar de Soto por haberme permitido colaborar en este proyecto y por su disposición en todo momento.

Al Doctor Carlos Efrén Mora Luis y al Doctor Alejandro Escánez Pérez por su gran colaboración y por la valiosa información facilitada para la realización de este proyecto.

Al Grupo de Investigación DeepCom gracias al cual ha sido posible realizar este trabajo.

A mi familia por el constante apoyo y cariño durante el desarrollo de este proyecto.

A todas aquellas personas que de un modo u otro han colaborado para que este Trabajo de Fin de Máster se haya podido desarrollar.

Índice general

1. MEMORIA	7
2. PLANOS.....	79
3. ANEXO I. Simulación de ensamblaje con sujeción en aleta superior.	123
4. ANEXO II. Simulación de ensamblaje con sujeción en aletas laterales.....	137

Memoria

Índice de la memoria

1. RESUMEN	17
2. ABSTRACT	19
3. SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS	21
4. INTRODUCCIÓN	23
5. JUSTIFICACIÓN	24
6. ALCANCE	25
7. ANTECEDENTES	25
8. OBJETIVOS	26
9. DESARROLLOS PREVIOS	27
9.1. DESCRIPCIÓN DEL SOPORTE DE LA CÁMARA	28
9.2. DESCRIPCIÓN DE LA CAJA DE ELECTRÓNICA	28
10. DESARROLLO DE LA NUEVA CARCASA	30
10.1. REQUISITOS DE DISEÑO	30
11. PROPUESTA DE DISEÑO	30
11.1. DESCRIPCIÓN GENERAL	31
11.2. CARCASA EXTERIOR	33
11.3. SUBCONJUNTO FRONTAL.....	34
11.3.1. <i>Frontal metálico 1</i>	35
11.3.2. <i>Frontal translúcido</i>	36
11.3.3. <i>Frontal metálico 2</i>	36
11.4. ESTRUCTURA INTERIOR.....	37
11.4.1. <i>Frontal interior</i>	37
11.4.2. <i>Barras</i>	38
11.4.3. <i>Separador móvil</i>	39
11.4.4. <i>Base para placa electrónica</i>	40
11.4.5. <i>Base para baterías</i>	40
11.4.6. <i>Separador lateral</i>	40
11.5. FOCOS DE ILUMINACIÓN	41
11.6. CONEXIONES.....	42
11.7. ELEMENTOS DE CIERRE.....	43
11.8. JUNTAS DE ESTANQUEIDAD.....	45
11.9. ACOPLER PARA CÁMARA SONY DSC-RX0	46
12. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	47
12.1. UNIONES ATORNILLADAS.....	48

12.1.1.	<i>Tipos de tornillos sujetadores</i>	49
12.1.2.	<i>Precarga a tensión</i>	50
12.1.3.	<i>Uniones con junta</i>	51
12.2.	RECIPIENTES A PRESIÓN	52
12.2.1.	<i>Cilindros de pared gruesa</i>	52
12.2.2.	<i>Simulation SolidWorks</i>	54
12.3.	FLOTACIÓN Y ESTABILIDAD	54
13.	ANÁLISIS	57
13.1.	ANÁLISIS DE UNIONES ATORNILLADAS	57
13.2.	ANÁLISIS DE PRESIÓN	62
13.2.1.	<i>Cargas y sujeciones</i>	65
13.2.2.	<i>Conexiones</i>	66
13.2.3.	<i>Malla</i>	67
13.2.4.	<i>Resultados</i>	68
13.3.	FLOTACIÓN Y ESTABILIDAD	74
14.	TRABAJOS PENDIENTES	75
15.	CONCLUSIONES	75
16.	CONCLUSIONS	75
17.	BIBLIOGRAFÍA	77

Índice de tablas

Tabla 1. Dimensiones de las juntas tóricas.....	45
Tabla 2. Dimensiones de los alojamientos de las juntas tóricas.....	46
Tabla 3. Dimensiones principales de la rosca para tornillo métrico estándar ISO M5.	58
Tabla 4. Módulo de Young y espesor l de los materiales que conforman la unión.....	60
Tabla 5. Propiedades volumétricas de los sólidos que componen el modelo analizado.	64
Tabla 6. Propiedades del Aluminio 7075-T6 (SN).....	65
Tabla 7. Propiedades del PMMA.	65
Tabla 8. Resultados de tensiones de Von Mises mínimas y máximas.	68
Tabla 9. Resultados de desplazamientos mínimos y máximos.....	70
Tabla 10. Resultados del factor de seguridad mínimo y máximo.	72

Índice de figuras

Figura 1. Carcasa inicial.	26
Figura 2. Juntas tóricas de la carcasa inicial.....	26
Figura 3. Aleta trasera unida a la carcasa inicial.	26
Figura 4. Focos de iluminación de la carcasa inicial.	26
Figura 5. Placa de circuito impreso con pantalla y joystick.	28
Figura 6. Soporte de cámara.	28
Figura 7. Tapa de la caja de electrónica.	29
Figura 8. Recipiente contenedor de la caja de electrónica.	29
Figura 9. Ensamblaje de caja de electrónica.....	29

Figura 10. Ubicación del centro de masa en vista frontal.	31
Figura 11. Ubicación del centro de masa en vista lateral.	31
Figura 12. Numeración de las piezas del diseño en vista frontal.	32
Figura 13. Numeración de las piezas del diseño en la sección A-A.	32
Figura 14. Diseño de carcasa.	33
Figura 15. Interior de la carcasa.	33
Figura 16. Vista delantera de la carcasa exterior.	34
Figura 17. Vista trasera de la carcasa exterior.	34
Figura 18. Frontal de la carcasa formado por 3 piezas.	35
Figura 19. Vista delantera del frontal metálico 1.	35
Figura 20. Vista trasera del frontal metálico 1.	35
Figura 21. Vista delantera del frontal translúcido.	36
Figura 22. Vista trasera del frontal translúcido.	36
Figura 23. Vista delantera del frontal metálico 2.	37
Figura 24. Vista trasera del frontal metálico 2.	37
Figura 25. Interior de la carcasa y subconjunto frontal.	37
Figura 26. Frontal interior.	38
Figura 27. Barra.	39
Figura 28. Separador móvil.	39
Figura 29. Base para placa electrónica.	40
Figura 30. Base para baterías.	40

Figura 31. Separador lateral.....	41
Figura 32. Foco led de 23W de DWTEK. Fuente: [6]	41
Figura 33. Barras para la colocación de focos de iluminación.....	42
Figura 34. Separador.	42
Figura 35. Conectores Micro SubConn. Fuente:[7]	42
Figura 36. Cierre de tracción de acero inoxidable K0051 de HEINRICH KIPP WERK KG. Fuente:[8].....	43
Figura 37. Vistas de los cierres de presión.	44
Figura 38. Vistas de la pestaña con agujeros dispuestos en forma triangular.	44
Figura 39. Ubicación de los cierres de presión en vista frontal.....	44
Figura 40. Ubicaciones de los cierres de presión en perspectiva.	45
Figura 41. Alojamientos de las juntas en la carcasa exterior.....	46
Figura 42. Alojamientos de las juntas en el frontal metálico 2.	46
Figura 43. Cámara Sony DSC-RX0. Fuente:[11].....	47
Figura 44. Vista delantera del acople para cámara.	47
Figura 45. Vista trasera del acople para cámara.....	47
Figura 46. Forma de rosca Unified National y estándar ISO. Fuente:[12].....	48
Figura 47. Perno. Fuente: [12].....	49
Figura 48. Tornillo de máquina. Fuente: [12]	49
Figura 49. Birlo. Fuente: [12].....	49
Figura 50. Efectos sobre el perno y el material correspondientes a una precarga. Fuente: [12]	51

Figura 51. Efectos sobre el perno y el material correspondientes a una precarga y a una carga aplicada. Fuente: [12]	51
Figura 52. Junta confinada. Fuente: [12].....	52
Figura 53. Anillo en O confinado. Fuente: [12].....	52
Figura 54. Junta sin confinar. Fuente: [12]	52
Figura 55. Cilindro sometido a presiones externas e internas. Fuente: [12].	53
Figura 56. Distribución de esfuerzo tangencial en la pared de un cilindro con presión interna. Fuente: [12]	54
Figura 57. Distribución de esfuerzo radial en la pared de un cilindro con presión interna. Fuente: [11]	54
Figura 58. Balance de fuerzas sobre un cuerpo sumergido. Fuente:[15]	55
Figura 59. Equilibrio de un cuerpo totalmente sumergido. Fuente:[15]	56
Figura 60. Estabilidad de un cuerpo totalmente sumergido frente a la rotación. Fuente: [15]	57
Figura 61. Tornillo de cabeza avellanada, abombada y hueco cruciforme tipo H (a) y tipo Z (b). Fuente: [16]	58
Figura 62. Detalle de la unión.	60
Figura 63. Modelo de análisis de presiones.	63
Figura 64. Nuevo estudio: análisis estático.	63
Figura 65. Configuración de sujeciones.	66
Figura 66. Configuración de carga.	66
Figura 67. Configuración de conexiones.....	67
Figura 68. Configuración de malla.....	68

Figura 69. Malla utilizada en el análisis.	68
Figura 70. Resultados de tensiones de Von Mises.	69
Figura 71. ISO-superficies de tensiones de Von Mises.....	70
Figura 72. Resultados de desplazamientos.	71
Figura 73. ISO-superficies de desplazamientos.	71
Figura 74. Resultados del factor de seguridad.....	73
Figura 75. ISO-superficies de factor de seguridad inferior a 4.	73
Figura 76. ISO-superficies de factor de seguridad inferior a 2.	74

1. Resumen

El presente proyecto desarrolla el diseño de una carcasa ligera para una cámara destinada a la obtención de imágenes de alta resolución en aguas profundas. Se encuentra vinculado al proyecto “*DeepCom. Comunidades biológicas de aguas profundas mesopelágicas de Canarias*”, financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades y cuya investigadora principal es Natacha Aguilar de Soto de la Universidad de La Laguna.

A lo largo de este trabajo se presenta un diseño óptimo, desde el punto de vista de la ingeniería, con el fin de satisfacer los requisitos presentados por parte del equipo de investigación y, a su vez, solventando las deficiencias en relación con la estanqueidad y peso que presentaba un modelo de carcasa anterior.

Para ello, se realiza el diseño de la carcasa y de los compartimentos interiores de esta, seleccionando los materiales más adecuados para el medio marino. Se seleccionan los elementos de cierre y juntas tóricas óptimos para garantizar la estanqueidad del diseño. Posteriormente, se procede al análisis de las uniones atornilladas y al análisis de presión del recipiente. Para este último análisis se procede a la utilización del software SolidWorks y se obtiene el factor de seguridad de la carcasa ante la acción de presiones elevadas. Finalmente, se obtiene documentación gráfica necesaria para una sencilla fabricación en taller de mecanizado.

2. Abstract

This project develops the design of a camera's lightweight housing for obtaining high resolution images in deep waters. It is linked to the "*DeepCom. Biological communities of mesopelagic deep waters of the Canary Islands*" project, funded by the Ministry of Science, Innovation and Universities and whose main researcher is Natacha Aguilar de Soto from the University of La Laguna.

Throughout this work, an optimal design is presented, from the engineering point of view, in order to satisfy the requirements presented by the research team and, in turn, solving the deficiencies in relation to tightness and weight that featured a previous housing model.

For this, the design of the housing and its interior compartments is carried out, selecting the most suitable materials for the marine environment. The optimal sealing elements and O-rings are selected to ensure the tightness of the design. Subsequently, the analysis of the bolted joints and the pressure analysis of the container are carried out. For this last analysis the SolidWorks software is used, and the safety factor of the housing under the action of high pressures is obtained. Finally, the necessary graphic documentation is obtained for simple manufacturing in a machining workshop.

3. Símbolos y abreviaturas

Símbolo	Descripción	Unidades
A_m	Área efectiva del material	mm ²
A_t	Área de esfuerzo a tensión	mm ²
C	Constante de rigidez de la unión	-
d	Diámetro mayor	mm
D_{eff}	Diámetro efectivo	mm
d_r	Diámetro menor	mm
E	Módulo de Young	MPa
F_b	Carga resultante en el tornillo	N
F_m	Carga resultante en el material	N
F_i	Precarga	N
k_b	Rigidez del tornillo	N/mm
k_m	Rigidez del material	N/mm
N_{sep}	Factor de seguridad a la separación	-
$N_{Tornillos}$	Número de tornillos	-
N_y	Factor de seguridad a la fluencia	-
p	Paso	mm
P	Carga aplicada	N
P_0	Carga requerida para separar la unión	N
P_b	Porción de carga aplicada sentida por el tornillo	N
P_m	Porción de carga aplicada sentida por el material	N
S_p	Resistencia de prueba mínima	MPa
S_y	Límite elástico mínimo	MPa
σ_a	Esfuerzo axial	MPa
σ_b	Esfuerzo máximo a tensión del tornillo	MPa
σ_r	Esfuerzo radial	MPa
σ_t	Esfuerzo tangencial	MPa

4. Introducción

En la Antigüedad, existía la creencia de que los océanos y, en particular, las zonas de grandes profundidades eran lugares sin vida. Sin embargo, la vida surgió y evolucionó en el mar, dando lugar al ecosistema marino, cuyo hábitat es el más extenso de la biosfera. No obstante, la exploración de la biodiversidad de los océanos se encuentra aún en sus inicios. Esto se debe, por un lado, a las limitaciones tecnológicas, ya que pocos países están capacitados para la observación directa en las grandes profundidades. La primera forma de vida del océano profundo fue obtenida por una expedición noruega en 1864, tras el descubrimiento de un crinoideo pedunculado en un muestreo a 3109 metros de profundidad. No fue hasta el año 1934 cuando se observó directamente la vida a más de 200 metros de profundidad por primera vez. Por otro lado, la biodiversidad marina está dominada por organismos microscópicos, con un repertorio metabólico muy superior al encontrado en tierra y las mayores oportunidades de lograr hallazgos en biodiversidad marina se dan en los hábitats remotos o extremos. Además, cabe destacar que el esfuerzo de investigación invertido en la exploración de dicho ecosistema es muy inferior al realizado para la exploración y conservación de la biodiversidad terrestre.

La observación de los hábitats mediante instrumentos fotográficos y de vídeo supuso un gran paso para el estudio de los sistemas de las profundidades marinas. Los remolcadores de profundidad equipados con cámaras fotográficas y de vídeo han sido muy útiles para la descripción in situ de los ecosistemas, así como para obtener información espacial y de distribución que otras muestras recogidas con redes de arrastre no pueden proporcionar. Estos instrumentos también son muy eficientes en hábitats de terreno complicado, como los cañones, las montañas submarinas o los corales de aguas profundas [1].

El desarrollo de sumergibles tripulados, vehículos operados por control remoto (ROV) y vehículos submarinos autónomos (AUV), ha supuesto uno de los avances tecnológicos más importantes en oceanografía. Los sumergibles y los ROV no solo permiten ver el fondo marino y la fauna directamente, sino que también facilitan el muestreo detallado y dirigido y la experimentación in situ, resultando básicos en el estudio de los ecosistemas quimiosintéticos de las aguas profundas. Los AUV permiten el estudio

de zonas de difícil acceso o sin acceso, como el fondo marino situado por debajo del hielo de los océanos Ártico y Antártico [2].

“National Geographic Society” llevo a cabo el desarrollo de “Deep Ocean Dropcam (DOD)”, una herramienta de investigación de bajo costo que puede explorar grandes profundidades y proporcionar imágenes de gran valor. En ella se combina una cámara de alta definición y luces a bordo dentro de una carcasa de presión de vidrio para capturar imágenes de alta calidad del entorno del fondo marino profundo [3].

Cabe destacar que, actualmente, los Estados miembros de la Unión Europea emplean alrededor de 1850 millones de euros al año en investigación marina, de los cuales aproximadamente el 50% se destina a infraestructuras para facilitar la observación. Se incluyen buques, observatorios subacuáticos, boyas flotantes, dispositivos de deriva, vehículos submarinos accionados a distancia o autónomos, todos equipados con diversos detectores e instalaciones de análisis [4].

5. Justificación

El presente diseño de una carcasa ligera para una cámara destinada a la obtención de imágenes de alta resolución en aguas profundas se encuentra vinculado al proyecto “DeepCom. Comunidades biológicas de aguas profundas mesopelágicas de Canarias”, financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades y siendo la investigadora principal la Doctora Natacha Aguilar de la Universidad de La Laguna.

La escarpada batimetría del archipiélago volcánico de las Islas Canarias permite que sus aguas alberguen una excepcional fauna profunda cerca de la costa. Existen poblaciones durante todo el año de al menos cinco especies de cetáceos de buceo profundo, y se dan regularmente hallazgos o pescas de grandes cefalópodos mesopelágicos, incluyendo calamar gigante y diamante, así como de tiburones y peces mesopelágicos de gran tamaño. Teniendo esto en cuenta, el objetivo de DeepCom es aplicar tecnologías novedosas para determinar los factores bióticos y abióticos que influyen en la distribución de los depredadores de alto nivel trófico de aguas profundas. Para ello, se realizarán análisis comparativos entre las aguas del canal TELAGO (sur de Tenerife-La Gomera) y del sur de El Hierro utilizando datos oceanográficos registrados desde la superficie hasta 1000 metros [5]. Las comunidades mesopelágicas se caracterizarán utilizando:

- a) Sistemas autónomos de monitoreo acústico pasivo (PAM) .
- b) Sistemas multifrecuencia de acústica activa sumergibles.
- c) Cámaras con sistemas de atracción bioluminiscente de fauna mesopelágica.
- d) Pescas con jigging de grandes cefalópodos de profundidad.

6. Alcance

El presente proyecto da respuesta a necesidades específicas del equipo de investigación, y soluciona las deficiencias que presentaba la carcasa inicial. Se pretende mejorar la estanqueidad, estabilidad y peso de la carcasa mediante un diseño acorde al medio marino y de sencilla fabricación y manejo.

En esta ocasión no se requiere realizar un presupuesto de fabricación ya que será un elemento creado “ad hoc” para el proyecto de investigación mencionado con anterioridad.

Al no tratarse de un producto para construir en serie o de un prototipo para su posterior venta, sino de un diseño para un propósito y un proyecto específico, no se han utilizado normativas de recipientes a presión. Sin embargo, el diseño se ha realizado proporcionando las soluciones técnicas e ingenieriles para dar cumplimiento a los requisitos del equipo de investigación y cubriendo las garantías necesarias.

7. Antecedentes

El proyecto DeepCom cuenta con una cámara y una carcasa fabricada a partir de una botella de oxígeno para buceo reciclada, Figura 1. Esta carcasa presenta una parte frontal fabricada en metacrilato y distintas juntas tóricas para garantizar la estanqueidad de esta, Figura 2. Además, en su interior posee distintos compartimentos con el fin de alojar los sistemas electrónicos y baterías necesarios para los distintos instrumentos utilizados durante los análisis. En la Figura 3 y en la Figura 4 se muestra la aleta trasera de estabilización y los focos de iluminación, respectivamente.



Figura 1. Carcasa inicial.

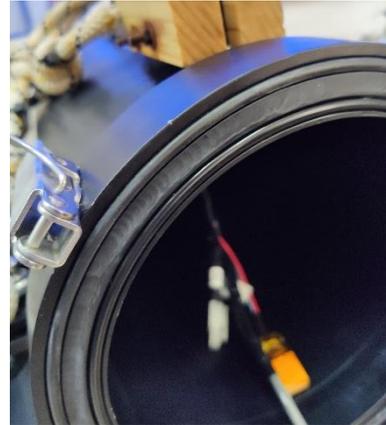


Figura 2. Juntas tóricas de la carcasa inicial.



Figura 3. Aleta trasera unida a la carcasa inicial.



Figura 4. Focos de iluminación de la carcasa inicial.

Los investigadores del proyecto DeepCom señalan la necesidad de reducir el peso de la carcasa y del conjunto de elementos que esta contiene. Para ello, se han sustituido las baterías por unas de dimensiones menores y se ha seleccionado un nuevo modelo de cámara, Sony DSC-RX0. En el presente proyecto se procede a actualizar el diseño tanto de la carcasa, del frontal y de los compartimentos interiores donde se alojarán sensores de medición y baterías. Este diseño deberá permitir la estabilidad del equipo debido a que las corrientes marinas influyen en su movimiento.

8. Objetivos

El objetivo general de proyecto, a partir de los requerimientos para la toma de datos del proyecto DeepCom, será diseñar la configuración de una carcasa que permita alojar una cámara de vídeo y distintos sensores y elementos electrónicos para el registro de mediciones y toma de imágenes a profundidades de hasta 1000 metros. Este objetivo general conlleva implícitos diferentes objetivos específicos:

- Diseñar la carcasa disminuyendo el tamaño y peso de la misma con el fin de facilitar su manejo.
- Diseñar el acoplamiento de los focos de iluminación led.
- Diseñar una correcta distribución de los compartimentos interiores de la carcasa.
- Diseñar un adecuado sistema de aletas de estabilización.
- Seleccionar los materiales adecuados al medio marino.
- Seleccionar las juntas y sistemas de cierre adecuados para garantizar una correcta estanqueidad.
- Analizar el comportamiento del recipiente ante elevadas presiones externas.
- Obtener la documentación gráfica para una sencilla fabricación en taller de mecanizado.
- Realizar la simulación informática del comportamiento del recipiente ante elevadas presiones externas.
- Calcular por medios informáticos el factor de seguridad de la carcasa ante elevadas presiones externas.

9. Desarrollos previos

El equipo de investigación dispone de un modelo de carcasa que aloja una cámara, diferentes elementos electrónicos y baterías. Esta carcasa, creada de forma rudimentaria presentaba ciertas deficiencias que era preciso solventar. Tanto la cámara de vídeo como los componentes electrónicos no estaban perfectamente fijados a la carcasa. En un primer acercamiento a la resolución del problema, se ha procedido al diseño de diferentes piezas que pudieran dar fijación a los elementos de captura de datos (carcasa y componentes electrónicos) dentro de la carcasa. Para ello, se diseñaron cajas y adaptadores que, con el fin de fabricarlas mediante impresión 3D, pudieran dar estabilidad a los elementos. En primer lugar, se ha diseñado un soporte para el nuevo modelo de cámara. De esta forma, anclando la pieza a los compartimentos interiores de la carcasa, será posible probar el nuevo modelo de cámara sin necesidad de mecanizar la carcasa original.

A continuación, también se ha procedido al diseño de una caja donde se alojarán los distintos componentes electrónicos. Esta caja contiene diferentes aberturas destinadas a una pantalla y a un joystick. A su vez, presenta diferentes orificios con el fin de poder sujetar la placa de circuito impreso, Figura 5, así como la propia tapa de la caja.

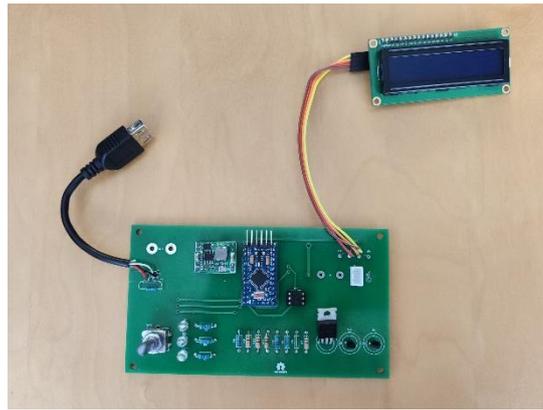


Figura 5. Placa de circuito impreso con pantalla y joystick.

9.1. Descripción del soporte de la cámara

Se diseña un soporte para la cámara Sony DSC-RX0 con la finalidad de ajustarla al modelo inicial de carcasa sin necesidad de realizar mecanizado. Para ello, se diseña la pieza de la Figura 6 y se fabrica mediante impresión 3D utilizando PLA como material.

Esta pieza presenta tres taladros en la base destinados a anclar la pieza al interior de la carcasa. El diseño presenta una elevación para poder centrar el objetivo de la cámara al frontal de la carcasa y poder obtener las imágenes de manera correcta y con la mejor calidad posible. El agujero que se presenta en esta parte superior, está destinado a anclar la cámara. La definición geométrica y gráfica se presenta en el plano 1.

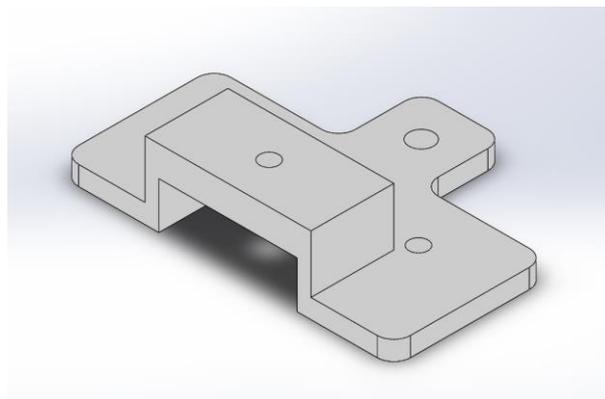


Figura 6. Soporte de cámara.

9.2. Descripción de la caja de electrónica

Se procede al diseño de una caja para alojar los componentes electrónicos. Esta caja está formada por dos piezas, la tapa superior y el recipiente contenedor, Figura 7 y Figura 8, respectivamente. Ambas piezas serán fabricadas mediante impresión 3D utilizando PLA como material.

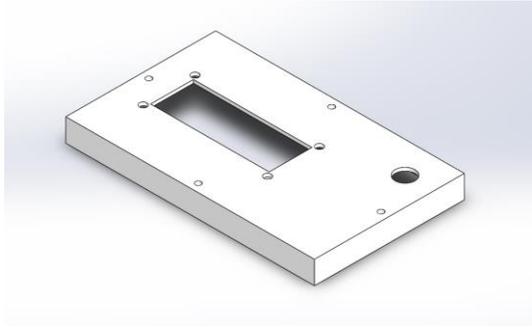


Figura 7. Tapa de la caja de electrónica.

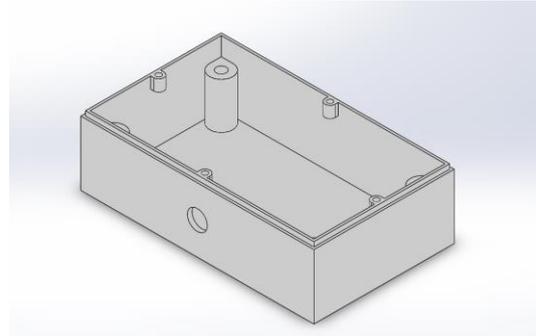


Figura 8. Recipiente contenedor de la caja de electrónica.

Tal y como se muestra en la Figura 7, la tapa presenta dos aberturas, la primera de ellas de sección cuadrada destinada a la colocación de una pequeña pantalla, mientras la segunda, de sección circular, será destinada a un joystick que presenta la placa electrónica.

Por otro lado, el recipiente contenedor presenta 4 cilindros en su interior con el fin de elevar la placa electrónica y que esta quede sujeta y correctamente colocada. Además, en uno de los laterales posee un agujero que permitirá el paso de cables desde las baterías.

En la Figura 9 se muestra el ensamblaje de la caja de electrónica. Las dos piezas mencionadas con anterioridad presentan 4 taladros en la parte superior cuya finalidad es sujetarlas entre ellas. La definición geométrica y gráfica de la tapa y del recipiente contenedor de la caja de electrónica se presentan en los planos 2 y 3, respectivamente.

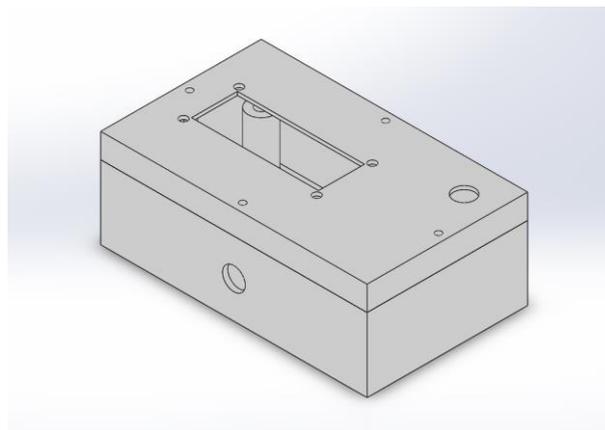


Figura 9. Ensamblaje de caja de electrónica.

10. Desarrollo de la nueva carcasa

El equipo de investigación requiere una carcasa que sea diseñada y calculada con garantías ingenieriles. Esta carcasa debe satisfacer distintos requisitos, solventando las deficiencias que presenta la carcasa actual, disminuyendo su peso, garantizando una correcta estanqueidad y mejorando el sistema de iluminación y de estabilización de esta.

10.1. Requisitos de diseño

A continuación, se procede a enumerar los diferentes requisitos solicitados por el equipo investigador del proyecto DeepCom:

- a) Disminución del tamaño y peso de la carcasa original.
- b) Presión de trabajo: 80 bar.
- c) Factor de seguridad: 2.
- d) Todos los cierres deben presentar doble junta tórica compatible con los cloruros del agua del mar.
- e) Frontal de metacrilato.
- f) Aleta estabilizadora vertical en la parte trasera de la carcasa.
- g) Al menos 3 conexiones para tomas submarinas destinadas a focos y a un ecosonda.
- h) Placas perforadas destinadas a la incorporación de instrumentos y/o accesorios.
- i) Compartimento interior óptimo para almacenar la cámara, los circuitos electrónicos y las baterías
- j) Sistema de estabilización.

11. Propuesta de diseño

En el siguiente apartado se procede a la descripción general del diseño de la carcasa, así como de los distintos componentes que la conforman. Cabe destacar, que el modelo ha sido diseñado de tal manera que su centro de masa coincida, en la medida de lo posible, con el centro geométrico del cuerpo principal. De esta forma, se pretende que la carcasa tenga mayor estabilidad. En la Figura 10 y en la Figura 11 se indica la ubicación del centro de masa del conjunto.

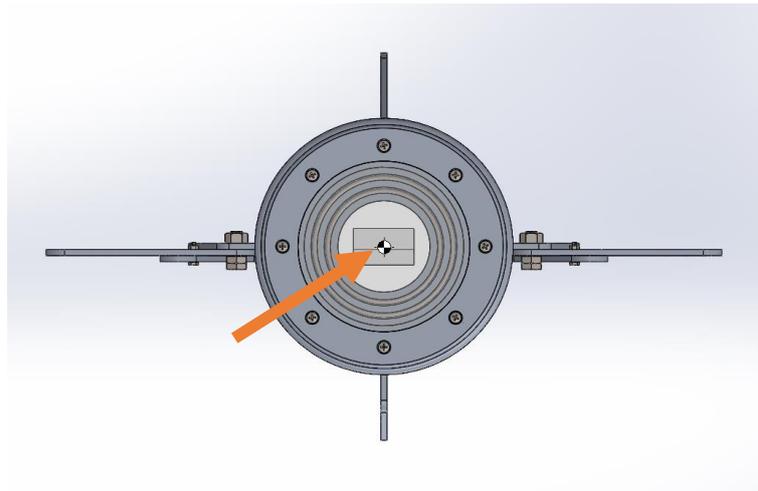


Figura 10. Ubicación del centro de masa en vista frontal.

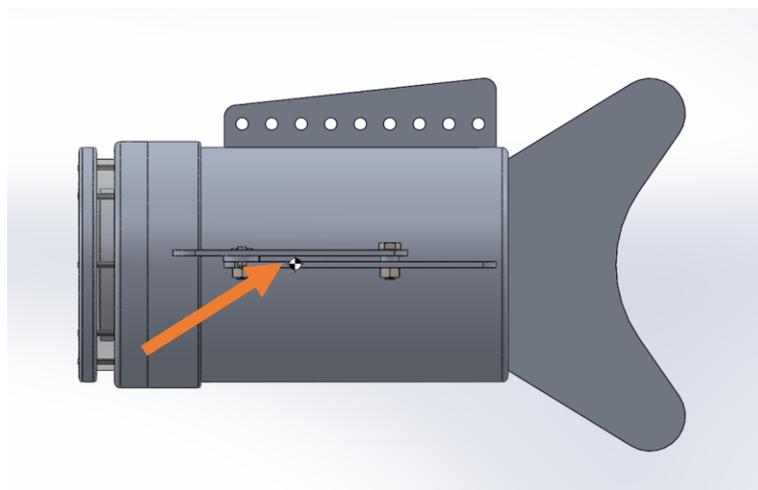


Figura 11. Ubicación del centro de masa en vista lateral.

11.1. Descripción general

El diseño cuenta con cuatro piezas exteriores, siendo tres de ellas las componen el frontal donde se sitúa la cámara. La parte frontal presenta dos piezas de Aluminio 7075-T6 y una pieza de metacrilato (PMMA). La cuarta pieza es la carcasa exterior que contiene los distintos componentes electrónicos y baterías, y será fabricada en Aluminio 7075-T6. Esta carcasa posee distintas chapas soldadas a modo de “aletas” que servirán para proporcionar estabilidad al modelo y anclar distintos accesorios. El conjunto presenta una masa alrededor de 16,78 kg, de manera que puede ser manejado con facilidad por una única persona.

En la Figura 12 y en la Figura 13 se indica la numeración de las distintas piezas que componen el diseño y su descripción en el plano de conjunto (plano 4).

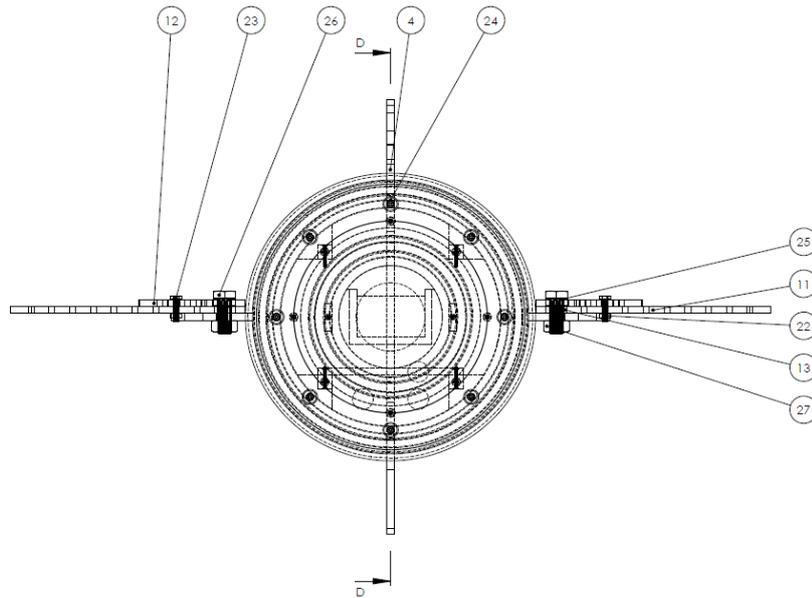


Figura 12. Numeración de las piezas del diseño en vista frontal.

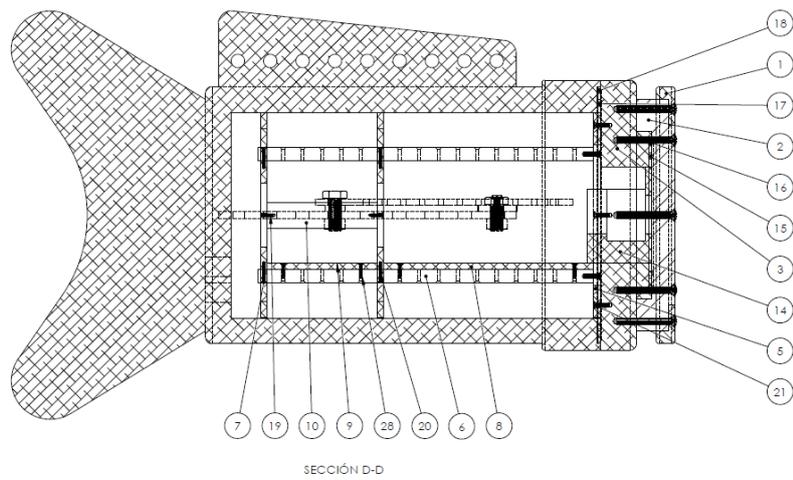


Figura 13. Numeración de las piezas del diseño en la sección A-A.

En la Figura 14 se muestra el diseño de la carcasa.

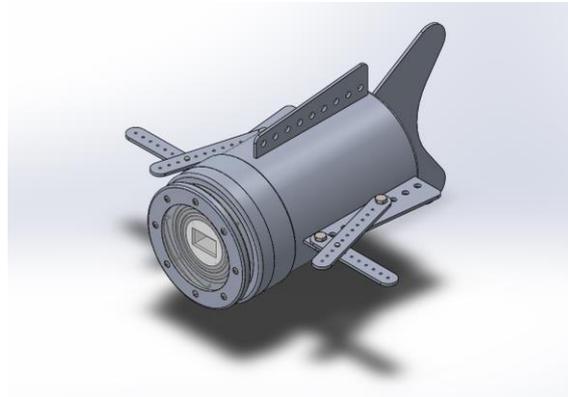


Figura 14. Diseño de carcasa.

El interior, Figura 15, está compuesto por cuatro barras de aluminio de sección cuadrada y siete piezas de PVC rígido. Una de estas piezas permitirá sujetar los componentes interiores al frontal del recipiente, mientras que las seis piezas restantes se pueden colocar a diferentes distancias, dando lugar al espacio necesario para los componentes interiores. Esta facilidad de colocar las piezas en diferentes posiciones proporciona versatilidad al modelo y adaptación en caso de que varíen las dimensiones de los componentes interiores.

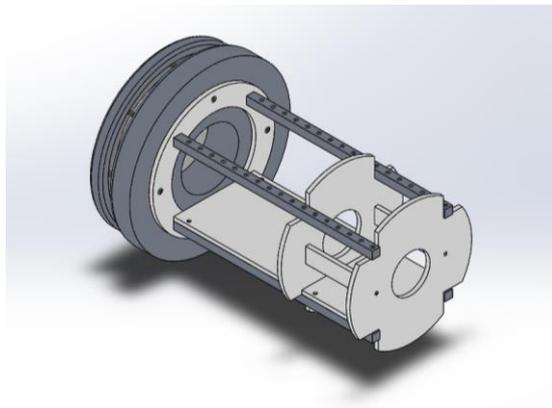


Figura 15. Interior de la carcasa.

11.2. Carcasa exterior

La carcasa exterior (pieza 4) posee una geometría cilíndrica hueca de diámetro exterior máximo 210 mm y está formada por una única pieza de Aluminio 7075-T6. Esta carcasa presenta un espesor máximo de 25 mm en la zona más cercana al frontal y un

espesor mínimo en el resto del cilindro de 20 mm. En la parte frontal se presentan dos cajeras destinadas a la colocación de dos juntas tóricas de 170 mm y 190 mm.

Alrededor del cilindro se encuentran soldadas tres placas, una en la parte superior y dos en los laterales de este. Estas placas presentan 9 agujeros de diámetro 10,5 mm destinados a la sujeción de distintos instrumentos, accesorios, iluminación, etc. La carcasa exterior también cuenta con una aleta trasera soldada en la base del cilindro cuya función es proporcionar estabilidad al conjunto. Tanto las aletas presentes alrededor del cilindro como la aleta trasera poseen un espesor de 5 mm. La definición geométrica y gráfica se presenta en el plano 10.

En la Figura 16 y en la Figura 17, se muestra la parte frontal y posterior de la carcasa exterior.

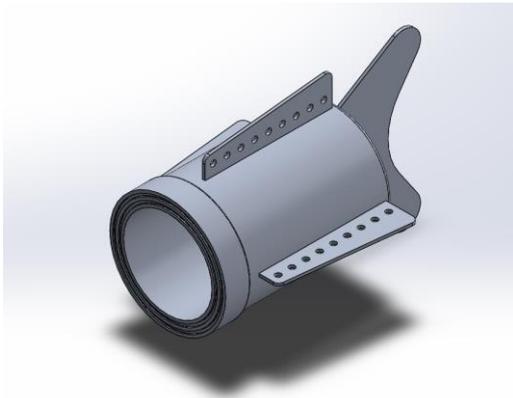


Figura 16. Vista delantera de la carcasa exterior.

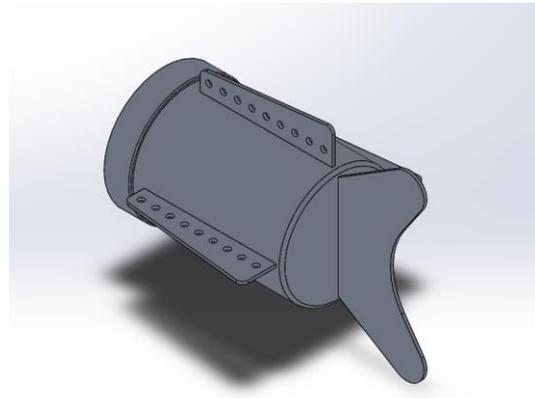


Figura 17. Vista trasera de la carcasa exterior.

11.3. Subconjunto frontal

El subconjunto frontal se encuentra representado en el plano 5.

Tal y como se ha descrito anteriormente, el frontal está compuesto de tres piezas (pieza 1, 2 y 3) y presentan 8 agujeros roscados destinados a tornillos M5. Estos agujeros se encuentran distribuidos de manera simétrica en un diámetro de 165 mm y se encargan de sujetar las tres piezas que componen el frontal y garantizar así la estanqueidad de estos componentes. En la Figura 18 se puede observar el ensamblaje de las tres piezas que componen el frontal de la carcasa.

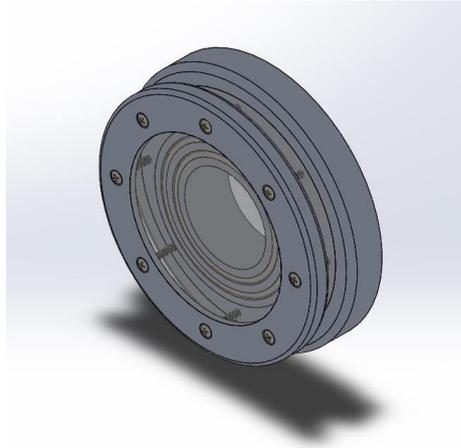


Figura 18. Frontal de la carcasa formado por 3 piezas.

A continuación, se procede a la descripción de estas desde la pieza más exterior a la más interior.

11.3.1. Frontal metálico 1

La pieza 1 se encuentra diseñada en Aluminio 7075-T6 y posee forma de aro, con un diámetro exterior de 200 mm y un diámetro interior 140 mm. La función de dicha pieza es recubrir el metacrilato con el fin de que la sujeción de los tornillos no dañe dicho material. En la Figura 19 y en la Figura 20 se puede observar una vista delantera y trasera del frontal metálico 1, respectivamente. La definición geométrica y gráfica se presenta en el plano 7.

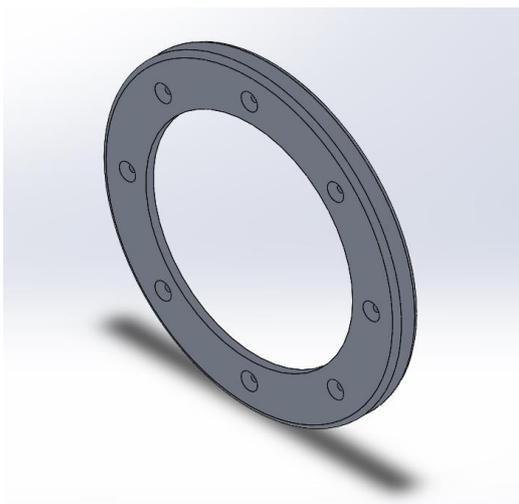


Figura 19. Vista delantera del frontal metálico 1.

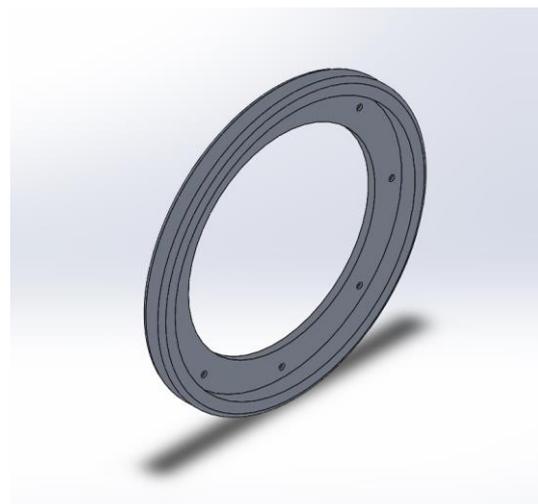


Figura 20. Vista trasera del frontal metálico 1.

11.3.2. Frontal translúcido

La pieza 2, fabricada en metacrilato (PMMA) permitirá que la cámara grabe el exterior con gran calidad y sin distorsionar la imagen. La parte frontal de esta pieza tendrá contacto directo con el exterior y posee un diámetro de 140 mm. A continuación, se aumenta el diámetro de la pieza a 180 mm con el fin de alojar los tornillos mencionados con anterioridad. Cabe destacar que dicha pieza es hueca, en ella se insertará la tercera pieza que conforma el frontal y que estará en contacto con la cámara. En la Figura 21 y en la Figura 22 se muestra un vista delantera y trasera del frontal translúcido, respectivamente. La definición geométrica y gráfica se presenta en el plano 8.

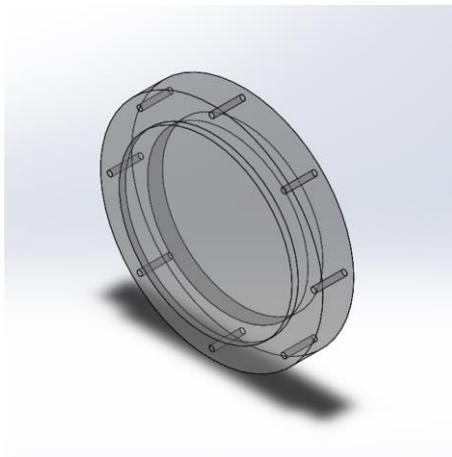


Figura 21. Vista delantera del frontal translúcido.

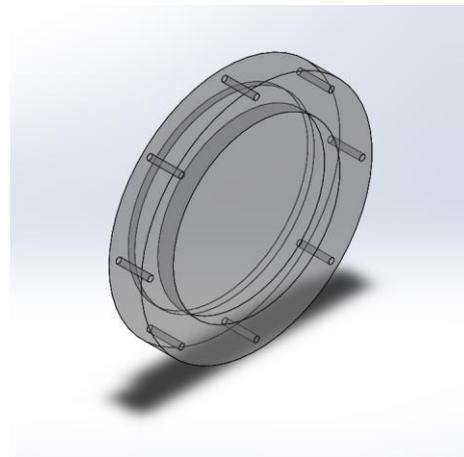


Figura 22. Vista trasera del frontal translúcido.

11.3.3. Frontal metálico 2

Finalmente, la pieza 3 también está fabricada en Aluminio 7075-T6 y posee un diámetro exterior máximo de 210 mm. En la zona central presenta un agujero de 75 mm de diámetro donde se alojará la cámara. La parte de esta pieza que queda embutida en la pieza de metacrilato posee dos cajeras destinadas a juntas tóricas de 87,5 mm y 109 mm de diámetro interior. En la Figura 23 y en la Figura 24 se puede observar una vista delantera y trasera del frontal metálico 2, respectivamente. La definición geométrica y gráfica se presenta en el plano 9.

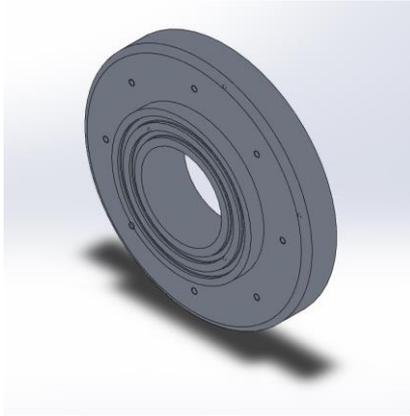


Figura 23. Vista delantera del frontal metálico 2.

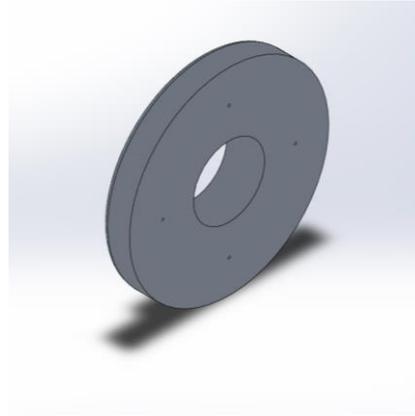


Figura 24. Vista trasera del frontal metálico 2.

11.4. Estructura interior

Tal y como se ha comentado anteriormente, el cuerpo interior está compuesto por cuatro barras de aluminio y siete piezas de PVC rígido. Se ha seleccionado estos materiales con el fin de proporcionar rigidez al interior sin aumentar excesivamente su masa. En la Figura 25 se puede observar el diseño del interior de la carcasa. La perspectiva de dicha estructura se encuentra representada en el plano 6.

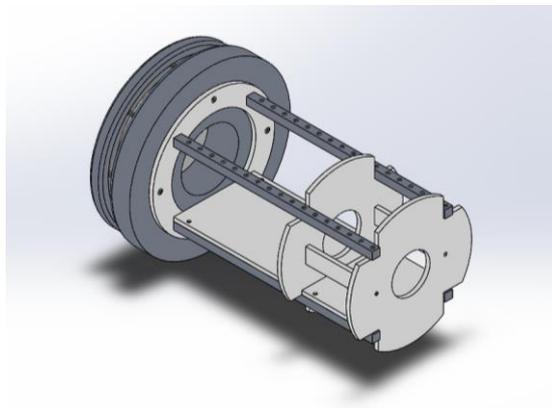


Figura 25. Interior de la carcasa y subconjunto frontal.

A continuación, se procede a la descripción de los distintos elementos que componen el interior.

11.4.1. Frontal interior

Se trata de la pieza encargada de unir los componentes interiores con el frontal de la carcasa (pieza 5). Esta sujeción se realiza mediante 4 tornillos M3, lo que facilita la separación del frontal y la manipulación de los componentes interiores.

Tal y como se puede observar en la Figura 26, el frontal interior posee una geometría anular, de diámetro exterior 159 mm y diámetro interior 110 mm. El espesor de esta pieza es de 5 mm. Esta pieza anular será fabricada en PVC rígido. La definición geométrica y gráfica se presenta en el plano 11.

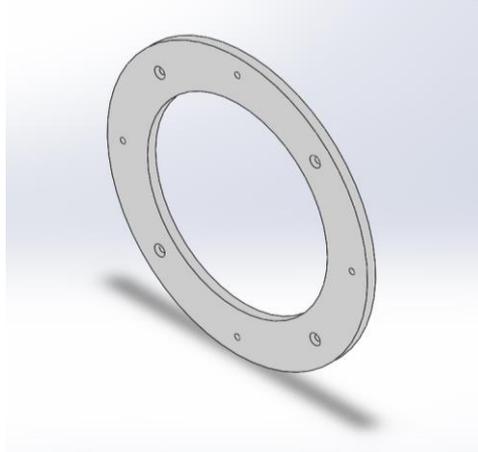


Figura 26. Frontal interior.

11.4.2. Barras

Las barras de aluminio (pieza 6) serán de sección cuadrada de 100 mm² y una longitud de 159,5 mm. En uno de sus laterales poseen 17 taladros de diámetro 2,4 mm. Estos agujeros son destinados a la fijación del resto piezas interiores a diferentes distancias, lo cual proporciona una gran versatilidad al modelo ya que se pueden adaptar los compartimentos interiores a las diferentes necesidades que puedan surgir a lo largo de la vida útil de la carcasa. En esta ocasión el interior se encuentra formado por dos compartimentos destinados a los componentes electrónicos y las baterías, respectivamente.

Cabe destacar que estas barras se encuentran sujetas en uno de sus extremos al frontal interior mediante tornillos M3. La definición geométrica y gráfica se presenta en el plano 12.

En la Figura 27 se muestra una de las barras del modelo.

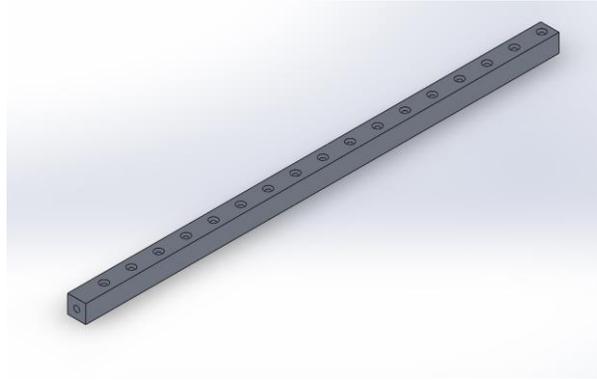


Figura 27. Barra.

11.4.3. Separador móvil

La carcasa presenta dos separadores móviles (pieza 7) destinados a limitar los distintos compartimentos interiores, Figura 28. La definición geométrica y gráfica se presenta en el plano 13.

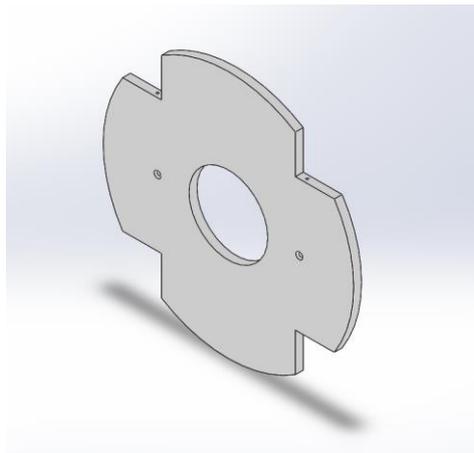


Figura 28. Separador móvil.

Estas piezas se adaptan correctamente al interior de la carcasa, proporcionando cierta rigidez al conjunto interior y, además, se encuentran ancladas a las barras de aluminio mediante tornillos M2. Estas piezas poseen un orificio central con el fin de aligerar la pieza de material y peso.

A su vez, el separador móvil dispone de dos taladros en los laterales con el fin de sujetar las piezas que se describen en el apartado 11.4.6. y que se encargan de limitar los compartimentos.

11.4.4. Base para placa electrónica

Se trata de una pieza de sección rectangular (pieza 8) que, como su nombre indica, se encarga de dar soporte a la placa electrónica. Esta pieza posee una longitud y una anchura de 162,50 mm y 105,00 mm, respectivamente, y un espesor de 5 mm. Además, posee 4 taladros M2 con el fin de sujetar dicha base a las barras de aluminio descritas con anterioridad. En la Figura 29 se puede observar la base para placa electrónica. La definición geométrica y gráfica se presenta en el plano 14.

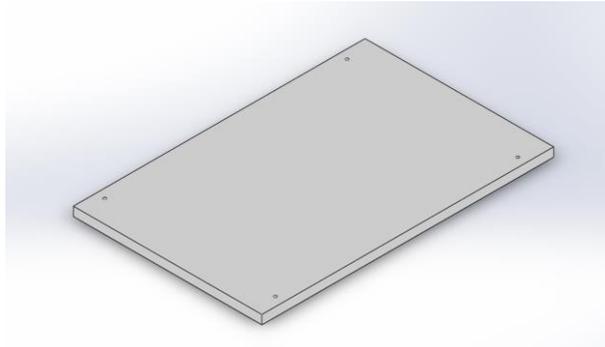


Figura 29. Base para placa electrónica.

11.4.5. Base para baterías

La base para baterías (pieza 9) es una pieza análoga a la base para la placa electrónica. La única diferencia entre ellas son sus medidas, siendo esta de menor tamaño, pero del mismo espesor. En esta ocasión posee una longitud y una anchura de 105,0 mm y 85 mm, respectivamente. En la Figura 30 se presenta la base para baterías y a definición geométrica y gráfica se presenta en el plano 15.

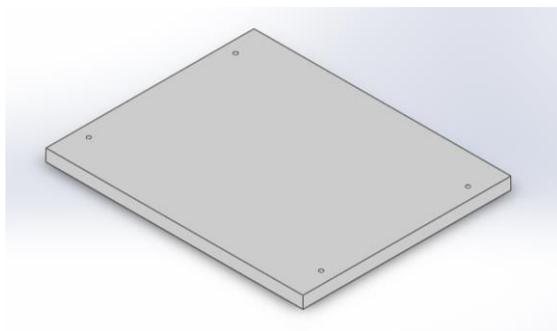


Figura 30. Base para baterías.

11.4.6. Separador lateral

El modelo presenta dos separadores laterales (pieza10) de geometría rectangular destinados a limitar el ancho del compartimento destinado a las baterías y, así, evitar su

desplazamiento. Tal y como se ha comentado anteriormente, estos separadores laterales se encuentran sujetos a los separadores móviles mediante tornillos M2. Poseen una dimensión de 85 mm en su lado mayor y de 20 mm en el menor. Al igual que las piezas anteriores, presentan un espesor de 5 mm. En la Figura 31 se muestran las presentes piezas. La definición geométrica y gráfica se presenta en el plano 16.

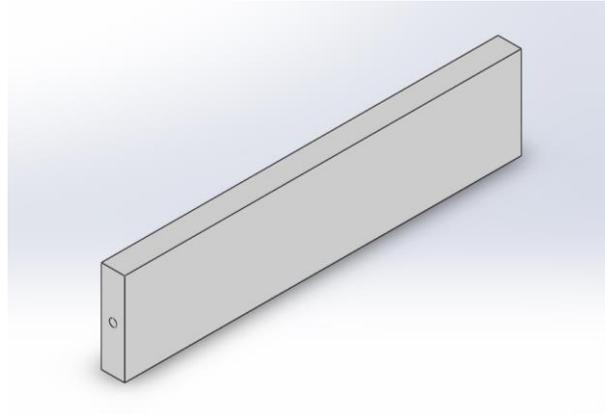


Figura 31. Separador lateral.

11.5. Focos de iluminación

Se han seleccionado dos focos comerciales led del fabricante DWTEK, Figura 32. Estos focos son de 23 W y están testados para una presión de 200 bar, además, presentan un tornillo de fijación M4.



Figura 32. Foco led de 23W de DWTEK. Fuente: [6]

Para la colocación de los focos se ha decidido un sistema de dos pares de barras (piezas 11 y 12) agujereadas que permiten modificar su posición. Cada par de barras se encuentra sujeto a una de las aletas laterales del recipiente mediante tornillos M10 y longitud 20 mm, y sus roscas correspondientes. Las barras que conforman cada par se encuentran fijadas entre sí utilizando un tornillo M4 y longitud 16 mm, y una rosca de la misma métrica. En la Figura 33 se puede observar la colocación de las barras. Para una

correcta posición, se debe incorporar un separador cilíndrico hueco (pieza 13) de diámetro máximo 15 mm y altura 5 mm, Figura 34. La definición geométrica y gráfica de las barras y del separador cilíndrico se presenta en los planos 17, 18 y 19-

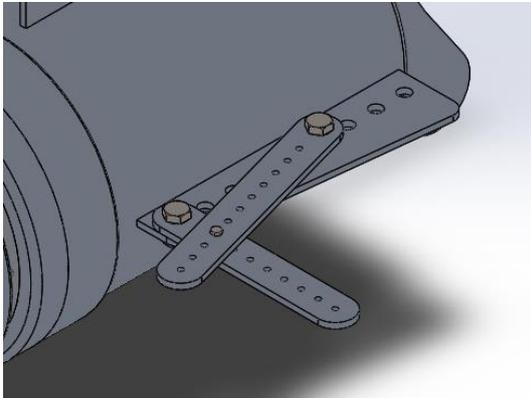


Figura 33. Barras para la colocación de focos de iluminación.

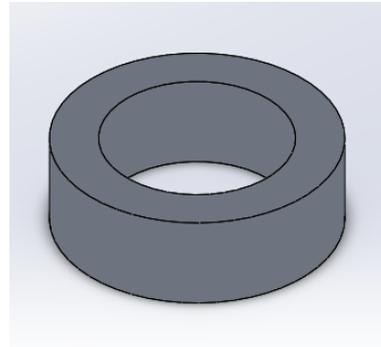


Figura 34. Separador.

11.6. Conexiones

La parte trasera de la carcasa ha sido diseñada con una geometría plana para facilitar su mecanizado e incorporación de diferentes conexiones. En este modelo, se utilizarán conectores de la gama Micro de SubConn [7], desarrollada para adaptarse a los cada vez más comunes equipos submarinos de menor tamaño. Dichos conectores están capacitados para funcionar a cualquier profundidad y están disponibles con 3, 7 y 9 pines, su elección dependerá de los requisitos y necesidades que establezca el cliente. Estas conexiones permitirán alimentar de energía a dispositivos y sensores que se acoplen a la carcasa. En la Figura 35 se muestran algunos modelos de conectores Micro de la empresa SubConn.



Figura 35. Conectores Micro SubConn. Fuente:[7]

Además, para facilitar la integración con los sistemas y equipos, estos conectores opcionalmente disponen de cables dedicados, roscas de fijación conectores ciegos y otros

accesorios. Todos los cables están fabricados con cloropreno flexible o poliuretano. La rosca de fijación está moldeada por inyección con POM o fabricada con acero inoxidable y dispone de anillos de retención de acero inoxidable.

11.7. Elementos de cierre

La carcasa exterior y el subconjunto frontal estarán unidos a presión dejando entre ambos dos juntas tóricas (de estanqueidad). La unión entre ambos se realiza a presión mediante 4 cierres de palanca regulable (cierres de tracción).

Son numerosos los modelos de cierres a presión en el mercado, en este proyecto se han analizado los comercializados por Direct Industry y en venta en España. Se propone utilizar el cierre de tracción de acero inoxidable K0051 de HEINRICH KIPP WERK KG [8] de una fuerza de sujeción de 6500N, Figura 36.



Figura 36. Cierre de tracción de acero inoxidable K0051 de HEINRICH KIPP WERK KG. Fuente:[8]

Se propone la pestaña de 38 mm con tres agujeros dispuestos en forma triangular, ya que por motivos de espacio es el más adecuado para fijar en el subconjunto frontal. Este cierre se puede atornillar o remachar. Se recomienda utilizar remaches para la fijación de los componentes.

Las vistas de los cierres de presión y de la pestaña se presentan en la Figura 37 y Figura 38.

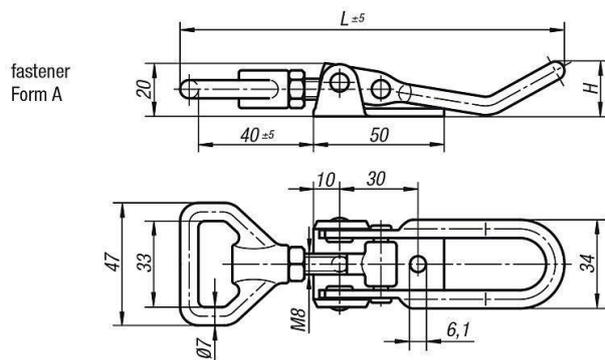


Figura 37. Vistas de los cierres de presión.

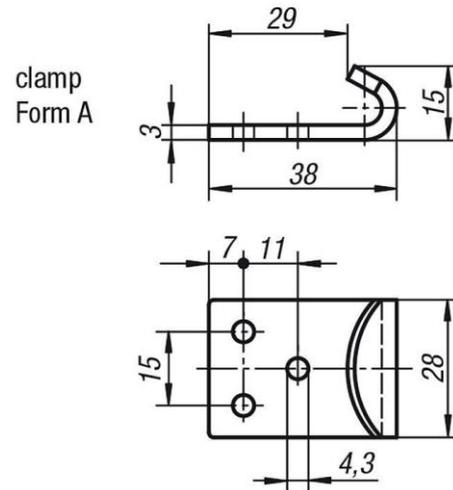


Figura 38. Vistas de la pestaña con agujeros dispuestos en forma triangular.

Los cuatro cierres de presión estarán ubicados alineados con los agujeros situados a 45° de la pieza frontal, Figura 37 y Figura 38.

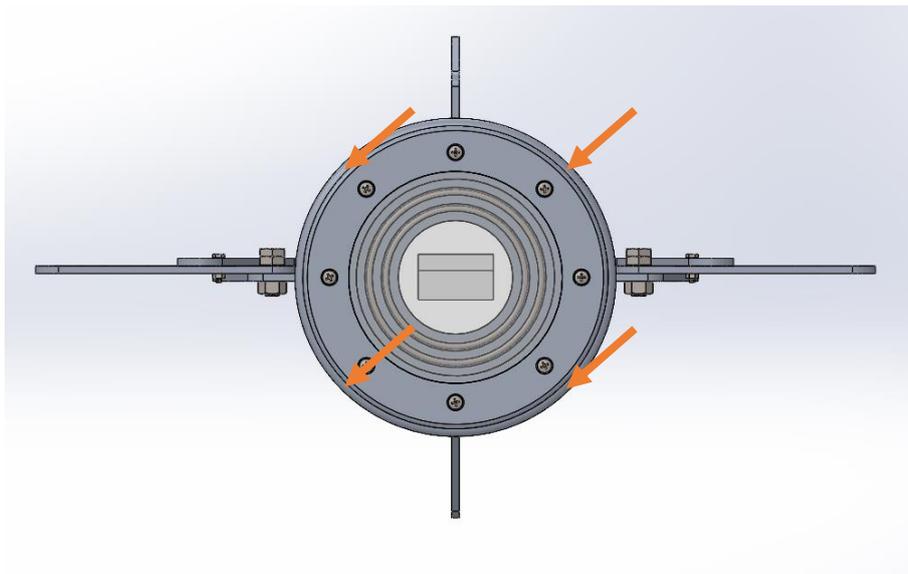


Figura 39. Ubicación de los cierres de presión en vista frontal.

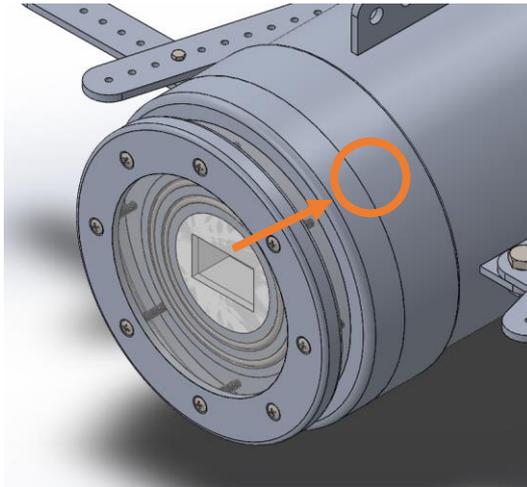


Figura 40. Ubicaciones de los cierres de presión en perspectiva.

11.8. Juntas de estanqueidad

Para asegurar la estanqueidad del conjunto, se han seleccionado 4 juntas tóricas comerciales, recogidas en la Norma ISO 3601.

Atendiendo a las indicaciones de distintos fabricantes, se selecciona como material un caucho sintético desarrollado a partir de un copolímero de acrilonitrilo y butadieno, NBR. Este material presenta una excelente resistencia química al agua de mar. Sin embargo, se debe tener en cuenta que presenta fuerte hinchamiento en hidrocarburos aromáticos, hidrocarburos clorados, fluidos hidráulicos difícilmente inflamables tipo HFD, esteres, disolventes polares y ácidos fuertes. Además también presenta ataque por ozono e intemperie [9].

En cuanto a la dureza, para aplicaciones con presiones superiores o iguales a 160 bar, como el caso del presente diseño, se recomiendan materiales de 90 °Sh A.

En la Tabla 1, se muestran las distintas juntas utilizadas en el modelo, indicando su diámetro interior d_1 y su diámetro de sección radial d_2 .

Tabla 1. Dimensiones de las juntas tóricas.

Diámetro interior d_1 (mm)	Diámetro de sección radial d_2 (mm)
87,5	3,55
109	3,55
170	3,55
190	3,55

Atendiendo a las recomendaciones del fabricante Trelleborg [10], se establecen las medidas necesarias para los alojamientos de las juntas teniendo en cuenta que se trata de una instalación axial estática con presión desde el exterior. Las dimensiones de los alojamientos se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Dimensiones de los alojamientos de las juntas tóricas.

Diámetro de sección radial d_2 (mm)	Profundidad del alojamiento (mm)	Anchura del alojamiento (mm)	Radio (mm)
		$h \pm 0,05$	$b_4 \pm 0,2$
3,55	2,70	5,00	0,60

En la Figura 41y en la Figura 42, se muestran los alojamientos de las distintas juntas que presenta el modelo.

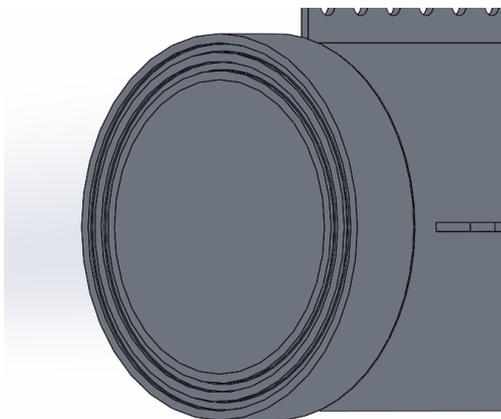


Figura 41. Alojamiento de las juntas en la carcasa exterior.

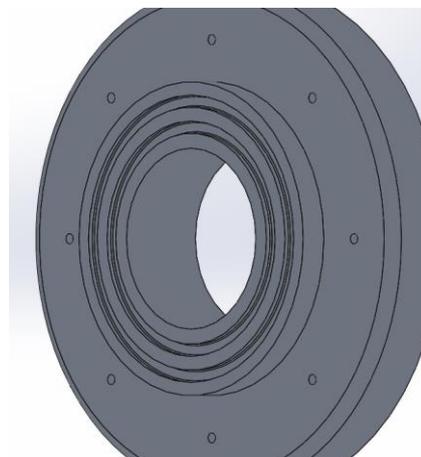


Figura 42. Alojamiento de las juntas en el frontal metálico 2.

11.9. Acople para cámara Sony DSC-RX0

Se diseña un acople (pieza 13) de la cámara Sony DSC-RX0, Figura 43, al frontal de la carcasa descrita anteriormente, de esta forma, se facilita la sujeción de la cámara a la vez que se obtienen grabaciones de mejor calidad. Atendiendo a las especificaciones proporcionados por el fabricante, esta cámara posee una altura de 40,5 mm, una anchura de 59,0 mm y un espesor de 29,8 mm [11].



Figura 43. Cámara Sony DSC-RX0. Fuente:[11]

La presente pieza se fabricará mediante impresión 3D, debido a la sencillez del proceso y con la finalidad principal de abaratar costes. Además, este tipo de fabricación aditiva permite, de forma sencilla, realizar pequeñas modificaciones en el acabado si fuera necesario a la hora de insertar la cámara.

Tal y como se muestra en las Figura 44 y en la Figura 45, la pieza posee una geometría principalmente cilíndrica. En su parte frontal presenta una abertura destinada al objetivo de la cámara, mientras que, en su parte posterior, también abierta, se podrá visualizar la pantalla de la cámara. Cabe destacar que la pieza presenta un corte en la zona superior con el fin de insertar fácilmente el dispositivo y, a su vez, poder manipular los botones que este presenta cuando el acople se encuentre colocado en la carcasa. La definición geométrica y gráfica se presenta en el plano 20.

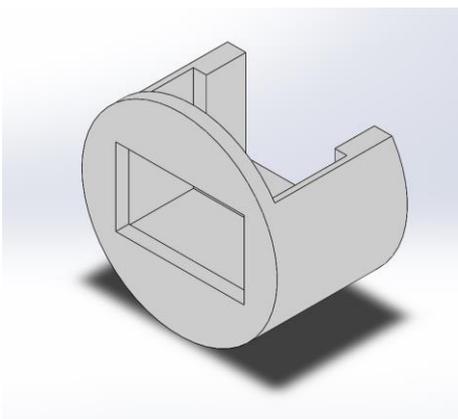


Figura 44. Vista delantera del acople para cámara.

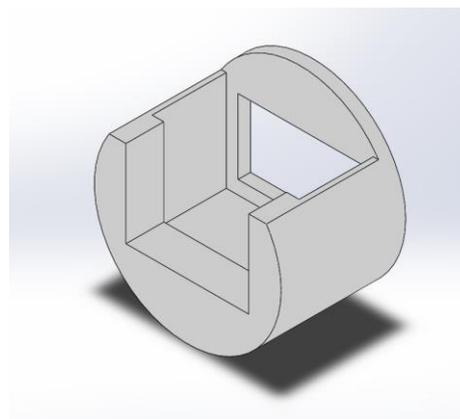


Figura 45. Vista trasera del acople para cámara.

12. Fundamentos teóricos

En el presente apartado se establecen los fundamentos teóricos necesarios para el desarrollo del proyecto. En primer lugar, se describe la teoría de las uniones atornilladas y, posteriormente de los recipientes a presión.

12.1. Uniones atornilladas

Las tuercas y los tornillos son un aspecto esencial en el diseño. Los tornillos sirven tanto para sujetar como para desplazar cargas, como en el caso de los tornillos de potencia o tornillos guía. Los tornillos como sujetadores se establecen para absorber cargas a tensión, a cortante o ambas.

El elemento común entre todos los tornillos es su rosca. Dicha rosca es una hélice que, al ser girada, permite que el tornillo avance en la pieza de trabajo o en la tuerca. La forma de las roscas se estandarizó en Gran Bretaña, Canadá y Estados Unidos en la serie Unified National Estándar (UNS). Mientras que el estándar europeo se establece mediante la normativa ISO. Estas roscas tienen dimensiones métricas y, por tanto, a pesar de tener la misma forma de sección transversal, no son intercambiables con las roscas UNS. Ambas normas utilizan un ángulo de 60° y definen el tamaño de la rosca por el diámetro exterior nominal (principal) d de la rosca externa. El paso p de la rosca es la distancia entre hilos adyacentes. El diámetro de paso d_p y el diámetro de raíz (o de fondo) d_r se definen en función del paso de la rosca p . Estos parámetros se encuentran representados en la Figura 46.

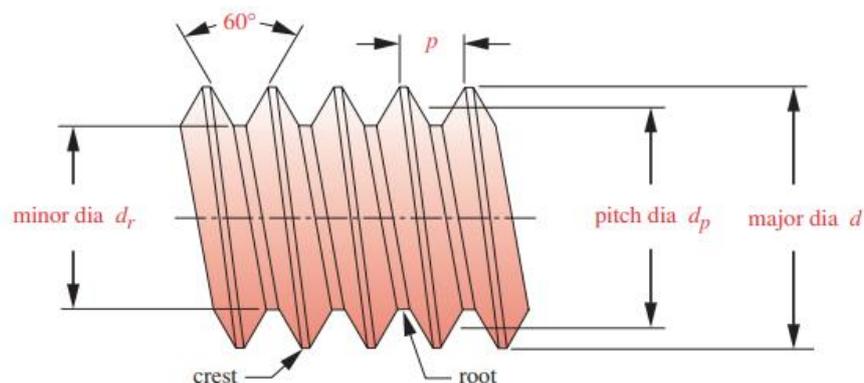


Figura 46. Forma de rosca Unified National y estándar ISO. Fuente:[12]

En las roscas UNS se definen tres series estándar de familias de paso de rosca, paso grueso (UNC), paso fino (UNF) y paso extrafino (UNEF). ISO también define roscas de serie basta y fina. La serie gruesa o basta es la más común y es la recomendada para aplicaciones de tipo ordinario, en particular donde se requieran repetidas inserciones y retiros del tornillo, o donde el tornillo se rosque en un material más blando. Las roscas finas resisten más el alojamiento por vibraciones que las roscas bastas, debido a su menor ángulo de hélice. Por ello, se utilizan, generalmente, en automóviles, aviones y otras

aplicaciones sujetas a vibraciones. Las rocas de la serie extrafina se utilizan en aplicaciones bajo fuertes vibraciones e impactos, o para instrumentación [12].

12.1.1. Tipos de tornillos sujetadores

Existe una gran variedad de estilos de tornillos, muchos de ellos destinados a aplicaciones especializadas. Los tornillos de fijación se pueden clasificar siguiendo distintos criterios y están disponibles en una gran variedad de materiales, incluyendo el acero, el acero inoxidable, el aluminio, el latón, el bronce y los plásticos.

- Por su uso.
- Por el tipo de rosca.
- Por el tipo de cabeza.
- Por su resistencia.

12.1.1.1. Clasificación por su uso

Un perno es un sujetador con una cabeza y un vástago recto roscado destinado a utilizarse con una tuerca con el fin de sujetar un tornillo, Figura 47. En cambio, el mismo sujetador recibe el nombre de tornillo de máquina o tornillo de cabeza cuando se enrosca en un orificio roscado en lugar de utilizar una tuerca, Figura 48. Por otro lado, un birlo es un sujetador sin cabeza, roscado en ambos extremos y destinado a ser roscado de manera semipermanente en una de las mitades de un ensamble, Figura 49.

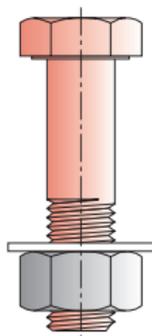


Figura 47. Perno. Fuente: [12]

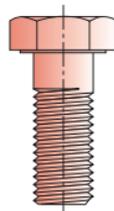


Figura 48. Tornillo de máquina.
Fuente: [12]

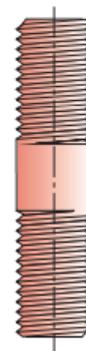


Figura 49. Birlo. Fuente: [12]

12.1.1.2. Clasificación por el tipo de rosca

Los tornillos diseñados para preparar su propia perforación o para preparar sus propias roscas reciben el nombre de tornillos roscadores o autoperforantes. Las roscas de

este tipo de tornillos son similares a la estándar, pero, a menudo, suelen estar más separadas, es decir, presentan un paso mayor. Además, están provistos de ranuras axiales y endurecido para proporcionar un borde cortante para perforar la pieza a medida que se inserta el tornillo. Los tornillos autoperforantes poseen forma de broca en su punta para realizar el agujero inicial [12].

12.1.1.3. Clasificación por el tipo de cabeza

Existen multitud de tornillos ranurados, incluyendo los de ranura recta, los de cruz, hexagonal y hexagonal de caja entre otros. La forma de la cabeza puede ser redonda, plana, cilíndrica ranurada, achatada, etc. Estos estilos de cabeza, en combinación con ranuras rectas o de cruz, se utilizan solo en tornillos de maquina o roscadores pequeños, ya que el par de torsión máximo obtenible con estas ranuras es limitado. El par de torsión necesario en tornillos mayores se obtiene con mayor facilidad con cabezas hexagonales.

Por otro lado, los tornillos con cabeza para dado, generalmente están fabricados con acero endurecido, acero inoxidable u otros metales de alta resistencia y se utilizan ampliamente en maquinaria. El dado hexagonal permite la aplicación de un par de torsión suficiente, mediante llaves hexagonales Allen [12].

12.1.2. Precarga a tensión

Una de las aplicaciones principales de los pernos y tuercas es sujetar las piezas en situaciones donde las cargas aplicadas generan tensión en los pernos. Resulta habitual precargar la unión apretando los pernos con un torque suficiente para generar tensión en los pernos que se aproximen a su resistencia de prueba. Para conjuntos cargados estáticamente, se utiliza una precarga que genere un esfuerzo en el perno de hasta el 90% de la resistencia de prueba. En cambio, para conjuntos cargados dinámicamente (carga por fatiga), se utiliza una precarga del 75% o más de la resistencia de prueba [12].

12.1.2.1. Pernos precargados bajo carga estática

La Figura 50 se muestra el comportamiento carga-deflexión del perno y del material en ejes comunes, tomando su longitud inicial como deflexión δ igual a cero. Se puede observar que la pendiente de la línea del perno es positiva debido a que su longitud aumenta cuanto mayor es la fuerza. En cambio, la pendiente de la línea del material es negativa ya que su longitud disminuye al aumentar la fuerza. El material se muestra más

rígido que el perno, ya que su área es típicamente mayor y se asume el mismo material para ambos elementos. A medida que se introduce una fuerza de precarga F_i al apretar el perno, las deflexiones del perno δ_b y del material δ_m se controlan en función de sus constantes de rigidez, alcanzando los puntos A y B sobre sus respectivas curvas de carga-deflexión. Atendiendo a las suposiciones planteadas anteriormente y que afectan a los valores de k_b y k_m , se puede observar que el perno se estira más (δ_b) de lo que material se comprime (δ_m).

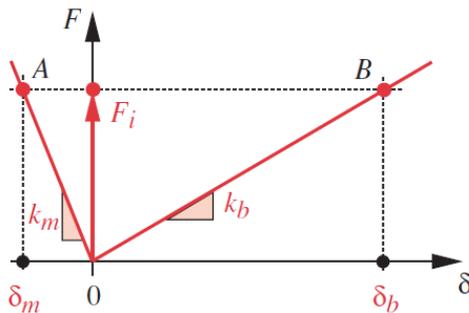


Figura 50. Efectos sobre el perno y el material correspondientes a una precarga. Fuente: [12]

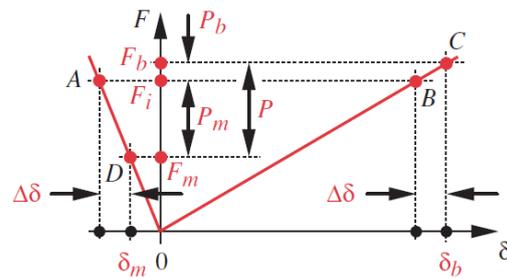


Figura 51. Efectos sobre el perno y el material correspondientes a una precarga y a una carga aplicada. Fuente: [12]

En la Figura 51 se muestra la gráfica del comportamiento carga-deflexión del perno y del material cuando se aplica una carga externa P a la unión. Se puede observar que se presenta una deflexión adicional $\Delta\delta$ en ambos elementos. Esta desviación debe ser la misma tanto en el perno como en el material, excepto cuando la carga aplicada es lo suficientemente grande como para separar la unión, es decir, cuando $P_m > F_i$. En la Figura 51 se observa que la carga aplicada P se divide en dos componentes, la carga P_m absorbida por el material y la carga P_b absorbida por el perno. P_m reduce la carga en el material y desciende por la línea de rigidez de este hasta el punto D, obteniéndose un nuevo valor de F_m . En cambio, P_b aumenta la carga en el perno hasta el punto C, alcanzando un nuevo valor F_b .

Se debe tener en cuenta que, si la carga aplicada P es lo suficientemente grande para que el componente P_m supere el valor de la fuerza de precarga F_i , la unión se separará y el perno sufrirá el total de la carga aplicada P [12].

12.1.3. Uniones con junta

Las juntas se utilizan habitualmente en uniones donde se necesita un sello a presión. Existen diferentes tipos de juntas, que se pueden clasificar de manera general en: juntas

confinadas y juntas no confinadas. La Figura 52 y la Figura 53 muestran dos tipos de juntas confinadas, siendo la segunda un anillo en O o junta tórica. Las juntas confinadas permiten que las caras de las distintas piezas que conforman la unión se encuentran en contacto. Esto implica que la constante de rigidez k_m se comportará igual que si se tratara de una unión sin junta.

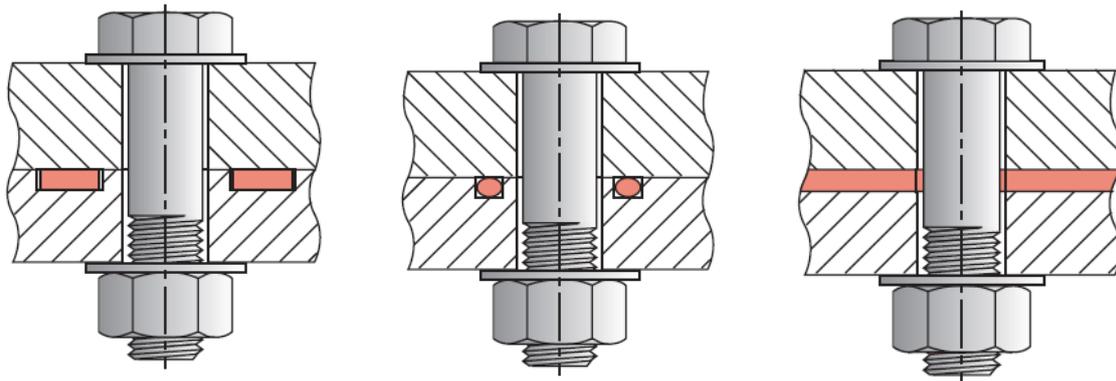


Figura 52. Junta confinada. Fuente: [12]

Figura 53. Anillo en O confinado. Fuente: [12]

Figura 54. Junta sin confinar. Fuente: [12]

En la Figura 54 se presenta una junta sin confinar. Este tipo de juntas son relativamente blandas y separan de manera total las superficies de unión. Por tanto, la junta contribuye en la constante de rigidez del conjunto [12].

12.2. Recipientes a presión

Con frecuencia se utilizan cilindros como recipientes a presión o tubos que pueden estar sometidos a presiones internas y/o externas. Si estos recipientes presentan un extremo abierto, aparecerá un estado de esfuerzos en dos dimensiones en las paredes del cilindro, con componentes de esfuerzos radiales y tangenciales. En cambio, si están cerrados, también estará presente un esfuerzo en una tercera dimensión denominado longitudinal o axial. Estos tres esfuerzos son ortogonales entre sí y principales, ya que no hay esfuerzo cortante aplicado debido a que la presión se encuentra uniformemente distribuida.

12.2.1. Cilindros de pared gruesa

Un recipiente cilíndrico se considera de pared gruesa, generalmente, cuando el espesor de la pared es superior a $1/10$ de su radio. Tomando como referencia un cilindro abierto de radio interior r_i y radio exterior r_o que está solicitado simultáneamente por una

presión interior p_i y una presión exterior p_o , Figura 55, los esfuerzos radiales y tangenciales vienen dados por la ecuación de Lamé:

$$\sigma_t = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} + \frac{r_i^2 r_o^2 (p_i - p_o)}{r^2 (r_o^2 - r_i^2)} \quad (1)$$

$$\sigma_r = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} - \frac{r_i^2 r_o^2 (p_i - p_o)}{r^2 (r_o^2 - r_i^2)} \quad (2)$$

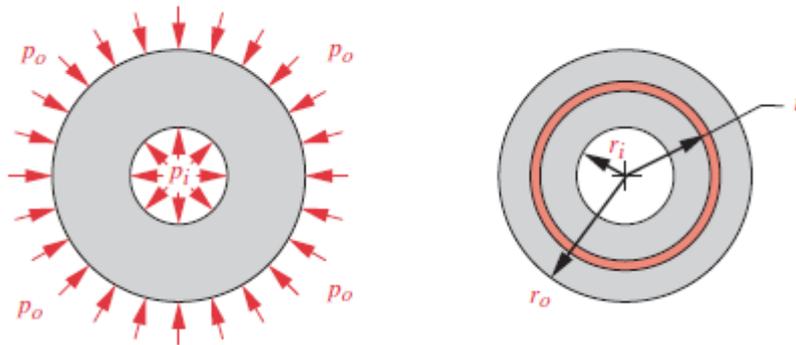


Figura 55. Cilindro sometido a presiones externas e internas. Fuente: [12].

Cabe destacar que r es el radio del punto de interés que se desea analizar. Se puede observar que estos esfuerzos varían de forma no lineal en todo el espesor de la pared [12].

Si los extremos del cilindro se encuentran cerrados, el esfuerzo axial sobre la pared es:

$$\sigma_a = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} \quad (3)$$

Se puede observar la ausencia del término r en esta última ecuación, ya que el esfuerzo axial es uniforme en todo el espesor de la pared.

Suponiendo $p_i=0$ o $p_o=0$ se podrán analizar los casos de recipientes cilíndricos sometidos únicamente a una presión exterior o solamente a una presión interior, respectivamente [13].

A modo de ejemplo, en la Figura 56 y en la Figura 57 se muestra la distribución de los esfuerzos tangenciales y radiales, respectivamente, en la pared de un cilindro sometido únicamente a presión interna. Se puede observar que ambos esfuerzos son máximos en la

superficie interior. Mientras que el esfuerzo tangencial es a tracción, el esfuerzo radial es a compresión.

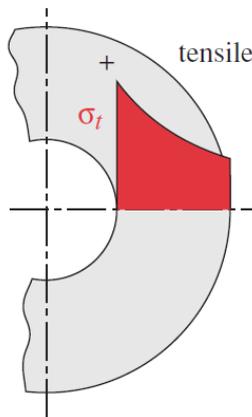


Figura 56. Distribución de esfuerzo tangencial en la pared de un cilindro con presión interna. Fuente: [12]

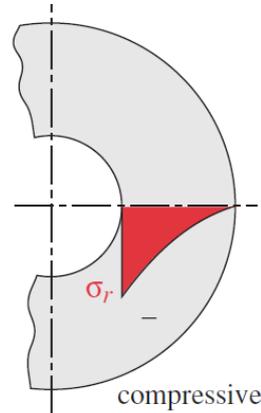


Figura 57. Distribución de esfuerzo radial en la pared de un cilindro con presión interna. Fuente: [11]

12.2.2. Simulation SolidWorks

Para realizar el análisis de un recipiente a presión utilizando el software SolidWorks se debe emplear un estudio estático. Este tipo de estudios también reciben el nombre de estudios de tensión y calculan desplazamientos, fuerzas de reacción, deformaciones unitarias, tensiones y la distribución del factor de seguridad. Permiten visualizar las ubicaciones donde las tensiones exceden cierto nivel y se produce la falla del material. En relación con el factor de seguridad, un valor menor que la unidad de este parámetro indica una falla del material. Factores de seguridad elevados en una región indican tensiones bajas y la posibilidad de reducir la cantidad de material de dicha región [14].

12.3. Flotación y estabilidad

Atendiendo al principio de Arquímedes: “Todo cuerpo sumergido en el seno de un fluido experimenta un empuje vertical hacia arriba de magnitud igual al peso del fluido que desaloja”. En la Figura 58 se representa un sólido inmerso totalmente en un fluido de densidad ρ y peso específico γ constante. Al tratarse de una superficie cerrada totalmente sumergida, la resultante de las fuerzas de presión que actúa en cualquier dirección horizontal es nula, ya que las fuerzas aplicadas a un lado y otro son de igual magnitud y signo contrario.

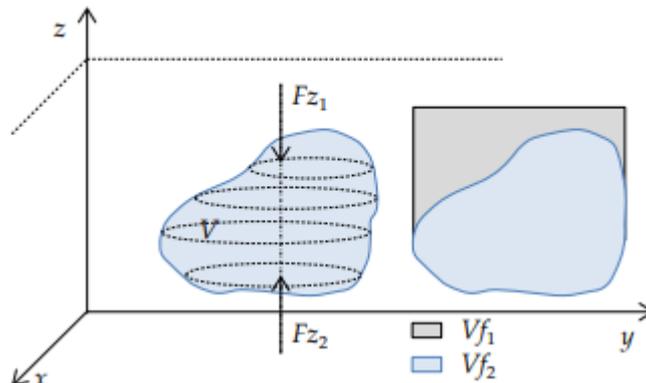


Figura 58. Balance de fuerzas sobre un cuerpo sumergido. Fuente:[15]

Con relación a la resultante vertical, se puede calcular por superposición de las fuerzas que actúan sobre el hemisferio superior e inferior del cuerpo. De esta forma, la magnitud F_{z1} (fuerza de superficie que actúa sobre el hemisferio superior) es igual al peso del fluido que se encuentra sobre dicho hemisferio ($\gamma \cdot V_{f1}$). En cambio, la fuerza F_{z2} es igual al peso de fluido que hipotéticamente tendría encima si se tratase de una superficie abierta ($\gamma \cdot V_{f2}$). Cabe destacar que $\gamma \cdot V_{f2} > \gamma \cdot V_{f1}$ y, por tanto, la fuerza resultante será vertical hacia arriba. En conclusión, la fuerza resultante vertical hace referencia al empuje que experimenta el cuerpo sumergido:

$$E = F_{z2} - F_{z1} = \gamma(V_{f2} - V_{f1}) = \gamma V \quad (4)$$

Siendo V el volumen sumergido del cuerpo, en esta ocasión, se corresponde al volumen del cuerpo ya que se encuentra totalmente sumergido.

El centro de empuje se encuentra situado en el centro de gravedad del volumen. Este podrá coincidir con el centro geométrico del cuerpo en el caso de que el cuerpo totalmente sumergido sea perfectamente homogéneo.

Las condiciones que se deben cumplir para que el sólido se encuentre en equilibrio estático son que tanto el balance de fuerzas que actúan sobre el cuerpo, como el balance de momentos sean nulos. La primera condición implica que el peso del cuerpo sea igual a la fuerza de empuje, mientras que la segunda condición se verificará cuando la línea de acción del empuje sea coincidente con la del peso.

Para un cuerpo de volumen total V_c y peso P su peso específico medio γ_c es:

$$\gamma_c = \frac{P}{V_c} \quad (5)$$

A continuación, igualando el empuje al peso del cuerpo se obtiene que:

$$E = \gamma V = \gamma_c V_c = P \quad (6)$$

Si $\gamma_c > \gamma$, inevitablemente el cuerpo se hundirá, ya que al ser $V = V_c$, el peso del cuerpo será mayor que la fuerza de empuje.

Atendiendo a la segunda condición, donde la línea de acción del empuje debe coincidir con la del peso, esta se verificará siempre y cuando el cuerpo sea perfectamente homogéneo y se encuentre totalmente sumergido.

Cabe destacar que, partiendo de una posición de equilibrio estático, si el cuerpo se desplaza de manera horizontal o vertical, manteniéndolo siempre totalmente sumergido, no se modifica ni el sistema de fuerzas ni los puntos de aplicación (a menos que la densidad del fluido varíe con respecto a las coordenadas). Así pues, la posición de equilibrio es estable respecto de cualquier traslación, Figura 59.

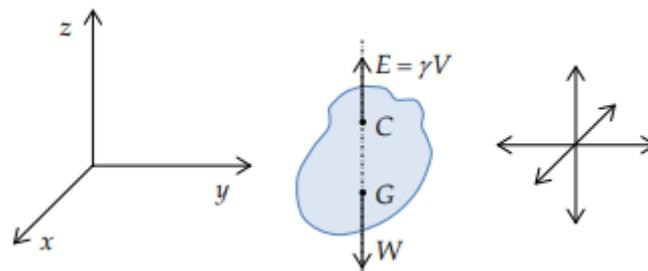


Figura 59. Equilibrio de un cuerpo totalmente sumergido. Fuente:[15]

Partiendo de una posición de equilibrio, si se gira ligeramente el cuerpo, este volverá a la posición inicial en el caso de que el par que se origine sea restaurador, tal y como se muestra en la Figura 60. Esto sucede si el centro de empuje C se encuentra por encima del centro de gravedad G para la posición de equilibrio inicial. En dicho, esta posición de equilibrio se denomina estable. En caso contrario, será inestable y al girar el cuerpo ligeramente, el par que se origina es de vuelco y el cuerpo tenderá hacia una nueva posición de equilibrio. Finalmente, cuando C y G coinciden, la posición de equilibrio recibe el nombre de indiferente, ya que el cuerpo mantendrá la posición que se desee en cada instante [15].

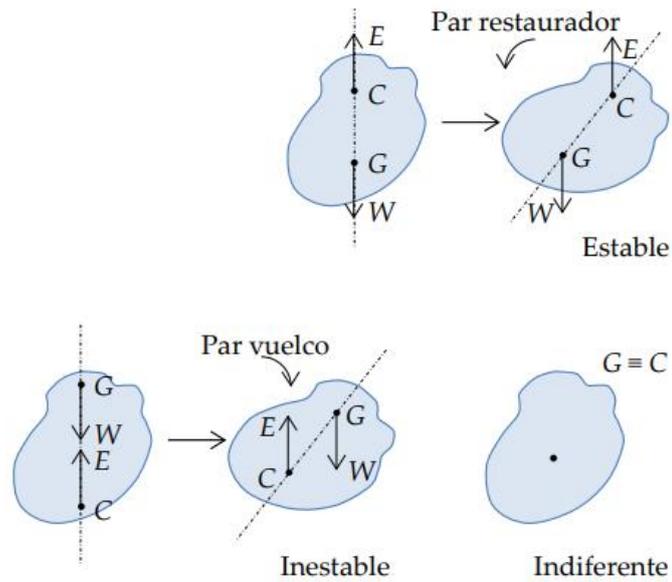


Figura 60. Estabilidad de un cuerpo totalmente sumergido frente a la rotación. Fuente: [15]

13. Análisis

13.1. Análisis de uniones atornilladas

En el presente apartado se procede al cálculo de la unión atornillada que garantiza la estanqueidad de las tres piezas que componen el frontal de la carcasa (frontal metálico 1, frontal translúcido y frontal metálico 2). Debido al espesor del conjunto, 58 mm, se seleccionan los tornillos de métrica más pequeña y que cuya longitud sea suficiente para la unión de las distintas piezas. Por ello, se escogen 8 tornillos de cabeza avellanada, abombada y hueco cruciforme tipo Z, de M5 y longitud 45 mm siguiendo la norma ISO 7047 [16]. En la Figura 61 se muestran las dimensiones de los tornillos de cabeza avellanada, abombada y hueco cruciforme de tipo H y de tipo Z.

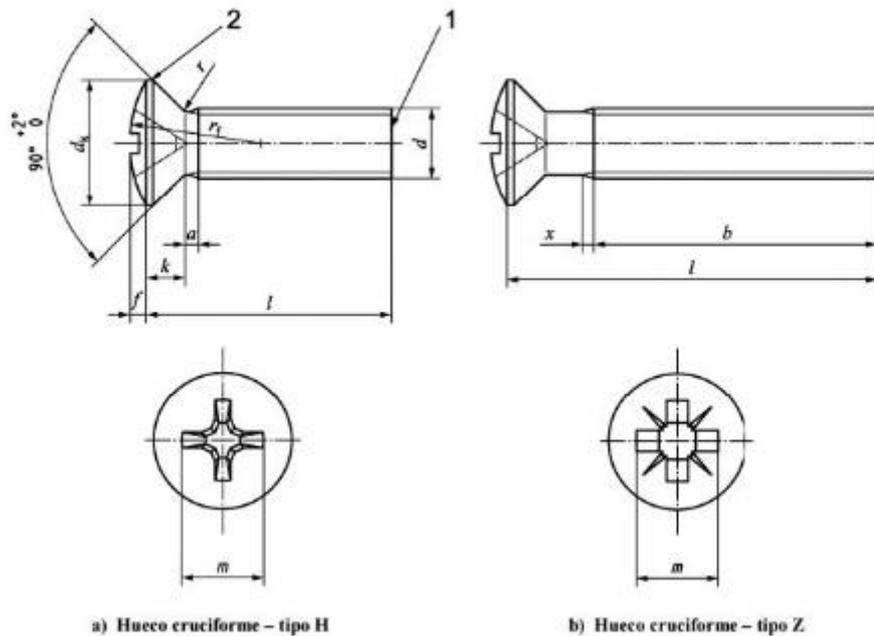


Figura 61. Tornillo de cabeza avellanada, abombada y hueco cruciforme tipo H (a) y tipo Z (b).
Fuente: [16]

En la Tabla 3 se muestran las dimensiones de las roscas para tornillos métricos estándar ISO M5 [12].

Tabla 3. Dimensiones principales de la rosca para tornillo métrico estándar ISO M5.

Dimensiones principales de la rosca para tornillo métrico estándar ISO M5	
Diámetro mayor, d (mm)	5
Diámetro menor, d_r (mm)	4,02
Paso, p (mm)	0,8
Área de esfuerzo a tensión, A_t (mm²)	14,18
Clase de calidad	4,8
Resistencia de prueba mínima, S_p (MPa)	310
Límite elástico mínimo, S_y (MPa)	340

La resistencia de prueba mínima S_p , hace referencia al esfuerzo al cual el tornillo empieza a tomar una deformación permanente y es cercana a, pero inferior que, el límite de fluencia elástico del material.

Para el cálculo de los datos mostrados en la Tabla 3 se debe tener en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$A_t = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_p + d_r}{2} \right)^2 \tag{7}$$

Para roscas ISO:

$$d_p = d - 0,649519p \quad (8)$$

$$d_r = d - 1,226869p \quad (9)$$

Además, para realizar los cálculos se debe tener en cuenta que la longitud de la rosca l es de 41,81 mm.

Atendiendo a los datos de la Tabla 3, se obtiene el valor de la precarga F_i . Para ensambles cargados estáticamente, se utiliza una precarga que genere un esfuerzo en el tornillo tan elevado como 90% de la resistencia de prueba.

$$F_i = 0,9 * S_p A_t = 0,9 * 310 * 14,18 = 3956,22 \text{ N}$$

A continuación, se procede a determinar la rigidez del tornillo k_b a partir de la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{k_b} = \frac{l}{A_t E_b} \quad (10)$$

Donde E_b es el módulo de Young del tornillo. En esta ocasión, se utiliza acero aleado cuyo módulo de Young es 210000 MPa.

Por tanto:

$$\frac{1}{k_b} = \frac{41,81}{14,18 * 210000} \rightarrow k_b = 71222,20 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

A continuación, se procede a calcular la rigidez del material k_m . Cabe destacar que el diseño de la carcasa presenta dos juntas confinadas. Las juntas confinadas permiten que las superficies metálicas estén en contacto igual que si no existiera junta, por lo que el análisis de la rigidez del material puede pasar por alto la junta confinada. La siguiente ecuación muestra el cálculo de la rigidez del material:

$$\frac{1}{k_m} = \frac{l_1}{A_{m1} E_1} + \frac{l_2}{A_{m2} E_2} + \dots + \frac{l_i}{A_{mi} E_i} = \frac{4l_1}{\pi D_{eff1}^2 E_1} + \frac{4l_2}{\pi D_{eff2}^2 E_2} + \dots + \frac{4l_i}{\pi D_{effi}^2 E_i} \quad (11)$$

Donde A_m son las áreas efectivas de los materiales sujetos, l la longitud o espesor de los materiales afectados por la rosca y D_{eff} los diámetros efectivos de estas áreas.

$$D_{eff} = D - d \quad (12)$$

Donde D es el diámetro de la unión, en el presente modelo dicho diámetro se estima en 15 mm. Por tanto:

$$D_{eff} = 15 - 5 = 10 \text{ mm}$$

En la Tabla 4 se muestran los valores del módulo de Young y del espesor de los distintos materiales que conforman la unión.

Tabla 4. Módulo de Young y espesor l de los materiales que conforman la unión.

	Material	l (mm)	Módulo de Young (MPa)
1	Aluminio 7075-T6 (SN)	5	72000
2	PMMA	25	2770
3	Aluminio 7075-T6 (SN)	11,81	72000

En la Figura 62 se muestra un detalle de la unión donde se pueden apreciar, con mayor claridad, los distintos espesores que se encuentran afectados por la rosca.

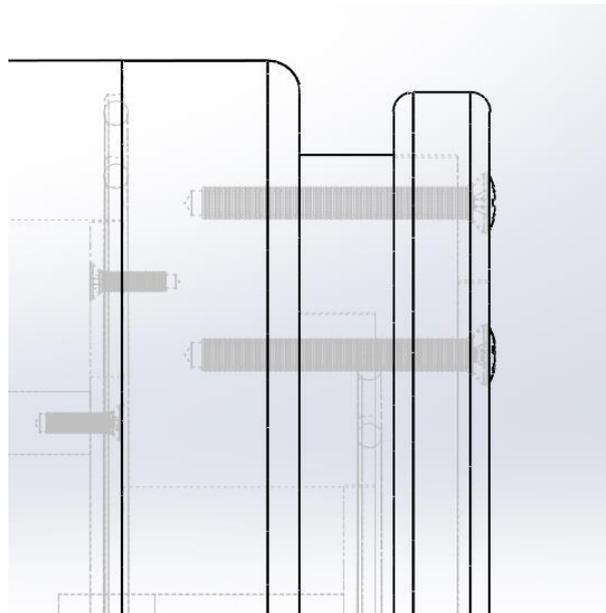


Figura 62. Detalle de la unión.

$$\frac{1}{k_m} = \frac{4 * 5}{\pi * 10^2 * 72000} + \frac{4 * 25}{\pi * 10^2 * 2770} + \frac{4 * 11,81}{\pi * 10^2 * 72000} \rightarrow k_m = 8482,77 \frac{N}{mm}$$

Seguidamente se calcula la constante de rigidez de la unión o constante de la unión

C.

$$C = \frac{k_b}{k_m + k_b} = \frac{71222,20}{8482,77 + 71222,20} = 0,89$$

Al obtenerse un valor de $C < 1$, esto confirma el hecho que el tornillo solo vera una porción de la carga aplicada P .

$$(1 - C) = 0,11$$

Finalmente, se procede al cálculo de las porciones de la carga aplicada P que sienten tornillo y material. Para ello, en primer lugar, se obtiene el valor de la carga aplicada considerando que la carcasa no se encuentra sumergida y, por tanto, está sometida únicamente a la presión atmosférica de 0,101325 MPa.

$$P_{Total} = pA = p \frac{\pi D_p^2}{4} \quad (13)$$

Donde p la presión a la que se encuentra sometido el cilindro y D_p el diámetro interior de este, siendo de 75 mm.

$$P_{Total} = 0,101325 \frac{\pi * 75^2}{4} = 447,64 \text{ N}$$

La fuerza aplicada P sobre cada tornillo es:

$$P = \frac{P_{Total}}{N_{pernos}} = \frac{447,64}{8} = 55,96 \text{ N}$$

Porción de carga aplicada P sentida por el tornillo:

$$P_b = CP = 0,89 * 55,96 = 49,80 \text{ N}$$

Porción de carga aplicada P sentida por el material:

$$P_m = (1 - C)P = 0,11 * 55,96 = 6,16 \text{ N}$$

Carga resultante en el tornillo una vez aplicada la carga P :

$$F_b = F_i + P_b = 3956,22 + 49,80 = 4006,02 \text{ N}$$

Carga resultante en el material una vez aplicada la carga P :

$$F_m = F_i - P_m = 3956,22 - 6,16 = 3950,06 \text{ N}$$

El esfuerzo máximo a tensión del tornillo es:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t} = \frac{4006,02}{14,18} = 282,51 \text{ MPa}$$

Se trata de una situación de esfuerzo uniaxial, por lo que el esfuerzo principal y el esfuerzo Von Mises son idénticos al esfuerzo a tensión aplicado. El factor de seguridad a la fluencia será, por lo tanto:

$$N_y = \frac{S_y}{\sigma_b} = \frac{340}{282,51} = 1,20$$

La carga requerida para separar la unión P_0 y el factor de seguridad a la separación de la unión N_{sep} se determinan a continuación:

$$P_0 = \frac{F_i}{1 - C} = \frac{3956,22}{0,11} = 35965,64 \text{ N}$$

$$N_{sep} = \frac{P_0}{P} = \frac{35965,64}{55,96} = 642,70$$

Atendiendo al factor de seguridad a la separación de la unión, se puede observar que el tornillo se encuentra sobredimensionado. Sin embargo, se decide mantener un tornillo M5 debido a que no se encuentran tornillos normalizados de un diámetro inferior para una longitud de alrededor de 45 mm.

13.2. Análisis de presión

Se procede al análisis de presión utilizando el complemento Simulation del software SolidWorks 2019, realizando un análisis estático. Para simplificar este estudio, se analizan las tres piezas que componen el frontal, así como la pieza de la carcasa exterior, tal y como se muestra en modelo de la Figura 63.

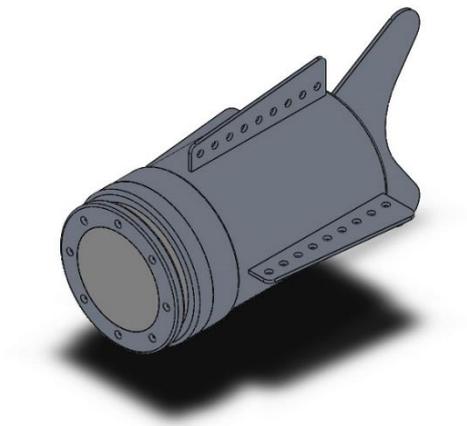


Figura 63. Modelo de análisis de presiones.

En primer lugar, se debe generar un nuevo estudio indicando que se trata de un análisis estático, Figura 64. Cabe destacar que el análisis estático lineal calcula los desplazamientos, las deformaciones unitarias, las tensiones y las fuerzas de reacción bajo el efecto de las cargas aplicadas.

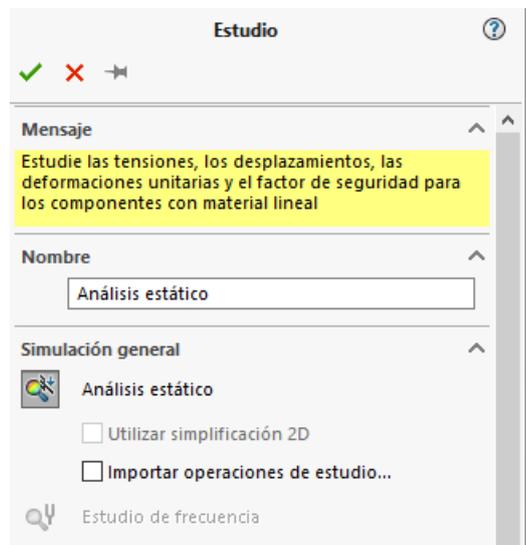


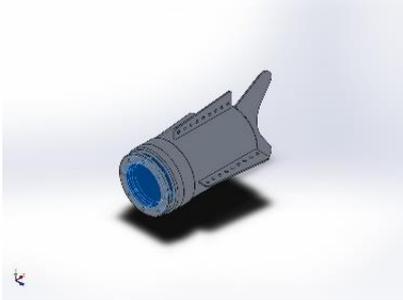
Figura 64. Nuevo estudio: análisis estático.

El análisis estático lineal realiza las siguientes suposiciones:

- Suposición estática. Todas las cargas se aplican de manera lenta y gradual hasta que alcanzan sus magnitudes completas. A continuación, las cargas permanecen constantes (sin variaciones en el tiempo).
- Suposición de linealidad. La relación entre cargas y respuestas inducidas es lineal [17].

En la Tabla 5 se muestran los sólidos que componen el modelo a estudiar y sus propiedades volumétricas.

Tabla 5. Propiedades volumétricas de los sólidos que componen el modelo analizado.

Pieza	Tratado como	Propiedades volumétricas
	Sólido	Masa:2,63609 kg Volumen:0,000938112 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:25,8337 N
	Sólido	Masa:0,655799 kg Volumen:0,000551092 m ³ Densidad:1.190 kg/m ³ Peso:6,42683 N
	Sólido	Masa:0,381823 kg Volumen:0,00013588 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:3,74187 N
	Sólido	Masa:12,0337 kg Volumen:0,00428247 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:117,931 N

A continuación, es necesario indicar en el software el material de cada pieza. En esta ocasión, todas las piezas son de Aluminio 7075-T6 (SN), exceptuando la pieza frontal translúcida que es de PMMA. En la Tabla 6 y en la Tabla 7 se muestran las propiedades del Aluminio 7075-T6 y del PMMA, respectivamente.

Tabla 6. Propiedades del Aluminio 7075-T6 (SN)

Propiedades Aluminio 7075-T6 (SN)	
Nombre	7075-T6 (SN)
Tipo de modelo	Isotrópico elástico lineal
Límite elástico	5,05e+08 N/m ²
Límite de tracción	5,7e+08 N/m ²
Módulo elástico	7,2e+10 N/m ²
Coefficiente de Poisson	0,33
Densidad	2.810 kg/m ³
Módulo cortante	2,69e+10 N/m ²
Coefficiente de dilatación térmica	2,36e-05 /Kelvin

Tabla 7. Propiedades del PMMA.

Propiedades PMMA	
Nombre	PMMA
Tipo de modelo	Isotrópico elástico lineal
Límite de tracción	6,1e+07 N/m ²
Límite de compresión	1,05e+08 N/m ²
Módulo elástico	2,77e+09 N/m ²
Densidad	1.190 kg/m ³

13.2.1. Cargas y sujeciones

Las sujeciones y las cargas definen el entorno del modelo. Debido a que la carcasa se encontrará sumergida, se ha decidido establecer una sujeción de geometría fija en una de las aletas de la carcasa con el fin de poder analizar las deformaciones y tensiones en el modelo. Este tipo de restricción establece los grados de libertad de traslación y rotación en cero. Para ello, se debe escoger la opción de “Geometría fija” en el software y, a continuación, seleccionar las caras correspondientes del modelo. Tal y como se puede observar en la Figura 65, se han analizado los resultados utilizando una sujeción en la aleta superior ya que los resultados obtenidos eran más desfavorables que al aplicar la sujeción en las aletas laterales.

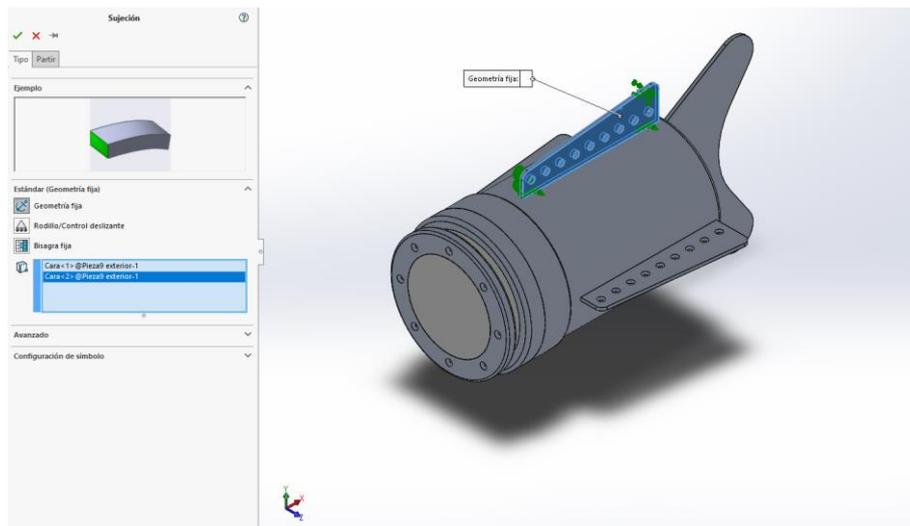


Figura 65. Configuración de sujeciones.

En relación con la carga, en primer lugar, se debe indicar el tipo de carga. En esta ocasión, se trata de una presión externa. A continuación, se deben seleccionar todas las caras del modelo dónde se encuentra aplicada dicha carga, tal y como se muestra en la Figura 66. En el presente estudio se establece una presión exterior de 9,8 MPa que se corresponde con una profundidad de 1000 metros. Para simplificar el estudio y dado el gran número de caras que presenta el modelo, se seleccionan únicamente las superficies que forman el cuerpo principal de la carcasa, ya que son las que sufrirán, en mayor medida, los efectos de la presión.

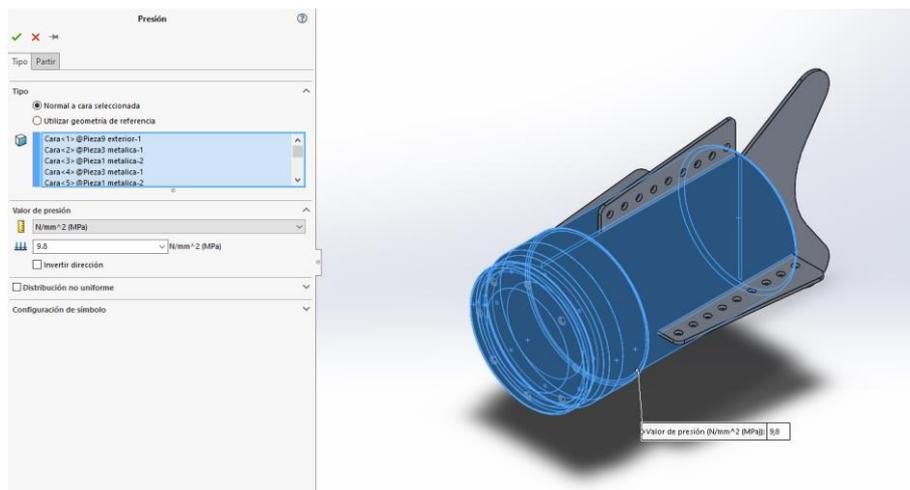


Figura 66. Configuración de carga.

13.2.2. Conexiones

Las conexiones hacen referencia a la forma en que se producen las interacciones entre los contornos de las piezas del conjunto. El programa establece de manera automática

una unión rígida global, tal y como se muestra en la Figura 67. En esta ocasión, se ha seleccionado el contacto que proporciona el software por defecto y no se han tenido en cuenta los tornillos que unen las diferentes piezas. Esto se debe a que con este estudio se pretende analizar de manera simplificada el comportamiento y la deformación del cuerpo ante una presión elevada, considerando que las uniones entre piezas son correctas.

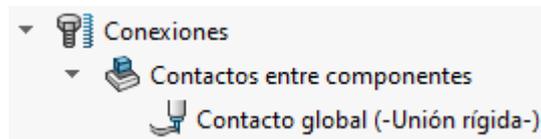


Figura 67. Configuración de conexiones.

13.2.3. Malla

Durante el análisis estático, es fundamental disponer de una malla correcta para obtener resultados con mayor precisión.

La malla se encarga de dividir la geometría de la pieza, sometida a cargas y restricciones, en partes más pequeñas denominadas “elementos” y que representan el dominio continuo del problema. Estos elementos, se encuentran conectados entre sí por puntos que reciben el nombre de “nodos”. La división de la geometría en pequeños elementos resuelve un problema complejo al subdividirlo en problemas más simples. Sin embargo, las ecuaciones matemáticas que establecen el comportamiento físico no se resuelven de una manera exacta, sino aproximada por este método numérico. Por ello, la precisión de los resultados depende de la cantidad de nodos y elementos, así como del tamaño y de los tipos de elementos de la malla. Cuanto menor sea el tamaño y mayor el número de elementos en una malla, más precisos serán los resultados del análisis.

Por tanto, en esta ocasión se ha establecido una malla “fina”, lo que indica un gran número de elementos de pequeño tamaño. A su vez, se ha establecido una malla basada en la curvatura, la cual, automáticamente, reduce el tamaño de los elementos en las zonas de curvatura, obteniendo resultados más precisos en las zonas de la pieza que presentan pequeños radios. En la Figura 68 se muestra la configuración de la malla en el software SolidWorks y, posteriormente, en la Figura 69 se muestra la malla resultante utilizada en el análisis.

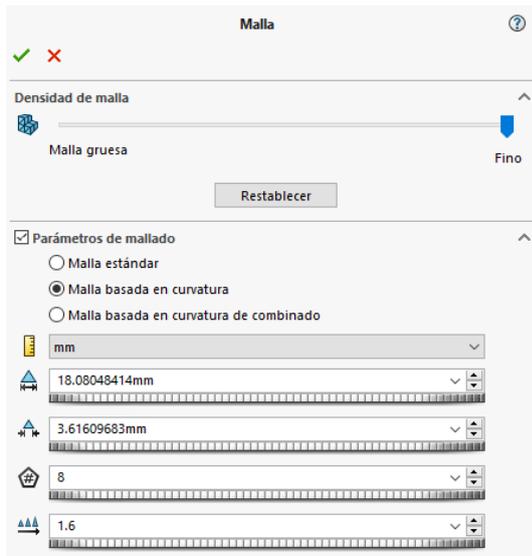


Figura 68. Configuración de malla.



Figura 69. Malla utilizada en el análisis.

13.2.4. Resultados

A continuación, se analizan los resultados de tensiones y desplazamientos obtenidos. A su vez, se analizará también el factor de seguridad del modelo.

13.2.4.1. Tensiones Von Mises

En la Tabla 8 se muestran, a modo de resumen, los resultados de tensiones de Von Mises mínimas y máximas.

Tabla 8. Resultados de tensiones de Von Mises mínimas y máximas.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones	VON: Tensión de Von Mises	7,893e+01 N/m ² Nodo: 117832	3,150e+08 N/m ² Nodo: 138872

Tal y como se puede observar en la Figura 70, los valores de tensión máxima se presentan alrededor de la unión de la aleta superior. Este fenómeno se produce debido a que la sujeción se ha situado, en esta ocasión, en la aleta superior.

A continuación, también se presenta un aumento de los valores de tensiones en la superficie del frontal metálico 1. Sin embargo, en ningún caso se supera el límite elástico del aluminio y, por tanto, se consideran valores aceptables de tensiones.

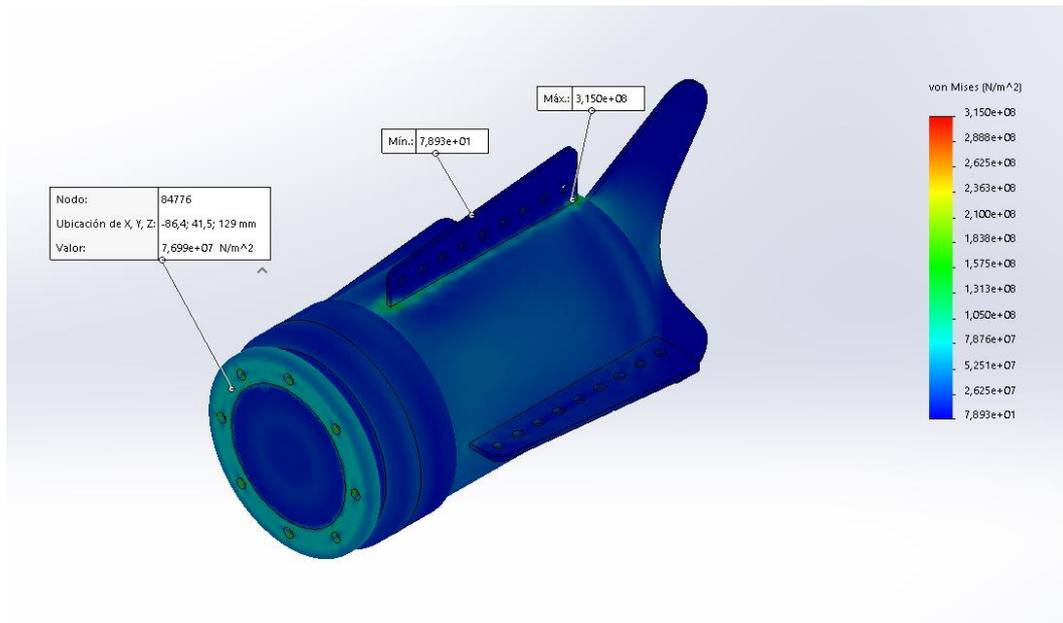


Figura 70. Resultados de tensiones de Von Mises.

A continuación, para visualizar correctamente las zonas del modelo que tienden a presentar valores superiores de tensiones de Von Mises, se representa los resultados utilizando la herramienta ISO-superficies, Figura 71. Esta herramienta, muestra las superficies del conjunto que presentan una tensión igual o superior en relación con un valor establecido como referencia. De esta forma se confirma que las tensiones máximas se encuentran en la unión de la aleta superior y en el frontal metálico 1 y, a su vez, se observa que las zonas de contacto entre las distintas piezas del frontal presentan valores de tensiones más elevados en comparación con el cuerpo de la carcasa.

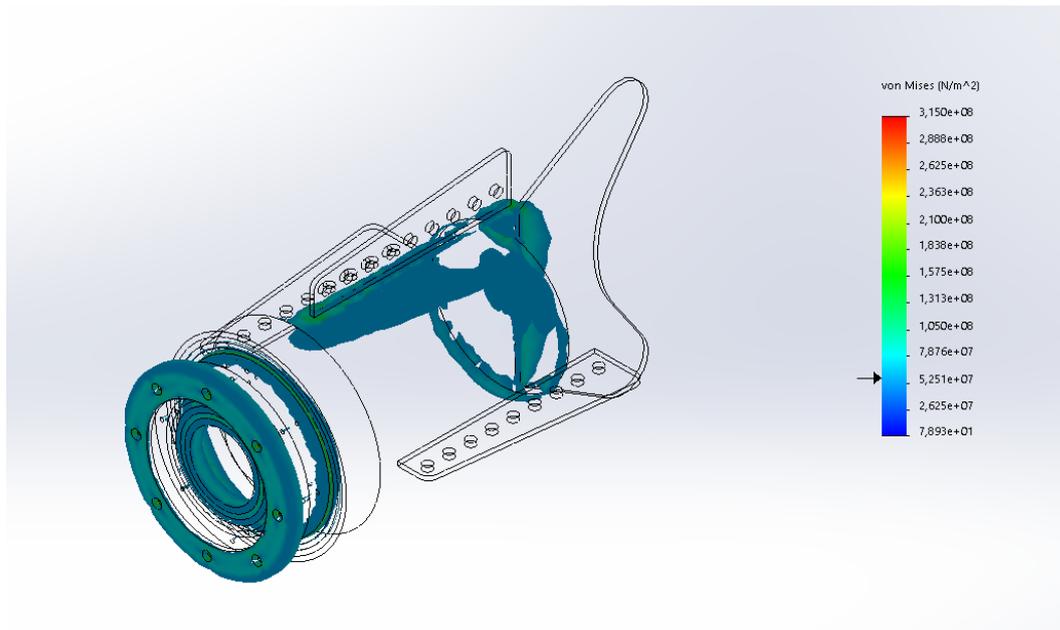


Figura 71. ISO-superficies de tensiones de Von Mises.

13.2.4.2. Desplazamientos

En la Tabla 9 se muestran, a modo de resumen, los resultados de desplazamientos mínimos y máximos.

Tabla 9. Resultados de desplazamientos mínimos y máximos.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 95065	8,796e-01 mm Nodo: 57496

En la Figura 72 se representa la distribución de los valores de desplazamientos en el modelo. Se puede observar que, los valores de desplazamiento máximo se encuentran en el frontal translúcido, debido a las propiedades mecánicas del material PMMA.

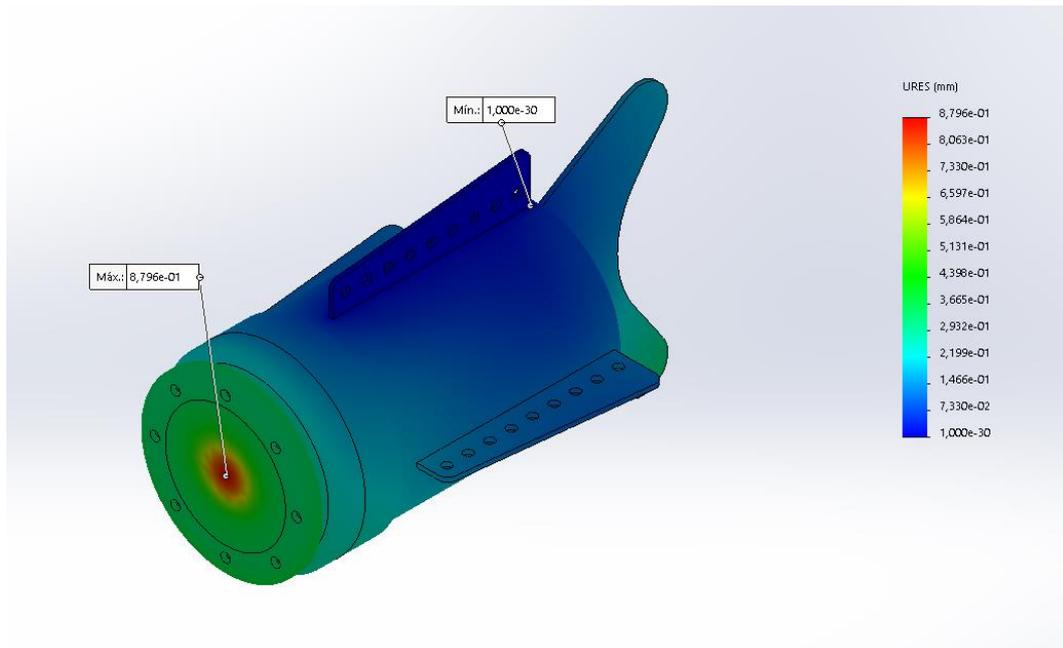


Figura 72. Resultados de desplazamientos.

A continuación, en la Figura 73 se representan los desplazamientos utilizando la herramienta ISO-superficies. De esta forma, se comprueba que la pieza que presenta desplazamientos más elevados es el frontal translúcido, alcanzando un máximo de 0,8796 mm.

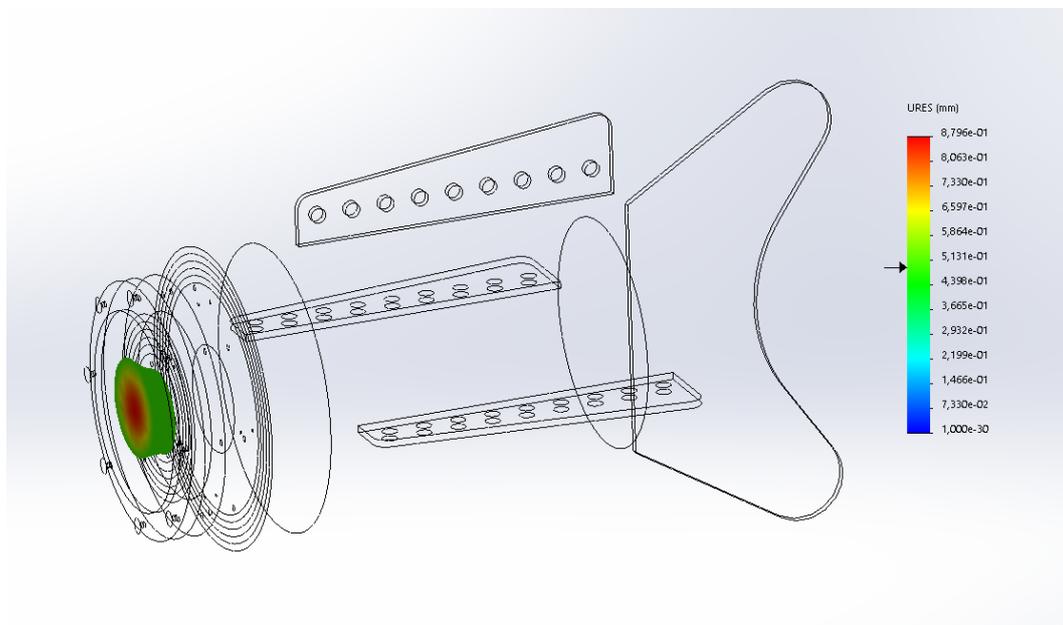


Figura 73. ISO-superficies de desplazamientos.

13.2.4.3. Factor de seguridad

Para analizar el factor de seguridad, se ha establecido un valor máximo de 10 para dicho parámetro. De esta forma, se podrá analizar correctamente la distribución del factor de seguridad en el conjunto. En la Tabla 10 se muestran, a modo de resumen, los resultados del factor de seguridad mínimo y máximo.

Tabla 10. Resultados del factor de seguridad mínimo y máximo.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad	Automático	1,304e+00 Nodo: 60295	1,000e+01 Nodo: 1

Tras analizar el modelo, Figura 74, se puede observar que se obtiene una distribución del factor de seguridad mínimo de 1,3. Atendiendo a las recomendaciones establecidas por el software se considera que:

- Un factor de seguridad inferior a 1,0 en una ubicación significa que el material que se encuentra en esa ubicación ha fallado.
- Un factor de seguridad de 1,0 en una ubicación significa que el material que se encuentra en esa ubicación ha empezado a fallar.
- Un factor de seguridad superior a 1 en una ubicación significa que el material que se encuentra en esa ubicación es seguro.
- El material que se encuentra en una ubicación empezará a fallar si se aplica nuevas cargas iguales a las actuales multiplicadas por el factor de seguridad resultante, teniendo en cuenta que las tensiones/deformaciones unitarias permanecen en el intervalo lineal [18].

Atendiendo a esto, el modelo no sufriría fallos y comenzaría a fallar si se aplica una carga igual o superior a 12,74 MPa.

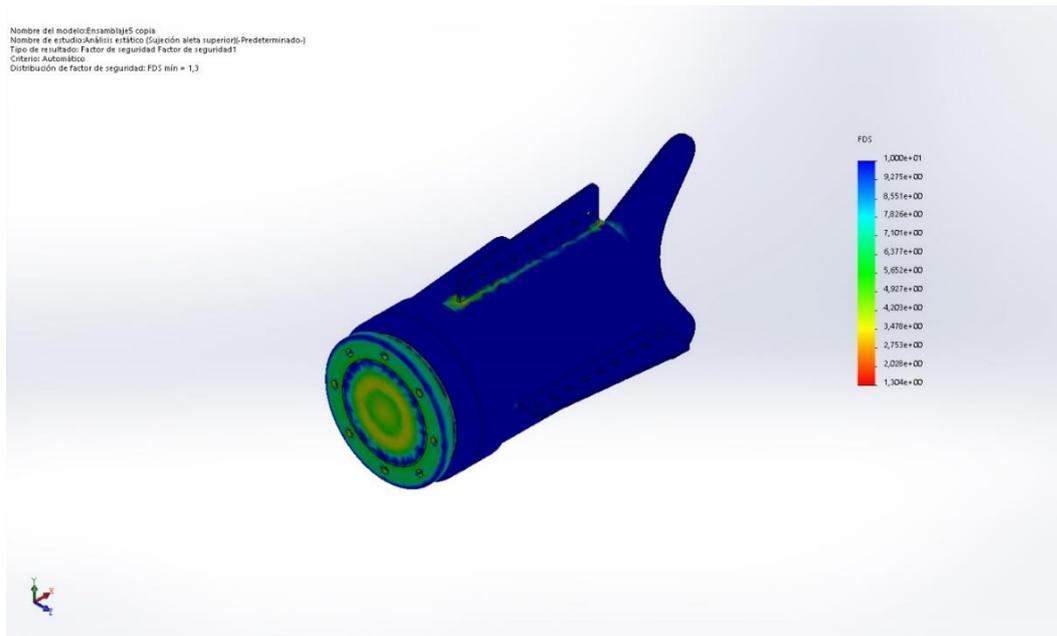


Figura 74. Resultados del factor de seguridad.

A continuación, se procede a analizar el factor de seguridad utilizando la herramienta de ISO-superficies.

En la Figura 75 se muestran las superficies que presentan un factor de seguridad inferior a 4. Tal y como se puede observar, la mayoría del conjunto presenta un factor de seguridad superior.

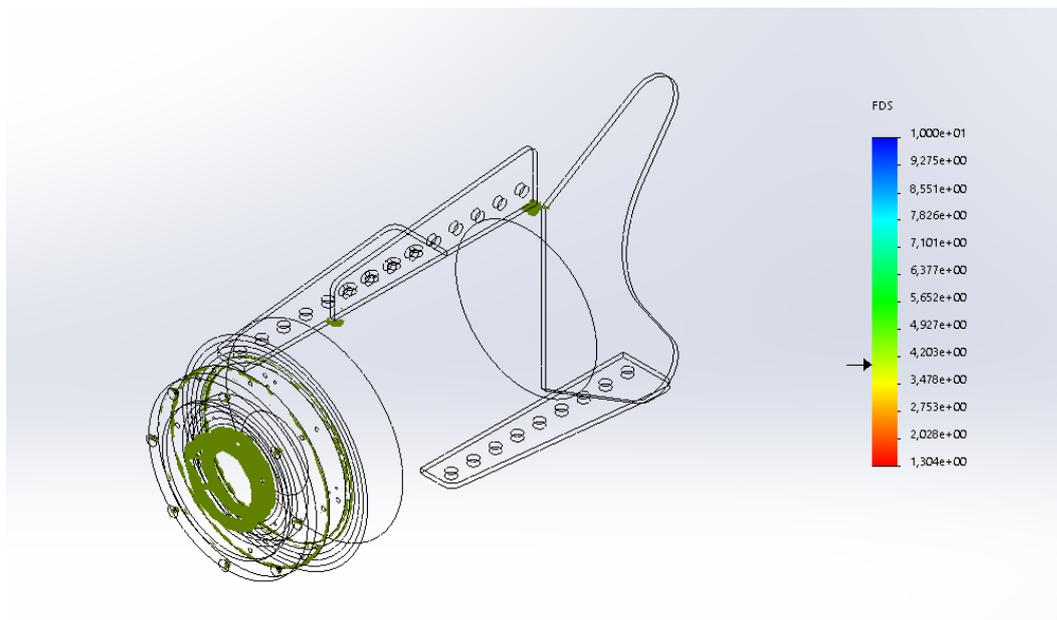


Figura 75. ISO-superficies de factor de seguridad inferior a 4.

A continuación, se muestra en la Figura 76 las ISO-superficies que presentan un factor de seguridad inferior a 2. Se puede observar que se trata de zonas muy puntales y,

por tanto, el conjunto en su mayoría cumpliría con los requerimientos establecidos inicialmente. Sin embargo, es conveniente prestar especial atención a los puntos indicados en la figura.

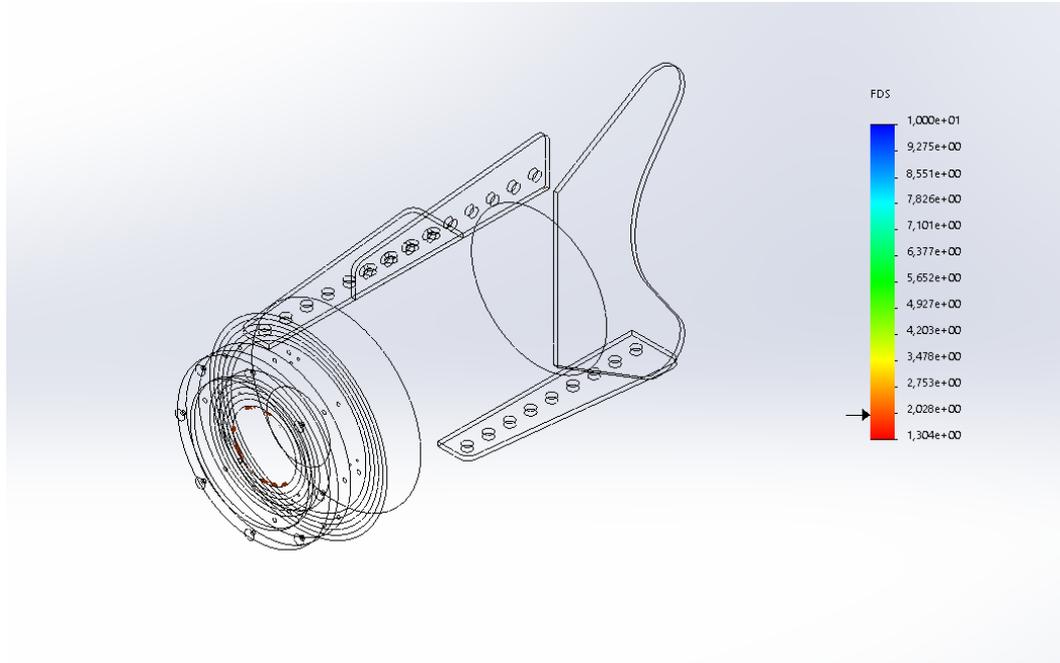


Figura 76. ISO-superficies de factor de seguridad inferior a 2.

13.3. Flotación y estabilidad

A continuación, se procede a analizar el comportamiento del cuerpo al ser totalmente sumergido. Para ello, se debe tener en cuenta la densidad del agua del mar. Mientras que la densidad del agua pura es de unos 1000 kg/m^3 , se considera que la densidad del agua del mar es de alrededor de 1027 kg/m^3 debido a su mayor salinidad. De esta forma, se obtiene un peso específico para el agua de mar de 10065 N/m^3 [19].

A continuación, se procede a estimar el volumen de agua que desaloja la carcasa. Para ello, no se tendrán en cuenta las aletas y se aproximará el cuerpo principal de la carcasa a un cilindro de radio 100 mm y longitud $363,01 \text{ mm}$, obteniéndose así el siguiente volumen:

$$V = \pi r^2 h = \pi * 100^2 * 363,01 = 11404295,49 \text{ mm}^3 = 0,0114 \text{ m}^3$$

La masa del conjunto es de alrededor de $16,78 \text{ kg}$.

$$\gamma_c = \frac{P}{V_c} = \frac{16,78 * 9,81}{0,0114} = 14439,63 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

Por tanto, se observa que el peso específico medio del cuerpo γ_c es superior al peso específico del agua de mar y, por tanto, la carcasa tenderá a hundirse.

14. Trabajos pendientes

Se prevé que la carcasa diseñada se sumerja estando sujeta desde la superficie mediante una cuerda trenzada de nylon de alrededor de 20 mm de diámetro. Esta cuerda se encontrará graduada de forma que presente distintas marcas que indiquen los metros a los que se encuentra sumergida la carcasa. De esta forma, permitirá al usuario sumergir el conjunto a la profundidad deseada.

Un efecto que puede producirse es el balanceo vertical de la carcasa como consecuencia del oleaje en la superficie. Se prevé como trabajo futuro, una vez comprobado si existe este efecto de balanceo en las imágenes capturadas, dar solución a dicho problema mediante un sistema de boyas.

15. Conclusiones

Tras la realización de este proyecto se ha conseguido, desde el punto de vista del cálculo y diseño, proporcionar una solución óptima a las necesidades propuestas por el equipo de investigación del proyecto DeepCom para obtener imágenes y mediciones a 1000 metros de profundidad.

16. Conclusions

After carrying out this project, it has been possible, from the point of view of calculation and design, to provide an optimal solution to the needs proposed by the research team of the project “DeepCom” to obtain images and measurements at a depth of 1000 meters.

17. Bibliografía

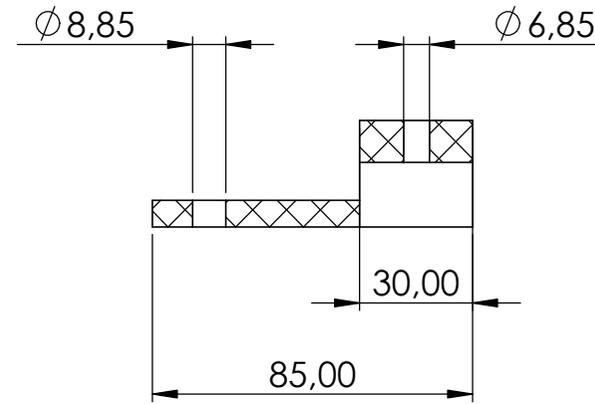
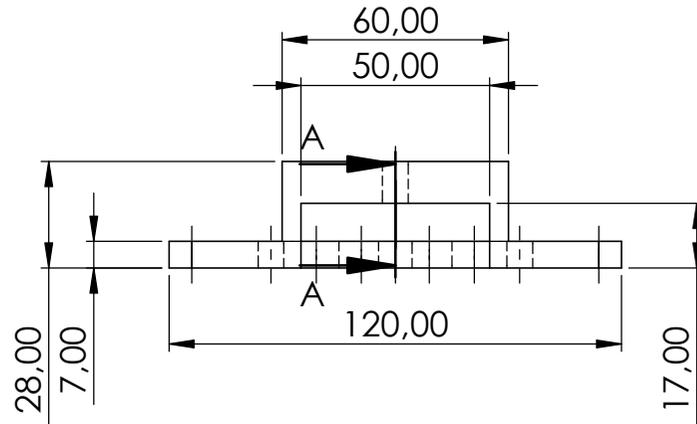
- [1] C. M. Duarte, «La exploración de la biodiversidad marina: desafíos científicos y tecnológicos», p. 160.
- [2] «Exploración de las profundidades marinas», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. oct. 29, 2019, Accedido: feb. 12, 2020. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Exploraci%C3%B3n_de_las_profundidades_marinas&oldid=120857572.
- [3] A. J. Turchik, E. J. Berkenpas, B. S. Henning, y C. M. Shepard, «The Deep Ocean Dropcam: A highly deployable benthic survey tool», en *OCEANS 2015 - MTS/IEEE Washington*, oct. 2015, pp. 1-8, doi: 10.23919/OCEANS.2015.7401978.
- [4] European Commission y Directorate-General for Maritime Affairs and Fisheries, *Conocimiento del medio marino 2020: de la cartografía de los fondos marinos a las previsiones oceánicas: libro verde*. Luxembourg: Publications Office, 2012.
- [5] «DeepCom. Comunidades biológicas de aguas profundas mesopelágicas de Canarias (2018-2020)». <http://www.ba.ieo.es/es/investigacion/grupos-de-investigacion/acusdeep/proyectos/2185-deepcom-comunidades-biologicas-de-aguas-profundas-mesopelagicas-de-canarias-2018-2020> (accedido mar. 25, 2020).
- [6] «Mini LED 23W». <http://www.dwtekmarine.com/product-Mini-LED-mini-01.html> (accedido jun. 17, 2020).
- [7] «Conectores SubConn Micro». <http://www.marinevision.es/es/diving-pro/subconn/micro.html> (accedido jul. 09, 2020).
- [8] «K0051 - Cierre de tracción de acero inoxidable by HEINRICH KIPP WERK KG | DirectIndustry». <https://www.directindustry.es/prod/heinrich-kipp-werk-kg/product-12621-880351.html> (accedido ago. 28, 2020).
- [9] «08-Epidor-Seals-and-Rubber-Technology-Catalogo-Juntas-Toricas.pdf». Accedido: abr. 29, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://epidor.com/documentos/08-Epidor-Seals-and-Rubber-Technology-Catalogo-Juntas-Toricas.pdf>.
- [10] «o_ring_es.pdf». Accedido: abr. 29, 2020. [En línea]. Disponible en: https://www.tss.trelleborg.com/-/media/tss-media-repository/tss_website/pdf-and-other-literature/catalogs/o_ring_es.pdf?revision=c6221357-f508-4ac2-9c69-7eeb1b41927b.
- [11] «Sony Cámara digital ultracompacta RX0, resistente al agua y los golpes», *Sony*. <https://www.sony.es/electronics/camaras-compactas-cyber-shot/dsc-rx0-dsc-rx0g> (accedido jun. 17, 2020).
- [12] Robert L. Norton, *Diseño de máquinas*. México [etc.]: Prentice-Hall, 1999.
- [13] V. I. Feodosiev, *Resistencia de materiales*. Moscú: Mir, 1972.

- [14] «2017 Ayuda de SOLIDWORKS - Tipos de estudio». http://help.solidworks.com/2017/spanish/SolidWorks/cworks/c_Study_Types.htm (accedido jul. 27, 2020).
- [15] F. J. Arregui de la Cruz, E. Cabrera Rochera, R. Cobacho Jordán, E. Gómez Sellés, y J. Soriano Olivares, *Apuntes de mecánica de fluidos*. Universitat Politècnica de València, 2017.
- [16] «UNE-EN ISO 7047:2012 Tornillos de cabeza avellanada, abombada ...» <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0048686> (accedido jul. 08, 2020).
- [17] «2018 Ayuda de SOLIDWORKS - Análisis estático lineal». http://help.solidworks.com/2018/spanish/SolidWorks/cworks/c_Linear_Static_Analysis.htm (accedido jun. 07, 2020).
- [18] «2018 Ayuda de SOLIDWORKS - Comprobación del Factor de seguridad». http://help.solidworks.com/2018/spanish/SolidWorks/cworks/c_Factor_of_Safety_Check.htm (accedido jun. 18, 2020).
- [19] «Tablas de Densidad y Peso Específico ATPP». Accedido: jul. 28, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.atpplleal.com/userfiles/files/densidad-y-peso-especifico.pdf>.

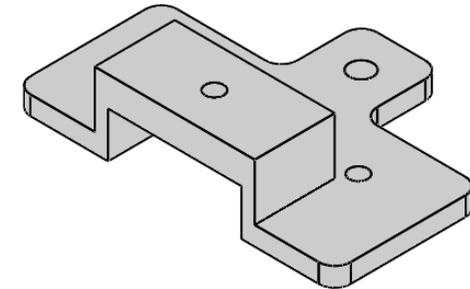
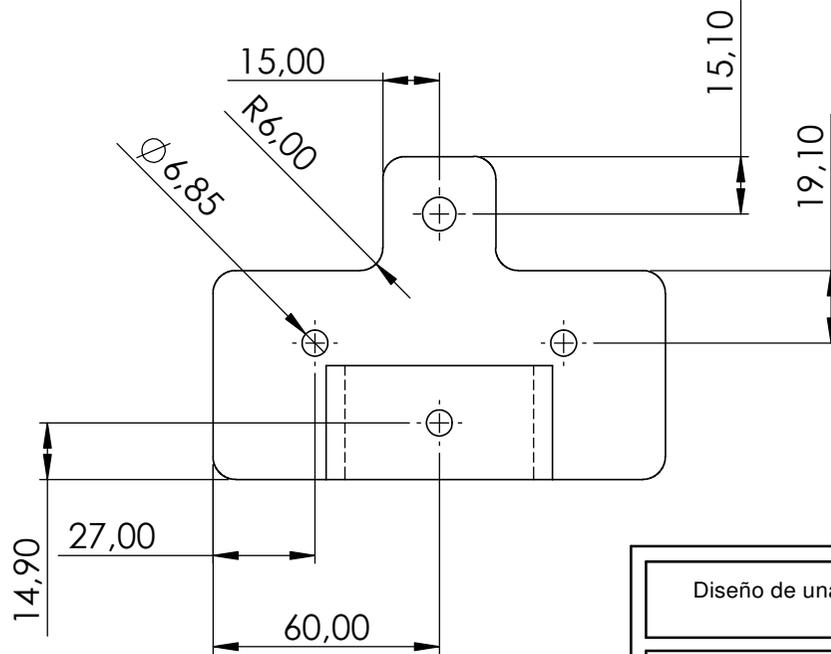
Planos

Índice de planos

1. Plano N.º 1: Soporte de Cámara.
2. Plano N.º 2: Tapa de la Caja de Electrónica.
3. Plano N.º 3: Recipiente de la Caja de Electrónica.
4. Plano N.º 4: Plano de Conjunto.
5. Plano N.º 5: Subconjunto: Frontal de la Carcasa.
6. Plano N.º 6: Perspectiva de la Estructura Interior.
7. Plano N.º 7: Frontal Metálico 1.
8. Plano N.º 8: Frontal Translúcido.
9. Plano N.º 9: Frontal Metálico 2.
10. Plano N.º 10: Carcasa.
11. Plano N.º 11: Frontal Interior.
12. Plano N.º 12: Barra.
13. Plano N.º 13: Separador Móvil.
14. Plano N.º 14: Base para Placa Electrónica.
15. Plano N.º 15: Base para Baterías.
16. Plano N.º 16: Separador Lateral para Baterías.
17. Plano N.º 17: Barra para Colocación de Focos 1.
18. Plano N.º 18: Barra para Colocación de Focos 2.
19. Plano N.º 19: Separador.
20. Plano N.º 20: Acople de Cámara.



SECCIÓN A-A



Diseño de una carcasa ligera para una cámara destinada a la obtención de imágenes de alta resolución en aguas profundas mesopelágicas de Canarias, vinculada al proyecto DeepCom de la ULL

Autor: Carmen Corbella Pardo

Id. s. normas:

UNE-EN-DIN



Universidad
de La Laguna

ESCUELA DE DOCTORADO Y
ESTUDIOS DE POSGRADO
Máster Universitario en
Ingeniería Industrial
Universidad de La Laguna

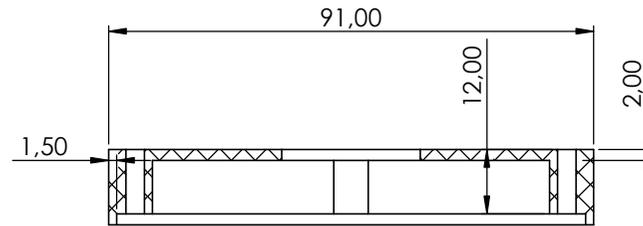
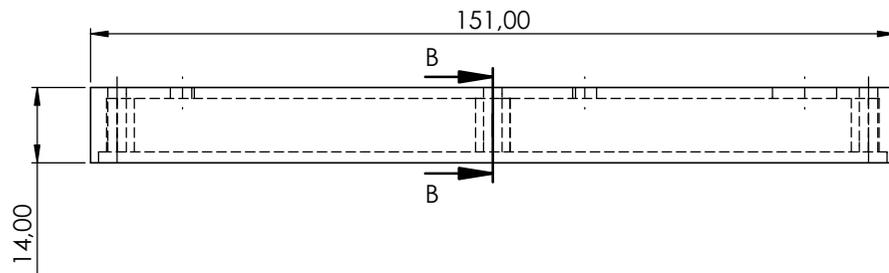
Comprobado: Septiembre 2020

ESCALA:

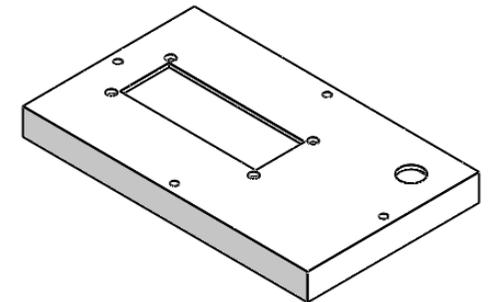
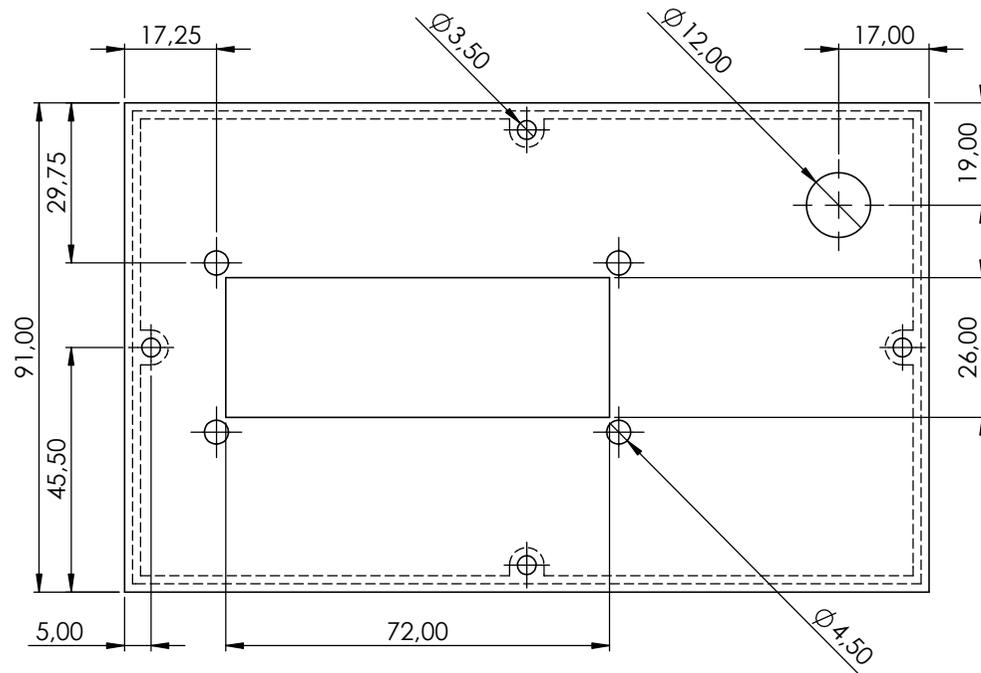
1:2

Soporte de Cámara

Nº PLANO:1



SECCIÓN B-B



Diseño de una carcasa ligera para una cámara destinada a la obtención de imágenes de alta resolución en aguas profundas mesopelágicas de Canarias, vinculada al proyecto DeepCom de la ULL

Autor: Carmen Corbella Pardo

Id. s. normas:

UNE-EN-DIN



Universidad
de La Laguna

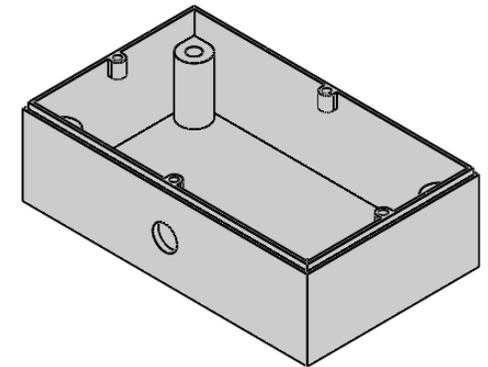
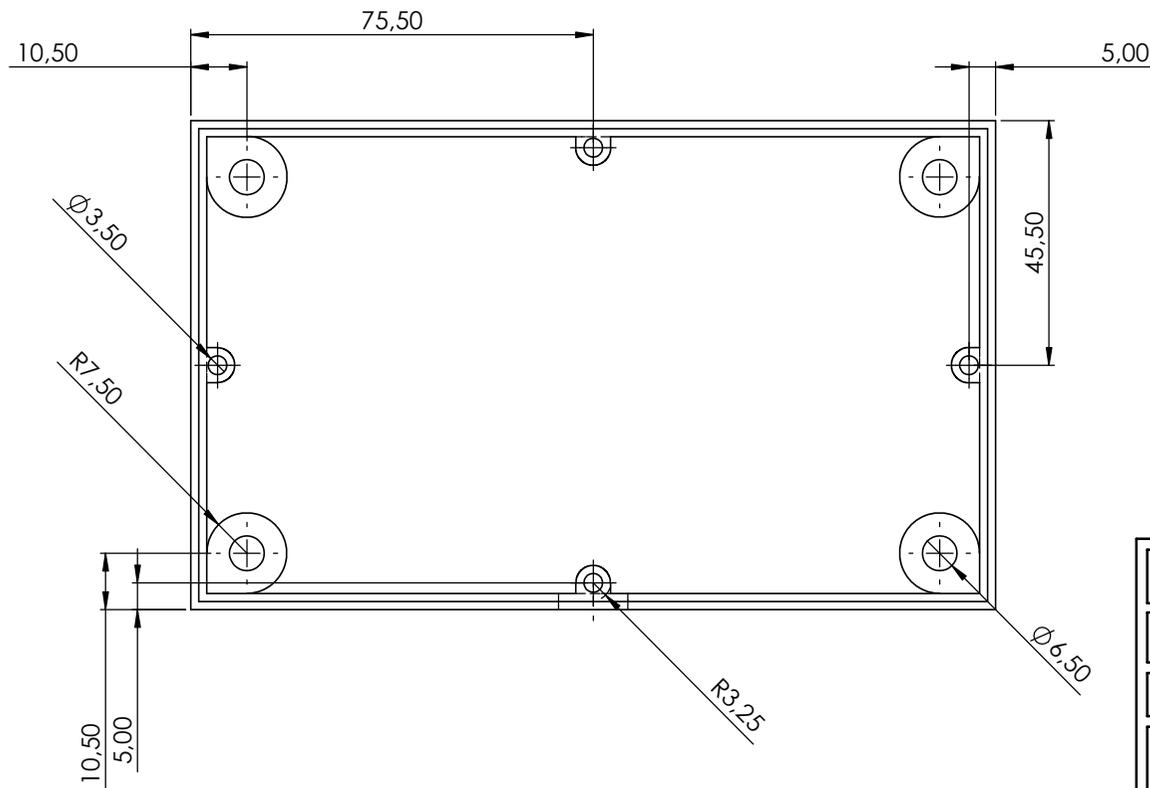
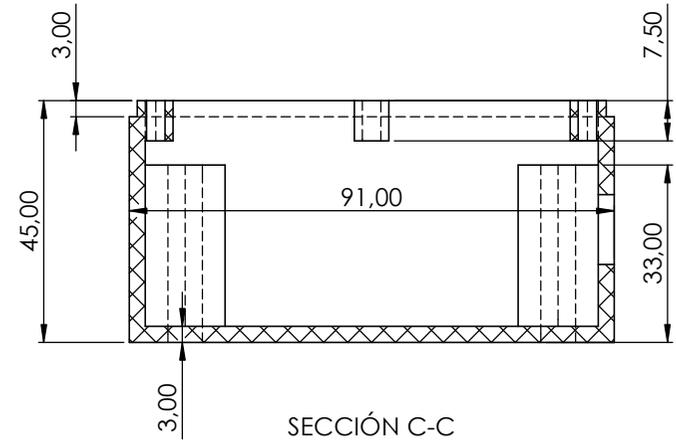
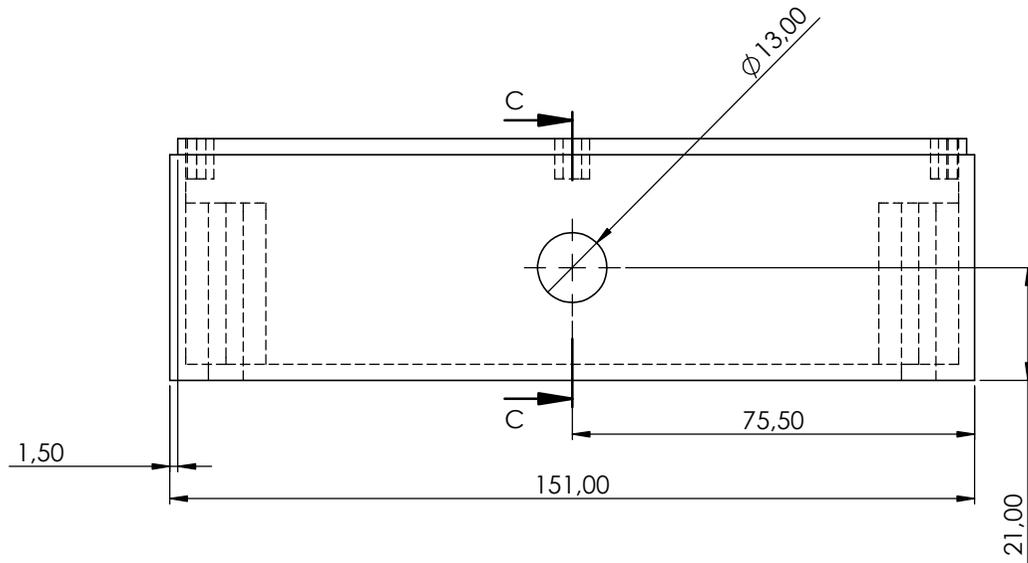
ESCUELA DE DOCTORADO Y
ESTUDIOS DE POSGRADO
Máster Universitario en
Ingeniería Industrial
Universidad de La Laguna

Comprobado: Septiembre 2020

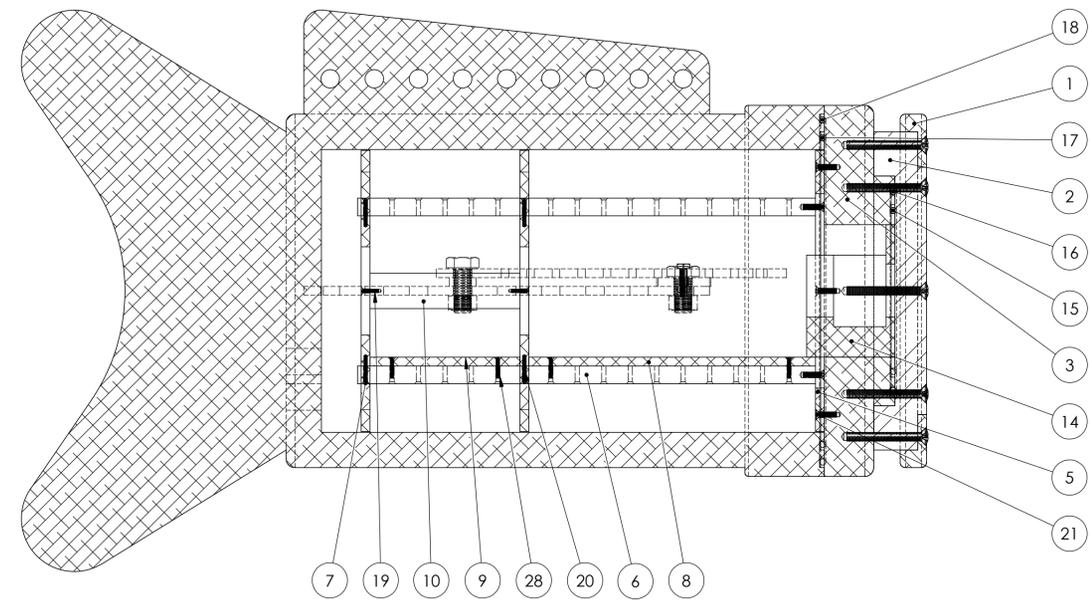
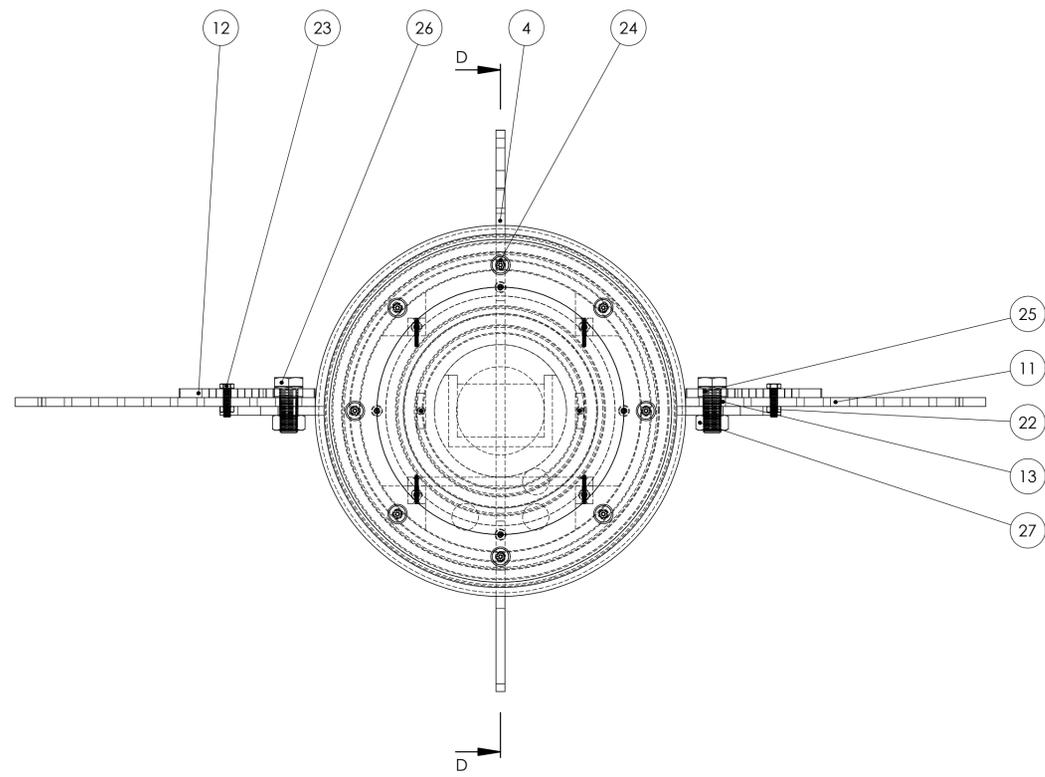
ESCALA:
1:1

Tapa de la Caja de Electrónica

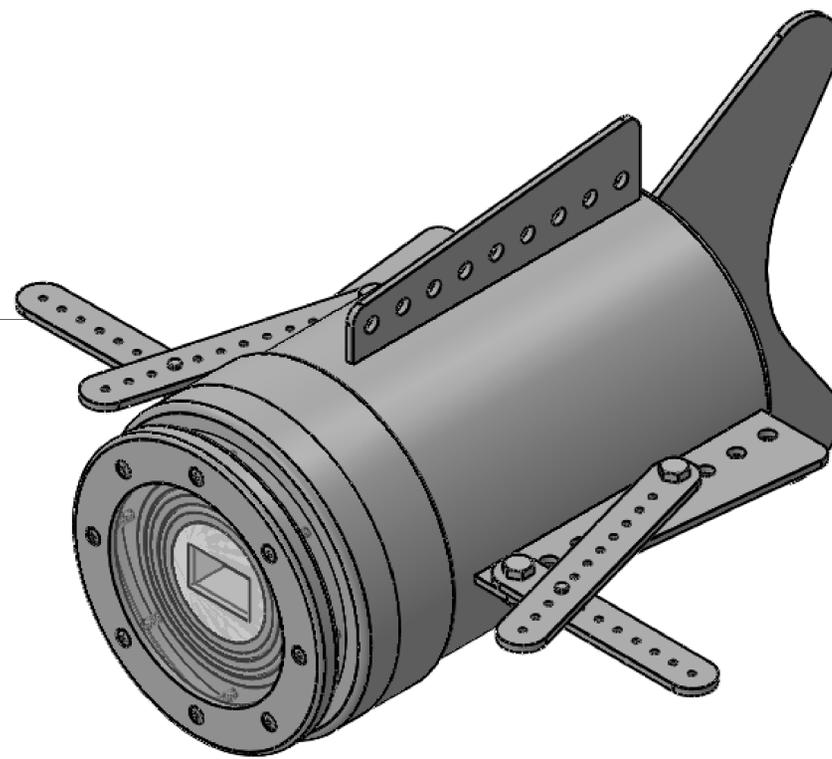
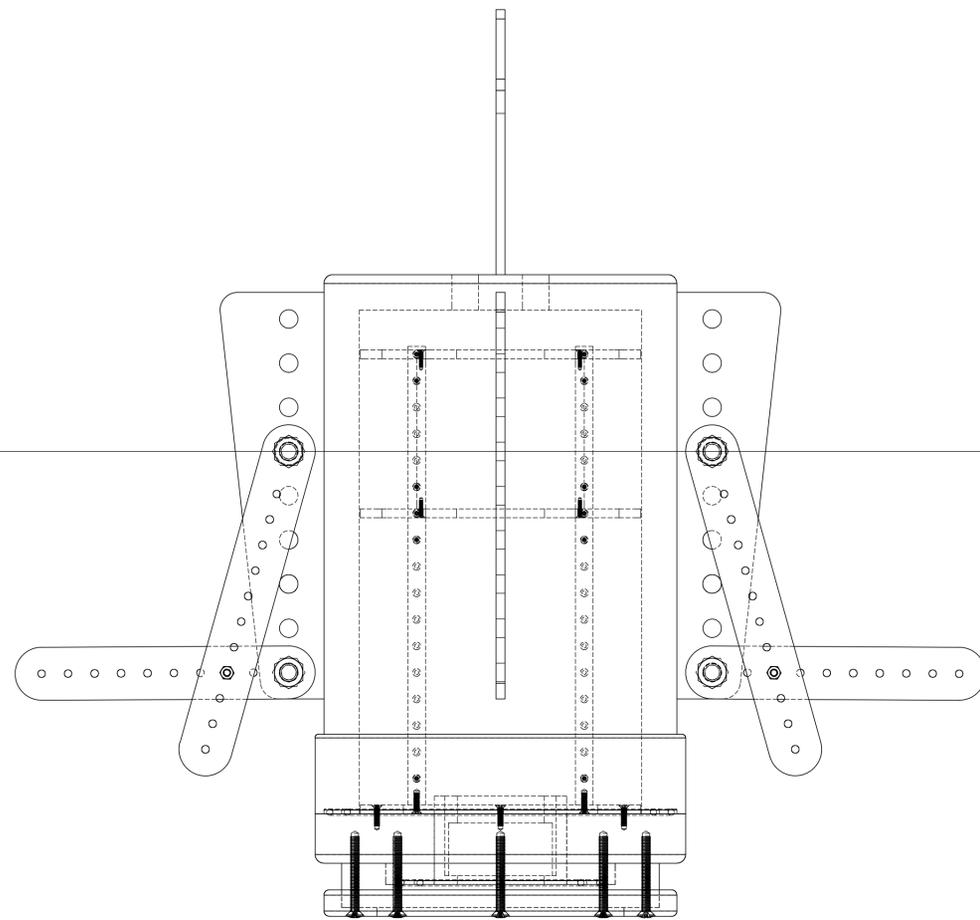
Nº PLANO:2



Diseño de una carcasa ligera para una cámara destinada a la obtención de imágenes de alta resolución en aguas profundas mesopelágicas de Canarias, vinculada al proyecto DeepCom de la ULL			
Autor: Carmen Corbella Pardo	Id. s. normas: UNE-EN-DIN	 Universidad de La Laguna	ESCUELA DE DOCTORADO Y ESTUDIOS DE POSGRADO Máster Universitario en Ingeniería Industrial Universidad de La Laguna
Comprobado: Septiembre 2020	ESCALA: 1:1		Nº PLANO:3
Recipiente Contenedor de la Caja de Electrónica			



SECCIÓN D-D

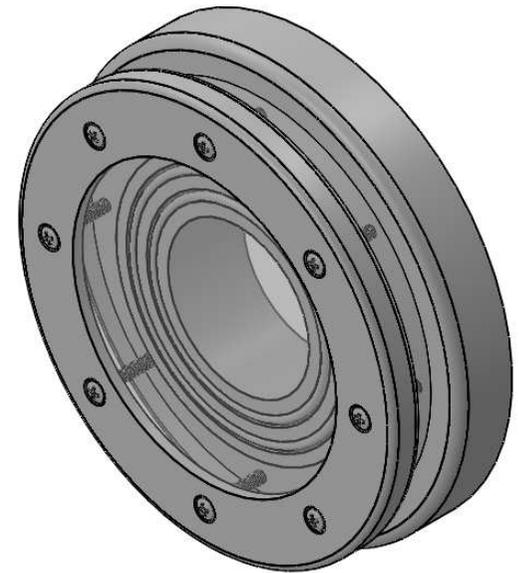
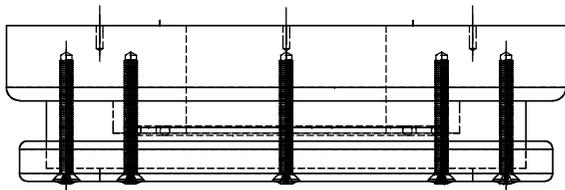
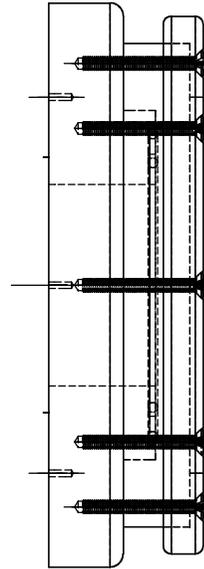
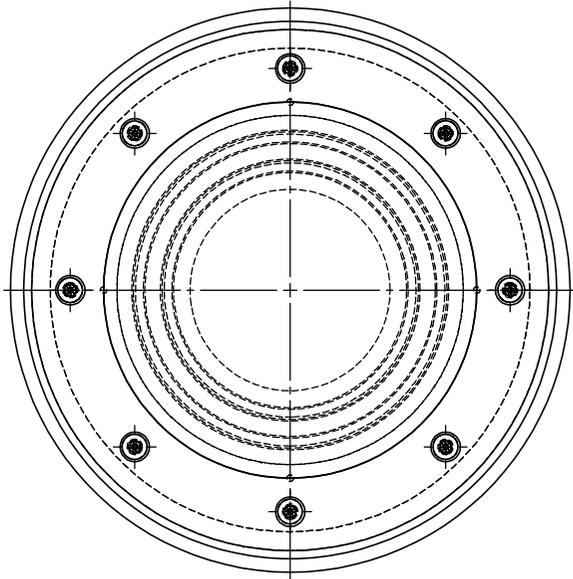


N.º DE PIEZA	DESIGNACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	Frontal Metálico 1	Aluminio 7075-T6 (SN)	1
2	Frontal Translúcido	PMMA	1
3	Frontal Metálico 2	Aluminio 7075-T6 (SN)	1
4	Carcasa Exterior	Aluminio 7075-T6 (SN)	1
5	Frontal Interior	PVC Rígido	1
6	Barra	Aleación Aluminio 1060	4
7	Separador Interior	PVC Rígido	2
8	Base para Placa Electrónica	PVC Rígido	1
9	Base para Baterías	PVC Rígido	1
10	Separador Lateral para Baterías	PVC Rígido	2
11	Barra para Colocación de Focos 1	Aluminio 7075-T6 (SN)	2
12	Barra para Colocación de Focos 2	Aluminio 7075-T6 (SN)	2
13	Separador	Aluminio 7075-T6 (SN)	2
14	Acople de Cámara	PLA	1
15	O-ring 87.5x3.55-B-ISO 3601-1		1
16	O-ring 109x3.55-B-ISO 3601-1		1
17	O-ring 170x3.55-B-ISO 3601-1		1
18	O-ring 190x3.55-B-ISO 3601-1		1
19	ISO 7046-1 - M2 x 10 - Z - 10S		4
20	ISO 7046-1 - M2 x 16 - Z - 16S		16
21	ISO 7046-1 - M3 x 12 - Z - 12S		8
22	ISO - 4032 - M4 - D - S		2
23	ISO 4017 - M4 x 16-S		2
24	ISO 7047 - M5 x 45 - Z - 45S		8
25	ISO 4017 - M10 x 20-S		2
26	ISO 4017 - M10 x 25-S		2
27	ISO - 4032 - M10 - D - S		4
28	ISO 7046-1 - M2 x 12 - Z - 12S		8

Diseño de una carcasa ligera para una cámara destinada a la obtención de imágenes de alta resolución en aguas profundas mesopelágicas de Canarias, vinculada al proyecto DeepCom de la ULL

Autor: Carmen Corbella Pardo
 Comprobado: Septiembre 2020
 Id. s. normas: UNE-EN-DIN
 Universidad de La Laguna
 ESCUELA DE DOCTORADO Y ESTUDIOS DE POSGRADO
 Máster Universitario en Ingeniería Industrial
 Universidad de La Laguna

ESCALA: 1:2
 Plano de Conjunto
 N.º PLANO:4



Diseño de una carcasa ligera para una cámara destinada a la obtención de imágenes de alta resolución en aguas profundas mesopelágicas de Canarias, vinculada al proyecto DeepCom de la ULL

Autor: Carmen Corbella Pardo

Id. s. normas:



ESCUELA DE DOCTORADO Y
ESTUDIOS DE POSGRADO
Máster Universitario en
Ingeniería Industrial
Universidad de La Laguna

Comprobado: Septiembre 2020

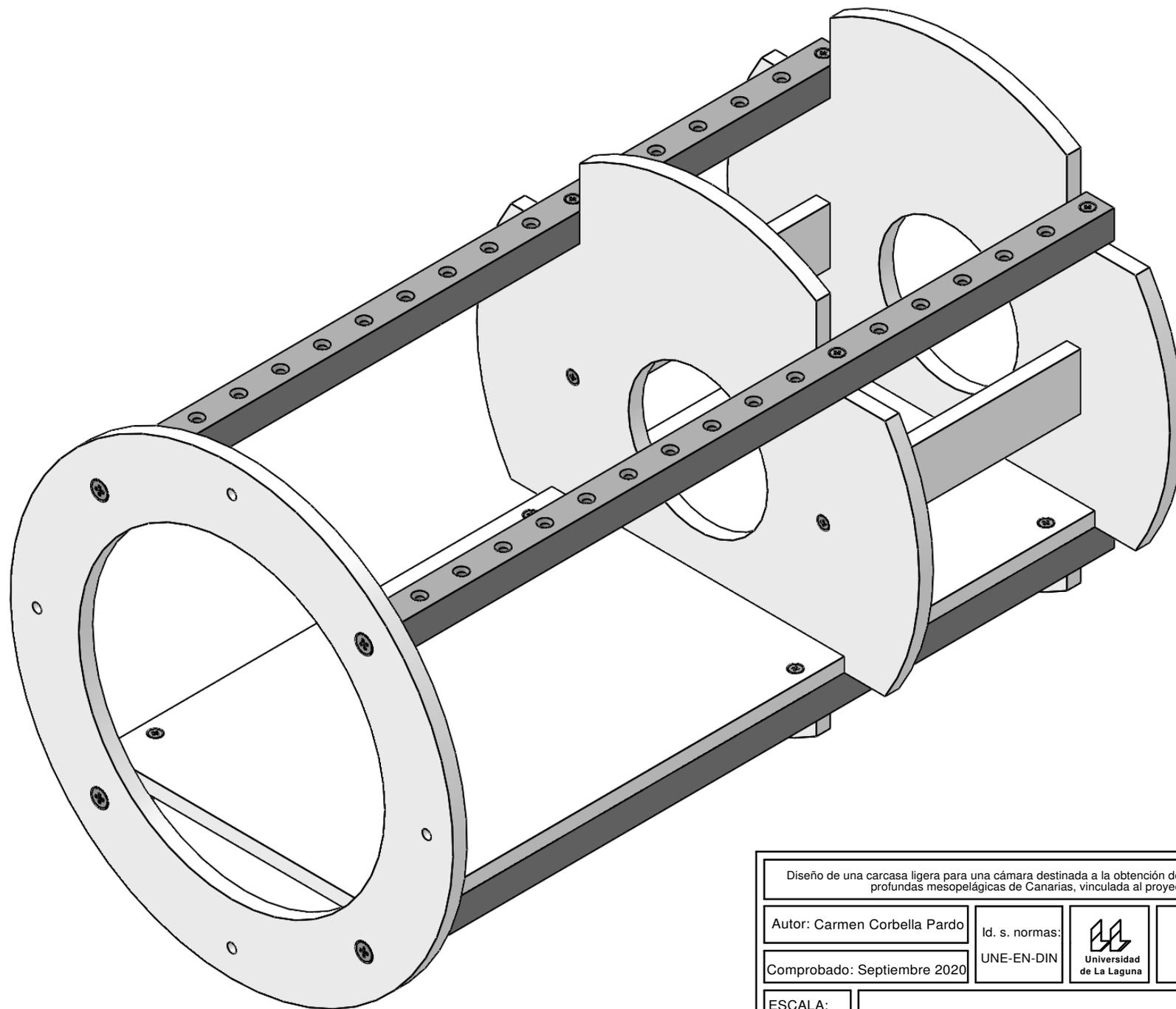
UNE-EN-DIN

Universidad
de La Laguna

ESCALA:
1:2

Subconjunto: Frontal de la Carcasa

Nº PLANO:5



Diseño de una carcasa ligera para una cámara destinada a la obtención de imágenes de alta resolución en aguas profundas mesopelágicas de Canarias, vinculada al proyecto DeepCom de la ULL

Autor: Carmen Corbella Pardo

Id. s. normas:



UNE-EN-DIN

Universidad
de La Laguna

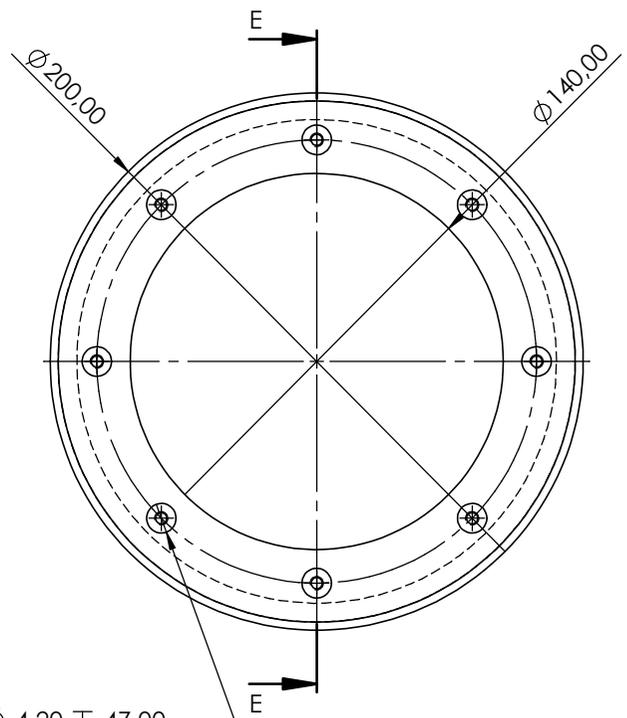
ESCUELA DE DOCTORADO Y
ESTUDIOS DE POSGRADO
Máster Universitario en
Ingeniería Industrial
Universidad de La Laguna

Comprobado: Septiembre 2020

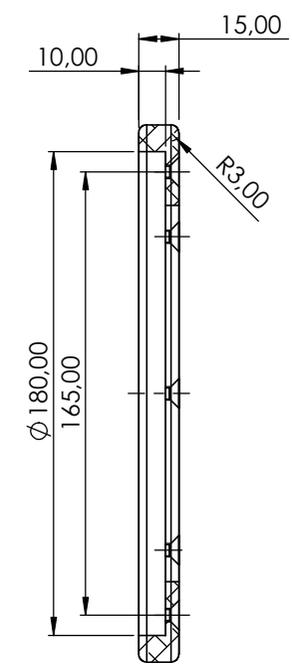
ESCALA:
1:1

Perspectiva de la Estructura Interior

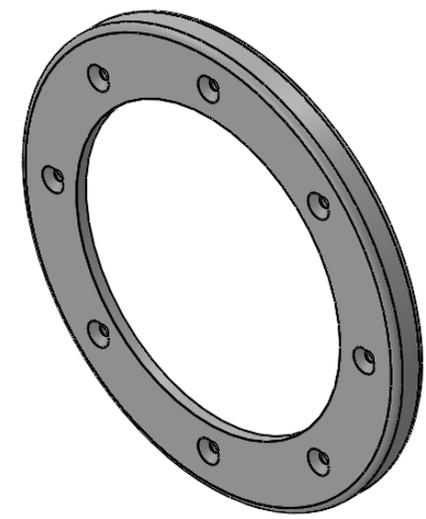
Nº PLANO:6



8 x ϕ 4,20 ∇ 47,00
 M5 - 6H ∇ 45,00
 \surd ϕ 11,05 X 90°, Lado cercano



SECCIÓN E-E



N.º DE PIEZA	DESIGNACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	Frontal Metálico 1	Aluminio 7075-T6 (SN)	1

Diseño de una carcasa ligera para una cámara destinada a la obtención de imágenes de alta resolución en aguas profundas mesopelágicas de Canarias, vinculada al proyecto DeepCom de la ULL

Autor: Carmen Corbella Pardo

Id. s. normas:



ESCUELA DE DOCTORADO Y ESTUDIOS DE POSGRADO
 Máster Universitario en Ingeniería Industrial
 Universidad de La Laguna

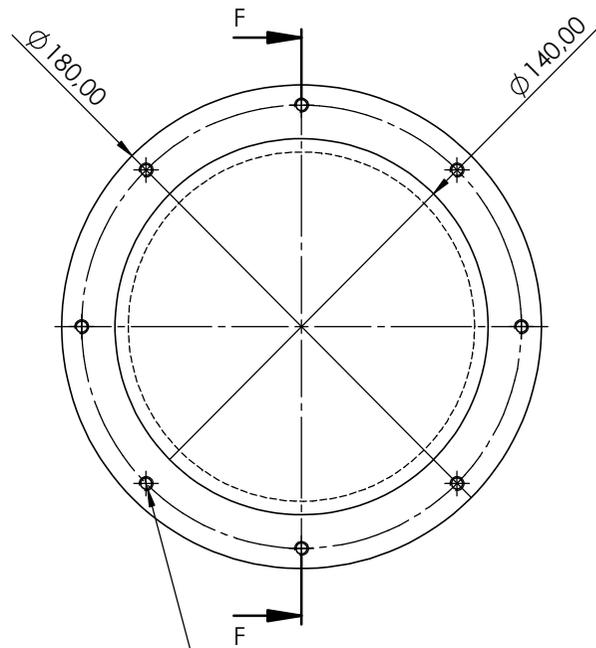
Comprobado: Septiembre 2020

UNE-EN-DIN

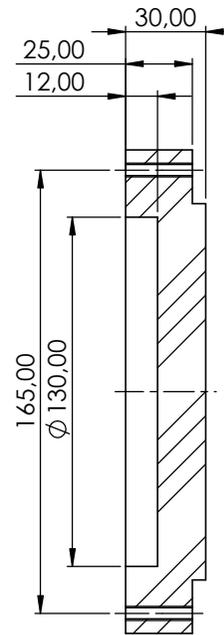
ESCALA:
1:2

Frontal Metálico 1

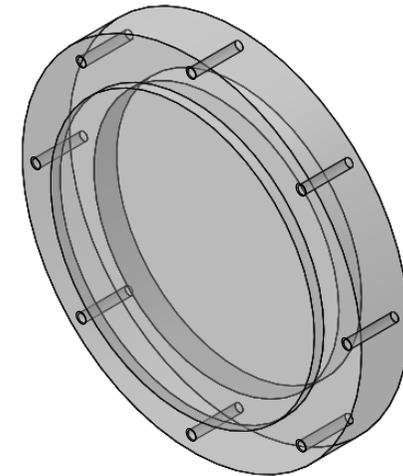
Nº PLANO:7



8 x $\phi 4,20 \nabla 47,00$
M5 - 6H $\nabla 45,00$
 $\surd \phi 11,05 \times 90^\circ$, Lado cercano



SECCIÓN F-F



N.º DE PIEZA	DESIGNACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
2	Frontal Translúcido	PMMA	1

Diseño de una carcasa ligera para una cámara destinada a la obtención de imágenes de alta resolución en aguas profundas mesopelágicas de Canarias, vinculada al proyecto DeepCom de la ULL

Autor: Carmen Corbella Pardo

Id. s. normas:



ESCUELA DE DOCTORADO Y ESTUDIOS DE POSGRADO
Máster Universitario en Ingeniería Industrial
Universidad de La Laguna

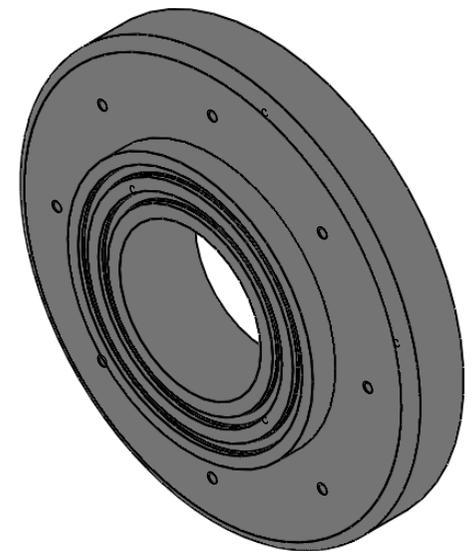
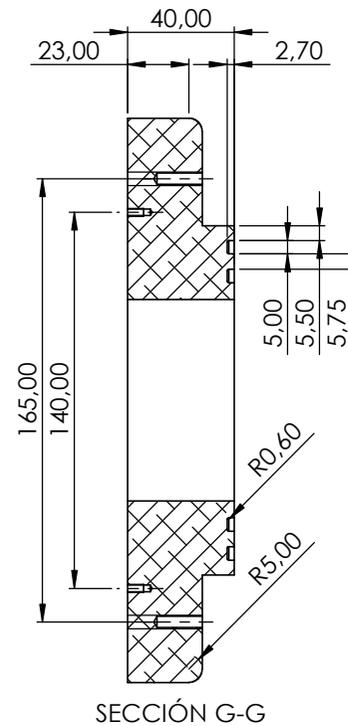
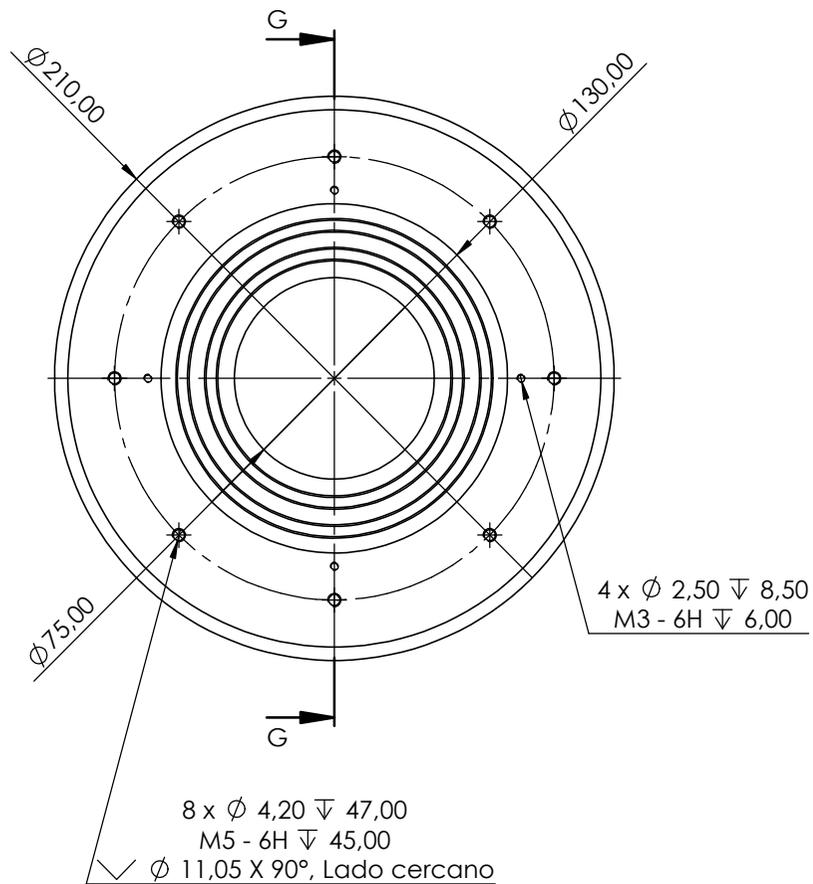
Comprobado: Septiembre 2020

UNE-EN-DIN

ESCALA:
1:2

Frontal Translúcido

Nº PLANO:8



N.º DE PIEZA	DESIGNACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
3	Frontal Metálico 2	Aluminio 7075-T6 (SN)	1

Diseño de una carcasa ligera para una cámara destinada a la obtención de imágenes de alta resolución en aguas profundas mesopelágicas de Canarias, vinculada al proyecto DeepCom de la ULL

Autor: Carmen Corbella Pardo

Id. s. normas:



ESCUELA DE DOCTORADO Y
 ESTUDIOS DE POSGRADO
 Máster Universitario en
 Ingeniería Industrial
 Universidad de La Laguna

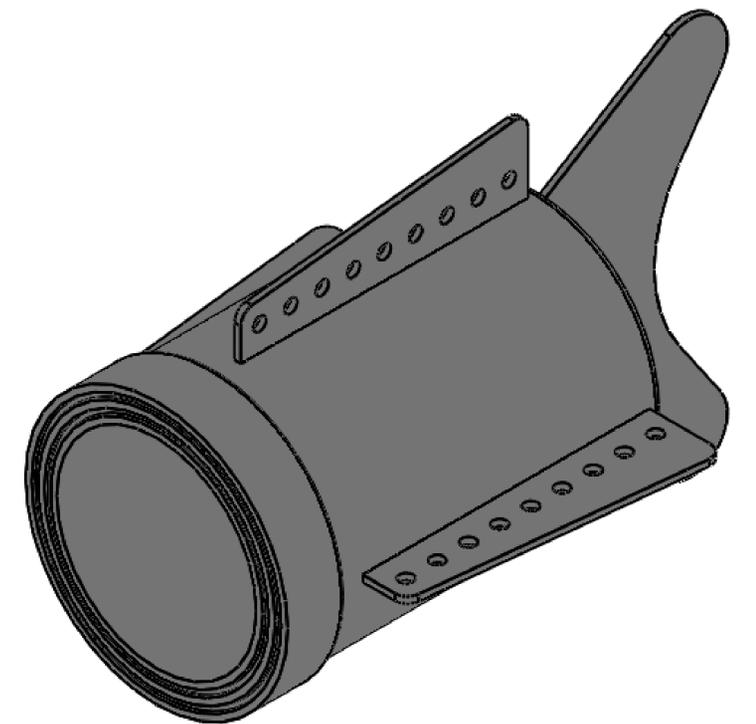
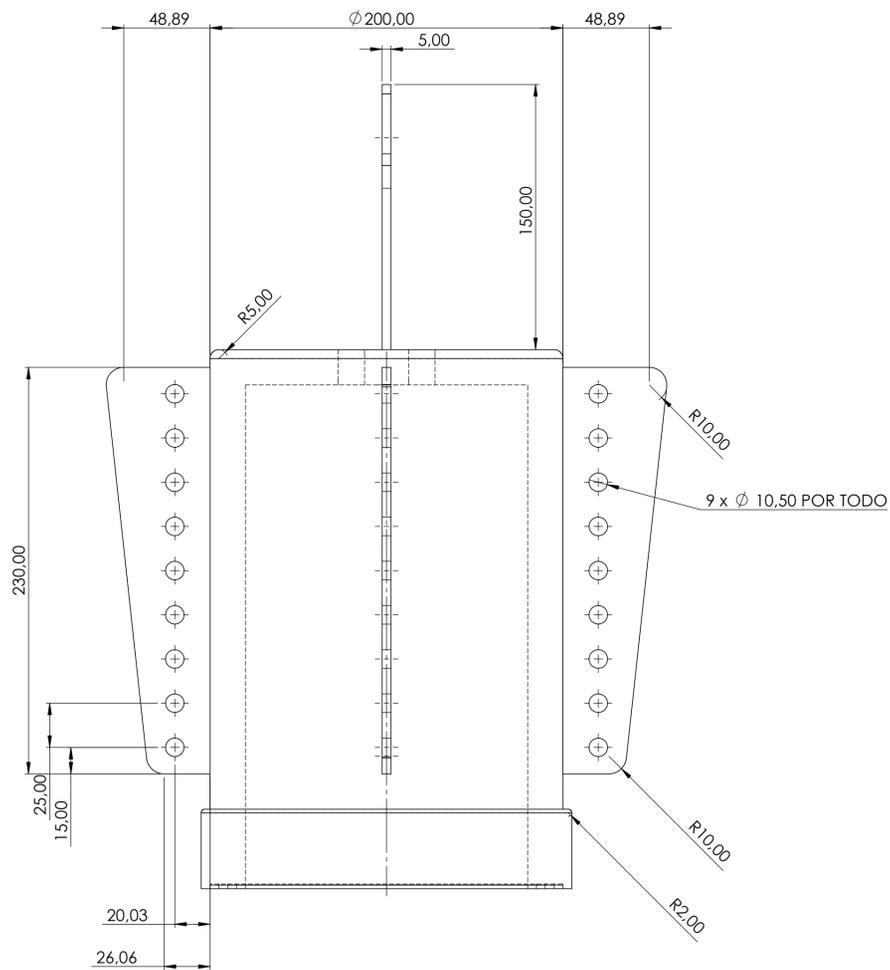
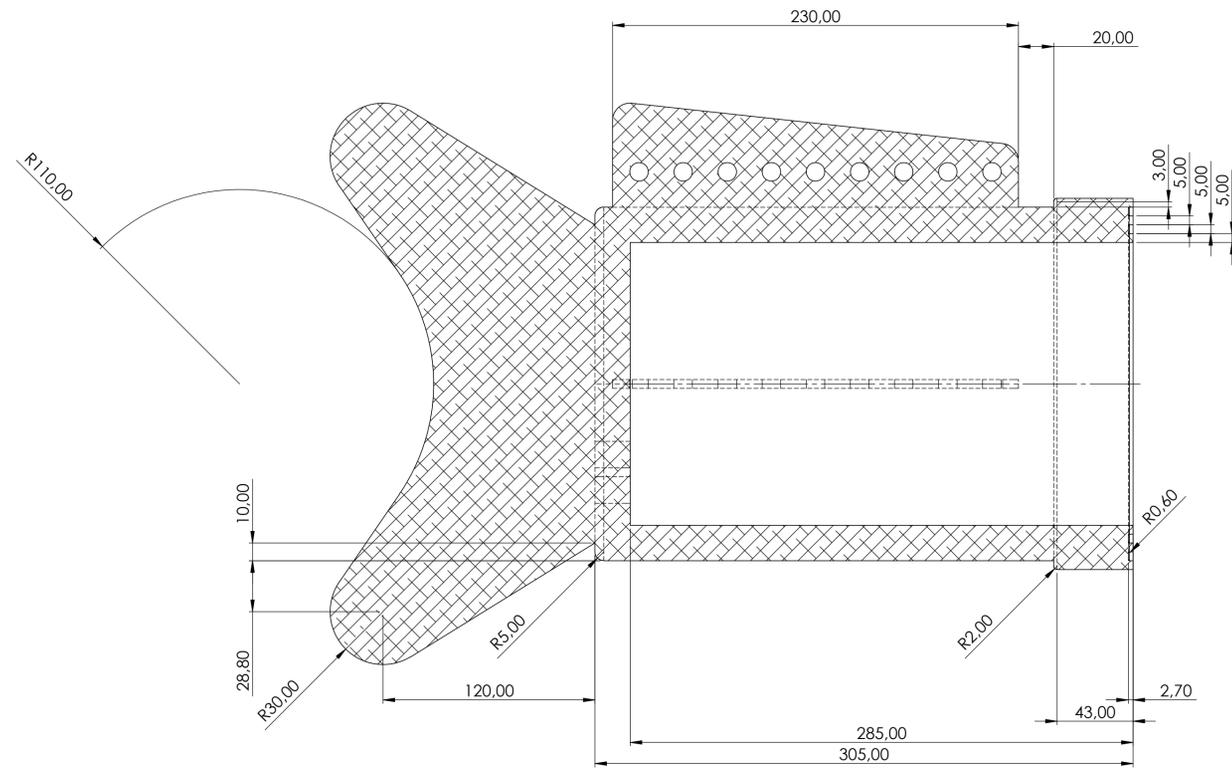
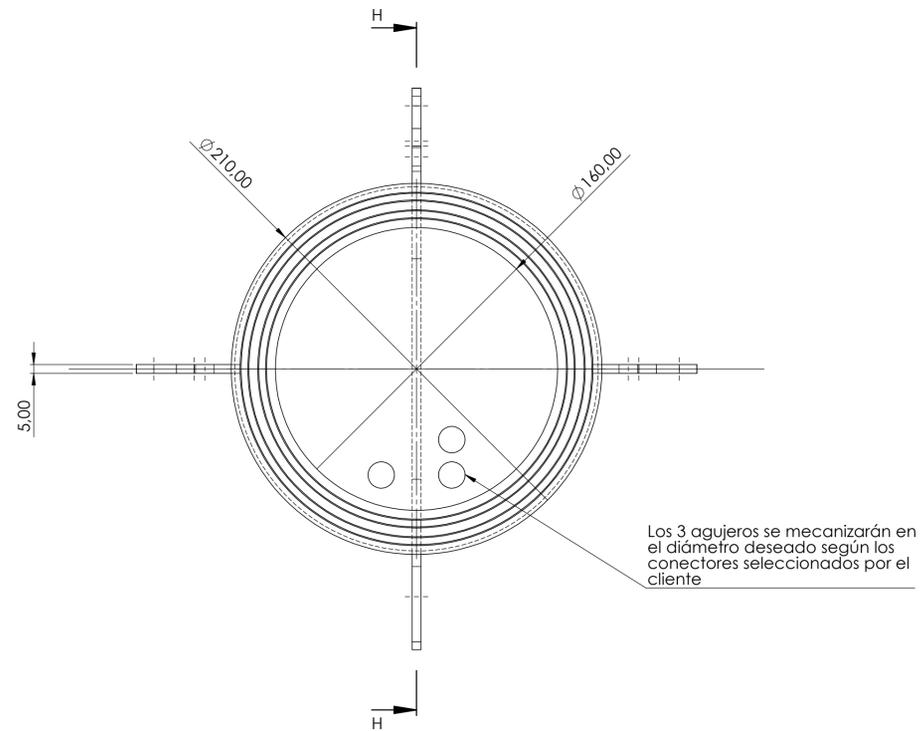
Comprobado: Septiembre 2020

UNE-EN-DIN

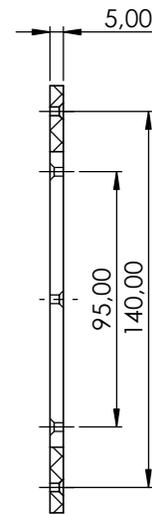
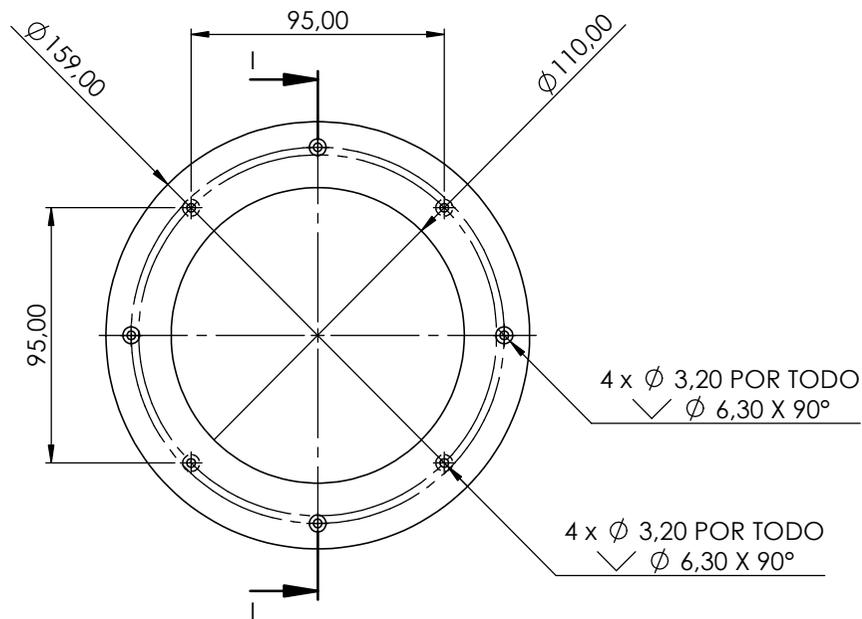
ESCALA:
 1:2

Frontal Metálico 2

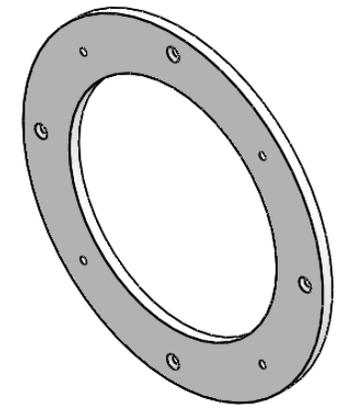
Nº PLANO:9



N.º DE PIEZA	DESIGNACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
4	Carcasa Exterior	Aluminio 7075-T6 (SN)	1
Diseño de una carcasa ligera para una cámara destinada a la obtención de imágenes de alta resolución en aguas profundas mesopelágicas de Canarias, vinculada al proyecto DeepCom de la ULL			
Autor: Carmen Corbella Pardo	Id. s. normas: UNE-EN-DIN	Universidad de La Laguna	ESCUOLA DE DOCTORADO Y ESTUDIOS DE POSGRADO Máster Universitario en Ingeniería Industrial Universidad de La Laguna
Comprobado: Septiembre 2020	Carcasa		Nº PLANO: 10
ESCALA: 1:2			



SECCIÓN I-I



N.º DE PIEZA	DESIGNACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
5	Frontal Interior	PVC Rígido	1

Diseño de una carcasa ligera para una cámara destinada a la obtención de imágenes de alta resolución en aguas profundas mesopelágicas de Canarias, vinculada al proyecto DeepCom de la ULL

Autor: Carmen Corbella Pardo

Id. s. normas:



ESCUELA DE DOCTORADO Y
 ESTUDIOS DE POSGRADO
 Máster Universitario en
 Ingeniería Industrial
 Universidad de La Laguna

Comprobado: Septiembre 2020

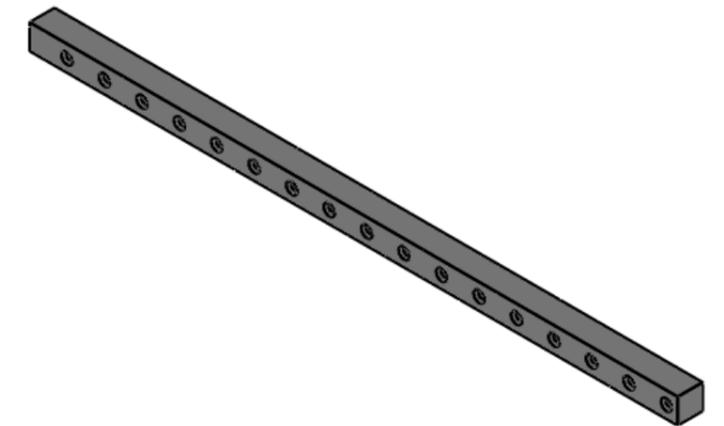
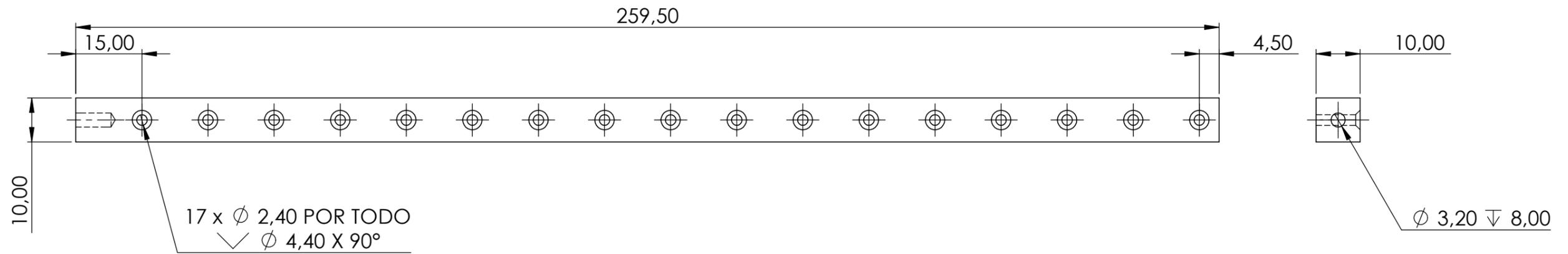
UNE-EN-DIN

Universidad
 de La Laguna

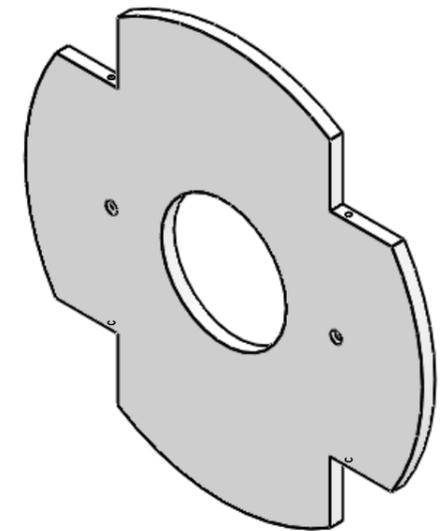
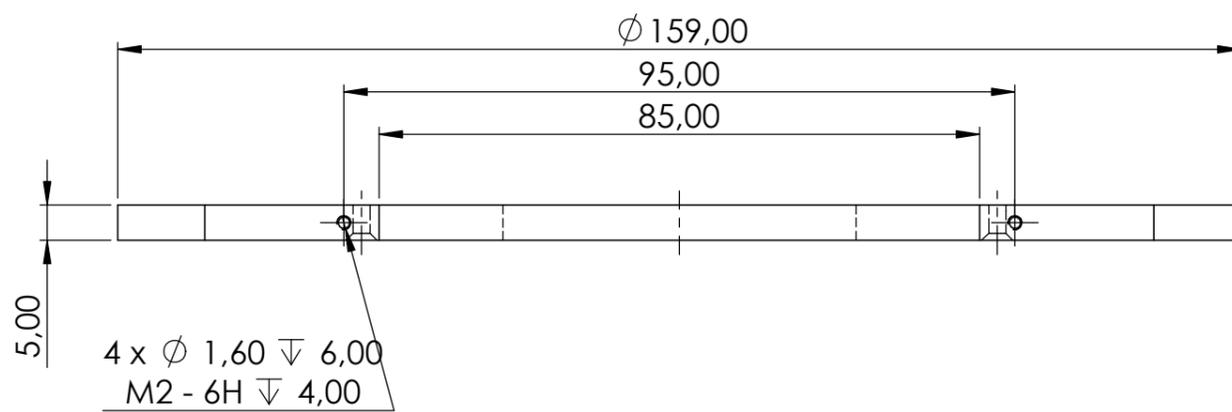
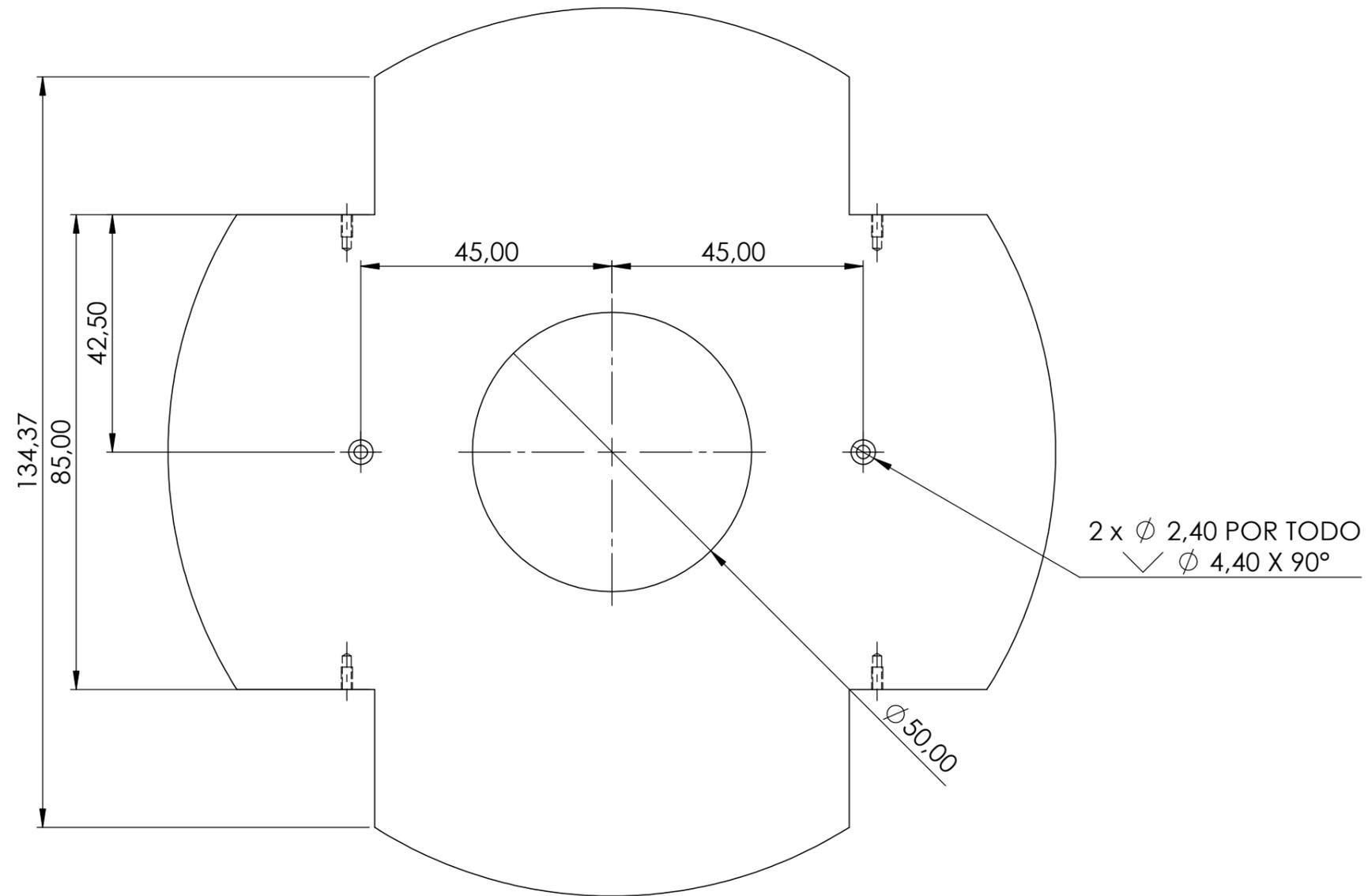
ESCALA:
 1:2

Frontal Interior

Nº PLANO:11



N.º DE PIEZA	DESIGNACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
6	Barra	Aleación Aluminio 1060	4
Diseño de una carcasa ligera para una cámara destinada a la obtención de imágenes de alta resolución en aguas profundas mesopelágicas de Canarias, vinculada al proyecto DeepCom de la ULL			
Autor: Carmen Corbella Pardo	Id. s. normas: UNE-EN-DIN	 Universidad de La Laguna	ESCUELA DE DOCTORADO Y ESTUDIOS DE POSGRADO Máster Universitario en Ingeniería Industrial Universidad de La Laguna
Comprobado: Septiembre 2020	ESCALA: 1:1		Nº PLANO:12
Barra			



N.º DE PIEZA	DESIGNACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
7	Separador Interior	PVC Rígido	2

Diseño de una carcasa ligera para una cámara destinada a la obtención de imágenes de alta resolución en aguas profundas mesopelágicas de Canarias, vinculada al proyecto DeepCom de la ULL

Autor: Carmen Corbella Pardo

Id. s. normas:

UNE-EN-DIN



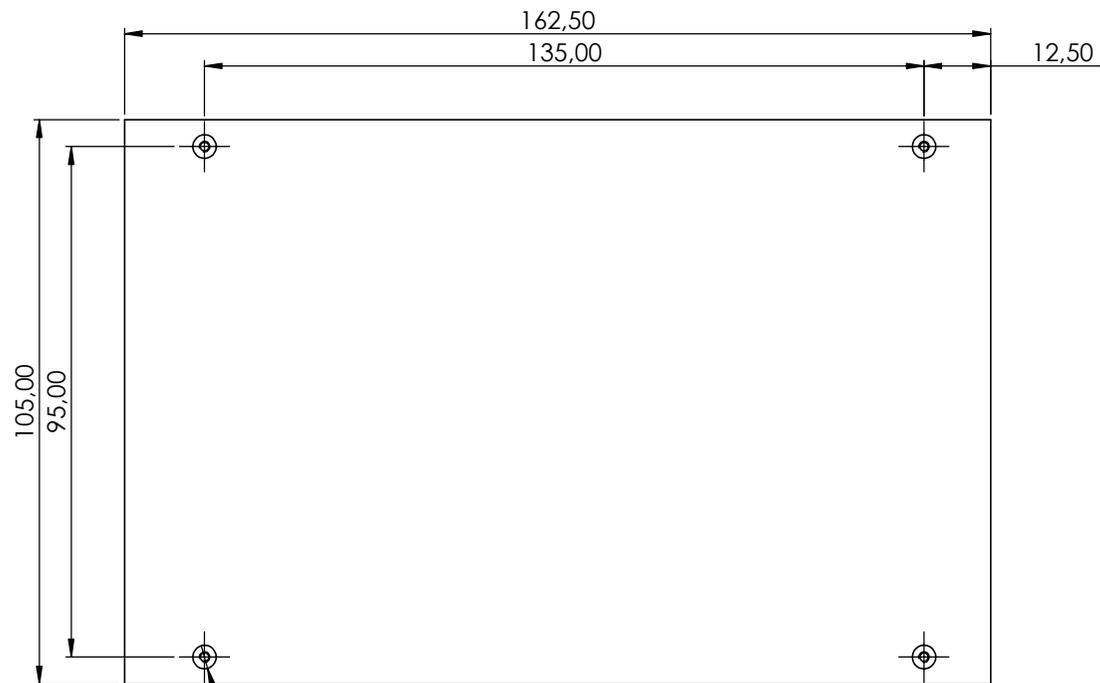
ESCUELA DE DOCTORADO Y ESTUDIOS DE POSGRADO
Máster Universitario en Ingeniería Industrial
Universidad de La Laguna

Comprobado: Septiembre 2020

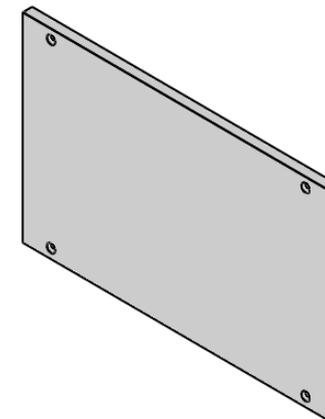
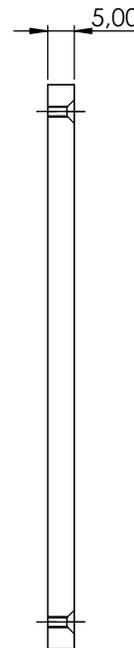
ESCALA:
1:1

Separador Móvil

Nº PLANO:13



4 x \varnothing 1,60 ∇ 5,00
M2 - 6H ∇ 5,00



N.º DE PIEZA	DESIGNACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
8	Base para Placa Electrónica	PVC Rígido	1

Diseño de una carcasa ligera para una cámara destinada a la obtención de imágenes de alta resolución en aguas profundas mesopelágicas de Canarias, vinculada al proyecto DeepCom de la ULL

Autor: Carmen Corbella Pardo

Id. s. normas:



UNE-EN-DIN

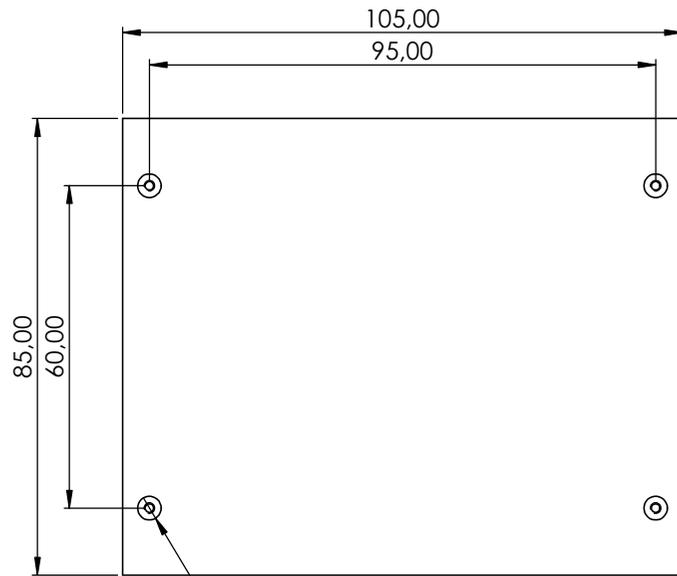
ESCUELA DE DOCTORADO Y
ESTUDIOS DE POSGRADO
Máster Universitario en
Ingeniería Industrial
Universidad de La Laguna

Comprobado: Septiembre 2020

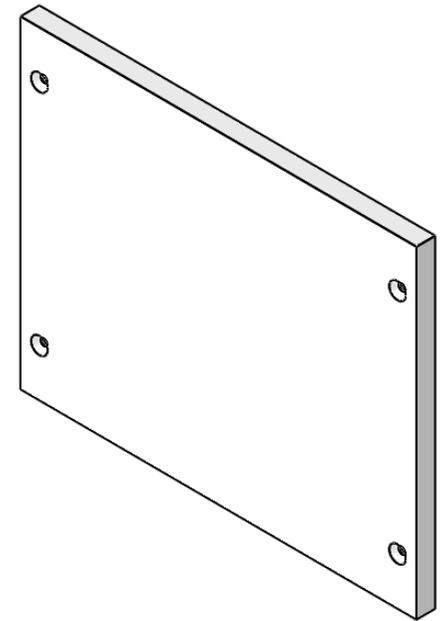
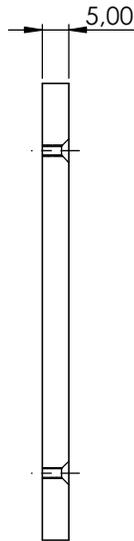
ESCALA:
1:1

Base para Placa Electrónica

Nº PLANO:14



4 x \varnothing 1,60 ∇ 5,00
M2 - 6H ∇ 5,00



N.º DE PIEZA	DESIGNACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
9	Base para Baterías	PVC Rígido	1

Diseño de una carcasa ligera para una cámara destinada a la obtención de imágenes de alta resolución en aguas profundas mesopelágicas de Canarias, vinculada al proyecto DeepCom de la ULL

Autor: Carmen Corbella Pardo

Id. s. normas:



ESCUELA DE DOCTORADO Y ESTUDIOS DE POSGRADO
Máster Universitario en Ingeniería Industrial
Universidad de La Laguna

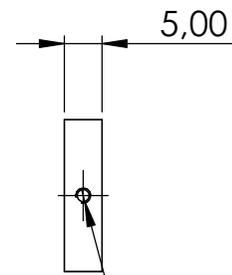
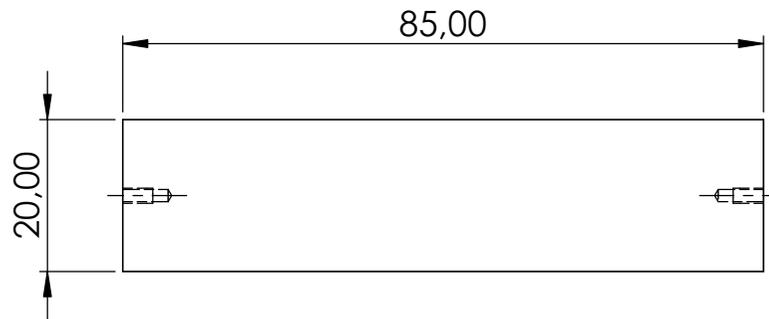
Comprobado: Septiembre 2020

UNE-EN-DIN

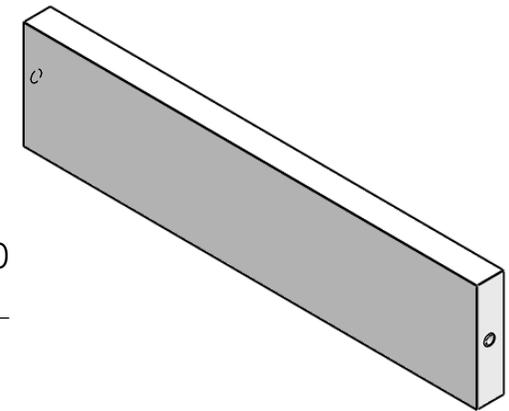
ESCALA:
1:1

Base para Baterías

Nº PLANO:15



2 x ϕ 1,60 ∇ 6,00
 M2 - 6H ∇ 4,00



N.º DE PIEZA	DESIGNACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
10	Separador Lateral para Baterías	PVC Rígido	2

Diseño de una carcasa ligera para una cámara destinada a la obtención de imágenes de alta resolución en aguas profundas mesopelágicas de Canarias, vinculada al proyecto DeepCom de la ULL

Autor: Carmen Corbella Pardo

Id. s. normas:

UNE-EN-DIN



Universidad
de La Laguna

ESCUELA DE DOCTORADO Y
ESTUDIOS DE POSGRADO
Máster Universitario en
Ingeniería Industrial
Universidad de La Laguna

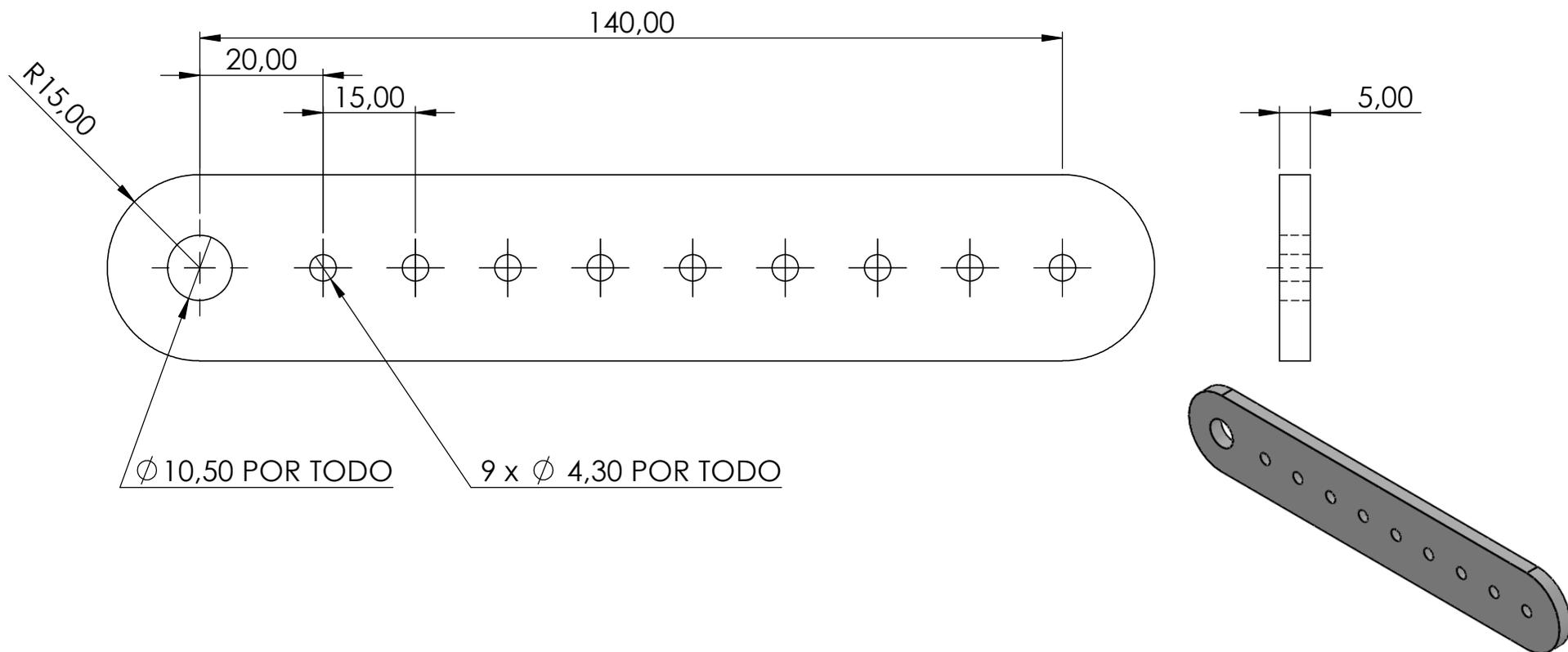
Comprobado: Septiembre 2020

ESCALA:

1:1

Separador Lateral para Baterías

Nº PLANO:16



N.º DE PIEZA	DESIGNACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
11	Barra para Colocación de Focos 1	Aluminio 7075-T6 (SN)	2

Diseño de una carcasa ligera para una cámara destinada a la obtención de imágenes de alta resolución en aguas profundas mesopelágicas de Canarias, vinculada al proyecto DeepCom de la ULL

Autor: Carmen Corbella Pardo

Id. s. normas:



ESCUELA DE DOCTORADO Y ESTUDIOS DE POSGRADO
Máster Universitario en Ingeniería Industrial
Universidad de La Laguna

Comprobado: Septiembre 2020

UNE-EN-DIN

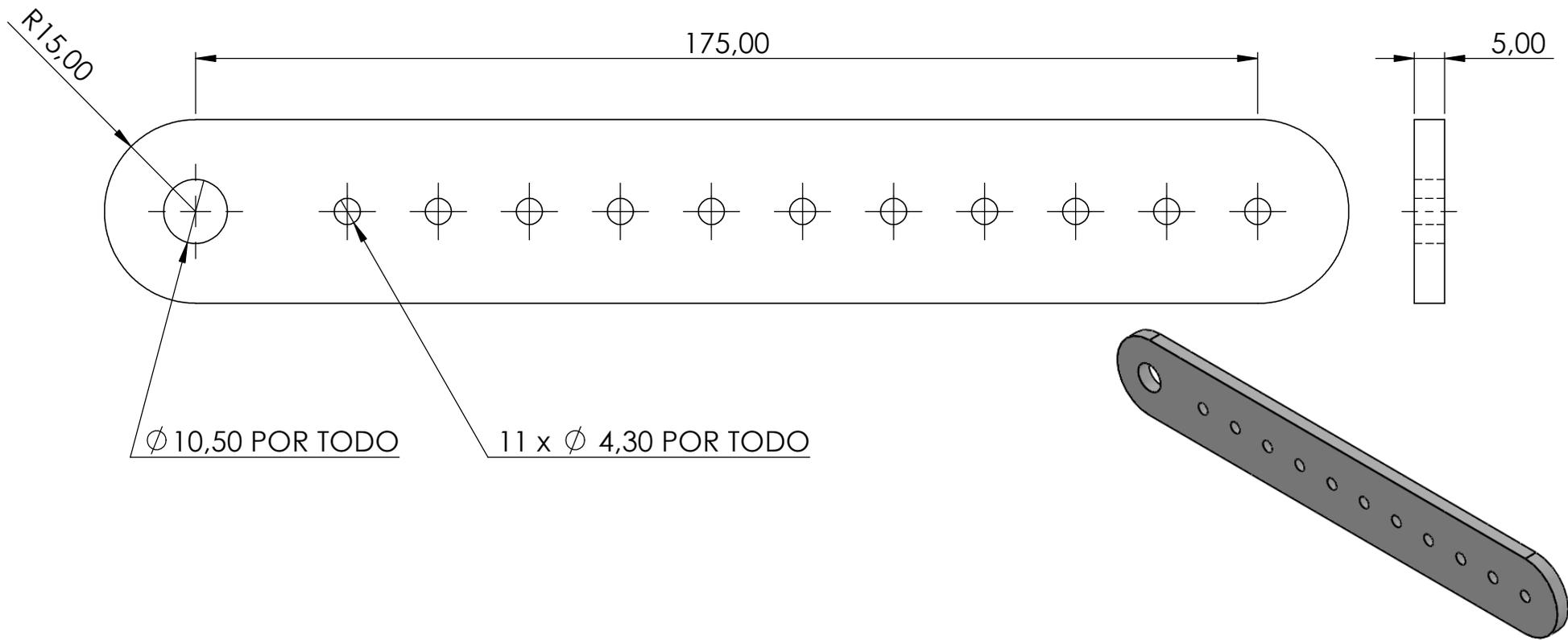
Universidad de La Laguna

ESCALA:

1:1

Barra para Colocación de Focos 1

Nº PLANO:17



N.º DE PIEZA	DESIGNACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
12	Barra para Colocación de Focos 2	Aluminio 7075-T6 (SN)	2

Diseño de una carcasa ligera para una cámara destinada a la obtención de imágenes de alta resolución en aguas profundas mesopelágicas de Canarias, vinculada al proyecto DeepCom de la ULL

Autor: Carmen Corbella Pardo

Id. s. normas:



ESCUELA DE DOCTORADO Y
ESTUDIOS DE POSGRADO
Máster Universitario en
Ingeniería Industrial
Universidad de La Laguna

Comprobado: Septiembre 2020

UNE-EN-DIN

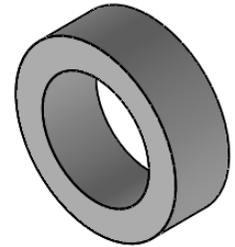
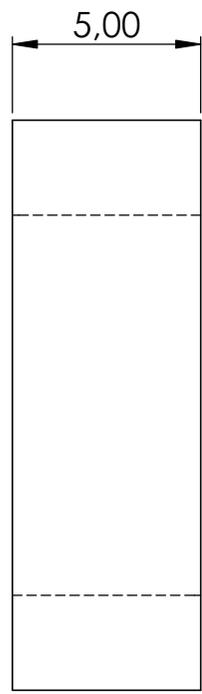
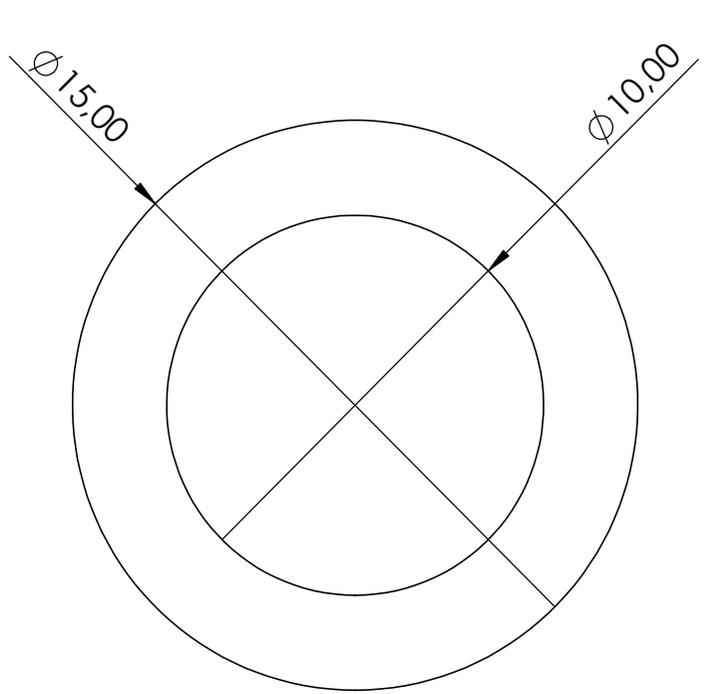
Universidad
de La Laguna

ESCALA:

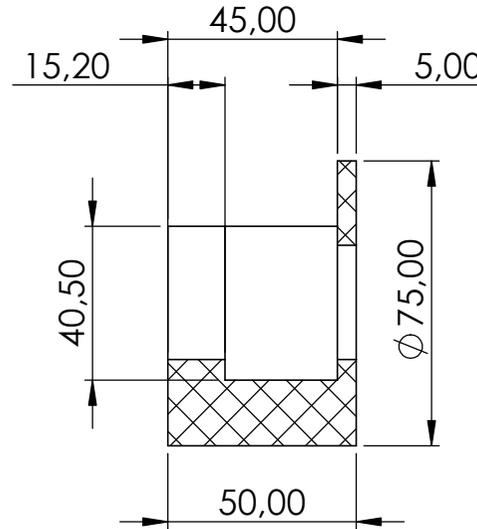
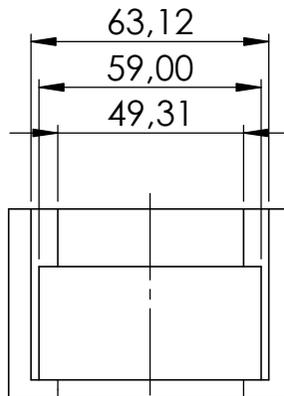
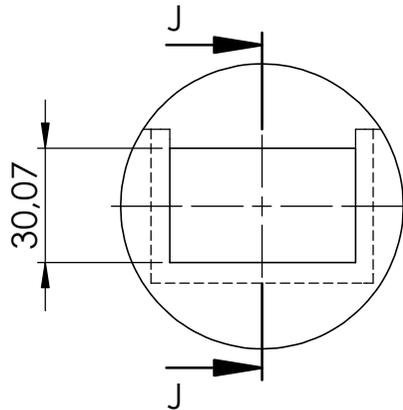
1:1

Barra para Colocación de Focos 2

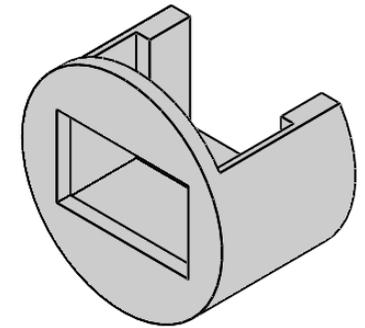
Nº PLANO:18



N.º DE PIEZA	DESIGNACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
13	Separador	Aluminio 7075-T6 (SN)	2
<p>Diseño de una carcasa ligera para una cámara destinada a la obtención de imágenes de alta resolución en aguas profundas mesopelágicas de Canarias, vinculada al proyecto DeepCom de la ULL</p>			
<p>Autor: Carmen Corbella Pardo</p>		<p>Id. s. normas: UNE-EN-DIN</p>	<p>ESCUELA DE DOCTORADO Y ESTUDIOS DE POSGRADO Máster Universitario en Ingeniería Industrial Universidad de La Laguna</p>
<p>Comprobado: Septiembre 2020</p>		 <p>Universidad de La Laguna</p>	
<p>ESCALA: 5:1</p>	<p>Separador</p>		<p>Nº PLANO:19</p>



SECCIÓN J-J



N.º DE PIEZA	DESIGNACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
14	Acople de Cámara	PLA	1

Diseño de una carcasa ligera para una cámara destinada a la obtención de imágenes de alta resolución en aguas profundas mesopelágicas de Canarias, vinculada al proyecto DeepCom de la ULL

Autor: Carmen Corbella Pardo

Id. s. normas:



Universidad
de La Laguna

ESCUELA DE DOCTORADO Y
ESTUDIOS DE POSGRADO
Máster Universitario en
Ingeniería Industrial
Universidad de La Laguna

Comprobado: Septiembre 2020

UNE-EN-DIN

ESCALA:

1:2

Acople de Cámara

Nº PLANO:20

Anexo I

Simulación de ensamblaje con sujeción en aleta superior

Anexo I. Simulación de ensamblaje con sujeción en aleta superior

Fecha: miércoles, 17 de junio de 2020

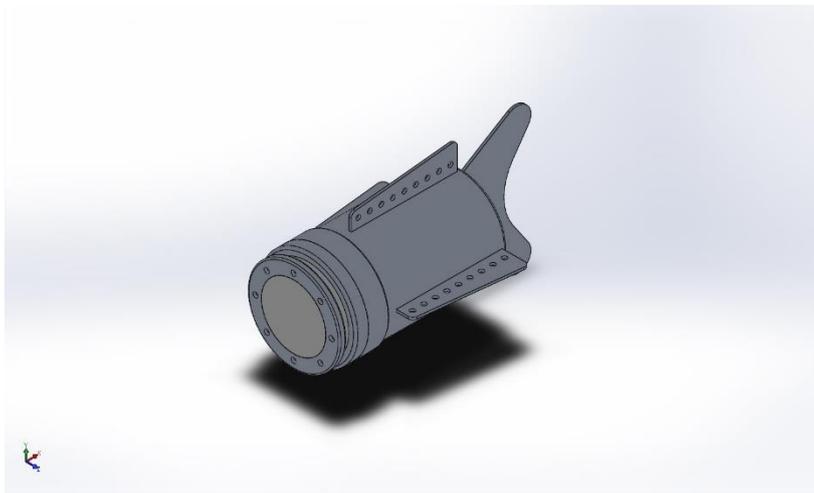
Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: Análisis estático (Sujeción aleta superior)

Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

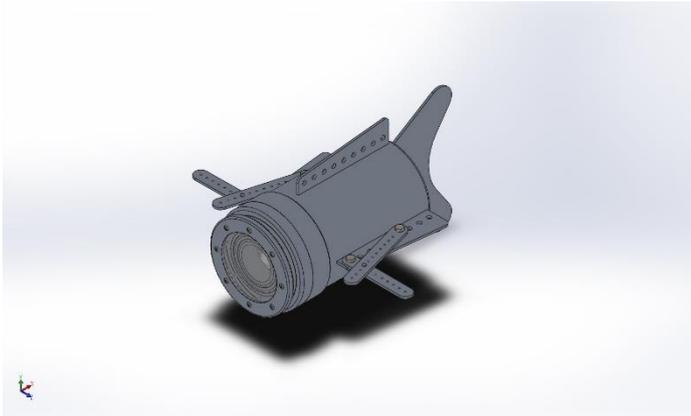
Descripción	1
Suposiciones	2
Información de modelo	2
Propiedades de estudio	4
Unidades	4
Propiedades de material	5
Cargas y sujeciones	6
Información de contacto	6
Información de malla	7
Fuerzas resultantes	8
Resultados del estudio	9



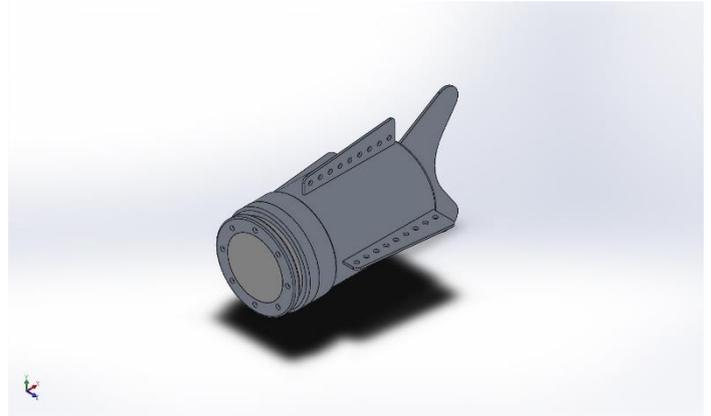
Descripción

Se realiza el análisis de tensiones del ensamblaje estableciendo una sujeción fija en la aleta superior del modelo.

Suposiciones



Modelo original



Modelo analizado

Información de modelo

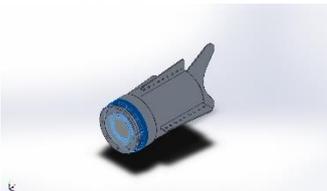
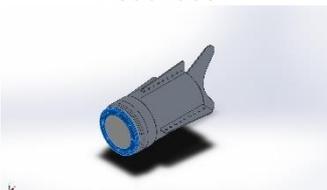


Nombre del modelo: Ensamblaje5 copia
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
----------------------------------	--------------	--------------------------	-----------------------------------------



<p>Cortar-Extruir4</p> 	<p>Sólido</p>	<p>Masa:2,63609 kg Volumen:0,000938112 m³ Densidad:2.810 kg/m³ Peso:25,8337 N</p>	<p>C:\Users\carme\Desktop\T FM\Diseño_7\Pieza1 metalica.SLDPRT Jun 10 14:27:21 2020</p>
<p>Taladro roscado M53</p> 	<p>Sólido</p>	<p>Masa:0,655799 kg Volumen:0,000551092 m³ Densidad:1.190 kg/m³ Peso:6,42683 N</p>	<p>C:\Users\carme\Desktop\T FM\Diseño_7\Pieza2 metacrilato.SLDPRT Jun 10 14:27:21 2020</p>
<p>Redondeo1</p> 	<p>Sólido</p>	<p>Masa:0,381823 kg Volumen:0,00013588 m³ Densidad:2.810 kg/m³ Peso:3,74187 N</p>	<p>C:\Users\carme\Desktop\T FM\Diseño_7\Pieza3 metalica.SLDPRT Jun 10 14:27:21 2020</p>
<p>Redondeo3</p> 	<p>Sólido</p>	<p>Masa:12,0337 kg Volumen:0,00428247 m³ Densidad:2.810 kg/m³ Peso:117,931 N</p>	<p>C:\Users\carme\Desktop\T FM\Diseño_7\Pieza9 exterior.SLDPRT Jun 10 14:27:21 2020</p>



Propiedades de estudio

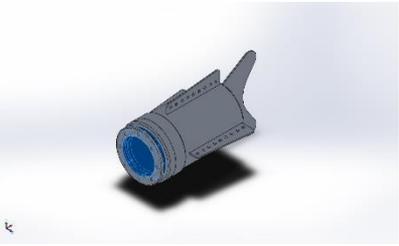
Nombre de estudio	Análisis estático (Sujeción aleta superior)
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\carne\Desktop\TFM\Diseño_5)

Unidades

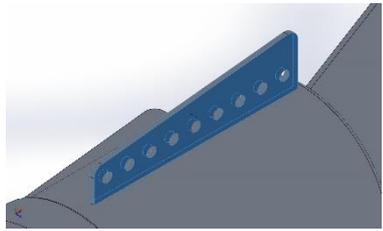
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

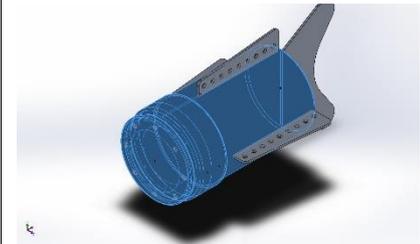


Propiedades de material

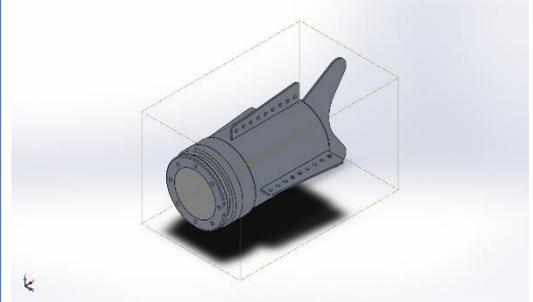
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: 7075-T6 (SN) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 5,05e+08 N/m² Límite de tracción: 5,7e+08 N/m² Módulo elástico: 7,2e+10 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,33 Densidad: 2.810 kg/m³ Módulo cortante: 2,69e+10 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 2,36e-05 /Kelvin</p>	<p>Sólido 1(Cortar-Extruir4)(Pieza1 metálica-2), Sólido 1(Redondeo1)(Pieza3 metálica-1), Sólido 1(Redondeo3)(Pieza9 exterior-1)</p>
Datos de curva:N/A		
	<p>Nombre: PMMA Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite de tracción: 6,1e+07 N/m² Límite de compresión: 1,05e+08 N/m² Módulo elástico: 2,77e+09 N/m² Densidad: 1.190 kg/m³</p>	<p>Sólido 1(Taladro roscado M53)(Pieza2 metacrilato-1)</p>
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-119.470	-11.268,1	-2,47256	120.000
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Presión-1		Entidades: 16 cara(s) Tipo: Normal a cara seleccionada Valor: 9,8 Unidades: N/mm ² (MPa) Ángulo de fase: 0 Unidades: deg

Información de contacto

Contacto	Imagen del contacto	Propiedades del contacto
Contacto global		Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente(s) Opciones: Mallado compatible

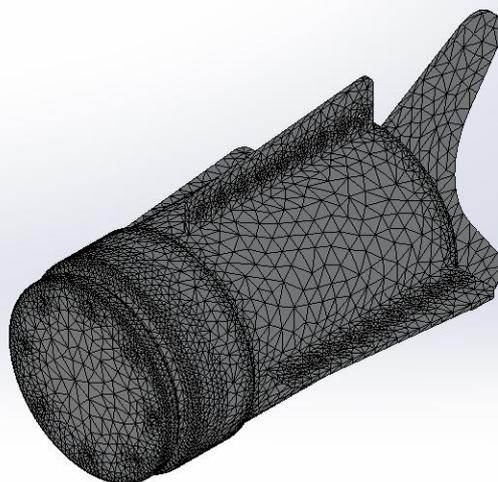
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño máximo de elemento	18,0805 mm
Tamaño mínimo del elemento	3,6161 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	163908
Número total de elementos	102590
Cociente máximo de aspecto	34,101
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	88
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	1,02
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh;mm;ss):	00:00:06
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Ensamblaje5 copia
Nombre de estudio: Análisis estático (Sujeción aleta superior) (-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-119.470	-11.268,1	-2,47256	120.000

Momentos de reacción

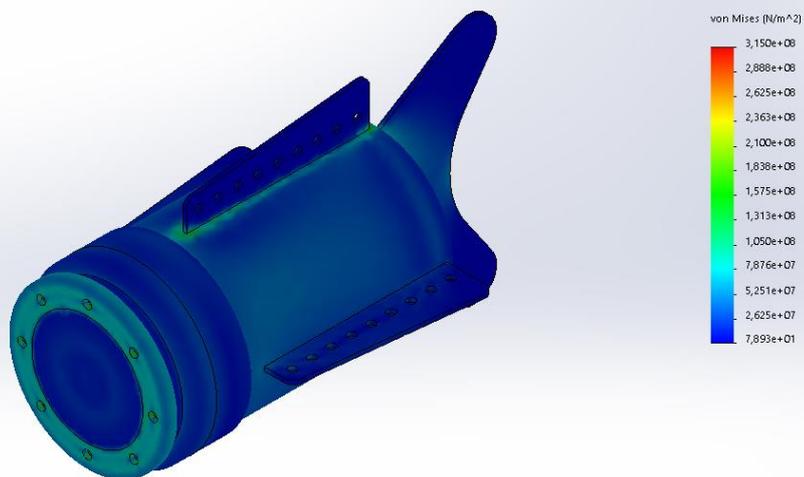
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	7,893e+01 N/m ² Nodo: 117832	3,150e+08 N/m ² Nodo: 138872

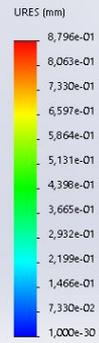
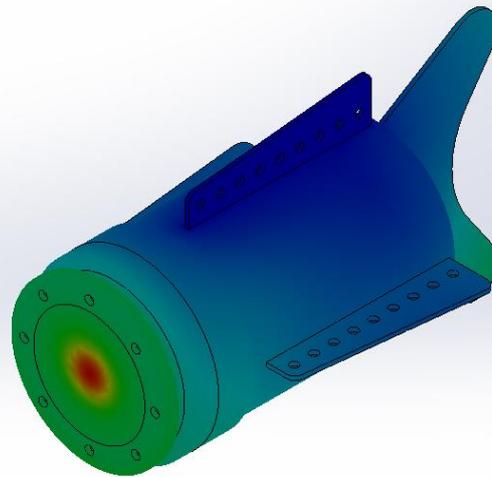
Nombre del modelo: Ensamblaje5 copia
 Nombre de estudio: Análisis estático (Sujeción aleta superior)-(Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
 Escala de deformación: 1



Ensamblaje5 copia-Análisis estático (Sujeción aleta superior)-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 95065	8,796e-01 mm Nodo: 57496

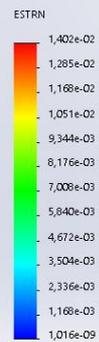
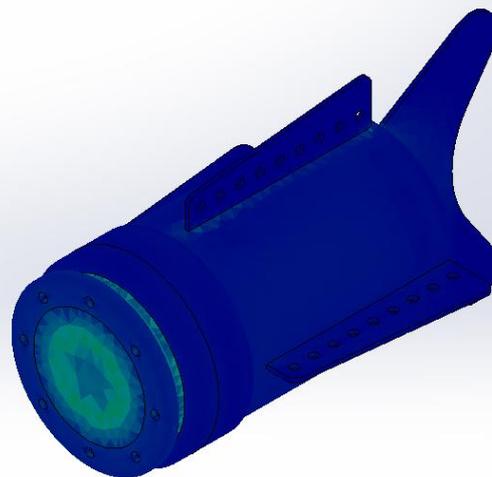
Nombre del modelo:Ensamblaje5 copia
 Nombre de estudio:Análisis estático (Sujeción aleta superior)-(Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 1



Ensamblaje5 copia-Análisis estático (Sujeción aleta superior)-Desplazamientos-Desplazamientos1

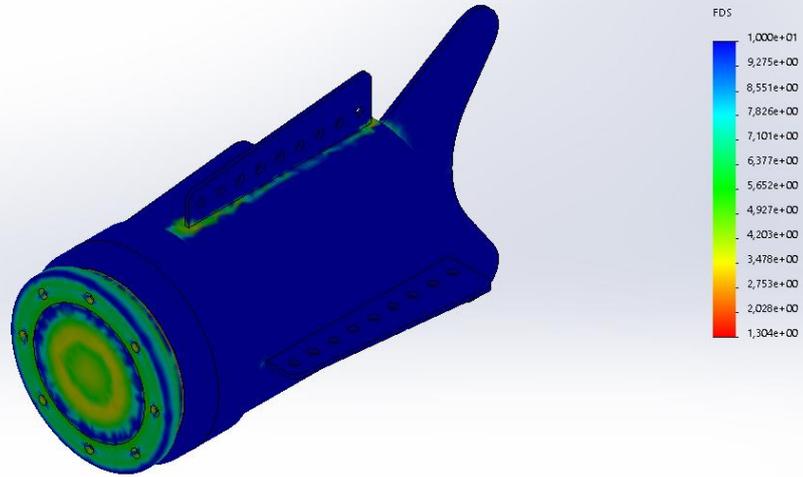
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1,016e-09 Elemento: 96334	1,402e-02 Elemento: 46330

Nombre del modelo:Ensamblaje5 copia
 Nombre de estudio:Análisis estático (Sujeción aleta superior)-(Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	1,304e+00 Nodo: 60295	1,000e+01 Nodo: 1

Nombre del modelo:Ensamblaje5 copia
 Nombre de estudio:Análisis estático (Sujeción aleta superior)-(Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
 Criterio: Automático
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 1,3

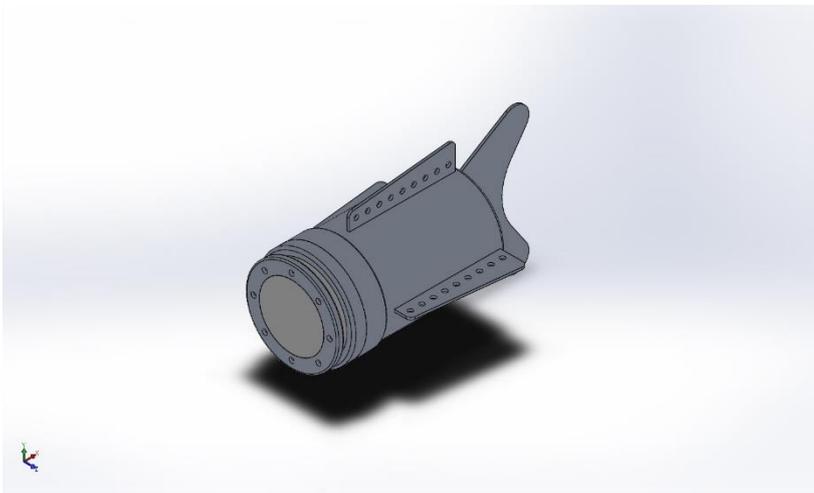


Ensamblaje5 copia-Análisis estático (Sujeción aleta superior)-Factor de seguridad-Factor de seguridad1



Anexo II

Simulación de ensamblaje con sujeción en aletas laterales



Anexo II. Simulación de ensamblaje con sujeción en aletas laterales

Fecha: miércoles, 17 de junio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: Análisis estático (Sujeción aletas laterales)

Tipo de análisis: Análisis estático

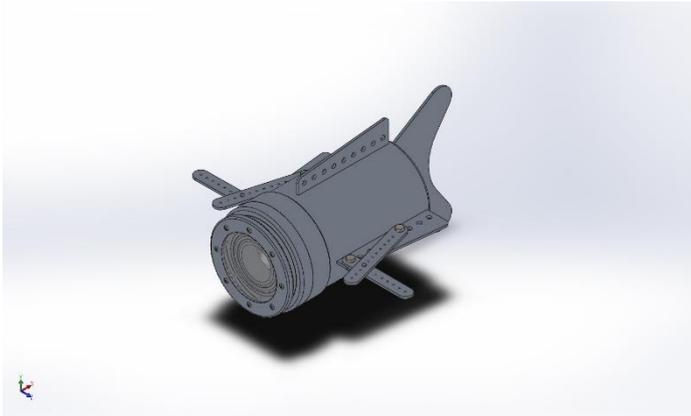
Tabla de contenidos

Descripción	1
Suposiciones	2
Información de modelo	2
Propiedades de estudio	4
Unidades	4
Propiedades de material	5
Cargas y sujeciones	6
Información de contacto	6
Información de malla	7
Fuerzas resultantes	8
Resultados del estudio	9

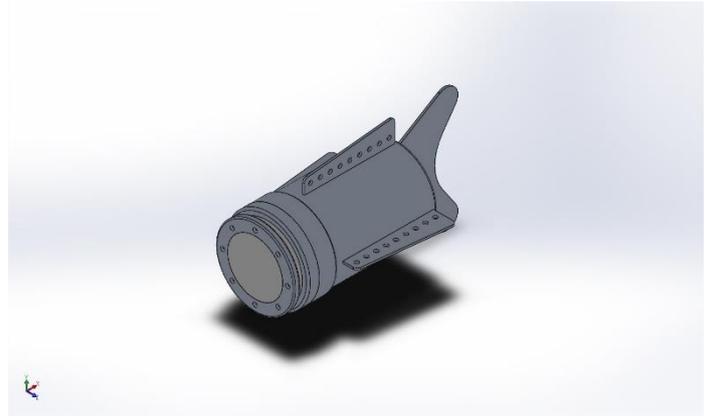
Descripción

Se realiza el análisis de tensiones del ensamblaje estableciendo una sujeción fija en las aletas laterales del modelo.

Suposiciones



Modelo original



Modelo analizado

Información de modelo

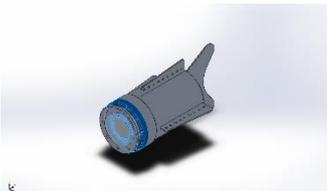
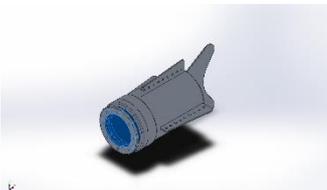
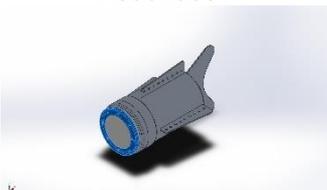


Nombre del modelo: Ensamblaje5 copia
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
----------------------------------	--------------	--------------------------	-----------------------------------------



<p>Cortar-Extruir4</p> 	<p>Sólido</p>	<p>Masa:2,63609 kg Volumen:0,000938112 m³ Densidad:2.810 kg/m³ Peso:25,8337 N</p>	<p>C:\Users\carme\Desktop\T FM\Diseño_7\Pieza1 metalica.SLDPRT Jun 10 14:27:21 2020</p>
<p>Taladro roscado M53</p> 	<p>Sólido</p>	<p>Masa:0,655799 kg Volumen:0,000551092 m³ Densidad:1.190 kg/m³ Peso:6,42683 N</p>	<p>C:\Users\carme\Desktop\T FM\Diseño_7\Pieza2 metacrilato.SLDPRT Jun 10 14:27:21 2020</p>
<p>Redondeo1</p> 	<p>Sólido</p>	<p>Masa:0,381823 kg Volumen:0,00013588 m³ Densidad:2.810 kg/m³ Peso:3,74187 N</p>	<p>C:\Users\carme\Desktop\T FM\Diseño_7\Pieza3 metalica.SLDPRT Jun 10 14:27:21 2020</p>
<p>Redondeo3</p> 	<p>Sólido</p>	<p>Masa:12,0337 kg Volumen:0,00428247 m³ Densidad:2.810 kg/m³ Peso:117,931 N</p>	<p>C:\Users\carme\Desktop\T FM\Diseño_7\Pieza9 exterior.SLDPRT Jun 10 14:27:21 2020</p>



Propiedades de estudio

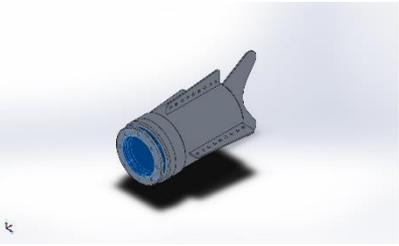
Nombre de estudio	Análisis estático (Sujeción aletas laterales)
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\carne\Desktop\TFM\Diseño_5)

Unidades

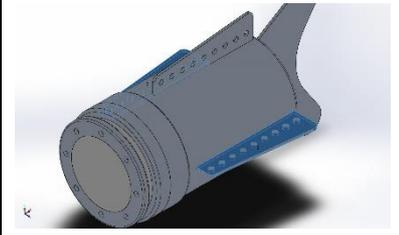
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

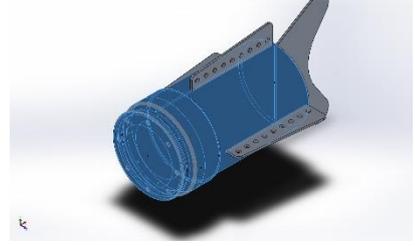


Propiedades de material

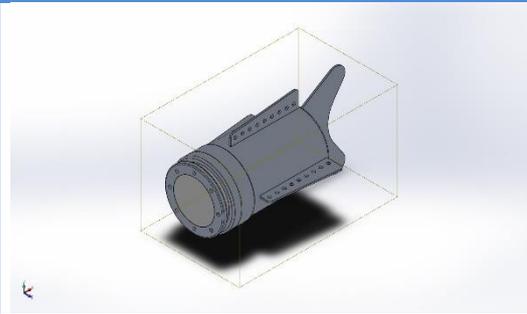
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: 7075-T6 (SN)</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite elástico: 5,05e+08 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 5,7e+08 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 7,2e+10 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,33</p> <p>Densidad: 2.810 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 2,69e+10 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 2,4e-05 /Kelvin</p>	<p>Sólido 1(Cortar-Extruir4)(Pieza1 metálica-2), Sólido 1(Redondeo1)(Pieza3 metálica-1), Sólido 1(Redondeo3)(Pieza9 exterior-1)</p>
Datos de curva:N/A		
	<p>Nombre: PMMA</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite de tracción: 6,1e+07 N/m²</p> <p>Límite de compresión: 1,05e+08 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 2,77e+09 N/m²</p> <p>Densidad: 1.190 kg/m³</p>	<p>Sólido 1(Taladro roscado M53)(Pieza2 metacrilato-1)</p>
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 4 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-130.794	-11.268	-0,0431364	131.278
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Presión-1		Entidades: 11 cara(s) Tipo: Normal a cara seleccionada Valor: 9,8 Unidades: N/mm ² (MPa) Ángulo de fase: 0 Unidades: deg

Información de contacto

Contacto	Imagen del contacto	Propiedades del contacto
Contacto global		Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente(s) Opciones: Mallado compatible

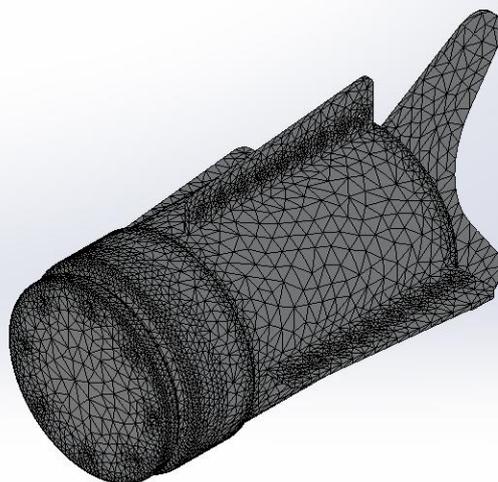
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño máximo de elemento	18,0805 mm
Tamaño mínimo del elemento	3,6161 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	163797
Número total de elementos	102499
Cociente máximo de aspecto	34,101
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	88,2
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	1,02
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh;mm;ss):	00:00:06
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Ensamblaje5 copia
Nombre de estudio: Análisis estático (Sujeción aletas laterales) (-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-130.794	-11.268	-0,0431364	131.278

Momentos de reacción

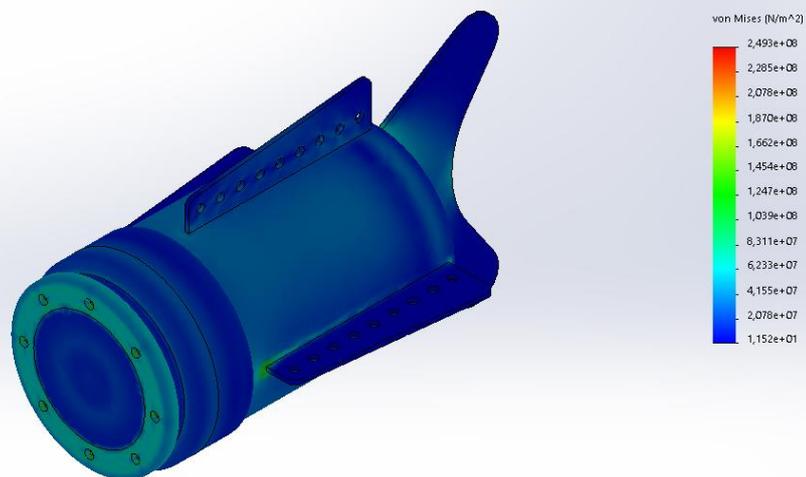
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	1,152e+01 N/m ² Nodo: 119101	2,493e+08 N/m ² Nodo: 124432

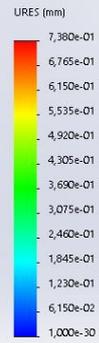
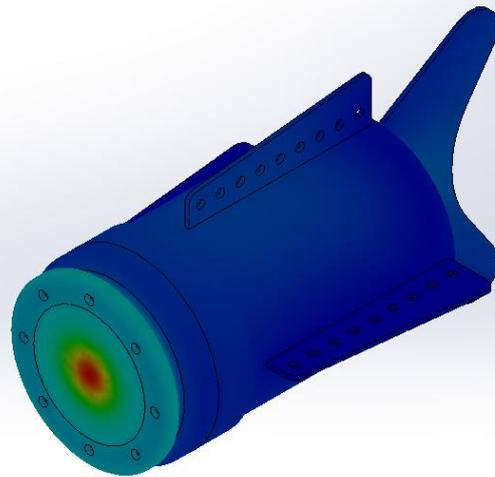
Nombre del modelo: Ensamblaje5 copia
 Nombre de estudio: Análisis estático (Sujeción aletas laterales)-(Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
 Escala de deformación: 1



Ensamblaje5 copia-Análisis estático (Sujeción aletas laterales)-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 94951	7,380e-01 mm Nodo: 57496

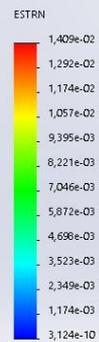
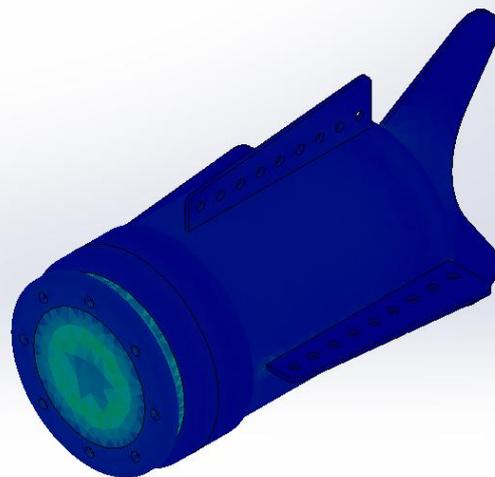
Nombre del modelo:Ensamblaje5 copia
 Nombre de estudio:Análisis estático (Sujeción aletas laterales)-(Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 1



Ensamblaje5 copia-Análisis estático (Sujeción aletas laterales)-Desplazamientos-Desplazamientos1

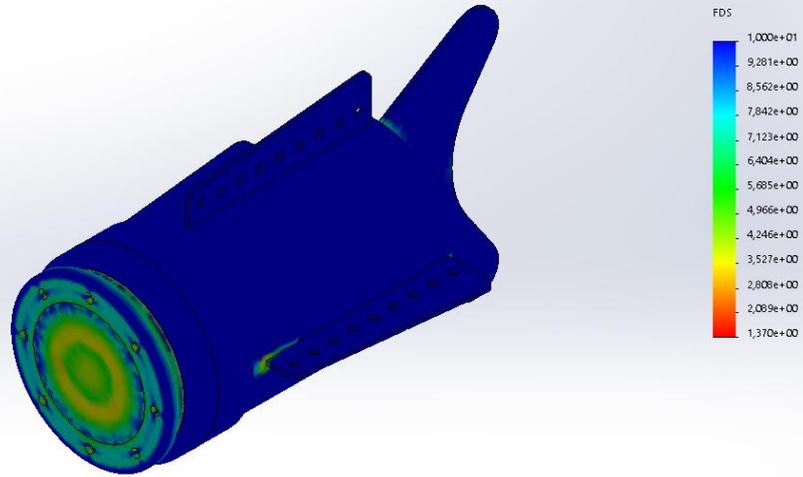
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	3,124e-10 Elemento: 73242	1,409e-02 Elemento: 46348

Nombre del modelo:Ensamblaje5 copia
 Nombre de estudio:Análisis estático (Sujeción aletas laterales)-(Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	1,370e+00 Nodo: 60289	1,000e+01 Nodo: 1

Nombre del modelo:Ensamblaje5 copia
 Nombre de estudio:Análisis estático (Sujeción aletas laterales)-(Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
 Criterio: Automático
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 1,4



Ensamblaje5 copia-Análisis estático (Sujeción aletas laterales)-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

