

DISÑO DE SISTEMA MECATRÓNICO INDUSTRIAL

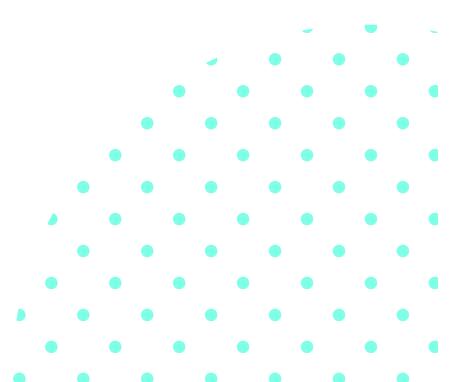
# MEMORIA

CURSO 2021 - 2022



## REALIZADO POR:

- Alejandro Fernández Suárez
- Jorge Álvarez Patón
- Ignacio Díaz Vigil
- Luis Alfonso Martínez Palacios
- Hugo Miranda Sánchez
- Emily Gabriela Castillo Escalona
- Jaime González Álvarez
- Enrique Ángel López Suárez
- Víctor Asensi Miranda
- Pelayo Prieto García
- Danial Haris Bin Limi Hawari



# Índice del Documento

---

<b>1.</b>	<b><u>INTRODUCCIÓN.</u></b>	<b>10</b>
<b>2.</b>	<b><u>PLANIFICACIÓN.</u></b>	<b>11</b>
<b>3.</b>	<b><u>ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO.</u></b>	<b>13</b>
<b>3.1.</b>	<b>DISEÑO MECÁNICO Y FABRICACIÓN.</b>	<b>13</b>
<b>3.2.</b>	<b>ELECTRÓNICA Y CONTROL.</b>	<b>14</b>
<b>4.</b>	<b><u>ESTADO DEL ARTE.</u></b>	<b>15</b>
<b>4.1.</b>	<b>ROVER GRUPO 1.</b>	<b>15</b>
<b>4.2.</b>	<b>ROVER GRUPO 2.</b>	<b>16</b>
<b>4.3.</b>	<b>SISTEMA DE MOVIMIENTO PARA LA CÁMARA.</b>	<b>17</b>
<b>4.4.</b>	<b>SISTEMAS DE MOVIMIENTO PARA EL ROVER.</b>	<b>18</b>
4.4.1.	ANÁLISIS DE SISTEMAS 2019 – 2020.	18
4.4.2.	CONTROL DEL ROVER MEDIANTE JOYSTICK.	19
4.4.3.	ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS ELECTRÓNICOS	20
4.4.4.	ANÁLISIS ELECTRÓNICO DEL ROVER 2019-2020	24
4.4.5.	ANÁLISIS MECÁNICO DEL ROVER 2019-2020.	24
<b>5.</b>	<b><u>DISEÑO CONCEPTUAL.</u></b>	<b>25</b>
<b>5.1.</b>	<b>DISEÑO CONCEPTUAL MECÁNICO.</b>	<b>25</b>
5.1.1.	BASTIDOR	25
5.1.2.	SISTEMA DE SUSPENSIÓN.	26
5.1.3.	TENSOR.	28
5.1.4.	SISTEMA DE TRACCIÓN	30
5.1.5.	SISTEMA MOVIMIENTO DE LA CÁMARA	31
5.1.6.	CARCASA DEL GAME-PAD.	33
<b>5.2.</b>	<b>DISEÑO CONCEPTUAL ELECTRÓNICO.</b>	<b>38</b>
5.2.1.	GAME-PAD PARA EL MOVIMIENTO.	38

5.2.2. CONEXIÓN PARA ELEMENTOS DE POTENCIA.	39
5.2.3. MOTORES Y CONTROLADORA.	41
5.2.4. FPGA, CONVERSOR AD Y CONTROLADOR PARA SERVOMOTORES.	42
5.2.5. ESTUDIO DE CONSUMOS ENERGÉTICOS.	44
5.2.6. REALSENSE – CÁMARA DE PROFUNDIDADES.	45
<b>6. DISEÑO DE DETALLE.</b>	<b>47</b>
<b>6.1. DISEÑO DE DETALLE MECÁNICO</b>	<b>47</b>
6.1.1. BASTIDOR	47
6.1.2. SISTEMA DE SUSPENSIÓN	50
6.1.3. TENSOR	56
6.1.4. SISTEMA DE TRACCIÓN	60
6.1.5. SISTEMA MOVIMIENTO DE LA CÁMARA	61
6.1.6. DISEÑO DE LA CARCASA DEL GAMEPAD	70
<b>6.2. DISEÑO DE DETALLE ELECTRÓNICO</b>	<b>71</b>
6.2.1. GAME-PAD PARA EL MOVIMIENTO.	71
6.2.2. PLACA DE CIRCUITO IMPRESO PRINCIPAL.	75
6.2.3. PLACA DE CIRCUITO IMPRESO SECUNDARIA.	83
6.2.4. PROGRAMACIÓN DE LA FPGA.	83
6.2.5. MOVIMIENTO DE LA CÁMARA MEDIANTE M5STICKC E IMU.	89
6.2.6. REALSENSE – CÁMARA DE PROFUNDIDADES.	90
6.2.7. PROGRAMACIÓN DE LA TRAYECTORIA	91
<b>6.3. DISEÑO DE DETALLE SOFTWARE DE CONTROL</b>	<b>94</b>
6.3.1. CUESTIONES GENERALES	94
6.3.2. PROGRAMACIÓN PARA LA BBB	95
6.3.3. PROGRAMACIÓN DEL GAMEPAD EN BASE A ESP32.	106
6.3.4. PROGRAMACIÓN DEL M5STICK PARA GAMEPAD	107
6.3.5. PROGRAMACIÓN DEL M5STICK PARA IMU.	108
6.3.6. INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO PARA ORDENADOR	108
6.3.7. INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO PARA DISPOSITIVOS MÓVILES	116
<b>7. PRESUPUESTO.</b>	<b>118</b>

7.1.1. COMPONENTES MECÁNICOS.	118
7.1.2. COMPONENTES ELECTRÓNICOS.	119
7.1.3. PIEZAS DE FABRICACIÓN PROPIA	120
7.1.4. PRESUPUESTO TOTAL	122
<b>8. VERIFICACIÓN DEL PROTOTIPO</b>	<b>123</b>
8.1. COMUNICACIÓN ENTRE LOS DRIVERS Y LOS MOTORES	123
8.2. ENSAYO DE ALIMENTACIÓN DE CONVERTIDOR CONMUTADO.	126
8.3. COMUNICACIÓN ENTRE LA CÁMARA Y LAS GAFAS.	127
8.4. CONFIGURACIÓN DEL ROUTER.	127
8.5. TEMPERATURA DEL MOTOR Y CONTROLADORA.	128
8.6. DENTADO DE LA RUEDA TRACTORA	132
<b>9. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>134</b>

---

## Índice de Figuras

---

Figura 2.1. Diagrama de Gantt con la planificación para la realización del proyecto.	12
Figura 3.1. Organización de tareas a desarrollar para el diseño mecánico.	13
Figura 4.1. Diseño del rover del grupo 1 del curso 2020 – 2021.	16
Figura 4.2. Diseño del rover del grupo 2 del curso 2020 – 2021.	17
Figura 4.3. Sistemas de movimiento de la cámara pan&tilt.	17
Figura 4.4. Ejemplo de implementación real de movimiento pan&tilt.	18
Figura 4.5. Representación de los dispositivos empleados por los dos rovers en el curso 2019 – 2020.	19
Figura 4.6. Sistemas de movimiento en base a Joystick.	19
Figura 4.7. BeagleBone Black.	20
Figura 4.8. Placa FPGA Odyssey MAX10.	20
Figura 4.9. M5 Stack.	20
Figura 4.10. Batería empleada en el Rover.	21
Figura 4.11. Regulador lineal.	22
Figura 4.12. Regulador de conmutación (24V a 5V).	22
Figura 4.13. M5 Stick (IMU).	23

Figura 4.14. Intel RealSense.....	23
Figura 4.15. Dispositivo GPS.....	23
Figura 4.16. Conexión y gestión de cables inadecuada.....	24
Figura 5.1. Inicio de las pruebas con la distribución espacial. ....	25
Figura 5.2. Representación del basculante trasero. (a) Esquemático. (b) Vista en planta.....	27
Figura 5.3. Primer diseño conceptual de la suspensión trasera.....	27
Figura 5.4. Representación esquemática de la suspensión de las ruedas intermedias. ....	28
Figura 5.5. Representación del primer boceto conceptual de la suspensión intermedia.....	28
Figura 5.6. Diseño esquemático del mecanismo tensor. ....	29
Figura 5.7. Alternativas de configuración del eje del bastidor. a) Eje móvil b) Eje fijo. ....	29
Figura 5.8. Alternativas de configuración del eje de la rueda. a) Eje fijo b) Eje móvil. ....	30
Figura 5.9. Diseño conceptual del mecanismo de tracción (a) para la rueda (b) .....	30
Figura 5.10. Giro denominado como “PAN” .....	31
Figura 5.11. Giro denominado como “TILT” .....	31
Figura 5.12. Campo de visión útil de la cámara .....	32
Figura 5.13. Concepto de ensamblaje “PAN” .....	32
Figura 5.14. Concepto de ensamblaje “TILT” .....	33
Figura 5.15. Diseño inicial para la carcasa.....	33
Figura 5.16. PCB auxiliar (CAD). ....	34
Figura 5.17. Parte interior y exterior de la pieza base de la carcasa.....	35
Figura 5.18. Parte interior y exterior de la tapa.....	36
Figura 5.19. Imagen de ejemplo. ....	38
Figura 5.20. Representación del diseño esquemático y la PCB para el Joystick. ....	39
Figura 5.21. Representación del diseño esquemático para el Módulo ESP32. ....	39
Figura 5.22. Batería LiPo de 6 celdas 6600 mAh y 24V. ....	40
Figura 5.23. Regulador conmutado de 24V a 5V.....	40
Figura 5.24. Representación del motor y caja reductora para el rover. ....	41
Figura 5.25. Resistencias para conectar para los controladores de los motores. ....	41
Figura 5.26. Elementos de conexión de los motores. ....	42
Figura 5.27. Placa FPGA Odyssey MAX10.....	42
Figura 5.28. Cronograma para el trabajo del conversor AD.....	43
Figura 5.29. Representación del divisor resistivo para medir la tensión de la batería. ....	43
Figura 5.30. Elementos que se alimentan desde la batería. ....	44
Figura 6.1. Bastidor con sus componentes ensamblados (a) y solo la pieza principal (b) .....	47
Figura 6.2. Croquis de resaltes de montaje (a) particularizados para los tornillos usados en (b).....	48
Figura 6.3. Vaciado interior de los nervios (a) y nervios sin vaciar (b).....	49
Figura 6.4 Esquema de refrigeración interior .....	49

Figura 6.5. Abrazadera de los motores (a) y de ventiladores (b) .....	50
Figura 6.6. Troceado trasero (a) e intermedio (b).....	50
Figura 6.7 Vista isométrica del basculante.....	51
Figura 6.8. Vista de sección del montaje de la rueda trasera a través del basculante. ....	52
Figura 6.9. Vista isométrica del conjunto de la suspensión trasera izquierda. ....	53
Figura 6.10. Basculante intermedio a) Lado de M3 del amortiguador b) Lado M5 del amortiguador....	54
Figura 6.11. Conjunto suspensión intermedia. ....	55
Figura 6.12. A) Pieza de reparto de esfuerzos. B) Rueda suspensión intermedia.....	55
Figura 6.13. Vista de sección del montaje de la rueda de la suspensión intermedia. ....	56
Figura 6.14. Vista en corte del eje de articulación de la suspensión intermedia.....	56
Figura 6.15. Vista isométrica del conjunto del tensor. ....	57
Figura 6.16. Vista isométrica del brazo de la palanca. ....	57
Figura 6.17. Vista isométrica de las piezas impresas restantes (a) Rueda tensora (b) Base de apoyo. ....	58
Figura 6.18. Vista en corte del eje sobre el que gira concéntricamente la palanca.....	59
Figura 6.19. Vista en corte del eje de la rueda tensora. ....	59
Figura 6.20. Datasheet de la reductora.....	60
Figura 6.21. Vista frontal y trasera de la pieza de acople del motor.....	60
Figura 6.22. Vista en corte del sistema de tracción .....	61
Figura 6.23. Base "PAN" .....	61
Figura 6.24. Sistema de transmisión del giro "PAN" .....	62
Figura 6.25. Eje de giro "PAN" .....	63
Figura 6.26. Resaltes de montaje de los rodamientos .....	63
Figura 6.27. Vista de sección del montaje del giro "PAN" .....	64
Figura 6.28. Pieza superior "PAN" .....	64
Figura 6.29. Vista de isométrica del ensamblaje "PAN" .....	65
Figura 6.30. Inserto roscado .....	65
Figura 6.31. Montaje del servomotor del "TILT" .....	66
Figura 6.32. Pieza que sujetla la cámara.....	66
Figura 6.33. Vista de sección del montaje del giro "TILT" .....	67
Figura 6.34. Pieza para montaje de la corona de leds .....	67
Figura 6.35. Cúpula tintada.....	68
Figura 6.36. Vista de isométrica del ensamblaje "TILT.....	68
Figura 6.37. Vista de isométrica del ensamblaje completo .....	69
Figura 6.38. Vista de isométrica de montaje de la cámara en el bastidor .....	69
Figura 6.39. Vista del modelo final aplicando transparencias tanto a la base como a la tapa. ....	70
Figura 6.40. Diseño final de la carcasa. ....	70

Figura 6.41. Vista de sección para observar tanto agujeros para tornillos como el reborde de unión de tapa y base .....	70
Figura 6.42. Representación de M5StickC y joystick con comunicación I2C.....	71
Figura 6.43. Carcasa para el nuevo joystick .....	71
Figura 6.44 Diseño esquemático del Game-Pad .....	72
Figura 6.45. Esquemático y encapsulado para el componente PAM2306DYPAA.....	72
Figura 6.46. Diseño esquemático del Game-Pad con dispositivo de regulación de tensión.....	73
Figura 6.47. PCB caras TOP(a) y BOTTOM(B) sin plano de masa y sin regulador de tensión.....	74
Figura 6.48. Representación 3D de la PCB para el Game-Pad.....	75
Figura 6.49. Conector circular para el cargador de la batería.....	76
Figura 6.50. Especificación del conector circular para la carga de la batería.....	77
Figura 6.51. Elementos para la conexión del cargador, batería e interruptor general del ROVER. ....	78
Figura 6.52. Conexión para los elementos de conversión de potencia.....	78
Figura 6.53. Monitor del estado de la batería.....	78
Figura 6.54. Elementos adicionales para la parte de potencia. ....	79
Figura 6.55. Conexiones de los pines de la FPGA.....	79
Figura 6.56. Conexiones de los pines de alimentación en la FPGA.....	80
Figura 6.57. Conexión para el conversor AD. ....	80
Figura 6.58. Conexión para el controlador L293 para los servomotores de PAN & TILT. ....	81
Figura 6.59. Conexión a los pines de la FPGA. ....	81
Figura 6.60. Conexión de los elementos de los drivers del motor.....	82
Figura 6.61. Diseño de la PCB principal.....	82
Figura 6.62. Diseño 3D de la PCB principal. ....	83
Figura 6.63. Conexiones para el convertidor conmutado de 24V a 12V.....	83
Figura 6.64. Diagrama esquemático de los bloques para la programación de la FPGA.....	84
Figura 6.65. Cronograma conversor AD .....	84
Figura 6.66. Desglose bloque ADREADER .....	85
Figura 6.67. Montaje inicial sobre Arduino para comprobar el ancho del ciclo PWM.....	86
Figura 6.68. Variaciones de la señal PWM para conseguir distintas posiciones en los servomotores. ....	87
Figura 6.69. Diagrama de bloques para los movimientos de PAN & TILT junto con la comunicación RX. .	87
Figura 6.70. Cronograma de la comunicación serie.....	88
Figura 6.71. Conexión de los dos servomotores en la FPGA y comprobación de la PWM.....	89
Figura 6.72. Datos PAN IMU interna .....	89
Figura 6.73. Datos TILT IMU interna .....	90
Figura 6.74. IMU de 9 ejes BNO055. ....	90
Figura 6.75. Códigos QR empleados para las pruebas con la RealSense. ....	91
Figura 6.76. Esquema de valores máximos que puede tomar el joystick.....	91

Figura 6.77. Esquema de Comunicaciones.....	95
Figura 6.78. Flujograma general del programa de la BBB .....	95
Figura 6.79. Conexión clientes servidor .....	96
Figura 6.80. Clase que gestiona el comportamiento wifi como cliente. ....	97
Figura 6.81. Clase SerialCommunication.....	99
Figura 6.82. Clase para el control de la velocidad de los motores.....	100
Figura 6.83. Cálculo de la trayectoria.....	101
Figura 6.84. Clase Trajectory.....	102
Figura 6.85. Clase FPGA. ....	104
Figura 6.86. Clase Realsense .....	105
Figura 6.87. Clase LogFile .....	106
Figura 6.88. Flujograma de información para la programación del GamePad. ....	107
Figura 6.89. Flujo de trabajo para el M5StickC junto con el GamePad.....	107
Figura 6.90. Interfaz gráfica de usuario para PC .....	108
Figura 6.91. Esquema general de la interfaz grafica de usuario para PC .....	109
Figura 6.92. Cuadro de dialogo para la conexión con el servidor .....	110
Figura 6.93. Esquema de la clase DialogWifiParameters .....	111
Figura 6.94. Joystick Virtual .....	112
Figura 6.95. Esquema de la clase Joypad .....	112
Figura 6.96. Visualización de la trayectoria.....	113
Figura 6.97. Esquema de la clase PlotTaryectomy.....	114
Figura 6.98. Esquema de la clase Realsense .....	115
Figura 6.99. Interfaz gráfica de usuario para dispositivos móviles Android. ....	116
Figura 6.100. Esquema general programación de la interfaz gráfica para Android.....	117
Figura 8.1. Prueba inicial con NanoPro .....	124
Figura 8.2. Comandos a través de NanoPro.....	125
Figura 8.3. Conexión en vacío del convertidor conmutado DC.....	126
Figura 8.4. Representación de dispositivos a emplear.....	127
Figura 8.5. Diagrama de conexión para garantizar que el router se conecta a internet.....	128
Figura 8.6. Parámetros funcionamiento motores para test de temperatura .....	129
Figura 8.7. Evolución temperatura con sensor DHT22.....	130
Figura 8.8. Evolución temperatura con sensor TC74 .....	131
Figura 8.9. Disposición ventiladores .....	132
Figura 8.10. Pruebas de dentado con distintas variaciones geométricas.....	133

# Índice de Tablas

---

Tabla 4.1. Características de la batería empleada. ....	21
Tabla 6.1. Velocidades obtenidas en función de posiciones críticas. ....	92
Tabla 6.2. Valores de velocidad enviados al motor desde posiciones críticas. ....	93
Tabla 6.3. Velocidades de los motores en función del ángulo que forma el joystick con el origen.....	93
Tabla 6.4. Ecuaciones aplicadas en función de la posición del joystick. ....	93
Tabla 7.1. Desglose de costes de componentes mecánicos.....	118
Tabla 7.2. Desglose de costes de componentes electrónicos.....	119
Tabla 7.3. Costes de realización de las placas de circuito impreso. ....	120
TABLA 7.4. Costes de fabricación mediante inyección de plástico. ....	121
Tabla 7.5. Costes de fabricación de piezas mecanizadas. ....	121
Tabla 7.6. Desglose de costes unitarios para el rover.....	122

# 1. INTRODUCCIÓN.

A lo largo de la historia, los seres humanos han ido desarrollando máquinas que permiten no solo reproducir nuestro comportamiento sino también perfeccionarlo, haciendo nuestras tareas de una forma más productiva y segura. Dentro de esta gran familia de sistemas electromecánicos están los denominados robots, que han dejado de ser una idea de futuro para formar parte de nuestro presente, teniendo más relevancia en nuestro día a día.

Desde un inicio, el desconocimiento y la ciencia-ficción en el cine han prejuzgado a los robots con una perspectiva negativa, no obstante, la realidad es muy diferente ya que su repetibilidad, robustez y en muchos casos capacidad de aprender y adaptarse a las condiciones del entorno hace que la presencia de estos dispositivos en nuestra vida la simplifique notablemente. En la actualidad, los avances tecnológicos han favorecido a que su flexibilidad sea tal que su presencia y uso esté en auge en un amplio rango de aplicaciones, desde tareas domésticas, como por ejemplo el conocido robot-aspirador “Roomba” o los robots de cocina, hasta incluso tareas industriales, como por ejemplo en el caso de los brazos robóticos empleados en las tareas de montaje en la industria del automóvil.

Adicionalmente, en las últimas décadas, el uso de robots ha cobrado mucha relevancia en aquellas tareas donde la accesibilidad y/o seguridad del ser humano se pone en duda, como es el caso de las exploraciones espaciales. Los robots empleados en estos proyectos, comúnmente denominados Rover, son vehículos todoterreno que están destinados a realizar misiones de exploración e investigaciones científicas de forma autónoma, imitando el comportamiento que tendría un astronauta humano sin comprometerlo a las condiciones tan exigentes y diferentes a las de nuestro planeta. Algunos de estos ejemplares son el “Spirit” y “Opportunity”, que descubrieron la existencia de agua en el pasado en Marte, “Curiosity” que fue enviado también a Marte para recoger muestras con el fin de hacer un estudio sobre una posible habitabilidad en el futuro o, el “Perseverance” que actualmente está analizando la superficie marciana del cráter Jezero.

En lo referido a los objetivos de este proyecto, se solicita a los alumnos del segundo curso del Máster de Ingeniería Mecatrónica, el diseño y la construcción de un Rover destinado a la inspección de los bajos de un vehículo comercial mediante un sistema de visión y sensores iniciales. Tanto el diseño mecánico como electrónico, con sus consideraciones y pruebas de funcionamiento, se detallarán en los sucesivos capítulos.

## 2. PLANIFICACIÓN.

En este apartado se va a detallar la planificación del proyecto teniendo en cuenta que se inicia el día 15 de septiembre con la presentación de éste y tocará su fin el día 21 de enero con su presentación.

La planificación se puede dividir en 7 grandes grupos.

- Análisis de modelos de cursos anteriores, consiguiendo así una lista de objetivos a mejorar.
- Tareas iniciales haciendo hincapié en la división de tareas y la distribución de los grupos de trabajo
- Diseño conceptual tanto de la parte mecánica como electrónica.
- Diseño de detalle tanto de la parte mecánica como electrónica.
- Fabricación tanto de piezas mediante mecánicas como de placas de circuito impreso.
- Desarrollo del software de control.
- Montaje y pruebas sobre el sistema Mecatrónico.

También se tendrán tareas de escritura de la memoria y de la realización de la presentación final.

Además, en el transcurso del proyecto se van a realizar una serie de hitos en los que se tendrá que realizar la exposición de distintos apartados a los profesores responsables de la asignatura:

- 22/09/2021. Presentación del análisis de ventajas y desventajas sobre equipos de curso pasado.
- 13/10/2021. Exposición de las alternativas de diseño.
- 10/11/2021. Presentación detallada de los subsistemas.
- 21/01/2022. Presentación final del proyecto.

En lo referido a los pedidos para la adquisición de materiales se realizarán dos pedidos separados para garantizar que los elementos de alta prioridad se realicen a la mayor brevedad posible, y un segundo pedido que contará con el resto de los elementos a comprar una vez finalizado el diseño de detalle. La lista de los componentes que se compraron se puede ver con detalle en el presupuesto, apartado 7.

Se muestra en la Figura 2.1 la planificación del trabajo en forma de diagrama de Gantt del que se puede destacar:

- El mes de septiembre será en el que se realice el análisis completo de los modelos de cursos anteriores
- El mes de diciembre junto con el mes de enero se va a destinar a la realización de pruebas de montaje y la integración del software de control en el dispositivo.

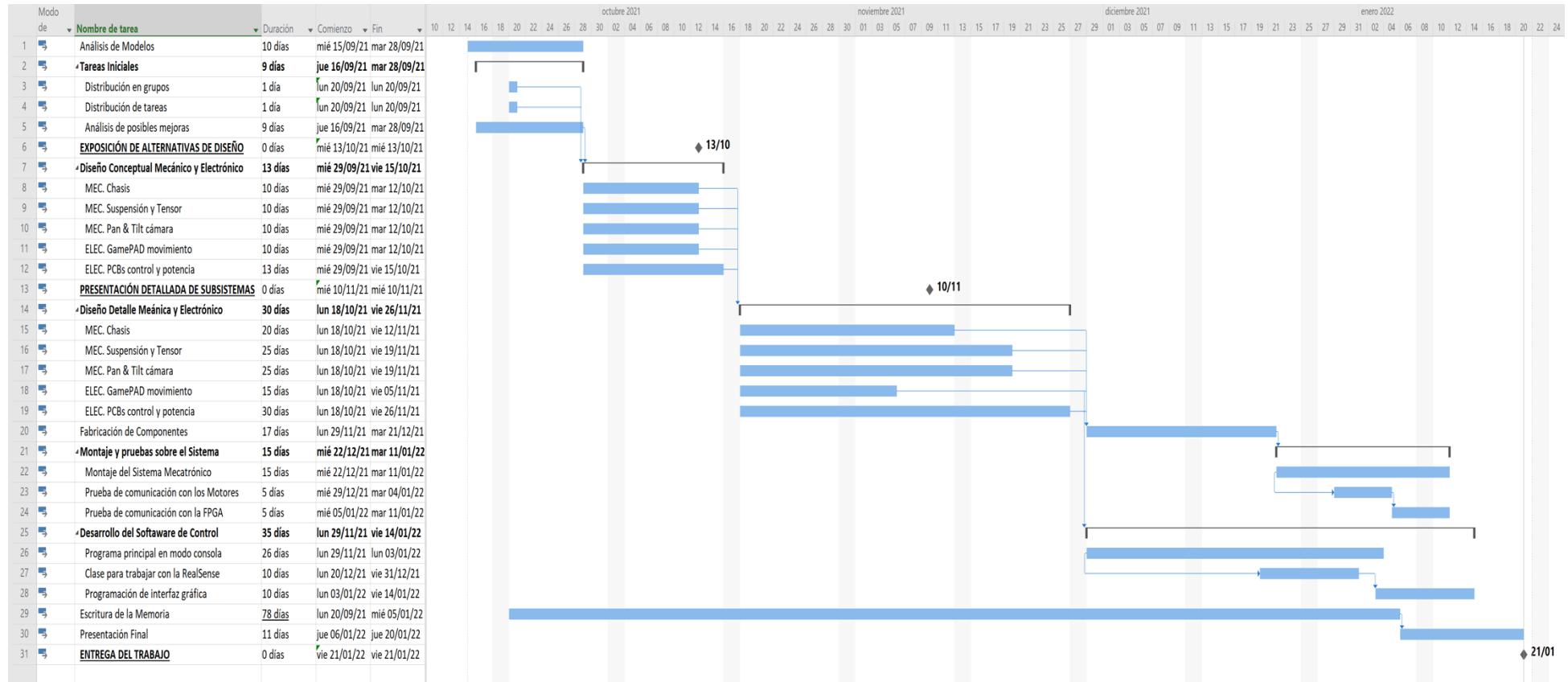


Figura 2.1. Diagrama de Gantt con la planificación para la realización del proyecto.

### 3. ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO.

El proyecto se desarrolló mediante el trabajo de 11 miembros del equipo, ordenados en departamentos y bajo la supervisión de un coordinador general. Se muestran los nombres de los 11 integrantes del grupo.

- Alejandro Fernández Suárez \_\_\_\_\_ Coordinador general del trabajo.
- Jorge Álvarez Patón. \_\_\_\_\_ Diseño mecánico y fabricación.
- Ignacio Díaz Vigil. \_\_\_\_\_ Diseño mecánico y fabricación.
- Luis Alfonso Martínez Palacios. \_\_\_\_\_ Diseño mecánico y fabricación.
- Hugo Miranda Sánchez. \_\_\_\_\_ Electrónica y software de control.
- Pelayo Prieto García. \_\_\_\_\_ Diseño mecánico y fabricación.
- Emily Gabriela Castillo Escalona. \_\_\_\_\_ Electrónica y software de control.
- Jaime González Álvarez. \_\_\_\_\_ Electrónica y software de control.
- Víctor Asensi Miranda. \_\_\_\_\_ Diseño mecánico y fabricación.
- Enrique Ángel López Suárez. \_\_\_\_\_ Electrónica y software de control.
- Danial Haris Bin Limi Hawari. \_\_\_\_\_ Electrónica y software de control.

Se va a realizar una división en dos grandes grupos, uno de ellos será el encargado de realizar la parte de diseño mecánico, fabricación y montaje y el segundo será el encargado de realizar la parte electrónica y la programación del control.

#### 3.1. DISEÑO MECÁNICO Y FABRICACIÓN.

Este primer departamento, formado por un total de 5 integrantes, se encargó de toda la parte mecánica del proyecto, en el desarrollo del trabajo se realizó una división en 3 grandes grupos atendiendo a las necesidades de diseño del proyecto (ver Figura 3.1)



Figura 3.1. Organización de tareas a desarrollar para el diseño mecánico.

- Jorge Álvarez Patón e Ignacio Díaz Vigil. Encargados del diseño mecánico de la parte de la transmisión.
- Luis Alfonso Martínez Palacios. Encargado del diseño mecánico del chasis.
- Pelayo Prieto García y Víctor Asensi Miranda encargados de la parte de la cámara para el PAN & TILT.

## 3.2. ELECTRÓNICA Y CONTROL.

Los integrantes de este bloque, Alejandro Fernández, Hugo Miranda, Emily Gabriela, Jaime González, Enrique Ángel López y Danial Haris serán los encargados de llevar a cabo el desarrollo de las placas de circuito impreso para garantizar la conversión de potencia y las distintas partes de control tanto de los motores como de la FPGA, tratando de realizarlas lo más compactas posibles.

Para la parte del control cada miembro será el encargado de realizar una de las clases que conforman el proyecto.

- Alejandro Fernández será el encargado de llevar a cabo la supervisión del software de control que se encuentra en el ordenador del rover para llevar a cabo la gestión de las tareas fundamentales, junto con las comunicaciones serie y wifi para el envío de los datos (con ayuda de Jorge Álvarez e Ignacio Díaz). Además, también realizará la programación de la clase para el tratamiento de los datos de la RealSense.
- Hugo Miranda se encargará de las tareas relacionadas con el control de los motores.
- Enrique Ángel López será el encargado de realizar el control de la clase que permita transformar generar el valor del dato del GamePad y enviarlo mediante comunicación WiFi.
- Jaime González será el encargado de realizar la programación de la clase que permita transformar los datos que se generen mediante la clase de Enrique para una velocidad expresada en RPM.
- Emily Gabriela realizará la programación de la interfaz gráfica para PC y Android.

## 4. ESTADO DEL ARTE.

Antes de comenzar a trabajar en el desarrollo del rover, se decidió realizar un análisis de los proyectos realizados por los compañeros del curso 2020/21. En estos proyectos cabe destacar uno, el apodado Roverto, ya que el grupo encargado de su desarrollo fue capaz de hacerlo funcionar correctamente. No obstante, se han querido resaltar los puntos negativos y positivos tanto de este rover, más avanzado, como del otro, el cual no llegó a funcionar.

### 4.1. Rover grupo 1.

Observando el Rover funcional realizado por uno de los grupos del año pasado, se pueden destacar como aspectos positivos que se trata de un diseño simple y funcional, el cual es capaz de sortear pequeños obstáculos. En este caso se incluyen tensores de la correa, que funcionan con pequeños amortiguadores, al igual que la suspensión. En cuanto al apartado más electrónico, todos los componentes y placas electrónicas se encuentran ocultos en el interior del bastidor, dejándolos así más protegidos.

A la hora de observar la cámara, se aprecia que esta se encuentra protegida por una cúpula transparente, que permite la visión y además está integrada en el chasis. Así mismo, en el interior de dicha cúpula, se decidieron a colocar una corona de led, la cual se encuentra integrada en el subconjunto de la cámara, realizando los mismos movimientos que esta. Esto proporciona una mayor visibilidad en zonas de trabajo donde esta se encuentra reducida.

De igual forma, se han querido analizar los puntos que se podrían mejorar tras haber puesto a funcionar el rover y ver donde fallaba principalmente. Lo que se consideró como una ventaja (que todos los componentes se encontraran ocultos en el interior), en este caso también ha dado problemas, ya que dificulta la extracción y la colocación de las baterías. Este punto es relativamente sencillo de solucionar simplemente cambiando la distribución de los componentes en el interior del rover y colocando los cierres del bastidor por medio de uniones atornilladas. Algo que nos llamó realmente la atención, es que el vehículo funcionaba mejor hacia delante que hacia atrás, esto es debido a que la suspensión y la rueda motriz se encuentran en la parte delantera. Esto le da una mayor facilidad para sortear los obstáculos que puedan aparecer al frente del rover. Además de la colocación de la rueda motriz, otro de los problemas encontrados a la hora de superar obstáculos, es que el tensor de la correa limita el movimiento de la suspensión y además al carecer de ruedas intermedias, entre la delantera y la trasera, tiende a quedarse encallado en la zona intermedia de la correa. Tal y como se ha comentado previamente, el bastidor se encuentra pegado en lugar de atornillado, lo que dificulta las labores de mantenimiento, ya que hay zonas a las que no es posible acceder.

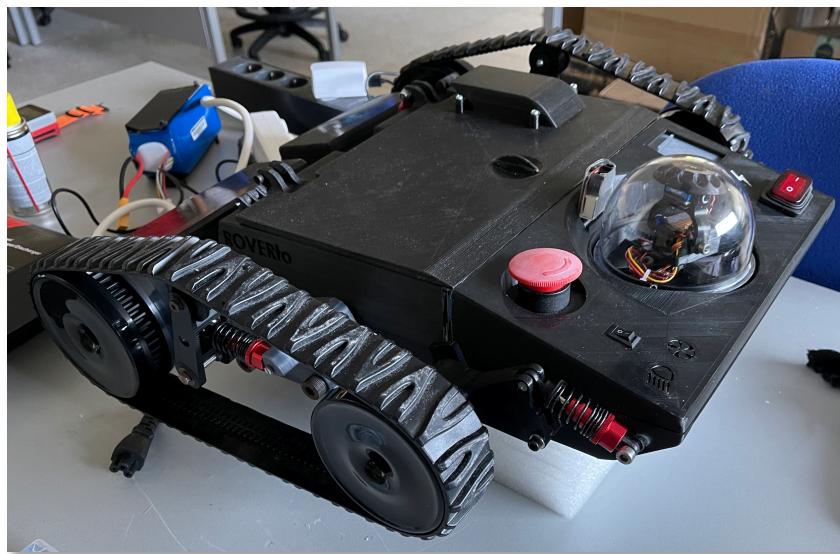


Figura 4.1. Diseño del rover del grupo 1 del curso 2020 – 2021.

## 4.2. Rover grupo 2.

Este rover a pesar de no ser funcional, también ha aportado ideas, sobre todo en el ámbito mecánico. Un claro ejemplo de ello es la disposición de las ruedas y los ejes intermedios (similar a las orugas de los tanques), que ayuda a sobrepasar obstáculos con mayor facilidad. En este caso, han utilizado unas ruedas en unos ejes intermedios, que a pesar de que no se pudo probar, se le puede ver una mayor solidez a la hora de superar obstáculos. De igual modo, la idea de usar muelles de torsión en vez de amortiguadores a la hora de realizar el tensor es una gran idea, que permite aplicar una tensión en la correa sin llegar a bloquear las suspensiones, como si pasaba en el rover del grupo 1. Además, el diseño de este rover es muy compacto, permitiendo no desaprovechar espacios en el interior del bastidor.

Como no se ha llegado a probar, los principales detalles a mejorar que se observaron eran superficiales y no de funcionamiento, como por ejemplo que los acabados estéticos podían ser mejorables. En cuanto a la cámara, no presenta una cubierta de protección, lo cual hace que pueda romperse o incluso ensuciarse, lo que dificultaría mucho la visión.

Finalmente, debido a la pequeña superficie de contacto con el suelo (únicamente las 3 ruedas intermedias), se presenta un leve cabeceo a la hora de ponerlo en funcionamiento. Como posible aspecto a mejorar, en un primer momento, se pensó en tratar de tener la mayor superficie de contacto posible, así como también en el reparto de peso óptimo para reducir la posibilidad de aparición de este defecto.

Otro aspecto destacable es la disposición de los ejes de las ruedas y de los tensores ya que aprovecharon la protección de la cadena para biapoyarlos y así reducir los esfuerzos y las deformaciones de estos. Un aspecto que se considera importante es que a pesar de que resulta una buena idea, no fue tanto una buena ejecución en parte porque la pared donde estaba uno de los apoyos era un tanto endeble y el

desplazamiento y la vibración de los ejes venía en gran medida debido a la poca rigidez que presentaba. Una pared un tanto más grueso o unos nervios de refuerzo hubieran sido unas posibles soluciones de cara a mejorar las propiedades mecánicas de dicha pared. Otro aspecto que se pudo destacar es que, al mover los motores, las orugas se salían del canal de la rueda como consecuencia de que los ejes de los accionamientos no eran concéntricos con los de las ruedas.



Figura 4.2. Diseño del rover del grupo 2 del curso 2020 – 2021.

### 4.3. Sistema de Movimiento para la Cámara.

El sistema de movimiento de la cámara está basado en el sistema de las cámaras PTZ (utilizadas sobre todo en cámaras de seguridad). Se trata de un doble movimiento, conformado por el pan y el tilt. Esto quiere decir que la cámara es capaz de rotar tanto en el plano vertical, como en el horizontal (**Figura X**).

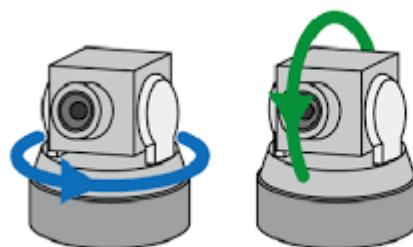


Figura 4.3. Sistemas de movimiento de la cámara pan&tilt.

Este sistema ya se encontraba implementado para usos similares al del rover, por lo que solo fue necesario realizar una inspección del rover del grupo 1 y varias búsquedas en internet para encontrar modelos como el de la Figura 4.4 y pensar como adaptarlo al diseño de la cámara del rover.



Figura 4.4. Ejemplo de implementación real de movimiento pan&tilt.

El caso de la Figura 4.4 es muy similar al del rover del grupo 1, utilizando un par de servos, uno para el movimiento pan y otro para el movimiento tilt. Fue necesario inspeccionar a fondo el rover antiguo, para darse cuenta del método utilizado para descentrar el eje del servo del movimiento pan. Este grupo concretamente utilizaba un par de engranajes con reducción para además de descentrar el servo, conseguir realizar un movimiento de 360°. En este caso no sería necesario, ya que no se necesitaría más que un movimiento de 180° para lograr el campo de visión necesario.

## 4.4. Sistemas de Movimiento para el Rover.

En este apartado se va a detallar el sistema que se eligió para permitir los movimientos de avance, retroceso y giro del Rover, así como realizar una comparativa con los sistemas empleados en cursos anteriores.

### 4.4.1. Análisis de Sistemas 2019 – 2020.

En la Figura 4.5 se muestra cuáles han sido los dos sistemas que se han empleado. Por un lado, se tiene el reloj (a) que cuenta con sensores iniciales garantizando que el movimiento siga lo que se realiza con el brazo. Por otro lado, se tiene el sistema (b), que cuenta con dos mandos y los mismos sensores iniciales. En este caso el giro se controlaría con uno de los mandos y los movimientos de ascenso y descenso se realizan con el otro mando.



Figura 4.5. Representación de los dispositivos empleados por los dos rovers en el curso 2019 – 2020.

Este tipo de sistemas a pesar de que son llamativos presentan la dificultad para coordinar el movimiento del rover junto con el del cámara analizado en el apartado 4.3. Debido a esto se decide cambiar estos tipos de sistemas de movimiento y pasar a tener un mando y realizar el movimiento mediante un joystick.

#### 4.4.2. Control del Rover mediante Joystick.

Una vez que se decidió que sería necesario cambiar de los sistemas inerciales, se realizó un estudio atendiendo a las 3 grandes posibilidades que se muestran en la Figura .



Figura 4.6. Sistemas de movimiento en base a Joystick.

- **Dispositivo con pantalla LCD.** Este tipo de mandos simulan a los que se emplean en los drones, presentan el problema de que la pantalla no se usaría ya que la cámara del rover estaría conectada a las gafas impidiendo la visión de este display.
- **Dispositivo con 2 joystick.** En este caso el funcionamiento sería análogo al que se mostró en la Figura (b) pero empleando los joysticks. El principal problema que presenta es que se estaría desaprovechando la utilidad que presentan los joysticks al poder usarse para medir ambos movimientos. Es por esta razón por la que se decide desarrollar un mando que conste con un único joystick, abaratando los costes al máximo de cara a la fabricación en serie.

#### 4.4.3. Análisis de los elementos electrónicos

##### PROGRAMACIÓN Y CONTROL

Los Rover construidos hasta ahora utilizan la placa computadora conocida como BeagleBone Black [1]. Este dispositivo es el núcleo central alrededor del cual gira la programación y control de prácticamente todo el Rover. Su finalidad última es la del movimiento el Rover, actuando sobre los motores en función de las señales de entrada que le lleguen, y de los cálculos que está preparada para hacer.

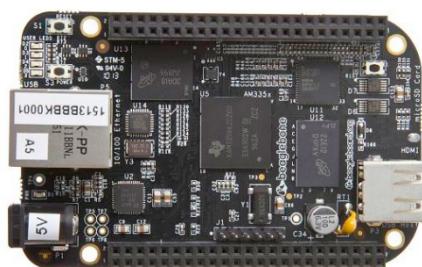


Figura 4.7. BeagleBone Black.

Cabe destacar que hay Rover que utilizan también una FPGA [2] (Field-programable gate array), es decir, una matriz de puertas lógicas programable en campo. En los Rover que la contienen, su uso es para intervenir en la comunicación en serie entre los distintos elementos del robot, y para controlar la cámara situada en el frontal de los aparatos.



Figura 4.8. Placa FPGA Odyssey MAX10.

Para finalizar, existe un tercer dispositivo a destacar, el M5Stack [3]. Este dispositivo programable posee una interfaz a través de la cual se pueden mostrar mensajes e interactuar. En los rovers estudiados puede utilizarse simplemente como un medio a través del cual mostrar mensajes de precaución o error, o también puede ser utilizado como sistema de captación de movimientos.



Figura 4.9. M5 Stack.

## ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA

Este proyecto tiene por requisito que el sistema mecatrónico que se va a desarrollar esté alimentado por una batería, de manera que pueda ser lo más autónomo posible.

En el mercado actual existen diversas tecnologías aplicadas sobre baterías. Las más extendidas son las de iones de Litio (Li-ion), y las de Litio-Polímero (Li-Po). Las primeras, son conocidas por ser baterías con alta densidad energética, mientras que a las segundas se les conoce por su gran capacidad de descarga. El uso de estas últimas, además, está muy extendido en el mundo de los drones.



Figura 4.10. Batería empleada en el Rover.

Las baterías Li-Po se han venido utilizando en los Rover de cursos pasados debido las dos características comentadas anteriormente. La batería que se ha de utilizar en el proyecto es de este tipo, y sus características son las siguientes:

Tabla 4.1. Características de la batería empleada.

Tensión máxima	25.2V
Tensión nominal	22.2V
Tensión mínima	19.8V
Descarga constante máxima	12C a 80A
Descarga pico máxima (en 10seg)	24C a 158.4A
Capacidad nominal	6600 mAh

Como se observa, la tensión de la batería es de 24V, pero existen componentes que trabajan a niveles de tensión inferiores. Lo más común en los Rover de otros cursos es tener niveles de tensión a 12V, a 5V y a 3,3V. Para conseguir estas tensiones de salida, se hace uso tanto de reguladores lineales como de conmutación.

Los reguladores lineales son dispositivos electrónicos que controlan la tensión de salida mediante el ajuste continuo de la caída de tensión que se produce en el transistor de potencia que está conectado en serie entre la entrada no regulada y la carga. Son más sencillos de utilizar que los de conmutación, pero solamente se consideran eficaces (eficiencia 20%) cuando se trabaja a baja potencia (<5W).

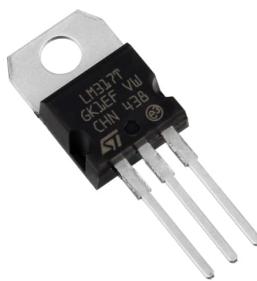


Figura 4.11. Regulador lineal.

En los reguladores de conmutación, el elemento regulador es un transistor que está constantemente conmutado entre corte y saturación. En estas regiones de operación, el transistor disipa muy poca potencia. Debido a ello, estos elementos son bastante eficientes, especialmente cuando existen grandes diferencias entre tensión de entrada y salida. Es por ello por lo que estos reguladores han sido los utilizados en los otros proyectos para ejecutar el paso de 24V a 5V.



Figura 4.12. Regulador de conmutación (24V a 5V).

## **DETECCIÓN DE MOVIMIENTOS**

En cuanto a la captación y detección de movimientos, en los proyectos de cursos anteriores, se han utilizado elementos relacionados con sensorización inercial. Cabe destacar que este curso se implementará también el uso de sensores ópticos a través de la “RealSense”. Otro de los sistemas que son comúnmente utilizados son los de geoposicionamiento (GPS), pero que no se implementará en este proyecto debido al pequeño campo de movimiento en el que va a trabajar el Rover.

Los sistemas de sensores iniciales son opciones baratas y sencillas que se basan en el uso de acelerómetros para medir la aceleración lineal, en giroscopios para medir la velocidad angular, y en magnetómetros con los que se hacen medidas de campo magnético. Su funcionamiento está basado en la integración de la velocidad y aceleración para calcular posiciones. Este tipo de sistemas son los utilizados en otros Rover tanto para el movimiento de la cámara frontal como para el movimiento del propio Rover. En ambos casos, se utiliza un IMU (inertial measurement unit o unidad de medida inercial) colocado en las gafas de realidad virtual para hacer copia del movimiento de éstas en la cámara; o colocado en un guante o pulsera para transcribir los movimientos en la mano al Rover.



Figura 4.13. M5 Stick (IMU).

El funcionamiento de los sistemas ópticos se basa en el reconocimiento de puntos mediante sistemas de cámaras. La combinación de cada punto reconocido desde distintas localizaciones por cada una de las cámaras acaba formando espacios tridimensionales. Además, estos elementos son capaces de distinguir la distancia a la que se encuentran los objetos que tienen delante. Son sistemas que no se han utilizado hasta ahora en los Rover y que este curso se van a implementar mediante el uso de la RealSense [4], que posee cámara con sensor de profundidad y que se va a utilizar para la detección de posibles objetos que puedan interferir en el movimiento del Rover.



Figura 4.14. Intel RealSense.

Finalmente, otro de los sistemas de detección y captación de movimientos es el basado en el geoposicionamiento. Su funcionamiento se basa en conectar el dispositivo GPS a cuatro satélites como mínimo para obtener valores de longitud y latitud. Tal y como se comentó al inicio de este apartado, estos dispositivos están indicados para obtener el movimiento en largas distancias, y es por ello por lo que es una opción no aplicable al proyecto. Si en un futuro se precisara que el Rover se pudiera utilizar para aplicaciones que conllevaran el movimiento a lo largo de varios kilómetros, sería una opción que considerar.



Figura 4.15. Dispositivo GPS.

#### 4.4.4. Análisis electrónico del Rover 2019-2020

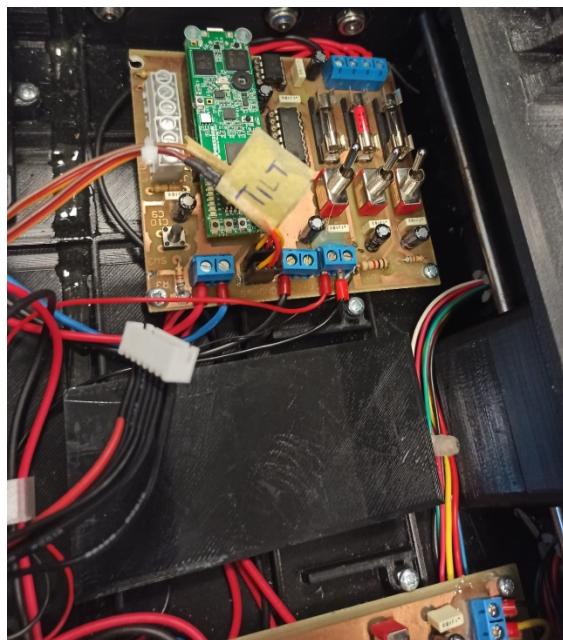


Figura 4.16. Conexión y gestión de cables inadecuada

La figura anterior (Figura 4.16) muestra la conexión de los cables y la gestión de estos de forma inadecuada y desordenada. Revisando los anteriores rovers 2019-2020, se encontraron algunos cables desenchufados y siendo difícil volver a enchufarlos ya que los cables no están configurados en el estándar adecuado. Aunque los rovers son sólo prototipos, los conectores utilizados no son adecuados para su uso en la industria, la cual suele utilizar conectores del tipo "enchufar y conectar", ya que ahorran tiempo y son fáciles de manejar. En cambio, los conectores que se muestran en la figura anterior deben atornillarse correctamente para conectar cada cable a la placa. Esto supone un problema, ya que el hilo del cable puede romperse haciendo que la gestión de los cables resulte complicada.

#### 4.4.5. Análisis mecánico del Rover 2019-2020.

A pesar de contar con un diseño robusto, durante las pruebas se han detectado varios elementos a mejorar para el presente proyecto. A destacar son los siguientes:

- El bastidor ha sido pegado en lugar de atornillado, resultando en una problemática de montaje y desmontaje para mantenimientos.
- La disposición de las ruedas y motores hace que funcione mejor marcha atrás que hacia adelante, siendo esto un inconveniente bastante importante puesto que es contrario al movimiento natural del objeto y del trabajo.
- La suspensión está limitada por el propio tensor de la correa, dificultando el movimiento del sistema sobre algunos obstáculos.

# 5. DISEÑO CONCEPTUAL.

## 5.1. Diseño conceptual Mecánico.

### 5.1.1. Bastidor

En lo que concierne al diseño conceptual del bastidor, las primeras iteraciones de éste serían ligadas a la ubicación de todos los componentes del Rover, que, de manera directa o indirecta, afectarán a esta pieza. En primer lugar y en contra posición con otros Rover, se ha decidido poner los motores en la parte delantera, ya que las ruedas de tracción tienen un mayor diámetro y por tanto ayudará a superar los obstáculos que vayan encontrando.

Por otra parte, y teniendo en cuenta el esquema de suspensiones, se verificó la distancia entre las ruedas delanteras y traseras, que será un factor limitante ya que la oruga tiene una extensión dada. También, la altura del Rover libre al suelo será un dato a tener en cuenta para evitar que se quede encallado al pasar obstáculos.

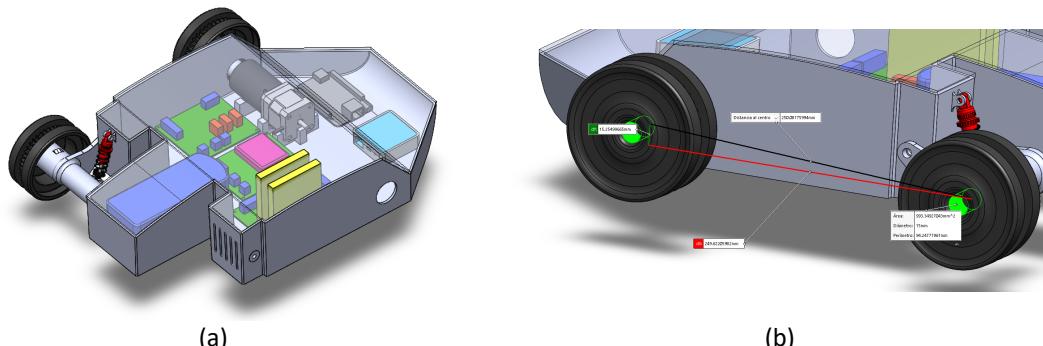


Figura 5.1. Inicio de las pruebas con la distribución espacial.

En lo que se refiere al layout interior, considerando que motores y batería son los elementos más pesados, y que los motores cargan casi exclusivamente sobre el eje delantero, se decidió retrasar la batería hasta una posición entre los basculantes traseros, para así tratar de centrar las masas del conjunto y dejar espacio en la parte intermedia para la electrónica. Dicha electrónica, en una primera fase no se conoce al 100% sobre todo en lo que a PCBs de diseño propio se refiere, por lo que se realizaron unos modelos aproximados en base a medidas de Rovers de otros años del máster.

Por último y a nivel estructural, se decidió dar al bastidor una forma hueca que permite gran capacidad de carga interior a la vez que una fabricación por medios de inyección de plástico. Esta forma, a su vez, cuando se encuentre cerrada por su parte superior por una tapa atornillada en varios puntos, dotará a la estructura de una gran rigidez.

### 5.1.2. Sistema de Suspensión.

Partiendo de las observaciones realizadas, se procedió a diseñar un sistema de suspensión que minimizase las problemáticas encontradas. Para ello se ha decidido que inicialmente todas las ruedas estén en contacto con el suelo y sean las motrices las que se sitúen en la parte delantera. Éstas no llevarán ningún tipo de suspensión, debido principalmente a las bajas velocidades de funcionamiento y a que los accionamientos estarán anclados al bastidor, favoreciendo la reducción de la masa suspendida del conjunto debido al notable peso de estos. Por el contrario, se ha derivado la suspensión a las dos ruedas centrales y a la trasera, buscando que la superficie de contacto sea la máxima posible cuando aparezcan perturbaciones en el terreno. Cabe destacar que con esto se pretende lograr que las cuatro ruedas estén siempre en constante contacto con el suelo favoreciendo la tracción óptima del mecanismo.

En lo respectivo a la suspensión de las ruedas traseras se pensó en un primer momento en un basculante similar al que llevan las motos o las bicicletas de montaña (Figura 5.2 a), donde el (1) es la unión de la rótula del brazo de la suspensión con el chasis, (2) es el eje de la rueda y, (3) la unión del amortiguador con el chasis. Esta primera idea se consolidó al ver un diseño de ediciones pasadas que llevaba un sistema similar, y cuyo funcionamiento aparentemente era bastante satisfactorio. Previo al diseño de concepto, se establecieron algunas premisas como por ejemplo que el propio basculante tendría un par de orejetas para fijar mediante uniones atornilladas el conjunto de amortiguador-muelle al chasis, o que la unión del propio basculante con la estructura del vehículo también iría fijada por medio de tornillos (Figura b). Adicionalmente, con el fin de corregir el problema encontrado en cursos pasados relativo a que la tensión de la oruga producía un esfuerzo en el brazo de la suspensión que tendía a deformar la rueda, se propuso como conjectura de diseño que los puntos de unión de los brazos con el chasis estuvieran a una distancia importante con el fin de contrarrestar con mayor facilidad el momento producido dicha tensión. Otro aspecto para considerar es que los esfuerzos sobre las ruedas serán mayoritariamente verticales por lo que se tratará de colocar el elemento disipativo lo más vertical posible para absorber así las componentes mayoritarias de los esfuerzos que se produzcan. Por último, también se meditó sobre como fijar los posibles desplazamientos de las ruedas y por ello en un primer momento, el basculante diseñado debe acoplarse sobre un casquillo de plástico cuya lengüeta mantiene fija su posición. De acuerdo con estas características planteadas, la Figura 5.2 muestra el primer boceto sobre el que se trabajarán los próximos diseños.

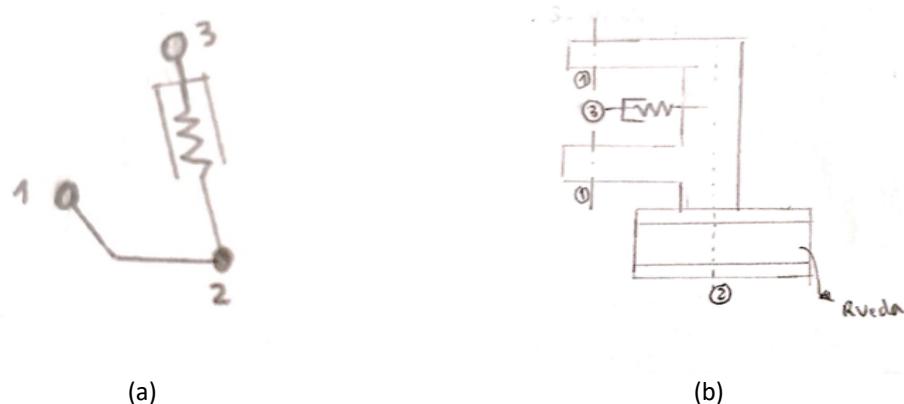


Figura 5.2. Representación del basculante trasero. (a) Esquemático. (b) Vista en planta.

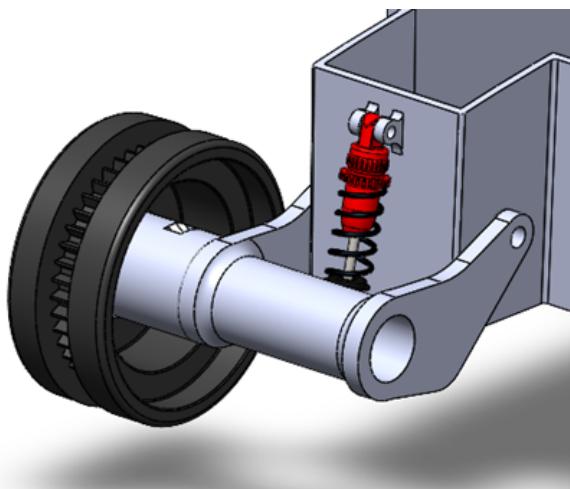


Figura 5.3. Primer diseño conceptual de la suspensión trasera.

En lo respectivo al diseño conceptual de la suspensión de las ruedas intermedias, se valoró una solución cuyo efecto se asemeja a las barras torsionales de los vehículos. La Figura muestra el esquemático de la idea que se pretende llevar a cabo, donde el punto 1) representa los ejes de las ruedas, el 2) la rótula sobre la que gira el mecanismo y el punto 3), la unión de los brazos de la suspensión con el conjunto muelle-amortiguador. El objetivo de emplear un sistema similar a éste es el de garantizar el contacto de las ruedas con la oruga, ya que cuando aparece un obstáculo sobre una rueda, el muelle se comprime y realiza una fuerza negativa sobre la otra, y viceversa. Adicionalmente, de esta representación también pueden extraerse ciertas consideraciones, como que, por ejemplo, resulta interesante que  $L_{12}$  se sitúe lo más horizontal y larga posible, siempre y cuando se garantice una posición de las 4 ruedas de cada lado del rover equidistanciada. Con esto, se consigue que la rueda se mueva lo más vertical posible, logrando que la distancia horizontal entre las ruedas varíe lo mínimo posible. De esta forma, también se desea que las ruedas intermedias estén centradas con respecto a la distancia libre que existe entre las ruedas delanteras y traseras o, que las dimensiones del mecanismo deberán considerarse en base a cálculos según las fuerzas de los posibles obstáculos y la rigidez del muelle. Con todas estas consideraciones, se

forma el primer boceto conceptual, de acuerdo según la Figura 5.5, que será el que asiente las bases del futuro trabajo.

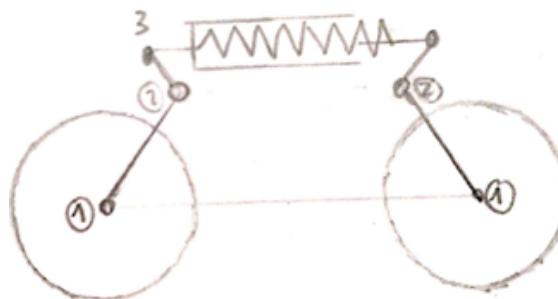


Figura 5.4. Representación esquemática de la suspensión de las ruedas intermedias.

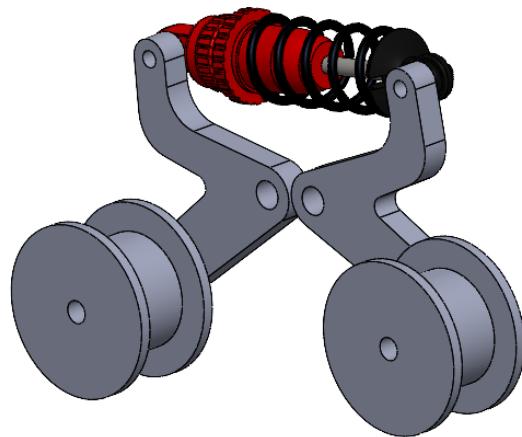


Figura 5.5. Representación del primer boceto conceptual de la suspensión intermedia.

### 5.1.3. Tensor.

El tensor es un elemento de gran importancia para el conjunto de motricidad, su misión será mantener una tensión en la oruga consiguiendo que ésta garantice un buen contacto con el terreno. En su diseño, prevalece la idea de realizar un mecanismo lo más sencillo posible para que no incluya numerosos componentes comerciales y así se reduzca tanto el coste como el tiempo de montaje, parámetros muy influentes en la fabricación en serie de un producto. Por todo ello, se basó el diseño en dos ejes y una palanca, donde el primero de ellos permite fijar el mecanismo al bastidor y el segundo, permitir el giro de la rueda de la polea tensora. Ambos ejes estarán unidos mediante una palanca, con el extremo de un resorte de torsión anclado en un extremo a dicha palanca y el otro en un tope mecánico del propio chasis será el encargado de transmitir el esfuerzo de torsión procedente de la fuerza de la tensión de la correa. Un boceto del mecanismo que se pretende diseñar se observa en la Figura .

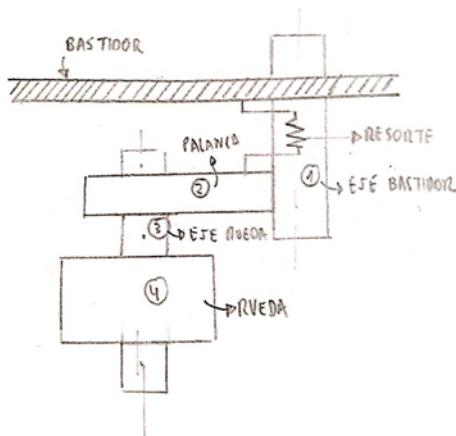


Figura 5.6. Diseño esquemático del mecanismo tensor.

Entrando más en detalle, la configuración de los distintos ejes admite varias alternativas según el eje del bastidor sea móvil o fijo. En caso de optar por una solución del primer tipo (ver Figura 5.7 a), un casquillo con valona se apoyaría sobre el bastidor para garantizar un movimiento relativo entre ambos cuerpos. Esto permite que el brazo de la palanca gire solidario al eje lográndose por medio de un apriete entre ambos o bien, mediante un sistema de prisioneros. Ambos extremos irían fijados por una solución del tipo arandela-tuerca. En lo respectivo a la segunda solución (ver Figura b), que el eje del bastidor en este caso sea fijo, se lograría anclando el eje al bastidor por medio de una tuerca y arandela. Para dotar a la palanca de movimiento relativo con respecto el eje, se pensó en introducir un elemento de baja fricción como un casquillo con valona por el exterior del eje de favoreciendo el movimiento entre ambas piezas.

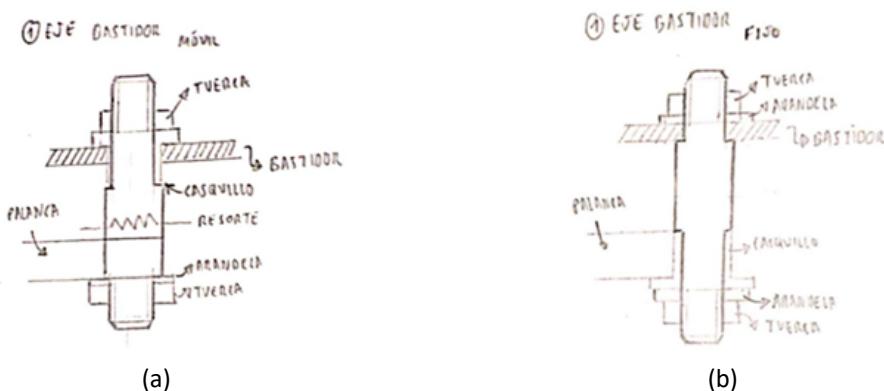


Figura 5.7. Alternativas de configuración del eje del bastidor. a) Eje móvil b) Eje fijo.

Por último, también se pensaron en varias alternativas en lo respectivo al eje de la rueda de la polea tensora, en la que éste se diseñe de forma fija o de forma móvil. En el primer caso (ver Figura a), la configuración es muy similar al explicado anteriormente y el movimiento de la rueda se logra con un casquillo de valona, ya que tiene mayor superficie de contacto que un rodamiento. En el caso de la segunda opción (ver Figura b), el movimiento del eje se logra con un rodamiento encastrado en la propia palanca, dejando fijados sus anillos interiores por medio de los resalte impuestos en el eje y los exteriores

por medio de la propia palanca. Los anillos superiores de la cara externa se dejarían libres para absorber las posibles contracciones volumétricas que el eje pudiera sufrir.

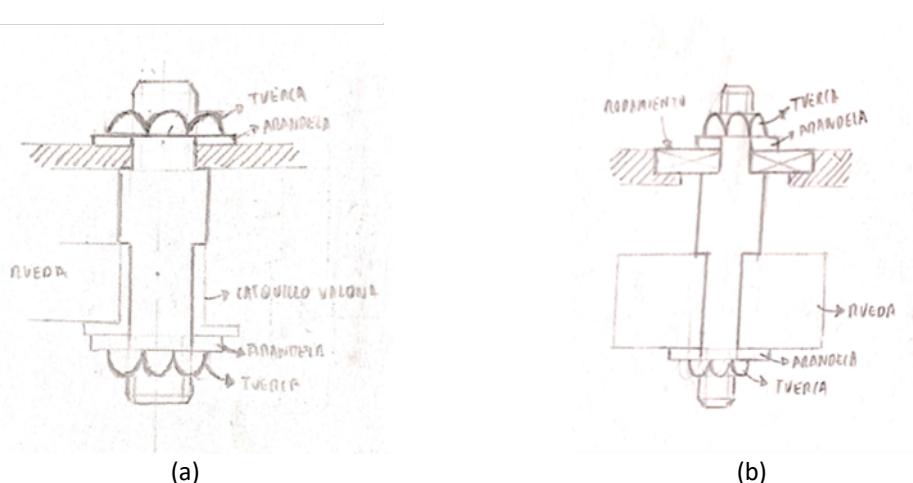


Figura 5.8. Alternativas de configuración del eje de la rueda. a) Eje fijo b) Eje móvil.

#### 5.1.4. Sistema de tracción

Para transmitir el par del motor a la oruga, se cuenta con una rueda comercial con un dentado interior para el par de llegada y un dentado exterior destinado a la oruga para el par de salida. Con el fin de simplificar al máximo el sistema de tracción, se plantea la posibilidad de utilizar una única pieza intermedia para unir motor y rueda. Esta pieza, contaría con un dentado capaz de transmitir esfuerzos a la rueda y por medio de los planillos del motor y unos prisioneros, el motor se sería solidario con esta.

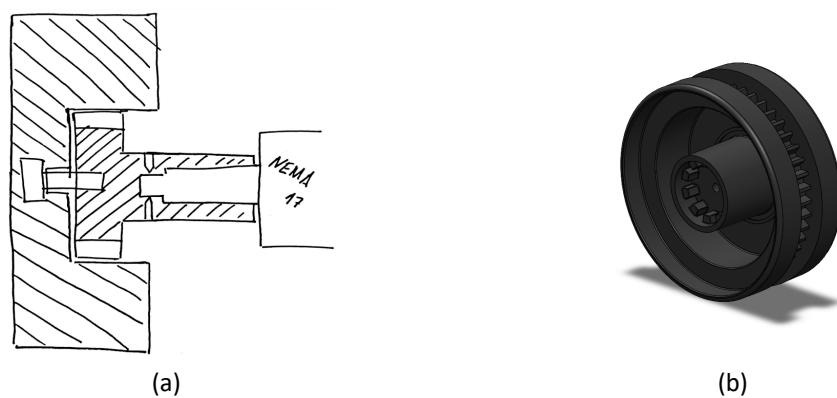


Figura 5.9. Diseño conceptual del mecanismo de tracción (a) para la rueda (b)

El único problema que hay en este esquema conceptual es la necesidad de encontrar un dentado que no tenga holgura ni a nivel axial ni radial, por lo que habrá que realizar un proceso iterativo para obtener la forma geométrica óptima, no estando esta normalizada.

### 5.1.5. Sistema movimiento de la cámara

A partir del estudio de las soluciones adoptadas en los prototipos disponibles y de las soluciones comerciales, se planteó un primer modelo que cumplía con requisitos principales deseados.

La primera decisión que se tomó tiene que ver con el campo de visión, dado que el servomotor disponible solo permite un movimiento de 180º, se pensó en colocar una multiplicación para conseguir un campo de visión mayor, pero esto se desechó dado que con la funcionalidad que posee el ROVER se consigue un espacio de trabajo suficiente.

Para conseguir que la cámara tenga visión en todo el espacio de trabajo del Rover, se diseña el sistema de manera que tenga un movimiento de giro sobre el eje de la cámara denominado “PAN”, que se puede ver en la Figura 5.10, y otro giro que desplace la cámara haciendo un movimiento de barrido desde una posición de la cámara paralela a la dirección de avance del Rover, hasta una posición perpendicular a dicha dirección de avance, este giro lo denominaremos “TILT”, se puede ver en la Figura 5.11. Con la composición de estos dos se consigue el campo de visión correspondiente a la esfera que se puede ver en la Figura 5.12.

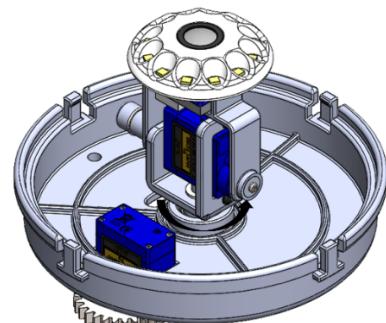


Figura 5.10. Giro denominado como “PAN”

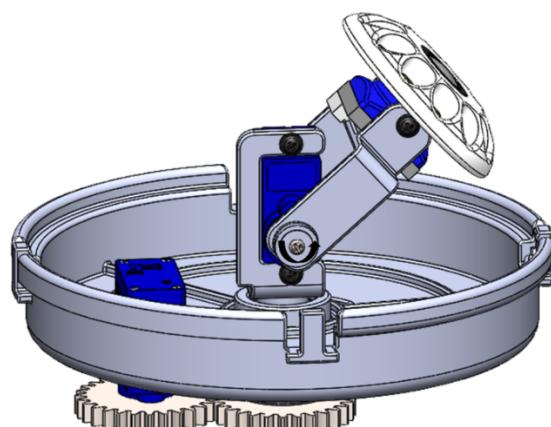


Figura 5.11. Giro denominado como “TILT”

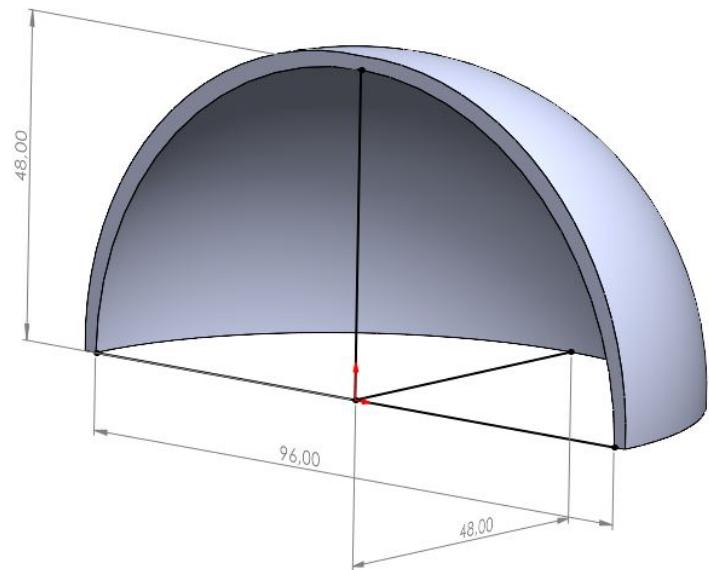


Figura 5.12. Campo de visión útil de la cámara

Para el giro del “PAN” se plantea a partir del servo, el cual gracias a dos engranajes es capaz de transmitir el giro hacia la base de la cámara, contando con un eje que transmite el movimiento que esta colocado entre dos rodamientos.

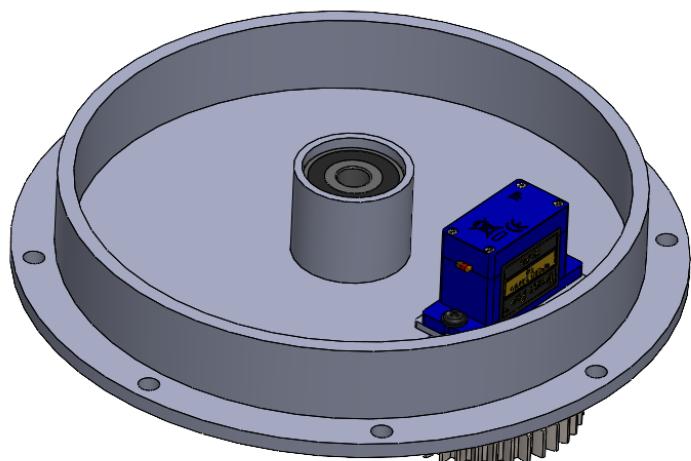


Figura 5.13. Concepto de ensamblaje “PAN”

Para el giro “TILT” se plantea una pieza que sujete la cámara que girará sobre la pieza que se une con el ensamblaje “PAN”, donde estará colocado el servomotor que produce el giro “TILT”.

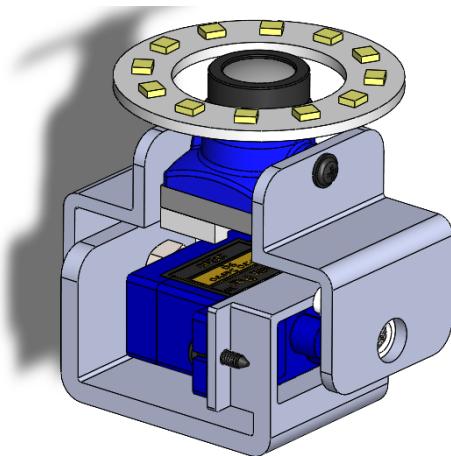


Figura 5.14. Concepto de ensamblaje “TILT”

### 5.1.6. Carcasa del Game-Pad.

Tras decidir que para efectuar el movimiento manual del Rover se va a utilizar un joystick, se empieza a trabajar en bocetos de lo que en un futuro será la carcasa que envuelva toda la electrónica relacionada con este elemento.

En un primer momento, se había decidido utilizar dos placas base más una tercera que sería comercial, el módulo de carga para la batería. Con ello, se realiza una primera versión de lo que sería la carcasa del gamepad. Se trata de respetar todas las convenciones relacionadas con la fabricación por inyección de plásticos, debido a que esta será la manera ideada para la manufactura de esta pieza en serie.

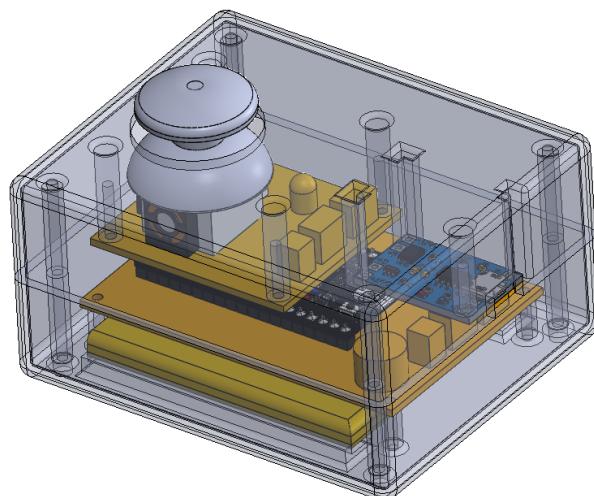


Figura 5.15. Diseño inicial para la carcasa.

En la Figura 5.15 se puede observar la localización de la práctica totalidad de elementos electrónicos a utilizar, así como los diversos agujeros para tornillos donde se anclarán las placas base, y la base y la tapa entre sí. En el fondo de la base, se localiza la batería, que iría fijada lateralmente y unida a la propia base mediante cinta de doble cara, de la misma manera que se utiliza en los Smartphone. Existiría un agujero por el que sobresaldría el joystick, además de otro agujero a la altura del módulo de carga que serviría para conectarle un cable USB-C externo para cargar la batería.

Después de varias iteraciones en el diseño de la electrónica, se decide utilizar una única placa base que contenga todos los elementos electrónicos y sobre la que se pueda anclar, a su vez, la otra placa base comercial, la del módulo de carga. Con esto quedaría un único elemento más alargado en el interior de la carcasa.

Con estos cambios, se dio por definitivo el diseño electrónico y se pudo comenzar a realizar iteraciones en la parte de diseño de la carcasa. A continuación, se repasan los pasos que se fueron dando hasta obtener el diseño definitivo de la carcasa.

### **DISEÑO DE PCB AUXILIAR Y BATERÍA**

Para ayudar a la hora de verificar medidas, se realiza un modelo CAD de la placa base que contenga todos los elementos críticos en cuanto a medidas. Esto será de utilidad para comprobar posibles interferencias.

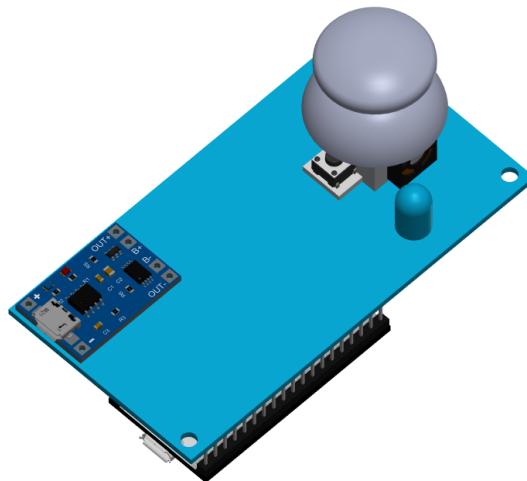


Figura 5.16. PCB auxiliar (CAD).

En esta PCB se situaron con las medidas exactas los agujeros de las esquinas que servirán para anclar la PCB a la base de la carcasa, además del joystick y del módulo de carga. Para este último se realizará un agujero en la carcasa que permita conectar el cable USB-C externo. En la parte inferior está situado el ESP32, el microcontrolador encargado de recoger los datos generados por el joystick y de enviarlos al Rover. Su distancia a la PCB, es decir, su altura, será muy importante porque afectará a las medidas finales de la carcasa.

Finalmente, se diseña un elemento con las medidas que tendrá la batería que se utilizará para alimentar este sistema.

Previo a la descripción tanto de la base como de la tapa, es importante comentar que el sentido que se le quiso dar al diseño fue el de realizar una carcasa lo más compacta y ergonómica posible. La razón de esto es que se trata de un elemento portátil que podría manejarse con una sola mano, con lo que cuanto más pequeño y ergonómico fuera, mejor encajaría en una mano.

### **DISEÑO DE LA BASE DE LA CARCASA.**

Las medidas de esta pieza se han de corresponder con las de la tapa, y han de respetar las dimensiones de la PCB. El diseño inicial será el de un prisma rectangular vaciado, y redondeado en sus dos aristas más cortas con el fin de que la pieza sea más ergonómica en la mano. Además, se aplican redondeos más finos en el resto de las aristas para evitar aristas vivas.

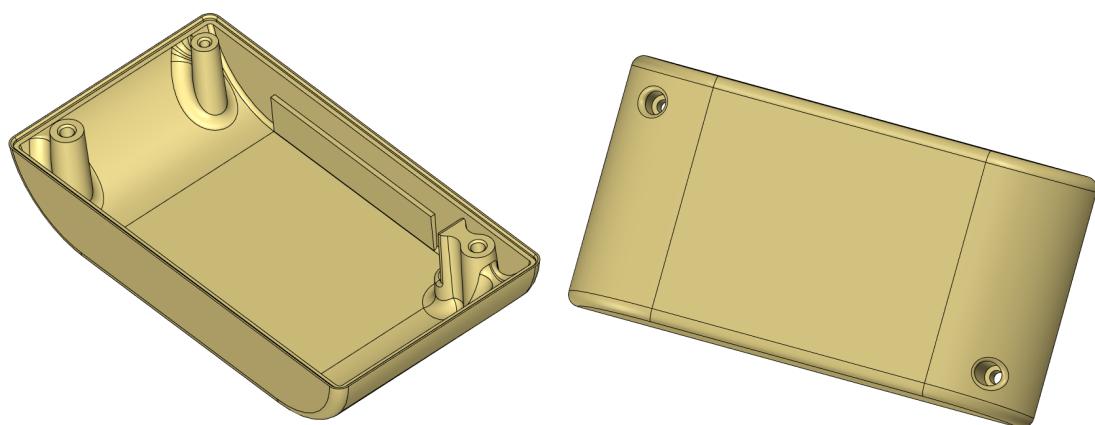


Figura 5.17. Parte interior y exterior de la pieza base de la carcasa.

Tendrá tres resaltes de montaje que servirán de fijación para la PCB. Uno de ellos tendrá un agujero con las dimensiones específicas para que los tornillos RF87T D2 5x12[5] para plástico se puedan roscar en el mismo. Otro resalte de montaje servirá de eje pasante para otro de los tornillos nombrados anteriormente (de forma que pueda anclar la base a la tapa), pero, además, también servirá de fijación radial en uno de los agujeros de la PCB. Finalmente, el tercer resalte de montaje servirá para asentar la PCB salvando la posición del ESP32, y además, servirá, como en el caso anterior, de eje pasante para fijar la base con la tapa.

Hay que destacar, que los dos resaltes de montaje que servirán de anclaje con la tapa tendrán un agujero en la parte inferior de la base para introducir los tornillos que harán esa unión. Todos los resaltes de montaje en la parte interna de la base tienen un chaflán cuyo fin es el de abocar perfectamente los tornillos, y evitar rechupes.

Se aplican redondeos sobre estos resaltes de montaje con el fin de que puedan actuar como nervios de refuerzo, pero esta vez salvando el redondeo inicial y más ergonómico.

Un pequeño escalón en la parte inferior interna de la base fijará lateralmente la batería.

Finalmente, se trabaja sobre el reborde de unión entre la carcasa y la tapa, de manera que posea una forma que permita que ambas encajen perfectamente entre sí. Esto será posible gracias al chaflán que tendrán las aristas de unión de ambas piezas.

### **DISEÑO DE LA TAPA DE LA CARCASA**

Al igual que ocurre con la base, las dimensiones de esta tapa respetan aquellas de la PCB, y tienen en cuenta, además, que tanto tapa como base encajen perfectamente una en otra. Por ello, el resalte de esta pieza será el opuesto al que se comentaba para la base (también con un chaflán que favorezca el ajuste), de manera que impida el libre movimiento de ambas piezas en conjunto.

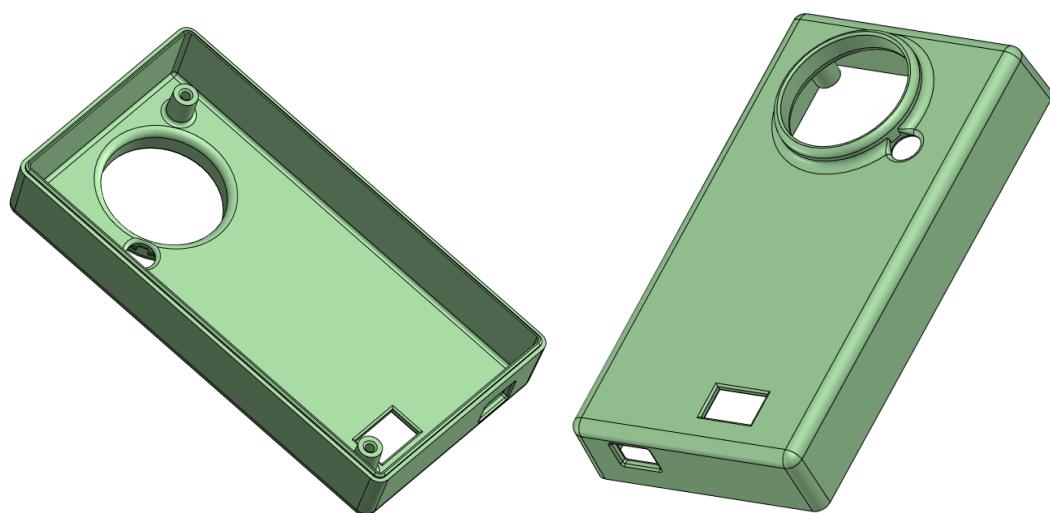


Figura 5.18. Parte interior y exterior de la tapa.

En este caso hablamos de nuevo de dos resaltes de montaje, idénticos en este caso, y que se sitúan en una posición que se corresponde con el de aquellos resaltes que en la base servían de eje pasante para los tornillos. El diámetro interno los de la tapa será el calculado según los parámetros del fabricante de los tornillos RF87T, y que se describen en el próximo apartado.

Se realizan dos agujeros en la parte superior de la tapa, uno de ellos para que pueda asomar el joystick, y el más pequeño, que se corresponde con la posición del LED luminoso. Se observa que el agujero del joystick tiene un nuevo resalte. Su fin es puramente estético, de manera que la transición entre la parte lisa de la tapa y las distintas formas del cuerpo joystick no fuera abrupta.

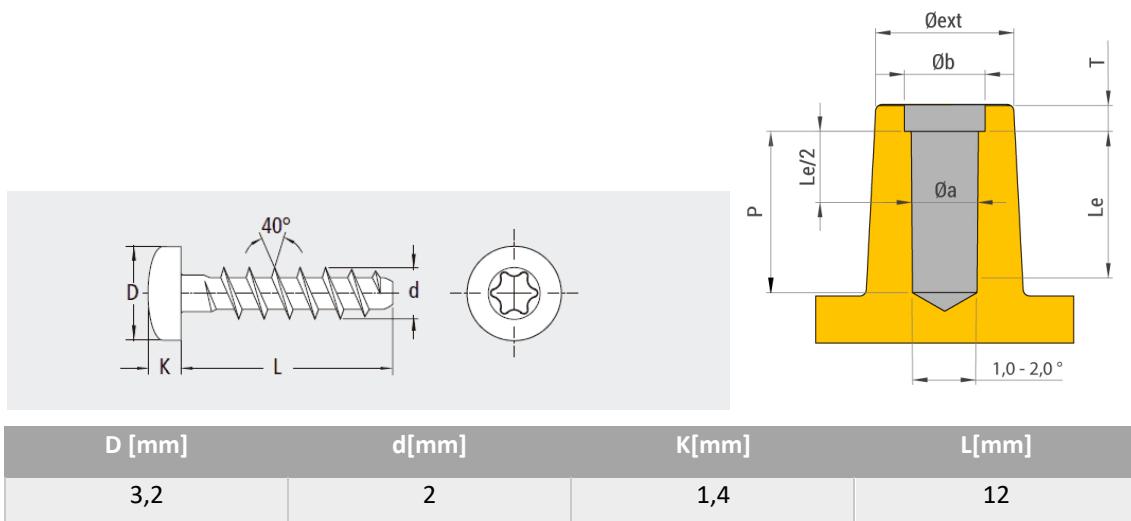
Finalmente, la tapa posee otros dos agujeros rectangulares. El primero, el situado en el mismo plano que los agujeros del LED y joystick, servirá para encajar el interruptor de encendido/apagado del gamepad. El segundo agujero, situado en el lateral de la tapa, servirá para poder conectar el cable USB-C con el módulo de carga.

Se ha de destacar que todos los elementos nombrados hasta ahora poseen redondeos con el fin de evitar aristas vivas que puedan provocar la aparición de rechupes durante el proceso de fabricación.

## CÁLCULO DE AGUJEROS PARA TORNILLOS

En el diseño de nuestras piezas existen dos tipos de agujeros, los pasantes y aquellos donde es atornillan los tornillos para plástico.

El modelo de tornillo que se va a utilizar en estas aplicaciones para plástico es el RF87T D2 5x12



Con los datos mostrados en la tabla, se hace uso de las siguientes fórmulas para obtener el resto de los parámetros:

- $d$  = diámetro del tornillo
- $\varnothing a$  = diámetro del agujero =  $0,75 \times d$  (para material ABS)
- $\varnothing ext$  = diámetro exterior de la torreta =  $2,1 - 2,6 \times d$  (para material ABS)
- Longitud de engarce  $Le = 2,3 \times d$
- Profundidad mínima  $P = 2,9 \times d$
- Altura de chaflán  $T = 0,25 - 0,5 \times d$
- Diámetro exterior de chaflán  $\varnothing b = 1,05 - 1,1 \times d$

$\varnothing a$ [mm]	$\varnothing ext$ [mm]	$Le$ [mm]	$P$ [mm]	$T$ [mm]	$\varnothing b$ [mm]
1,5	4,2 – 5,2	4,6	5,8	0,5 – 1	2,1 – 2,2

Estos serán los parámetros que aplicar a la hora de realizar los agujeros en los resalte de montaje. El diámetro de los agujeros pasantes se corresponderá con el de  $\varnothing b$ , y el diámetro para roscar el tornillo será  $\varnothing a$ .

## 5.2. Diseño conceptual Electrónico.

### 5.2.1. Game-Pad para el Movimiento.

En base al modelo que se decidió implementar, visto en la Figura ©, se procede a enunciar los distintos componentes de los que va a constar, así como cual sería su función en el conjunto del sistema.

#### COMPONENTES DEL GAME-PAD.

- Módulo ESP32. Será el cerebro del mando, permitirá conectarse por vía wifi con el ordenador del rover para enviar los datos necesarios que permitan realizar el cálculo de la velocidad que tendrá que adquirir cada uno de los dos motores.
- Batería LiPo de 3.7V 2000 mAh.
- Joystick. Elemento que será el que permita establecer la velocidad y dirección.
- Módulo de carga TP4056. Será el que permita realizar la carga de la batería mediante un conector de tipo USB-C. Una imagen del módulo se puede ver en la figura

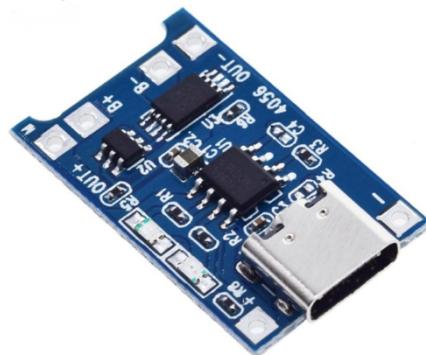


Figura 5.19. Imagen de ejemplo.

- Bombilla LED RGB. Permitirá mediante un código de colores establecer el nivel de la batería para permitir identificar cuando se tiene que realizar la carga del mando.
- Interruptor ON – OFF. Será el que permita conectar el mando o dejarlo desconectado.
- Buzzer. Dispositivo de sonido que será el que emite un indicador sonoro para confirmar la conexión o desconexión del mando.

#### DISEÑO ESQUEMÁTICO Y PCB INICIALES.

En esta primera parte se decidió emplear 2 PCBs con el fin de realizar una placa para contener lo que sería el Joystick junto con el LED indicador y por otro lado lo que sería el buzzer junto con el módulo ESP32. Estos primeros diseños se muestran en la Figura y Figura , la primera se corresponde con lo que sería el propio joystick y la segunda la que contiene el módulo ESP32.

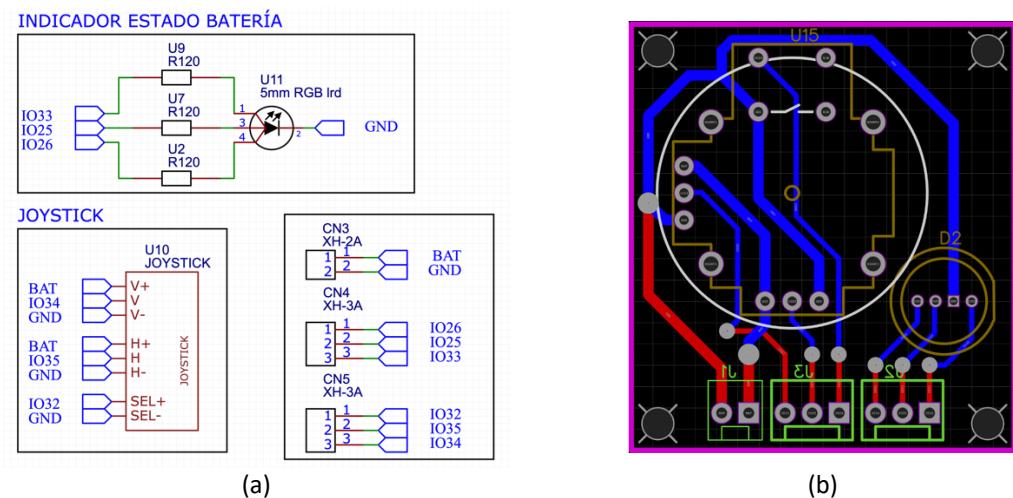


Figura 5.20. Representación del diseño esquemático y la PCB para el Joystick.

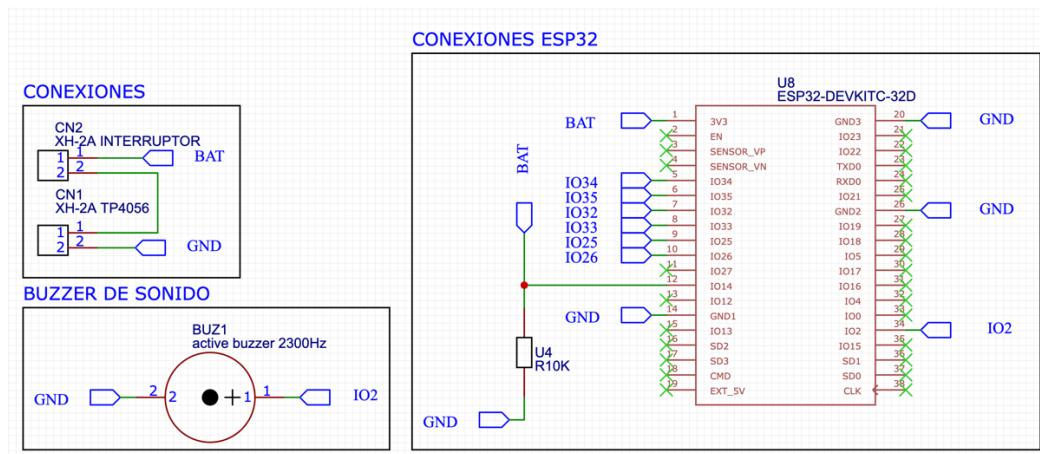


Figura 5.21. Representación del diseño esquemático para el Módulo ESP32.

No obstante, un análisis previo reveló que para garantizar la mayor sencillez posible de cara al montaje sería mejor utilizar únicamente una PCB tratando así de disminuir el número de conectores empleados.

### 5.2.2. Conexión para elementos de potencia.

En este apartado se van a detallar los distintos elementos que será necesario incluir en el diseño de la placa de circuito impreso con la finalidad de conseguir alimentar los distintos elementos partiendo de la batería LiPo de 6 celdas que se puede ver en la Figura 5.22



Figura 5.22. Batería LiPo de 6 celdas 6600 mAh y 24V.

Esta batería presenta las siguientes características:

- Tensión máxima del conjunto de celdas de 25.2V.
- Tensión nominal 22.2V.
- Tensión mínima 19.8 V.
- Capacidad nominal 6600 mAh.

Esta batería, presenta la cualidad de permitir realizar la descarga a un valor de 12 veces el valor de la corriente nominal, algo que no va a ser utilizado en este proyecto ya que entonces solamente tendríamos batería para 5 minutos de trabajo.

Dado que la tensión nominal de la batería es de 22.2V será necesario incluir una serie de dispositivos que permitan garantizar que los distintos elementos tengan la tensión que demandan.

### **REGULADOR COMNUTADO DE 24V A 5V**

El regulador que se va a emplear es el TRACO-POWER 25-2411 que se puede ver en la Figura 5.23 con una eficiencia según las hojas de características del fabricante del 85%.



Figura 5.23. Regulador comnulado de 24V a 5V.

A este dispositivo se van a conectar los elementos que se van a enunciar en el estudio de consumo energético que se podrá ver en apartados posteriores.

### **REGULADOR COMNUTADO DE 24V A 12V**

En este caso, el regulador a emplear, también de la marca TRACO-POWER[6] es el TEN25-2411[7] que permitirá alimentar la corona de LEDs así como unos pequeños ventiladores que se situarán en la parte delantera del ROVER para garantizar la refrigeración de estos.

## **REGULADOR LINEAL DE 5V A 3.3V**

Este último regulador deja de ser de tipo conmutado para pasar a ser de tipo lineal, ya que la potencia que se disipa resulta demasiado baja como para justificar el uso de un regulador de tipo conmutado. En este caso se va a emplear el regulador MCP1826[8] que controla la tensión de salida ajustando la caída de tensión en un transistor de potencia.

### **5.2.3. Motores y controladora.**

En este trabajo se va a emplear el conjunto motor reductor de Nanotec bajo la designación DB42S03 con la caja reductora GPLK42-23, el conjunto se puede ver en la Figura 5.24

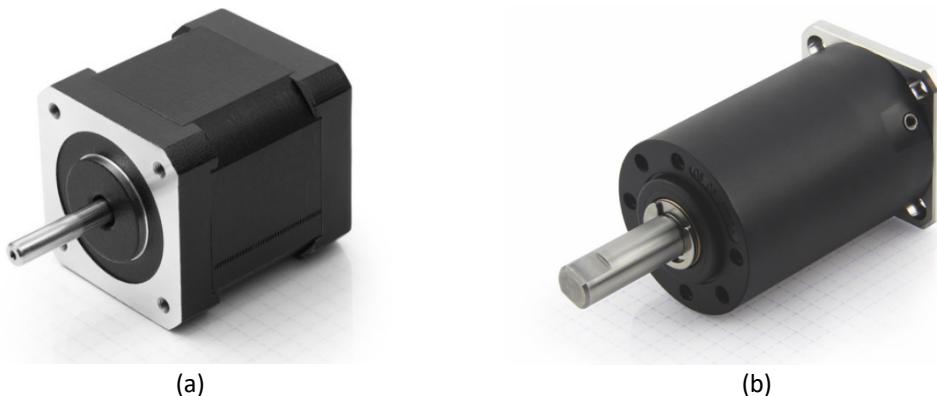


Figura 5.24. Representación del motor y caja reductora para el rover.

Para el control de estos motores se van a emplear un total de 2 drivers de designación SMCP33 a los que será necesario conectar una serie de resistencias tal y como se puede ver en la Figura 5.25.

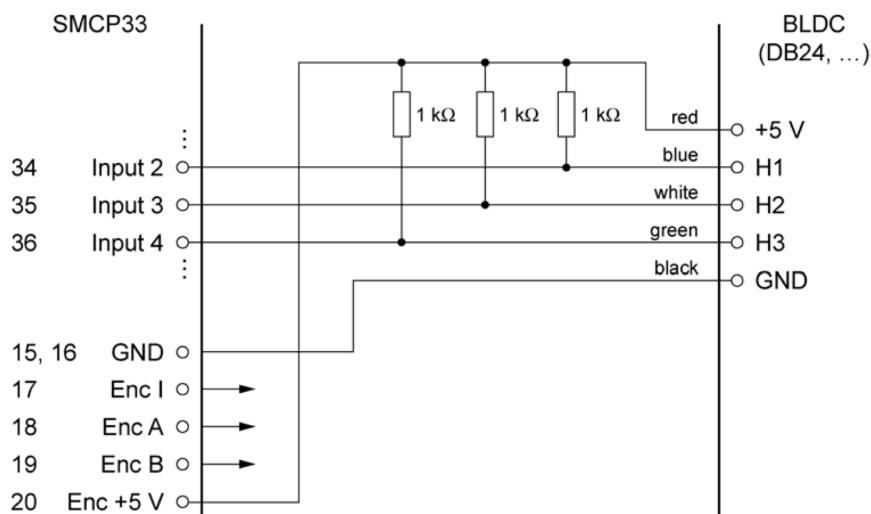


Figura 5.25. Resistencias para conectar para los controladores de los motores.

Los drivers se comunican con los motores con un total de 8 cables, 3 para los sensores de efecto Hall, 2 para la alimentación y otros 3 para las fases U, V, W que presentan este tipo de motores, tal y como se puede ver en la Figura 5.26.

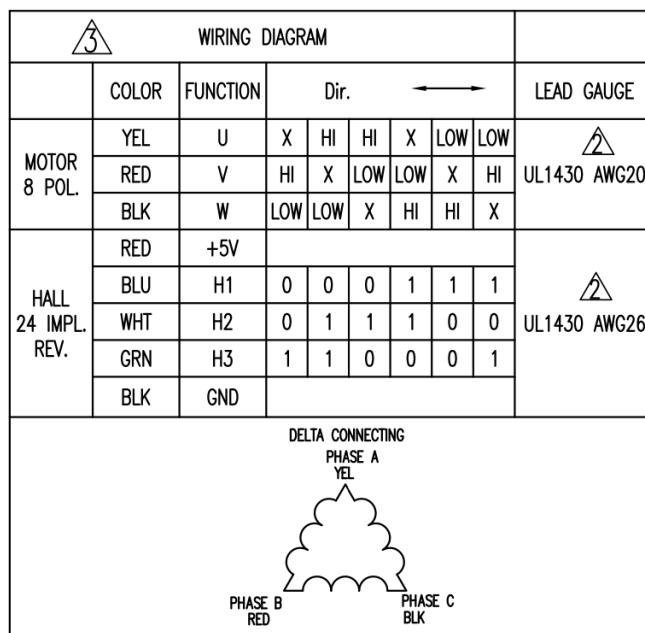


Figura 5.26. Elementos de conexión de los motores.

Para la comunicación de estos se debe emplear la comunicación por puerto serie RS-485 empleando los correspondientes pines que marca el manual de los drivers.

#### 5.2.4. FPGA, conversor AD y controlador para servomotores.

Para la medición del nivel de tensión de la batería, así como el movimiento de la cámara que permita realizar las tareas de inspección se va a emplear la FPGA Odyssey MAX10 [2] (ver Figura 5.27).

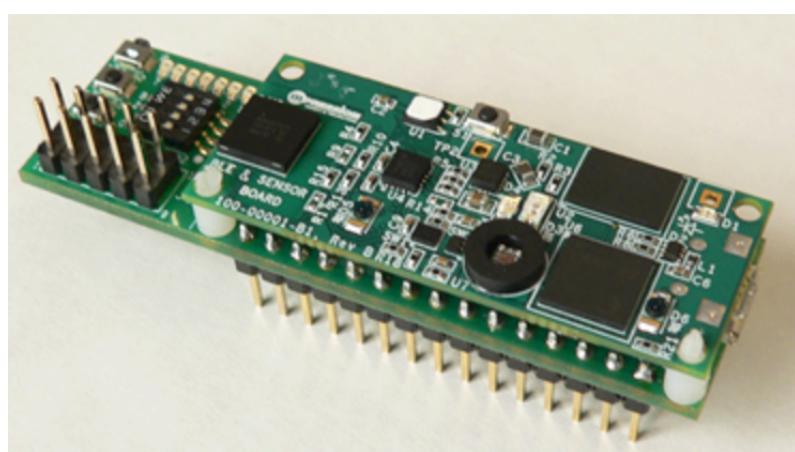


Figura 5.27. Placa FPGA Odyssey MAX10.

## CONVERSOR AD

Para realizar esta tarea se va a emplear el conversor MCP3201 de 12bits que permite realizar un máximo de 50.000 muestras por segundo cuando se alimenta a los niveles de tensión con los que trabaja esta tarjeta (3.3V).

Para realizar la programación de este se va a emplear el cronograma que se muestra en la Figura 5.28, cuya descripción se podrá observar en el apartado 6.2.4.

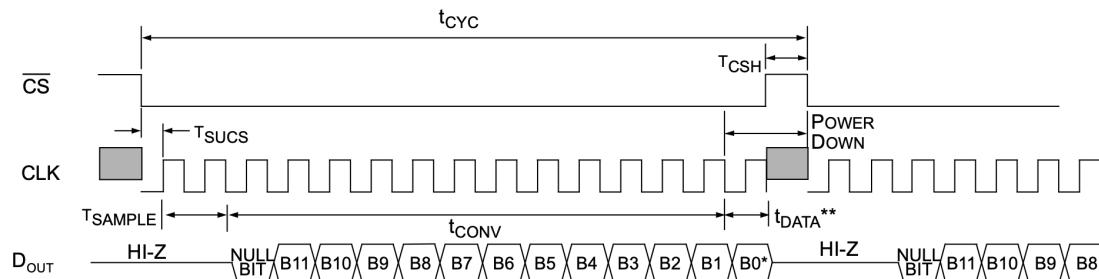


Figura 5.28. Cronograma para el trabajo del conversor AD.

No obstante, dado que no es posible alimentar al conversor directamente con la tensión de la batería se va a implementar un divisor resistivo (Figura 5.29)

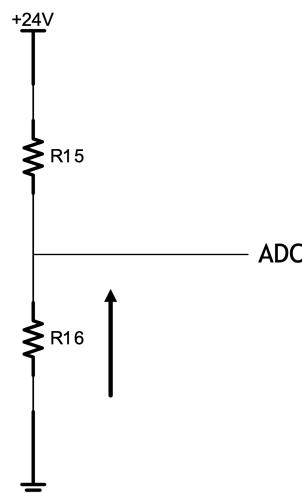


Figura 5.29. Representación del divisor resistivo para medir la tensión de la batería.

En primer lugar, se va a calcular los valores de tensión máxima y mínima que se podrían lograr con la batería que se está empleando:

$$V_{bat}^{max} = 6 \times V_{celda}^{max} = 6 \times 4.2 = 25.2 \text{ V}$$

$$V_{bat}^{min} = 6 \times V_{celda}^{min} = 6 \times 3.5 = 21 \text{ V}$$

Una vez conocidos estos datos se procede a escoger los valores de las resistencias R15 y R16 para garantizar un rango de tensión en el conversor que éste pueda manejar.

$$V_{ADC} = V_{bat} \times \frac{R_{16}}{R_{15} + R_{16}} \rightarrow 3,3 = V_{bat}^{max} \times \frac{R_{16}}{R_{15} + R_{16}}$$

$$R_{16} = 1 \text{ k}\Omega \Rightarrow R_{15} > 6640 \Omega \Rightarrow R_{15} = 6k8 \Omega$$

Con estos valores normalizados de resistencia se consigue obtener una tensión 3,23 V en el AD de cuando la tensión de la batería es la máxima y de 2,69 V cuando la tensión de la batería es la mínima. No obstante, por disponibilidad de material en el laboratorio se tendrán que usar unas resistencias con valor:

$$R_{16} = 1 \text{ k}\Omega \Rightarrow R_{15} > 6640 \Omega \Rightarrow R_{15} = 10k \Omega$$

### **CONTROL DE LOS SERVOMOTORES.**

Dado que la FPGA saca por sus pines una tensión del orden de 3.3V será necesario subir los niveles de tensión de la señal PWM que se genere, a tal efecto se va a emplear el controlador L293D.

#### **5.2.5. Estudio de consumos Energéticos.**

En este apartado se va a analizar el consumo de los distintos elementos con los que cuenta el rover para poder comprobar si la batería es capaz de suministrar la energía necesaria. Los distintos dispositivos que se alimentan desde la batería son los que se pueden ver en la Figura .

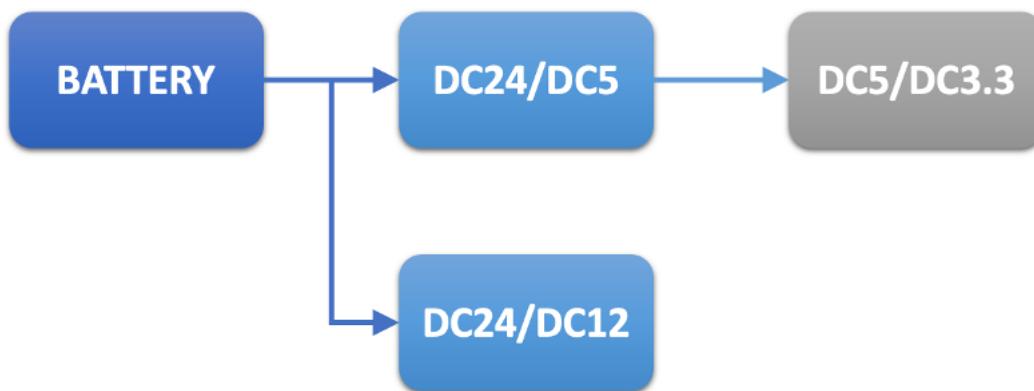


Figura 5.30. Elementos que se alimentan desde la batería.

A continuación, se irán describiendo de forma detallada todos los elementos que se necesitan alimentar tanto desde la batería como desde los correspondientes convertidores.

### **ALIMENTACIÓN A 24V DESDE LA BATERÍA.**

Controlador del motor izquierdo -----	2 A.
Controlador del motor derecho-----	2 A.
Convertidor DC/DC a 12V-----	0,5 A.
Convertidor DC/DC a 5V -----	1,22 A.
Transmisor VTX-----	0,6 A.
Tira de LED para iluminación global-----	0,1 A.

Se tiene por lo tanto que el total máximo de consumo de corriente para la batería es de 6,42 A, ofreciendo así un rendimiento aproximado de 1 hora en caso de que se estuviese trabajando siempre a máximos.

### **ALIMENTACIÓN A 12 V.**

Corona de LEDs-----	60 mA.
Ventilador T1 -----	100 mA.
Ventilador T2 -----	100 mA.
De este convertidor se necesitarían sacar como máximo 260 mA que se encuentra por debajo del máximo posible de 416 mA.	

### **ALIMENTACIÓN A 5 V.**

BeagleBone Black-----	1 A.
Router WiFi-----	0,2 A.
Convertidor DC/DC a 3,3 V -----	1 A.
M5Stack-----	0,5 A.
Cámara -----	0,2 A.
Servo para movimiento TILT -----	0,4 A.
Servo para movimiento PAN -----	0,4 A.
Driver de puente en H para los servomotores-----	1 A.
Conversor AD para tensión de batería-----	0,4 mA.

El total máximo de los elementos conectados asciende a 4,7 A, con lo que se está por debajo del máximo permitido de 5 A.

### **ALIMENTACIÓN A 3,3 V.**

Para finalizar, a este convertidor solamente se estaría conectando la FPGA con un consumo máximo de 500 mA y estando por debajo del amperio máximo que se podría llegar a conseguir.

#### **5.2.6. RealSense – Cámara de profundidades.**

De entre las múltiples posibilidades que se podrían llegar a programar con este tipo de cámaras, en las que, además de una imagen RGB se tiene información también de la profundidad.

Lo óptimo habría sido llegar a conseguir detectar obstáculos empleando la imagen en profundidad y, mediante un algoritmo pre entrenado, evitar que el rover pudiese chocar. No obstante, esto genera dos principales problemas.

1. La instalación tanto de las librerías necesarias como de los algoritmos ocuparía una cantidad de memoria de la que no se dispone en la BBB.

2. El tiempo de procesamiento impediría que otras labores de mayor importancia pudiesen ejecutarse en el momento apropiado, como el movimiento de pan & tilt, los motores...

Por estas razones junto con la complejidad que sería entrenar un algoritmo para llevar a cabo la detección se procede a buscar alternativas que permitan una primera aproximación al mundo del procesamiento de imágenes y de la inteligencia artificial.

# 6. DISEÑO DE DETALLE.

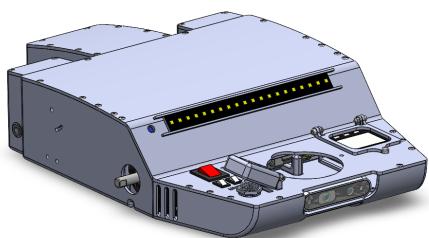
## 6.1. Diseño de detalle Mecánico

### 6.1.1. Bastidor

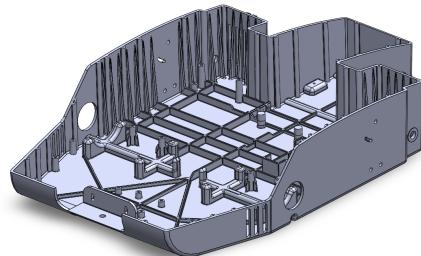
Una vez iniciado el diseño de detalle del bastidor, se ha ido evolucionando en base a la filosofía descrita antes. Este desarrollo basa todo el esfuerzo en un meticuloso modelado 3D para cumplir todas las reglas de diseño de fabricación 3D, contando la pieza final con más de 300 operaciones para únicamente el bastidor. A rasgos generales, se destaca un ángulo de desmoldeo de un grado para todas las paredes verticales, al igual que un espesor constante de 3 mm. Este puede parecer un valor escaso al tratarse de una pieza de plástico, pero es un valor típico en este tipo de procesos de fabricación debido a los tiempos de enfriamiento para el desmoldeo.

A nivel de layout final, existen pocos cambios respecto a la inicial, incluyendo simplemente más nivel de detalle en el número de componentes utilizados. A modo de resumen, se pueden destacar las siguientes características:

- Una PCB principal en la parte trasera que contará con la mayor parte de los sistemas
- BeagleBone, Router y HUB dispuestos en vertical y paralelo para minimizar el recorrido de cables USB.
- Placa de 12V y VTX en la parte delantera dispuestos bajo la cámara.
- Botonería, LEDs, RealSense, cargador y M5Stack dispuestos en el morro del Rover, siendo algunos de esos componentes parte de la interfaz de usuario con el mecanismo.
- Motores y batería de manera idéntica a la comentada durante el diseño conceptual.



(a)



(b)

Figura 6.1. Bastidor con sus componentes ensamblados (a) y solo la pieza principal (b)

Todos estos componentes mencionados en el layout, de una manera y otra, estarán fijados al bastidor por medio de resaltes de montaje y tornillos auto roscantes de plástico. Para asegurar una correcta fijación sin dañar la pieza principal se basa el diseño de los resaltes en las recomendaciones del fabricante utilizado. Teniendo tornillos de diámetro exterior 3 milímetros, se calculan los valores geométricos del resalte que se pueden ver en la Figura 6.2. Estos valores serán vinculados a un archivo de resalte de la librería de SolidWorks para que todo el mundo involucrado en el diseño siga el mismo patrón.

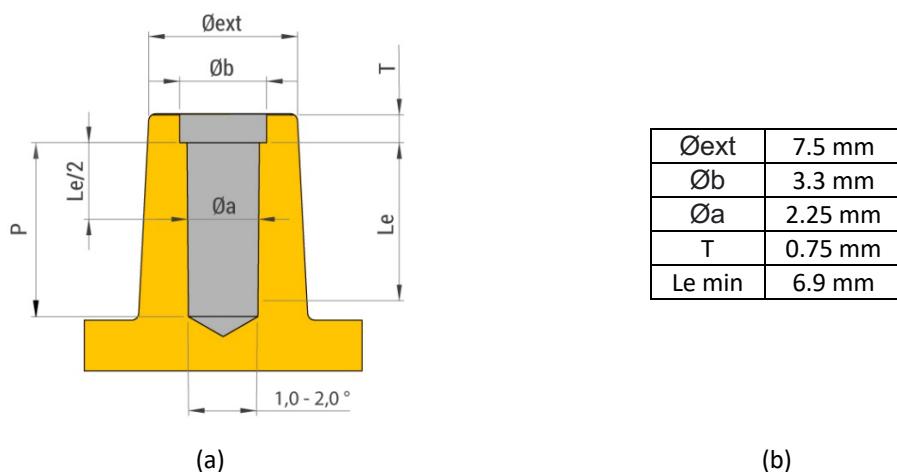


Figura 6.2. Croquis de resaltes de montaje (a) particularizados para los tornillos usados en (b)

Por otra parte, otro elemento crítico en el diseño de piezas de inyección son la inclusión de nervios, ya que sin ellos no se tendría una rigidez suficiente para un espesor dado. En las recomendaciones de diseño se suele establecer un espesor de nervio de entre 0.5 y 0.75 veces el espesor de la pieza, lo que situaría el valor entre 1.5 y 2.25 mm, eligiendo 2 mm para no coger ningún valor extremo y tratar de usar números redondos. Por otra parte, la altura de los nervios se sitúa en hasta 5 veces su espesor, que al igual que antes, para no ir a valores extremos, se elegirán 8 mm de alto para los nervios. Cabe destacar también que cada nervio debe contar con un radio de redondeo de 0.5 veces su espesor y un ángulo de desmoldeo que permite extraer la pieza del molde.

También existen nervios cuya función no es simplemente rigidizar, sino que buscan posicionar unos determinados componentes actuando como resalte, como es el caso de los motores o de la RealSense, por ejemplo, que se pueden ver en la Figura 6.3 (a). Este tipo de nervios, para poder sostener de manera estable un elemento encima de ellos, son de un ancho mucho mayor al resto, por lo que, para mantener las reglas de diseño de espesor constante, se les realiza un vaciado interior, dejando todas las paredes a 3 mm.

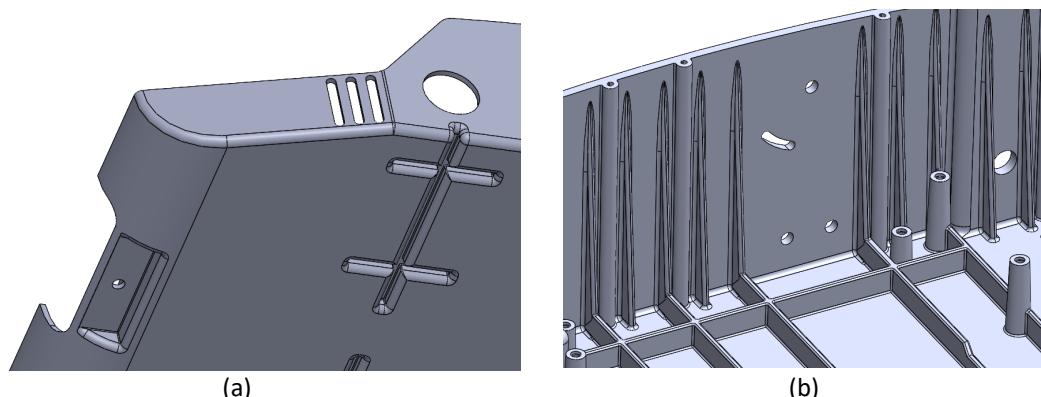


Figura 6.3. Vaciado interior de los nervios (a) y nervios sin vaciar (b)

Cambiando un poco de tercio, dentro del bastidor hay elementos que desprenden calor, principalmente los drivers y los motores. Permitir que su temperatura suba de manera no controlada sería un riesgo tanto a nivel electrónico como a posibles debilitaciones del plástico circundante. Por ello, se plantea un flujo de refrigeración basado en aire, en la que en la parte delantera dos ventiladores de 30x30 impulsan aire frío del exterior con dirección a los motores. Al mismo tiempo, un solo ventilador de 40x40 expulsará el aire caliente de los drivers por la parte trasera, creando así una corriente que recorre el Rover de adelante a tras pasando por los elementos más críticos. Como es de suponer, en cada posición en la que se encuentre un ventilador, el bastidor contará con rejillas de ventilación lo que romperá la estanqueidad del Rover.

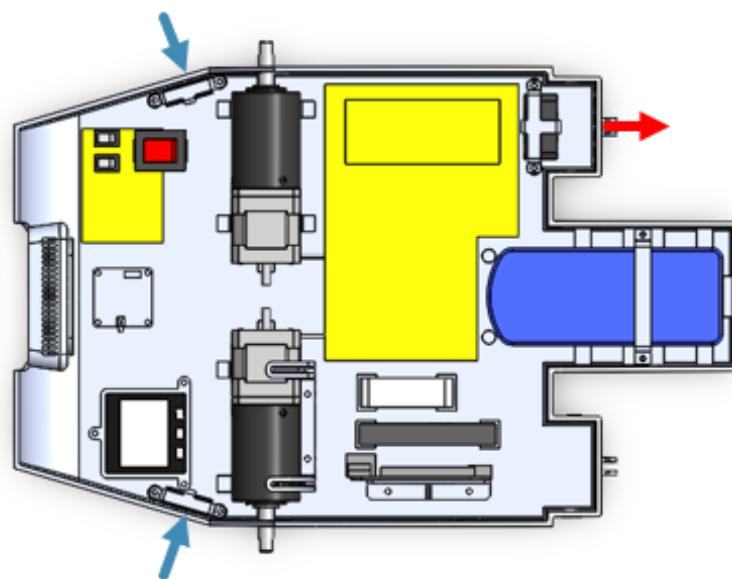


Figura 6.4 Esquema de refrigeración interior

También existen piezas auxiliares en la parte interior, principalmente abrazaderas de fijación de componentes. Estas abrazaderas, de las que se puede ver algún ejemplo en la Figura 6.5, cuentan con un diseño muy sencillo, y al igual que otras piezas, siguiendo las reglas de diseño para inyección[9], en las que principalmente les afectan algunas tales como el espesor constante o los ángulos de desmoldeo.

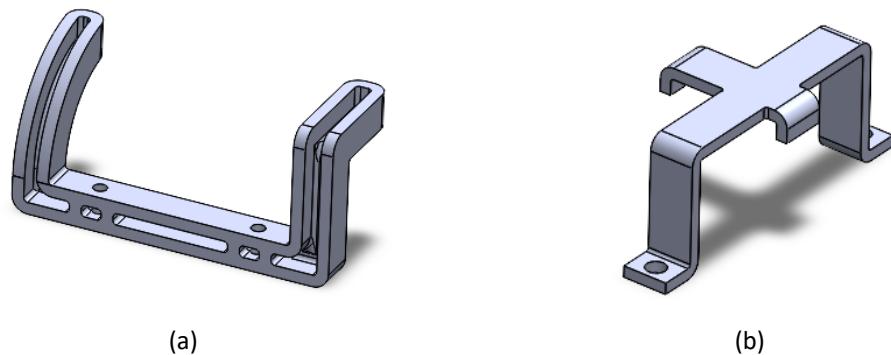


Figura 6.5. Abrazadera de los motores (a) y de ventiladores (b)

Finalmente, en lo que respecta al bastidor, aunque su diseño sea planteado para inyección, la realidad es que su fabricación se realizará por medio de impresión 3D. Este hecho hace que no se tenga total libertad para su materialización en la vida real, sobre todo a nivel de tamaño de las piezas. En este sentido, la impresora disponible no contaba con la capacidad de imprimir el bastidor en una sola pieza, por lo que se tuvo que trocear en tres cachos. La unión de estos tres cachos será facilitada por unas lengüetas dispuestas al tresbolillo y posteriormente, pegados mediante un compuesto Epoxi bicomponente de alta resistencia.

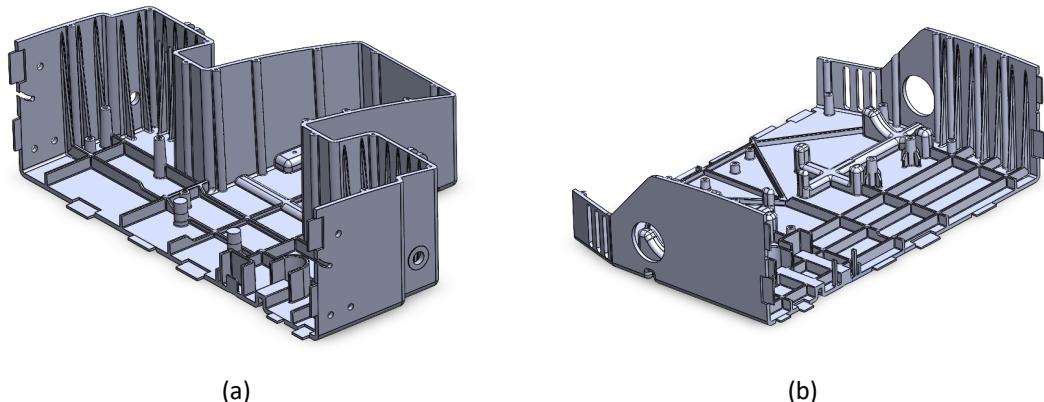


Figura 6.6. Troceado trasero (a) e intermedio (b)

### 6.1.2. Sistema de suspensión

Entre los dos conjuntos de suspensión diseñados, el primero en alcanzar el diseño de detalle resultó ser el trasero. Tal y como se avanzó en el diseño conceptual, este sistema busca que la pieza principal de la suspensión, el basculante, soporte de forma óptima la tensión de la correa que es considerada la principal fuerza a la que se verá sometida la rueda.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores en lo relativo a esfuerzos y sobre todo debido a la idea de mantener el casquillo comercial que viene incorporado en la rueda para restringir los movimientos

radiales de la misma, se optó por una solución con un cuerpo cilíndrico y unos apoyos del basculante relativamente alejados.

De acuerdo con la Figura 6.7, se observa una vista isométrica del basculante en la cual pueden observarse los distintos detalles que conforman la pieza y que se consideran relevantes de mención. Comenzando por la parte derecha de la imagen se observa la zona cilíndrica donde se aloja el casquillo comercial para soportar la rueda. Esta zona tiene un hueco superior para la pestaña y las 3 hendiduras axiales que aparecen en el casquillo. Este basculante rotará solidariamente con el eje que atravesarán las 2 orejetas de grandes dimensiones de la pieza, para lo que se ha realizado un vaciado con el negativo de la cabeza del eje para fijar la rotación de ambas piezas. Como último detalle reseñable, las 2 orejetas de pequeño tamaño sirven para la unión del amortiguador.

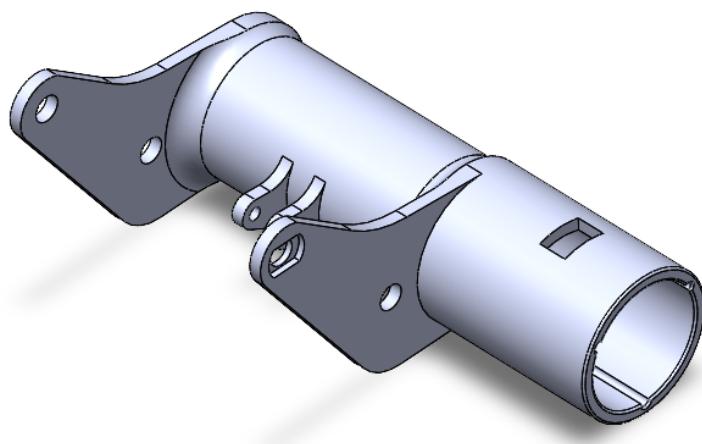


Figura 6.7 Vista isométrica del basculante.

Teniendo en cuenta que se trata de un diseño para inyección de plástico, aunque va a fabricarse mediante fabricación aditiva, se ha establecido un espesor constante en la totalidad de la pieza, minimizando al máximo zonas de sobre espesor donde puedan aparecer rechupes[9]. Además, teniendo en cuenta que para los taladros de las orejetas interiores se va a necesitar un inserto retráctil en el molde, se ha utilizado dicho inserto para permitir el aprieto del tornillo de sujeción del amortiguador por el exterior de las orejetas. Como último detalle, y teniendo en cuenta que la partición del molde será por el punto medio del cilindro, se han establecido ángulos de desmoldeo en las distintas orejetas y radios de acuerdo en las aristas vivas. Cabe señalar que, alguna de estas características, han sido suprimidas para favorecer la fabricación real de la pieza.

Como se avanzó anteriormente, la rueda estará soportada radialmente con el casquillo comercial que trae incorporado. No obstante, queda restringir esta rueda en la dirección axial exterior, es decir, evitar que la rueda salga hacia el exterior. Para ello, se ha optado por introducir una pieza con un inserto roscado (en el prototipo se utilizará una tuerca a presión) por el interior del basculante que permita fijar la rueda mediante un tornillo introducido por el interior de esta. En la Figura 6.8 se observa una vista en corte del conjunto, de la que se destaca no sólo el juego entre el basculante y el eje de la rueda (J\_A) sino también

un pequeño juego entre la pieza que restringe el movimiento axial (J\_B). Este juego debe ser mínimo de manera que se garantice un giro libre de la rueda y un desplazamiento mínimo.

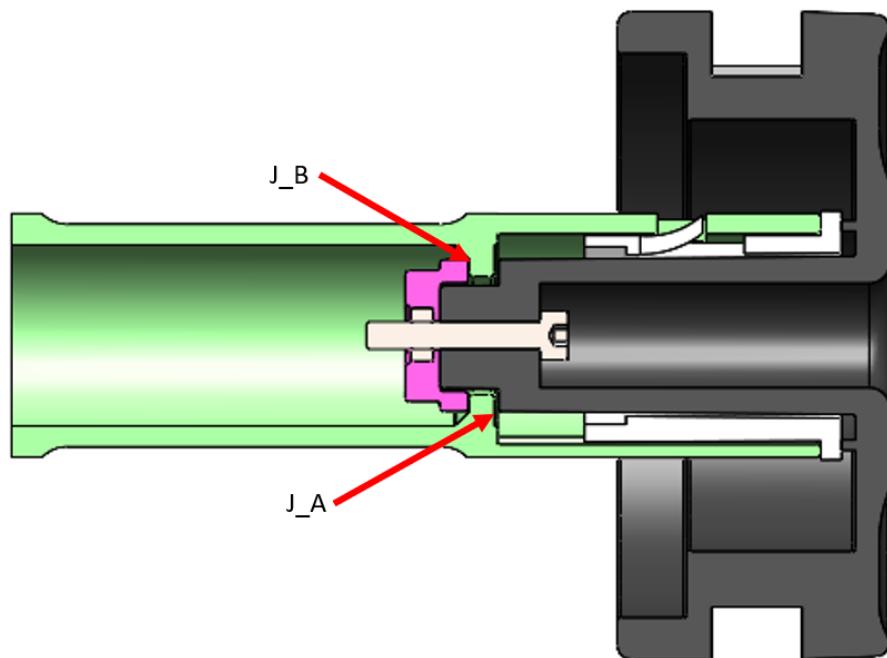


Figura 6.8. Vista de sección del montaje de la rueda trasera a través del basculante.

El último aspecto para destacar de esta suspensión trasera se corresponde con la incorporación del amortiguador al conjunto mediante las orejetas anteriormente descritas. Para ello, se ha utilizado una posición del muelle lo más vertical posible para aprovechar al máximo la fuerza de este. De igual manera, para minimizar el juego en los puntos de articulación del muelle, se ha utilizado en la parte inferior un tornillo de métrica 3 y uno de métrica 5 en la superior (tamaños elegidos en base a mediciones experimentales realizadas en el amortiguador real), lo que garantiza un juego nulo y un giro libre en ambos extremos.

El conjunto total de la suspensión trasera se muestra en la Figura 6.9, que representa el modelo izquierdo de este conjunto. En el lado derecho, todas las piezas son las mismas con la salvedad del basculante, que tendría una simetría total con respecto a un plano paralelo a la cara lateral de la orejeta derecha.

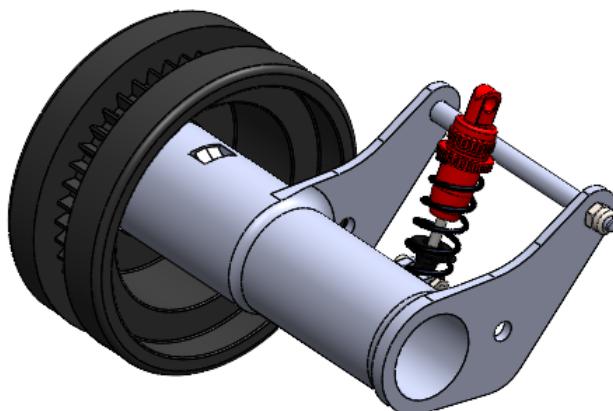


Figura 6.9. Vista isométrica del conjunto de la suspensión trasera izquierda.

Moviendo ahora la atención a la suspensión intermedia, ésta tiene dos objetivos fundamentales:

- El primero de ellos consiste en mantener la forma de la correa en la parte inferior en todos los tipos de superficie y obstáculo.
- La segunda consiste en el efecto amortiguador de la misma, es decir, en conseguir que, a la hora de superar un obstáculo con estas ruedas, la primera que se enfrenta al obstáculo tenga efecto sobre la otra, haciendo que aumente la fuerza sobre la misma o en su defecto baje (ya que le conjunto se trata de un cuadrilátero articulado).

Aunque como se anticipaba en la etapa conceptual el basculante de esta suspensión resultaba ser en forma de chapa, es decir, con un diseño plano, esta idea fue pronto desechada. En su defecto, se optó por implementar una opción tipo horquilla, que permite repartir mejor los esfuerzos ya que tanto la rueda como el amortiguador se encuentran bi-apoyados. Este diseño en forma de horquilla, además, permite que el diseño de los ejes de las ruedas se resuelva de manera muy sencilla de cara a fabricación en serie, permitiendo diseñar un eje liso con una única ranura para un circlip, y jugando con el juego libre entre la rueda y el eje para que ésta actúe de rueda y casquillo simultáneamente.

Con estas consideraciones previas y después de varias iteraciones se consigue diseñar dos basculantes prácticamente simétricos para cada uno de los lados del muelle (ver Figura 6.10). Como sucedía también en el amortiguador trasero se ha optado por utilizar tornillos para la unión del amortiguador con los basculantes, pero para minimizar al máximo las holguras se han utilizado tornillos distintos según el máximo admisible en cada lado, resultando por tanto M3 y M5. Con esto el juego resultante es el mínimo que garantiza un buen funcionamiento del conjunto.

En la Figura 6.10 se observa que la pieza resultante es compleja ya que tiene no solo la conexión superior para el muelle, sino otra unión articulada en la parte central para el eje respecto al que girará en trabajo la pieza, y unos orificios en la parte inferior por donde se introducirá el eje de la rueda. Como se puede ver, la pieza tiene un espesor constante para que no cause problemas en cuanto a inyección y dos nervios para otorgar algo de rigidez, aunque no resulte muy necesario teniendo en cuenta la forma de trabajo de la pieza. Como comentario adicional cabe destacar que en montaje se ha visto que la pieza no otorgaba

el juego suficiente en el sentido axial en la zona de la rueda, lo que hizo necesario realizar los rebajes en la parte inferior que se observan en las imágenes.

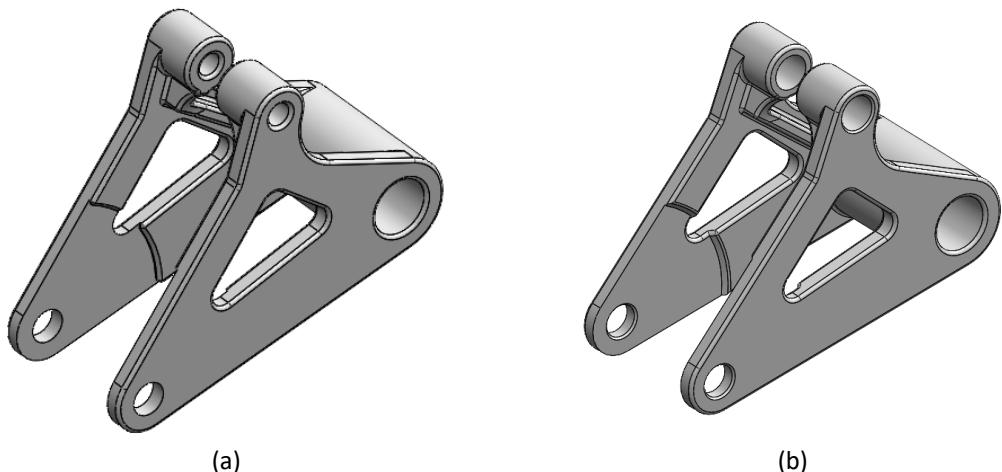


Figura 6.10. Basculante intermedio a) Lado de M3 del amortiguador b) Lado M5 del amortiguador

Una vez definida la pieza fundamental de esta suspensión el siguiente paso es describir el conjunto general. Este conjunto se basa en los dos basculantes anteriores enfrentados espalda con espalda y unidos por la parte superior por el amortiguador, teniendo cada uno una pequeña rueda en la parte inferior. Los puntos de articulación de ambos basculantes se encuentran unidos mediante una pieza que tiene como objetivo repartir los esfuerzos de flexión en una mayor superficie de la cara lateral del bastidor. Tanto las ruedas como la pieza descrita tienen un diseño claramente orientado para inyección. En cuanto a las ruedas, estas se limitan a mantener un espesor constante de 2mm, vaciados en la parte central para limitar la concentración de material y a otorgar a la misma de ángulos de desmoldeo en las caras laterales del radio más exterior de la pieza. En cuanto a la pieza que reparte los esfuerzos, esta es más sencilla, y simplemente se trata de mantener espesor constante y de vaciar la parte interior, integrando nervios para dar rigidez en lugar de llenar de material. El conjunto de suspensión intermedio se puede ver en la Figura 6.11.

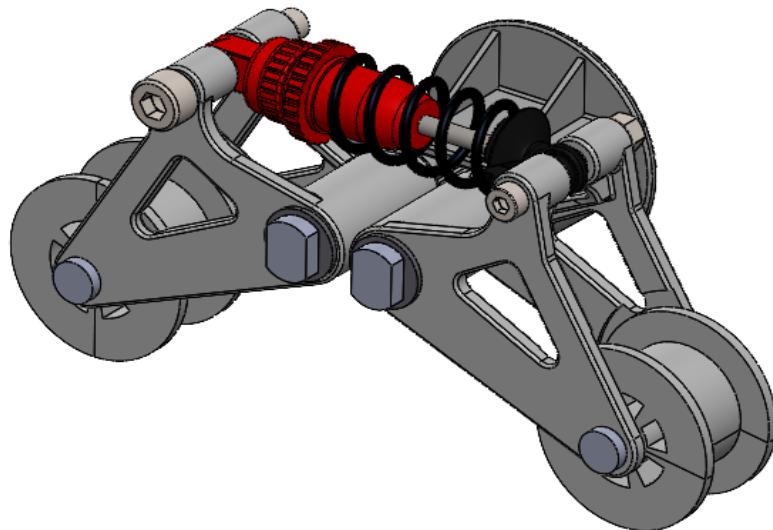


Figura 6.11. Conjunto suspensión intermedia.

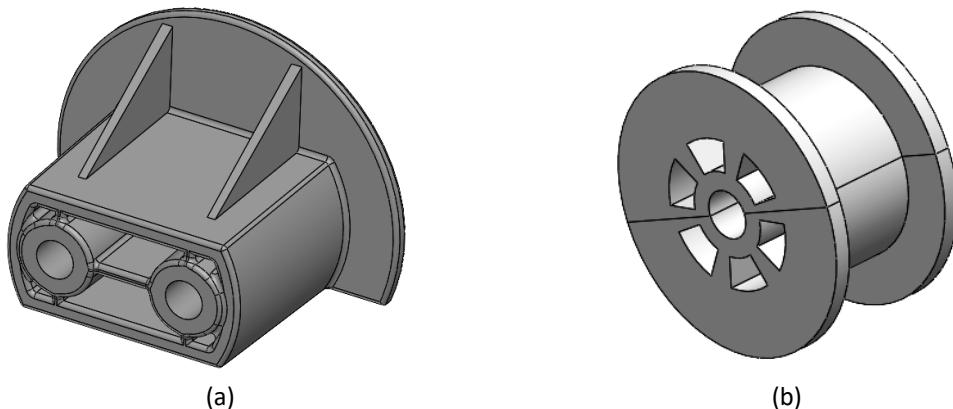


Figura 6.12. A) Pieza de reparto de esfuerzos. B) Rueda suspensión intermedia.

Una vez visto el conjunto y la idea, ya solo queda indicar las uniones de los distintos ejes de los que consta. Como ya se adelantaba, los ejes de las ruedas plantean un montaje muy sencillo de cara a fabricación en serie. El mecanizado del eje se basa en una reducción de sección desde el tamaño de la cabeza al resto del eje y de un ranurado en la parte final para introducir un circlip. Como se puede ver en la Figura 6.13 el montaje se basa en el juego de las distintas partes, haciendo que la rueda tenga juego axial y radial que permita que gire libre y que acepte ciertos ajustes axiales en funcionamiento. De igual manera, en el lado del basculante se requiere cierto apriete para que sea la rueda la que gire respecto al eje, aunque en la realidad también se ha dejado cierto juego para permitir el montaje, teniendo en cuenta el método de fabricación utilizado para las piezas de plástico.

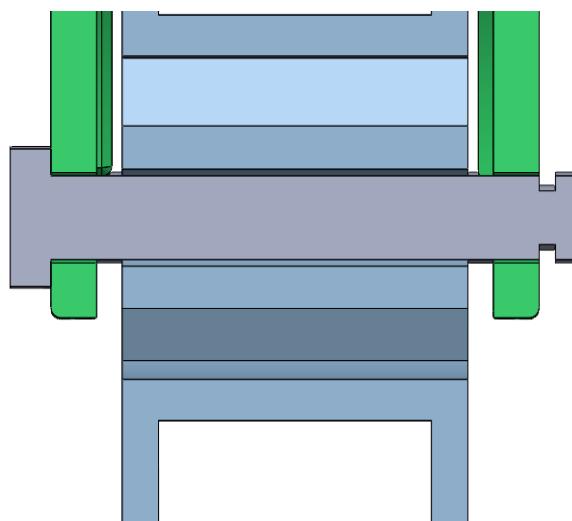


Figura 6.13. Vista de sección del montaje de la rueda de la suspensión intermedia.

El eje principal de articulación de los basculantes requiere de más complejidad, ya que el funcionamiento del sistema se basa en él. Para ello, se ha optado por incluir dos casquillos iguales a los utilizados en la suspensión trasera y metidos a presión sobre el basculante, haciendo que éste rote con respecto al eje fijo. Además, para evitar apretar y frenar los casquillos en el montaje de la pieza de reparto de esfuerzos, dicha pieza cuenta con dos resalte que hacen que la superficie que apoya sobre el casquillo sea mínima. Además, esta pieza también cuenta con el ángulo de desmoldeo contrario al bastidor, lo que garantiza un apoyo perfecto entre el conjunto y el bastidor. Por último, hay que señalar que es necesario que este eje tenga dos planillos en su cabeza para permitir el apriete mediante la tuerca M4 que se pondría por el interior del bastidor, así como un rebaje que permita el apriete de todo el conjunto sobre la pieza de reparto de esfuerzos. La vista en corte de la parte del conjunto que afecta a la suspensión se puede ver en la Figura 6.14.

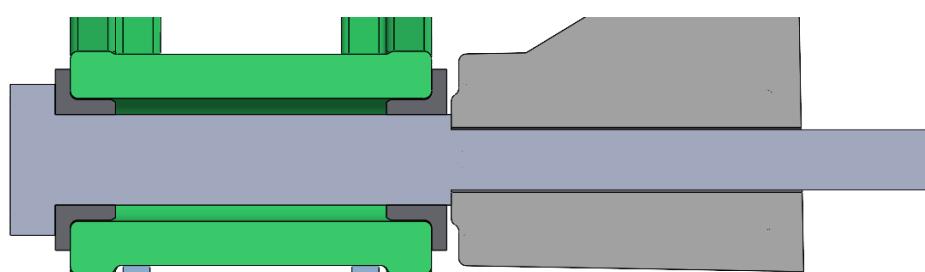


Figura 6.14. Vista en corte del eje de articulación de la suspensión intermedia.

### 6.1.3. Tensor

En lo respectivo al diseño de detalle del tensor, se comienza mostrando la Figura 6.15 donde se aprecia la vista isométrica del conjunto del mecanismo, sobre el que se irán mencionando los detalles relevantes.

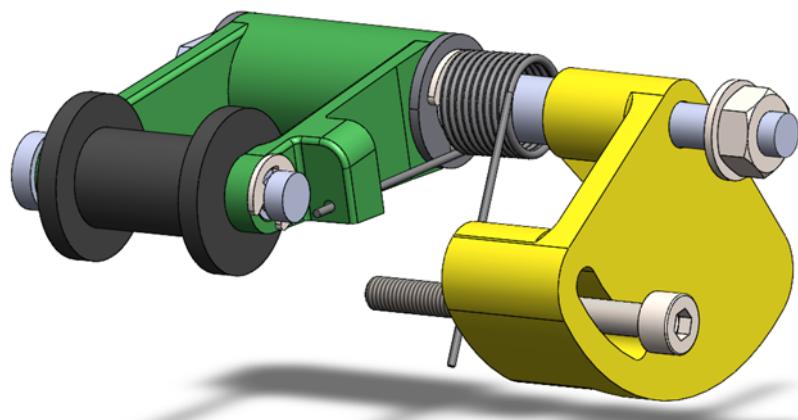


Figura 6.15. Vista isométrica del conjunto del tensor.

En primer lugar, la pieza más destacada es la denominada como palanca, representada en color verde, la cual como se muestra más detalladamente en la Figura 6.16 consiste en un cilindro hueco del que sobresalen dos orejetas que tienen la funcionalidad de transmitir el esfuerzo de la cadena por medio de la rueda hacia el resorte de torsión alojado en el lateral de la pieza. Como se muestra, dicha pieza presenta un diseño un tanto peculiar, donde las reglas de diseño propias de la inyección de plásticos se han adaptado para favorecer su fabricación por impresión 3D. En cuanto a su morfología más relevante, es una pieza que posee 30 mm de longitud entre los dos ejes, y en cuanto a las características propias de inyección se destaca su espesor constante, de 2 mm, para facilitar el llenado y la menor probabilidad de aparición de rechupes, un ángulo de desmoldeo de 2º en ambos brazos y redondeos en las aristas para simplificar la extracción del molde y, nervios de refuerzo para favorecer las propiedades mecánicas de la pieza. Un aspecto a destacar es que, aunque solo se muestra un diseño, como hay dos tensores (uno a cada lado del bastidor) habrá otra pieza idéntica a ésta pero en simetría, empleando también un resorte con sentido de apriete opuesto. Adicionalmente, con respecto a los muelles torsionales y por comentar alguna de las problemáticas encontradas, es que las unidades adquiridas llegaron posteriormente al diseño y a la fabricación de la palanca, e inicialmente el diseño del cilindro de las patillas se hizo pensando que éstas salían horizontalmente desde el punto superior de los mismos, sin embargo, la salida se produce desde el punto de inferior, por lo que hubo que modificar la posición de dichos cilindros en los diseños correspondientes para ajustarlo a los cálculos realizados.

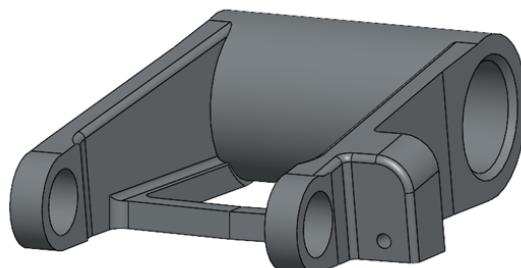
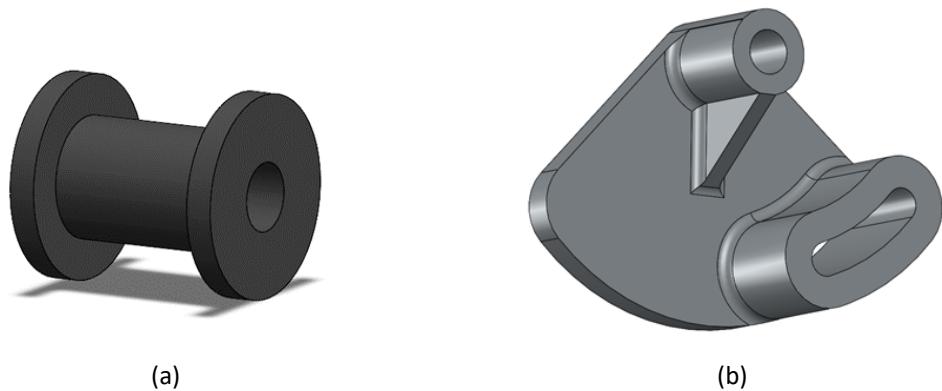


Figura 6.16. Vista isométrica del brazo de la palanca.

Prosiguiendo con otra de las piezas impresas por fabricación aditiva, está la denominada rueda que puede verse en la Figura 6.17(a). Como se observa, es una pieza muy simple la cual tiene una longitud total de 17 mm que le permite alojarse entre las dos orejetas con holgura, y una longitud entre caras planas de 13 mm que garantiza la inclusión del dentado de la cadena, facilitando el guiado de esta. Con respecto a los diámetros, cabe destacar que el exterior tiene una dimensión nominal de 15 mm, aunque no es relevante, y el interior de 5.2 mm el cual se ha dejado cierta tolerancia con respecto al valor nominal para simplificar las posteriores tareas de montaje del eje de la rueda. Por su parte, la Figura 6.17(b) muestra otra de las piezas fabricadas mediante la tecnología de extrusión de filamento, que es la denominada base de apoyo, la cual básicamente es una pieza de reparto de esfuerzos al igual que la empleada en el mecanismo de la suspensión intermedia. Es por ello por lo que el propósito principal de esta pieza es la de aumentar la superficie de contacto con el bastidor, con el objetivo de minimizar los esfuerzos que se transmiten al eje de fijación de la palanca con el bastidor. Como se observa, se ha implantado un cilindro sobre el que se alojará el extremo roscado de dicho eje, con cierto juego para simplificar el montaje, que será fijado con una tuerca al bastidor. Adicionalmente, se ha incorporado un nervio vertical en la parte inferior para rigidizar el conjunto, ya que los esfuerzos producidos por el momento flector procedente de la cadena son en el sentido vertical negativo. El segundo propósito de esta pieza es la de garantizar la posición de la otra patilla restante del resorte torsional, que se hará a través de un tornillo M3 cuya posición se podrá variar según la ranura visible. De acuerdo con los cálculos realizados, la posición del anclaje está pensada para situarse en el centro de la ranura, no obstante, por posibles imprecisiones que puedan surgir, se permite su variación de 15º en ambas direcciones.



(a)

(b)

Figura 6.17. Vista isométrica de las piezas impresas restantes (a) Rueda tensora (b) Base de apoyo.

Continuando con las piezas mecanizadas de acero, se comienza con el eje de la palanca que será el más solicitado y el que presenta un diseño más elaborado, con cambios de sección para incorporar los distintos componentes que precisa. De acuerdo con lo comentado previamente y en capítulos anteriores, la palanca debe girar concéntrico a éste y para ello se hará uso de dos cojinetes de fricción ya que tienen mayor superficie de contacto que unos rodamientos. Dichos cojinetes han sido seleccionados con un diámetro de 6 mm, lo que permitió aprovecharlos para otras aplicaciones, y eso condicionó la sección del eje en dicha zona. De nuevo, se realizó una segunda sección de diámetro 4 mm con el fin de alojar un

circlip que permitiese, junto con la cabeza del eje, un juego mínimo axial en la palanca. Es importante destacar que a dicha cabeza se le realizaron dos planillos para facilitar su sujeción durante las tareas de montaje. Seguidamente, el diámetro asciende a 6 mm en la zona donde irá situado el resorte torsional, ya que por recomendaciones del fabricante se exige que el diámetro máximo sea de 6.35 mm, para finalmente reducirse a 4 mm donde se introducirá por la pieza de refuerzo y se fijará al bastidor por un conjunto de arandela y tuerca. La vista de sección del eje comentado puede visualizarse en la Figura 6.18 y, apoyándose en ella se procede a explicar su montaje. En primer lugar, se embutirían ambos casquillos en la palanca y una vez están integrados, se introduciría el conjunto resultante por el lado opuesto a la cabeza del tornillo. Se continuaría fijando la posición axial mediante el circlip, incorporando el muelle y seguidamente, se haría pasar el eje por la base de refuerzo fijándose el conjunto al bastidor por medio de una arandela y tuerca. Finalmente, se unirían ambas patillas del muelle en la posición de trabajo.

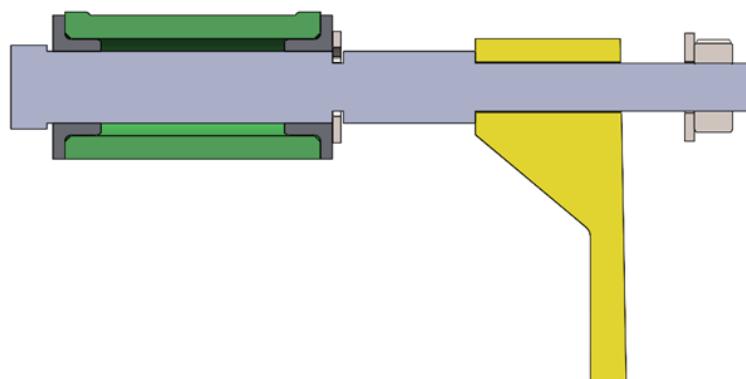


Figura 6.18. Vista en corte del eje sobre el que gira concéntricamente la palanca.

En lo respectivo al eje restante, el eje de la rueda tensora presenta un diseño más simple que consiste en una sección uniforme de diámetro 4 mm que permite un giro relativo con respecto la rueda. Al igual a como ocurría en el anterior diseño, el eje cuenta con una ranura de 3.2 mm de diámetro que permite alojar un circlip que fija axialmente la posición del eje, dejando de nuevo un hueco de 0.3 mm entre la palanca y la rueda para impedir el contacto entre sendos elementos. Con respecto al montaje, consistiría en alinear la rueda con las orejetas e introducir el eje por su interior, dejando su posición fijada mediante el circlip. La vista en sección de este eje se muestra en la Figura 6.19.



Figura 6.19. Vista en corte del eje de la rueda tensora.

### 6.1.4. Sistema de tracción

Antes de validar el diseño del sistema de tracción del rover, hay que saber si cumple con las exigencias del datasheet [10]. En concreto, como se planteó en el diseño conceptual, la rueda irá directamente sobre el eje del motor como si de una polea se tratase, solo que con cierta separación axial. Esto podría suponer que sufran más los rodamientos de la reductora. Dichos rodamientos, según el datasheet [10] pueden llegar a soportar 40N de carga radial, cerca de cuatro veces la carga estimada en cada rueda delantera. Lo normal en estos casos es que el fabricante proporcionase una gráfica que relacione la separación axial con el tiempo de vida en horas de la reductora, aunque no es así. Dada la poca separación que existe y el elevado margen de carga del que se dispone se puede suponer que el mecanismo funcionará correctamente un número razonable de horas.

## TECHNICAL DATA

<b>Service Life*</b>	5000
<b>For Motor Size</b>	NEMA 17
<b>Operating Temperature</b>	-15 to +65 °C
<b>Admissible Axial Shaft Load</b>	40 N
<b>Admissible Radial Shaft Load</b>	40 N
<b>Max. Input Speed</b>	5000 rpm

\*The estimated service life is an approximate value based on the listed nominal torques and an ambient temperature of 30 °C. There are no data available for differing conditions as the environmental factors and operating conditions may vary greatly.

Figura 6.20. Datasheet de la reductora

Con ello, se puede validar el concepto usado hasta el momento y depurar el diseño del acople entre el motor y la rueda. Esta pieza también se planteará su fabricación por inyección, por lo que se trataron de mantener los espesores constantes, de ahí los vaciados con los que cuenta. También se incluyeron alojamientos para tuercas para el tornillo de la rueda y los prisioneros. Al igual que pasa con el bastidor, hay aspectos que la impresión 3D no tolera, como es el caso de insertos metálicos, es por ello, que se practica un vaciado hexagonal en el que se introducirá una tuerza comercial.

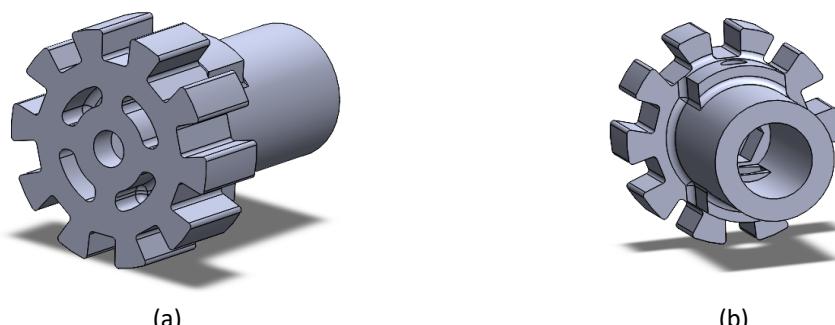


Figura 6.21. Vista frontal y trasera de la pieza de acople del motor

Por último, se muestra una vista en corte del modelo final planteado, en la que se puede ver el acople introducido en la rueda, fijado al motor por medio de los prisioneros y la rueda fijada al acople por un tornillo en la dirección axial.

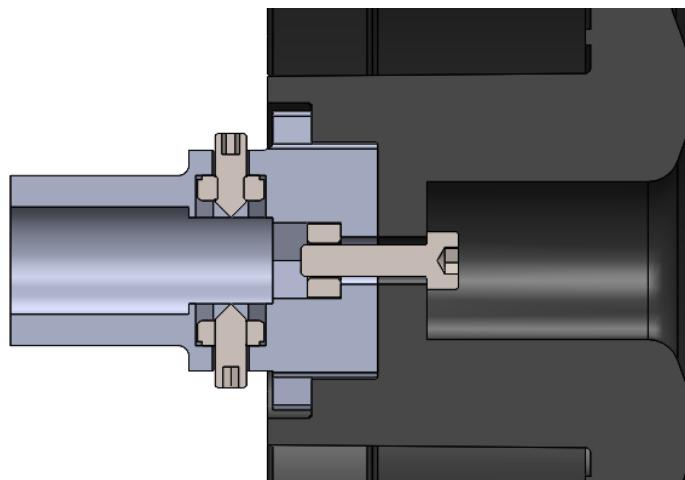


Figura 6.22. Vista en corte del sistema de tracción

### 6.1.5. Sistema movimiento de la cámara

A partir del diseño conceptual presentado anteriormente se ha ido refinando el diseño hasta conseguir el diseño final que se describirá en este apartado en detalle.

En primer lugar, se describirá el diseño de detalle del subensamblaje “PAN”, la base de este ensamblaje se puede observar en la Figura 6.23, sobre ella se montarán todos los elementos del ensamblaje de la cámara y esta se unirá mediante dos tornillos al bastidor del Rover.

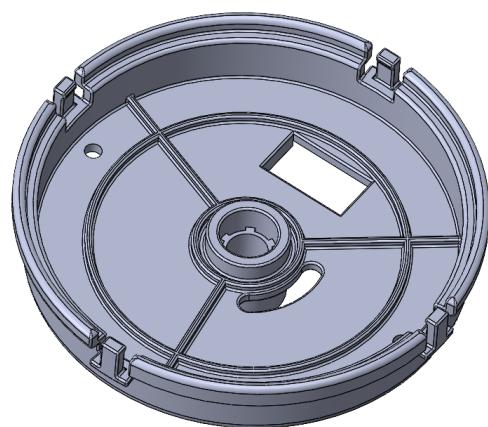


Figura 6.23. Base “PAN”

Sobre esta base se montará el servomotor SG-90 [11], que realizará este giro, este giro no se producirá de forma directa si no que se utilizarán un par de engranajes para transmitirlo, el motivo de optar por esta

configuración, por un lado, reducir los esfuerzos del servomotor y conseguir un sistema de transmisión del giro más simple y, por otro lado, conseguir un diseño más compacto, ya que en la parte que queda debajo de la cámara deberá colocarse parte de la electrónica de esta.

Se ha escogido una relación de transmisión 1:1 dado que el giro que nos permite este servomotor de 180º es suficiente para el rango de trabajo del cámara deseado.

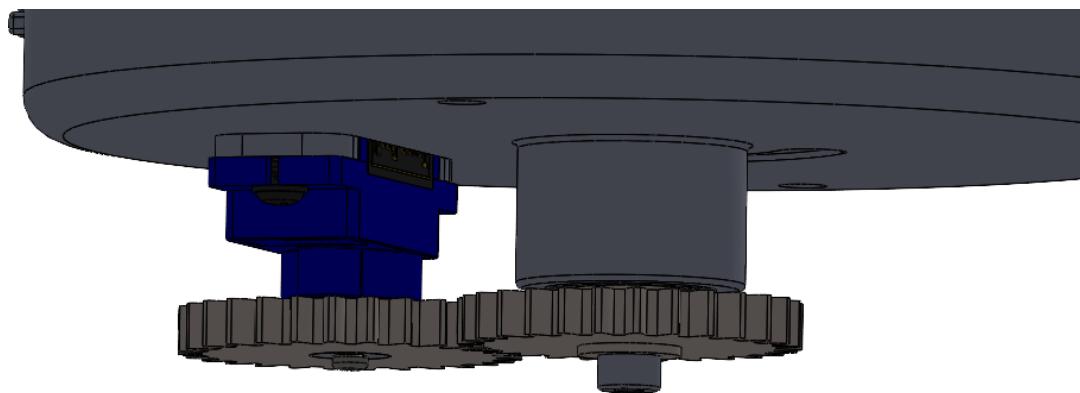


Figura 6.24. Sistema de transmisión del giro “PAN”

El engranaje que va en el servomotor se une al mismo mediante un acople que lleva el estriado del eje de salida del servo para poder transmitir el movimiento, esta pieza se mecanizará y se introducirá en el molde durante la fabricación por inyección de este. Se hará que el engranaje quede fijo al servo mediante un tornillo, así mismo se fijara el otro engranaje a un eje que transmitirá el movimiento mediante un tornillo y una arandela que garantizara el apriete.

Mediante el eje que se puede ver en la Figura 6.25, se puede ver el eje anteriormente mencionado que transmitirá el giro desde el engranaje hasta la pieza superior que será la que rote y llevará unido el sistema que girará para producir el “TILT”, y que también lleva la cámara.

El eje posee dos planillos uno para el engranaje y otro para la pieza superior para asegurar el giro además de dos agujeros roscados para producir el apriete con un tornillo.



Figura 6.25. Eje de giro “PAN”

El giro se transmite a través de dos rodamientos rígidos de bolas de la marca SKF que absorberán la carga generada por el giro del eje y la vibración de la pieza que soporta a la cámara, estos rodamientos irán montados en la base “PAN” de la Figura 6.26, quedaran restringidos gracias a unos resalte que posee la pieza especialmente diseñados para la fabricación por inyección siguiendo las guías de diseño, también gracias unos resalte que posee tanto el engranaje del eje como la pieza que soportar el “TILT”.

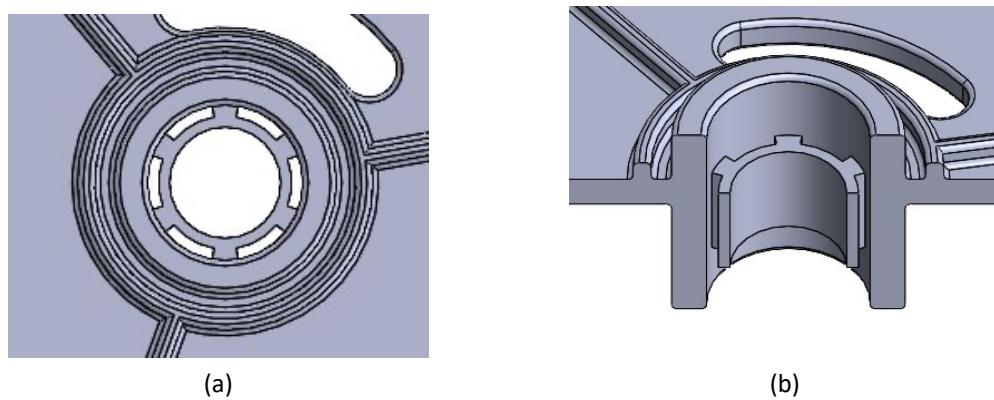


Figura 6.26. Resaltes de montaje de los rodamientos

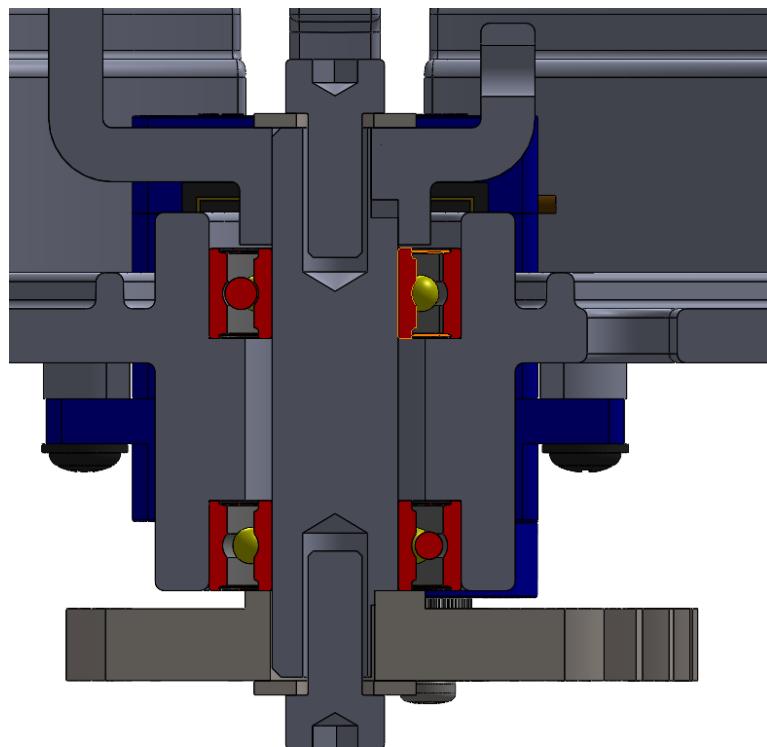


Figura 6.27. Vista de sección del montaje del giro “PAN”

El último elemento de este subensamblaje es la pieza a la cual se une al eje y girara y que a su vez es sobre la que se monta el subensamblaje que produce el giro “TILT”, y que se puede ver en la Figura 6.28 esta pieza se fija al eje mediante un tornillo y una arandela que aseguraran el apriete, el giro se asegura mediante un planillo que coincidirá con el del eje.

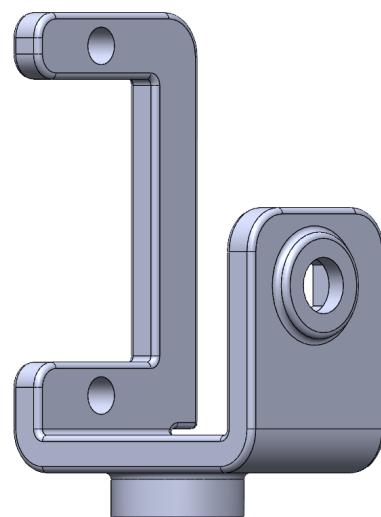


Figura 6.28. Pieza superior “PAN”

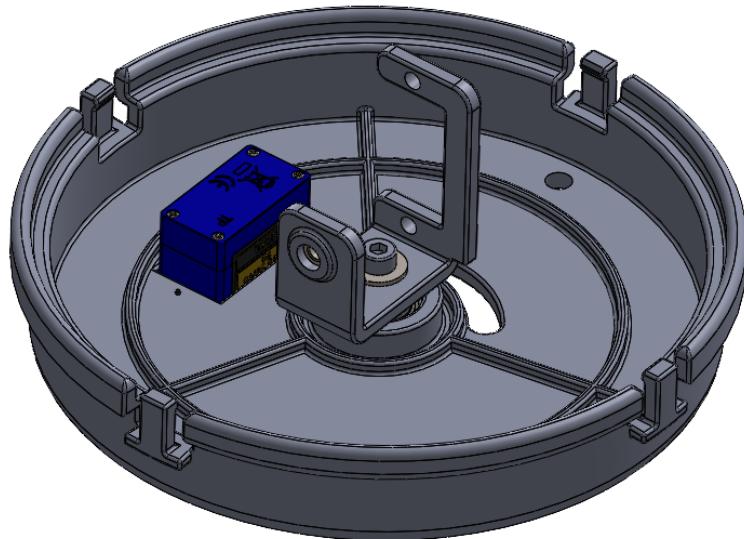


Figura 6.29. Vista de isométrica del ensamblaje “PAN”

A continuación, se analiza el diseño del subensamblaje que producirá el giro “TILT”. Se comenzará a analizar a partir de la Figura 6.28, esta pieza por un lado llevará la forma necesaria para introducir el servomotor [11] que producirá el giro “TILT”, este servomotor al igual que el del “PAN” es será un SG-90, por otro lado, esta pieza posee un inserto roscado en el agujero que en la Figura 6.30, en la parte derecha, este inserto se colocara durante la inyección del molde.

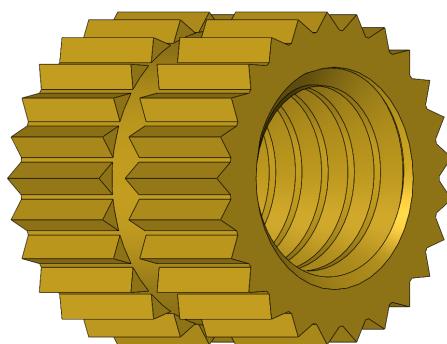


Figura 6.30. Inserto roscado

El servomotor se monta mediante dos tornillos a la pieza de la Figura 6.28 a su vez se debe unir la pieza que lleva la cámara, y debe transmitir el giro a esta.

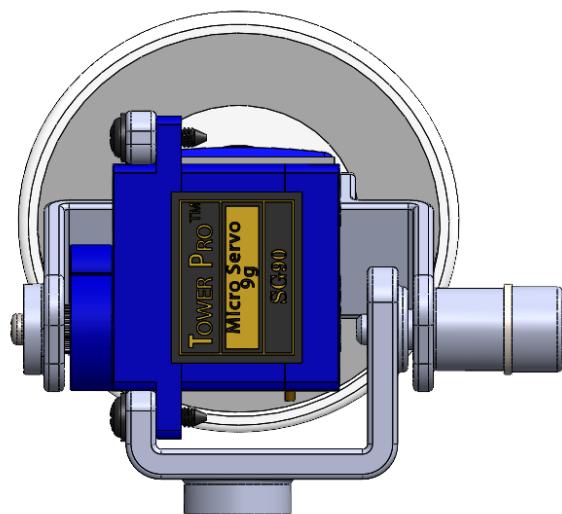


Figura 6.31. Montaje del servomotor del “TILT”

El mecanismo que transmite el giro en la parte donde se ubica la salida del servomotor la pieza que sujetla la cámara poseerá un inserto mecanizado con el estriado de salida del servo, igual al que poseía el engranaje de salida del servomotor del “PAN”, que se colocará en el molde durante la inyección de la pieza, mediante un tornillo se hará solidaria la pieza al eje de salida del servomotor.

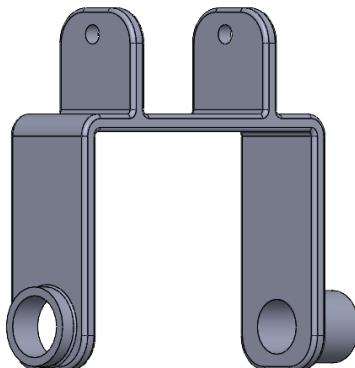


Figura 6.32. Pieza que sujetla la cámara

En el otro lado de la pieza se colocará un casquillo de fricción de bronce para facilitar el giro de esta, el eje sobre el que girará el conjunto será un tornillo M5 mecanizado, en su extremo llevara un roscado M3 con el que se unirá al inserto de la Figura 6.30, asegurando que el eje queda fijo además se colocara en la cabeza del tornillo una arandela para asegurar el aprieta con la pieza.

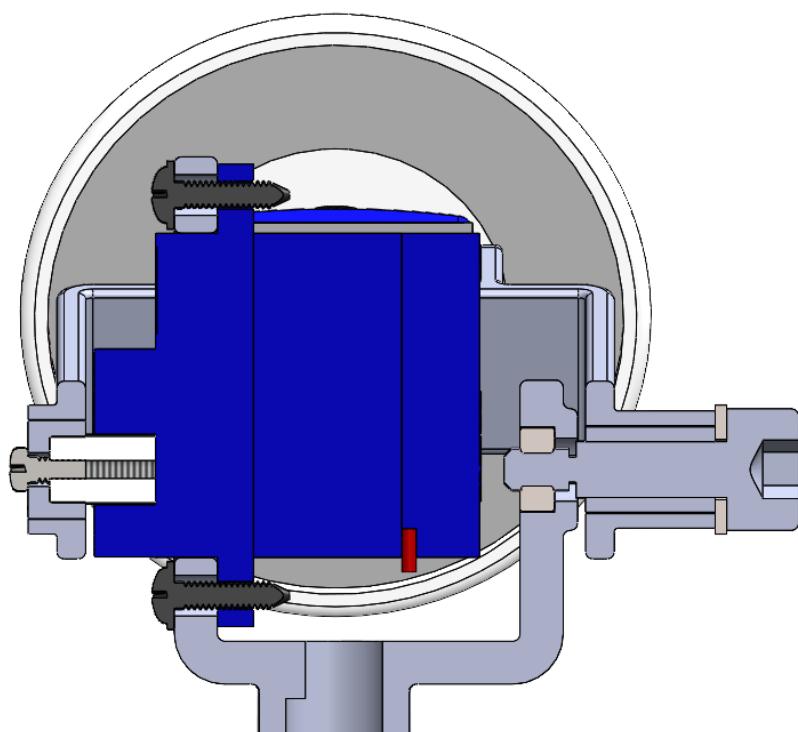


Figura 6.33. Vista de sección del montaje del giro “TILT”

La cámara se atornillará a la pieza de la Figura 6.32, mediante los dos agujeros que esta posee, además se montara una corona de leds que provea iluminación extra, para ello se diseñará la pieza de la Figura 6.34, está diseñada de tal forma que se monte la corona de leds por su parte de atrás, poseyendo los resaltes necesarios para montarla con apriete y que esta no se mueva. Aprovechando los resaltes de la cámara, la pieza se ajusta perfectamente a los mismos consiguiendo por presión colocar la pieza en la cámara de manera que esté completamente fija.

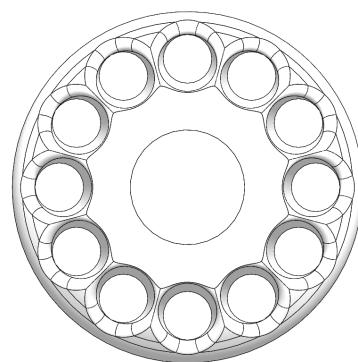


Figura 6.34. Pieza para montaje de la corona de leds

Por último, para proteger la cámara y conferirle una mejor estética se ha optado por colocar una cúpula tintada como la de la Figura 6.35, para poder montarla y fijarla en la pieza de la Figura 6.23, se diseñará unos resaltes para el montaje de modo que impida que la cúpula se pueda salir, estos poseen cierta flexibilidad para que, mediante presión se monte la misma pero no se pueda salir durante el funcionamiento del ROVER.

Además, para minimizar los reflejos que produce la corona de leds, se hace coincidir el radio de giro del “TILT” con el radio de la cúpula [12].



Figura 6.35. Cúpula tintada

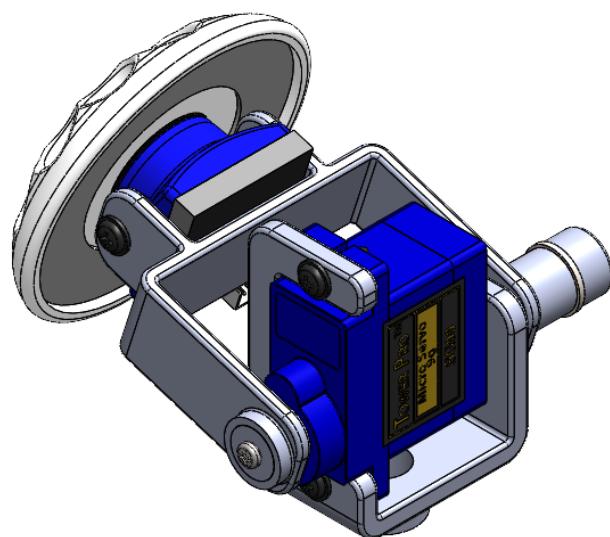


Figura 6.36. Vista de isométrica del ensamblaje “TILT”

El ensamblaje completo de la cámara se unirá al bastidor mediante dos tornillos que se situaran en el interior de la base “PAN” y se montara en la parte delantera del bastidor.



Figura 6.37. Vista de isométrica del ensamblaje completo

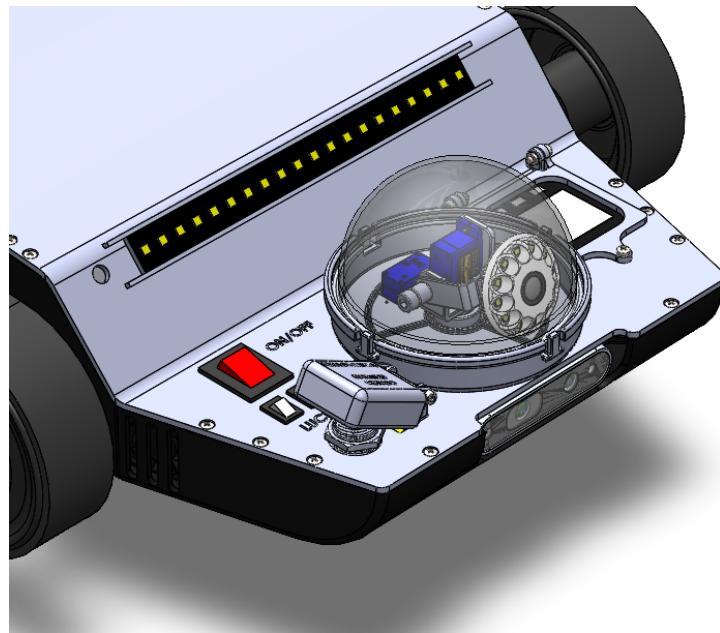


Figura 6.38. Vista de isométrica de montaje de la cámara en el bastidor

### 6.1.6. Diseño de la carcasa del gamepad

Una vez comentados los pasos que se han seguido para el diseño del gamepad, vistos en apartado 5.1.6., se procede a adjuntar capturas de como quedaría su aspecto final, incluyendo la PCB y la batería. Muchas de las capturas tratarán de mostrar las uniones entre tapa y base para aclarar los conceptos.

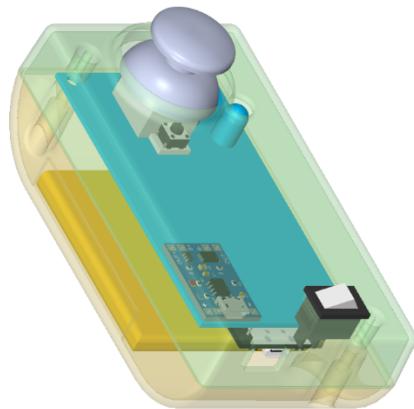


Figura 6.39. Vista del modelo final aplicando transparencias tanto a la base como a la tapa.

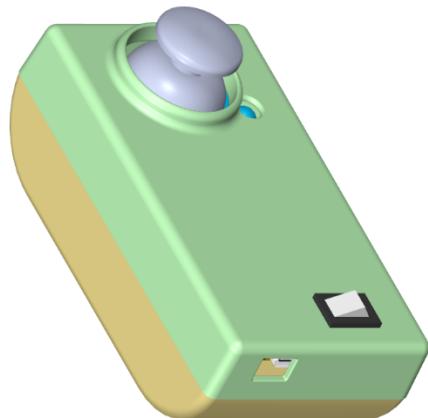


Figura 6.40. Diseño final de la carcasa.

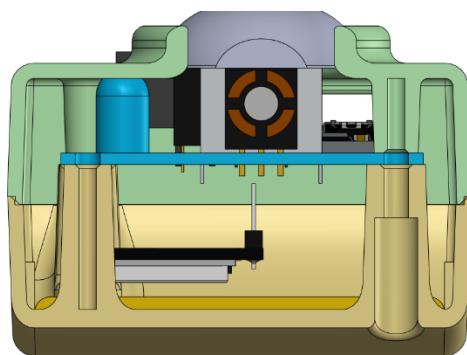


Figura 6.41. Vista de sección para observar tanto agujeros para tornillos como el reborde de unión de tapa y base

No obstante, un problema de última hora con uno de los potenciómetros que componen el joystick obligó a cambiar el diseño y pasar a emplear la combinación de elementos que se muestra en la Figura 6.42.



Figura 6.42. Representación de M5StickC y joystick con comunicación I2C.

El funcionamiento sigue siendo idéntico al descrito, pero en este caso también fue necesario rediseñar la carcasa, pasando a ser la Figura 6.43.

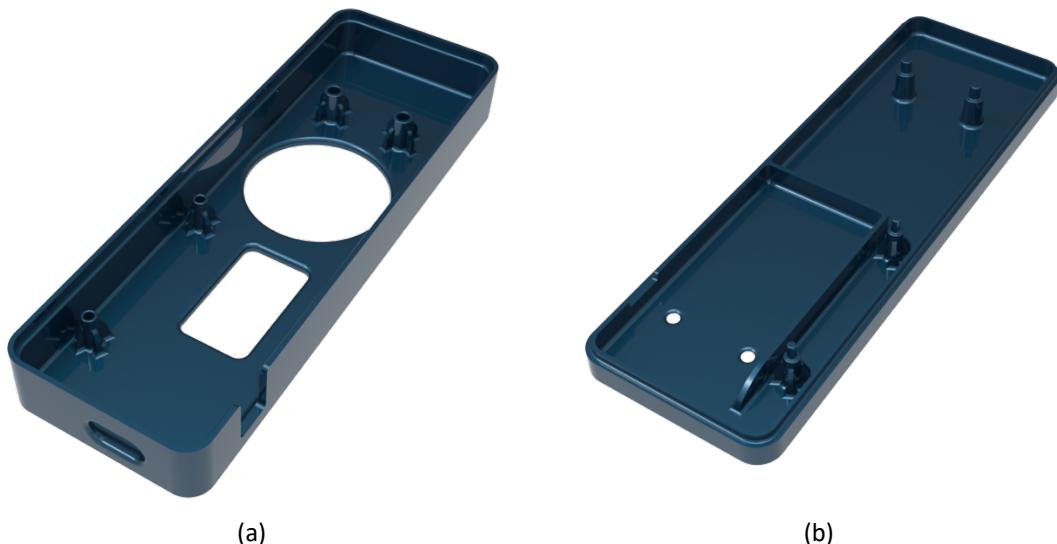


Figura 6.43. Carcasa para el nuevo joystick

## 6.2. Diseño de detalle Electrónico

### 6.2.1. Game-Pad para el movimiento.

Una vez se analizaron los inconvenientes que presentaba el diseño conceptual se decidió unificar todos los elementos en una única PCB que incluyese todos los elementos, incluido el módulo de carga. El diseño esquemático es el que se muestra en la Figura 6.44.

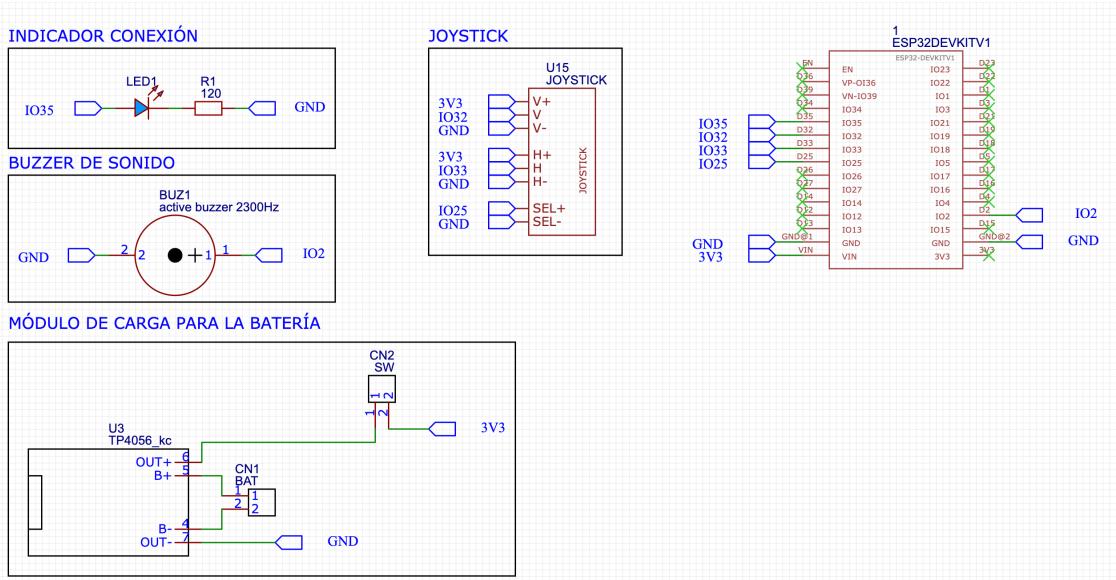


Figura 6.44 Diseño esquemático del Game-Pad

Cabe destacar que dado que el Game-Pad se está alimentando desde una batería externa la tensión analógica de referencia pasaría a ser variable y por lo tanto no sería posible medir directamente la tensión de la batería para poder obtener un indicador del nivel de batería que se tiene en cada momento, es por eso por lo que sería necesario incluir al diseño un elemento capaz de garantizar que la tensión estuviese siempre fija a los 3.3V que necesita el ESP32 en un rango de trabajo de la batería, es decir, el dispositivo tendría que garantizar que siempre que la tensión de la batería estuviese comprendida entre 2V y 4.5V a la salida tuviese siempre los 3.3V necesarios.

El elemento en cuestión responde a la designación PAM2306DYPAA [13] y sus conexiones son las que se muestran en la Figura junto con su encapsulado.

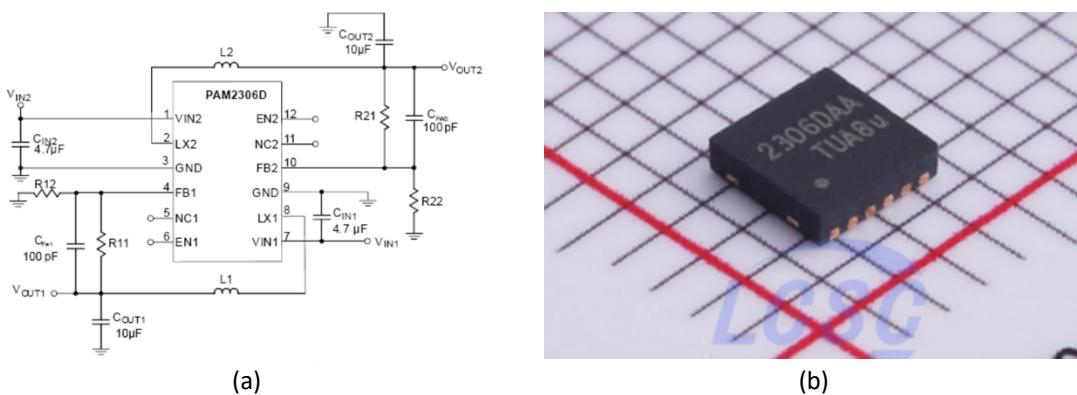


Figura 6.45. Esquemático y encapsulado para el componente PAM2306DYPAA

El principal problema que presenta este componente es el encapsulado, ya que por los medios de los que se disponen en la universidad no resulta posible soldarlo a la propia placa, no obstante, se muestra en la Figura el diseño esquemático que habría que hacer para conseguir incluir dicho componente en el esquemático y poder medir así la tensión de la batería.

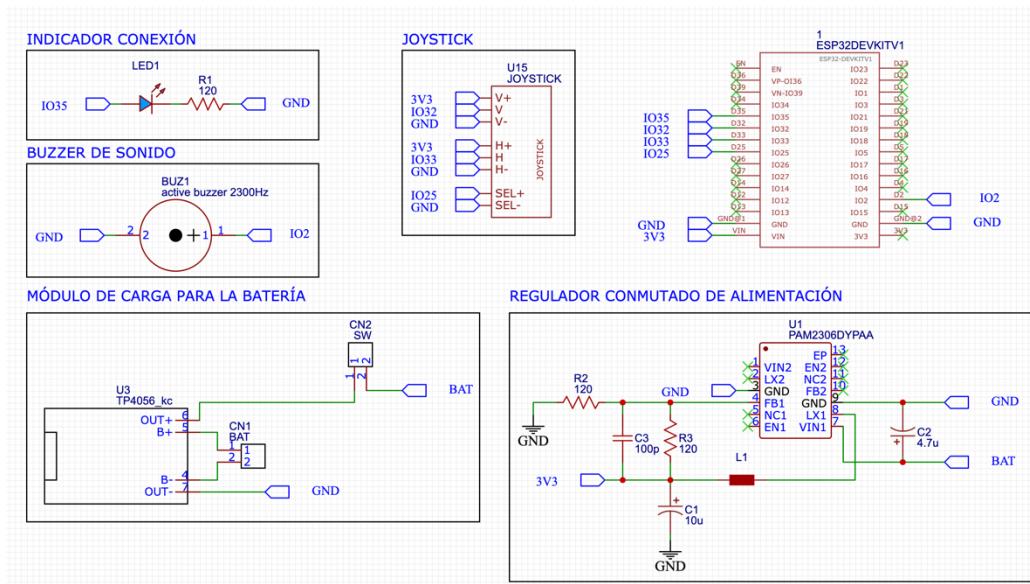


Figura 6.46. Diseño esquemático del Game-Pad con dispositivo de regulación de tensión.

Una vez mostrados los esquemáticos tanto para la versión que incluye el regulador como para el elemento que no lo incluye (que es el que se va a implementar) se procede a mostrar como sería la PCB que se ha diseñado teniendo en cuenta las reglas de diseño expuestas en el anexo E.

Cabe destacar también que debido a que no es posible colocar el regulador de tensión, el LED RGB pierde su funcionalidad, por lo que se ha sustituido por un led blanco cuya misión será emitir señales visuales para indicar el estado de conexión y si el gamepad está encendido.

#### PCB PARA EL GAME-PAD SIN REGULADOR DE TENSIÓN.

Se muestra en la Figura el resultado que se obtiene para la PCB y en la Figura la representación tridimensional de la misma.

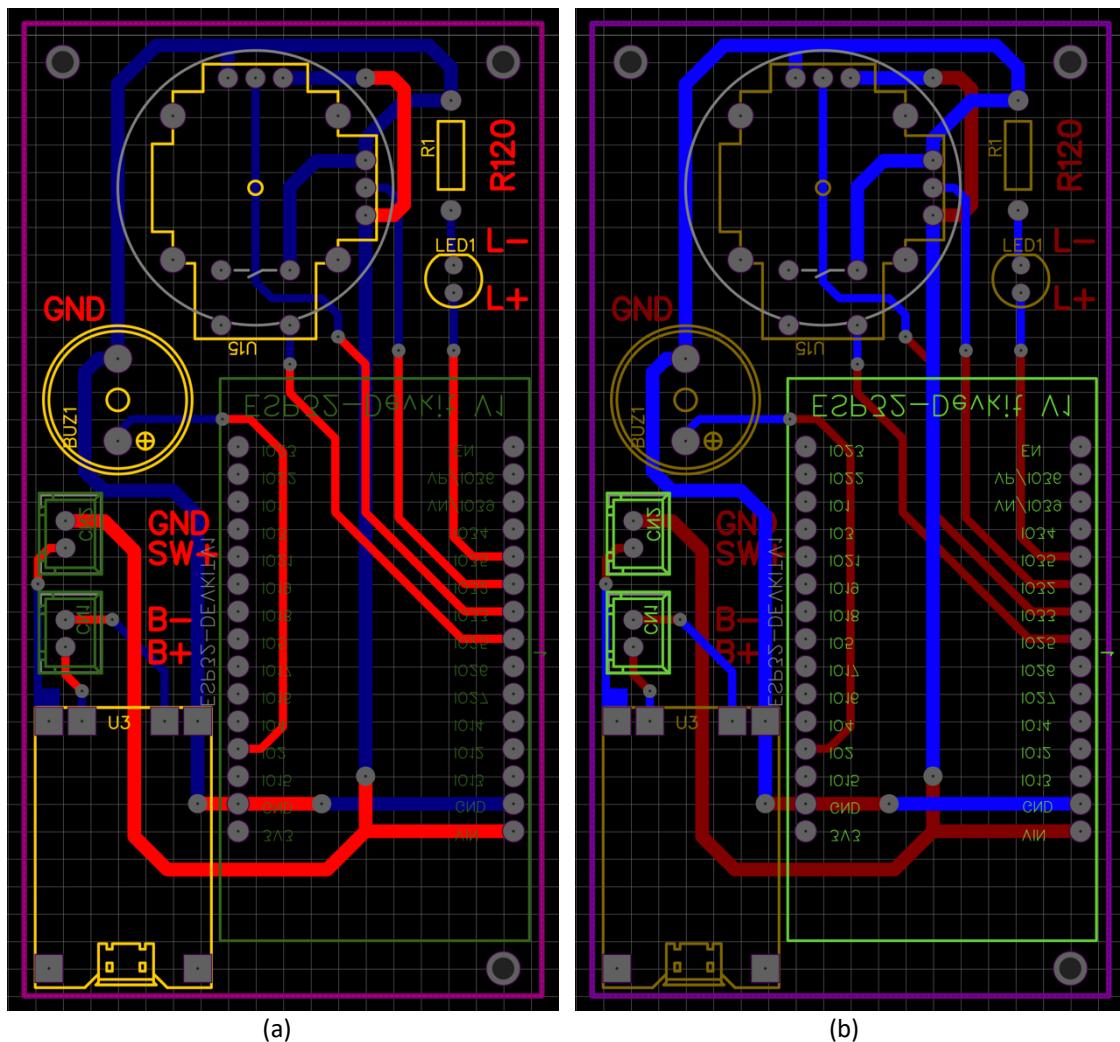


Figura 6.47. PCB caras TOP(a) y BOTTOM(B) sin plano de masa y sin regulador de tensión.

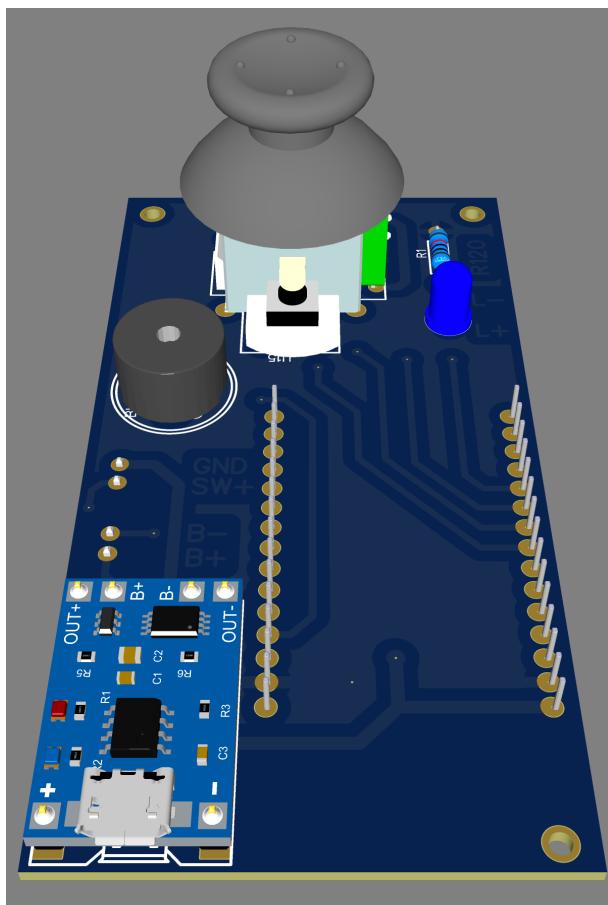


Figura 6.48. Representación 3D de la PCB para el Game-Pad

### 6.2.2. Placa de Circuito Impreso Principal.

Como ya se expuso en el apartado 5.2. se va a tratar de garantizar que todos los elementos estén dentro de la misma placa para así conseguir minimizar el número de conectores y por ende el número de fallos que se podrían producir, se va a detallar a continuación los elementos y la explicación de cada uno de ellos para las 3 grandes partes de las que consta la placa que se va a desarrollar.

Cabe destacar que los elementos de iluminación del rover, bien sea la tira de LEDs o la corona, la cámara, el M5Stack y los ventiladores que se encuentran en la parte frontal van a estar alimentados por una placa adicional de pequeñas dimensiones cuyos componentes se detallarán en el apartado 6.2.3.

#### ELEMENTOS DE ALIMENTACIÓN Y CONVERSIÓN DE POTENCIA.

En primer lugar, será necesario realizar la conexión de la batería a la placa junto con la conexión al cargador y un interruptor general que permita encender o apagar el rover. Para el cargador se decidió adquirir un conector circular de potencia de RS que cumpliese las características demandadas por la carga de la batería, el modelo escogido es el Buccaneer 400 de 2 vías [14] cuya representación se puede ver en la Figura 6.49.



Figura 6.49. Conector circular para el cargador de la batería.

En la descripción de la batería se pone de manifiesto que la corriente de carga máxima que soporta es de 5A y tal y como se puede ver en la Figura 6.64 este conector cumple con los requisitos máximos de corriente que se podría llegar a suministrar, así como con la tensión, además cuenta con un índice de protección IP68 e IP69K, garantizando una protección total contra sólidos así como una protección a inmersión continua [15], [16].

Atributo	Valor
Número de Contactos	2
Tipo de Montaje	Montaje en PCB
Tamaño del Conector	Miniatura
Conector Macho/Conector Hembra	Conector Hembra
Método de Terminación	Soldador
Género del Contacto	Hembra
Índice de Protección IP	IP68, IP69K
Valor Nominal de Corriente	8.0A
Tamaño de la Funda	19
Tensión Nominal	250 V
Tipo de Unión	Roscado
Orientación del Cuerpo	Recta
Serie	Buccaneer 400
Revestimiento del Contacto	Oro
Material de la Carcasa	Polímero
Temperatura Mínima de Funcionamiento	-40°C
Temperatura Máxima de Funcionamiento	+80°C
Material del Contacto	Cobre

Figura 6.50. Especificación del conector circular para la carga de la batería.

Para finalizar con esta parte es importante destacar que se incluye un interruptor general sobre la propia placa de palanca para poder activar o desactivar la conexión mientras se estén haciendo las pruebas necesarias, un fusible al valor de corriente máximo del conector de 8A y un par de condensadores de desacoplamiento para realizar el filtrado de la tensión que proviene de la batería. Todos estos elementos se pueden ver en la Figura 6.51.

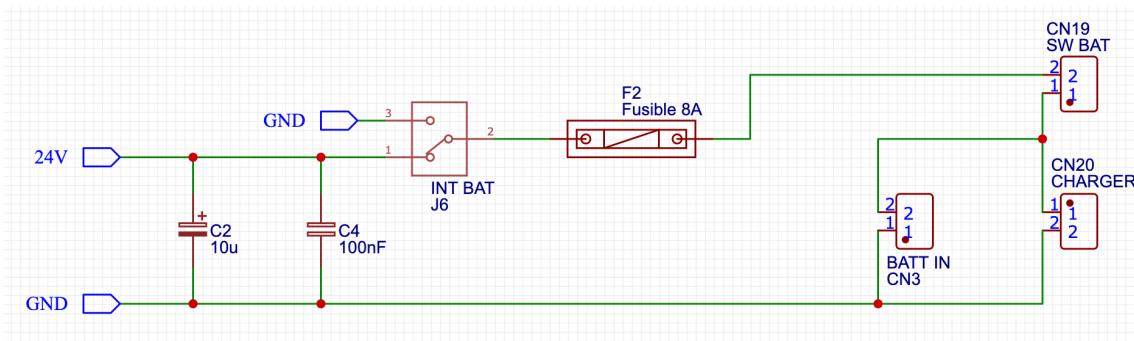


Figura 6.51. Elementos para la conexión del cargador, batería e interruptor general del ROVER.

Los siguientes componentes que será necesario incluir serán, por un lado, el convertidor conmutado DC/DC de la tensión de la batería a 5V y por otro el convertidor lineal de 5V a 3.3V. Ambos contarán con el mismo tipo de elementos, un interruptor general para activar o desactivar dicha línea y un fusible que está diseñado en base al consumo máximo de corriente demandado y mayorado por un factor de seguridad, resultando en uno de valor 5A para la rama de 5V y otro de 1A para la de 3.3V. También incluirán condensadores de desacoplo para realizar el correspondiente filtrado. La representación de esta parte se puede ver en la Figura 6.52.

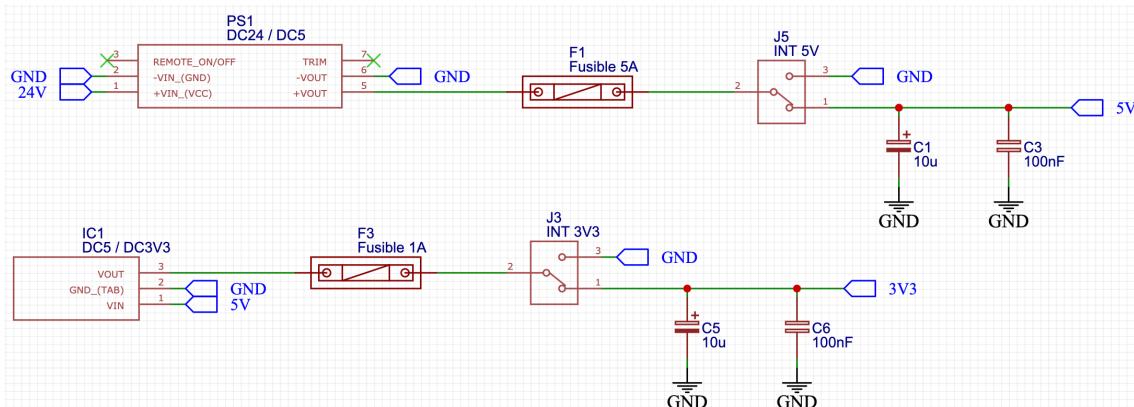


Figura 6.52. Conexión para los elementos de conversión de potencia.

Como elementos adicionales de esta parte de la placa se va a incluir la conexión para el monitor de la batería (ver Figura 6.53) ya que en este rover se va a incluir en el interior, un total de 3 diodos LED que van a permitir detectar posibles fallos en las líneas de corriente y también un total de 5 conectores para alimentar tanto la PCB secundaria (conexión de 5V y 24V) así como la conexión para la BBB, el Router y el ventilador de los drivers, todos estos elementos se pueden ver en la Figura 6.54



Figura 6.53. Monitor del estado de la batería.

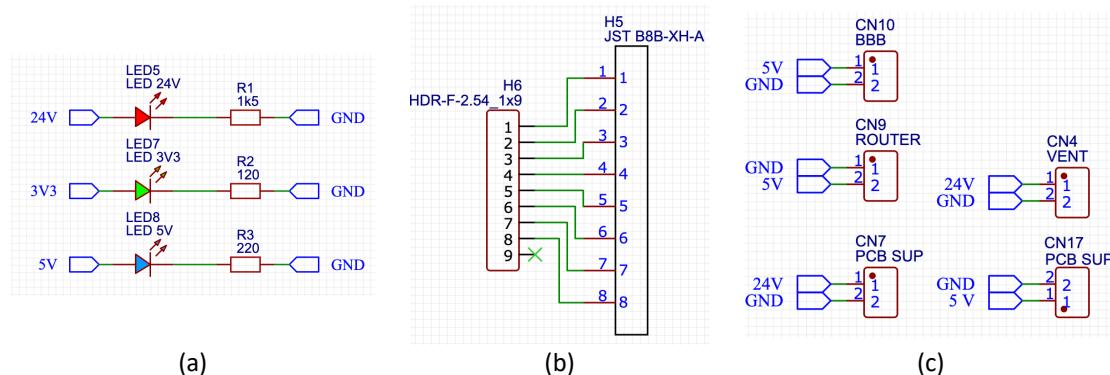


Figura 6.54. Elementos adicionales para la parte de potencia.

### ELEMENTOS PARA LA FPGA.

Como ya se ha mencionado en el apartado 5.2.4. la parte que se encargue de alimentar a la FPGA y de añadir los integrados necesarios para su uso con las correspondientes conexiones.

Del manual de la FPGA se puede ver que cuenta con las terminaciones que se pueden ver en la Figura 6.64.

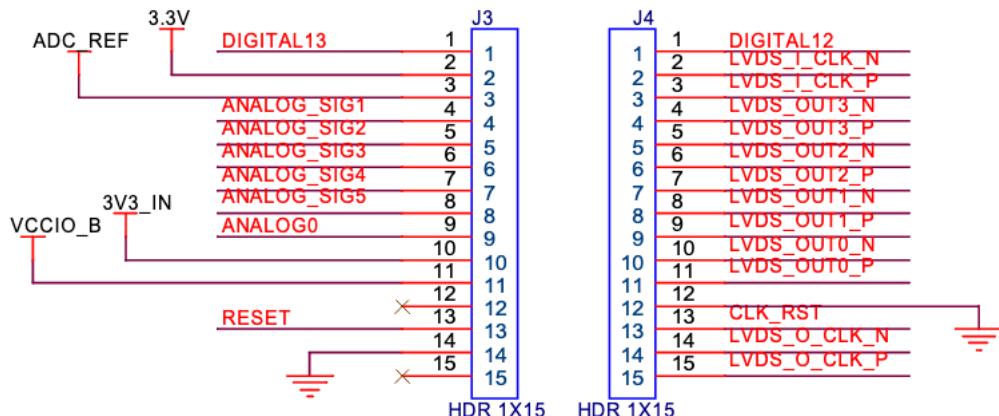


Figura 6.55. Conexiones de los pines de la FPGA

En primer lugar, se puede observar que cuenta con dos pines de alimentación, por un lado el pin 2 del conector J3, y por otro el pin 10 del mismo, no obstante, también se puede observar en el mismo manual que ambos pines están conectados, como se pone de manifiesto en la Figura 6.56, por esa razón, se ha decidido alimentar a la placa por el pin 2.

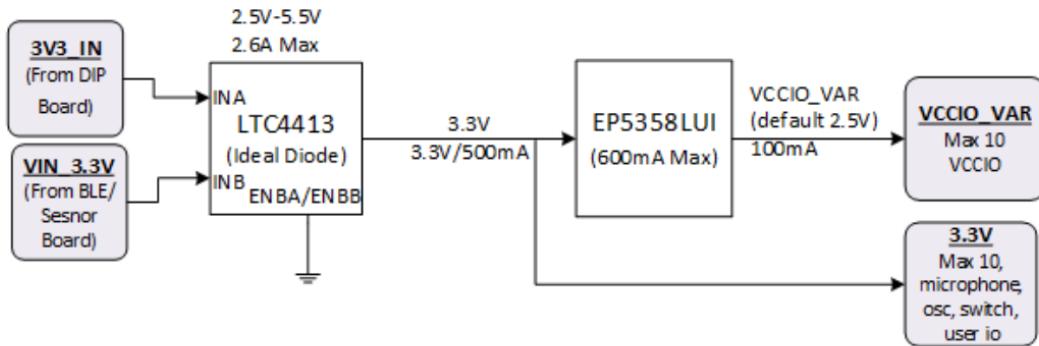


Figura 6.56. Conexiones de los pines de alimentación en la FPGA

Para la conexión del conversor AD [17] se sigue la distribución de pines que se muestra en la Figura 6.57, siendo importante destacar que cuenta con alimentación a 3.3V, la señal de reloj a la que está trabajando que se extraerá de uno de los pines con la correspondiente división de frecuencia sobre el reloj de 50MHz de la placa (se explicará con detalle en el apartado 6.2.4. ), el pin VMONIT que será la comunicación serie con el valor de la conversión que se extrae directamente de la entrada IN+ y el CS que será el que permita iniciar las conversiones a la frecuencia establecida.

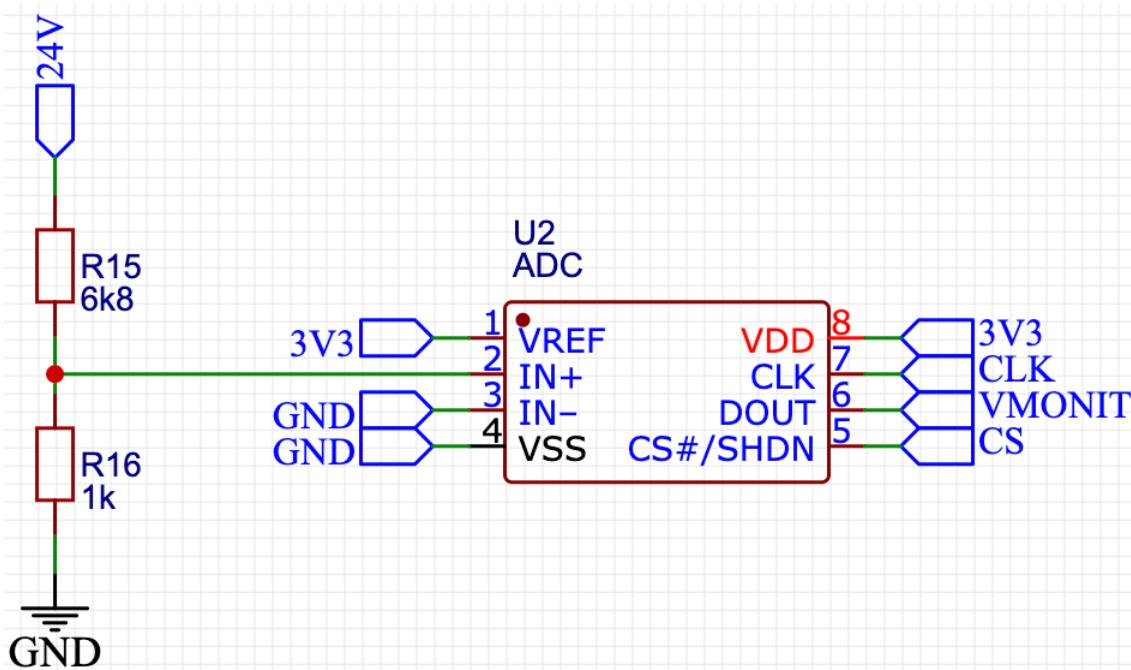


Figura 6.57. Conexión para el conversor AD.

El otro integrado es el controlador para los dos servomotores que cuenta, además de las conexiones de alimentación, de entradas para la salida de la PWM de 3.3V que se genera desde la FPGA y que el propio driver convertirá a 5V para enviar a los servos. Las conexiones se pueden ver en la Figura 6.58.

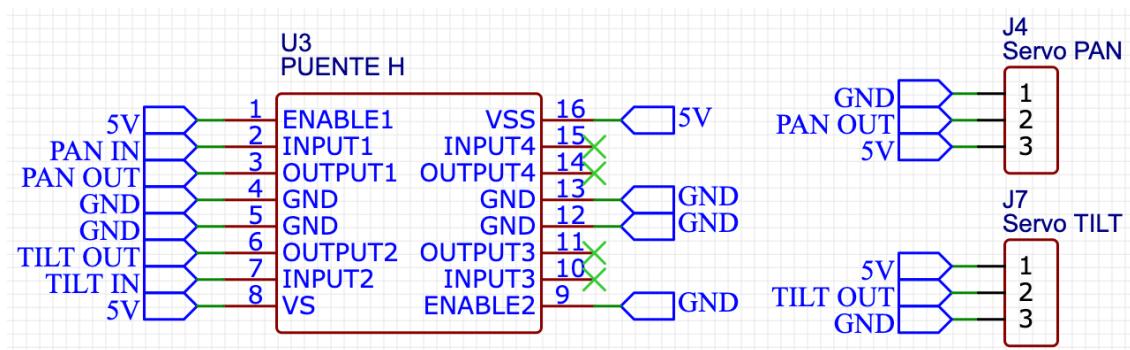


Figura 6.58. Conexión para el controlador L293 para los servomotores de PAN &amp; TILT.

Adicionalmente se va a disponer de un conector para los pines de la comunicación RS232 que se establecerá entre la FPGA y la BBB.

Se muestra en la Figura 6.59 cuales serían los pines para emplear de los 30 disponibles en la tarjeta

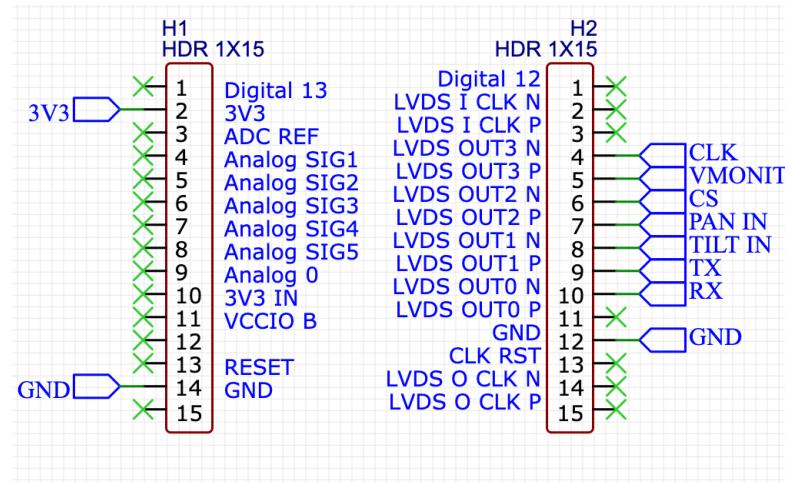


Figura 6.59. Conexión a los pines de la FPGA.

### ELEMENTOS PARA EL CONTROL DE LOS MOTORES.

Para este caso simplemente se tendrán que añadir las conexiones a todos los elementos de interés con los que cuentan los drivers, esto es alimentación, masa, una serie de resistencias para el control de los sensores de efecto Hall y las correspondientes conexiones para la comunicación de tipo RS485 que se implementa. En la Figura 6.60 se muestra la conexión para uno de estos drivers, la del otro sería análoga.

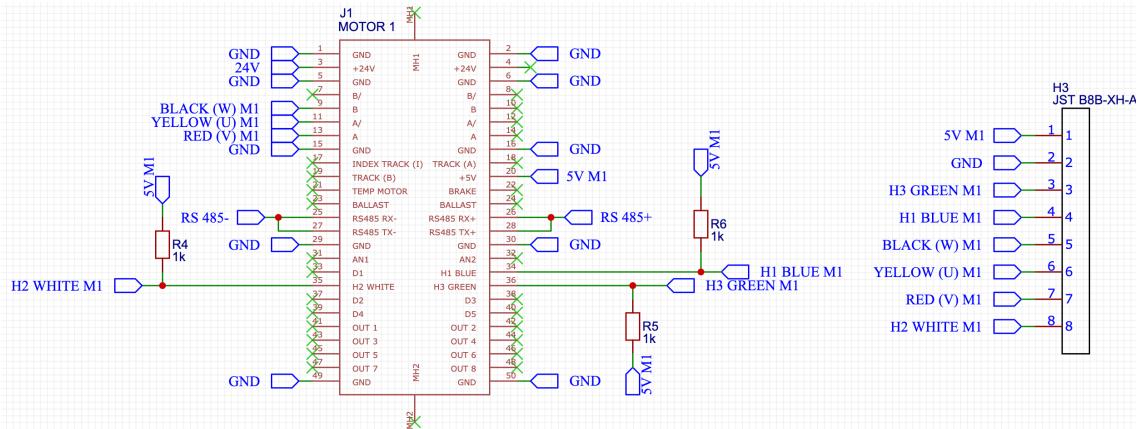


Figura 6.60. Conexión de los elementos de los drivers del motor.

**DISEÑO DE LA PCB PRINCIPAL.**

Una vez que se han incluido todos los elementos se procede a diseñar la placa adaptándose a la morfología que presenta el rover en la parte en la que se quiere disponer, resultando en la PCB que se muestra en la Figura 6.61.

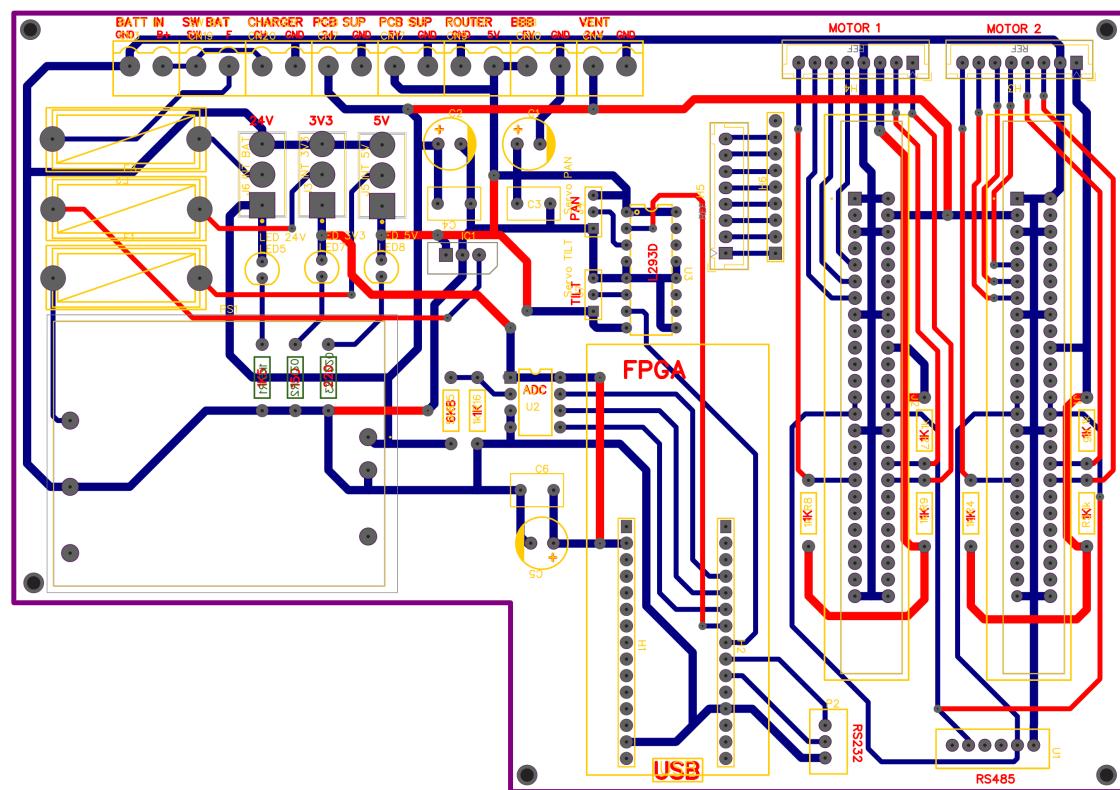


Figura 6.61. Diseño de la PCB principal.

También se muestra la misma placa, pero en representación 3D con la mayoría de los componentes en la Figura 6.62.

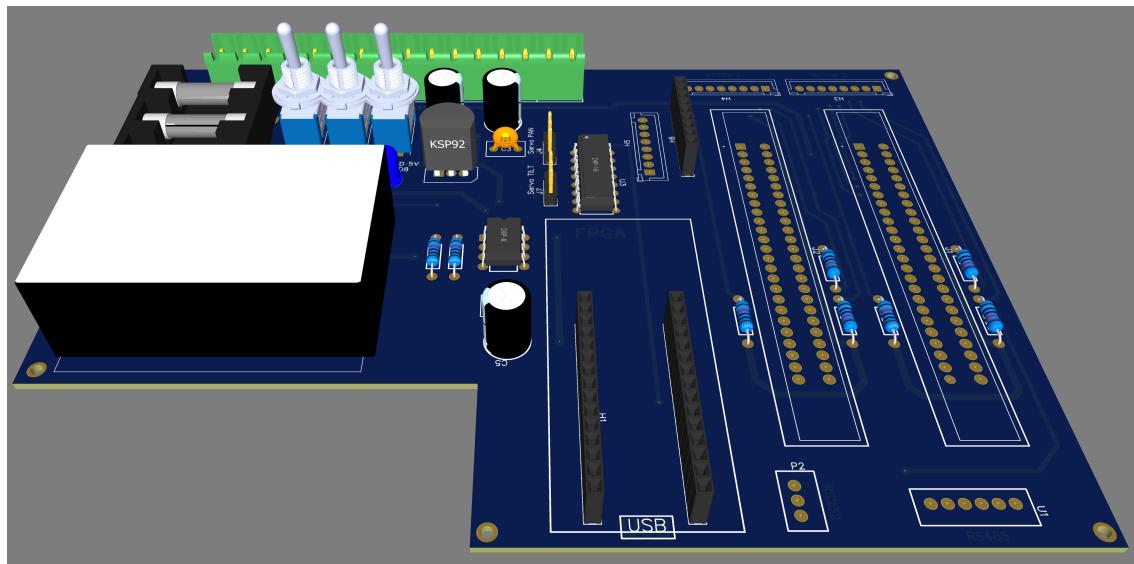


Figura 6.62. Diseño 3D de la PCB principal.

### 6.2.3. Placa de Circuito Impreso Secundaria.

Esta segunda placa es la que permite realizar la alimentación del transmisor de la cámara, así como de los elementos de iluminación, el M5Stack [3] y un sensor de temperatura de contacto que se sustituyó por unos relés térmicos que permiten activar o desactivar los ventiladores de la parte superior del ROVER. En este caso se va a incluir el conversor comutado de 24 a 12V junto con un fusible de 1A, tal y como se puede ver en la Figura 6.64.

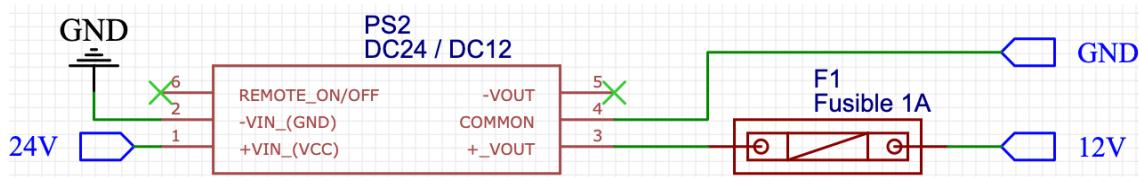


Figura 6.63. Conexiones para el convertidor comutado de 24V a 12V.

### 6.2.4. Programación de la FPGA.

Se va a detallar cual sería el proceso por el que se consigue diseñar el diagrama que se muestra en la Figura 6.64.

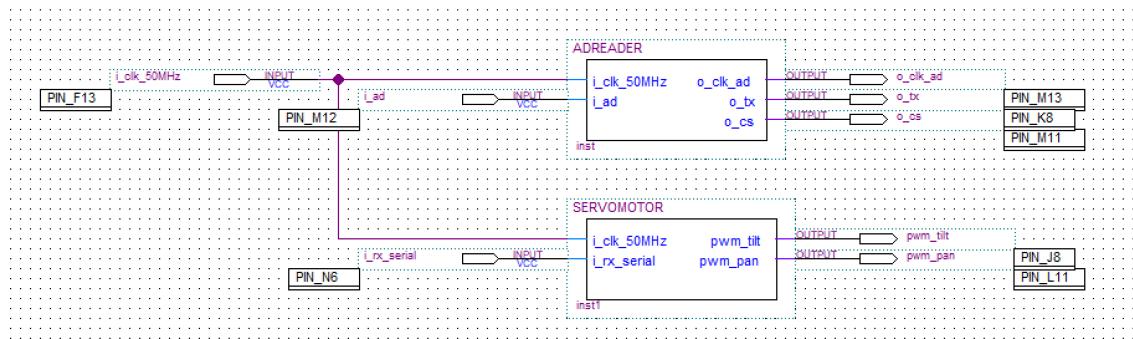


Figura 6.64. Diagrama esquemático de los bloques para la programación de la FPGA.

### CONVERSOR AD PARA MEDIR LA BATERÍA.

En primer lugar, cabe fijarse en la Figura 6.57, en la que se muestran las distintas entradas y salidas del conversor AD. Como se comentaba en apartados anteriores, mediante un divisor resistivo se consigue manejar un rango de voltaje con el que el conversor AD es capaz de trabajar. Este voltaje que recibe como un valor analógico, lo convierte a un valor digital, que es la señal principal con la que trabajar para conocer el nivel desde la FPGA, y que nombramos como VMONIT. Esta señal digital es la que podemos ver en la Figura 6.64. Diagrama esquemático de los bloques para la programación de la FPGA. como una señal de entrada a nuestro bloque ADREADER con el nombre *i\_ad*.

Para leer esta señal digital, se debe seguir un cronograma que se especifica en la hoja de características del conversor AD y que se puede ver en la Figura 6.65. Cronograma conversor AD

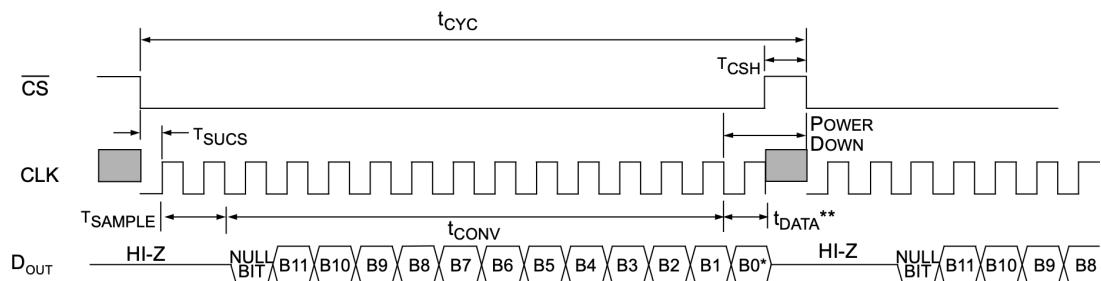


Figura 6.65. Cronograma conversor AD

Como se puede observar, la señal que nos interesa leer, que en este caso recibe el nombre  $D_{OUT}$ , se envía mediante 12 bits en serie. Para ello, se le debe enviar una señal de reloj (CLK) y un bit (CS) con el que se indica al conversor AD que comience una nueva medida.

Teniendo ya definidas las entradas y salidas que se requieren, se pasa a explicar a continuación los cuatro bloques principales con los que se lleva a cabo la programación para esta tarea.

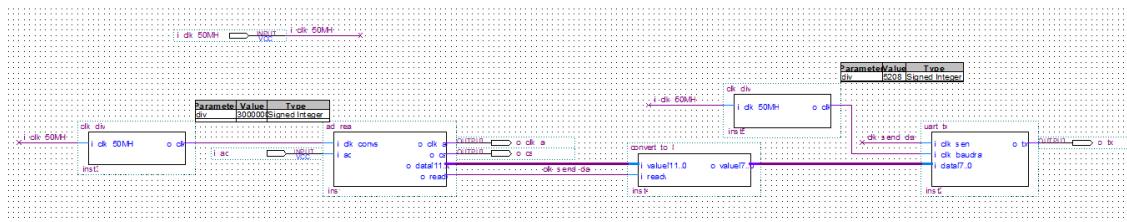


Figura 6.66. Desglose bloque ADREADER

Como se comentaba anteriormente, el conversor AD requiere del envío de una señal de reloj para su funcionamiento. Esta debe ser de un máximo de 1,6 MHz, si bien una frecuencia cercana a este valor, debido al código que se utiliza en los bloques que se explicarán más adelante, daría lugar a medidas cada muy poco intervalo de tiempo, lo que no solo es innecesario, sino que podría suponer un problema para la comunicación serie con otros dispositivos.

De esta manera, el primero de los bloques que se puede ver en la Figura 6.66. Desglose bloque ADREADER, tiene únicamente la función de dividir la frecuencia de 50 MHz proveniente del reloj de la FPGA, a una frecuencia en la que las medidas se envíen con una cadencia deseada. En este caso, se ha escogido un valor, para que finalmente, la lectura de la batería se realice cada aproximadamente un segundo.

Esta frecuencia será señal de entrada del siguiente de los bloques, que recibe el nombre de *ad\_read*. Este bloque tiene la función principal de realizar la conversión serie a paralelo de la otra señal de entrada de dicho bloque, que es la proveniente de la lectura del conversor AD. Para ello, el código VHDL implementado, trata de replicar el cronograma mostrado anteriormente.

Para comenzar la medida se pone la señal de CS a 0, la cual se envía al conversor AD. Posteriormente, se espera a recibir un bit 0 por la entrada del conversor AD, debido a que como se comprueba en el cronograma, previamente a los 12 bits con la información deseada, siempre se envía un bit nulo. Una vez recibido este bit, simplemente se van almacenando los bits recibidos en serie en un registro en paralelo de 12 bits. Por último, en el último de los bits, se envía otra señal, denominada señal de lectura, para la que se utiliza el flanco de subida. Con esto se consigue que la lectura del registro paralelo de 12 bits, únicamente se lleve a cabo en el centro del último bit, con el fin de que no haya posibles dudas con el reseteo del registro o con una falsa medida.

Se puede entender ahora el valor elegido para el divisor de frecuencia, ya que la señal de CS se pone constantemente a 1 y de nuevo a 0, al finalizar cada una de las medidas, por lo que con el valor que se obtiene de reloj, de unos 16 Hz, como se comentaba se obtiene una lectura cada segundo, aproximadamente.

Tenemos que las señales de salida de este bloque son la señal de reloj y la de chip select, que se envían al conversor AD, y por otra parte el registro de 12 bits y el bit de lectura que se envían al siguiente bloque.

Para entender la funcionalidad del tercer bloque, cabe recordar que la lectura analógica del conversor AD recibía un valor del voltaje que se encontraba entre 1,90 V y 2,29 V, mientras que la lectura que queremos obtener del nivel de batería se encontrará en forma de porcentaje entre el 0 % y el 100 %.

De realizar esta transformación se encarga este bloque, que lee el registro paralelo de 12 bits del bloque anterior cuando lo indica la puesta a uno del bit de lectura, y mediante una recta de ajuste se transforma el registro de 12 bits en otro de 8 bits, que siempre tomará un valor de entre 0 y 100.

Con la medida del nivel de la batería ya obtenida, únicamente queda enviarla a través de la comunicación serie mediante RS232 [18] que se lleva a cabo entre la FPGA y la BBB. De esto se encarga el cuarto bloque, el cual recibe como entradas el registro paralelo de 8 bits que contiene la información de la medida, el bit de lectura que dará lugar al envío y una señal de reloj que se corresponde con los baudios para la velocidad de envío deseada.

Su funcionamiento consiste simplemente en, atendiendo a los flancos de la señal de reloj de entrada, que determina la velocidad de envío, cuando se reciba la señal de lectura, se entra en el estado de envío, en el que en cada flanco se envía, en primer lugar, el bit de “start” de la comunicación y posteriormente los 8 bits del registro paralelo.

De esta manera se completa la medida del nivel de la batería por parte del conversor AD, su lectura desde la FPGA y su envío a la BBB, a partir de la cual se puede enviar al resto de los dispositivos conectados.

### **MOVIMIENTO DE LOS SERVOMOTORES PARA CONTROL DE PAN & TILT.**

En un primer momento se realizó un montaje empleando un Arduino MEGA y uno de los dos servomotores para poder comprobar el ancho del pulso necesario para enviar al servomotor a diferentes posiciones, a modo de ejemplo se muestra la señal obtenida por el osciloscopio para enviar al servomotor a la posición de 0º en la Figura 6.67.

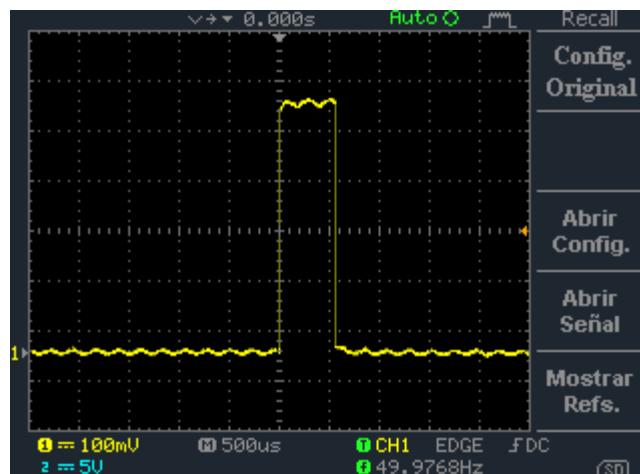


Figura 6.67. Montaje inicial sobre Arduino para comprobar el ancho del ciclo PWM.

Además, como se puede ver en la Figura 6.68 también se tienen referencias sobre la distinta duración que deberían tener la señal PWM para conseguir garantizar que el servo estuviese colocado en dicha posición.

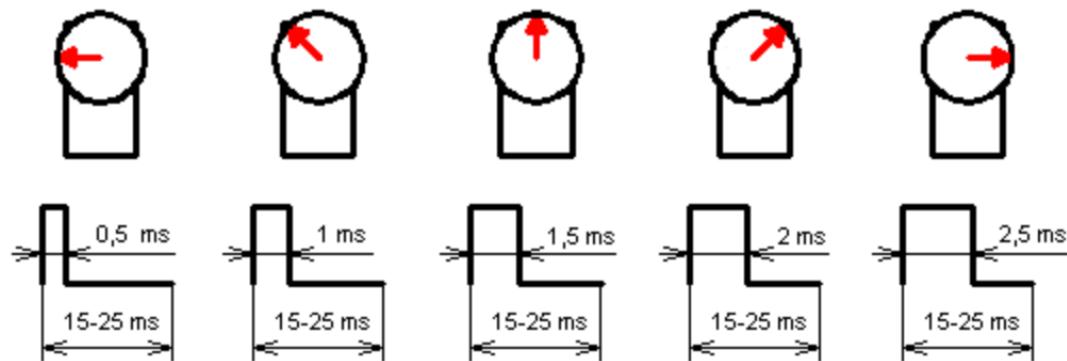


Figura 6.68. Variaciones de la señal PWM para conseguir distintas posiciones en los servomotores.

No obstante, dado que este control va a ser gestionado mediante la FPGA, será necesario llevar a cabo la programación de un proceso que permita, partiendo de la señal de reloj de 50MHz de la tarjeta, obtener la señal PWM necesaria en función de la posición a la que tenga que ir el servomotor en función de lo que se mande a través de una comunicación serie mediante la BBB y la FPGA, por lo que será necesario diseñar además un puerto RX junto con el que se encargue del movimiento de los servomotores. Es decir, en este apartado se prestará especial atención a la programación de la parte que se muestra en la Figura 6.69.

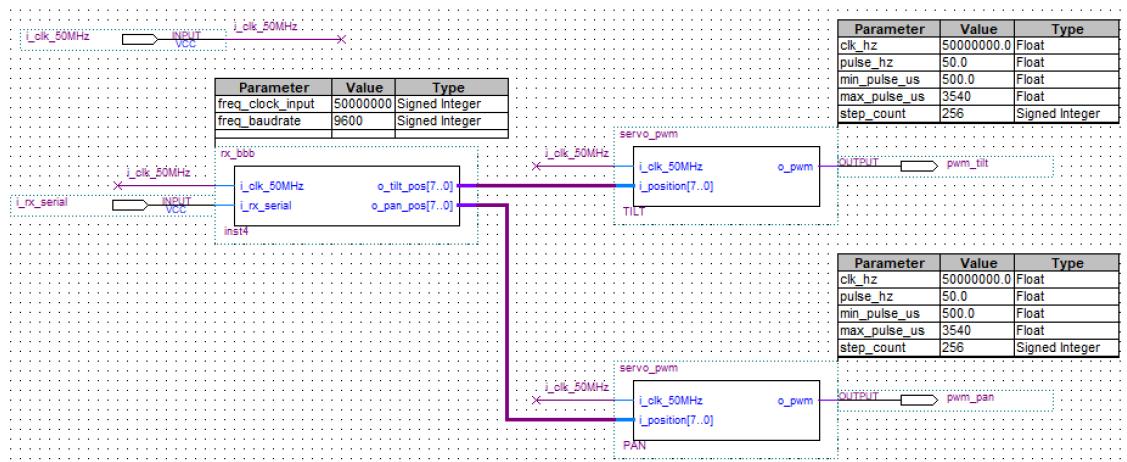


Figura 6.69. Diagrama de bloques para los movimientos de PAN &amp; TILT junto con la comunicación RX.

### PUERTO RX PARA LA COMUNICACIÓN RS232.

Será necesario tener en cuenta, como ya se ha comentado, que la BBB será la que se encargue de recibir los mensajes mediante un cliente WiFi del M5StickC codificado en xml del estilo a:

```
<M5StickC><pan_tilt_deg>[pan_deg, tilt_deg]</pan_tilt_deg></M5StickC>
```

Dado que la FPGA no presenta una gran facilidad a la hora de procesar cadenas de texto tan complejas, lo que se decide es extraer en la BBB los valores del ángulo a los que se tendrán que mover los servomotores de pan y del TILT para poder codificarlos correctamente en enteros de 8 bits (unsigned

char) y realizar una recepción serie doble teniendo en cuenta que el primer carácter que se recibiría será la posición del PAN y la segunda la posición a la que se tiene que llevar el TILT.

A modo de ejemplo se muestra en la Figura 6.70 un cronograma que representa lo que tendría que implementar para conseguir leer un carácter mediante comunicación serie.

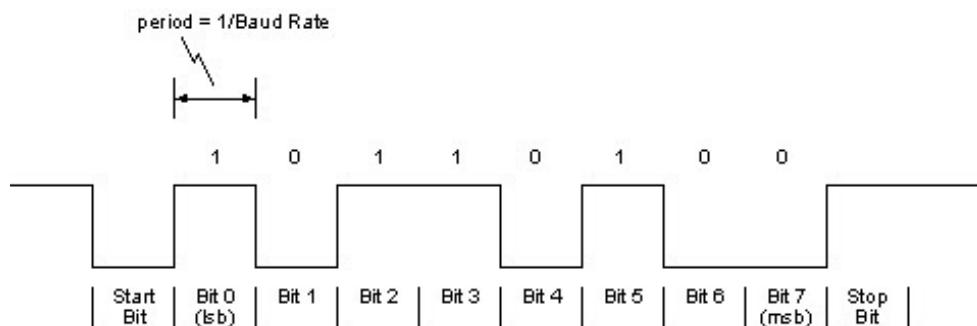


Figura 6.70. Cronograma de la comunicación serie.

En el anexo E se muestra el código que se empleó para realizar la implantación de esta parte en base a las modificaciones realizadas de [19].

### CONTROL DE LOS SERVOMOTORES.

En este caso se parte del código que ofrece [20] al que será necesario realizarle una serie de modificaciones en función del ancho del ciclo que es necesario implementar para conseguir realizar el control de posición de estos, como se pudo ver en la Figura 6.68.

La librería descargada cuenta con la peculiaridad de que precisa ajustar el valor máximo del ciclo que se tendría que generar en función de la posición a la que se quiera llegar, en este caso, como la situación máxima sería un recorrido de  $0 \div 180$ , con lo que, para garantizar la posición de  $180^\circ$  será necesario generar una señal PWM cuya duración en estado alto sea de 2.5 ms, no obstante, por la forma de trabajar la FPGA, para representar el número 180 sería necesario disponer de 8 bits, es decir, la posición máxima quedaría representada por el número 255, con lo que, para este caso se precisaría un valor en estado alto de:

$$t_{ON} = \frac{255 \times 2500 \mu s}{180} = 3540 \mu s$$

Una vez realizada esta modificación y realizada la implementación sobre la propia FPGA se consigue realizar el movimiento de los motores y mediante un osciloscopio se puede ver la señal PWM generada en la Figura 6.71

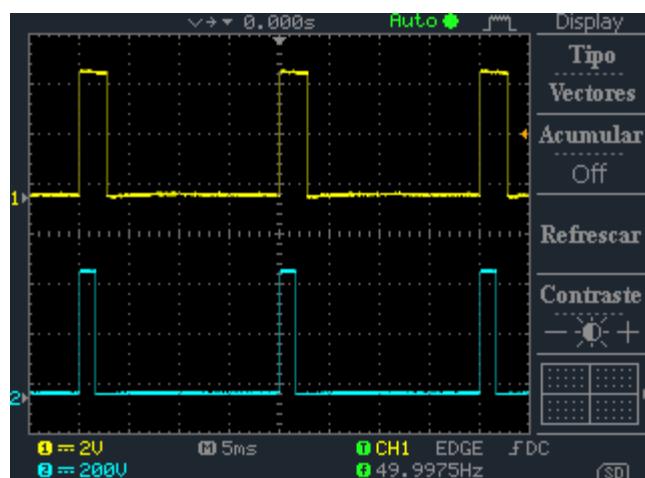


Figura 6.71. Conexión de los dos servomotores en la FPGA y comprobación de la PWM.

### 6.2.5. Movimiento de la cámara mediante M5StickC e IMU.

El movimiento de la cámara que se realiza mediante los servomotores controlados por la FPGA necesita de datos para saber la posición que debe tener en cada momento, para conseguir una mayor sensación de inmersión del usuario se coloca una IMU en las gafas, consiguiendo que cuando se mueva la cabeza del usuario la cámara se mueva hacia el mismo lugar.

Para la obtención y procesamiento de los datos se utiliza un M5Stick [21] que posee una IMU en su interior, el M5StickC procesará los datos de la IMU y se los enviará vía WIFI al servidor para que se realice el movimiento de la cámara.

Para comenzar a trabajar con la IMU y saber que datos se quieren obtener se realizan diferentes pruebas, identificando los datos de interés como los datos del giroscopio correspondientes al roll, para el Tilt, y el pitch, para el Pan.

Una vez identificados los datos de interés, se capturan los datos de la IMU simulando los movimientos que se realizaran para ver como se comportan y graficarlos en Matlab con el fin de ver la necesidad de tratamiento de estos, los resultados se muestran en la Figura 6.72 y Figura 6.73.

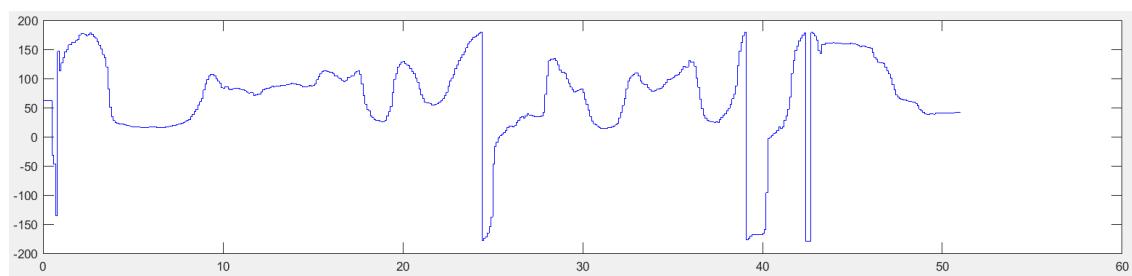


Figura 6.72. Datos PAN IMU interna

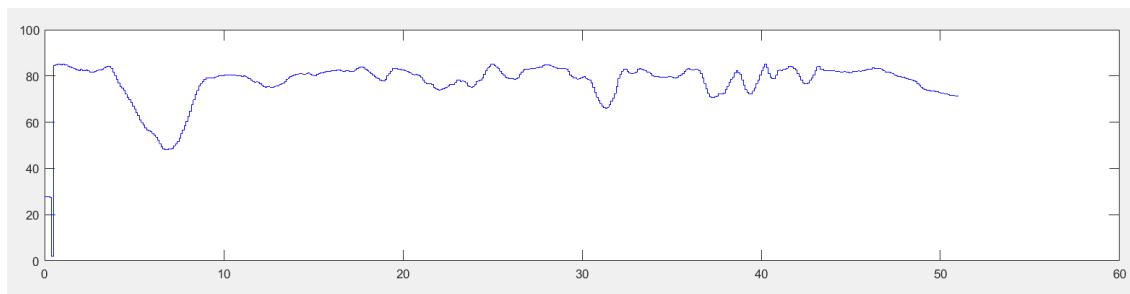


Figura 6.73. Datos TILT IMU interna

A la vista de los datos obtenidos se observa que el movimiento de Tilt se tienen unos datos lo suficientemente estables para poder usarlos, sin embargo, para el movimiento de Pan, los datos tienen una importante deriva cuya calibración es compleja y poco fiable, esto se debe a que la IMU interna es de 6 ejes no tiene magnetómetro con lo que el valor está cambiando constantemente sin que en realidad se esté realizando ningún movimiento.

Para solucionar esto dado que se poseía una IMU de 9 ejes con magnetómetro BNO055 [22] (ver Figura 6.74), se probó con el giroscopio que esta posee, capturando los datos de esta se observó que con una calibración inicial y limitando los valores leídos se conseguía un movimiento, que, aunque no es perfecto es lo suficientemente bueno para el correcto funcionamiento de la cámara.

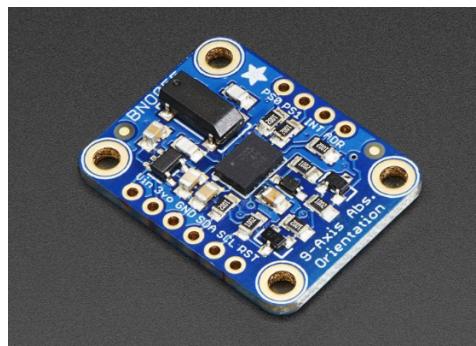


Figura 6.74. IMU de 9 ejes BNO055.

### 6.2.6. RealSense – Cámara de profundidades.

Tal y como se expuso en el apartado 5.2.6. la alternativa que se buscó fue analizar la imagen RGB que genera e interpretar unos códigos QR que permitan cambiar la velocidad máxima del movimiento a la que podría ir el rover.

Se realizaron un total de 5 códigos QR como los que se muestran en la Figura 6.75.



Figura 6.75. Códigos QR empleados para las pruebas con la RealSense.

Cada uno de estos códigos contiene un mensaje en XML como el siguiente:

```
<OPT><max_rpm>rpm_value</max_rpm></OPT>
```

Siendo de 100 para el caso (a), de 150 para el (b), de 200 para el (c), de 250 para el (d) y por último de 300 para el (e). Para llevar a cabo la detección del código se va a usar la librería que incluye openCV [23] destinada a su detección e interpretación de forma directa.

### 6.2.7. Programación de la trayectoria

La trayectoria en el Rover hace de puente entre el joystick y los motores. Recibirá siempre dos valores del joystick indicando una posición X,Y. Enviará a los motores sus respectivas velocidades de giro, en rpm, que será captado, a su vez, por la interfaz gráfica que se encargará de representar la trayectoria. Se sigue el manual descrito en [24], [25].

Los valores que enviará el joystick estarán comprendidos entre 0 y 180, siendo el punto (90,90) el centro.

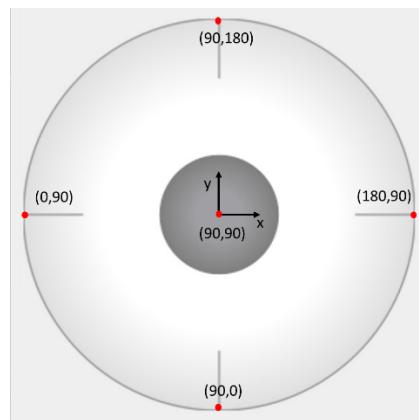


Figura 6.76. Esquema de valores máximos que puede tomar el joystick.

Para calcular el ángulo formado entre el punto que envía el joystick y el origen de coordenadas se hace uso de la siguiente fórmula:

$$\theta = \text{atan} \left( \frac{x - 90}{y - 90} \right)$$

La razón por la que se resta 90 al valor del punto es para que el origen de coordenadas pase a ser el punto (0,0). Debido a que se va a trabajar en grados, es necesario que el ángulo obtenido se pase a esas unidades, ya que el resultado de la ecuación anterior será en radianes.

A continuación, se pasa a hacer el cálculo de las componentes vertical y horizontal de la velocidad. Para ello se entiende que cuando el joystick se encuentra en la posición (90,90) la velocidad ha de ser 0, que cuando se encuentra en las posiciones máximas, la velocidad será igual a la velocidad máxima, y que, en las posiciones mínimas, la velocidad será igual a la velocidad máxima pero con signo negativo:

Tabla 6.1. Velocidades obtenidas en función de posiciones críticas.

Posición X o Y	Velocidad
90	0 rpm
180	Vmax
0	-Vmax

Por lo tanto, la recta que pase por esos puntos será:

$$v_x = \left( \frac{V_{max} * x}{90} \right) - V_{max}$$

$$v_y = \left( \frac{V_{max} * y}{90} \right) - V_{max}$$

Una vez se tienen las componentes de la velocidad, se puede obtener su módulo:

$$vel = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

Además, se realiza una condición mediante la cual, si esta velocidad supera a la máxima, su valor será igual a esa velocidad máxima.

Posteriormente, tiene lugar el bucle de cálculo mediante el cual se obtendrán las velocidades en rpm que se van a enviar a cada uno de los dos motores.

Al comienzo del bucle, se corrige el ángulo para que en la posición central su valor sea 0, y no cause problemas de cálculo.

Entonces, se calculan las velocidades de los dos motores en función del cuadrante en el que se ubique el joystick. Para aclarar los cálculos, se utiliza la siguiente tabla para mostrar los valores de velocidad que se enviarán a los motores en las posiciones máximas que llegaría el joystick.

A destacar:

- $v_1$ , velocidad del motor izquierdo
- $v_2$ , velocidad del motor derecho

Tabla 6.2. Valores de velocidad enviados al motor desde posiciones críticas.

Posición	$v_1$	$v_2$
(90,90)	0 rpm	0 rpm
(90,180)	+Vmax	+Vmax
(180,90)	+Vmax	-Vmax
(90,0)	-Vmax	-Vmax
(0,90)	-Vmax	+Vmax

Cuando el ángulo entre el punto y el origen sea de 45 grados, habrá siempre una velocidad que sea igual a cero, debido a que estará teniendo lugar una transición de velocidad positiva a negativa o viceversa. Por contra, la velocidad del otro motor se mantendrá constante.

Resumiendo, en cada cuadrante siempre habrá una velocidad que se mantenga constante, y otra velocidad que vaya cambiando su valor.

Si nos encontramos en el primer cuadrante, la velocidad que se mantendrá constante será la del motor izquierdo, de manera que el Rover pueda girar hacia la derecha. La velocidad del motor derecho irá cambiando. Cuando sea igual que la velocidad del motor izquierdo el Rover irá hacia delante, y a medida que la velocidad vaya decreciendo, influirá en menor medida para ir recto, y en mayor medida para ayudar a que el Rover gire hacia la derecha:

Tabla 6.3. Velocidades de los motores en función del ángulo que forma el joystick con el origen.

Ángulo respecto al origen	$v_1$	$v_2$
90	Vel	-Vel
45	Vel	0 rpm
0	Vel	Vel

Se siguen los mismos conceptos a la hora de trabajar con las ecuaciones del resto de cuadrantes, quedando una distribución de ecuaciones como la que se muestra en la Tabla 6.4

Tabla 6.4. Ecuaciones aplicadas en función de la posición del joystick.

<b>Primer cuadrante</b>	$v_1 = vel$
	$v_2 = \left( \frac{-vel * \theta}{45} \right) + vel$
<b>Segundo cuadrante</b>	$v_1 = \left( \frac{vel * \theta}{45} \right) + vel$
	$v_2 = vel$
<b>Tercer cuadrante</b>	$v_1 = -vel$
	$v_2 = \left( \frac{vel * \theta}{45} \right) - vel$

Cuarto cuadrante

$$v_1 = \left( \frac{-vel * \theta}{45} \right) - vel$$

$$v_2 = -vel$$

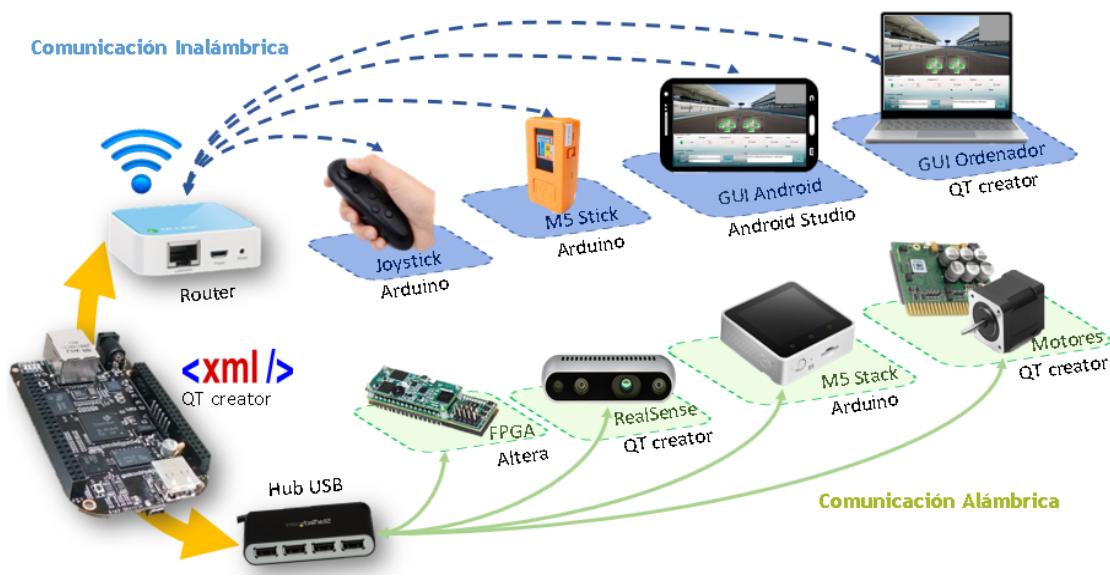
Los datos de las velocidades  $v_1$  y  $v_2$  serán interpretados por el programa encargado de hacer girar los motores. Además, esas velocidades también serán utilizadas en la interfaz gráfica desarrollada para representar la posición del Rover.

## 6.3. Diseño de detalle software de control

Para el control general del rover, ha sido necesario la utilización de diferentes herramientas y entornos de programación para obtener la correcta integración e interacción de todos sus componentes, en este capítulo se describe el flujo general de las entradas y salidas necesarias para el control del prototipo describiendo únicamente las secciones fundamentales para el entendimiento del funcionamiento general. Para obtener información detallada del código de programación puede consultarse el código adjunto en la entrega del presente informe.

### 6.3.1. Cuestiones generales

En la siguiente figura ilustrativa, se puede apreciar que el módulo de procesamiento principal para el control del prototipo es la BeagleBoneBlack (BBB) [1], que es una tarjeta de desarrollo con un procesador de Texas Instrument con arquitectura ARM, en esta corre un sistema operativo Ubuntu que cuenta solo con interfaz CLI y en el cual se ejecuta el programa principal de control programado en C++ bajo el entorno de programación QT Creator [26], a la BBB se conectan de forma alámbrica o inalámbrica diversos periféricos como cliente, todo el flujo de entrada y salida de datos de la BBB se ha realizado bajo el



estándar xml.

Figura 6.77. Esquema de Comunicaciones

En este apartado, se empezará describiendo la estructura de programación realizada para la BBB, seguido la estructura de programación realizada para la FPGA programada bajo el entorno de quartus II altera, continuando con la descripción de los algoritmos realizados para la programación de los diferentes clientes conectados de forma inalámbrica al rover como lo son el Joystick, M5Stick e M5Stack programada con el entorno de Arduino, la interfaz gráfica para ordenar programada con QT creator y por último la interfaz gráfica para dispositivos móviles programada con Android estudio.

### 6.3.2. Programación para la BBB

La beaglebone black es el centro de procesamiento de los datos de este prototipo y como tal, se encarga de gestionar toda la información de los periféricos integrados en él. Posee dos puertos de conexión, conexión ethernet hacia un router que permite la conexión inalámbrica, tal como se ve en la imagen 6.54 y conexión serie para la conexión de los motores FPGA y realsense. La recepción y transmisión de datos se realiza en formato xml, y se utiliza el mismo para determinar de qué cliente proviene un dato recibido y hacia donde se dirige ese dato, no se discrimina entre ip y puertos de clientes, los mismo sucede con la recepción y transmisión de datos por el puerto serie, al solo utilizar un puerto serie conectado a un hub que contiene los tres periféricos anteriormente mencionado conectados, se obtiene un solo bus de entrada de datos, lo que hace necesario discriminar según la cadena de datos recibida de cual periférico procede y tratarla en consecuencia. A continuación, en la Figura 6.78 se describe el flujograma general de la programación realizada en BBB y las clases que componen dicho programa.

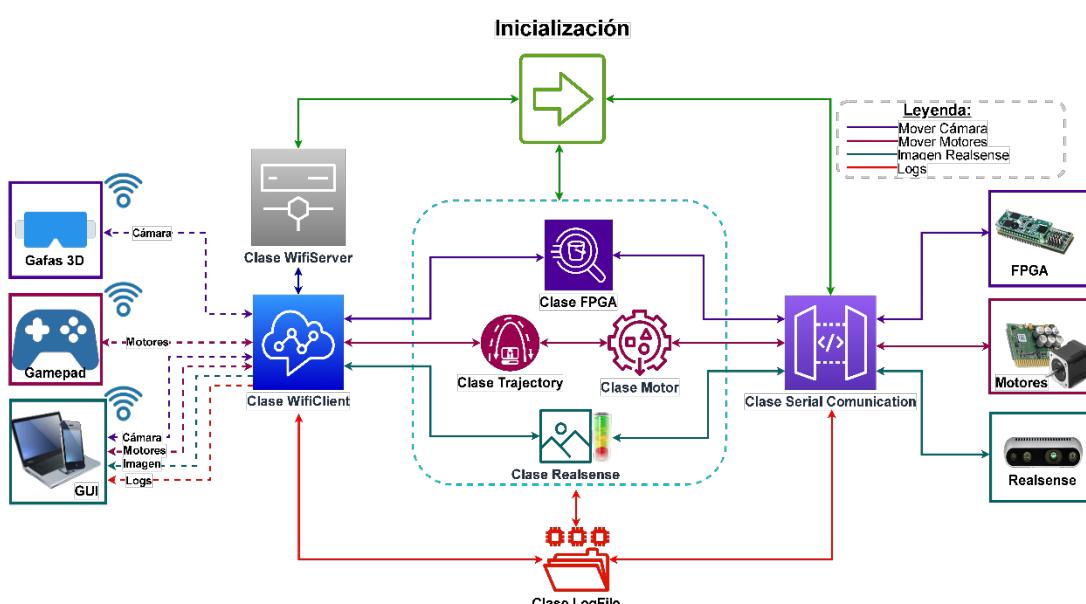


Figura 6.78. Flujograma general del programa de la BBB

La inicialización de todas las clases se basa en un archivo xml que contiene todos los parámetros necesarios para la configuración inicial de cada clase, cada una de estas clases deja registros de sucesos relevantes en el archivo log y dicha información es también transmitida vía wifi. Las clases wiflient y serialCommunication actúan como interfaz para la correcta transferencia de datos entre los periféricos y el resto de las clases depende de ellas, cada clase recibe la trama de datos en formato xml y existe una clase especial para descifrar esta trama de datos y extraer los tags y valores de interés para cada clase, esta misma clase se utiliza para descifrar el archivo de configuración inicial. Por último, cabe destacar que solo la interfaz gráfica de usuario es capaz de visualizar la imagen de la realsense y la trama de datos que envía la clase LogFile.

### **CLASE WIFISERVER**

Esta clase se encarga de establecer una conexión TCP/IP entre los clientes y el resto de las clases desarrolladas, la BBB se encuentra conectada vía un puerto ethernet con un router que tiene configurada una IP fija destinada para la BBB, esta clase genera un servidor al que se pueden conectar distintos clientes para enviar y recibir datos, en este caso, mensajes en formato XML, se muestra en la Figura 6.79 un diagrama con las conexiones principales

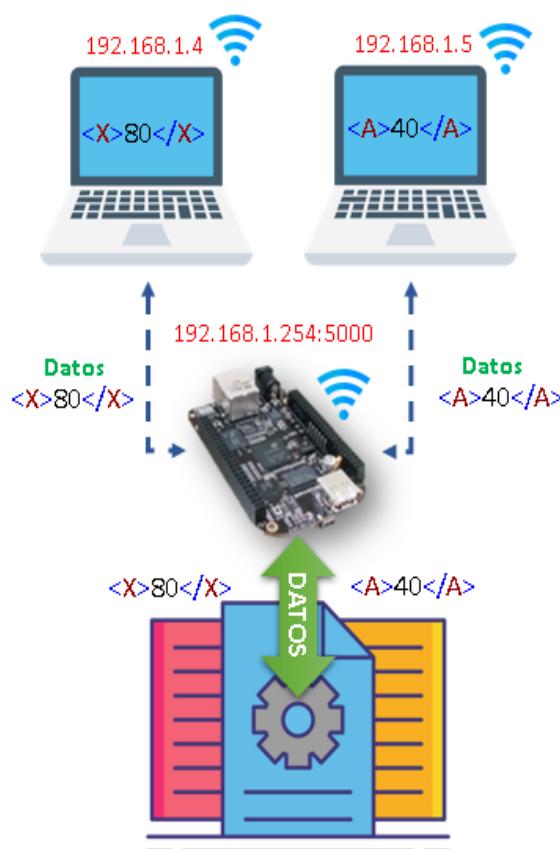


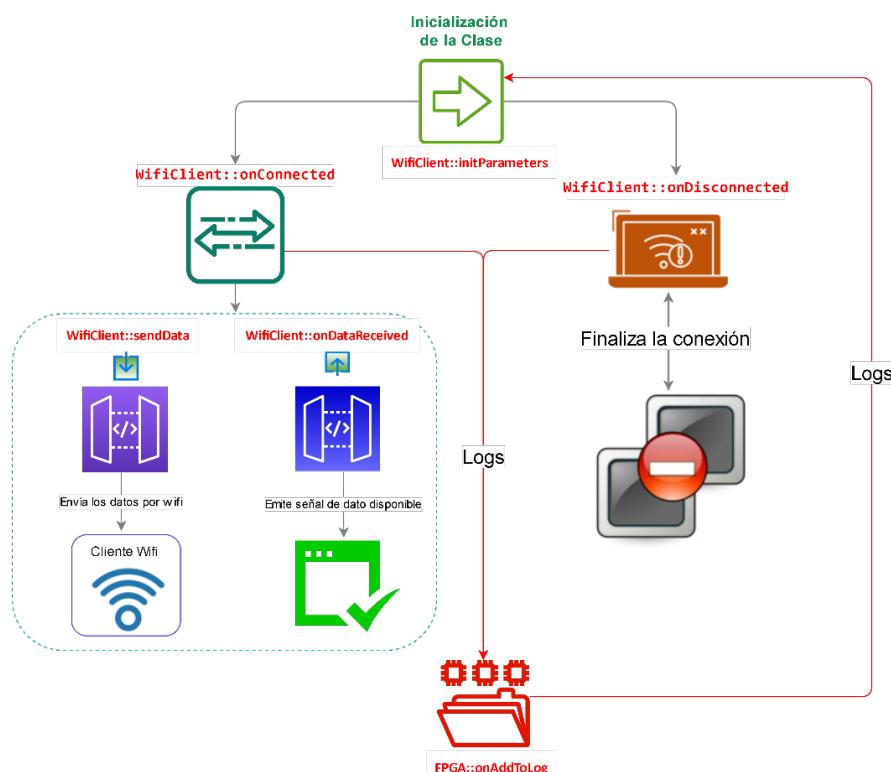
Figura 6.79. Conexión clientes servidor

Para el correcto funcionamiento de esta clase se han empleado las siguientes funciones:

- **WifiServer::onConnectionRequest:** este slot se activa cada vez que un cliente solicite al servidor establecer una conexión, el mismo se encarga de establecer la conexión con el cliente verificarla y sumarlo a la lista de clientes conectados disponibles para enviar y recibir datos.
- **WifiServer::sendData:** permite al servidor enviar datos a todos los clientes conectados
- **WifiServer::onDataReceived:** permite al servidor recibir datos de los cliente.
- **WifiServer::onDisconnected:** es un slot que se ejecuta cada vez que se haya desconectado un cliente actualizando la lista de clientes conectados.

## CLASE WIFICLIENT

La clase wifclient gestiona la conexión y desconexión de los clientes que intenten conectar con el servidor (ver Figura 6.80). Cuando se llama a la función initParameters se establecen dos slots encargados de gestionar la conexión y desconexión del cliente y ambos dejan registro de estos eventos en el archivo de



logs.

Figura 6.80. Clase que gestiona el comportamiento wifi como cliente.

Descripción de las funciones que componen la clase:

- **WifiClient::initParameters:** establece la configuración de elementos necesarios para la clase, como la ip del servidor, el puerto y establece las conexiones de las señales y los slots necesarias para la gestión de las conexiones y desconexiones de los clientes.
- **WifiClient::sendData:** envía datos al cliente
- **WifiClient::isAvailable:** devuelve un booleano indicando si el cliente está conectado o no.
- **WifiClient::getLocalIP:** obtiene la ip del servidor.
- **WifiClient::onDataReceived:** recibe los datos si los hay y envía una señal indicando que hay un nuevo dato disponible
- **WifiClient::onConnected:** añade al log información correspondiente a la nueva conexión de un cliente.
- **WifiClient::onDisconnected:** finaliza la conexión y añade al logs esta información
- **WifiClient::onError:** intenta restablecer la conexión con el cliente
- **WifiClient::fromXMLString:** decodifica el formato xml extrayendo los valores de cada tag.

### **CLASE SERIALCOMMUNICATION**

A la BBB se encuentran conectados vía puerto serial tres periféricos, la FPGA, los motores y la realsense, esta clase se ha creado para que dicha comunicación se lleve a cabo, la misma establece el protocolo necesario para el envío y recepción de datos a través de un puerto serie, al igual que la clase wificlient esta comunicación se realiza bajo el estándar xml. Posee una estructura similar a la clase anterior, destacando las siguientes funciones claves para su correcto funcionamiento, tal y como se puede comprobar en la Figura 6.81.

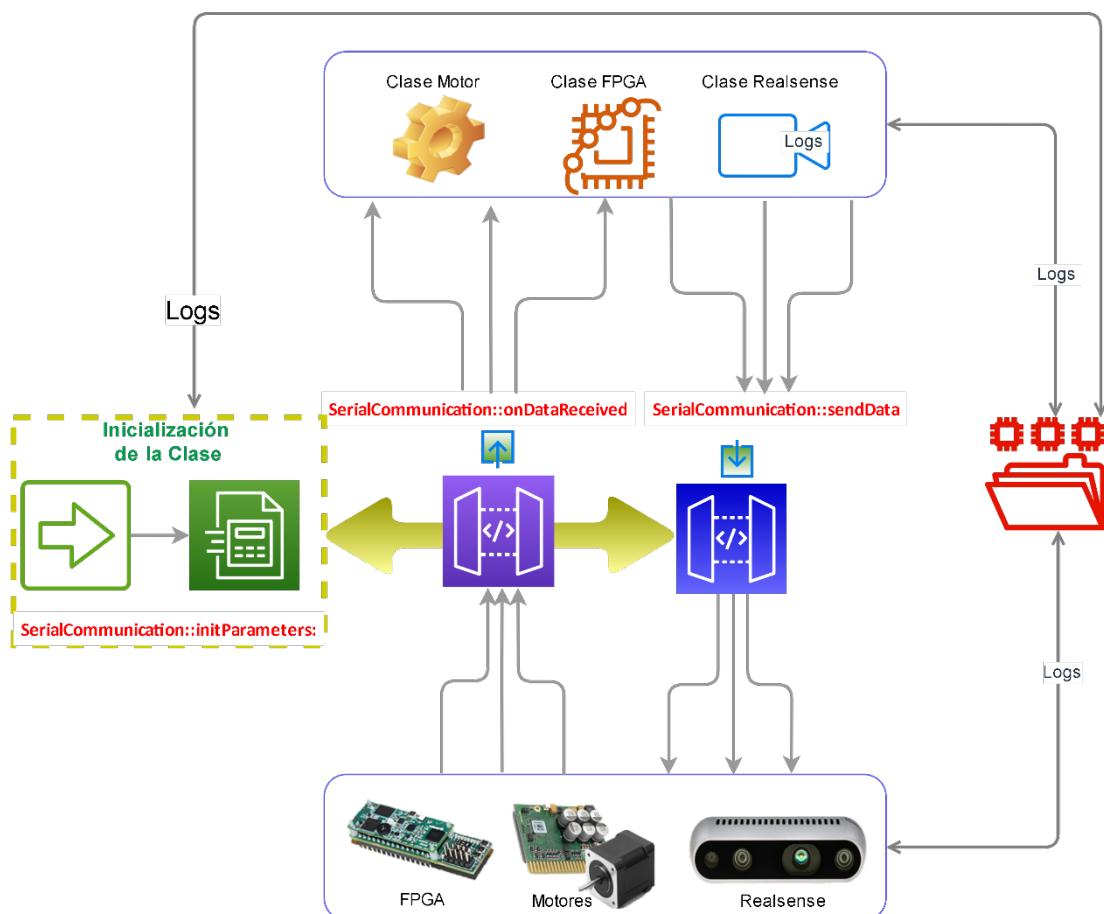


Figura 6.81. Clase SerialCommunication.

- **SerialCommunication::initParameters:** extrae los parámetros de inicialización de interés para la clase en el inicio de la ejecución del programa y con dichos parámetro inicializa la comunicación, dentro de estos parámetros se encuentra el número del puerto y la velocidad de transmisión.
- **SerialCommunication::fromXMLString:** esta función llama a una clase descrita en siguientes apartados, la cual extrae del archivo xml de inicialización los parámetros relacionados con el tag <Serial\_comunications>
- **SerialCommunication::sendData:** envía los datos pasados como parámetros a esta función por el puerto serial, el receptor del mensaje dependerá de la estructura del dato enviado, entra función deja un registro de cada dato enviado en el archivo de logs.
- **SerialCommunication::onDataReceived:** este slot se activa cada vez que detecte un datos disponible para leer y se encarga de descifrar el texto para determinar si proviene de los motores, de la FPGA o de la realsense.

## CLASE MOTOR

Se emplea para el control en velocidad de los motores, cada motor posee un controlador de la marca nanotec, dichos drivers poseen comandos específicos para el control de los motores y dichos comandos se han integrado en esta clase.

En la Figura 6.82, se puede apreciar el diagrama de flujo de esta clase, la misma inicia estableciendo la configuración inicial de los motores y queda a la espera de la ejecución del slot que se activa al recibir un nuevo dato de la clase trayectoria, extrae del dato recibido en formato xml los valores en rpm de la velocidad a la que se desea mover cada motor, convierte estos valores de rpm a Hz y envía las instrucciones necesarias a cada motor para que se mueva a una velocidad y sentido determinado o se detengan.

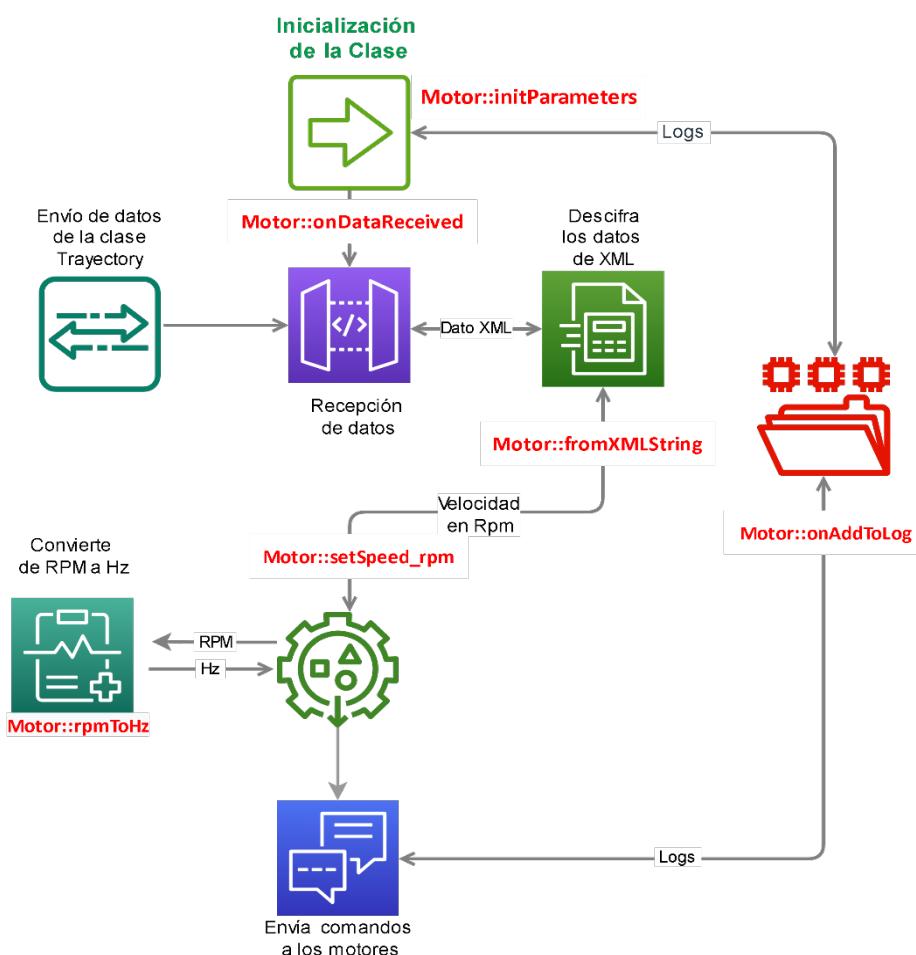


Figura 6.82. Clase para el control de la velocidad de los motores.

A continuación, se describen las funciones más importantes que la componen:

- **Motor::initParameters:** función que extrae del archivo de configuración inicial los distintos valores de los parámetros necesarios para inicializar los motores, así como se encarga de

establecer la comunicación en serie con los motores, además ingresa en el archivo de logs si la inicialización fue exitosa o no.

- **Motor::onDataReceived:** slot que se activa cada vez que se reciba un dato de la clase trayectoria constatará que en datos enviado sea correcto y extraerá del formato xml las velocidades en rpm de cada motor para pasarlo como parámetro a la función Motor::setSpeed\_rpm.
- **Motor::fromXMLString:** función que al ingresarle líneas en formato xml devuelve los valores de cada tag
- **Motor::setSpeed\_rpm:** a esta función se le ingresan como parámetros las velocidades en rpm a la que se desea mover cada motor, lo primero que realiza es convertir estos valores de rpm a Hz y para ello llama a la función Motor::rpmToHz. Cabe destacar que los comandos enviados a los controladores contienen básicamente tres parámetros que son, el identificador del controlador, si se desea detener o girar a derecha o izquierda y la velocidad en Hz, de esta forma, la función se encarga de evaluar si el parámetro ingresado de cada motor es igual a cero, menor o mayor a cero y dependiendo de este valor envía el comando correspondiente por puerto serie para que el motor se detenga o gire a derecha o izquierda a una velocidad determinada.
- **Motor::rpmToHz:** esta función se encarga de convertir la velocidad introducida en rpm a Hz, para ello multiplica el valor recibido por 6.6 y retorna el resultado.
- **Motor::onAddToLog:** este slot se activa cada vez que se inicializan los motores o sucede algún evento crítico y solo agrega la información del suceso al log.
- 

## CLASE TRAYECTORIA

Esta clase se encarga de establecer las velocidades de los motores a partir de los ángulos de posicionamientos recibidos de la interfaz gráfica de usuario o del gamepad.

Se utiliza identidades trigonométricas para calcular el ángulo formado entre el punto y el origen de coordenadas, de igual forma se calcula el componente de velocidad en cada eje y a partir de estos el módulo de la velocidad, dependiendo del cuadrante donde se ubique se aplica el resultado del módulo de la velocidad a uno de los motores y el componente de velocidad en las coordenadas locales en el otro motor. En la siguiente imagen se visualiza la interacción de las diferentes funciones que componen esta clase, la cual parte desde unos parámetros de inicialización y se mantiene a la espera de la recepción de datos del cliente, una vez recibido procede a realizar el cálculo de la trayectoria a partir de los ángulos dados y como resultado se obtiene la velocidad en rpm a la que deben girar los motores.

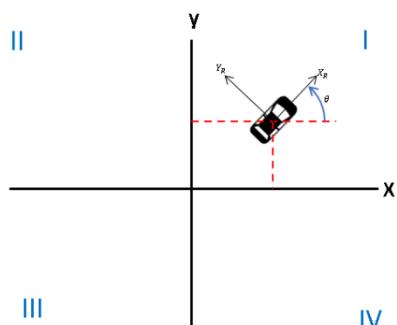


Figura 6.83. Cálculo de la trayectoria

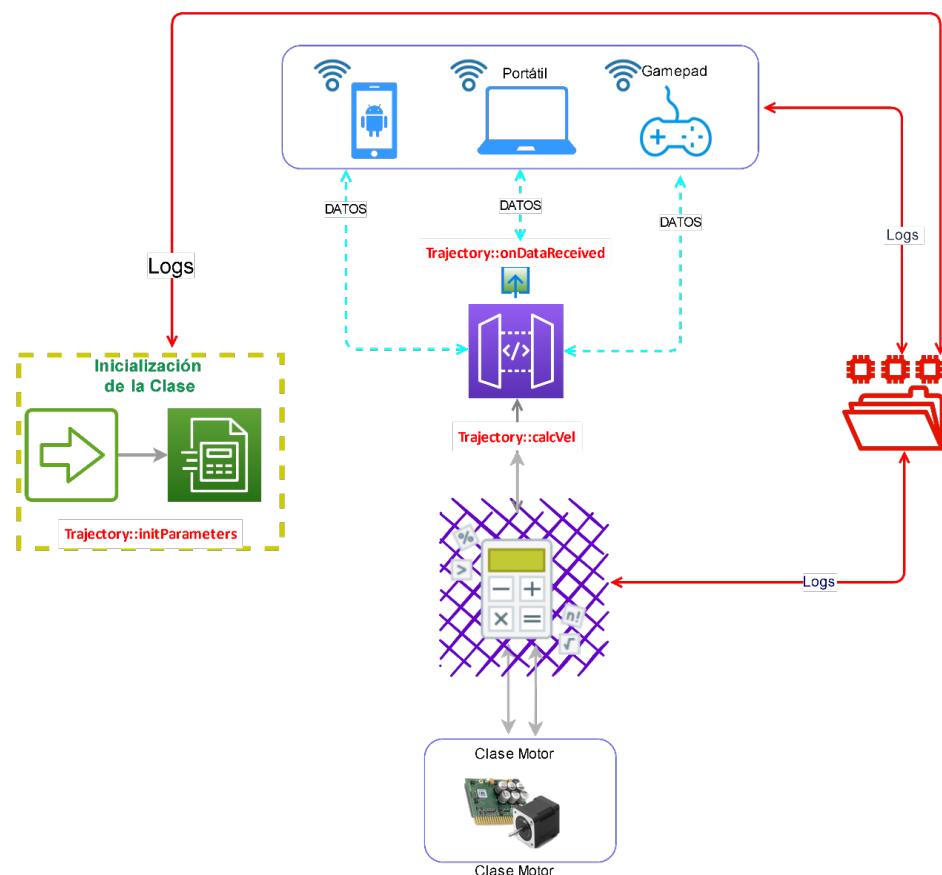


Figura 6.84. Clase Trajectory.

Por último, se describen las funciones que integran esta clase:

- **Trajectory::initParameters:** esta función extrae del archivo de configuración inicial los parámetros necesarios para su inicialización, en este caso la velocidad máxima.
- **Trajectory::onDataReceived:** esto slot se activa cada vez que se recibe un nuevo dato y discrimina entre dos posibles clientes que solicitan mover los motores, como los son el PC “la interfaz gráfica de usuario” y el gamepad, dándole prioridad al Pc. Primero identifica que el pc esté conectado como cliente, de estar conectado, se atienden solo los datos enviados por este, de no estar conectado se procesan los datos enviados por el gamepad, luego de extraer el dato recibido indistintamente de la fuente se extraerá la posición de X e Y deseada y se procederá a realizar el cálculo de las velocidades.
- **Trajectory::fromXMLString:** decodifica el formato xml extrayendo los valores de cada tag, en este caso la posición de X y de Y.
- **Trajectory::calcVel:** en esta función se realizan las operaciones necesarias para calcular las velocidades de los motores a partir de los ángulos proporcionados, para esto se han aplicado las siguientes formulas:

Primero se calcula el ángulo formado entre el punto de origen de coordenadas restándole 90 grados para situar el punto 0,0 y simplificar el cálculo.

$$\theta = \left( \text{atan} \left( \frac{\text{pos}_x - 90}{\text{pos}_y - 90} \right) \right) * \left( \frac{180}{M_{PI}} \right)$$

Luego se calculan los componentes de velocidad para los ejes x,y respectivamente

$$v_x = \left( \frac{v_{\text{max\_rpm}} * \text{pos}_x}{90} \right) - v_{\text{max\_rpm}} \quad v_y = \left( \frac{v_{\text{max\_rpm}} * \text{pos}_y}{90} \right) - v_{\text{max\_rpm}}$$

Se calcula el módulo de la velocidad

$$v_{lin} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

A continuación, se evalúa si la posición de x e y son 90 para igualar en ángulo calculado, es decir,  $\theta$  a 0 y así evitar errores por ingreso de datos nulos. A partir de aquí, se determina en qué cuadrante se encuentra la posición dada para determinar la velocidad de cada motor.

Si se encuentra en el primero cuadrante, es decir, posx y posy mayor o igual a 90 grados, las velocidades de los motores se establece de la siguiente manera

$$v1 = v_{lin}$$

$$v2 = \left( \frac{-v_{lin} * \theta}{45} \right) + v_{lin}$$

De encontrarse en el segundo cuadrante, es decir, posx mayor o igual a 90 y posy menor a 90, las velocidades vendrían definidas de la siguiente forma

$$v1 = \left( \frac{-v_{lin} * \theta}{45} \right) - v_{lin}$$

$$v2 = -v_{lin}$$

Si se encuentra en el tercer cuadrante, es decir, posx y posy menor a 90

$$v1 = -v_{lin}$$

$$v2 = \left( \frac{v_{lin} * \theta}{45} \right) - v_{lin}$$

Y, por último, de encontrarse en el cuarto cuadrante, es decir, posx menor a 90 y posy mayor o igual a 90

$$v1 = \left( \frac{v_{lin} * \theta}{45} \right) + v_{lin}$$

$$v2 = v_{lin}$$

- **Trajectory::onAddToLog:** añade información de interés al archivo de log.

## CLASE FPGA

La FPGA se encarga de recibir y reenviar los datos de posicionamiento de la cámara, así como el nivel de batería del rover, esta clase tiene como objetivo, la gestión de los datos recibidos del M5Stick por wifi para reenviarlo a la FPGA vía puerto serie, además recibe los datos correspondientes al nivel de batería

de la FPGA y los envía por wifi. En la siguiente imagen se vislumbra la gestión de los datos que realiza esta clase, así como la interacción que posee cada función que la compone y seguidamente se describe cada una de estas funciones.

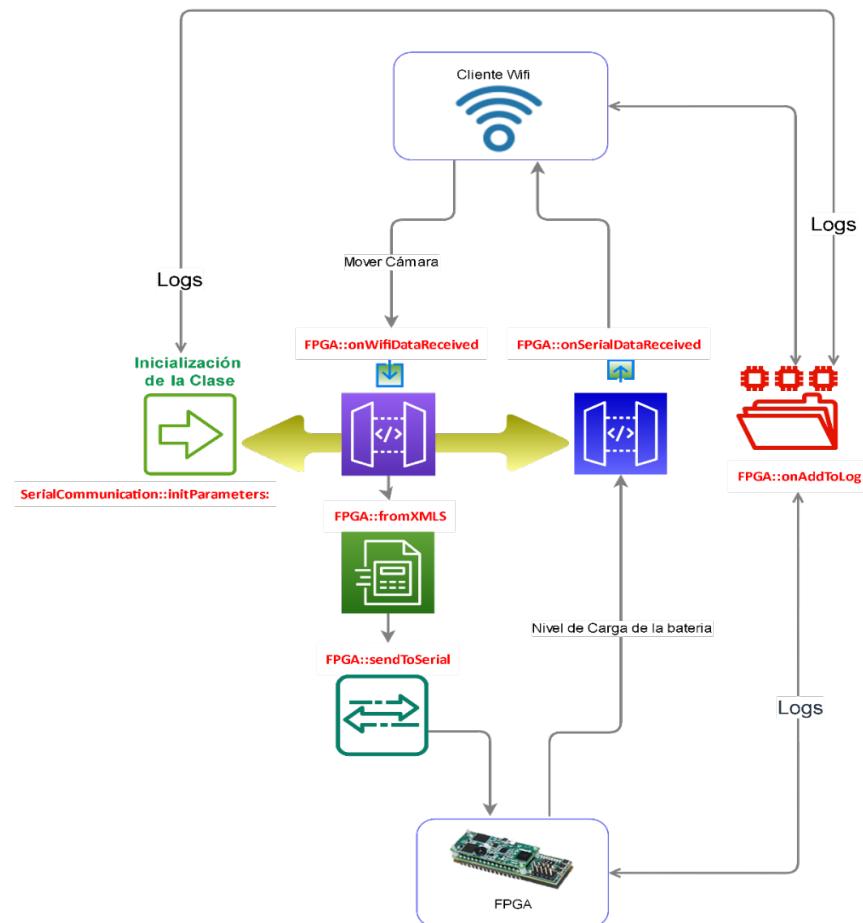


Figura 6.85. Clase FPGA.

- **FPGA::initParameters:** esta función se encarga de extraer del archivo de configuración inicial los parámetros necesarios para su inicialización, en este caso la velocidad de transmisión por el puerto serial e inicializa la comunicación.
- **FPGA::onSerialDataReceived:** De la FPGA se va a recibir vía serie el nivel de uso de la batería sin ningún tipo de codificación, por lo tanto será necesario transformarlo a xml de cara a enviarlo vía wifi, esta función se encarga de recibir el dato enviado desde la fpga y reenviarlo vía wifi codificado en xml.
- **FPGA::sendToSerial:** envía por puerto serial el valor de la posición del pan y del til para el movimiento de la cámara recibida.
- **FPGA::onWifiDataReceived:** esta función se encarga de recibir los datos enviados desde el M5Stick o desde el Pc distinguiendo entre ambas y dándole prioridad al pc antes que al M5Stick, extrae los valores del pan and till recibidos para ser enviados por puerto serie.

- **FPGA::fromXMLString:** Decodifica el texto xml extrayendo los tags y sus valores.
- **FPGA::onAddToLog:** añade información de interés al archivo de log.

## CLASE REALSENSE

Se ha creado esta clase, para procesar la imagen recibida de la cámara de la realsense y enviarla vía wifi a la interfaz gráfica de usuario, la clase se compone principalmente de dos slots que se encarga de verificar la conexión con la realsense, recibir la imagen y codificarla para enviarla, estos slots se activan automáticamente al transcurrir cierto periodo de tiempo.

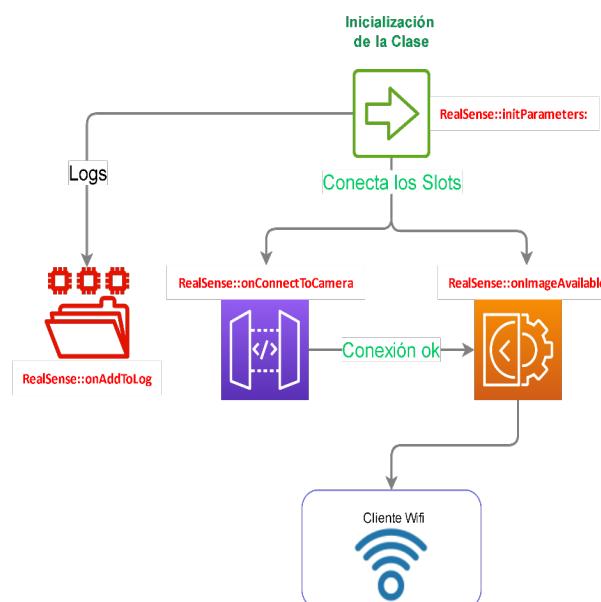


Figura 6.86. Clase Realsense

A continuación, se lista y describen cada una de las funciones que componen la clase:

- **RealSense::initParameters:** esta función se encarga de extraer del archivo de configuración inicial los parámetros necesarios para su inicialización, en este caso la velocidad el ancho y alto de la ventana, el número de fotogramas por segundo y el nombre de la cámara, e inicializa los timers que llama a los slots que se encargan de comprobar la conexión con la cámara y la disponibilidad de imagen.
- **RealSense::onConnectToCamera:** este slot se activa cada segundo, detecta la cámara conectada y le asigna establece los parámetros de configuración como nombre, profundidad y color.
- **RealSense::onImageAvailable:** slot que se activa cada 200 ms para verificar la conexión a la camara y esperar a recibir la siguiente trama de fotogramas, lo codifica y envía por wifi.
- **RealSense::onAddToLog:** añade información de interés al archivo de log
- **RealSense::fromXMLString:** Decodifica el texto xml extrayendo los tags y sus valores.

## CLASE LOGFILE

La clase LogFile, Figura 6.87, se encarga de registrar todos los eventos relevantes durante la ejecución del programa, estos eventos son enviados vía wifi para su visualización en la interfaz gráfica. En la instanciación de esta clase se crea el archivo .log con la cabecera de la fecha y hora de inicio de ejecución del programa, en la siguiente imagen se ve un resumen de las funciones de las clases y a continuación un resumen de dichas funciones.

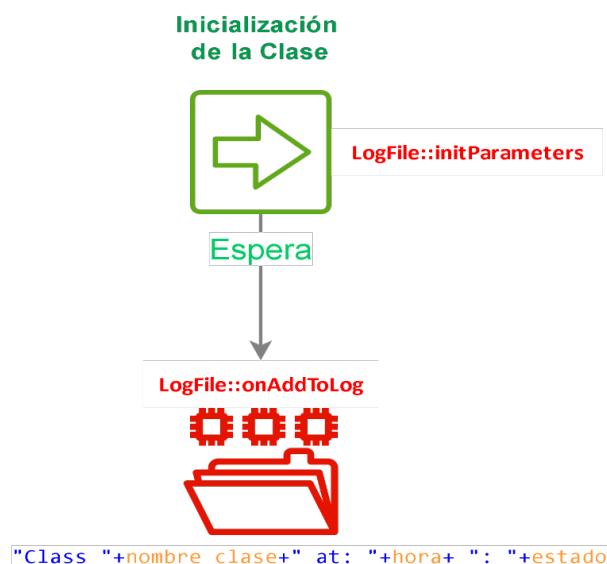


Figura 6.87. Clase LogFile

Al ser una clase de simple escritura de datos, se compone de pocas funciones de las cuales las más relevantes son las siguientes:

- **LogFile::initParameters:** inicializa la clase wifi client.
- **LogFile::onAddToLog:** verifica el estado del mensaje que se desea añadir al log y añade una línea de texto al log que contiene el nombre de la clase que envía el mensaje, la hora , el estado que podría ser “SUCCESS, WARNING, INFO, ERROR” y por último el mensaje, esta trama de datos se guarda en el archivo creado y se envía por wifi.

### 6.3.3. Programación del GamePad en base a ESP32.

Para la programación del gamepad se ha elegido como entorno el IDE de Arduino debido a que posee las bibliotecas necesarias para el manejo del ESP32 y permite instalar la placa que se utiliza (DOIT Devkit v4). Se ha creado una clase específica para el mando, el cual posee una única función consistente en leer las entradas analógicas a las que están conectados los potenciómetros del joystick y convertir el valor al rango 0 -180º; retornando las lecturas convertidas a un string XML listo para que la BeagleBone pueda leerlo y aplicarlo para el control de los motores.

El programa general, incluyendo la clase, se refleja en el flujo de la Figura 6.88.

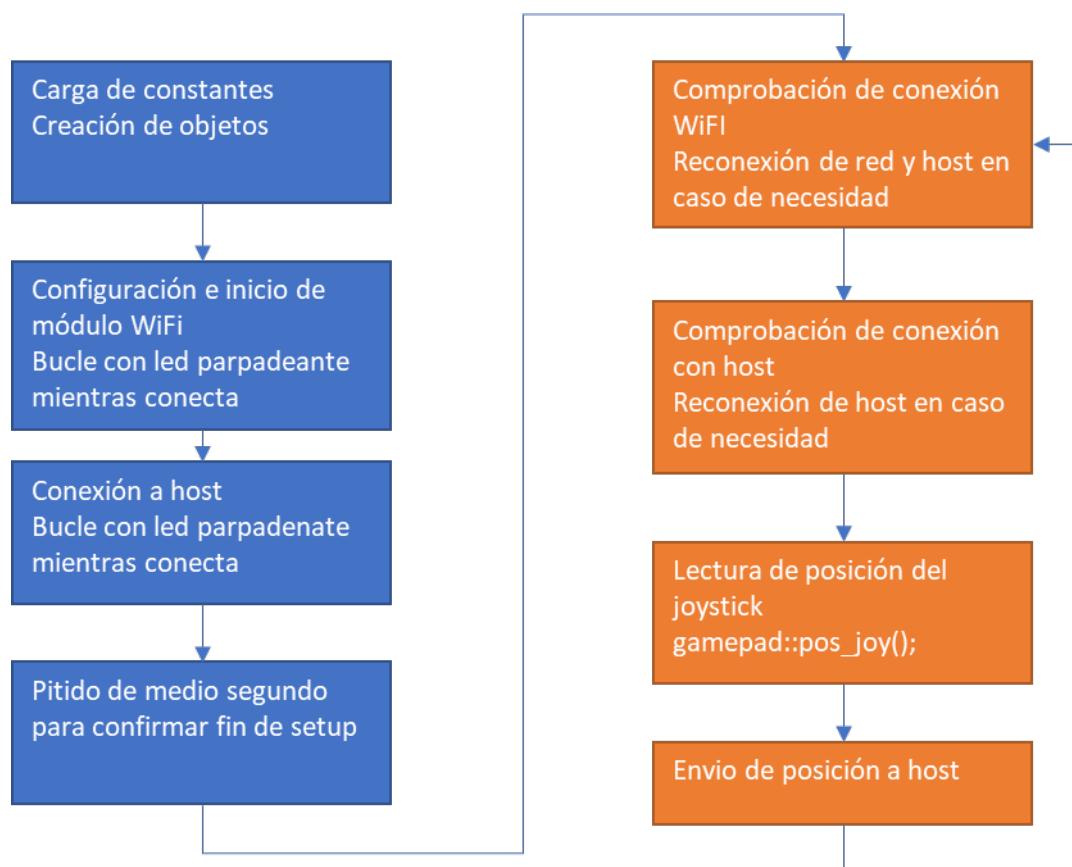


Figura 6.88. Flujograma de información para la programación del GamePad.

### 6.3.4. Programación del M5Stick para GamePad

En el diagrama de flujo que se muestra en la Figura 6.89 se puede comprobar el flujo de información que recibe el M5Stick que será el encargado de realizar el procesamiento oportuno.

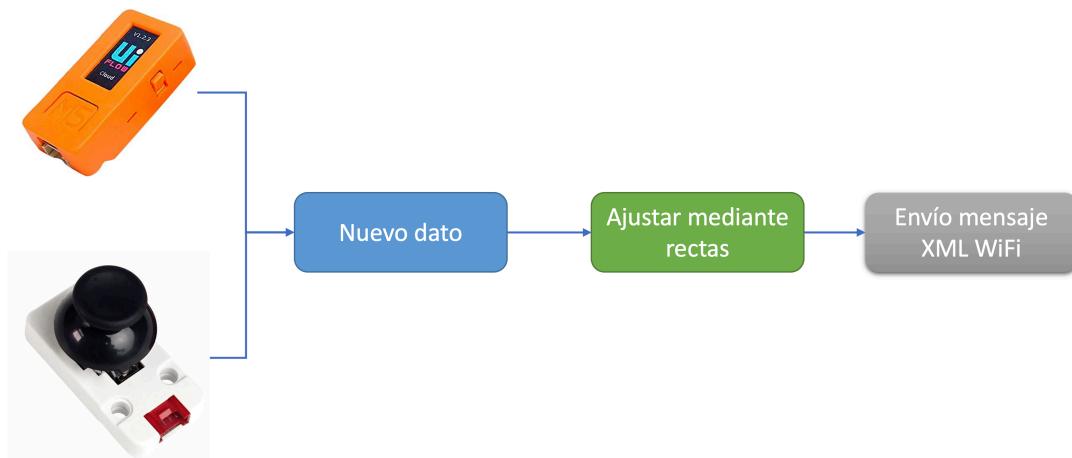


Figura 6.89. Flujo de trabajo para el M5StickC junto con el GamePad.

Para realizar el envío de la información se dispone de los datos que se puedan leer del joystick I2C y que, mediante unas rectas de ajuste, se puede pasar de los valores mínimos y máximos de la lectura a la información que se necesita en la clase que permite calcular la trayectoria expuesta en el apartado 6.2.1.

### 6.3.5. Programación del M5Stick para IMU.

El flujo de trabajo es idéntico al que se mostró en la figura Figura 6.89, salvo que, en este caso, se tienen que leer los valores procedentes del sensor BNO055.

Una vez obtenidos los valores del pan & tilt, se tendrá que realizar una recta de ajuste para tratar de adaptarse lo mejor posible a las necesidades del rover.

### 6.3.6. Interfaz gráfica de usuario para ordenador

En este apartado se expondrán detalles de la programación de la GUI para pc, explicando el flujo de datos y la dinámica entre las clases y métodos que la componen, si se desea más detalle de su funcionamiento a nivel usuario lo podrá encontrar en el manual de usuario.

La interfaz gráfica de usuario se compone de cuatro pestañas principales y diversas ventanas emergentes, tal como se muestra en la Figura 6.90, cada una de estas ventanas hace uso de las clases y métodos que ponen el programa general las cuales se describen a continuación

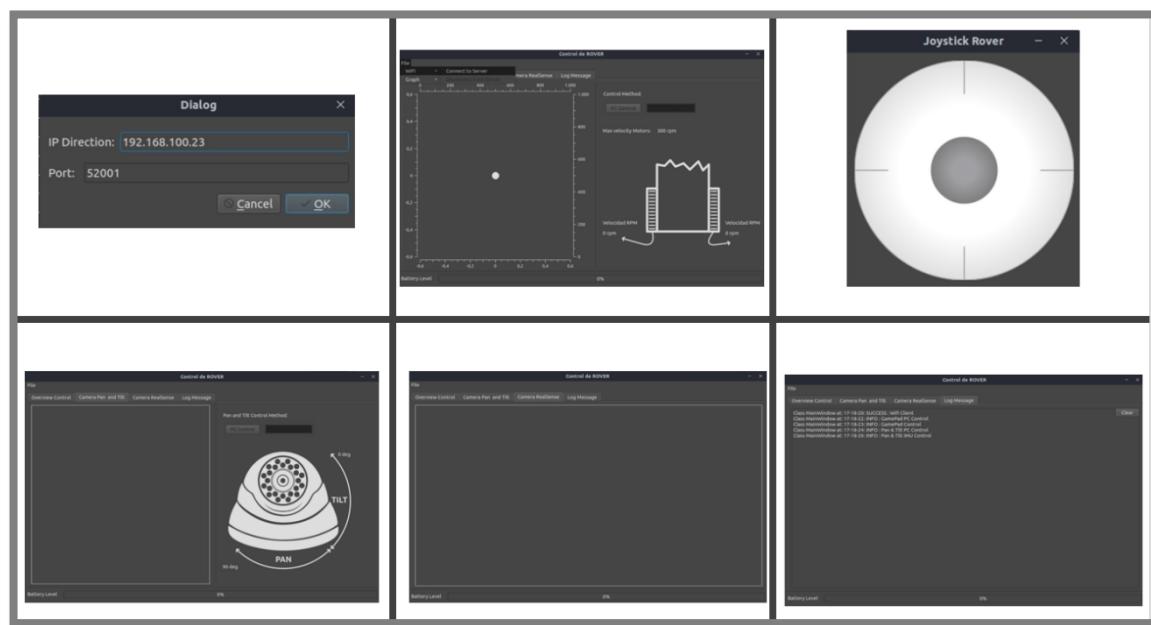


Figura 6.90. Interfaz gráfica de usuario para PC

Al ejecutar la aplicación se establecen las diferentes conexiones entre las señales y los slots que interconectan las clases, además que inicializar los valores de los diferentes texview y apartados de control

de la interfaz, luego de este proceso inicial, la interfaz queda a la espera de realizar una conexión con el servidor gestionada por la clase “**WifiClient**”, la misma se establece una vez el usuario ha introducido el servidor y dirección ip correspondiente, al establecer la conexión la interfaz ahora visto como cliente wifi, queda a la espera de recepción de datos del servidor para graficar su trayectoria clase “**plotTrajectory**”, mostrar la imagen de la cámara principal o la realsense o cualquier registro relevante que suscite en el rover. La recepción de los datos se gestiona en el método **onDataReceived** que junto al método **fromXMLString** envían la señal a las diferentes clases receptoras y a la que corresponda ejecuta su secuencia y como resultado se visualiza la imagen, la gráfica, logs y estado de la batería. El esquema general de la información con la que se trabaja es el que se puede ver en la Figura 6.91.

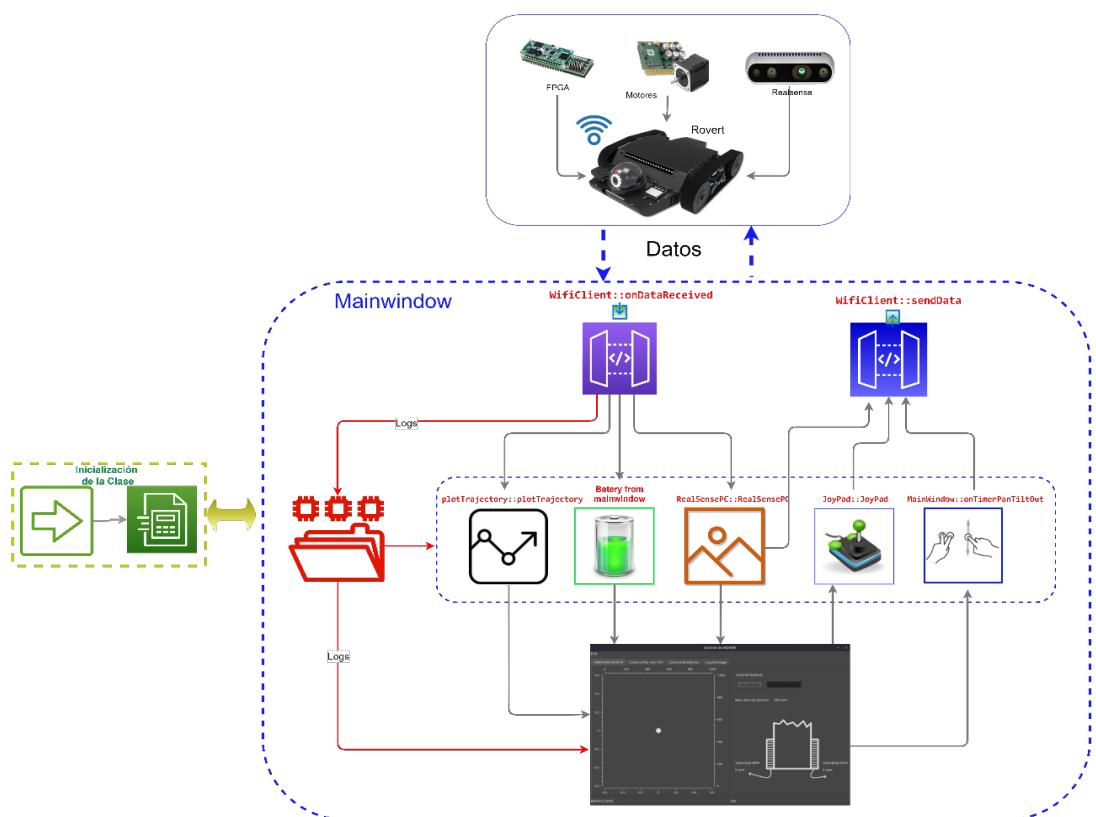


Figura 6.91. Esquema general de la interfaz gráfica de usuario para PC

Intrínseco en la ejecución de mainwindow, se encuentran los métodos que realizan la gestión de la interfaz y de sus diferentes clases, de los cuales los más importantes se describen a continuación

- **MainWindow::on\_actionConnect\_to\_Server\_triggered**: slot que se ejecuta al presionar el botón conectar desde el cuadro de diálogo de conexión inicial.
- **MainWindow::onDataReceived**: gestiona los datos recibidos discriminado entre las diferentes clases que emiten el dato para así transferirlo a sus respectivas clases para su tratado.

- **MainWindow::onImageRealSenseReceived:** slot que se ejecuta desde la clase realsense al disponer de una imagen procesada lista para mostrar, y este slot se encarga de mostrarla en pantalla.
- **MainWindow::onPlotTrajectory:** slot que se ejecuta al recibir nuevos datos de posicionamiento del rover de la clase trajectory
- **MainWindow::onTimerGamePadOut:** este slot se ejecuta cada 100 ms y envía por wifi el valor obtenido del joystick virtual para el movimiento del rover.
- **MainWindow::onTimerPanTiltOut:** este slot se ejecuta cada 100 ms y envía por wifi el valor obtenido del panel de control pan y tilt dispuesto en la interfaz

En los siguientes apartados se explicará brevemente el desarrollo de cada clase.

### **CLASE WIFICLIENT**

La clase WifiClient es la encargada de establecer la comunicación wifi con el servidor, la misma es una copia exacta de la clase WifiClient descrita en el apartado 6.3.2. de este documento.

### **DIALOGWIFIPARAMETERS**

Esta clase se ejecuta apenas inicia la aplicación, su función es la de gestionar el cuadro de diálogos desde el cual se obtiene la dirección y el puerto ingresadas por el usuario para realizar la comunicación con el servidor, como se puede ver en la Figura 6.92.

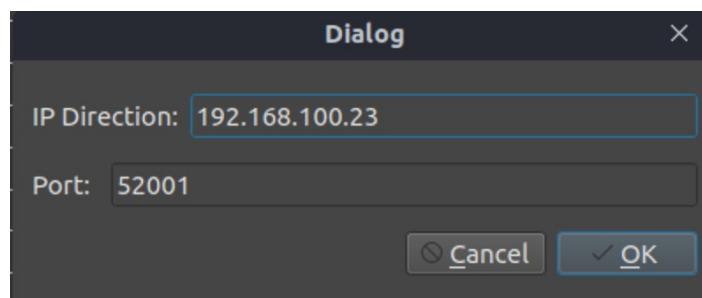


Figura 6.92. Cuadro de dialogo para la conexión con el servidor

La clase posee una función muy simple la cual se resume en el esquema de la Figura 6.39 donde intervienen sus dos principales funciones que a continuación se describen.

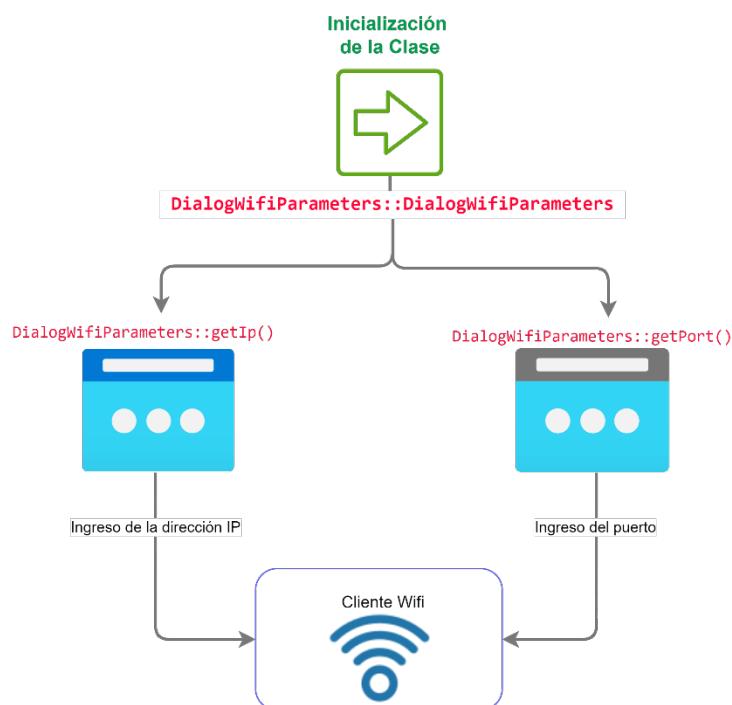
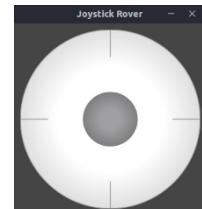


Figura 6.93. Esquema de la clase DialogWifiParameters

- **DialogWifiParameters::getIp:** obtiene la ip ingresada por el usuario necesaria para establecer la comunicación wifi con el servidor.
- **DialogWifiParameters::getPort:** obtiene el puerto.

### CLASE JOYPAD

Esta clase ha sido implementada para generar un joystick virtual mediante el cual se puede realizar el control del rover. El joystick se encuentra situado en una ventana emergente externa a la ventana principal de la interfaz, Figura 6.94.



La Figura 6.95 describe su funcionamiento general y a continuación se detallan las funciones de mayor relevancia.

Figura 6.94. Joystick Virtual

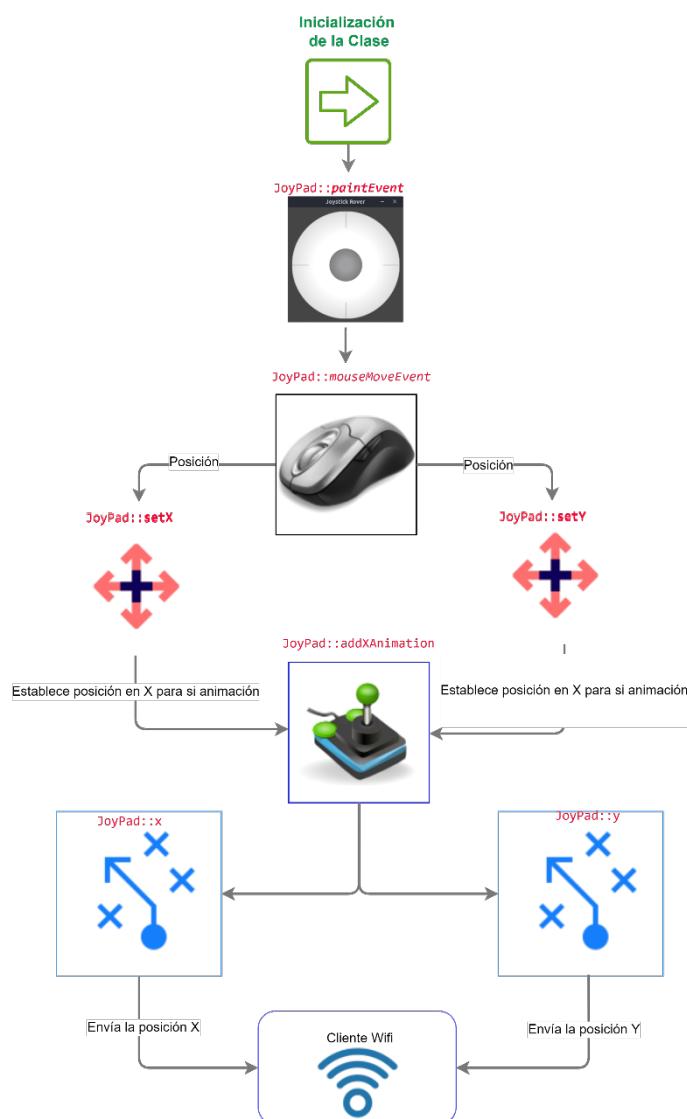


Figura 6.95. Esquema de la clase Joypad

- **JoyPad::x:** retorna el valor de la posición en el eje x.
- **float JoyPad::y:** retorna el valor de la posición en el eje y.
- **void JoyPad::setX:** establece el valor del eje x.
- **void JoyPad::setY:** establece el valor del eje y.
- **JoyPad::paintEvent:** realiza el dibujo del joystick
- **JoyPad::mouseMoveEvent:** se detecta el movimiento del mouse y a partir de este genera el movimiento de joystick, enviado la posición actual del mouse a las funciones setX y setY

### **CLASE PLOTTRAJECTORY**

La clase ha sido diseñada para obtener los datos de velocidad recibidos desde el rover y graficar a partir de estos su posición con respecto al origen que se sitúa desde la primera recepción de datos.

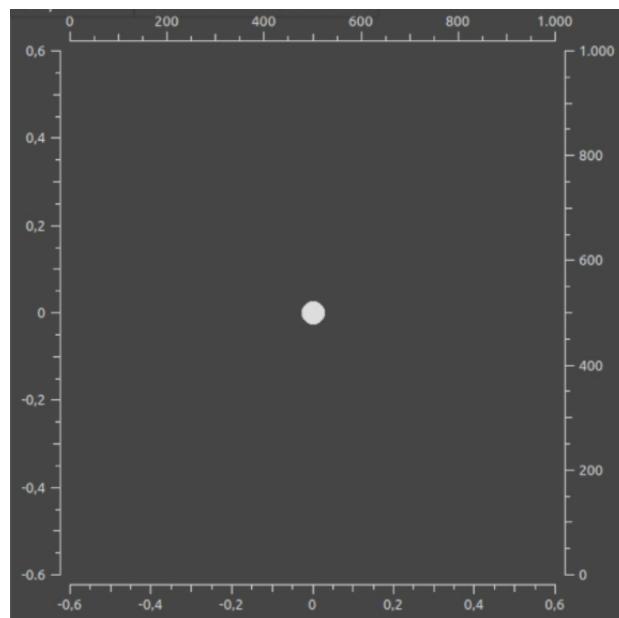


Figura 6.96. Visualización de la trayectoria

El funcionamiento de esta clase empieza con los parámetros de inicialización dispuesto en el archivo de configuración inicial, e inmediatamente permanece a la espera de recibir datos del rover, una vez recibido datos se extrae la velocidad de cada motor y se procede al cálculo de la trayectoria y posteriormente a la representación gráfica de la posición actual con respecto a la posición del instante anterior. En la Figura 6.97 se visualiza la estructura general de la clase y a continuación se describen sus funciones más importantes.

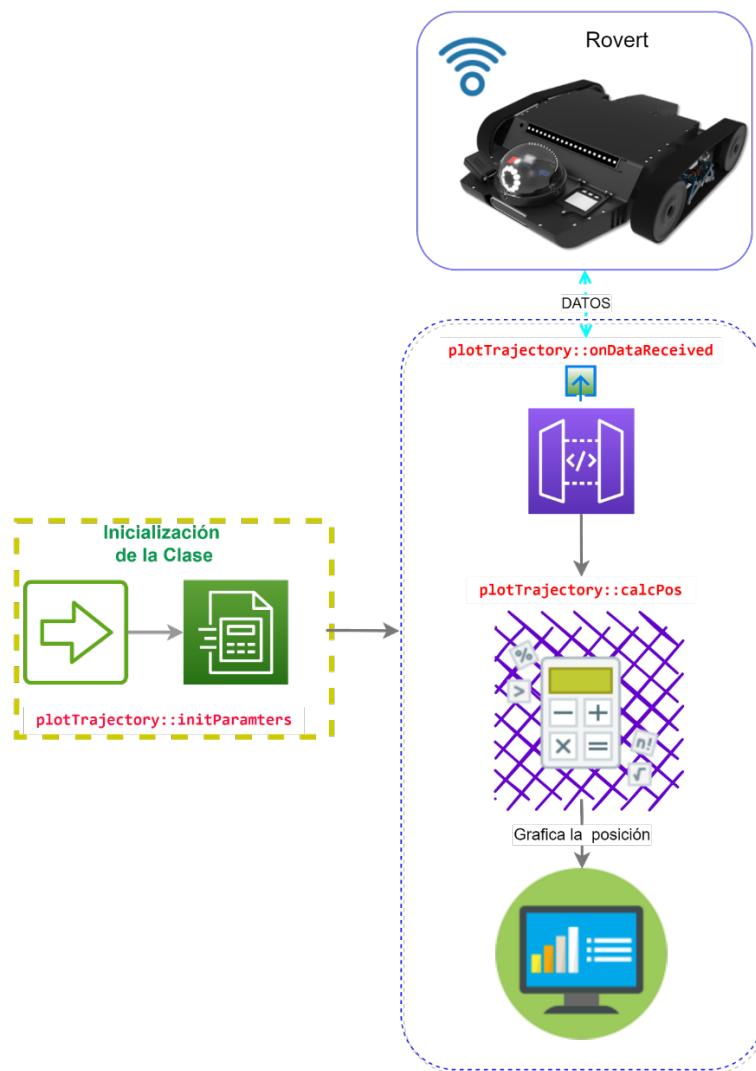


Figura 6.97. Esquema de la clase PlotTaryectomy

- **plotTrajectory::initParamters:** Esta función obtiene los parámetros necesarios para la inicialización de la clase desde un archivo de configuración externo.
- **plotTrajectory::calcPos:** función que calcula la posición y dirección del Rover en función de los datos que ha recibido de los motores
- **plotTrajectory::onDataReceived:** este Slot se encarga de recibir los datos en formato XML, encontrar el Tag correspondiente y realizar la conversión a número real para su posterior uso en el resto de la clase
- **plotTrajectory::onCleanTrajectory:** esta función resetea la posición en x e y para limpiar la ventana gráfica y poder tener una representación más clara si el usuario lo necesitase después de un cierto tiempo de uso.

## REALSENSEPC

Esta clase es la encargada de recibir la imagen enviada desde la realsense integrada en el rover, al recibir la imagen esta clase convierte los datos recibidos de QByteArray a cv::Mat para poder ser procesada, luego realiza la detección del Código QR y su identificación en un recuadro para mostrarla finalmente en la interfaz. En la Figura 6.98 se describe el funcionamiento general de esta clase y a continuación se describen las funciones que la componen.

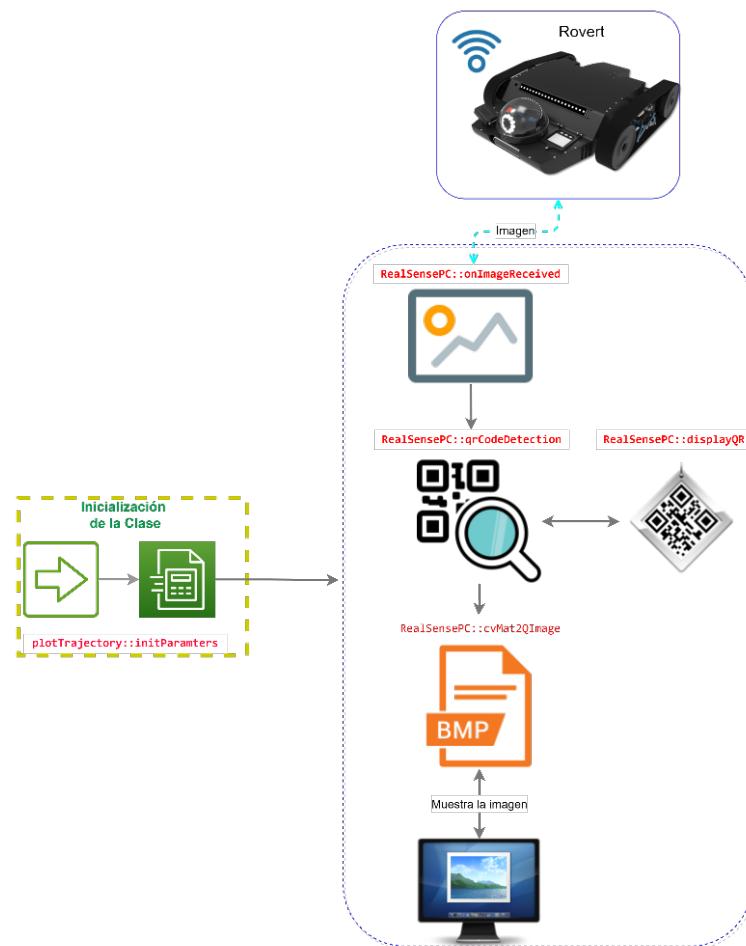


Figura 6.98. Esquema de la clase Realsense

- **RealSensePC::initParameters:** carga los parámetros de configuración inicial del archivo de configuración
- **RealSensePC::onImageReceived:** realiza la conversión de QByteArray a cv::Mat y llama a la función que detecta códigos QR para posteriormente visualizar la imagen
- **RealSensePC::qrCodeDetection:** función que se encarga de la detección de códigos QR e invoca a la fusión que se encarga de resaltar el código QR detectado
- **RealSensePC::displayQR:** función que enmarca en un recuadro verde el código Qr detectado
- **RealSensePC::cvMat2QImage:** Convertir la imagen de cv::Mat a QImage

### 6.3.7. Interfaz gráfica de usuario para dispositivos móviles

La interfaz gráfica para dispositivos móviles posee una funcionalidad muy similar a la interfaz gráfica de usuario para PC, pero la misma ha sido programada desde el entorno de Android estudio bajo el lenguaje de java y debido a esto posee una estructura ligeramente distinta por la naturaleza del lenguaje de programación.

Toda la programación se ha desarrolla bajo una sola actividad que contiene un viewpage para la gestión del tablayout y sus fragmentes. Contiene un total de cinco fragmentes asociados a cada una de las pestañas, es decir cinco pestañas, tal como se visualiza en la Figura 6.99.

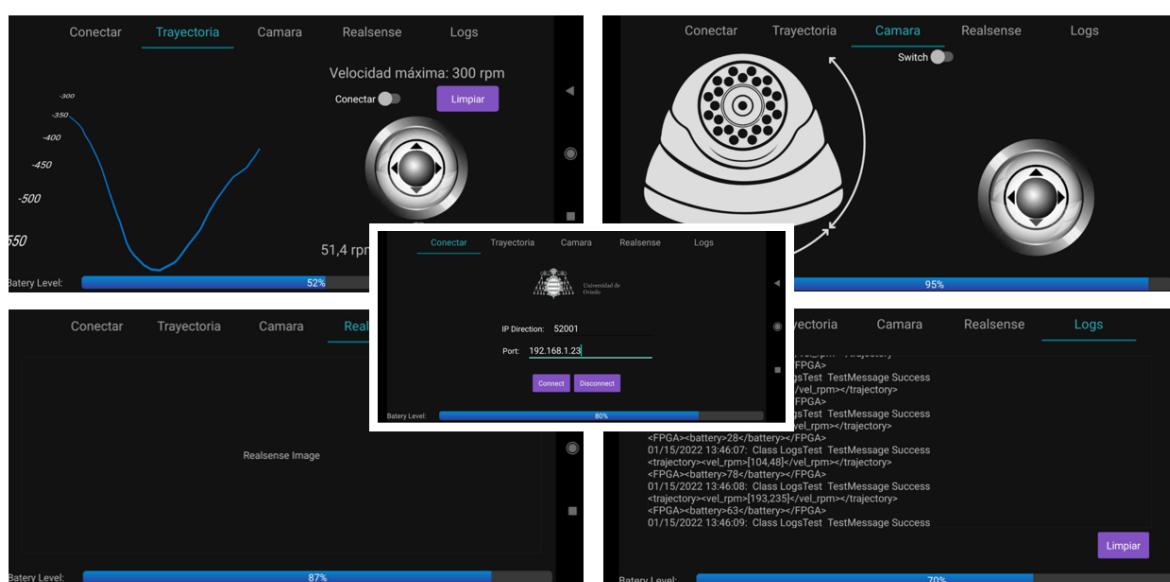


Figura 6.99. Interfaz gráfica de usuario para dispositivos móviles Android.

Desde la clase principal se gestionan los fragments, soportada por la clase “ViewPagerAdapter” que extiende de la clase FragmentStateAdapter y gestiona la visualización de cada uno de ellos al desplazar la pantalla o seleccionar alguna pestaña. Para la comunicación entre fragments se utiliza la clase “FragmentManager” y para la comunicación entre los fragments y el activity principal se ha diseñado la clase MyviewModel que extiende de Viewmodel a fin de almacenar y administrar datos relacionados con la IU de manera optimizada para los ciclos de vida. La clase MyviewModel permite que se conserven los datos luego de cambios de configuración, como las rotaciones de pantallas.

Para la comunicación con el servidor se ha implementado la clase TCPClient que establece que conexión WiFi, para el intercambio de información entre esta clase y los fragments se hace uso de la clase MyviewModel gestionada desde la actividad principal, básicamente esta clase crea un socket de conexión de forma similar a la realizada en la GUI para PC.

Por otro lado, para la representación gráfica de la trayectoria se utiliza la librería GraphView, incorporando la dependencia 'com.jjoe64:graphview:4.2.2' al proyecto y para la representación virtual del joystick se ha hecho uso de la librería virtual-joystick-android añadiendo de igual forma la dependencia 'io.github.controlwear:virtualjoystick:1.9.2'. De igual forma se han incorporado las librerías de Opencv y realsense para visualización de las imágenes de vídeo. En la Figura 6.100 se describe el flujo de datos de la aplicación antes expuesta.



Figura 6.100. Esquema general programación de la interfaz gráfica para Android.

## 7. PRESUPUESTO.

En lo relativo a la fabricación del prototipo, se puede desglosar en tres partidas distintas, componentes mecánicos, componentes electrónicos y piezas de fabricación propia. A continuación, se irán exponiendo una a una y explicando las consideraciones que se hicieron para cada una de ellas.

### 7.1.1. Componentes mecánicos.

En primer lugar, el listado de componentes mecánicos engloba todas aquellas partes comerciales con las que cuenta el Rover, siendo principalmente tornillería, rodamientos y casquillos. Para tarifar los precios se acudió al suministrador RS Componentes proveedor de la universidad y que podría serlo también de la supuesta empresa que realice este producto. Se muestra el desglose en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1. Desglose de costes de componentes mecánicos.

COMPONENTE	CANTIDAD	CANTIDAD BOLSA	COSTE BOLSA	COSTE UNITARIO	COSTE TOTAL
Cúpula tintada	1	1	12,70 €	12,70 €	12,70 €
Rodamiento Igus int. 6m ext. 8 mm long. 4	2	10	18,79 €	1,88 €	3,758 €
Casquillo eje 4mm, 6mm, long. 9mm, Bronce	1	5	11,08 €	2,22 €	2,216 €
Tornillo autorroscante, No. 6, long. 1pulgada	4	100	10,95 €	0,1095 €	0,438 €
Tuerca M4 autorretención	9	100	11,92 €	0,1192 €	1,0728 €
Tuerca M3 autorretención	8	100	6,49 €	0,0649 €	0,5192 €
Tuerca M4	14	100	9,08 €	0,0908 €	1,2712 €
Tornillo M3x30	2	50	27,50 €	0,55 €	1,10 €
Tornillo M4x30	2	50	28,11 €	0,5622 €	1,1244 €
Tornillo M4x25	2	100	25,29 €	0,2529 €	0,5058 €
Tornillo M3x20	4	50	23,57 €	0,4714 €	1,8856 €
Tornillo M4x20	4	50	23,46 €	0,4692 €	1,8768 €
Arandela M4 Gruesa	9	250	3,70 €	0,0148 €	0,1332 €
Arandela M4 Gruesa	20	250	3,70 €	0,0148 €	0,296 €
Arandela M3	4	250	2,23 €	0,00892 €	0,03568 €
Cojinete di=6, de=8	20	10	19,78 €	1,978 €	39,56 €
Circlip eje 4,5	6	100	4,74 €	0,0474 €	0,2844 €
Circlip eje 6	2	100	3,51 €	0,0351 €	0,0702 €
Muelle torsional.	2	1	5,84 €	5,84 €	11,68 €
Casquillo di=4, de= 6	1	5	11,08 €	2,216 €	2,216 €
Tornillo #6 x 25	4	100	10,95 €	0,1095 €	0,438 €
Tornillo M3X40	4	50	13,95 €	0,279 €	1,116 €
Tornillo M3X10	7	50	28,11 €	0,5622 €	3,9354 €
Tornillo M3X8	4	100	18,32 €	0,1832 €	0,7328 €
Tornillo M4X16	2	30	3,63 €	0,121 €	0,242 €

Tornillo M5X35	3	30	10,20 €	0,34 €	1,02 €
Tornillo M5X30	2	100	27,26 €	0,27 €	0,55 €
Tornillo M5X20	2	100	25,19 €	0,25 €	0,50 €
Tuerca M5 retención	4	100	7,90 €	0,08 €	0,32 €
Tuerca M3	10	100	9,45 €	0,09 €	0,95 €
Correas oruga Zodiac TornaX	2	2	32,63 €	16,32 €	32,63 €
DB42S03 –Motor DC Brushless con reductora de planetarios	2	1	172,50 €	172,50	345,00 €
Ruedas delanteras Zodiac TornaX	2	2	32,57 €	16,29 €	32,57 €
Ruedas traseras Zodiac TornaX	2	2	33,97 €	16,99 €	33,97 €
Miniamortiguadores Hensych	2	4	21,59 €	5,40 €	10,80 €
<b>COSTE TOTAL</b>					<b>547,57 €</b>

### 7.1.2. Componentes electrónicos.

En lo referido a componentes electrónicos se muestra el desglose en la Tabla 7.2. Los principales elementos son conectores de tipo molex, para tratar de ahorrar la mayor cantidad de espacio posible en las PCBs diseñadas.

Tabla 7.2. Desglose de costes de componentes electrónicos.

COMPONENTE	CANTIDAD	CANTIDAD BOLSA	COSTE BOLSA	COSTE UNITARIO	COSTE TOTAL
Conector 2 Hembra - MOLEX	2	10	1,03 €	0,10 €	0,20 €
Conector 2 Macho - MOLEX	2	10	2,96 €	0,30 €	0,60 €
Conector 3 Hembra - MOLEX	1	10	3,19 €	0,32 €	0,32 €
Conector 3 Macho - MOLEX	1	10	4,73 €	0,47 €	0,47 €
Conector 4 Hembra - MOLEX	1	10	2,46 €	0,25 €	0,25 €
Conector 4 Macho - MOLEX	1	10	5,98 €	0,60 €	0,60 €
Conector 6 Hembra - MOLEX	1	10	3,48 €	0,35 €	0,35 €
Conector 6 Macho - MOLEX	1	10	7,42 €	0,74 €	0,74 €
Conector 8 Hembra - MOLEX	2	10	3,74 €	0,37 €	0,74 €
Conector 8 Macho - MOLEX	2	10	10,03 €	1,00 €	2,00 €
Interruptores ON/OFF	3	1	1,82 €	1,82 €	5,46 €
Conector hembra carga batería para ROVER	1	1	12,83 €	12,83 €	12,83 €
Conector marcha para cargar la batería	1	1	11,70 €	11,70 €	11,70 €
Conector tipo Arduino Hembra 4	2	10	8,43 €	0,84 €	1,68 €
Contacto de crimpado hembra Molex serie SPOX 5263	50	100	3,30 €	0,03 €	1,50 €
Contacto de crimpado hembra JST seria XH	5	100	4,50 €	0,05 €	0,25 €
Ventilador de 12V y 100 mA	2	1	17,19 €	17,19 €	34,38 €
Ventilador de 24V y 90 mA	1	1	10,66 €	10,66 €	10,66 €
Cable convertidor RS232-USB	1	1	34,94 €	34,94 €	34,94 €

Cable convertidor RS485-USB	1	1	27,06 €	27,06 €	27,06 €
Driver para motores nanotec	2	2	98,70 €	98,70 €	197,40 €
Batería LiPo 6S 22.2V 6.6Ah	1	1	71,20 €	71,20 €	71,20 €
Tracopower TEN 25-2411	1	1	60,00 €	60,00 €	60,00 €
Regulador de tensión lineal 3.3V	1	1	2,50 €	2,50 €	2,50 €
Cargador de baterías	1	1	26,50 €	26,50 €	26,50 €
BeagleBone-Black	1	1	43,00 €	43,00 €	43,00 €
Router wifi TP-LINK	1	1	22,00 €	22,00 €	22,00 €
Cámara FPV	1	1	35,00 €	35,00 €	35,00 €
Gafas para visión de cámara	1	1	180,00 €	180,00 €	180,00 €
M5Stick-C	2	2	20,00 €	20,00 €	40,00 €
M5Stack	1	1	50,00 €	50,00 €	50,00 €
FPGA con integrados	1	1	50,00 €	50,00 €	50,00 €
Hub USB	1	1	15,00 €	15,00 €	15,00 €
Depth Camera D435i	1	1	577,44 €	577,44 €	577,44 €
<b>COSTE TOTAL</b>					<b>1.516,67 €</b>

Además de los componentes también será necesario fabricar un total de 3 placas de circuito impreso, siendo el coste de estas el que se muestra en la Tabla 7.3.

Tabla 7.3. Costes de realización de las placas de circuito impreso.

PCB	CANTIDAD	COSTE
Placa para GamePad.	1	10 €
Placa de control principal.	1	40 €
Placa secundaria	1	10 €
<b>COSTE TOTAL</b>		<b>60 €</b>

### 7.1.3. Piezas de fabricación propia

Este Rover está compuesto por piezas provenientes de dos procesos de fabricación, que son inyección y mecanizado. Sin contactar con empresas especialistas en este tipo de procesos es difícil dar un presupuesto acertado. Si es cierto, que, por ejemplo, ProtoLabs, empresa que úna ambos métodos, tiene presupuestos de ejemplo en su página web [27], que incluyen la fabricación del molde por ellos mismos. Para una primera estimación, se considerarán piezas que conlleven moldes, muy complejos ( $\approx 12.000\text{€}$ ), complejos ( $\approx 8000\text{€}$ ), medios ( $\approx 5000\text{€}$ ) o sencillos ( $\approx 3000\text{€}$ ). La amortización de dichos moldes será teniendo en cuenta una producción de 1000 unidades del Rover y el coste de material será estimado en base al peso en función de los ejemplos dispuestos en la web.

Es evidente que este método tiene gran margen de error, pero se basa en información publicada por una empresa real y que, en algunas piezas, aunque se haga una estimación por arriba, en otras será por abajo. Con ello, se tiene el siguiente desglose aproximado en cuanto a la inyección:

TABLA 7.4. Costes de fabricación mediante inyección de plástico.

CÓDIGO DE PIEZA	CANT.	PRECIO ESTIMADO MOLDE	PRECIO MATERIAL ESTIMADO	TOTAL
RVR-01-FR-00-00-01	1	12.000 €	6 €	18,00 €
RVR-01-FR-00-00-02	1	8.000 €	4 €	12,00 €
RVR-01-FR-00-00-03	1	3.000 €	3 €	6,00 €
RVR-01-FR-00-00-04	2	3.000 €	3 €	7,50 €
RVR-01-FR-00-00-05	1	3.000 €	3 €	6,00 €
RVR-01-FR-00-00-06	1	3.000 €	3 €	6,00 €
RVR-01-FR-00-00-07	1	3.000 €	3 €	6,00 €
RVR-01-FR-00-00-08	1	3.000 €	3 €	6,00 €
RVR-01-FR-00-00-09	1	3.000 €	3 €	6,00 €
RVR-01-FR-00-00-10	1	3.000 €	3 €	6,00 €
RVR-02-SP-00-00-01	2	8.000 €	4 €	12,00 €
RVR-02-SP-00-00-02	2	3.000 €	3 €	7,50 €
RVR-02-SP-00-01-01	4	5.000 €	3 €	13,25 €
RVR-02-SP-00-01-02	2	3.000 €	3 €	7,50 €
RVR-02-SP-00-01-03	4	3.000 €	3 €	12,75 €
RVR-02-SP-00-02-02	2	3.000 €	3 €	7,50 €
RVR-02-SP-00-02-04	2	3.000 €	3 €	7,50 €
RVR-02-SP-00-02-06	2	3.000 €	3 €	7,50 €
RVR-03-TR-00-00-01	2	5.000 €	3 €	8,50 €
RVR-04-CM-00-01-01	1	8.000 €	5 €	13,00 €
RVR-04-CM-00-01-03	1	5.000 €	3 €	8,00 €
RVR-04-CM-00-01-04	1	3.000 €	3 €	6,00 €
RVR-04-CM-00-01-05	1	3.000 €	3 €	6,00 €
RVR-04-CM-00-02-01	1	5.000 €	3 €	8,00 €
RVR-04-CM-00-02-02	1	3.000 €	3 €	6,00 €
<b>COSTE TOTAL</b>				<b>210,50 €</b>

Por otro lado, en las piezas mecanizadas, se necesitará de una célula de fabricación que disponga de torno y fresa, para así poder realizar todas las piezas con total autonomía. Se estima que, siendo piezas similares, el tiempo de todas será más o menos parecido y rondará el cuarto de hora. En cuanto al material, se miró el precio del metro en barra de acero F211 y se sacó el precio por milímetro. De esta manera y con dos tamaños de corte estandarizados para los ejes largos y los cortos, se estimó el precio del material de partida. A su vez, considerando un coste de 50€/h, se sumó al del material teniendo en cuenta las unidades y se dispone así del precio de cada pieza para la fabricación de un Rover.

Tabla 7.5. Costes de fabricación de piezas mecanizadas.

CÓDIGO DE PIEZA	CANT.	HORAS PROCESADO	PRECIO MATERIAL	PRECIO PROCESADO	TOTAL
RVR-02-SP-00-00-03	2	0,25	0,43 €	12,50 €	25,87 €
RVR-02-SP-00-01-04	4	0,25	0,43 €	12,50 €	51,74 €

RVR-02-SP-00-01-05	4	0,25	0,22 €	12,50 €	50,87 €
RVR-02-SP-00-02-01	2	0,25	0,43 €	12,50 €	25,87 €
RVR-02-SP-00-02-03	2	0,25	0,22 €	12,50 €	25,43 €
RVR-04-CM-00-00-01	1	0,25	0,22 €	12,50 €	12,72 €
RVR-04-CM-00-01-02	1	0,25	0,22 €	12,50 €	12,72 €
<b>COSTE TOTAL</b>				<b>205,22 €</b>	

#### 7.1.4. Presupuesto total

Para calcular el coste total de la producción del rover, tan solo ha sido necesario realizar la suma del coste total de cada uno de los anteriores puntos, es decir, los componentes mecánicos, los componentes electrónicos, el coste de la fabricación de las piezas de inyección de plástico, el coste de la fabricación de las piezas mecanizadas, los costes de realización de las placas de circuito impreso y costes en medios informáticos. Este cálculo del presupuesto es una aproximación, basada en cálculos de los diferentes costes de producción y los materiales utilizados. Es importante tener en cuenta que los costes representados en la Tabla 7.6 son los estimados para la producción de cada una de las 1.000 unidades iguales a fabricar.

Tabla 7.6. Desglose de costes unitarios para el rover.

DESGLOSE	COSTE
Costes de componentes mecánicos	547,57 €
Costes de componentes electrónicos	1.516,67 €
Costes de realización de placa de circuito impreso	60 €
Costes de fabricación mediante inyección de plástico	210,50 €
Costes de fabricación de piezas mecanizadas	205,22 €
Costes en medios informáticos	82,46 €
<b>COSTE TOTAL</b>	<b>2.622,42 €</b>

## 8. VERIFICACIÓN DEL PROTOTIPO

### 8.1. Comunicación entre los Drivers y los Motores

#### PRUEBA INICIAL CON NANOPRO

De cara a entender el funcionamiento de los motores y la comunicación que se debe llevar a cabo entre estos y sus correspondientes drivers o controladoras, la primera prueba que se realizó fue con los motores del rover del curso anterior, con el cual se nos permitió realizar diferentes inspecciones y pruebas como esta con el fin de lograr entender con mayor claridad aquellos puntos en los que debíamos prestar más atención de cara a obtener un resultado satisfactorio.

Este rover, como se comenta en apartados anteriores, presenta ciertos problemas de tracción, que se interpreta que surgen de posibles desalineaciones y de la falta de centralidad de las ruedas tractoras. Esto no se presenta como un gran inconveniente a la hora de llevar a cabo las pruebas de comunicación de los drivers, para lo cual se eliminan las correas y únicamente se realiza el giro de los motores de manera libre. El estado inicial del que partimos es con los motores amarrados por bridales al bastidor del rover, con las conexiones correspondientes a la placa de control de los motores, en la cual se encuentran conectadas las controladoras con etiquetas de la identificación de cada una de ellas.

Para llevar a cabo esta prueba, lo primero que se hace es la descarga del software *NanoPro*, el cual facilita en gran medida el manejo de estos motores con modos de prueba en los que se inicializan todas las características del motor de manera automática, y únicamente se debe seleccionar la velocidad en hercios que se desea alcanzar.

Para enviar las directrices a las controladoras, se utiliza la comunicación serie RS-485 mediante un conector a USB. Sin embargo, el conector existente se encuentra dañado, por lo que la comunicación no tiene lugar. Se procede entonces a soldar de nuevo las conexiones, ya que estas se encontraban dañadas, y una vez arreglada la conexión entre el PC y la placa de control, se comprueba como los motores siguen las directrices implementadas en *NanoPro*.

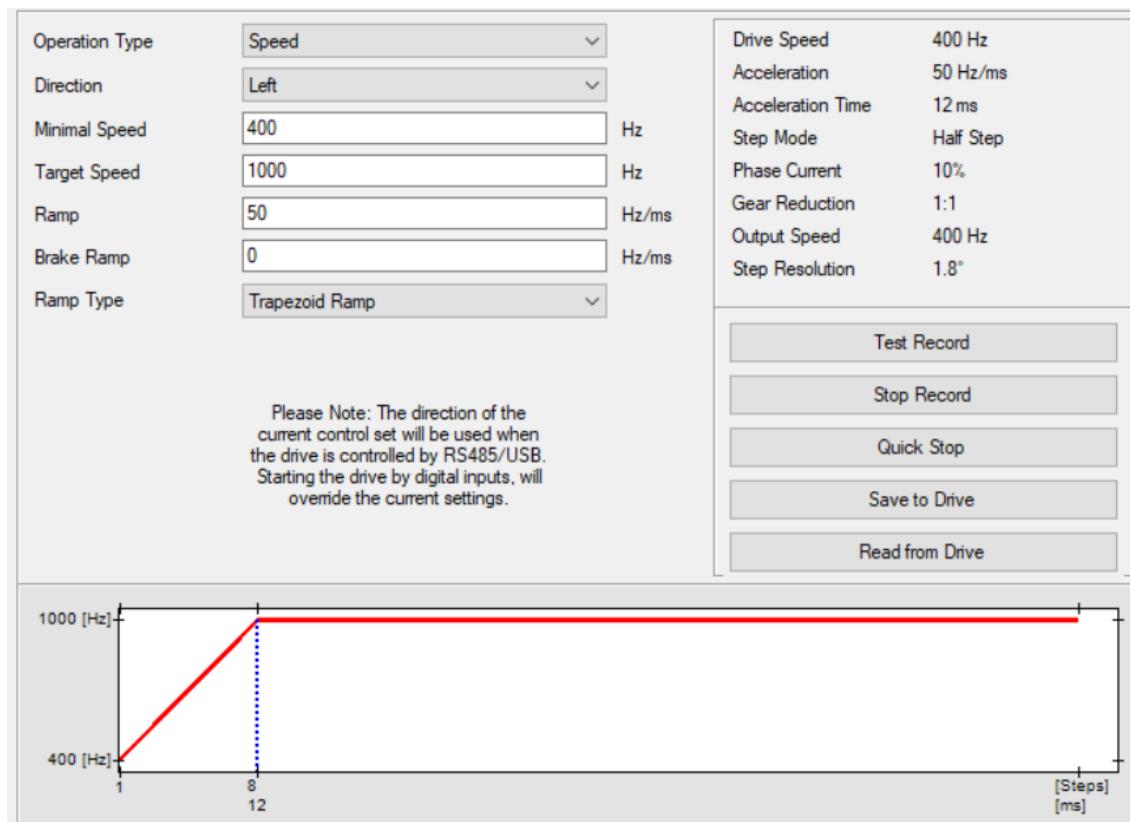


Figura 8.1. Prueba inicial con NanoPro

Como se observa en la imagen anterior, se selecciona un control de velocidad, ya que es el tipo de control que interesa de cara al proyecto, y mediante este software únicamente tocamos los parámetros de interés como pueden ser la dirección de rotación y la velocidad objetivo, con lo que se comprueba de manera satisfactoria el funcionamiento de los motores, así como de la comunicación con los drivers.

Sin embargo, para entender cómo se deben mandar las órdenes a los drivers, esta primera prueba no aporta demasiado interés, ya que, de cara al usuario, los comandos concretos son transparentes. Para lograr avanzar en este sentido, se procede a la lectura del manual de programación de *NanoPro* mediante el que se indican las diferentes posibilidades existentes para el control de los motores. La que interesa de ellas, es la forma general mediante comandos, explicándose en este manual, las múltiples opciones de control de las que únicamente nos hacen falta unas pocas que se explicarán más adelante para realizar un control de velocidad relativamente sencillo.

Con el fin de probar los comandos de mayor interés, el software *NanoPro* ofrece una forma alternativa para poner en funcionamiento los motores, en lo que denomina modo experto.

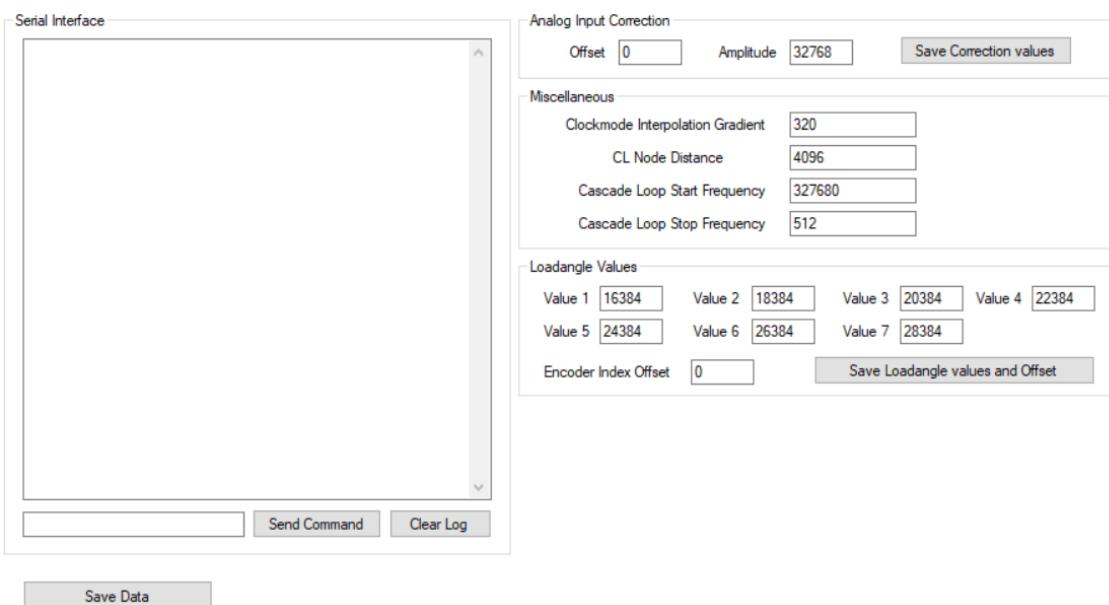


Figura 8.2. Comandos a través de NanoPro

A través de este modo, y ya sabiendo que tanto los motores como los drivers funcionan correctamente, se realizan las primeras pruebas satisfactorias de la utilización de comandos para el movimiento de los motores.

### **COMANDOS DE CONTROL**

Como se comentaba anteriormente, las posibilidades para el control de los motores mediante comandos son muy numerosas, pero, sin embargo, para un sencillo control de velocidad simplemente hace falta la utilización de unos pocos comandos que se comentarán a continuación.

- Encendido de motor: A
- Apagado de motor: S
- Dirección de rotación: d
- Velocidad objetivo: o

Estos son los comandos que se utilizarán para el control de los motores, y el formato de la comunicación siempre debe tener la misma estructura que cuenta, en primer lugar, con el símbolo #, a continuación, el número correspondiente a la dirección del motor al que se quiere enviar la orden (1 o 2), posteriormente el comando correspondiente, y por último el valor de la velocidad objetivo o de la dirección de rotación deseadas.

A modo de ejemplo, si se quiere que el motor con dirección 1 vaya a una velocidad de rotación de 1000 Hz, el comando empleado será #1o1000.

Cabe destacar, que previamente al uso normal de los motores, se debe llevar a cabo una configuración inicial, en la que establecer ciertos parámetros como la dirección de los drivers, el tipo de motor, el modo de control, la rampa de aceleración entre otros, la cual también se puede hacer mediante comandos. Sin embargo, la opción utilizada, y que facilita en gran medida esta primera instalación, es la de llevar a cabo

la configuración inicial mediante el software *NanoPro*. Esta herramienta realiza esta configuración de manera automática, simplemente asignando los valores que se desean, y una vez se tienen los parámetros configurados, se guarda de manera que no hace falta realizarla previamente a cada utilización.

### **PRUEBAS DESDE QT**

Una vez conocidos los comandos a utilizar, el siguiente paso fue el de ir desarrollando tanto la clase de control de los motores, como diferentes versiones de programas con los que ir simulando cada vez con mayor detalle, la funcionalidad que se incorporará en el propio rover.

Las primeras versiones constaban únicamente de una interfaz, con la que seleccionar los parámetros como la velocidad y la dirección de giro, y comunicar de igual manera a lo que se haría con el modo experto comentado anteriormente, con lo que se comprobaba de manera satisfactoria el giro de los motores.

Las siguientes versiones, ya trataban de replicar el protocolo que se tendrá a la hora de dirigir el rover, recibiendo mediante un texto en xml las velocidades objetivo para cada uno de los motores.

De esta manera, se fue progresando con el código, depurando e integrando las diferentes partes de control, hasta conseguir el control de los motores de la manera deseada.

## **8.2. Ensayo de alimentación de convertidor conmutado.**

Se realiza una primera prueba de conexión del convertidor DC/DC de 24V a 5V, pudiendo observar en el osciloscopio que la forma de onda obtenida no tenía un comportamiento como el que se establece en las hojas del manual de dicho componente, ni en lo que se refiere a forma de onda ni a amplitud de esta, como se puede ver en la Figura 8.3.

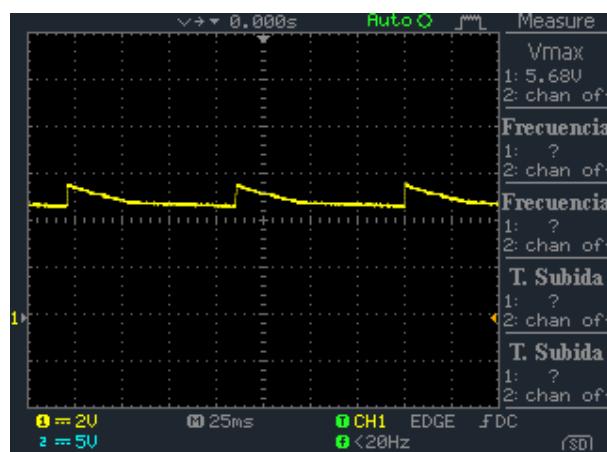


Figura 8.3. Conexión en vacío del convertidor conmutado DC.

Sin embargo, se observó que nada más que se realiza la conexión a algún elemento que solicite demanda de corriente la curva se aplana y empieza a comportarse de forma correcta, ofreciendo a su salida 5V.

## 8.3. Comunicación entre la cámara y las gafas.

En este caso, los dispositivos que se tendrán que conectar son los que se muestran en la Figura 8.4. Para la cámara será necesario emplear 3 de las múltiples conexiones que tiene, las dos de potencia y la señal de vídeo. Las tres se conectan directamente a las correspondientes entradas del transmisor.

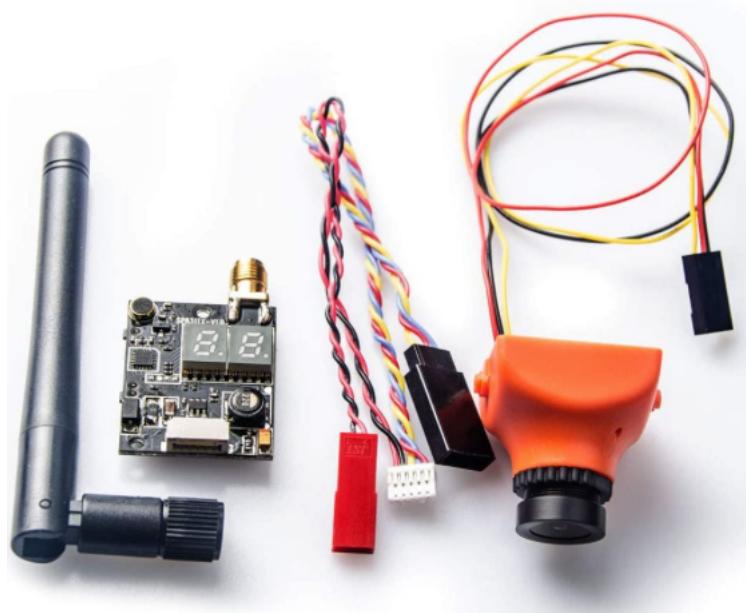


Figura 8.4. Representación de dispositivos a emplear.

Posteriormente se sincroniza el canal del VTX de los distintos posibles al número 5, consiguiendo visualizar la imagen de la cámara en las gafas.

En este caso, se decide que la antena se disponga sobre las gafas de modo que pueda ser reutilizada por otros grupos sin más que re sincronizas las gafas al canal de emisión establecido por el transmisor.

## 8.4. Configuración del Router.

En este proyecto, dado que se va a incorporar la cámara RealSense será necesario instalar un par de librerías con la finalidad de poder trabajar con los datos que ésta genera. A tal efecto, habrá que permitir la conexión a internet de la BBB. Para ello se tendrá que configurar un router wifi para que permita crear una subred dentro de la red principal en el rango de trabajo de la BBB, que en este caso es la dirección IP 192.168.100.23, para ello se configurará el router como se puede ver en la Figura 8.5.

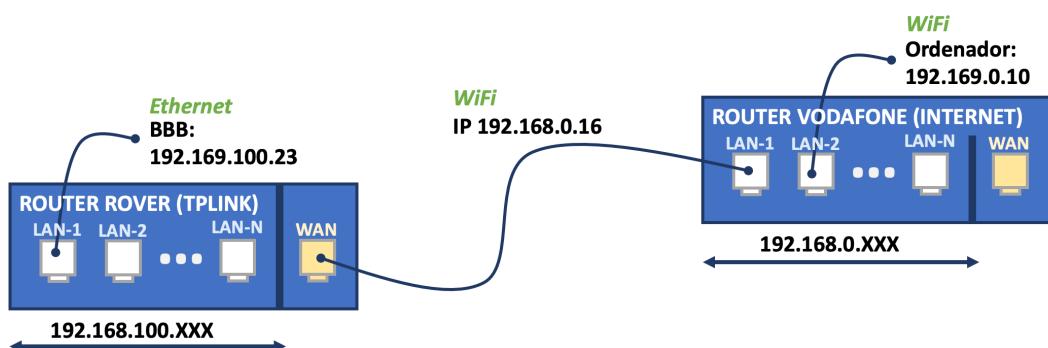


Figura 8.5. Diagrama de conexión para garantizar que el router se conecta a internet.

Una vez realizada la configuración del router será necesario modificar la configuración de la BBB para que pueda acceder a internet sin ningún problema.

Por un lado, habrá que modificar el archivo que se encuentra en /etc/resolv.conf y añadir la siguiente línea de instrucción “nameserver 8.8.8.8” .

Y también, para realizar la configuración del Gateway y del nameserver será necesario modificar el archivo que se encuentra en /etc/network/interfaces e incluir las siguientes líneas:

```
# The primary network interface
auto eth0 iface eth0 inet static
    address 192.168.100.23
    netmask 255.255.255.0
    gateway 192.168.100.1
    dns-nameservers 8.8.8.8 8.8.8.4
```

Con estas modificaciones realizadas se podrá instalar la librería de OpenCV en su versión 4.5 empleando ccmake y por otro lado la librería para la realsense librealsense2-dev, incluida en el paquete apt.

## 8.5. Temperatura del motor y controladora.

De cara a llevar a cabo el diseño de detalle del rover, se requiere conocer todos los elementos con los que contará en su interior, con el fin de saber el espacio necesario que se debe dejar para los elementos electrónicos, motores, controladoras, etc. Con la observación y estudio de los modelos de años anteriores, ya se tiene una primera aproximación bastante detallada de los componentes y las dimensiones requeridas. Sin embargo, uno de los factores que se decide estudiar con mayor profundidad es el de la refrigeración.

El objetivo es comprobar la necesidad de colocar uno o varios ventiladores para asegurar la refrigeración de los motores y las controladoras, que serán, a priori, los elementos que alcancen mayores temperaturas. Los modelos presentados por los alumnos de años anteriores cuentan con ventiladores, pero debido a las modificaciones del modelo actual, sería de gran ayuda para la correcta disposición de todos los

componentes electrónicos el poder justificar que no es necesario su uso, al mismo tiempo que, de cara a una producción en serie, el eliminar estos componentes podría significar un ahorro significativo.

De esta manera, el análisis de las temperaturas de motor y controladoras se llevan a cabo mediante dos experimentos, los cuales se realizan sobre el rover no funcional del año 2020. Este modelo, si bien presentaba problemas de tracción, sí que permite poner los motores en funcionamiento.

Los dos experimentos consisten en medir las temperaturas alcanzadas en controladoras y motor. Para ello, los motores se ponen en funcionamiento mediante el software *NanoPro*, haciéndolos girar a una velocidad constante de 1000 Hz.

Operation Type	Speed		Drive Speed	400 Hz
Direction	Left		Acceleration	50 Hz/ms
Minimal Speed	400	Hz	Acceleration Time	12 ms
Target Speed	1000	Hz	Step Mode	Half Step
Ramp	50	Hz/ms	Phase Current	10%
Brake Ramp	0	Hz/ms	Gear Reduction	1:1
Ramp Type	Trapezoid Ramp		Output Speed	400 Hz
			Step Resolution	1.8°
<small>Please Note: The direction of the current control set will be used when the drive is controlled by RS485/USB. Starting the drive by digital inputs, will ovemde the current settings.</small>			<input type="button" value="Test Record"/> <input type="button" value="Stop Record"/> <input type="button" value="Quick Stop"/> <input type="button" value="Save to Drive"/> <input type="button" value="Read from Drive"/>	

Figura 8.6. Parámetros funcionamiento motores para test de temperatura

La primera de las pruebas de temperatura consiste en observar la evolución de la temperatura de la propia controladora, la cual se observa mediante la gráfica proporcionada desde el propio software *Nanopro*. Al mismo tiempo, se realiza una medición de la temperatura ambiente en el interior del rover. Para ello, se introduce un sensor de temperatura DHT22 y se mantiene la carcasa cerrada de manera que se minimice el intercambio de aire con el exterior. Mediante la conexión de este sensor a un Arduino Mega, se exportan los datos de la evolución de la temperatura en el interior del rover frente al tiempo, a partir de los cuales se genera la siguiente gráfica.

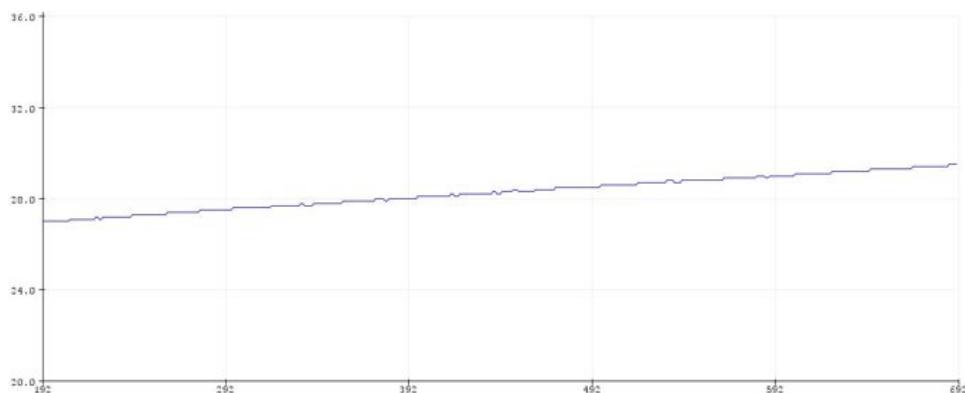


Figura 8.7. Evolución temperatura con sensor DHT22

En la gráfica anterior, se puede observar como la temperatura va en un ascenso prácticamente lineal durante toda la medición. El eje de abscisas de la misma se corresponde con el número de mediciones de la temperatura, que si se transformase a una medida de tiempo, en minutos equivaldría a la medición desde el minuto 20 al minuto 30 del experimento, aproximadamente.

Los resultados que se obtienen de esta primera prueba se resumen en que, a pesar de que la temperatura ambiente no muestra valores que puedan ser problemáticos o perjudiciales para el resto de componentes electrónicos, la controladora sí que llegó a su límite de funcionamiento, ya que el experimento finalizó cuando una de estas controladoras detuvo su funcionamiento, y, por consiguiente, el giro de uno de los motores, debido a que había alcanzado la temperatura límite de funcionamiento que se encuentra alrededor de los 75 °C. Además, a pesar de que la temperatura ambiente no resultaba problemática, la temperatura de los motores sí que parecía presentar valores críticos en contacto con las bridas de sujeción de los mismos, ya que, mediante la comprobación al tacto de las mismas, se observaba como se había producido el reblandecimiento de estas.

A pesar de que este primer experimento parecía indicar que la necesidad de colocar ventiladores para la refrigeración del rover resultaba casi obligatoria, se decidió llevar a cabo un segundo experimento, con el que medir datos que resultaban de mayor interés de cara a la justificación del uso de estos. Ya que la medición de la temperatura del aire no había resultado demasiado significativa, en esta segunda prueba, utilizando el mismo tipo de control de los motores mediante su giro a velocidad constante de 1000 Hz, se mediría la temperatura de los motores. Para ello, se utilizó un nuevo sensor de temperatura, en esta ocasión, el sensor TC74 mediante el cual se puede llevar a cabo la medida de la temperatura de superficies que se encuentren en contacto con él.

Así, se realizó el mismo experimento que en la primera ocasión, con la única excepción del cambio de sensor. De la misma manera, se conectó este sensor a un Arduino Mega, con el que exportar los datos obtenidos los cuales se presentan en la siguiente gráfica.

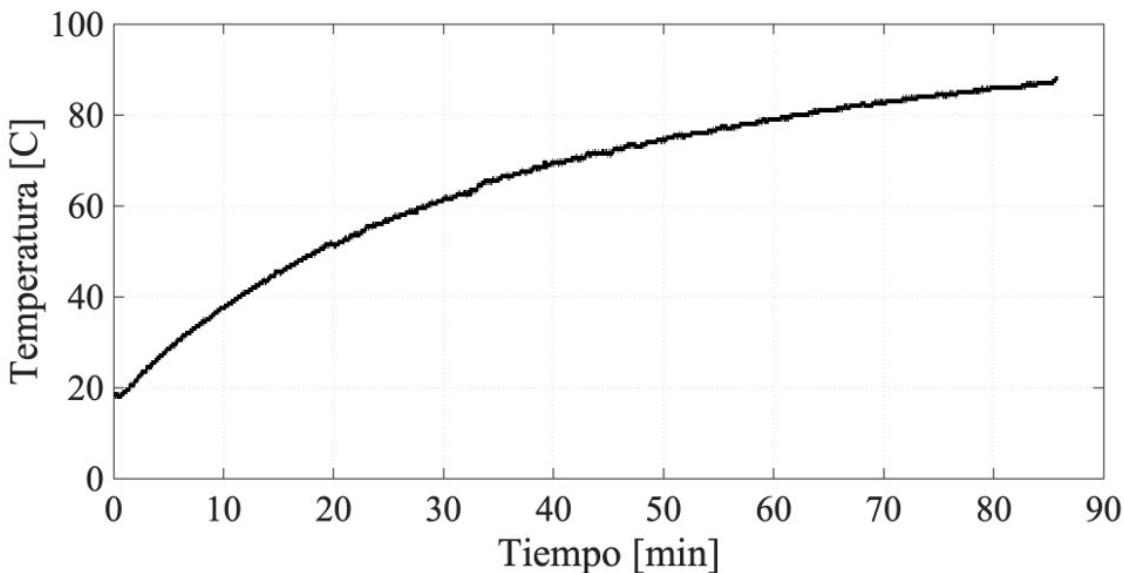


Figura 8.8. Evolución temperatura con sensor TC74

Al observar esta gráfica, si se realiza una comparación con la que se muestra del primero de los experimentos, se comprueba como el tiempo de este se prolongó hasta casi tres veces más el del primero. Esto se debe a que, durante esta prueba, la controladora que había provocado el corte del funcionamiento de uno de los motores por exceso de temperatura en la propia controladora, en esta ocasión no alcanzó dicha temperatura crítica. La justificación para esta diferencia en lo acontecido pasa por la temperatura ambiente de la sala en la que se llevaron a cabo los experimentos, siendo en este segundo caso bastante inferior al del primer día.

Esta diferencia en la temperatura obtenida en la controladora podría llegar a ser un problema de cara a justificar la utilización de los ventiladores, ya que, en dos experimentos semejantes, en los que se utilizan las condiciones más desfavorables en cuanto a tiempo de funcionamiento, se obtienen dos resultados opuestos.

Sin embargo, el segundo de los datos obtenidos en este experimento, el que se refiere a la temperatura de los motores (entendida como la temperatura de la carcasa de los mismos que se encuentra en contacto con el sensor), y del cual podemos ver su evolución en la gráfica anterior, ofrece resultados que resultan determinantes. Estos datos obtenidos, muestran como se alcanzan temperaturas cercanas a los 80 °C, que es la temperatura máxima de funcionamiento de los motores utilizados en el rover. Si bien esta temperatura, que podría llegar a dañar los motores, solo se alcanza con tiempos de funcionamiento que rara vez se alcanzarían en un uso cotidiano del vehículo, se observa en la gráfica como a partir de los 30 minutos ya se alcanzan los 60 °C, que es una temperatura a la cual el material del que está fabricado el bastidor del rover, así como las bridas de sujeción de los motores, empieza a perder sus propiedades, haciéndose maleable y perdiendo su forma original, lo que acabaría dando lugar a holguras y tolerancias

no deseadas, que podrían desencadenar en un incorrecto funcionamiento de estos dispositivos y del rover en general.

Por tanto, como conclusión a estos experimentos, la decisión tomada fue la de colocar ventiladores para la refrigeración del interior del vehículo. Siendo las partes críticas los motores y las controladoras, en vez de colocar un solo ventilador de grandes dimensiones, la decisión adoptada fue la de colocar un ventilador para cada uno de los elementos, eligiéndose dos tipos de ventiladores, dos menos potentes, de funcionamiento a 12 V que se colocarán en la parte frontal, refrigerando cada uno de los motores, y otro más potente, con funcionamiento a 24 V, que se coloca en la parte posterior y se encarga de la refrigeración de la placa electrónica principal, y especialmente de las controladoras.

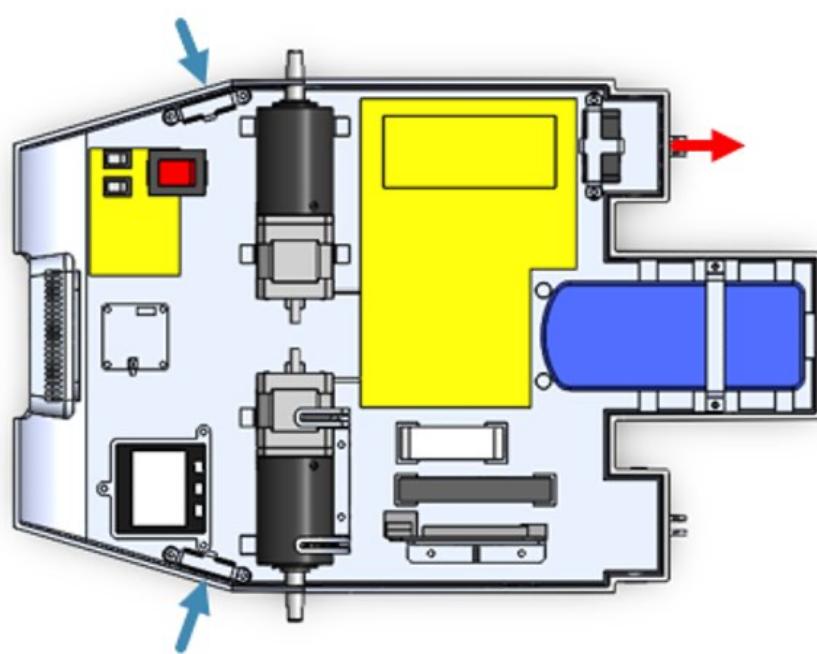


Figura 8.9. Disposición ventiladores

## 8.6. Dentado de la rueda tractora

Como se expuso anteriormente, el dentado de la rueda tractora no cuenta con una geometría normalizada. A su vez, conseguir el CAD de la rueda no era viable, al igual que tomar medidas interiores, que sin una máquina de medir por coordenadas sería imposible acceder y sacar datos fiables. Por ello, se partió de una aproximación lo más buena que se pudo, y en base a esa, se empezaron a hacer variaciones en la forma de los dientes. Algunas variables para estudiar fueron:

- Separación entre dientes
- Ángulo del dentado

- Chaflanes de entrada de los dientes
- Disminución de la distancia entre dientes en dirección axial.

Por tanto, haciendo variaciones en estos aspectos y anotando el porqué se creía que funcionaban o no, se fueron haciendo iteraciones con pruebas de impresión incluidas, hasta dar con un resultado óptimo. Una vez seleccionada la forma a usar, se partiría de esa probeta para el diseño de la pieza final de acople entre rueda y motor.



Figura 8.10. Pruebas de dentado con distintas variaciones geométricas.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] BeagleBoneBlack, "BeagleBoard.org - black," 2017. <https://beagleboard.org/black> (accessed Jan. 17, 2022).
- [2] S. by M. G. MPression, "FPGA Oddysey Max 10," *Computer (Long. Beach. Calif.)*., no. September, pp. 169–232, 2020, [Online]. Available: [www.impact-test.co.uk](http://www.impact-test.co.uk).
- [3] M5Stack, "M5Stack." <https://m5stack.com/> (accessed Jan. 10, 2022).
- [4] D. Pohl, S. Dorodnicov, and M. Achtelik, "Depth map improvements for stereo-based depth cameras on drones," *Proc. 2019 Fed. Conf. Comput. Sci. Inf. Syst. FedCSIS 2019*, pp. 341–348, 2019, doi: 10.15439/2019F66.
- [5] "REMFORM® cabeza alomada arandela TORX® |Tornillos para plástico| RF87T." .
- [6] "Traco Power | tracopower.com." .
- [7] "TEN 25-2411 | Traco Power." .
- [8] Microchip Technology Inc., "MCP1826/S: 1000mA, Low-Voltage, Low Quiescent Current LDO Regulator," *Datasheets*, 2013.
- [9] I.P.F., "Introducción a los productos de plástico," 2019.
- [10] S. B. Servos, B. D. C. Motors, S. Motors, L. Actuators, and T. Screws, "ENCODERS / GEARBOXES / BRAKES," 2019.
- [11] B. BricoGeek.com, "Micro servo miniatura SG90." [https://tienda.bricogeek.com/servomotores/968-micro-servo-miniatura-sg90.html?gclid=CjwKCAiAxJSPBhAoEiwAeO\\_fP\\_PruMiviQujUAt4Z5uKyD5OCFQjixcXZ8L\\_jYkwcpJpoyem28M8KhoCUwYQAvD\\_BwE](https://tienda.bricogeek.com/servomotores/968-micro-servo-miniatura-sg90.html?gclid=CjwKCAiAxJSPBhAoEiwAeO_fP_PruMiviQujUAt4Z5uKyD5OCFQjixcXZ8L_jYkwcpJpoyem28M8KhoCUwYQAvD_BwE) (accessed Oct. 10, 2021).
- [12] R. Components, "Cúpula tintada ABUS TVAC31090 de PC para usar con IPCB71500, IPCB72500." <https://es.rs-online.com/web/p/accesorios-para-videovigilancia/1237178> (accessed Oct. 07, 2021).
- [13] D. H. P. W. M. S. D. Converter, "Diodes Incorporated PAM2306D Pin Assignments Features PAM2306D A Product Line of PAM2306D Pin Descriptions Functional Block Diagram," no. December, pp. 1–12, 2014.
- [14] R. Components, "PX0410/02S/5560 | Conector Bulgin hembra serie Buccaneer 400 de 2 vías hembra, tamaño carcasa 19, montaje aéreo, IP68, IP69K." [https://es.rs-online.com/web/p/conectores-circulares-industriales/4260953?cm\\_mmc=ES-PLA-DS3A-\\_--google-\\_CSS\\_ES\\_ES\\_Conectores\\_Whoop\\_-\\_\(ES:Whoop!\)+Conectores+circulares+industriales-\\_4260953&matchtype=&aud-826607885227:pla-301842448485&gclid=CjwKCAiAxJSPBh](https://es.rs-online.com/web/p/conectores-circulares-industriales/4260953?cm_mmc=ES-PLA-DS3A-_--google-_CSS_ES_ES_Conectores_Whoop_-_(ES:Whoop!)+Conectores+circulares+industriales-_4260953&matchtype=&aud-826607885227:pla-301842448485&gclid=CjwKCAiAxJSPBh) (accessed Nov. 15, 2021).
- [15] ANOVO, "Qué es la IP68 y cómo proteger los dispositivos de la humedad." <https://www.anovo.es/que-es-la-ip68-y-como-proteger-los-dispositivos-de-la-humedad/>

- (accessed Dec. 26, 2021).
- [16] HBM, “Grado de protección IP69K.” <https://www.hbm.com/es/0836/grado-de-proteccion-ip69k/> (accessed Dec. 26, 2021).
- [17] Microchip Corporation, “MCP3201\_datasheet,” 2011, [Online]. Available: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21290F.pdf>.
- [18] EIA/TIA, “Recommended Standard (RS)-232C.” <https://w3.ual.es/~vruiz/Docencia/Apuntes/Networking/Technologies/RS-232/index.html> (accessed Dec. 05, 2021).
- [19] NANDLAND, “UART in VHDL and Verilog for an FPGA.” <https://www.nandland.com/vhdl/modules/module-uart-serial-port-rs232.html> (accessed Dec. 25, 2021).
- [20] VHDLwhiz, “RC servo controller using PWM from an FPGA.” <https://vhdlwhiz.com/rc-servo-controller-using-pwm/> (accessed Dec. 25, 2021).
- [21] M5Stack, “M5-StickC.” <https://docs.m5stack.com/en/core/m5stickc> (accessed Dec. 15, 2021).
- [22] K. Townsend, “Overview | Adafruit BNO055 Absolute Orientation Sensor | Adafruit Learning System,” *adafruit*, 2015. <https://learn.adafruit.com/adafruit-bno055-absolute-orientation-sensor> (accessed Jan. 17, 2022).
- [23] OpenCV, “OpenCV,” 2021. <https://opencv.org/> (accessed Jan. 17, 2022).
- [24] R. Ronsse, “BEST2015 — Autonomous Mobile Robots Lecture 2 : Mobile Robot Kinematics and Control Non-Holonomic Systems,” 2015.
- [25] S. G. Tzafestas, “Mobile Robot Kinematics,” *Introd. to Mob. Robot Control*, pp. 31–67, 2014, doi: 10.1016/b978-0-12-417049-0.00002-x.
- [26] T. Q. Company, “Qt | Cross-platform software development for embedded & desktop,” 2017. <https://www.qt.io/> (accessed Jan. 07, 2022).
- [27] Protolabs, “Protolabs · Revisar presupuesto.” <https://tryit.protolabs.com/quotes/796d2507-ba9f-4287-8aa2-2a538f4d4113/review/molding-eu?lang=es-ES> (accessed Jan. 05, 2022).

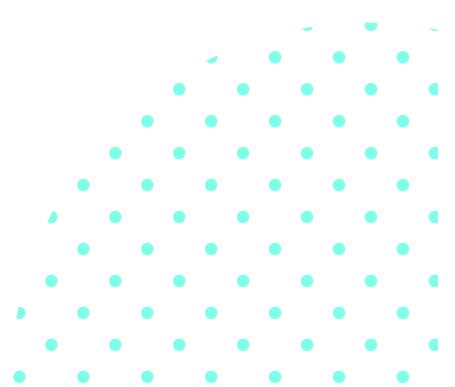
# ANEXOS

CURSO 2021 - 2022



## REALIZADO POR:

- Alejandro Fernández Suárez
- Jorge Álvarez Patón
- Ignacio Díaz Vigil
- Luis Alfonso Martínez Palacios
- Hugo Miranda Sánchez
- Emily Gabriela Castillo Escalona
- Jaime González Álvarez
- Enrique Ángel López Suárez
- Víctor Asensi Miranda
- Pelayo Prieto García
- Danial Haris Bin Limi Hawari



# Índice de los Anexos

---

<b><u>ANEXO A. CÁLCULOS.</u></b>	<b><u>5</u></b>
<b>A.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS MUELLES, SUSPENSIÓN CENTRAL Y TRASERA CON AMORTIGUADORES</b>	<b>5</b>
A.1.1. CÁLCULO SUSPENSIÓN TRASERA	6
A.1.2. CÁLCULO SUSPENSIÓN CENTRAL	8
<b>A.2. CARACTERIZACIÓN DEL MUELLE TORSIONAL DEL TENSOR</b>	<b>10</b>
 <b><u>ANEXO B. SIMULACIÓN.</u></b>	 <b><u>13</u></b>
<b>B.1. SIMULACIONES DEL BASTIDOR</b>	<b>13</b>
B.1.1. COMPROBACIONES A PESO PROPIO	13
B.1.2. COMPROBACIONES DE LA FUERZA LATERAL DE LAS SUSPENSIÓN Y TENSOR	14
B.1.3. COMPROBACIONES DE LA SUSPENSIÓN TRASERA	16
<b>B.2. SIMULACIONES BASCULANTES DE LA SUSPENSIÓN</b>	<b>17</b>
B.2.1. BASCULANTE TRASERO.	17
B.2.2. SIMULACIÓN BASCULANTE SUSPENSIÓN INTERMEDIA.	19
<b>B.3. SIMULACIÓN DE LA PALANCA DEL TENSOR</b>	<b>20</b>
 <b><u>ANEXO C. PLANOS.</u></b>	 <b><u>22</u></b>
<b>C.1. ANÁLISIS DEL BASTIDOR</b>	<b>22</b>
<b>C.2. ANÁLISIS DE LA TAPA DEL BASTIDOR</b>	<b>24</b>
<b>C.3. ANÁLISIS ABRAZADERAS MOTORES NEMA</b>	<b>26</b>
<b>C.4. ANÁLISIS DE LA BASE DEL PAN&amp;TILT</b>	<b>28</b>
 <b><u>ANEXO D. CRITERIO DE DISEÑO PCB</u></b>	 <b><u>32</u></b>
 <b><u>ANEXO E. PLANOS.</u></b>	 <b><u>33</u></b>

# Índice de Figuras

---

Figura A.1. Gráfico de caracterización del resorte.....	6
Figura A.2. Vista lateral en corte del modelado de la suspensión trasera .....	7
Figura A.3. Diagrama de fuerzas sobre el basculante de la suspensión trasera .....	7
Figura A.4. Modelado del conjunto de la suspensión central en vista lateral. ....	8
Figura A.5. Diagrama de fuerzas de un brazo de la suspensión central.....	9
Figura A.6. Diagrama esquemático de las dos posiciones extremas del tensor. ....	10
Figura A.7. Diagrama esquemático de la situación inicial.....	11
Figura B.1. Tensión de Von Misses en el caso de peso propio del bastidor.....	13
Figura B.2. Deformaciones en el caso del peso propio del bastidor .....	14
Figura B.3. Von Misses ante las cargas laterales del bastidor.....	15
Figura B.4. Deformaciones ante las cargas laterales del bastidor.....	15
Figura B.5. Von Misses en el apoyo de la suspensión trasera.....	16
Figura B.6. Deformaciones en el apoyo de la suspensión trasera.....	17
Figura B.7. Tensión equivalente de Von-Misses. ....	17
Figura B.8. Deformaciones totales para el caso de estado de trabajo.....	18
Figura B.9. Tensión equivalente de Von-Misses. ....	18
Figura B.10. Deformaciones totales para el caso límite.....	19
Figura B.11. Tensiones equivalentes de Von-Misses. ....	19
Figura B.12. Deformaciones totales.....	20
Figura B.13 Tensiones equivalentes de Von-Misses. ....	21
Figura B.14 Deformaciones totales.....	21
Figura C.15. Idoneidad del modelo del bastidor .....	22
Figura C.16. Predicción de calidad del bastidor (parte de arriba).....	23
Figura C.17. Predicción de calidad del bastidor (parte de abajo) .....	23
Figura C.18. Rechupes del bastidor.....	24
Figura C.19. Análisis de idoneidad del modelo de la tapa del bastidor .....	25
Figura C.20. Predicción de calidad de la tapa del bastidor .....	25
Figura C.21. Rechupes en la parte superior de la tapa del bastidor .....	26
Figura C.22. Rechupes en la parte inferior de la tapa del bastidor .....	26
Figura C.23. Análisis de complejidad de las abrazaderas de los motores Nema.....	27
Figura C.24. Predicción e calidad de las abrazaderas de los motores Nema .....	27
Figura C.25. Rechupes de las abrazaderas de los motores Nema.....	28
Figura C.26. Análisis de idoneidad de la base del movimiento Pan&Tilt .....	29
Figura C.27. predicción de calidad de la base del movimiento Pan&Tilt .....	29

Figura C.28. Rechupes de la base del movimiento Pan&Tilt (Parte inferior) .....	30
Figura C.29. Rechupes de la base del movimiento Pan&Tilt (Parte superior).....	31

## Índice de Tablas

---

Tabla A.1. Ensayos de Deformación-Fuerza aplicada sobre el muelle. ....	5
Tabla E.1. Reglas de Diseño para las pistas de la PCB expresado en milésimas de pulgada. ....	32

# ANEXO A. CÁLCULOS.

## A.1. Caracterización de los muelles, suspensión central y trasera con amortiguadores

Partiendo de las existencias del laboratorio, se tiene un conjunto de amortiguadores metálicos usados típicamente en coches de radio control. Sin embargo, el fabricante Hensych no suministra una hoja de datos por lo que la caracterización de las constantes de estos debe realizarse experimentalmente para poder conocer su comportamiento de una forma más precisa.

En primer lugar, la relación Fuerza-Deformación del propio resorte debe obtenerse de forma aislada del amortiguador, ya que éste tiene por defecto un valor mínimo de precarga aplicado. Es por ello, que el primer paso debe ser desmontarlo del mismo y una vez logrado, debe realizarse una serie de pruebas para poder caracterizarlos (ver Tabla A.1). Sin embargo, de los ensayos realizados se pudo extraer que la relación entre fuerza y deformación no es lineal debido principalmente a que a partir de un valor determinado de fuerza (25N aprox.), los anillos inferiores del resorte entraban en contacto unos con otros y como resultado la fuerza aplicada necesita dejar de tener una relación lineal con la deformación resultante para tomar una forma cercana a una exponencial. Con el fin de simplificar los cálculos, se decidió caracterizar el comportamiento de los muelles en dos zonas lineales, siendo la primera recta aquella que relaciona los desplazamientos resultantes para valores de fuerza entre 0 y 25 N y, la segunda para las deformaciones originadas por fuerzas entre 25 y 55 N donde su pendiente es más acusada al no poder despreciar el efecto del contacto entre anillos (Figura A.1).

Tabla A.1. Ensayos de Deformación-Fuerza aplicada sobre el muelle.

Deformación (mm)	Fuerza (N)
0	0
10,5	24,53
19,8	53,96



Figura A.1. Gráfico de caracterización del resorte.

Una vez se introduce el muelle en el amortiguador, éste está sometido a una precarga. En nuestro caso, se estableció un valor intermedio de 1,8 Kg que produce un acortamiento en el muelle de 7,5 mm. Un aspecto para destacar de cara a cálculos posteriores es que el amortiguador no entrará en funcionamiento a no ser que la carga aplicada supere los 18 N aproximadamente, y a partir de ahí solo podrá comprimirse 8 mm más, debido a que es la carrera del propio amortiguador por lo que la longitud mínima del muelle será de 25,7mm.

### A.1.1. Cálculo suspensión trasera

Para estudiar el comportamiento de la suspensión de manera sencilla y obtener un resultado que ofrezca una idea del comportamiento de la misma se va a realizar un cálculo estático. Después de una serie de acercamientos iterativos se ha visto que un punto razonable de trabajo del amortiguador es cuando éste está deformado 1,75mm por lo que el cálculo se llevará a cabo en este punto. Para ello se estudiará un caso favorable, donde el peso se considerará 1/6 del total (6,5kg), una consideración algo conservadora teniendo en cuenta que se tendrán 8 ruedas en total. De igual manera, para el cálculo más desfavorable se va a considerar el caso de que el peso descance en únicamente las ruedas delanteras y las traseras, haciendo que cada rueda soporte 1/4 del total. Este escenario es más realista si se tiene en cuenta que el peso mayoritariamente descansa sobre dichas ruedas (motores sobre las ruedas delanteras y batería sobre las ruedas traseras).

Partiendo de una visión lateral como la mostrada en la figura del conjunto de suspensión trasera se puede realizar un croquis que servirá para acotar y establecer cada fuerza, con su dirección y sentido.

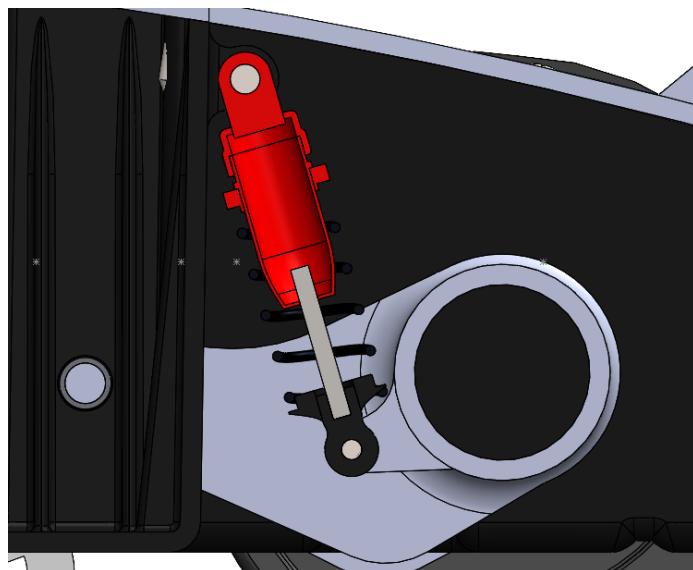


Figura A.2. Vista lateral en corte del modelado de la suspensión trasera

Convirtiendo el anterior esquema a un diagrama de fuerzas acotado con las dimensiones reales del modelo el esquema a calcular se puede observar en la siguiente figura.

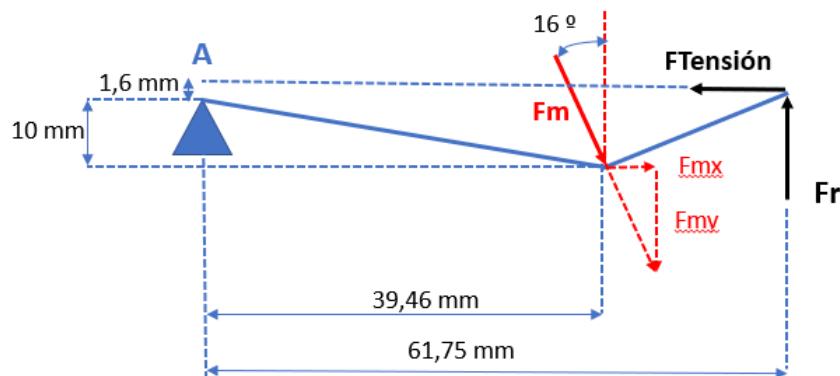


Figura A.3. Diagrama de fuerzas sobre el basculante de la suspensión trasera

En el esquema anterior cabe señalar el basculante ha sido diseñado de tal manera que la fuerza de la tensión de la correa (20N) se encuentre siempre a la altura del punto A o por encima. Esto tiene como objetivo que esta fuerza ayude a generar deformación en el amortiguador ya que éste tiene una constante bastante alta para esta.

Para el caso más favorable, la fuerza de la rueda tiene un valor de 10,63N, con lo que la ecuación de momentos en el punto A resulta lo siguiente:

$$\sum M_A = 0 \rightarrow 10,63 \cdot 61,75 + F_m \cdot \operatorname{sen} 16 \times 10 + 1,61 \cdot 20 - F_m \cdot \cos 16 \cdot 39,46 = 0$$

Resolviendo la ecuación anterior resulta una fuerza  $F_m$  de valor 19,6N. Esta deformación se corresponde con la zona 1 de la caracterización del muelle por lo que la deformación en el muelle vendrá determinada por la siguiente ecuación, donde hay que considerar la deformación previa del muelle debida a la precarga para obtener el valor real de deformación del amortiguador.

$$\varepsilon_T = \frac{19,6 - 1,8 \cdot 9,81}{2,3357} = 0,83 \text{ mm}$$

Esta deformación equivale en una deformación aproximada de 1,6mm en la rueda.

Análogamente a lo realizado para el caso más favorable es inmediato obtener unos cálculos similares considerando en este caso una fuerza en la rueda de 1/4 del peso (15,94N). Con esto, la ecuación de momentos en A resulta la siguiente:

$$\sum M_A = 0 \rightarrow 15,94 \cdot 61,75 + F_m \cdot \operatorname{sen}16 \times 10 + 1,61 \cdot 20 - F_m \cdot \cos16 \cdot 39,46 = 0$$

La solución para la fuerza del muelle en este caso es de 28,9N. Como se deduce del anterior apartado en este caso el resultado queda en la zona 2, por lo que el cálculo de la deformación en el muelle se debe realizar en dos pasos.

$$\varepsilon_1 = \frac{28,9 - 24,53}{3,1645} = 1,38 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{24,53 - 1,8 \cdot 9,81}{2,3357} = 2,94 \text{ mm}$$

Finalmente se concluye que la deformación total en el muelle es de 4,32mm lo que equivale a una deformación en rueda de aproximadamente 8,3mm.

### A.1.2. Cálculo suspensión central

Para este cálculo hay que tener en cuenta que la suspensión intermedia es un conjunto tipo cuadrilátero articulado donde el brazo central es el amortiguador (Figura A.4). Esto implica que lo que sucede en una rueda afecta a la otra, así como sucede en una barra de torsión de un coche. Para el cálculo, no obstante, se puede resumir el esquema de fuerzas mediante un diagrama sobre un único brazo según la vista lateral siguiente:

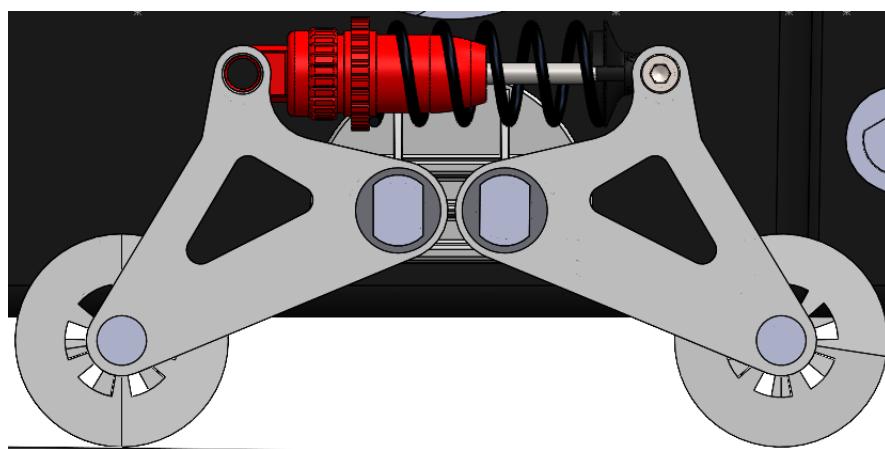


Figura A.4. Modelado del conjunto de la suspensión central en vista lateral.

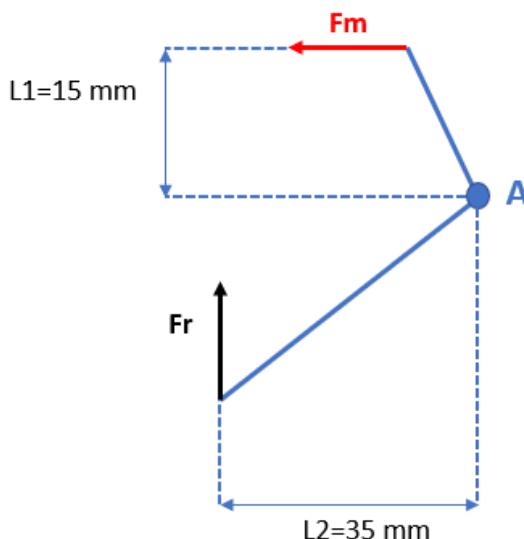


Figura A.5. Diagrama de fuerzas de un brazo de la suspensión central.

En el diagrama anterior se puede resolver la ecuación de momentos en A de manera similar a lo realizado para la suspensión anterior. Cabe señalar que las medidas tomadas son en una posición sin deformación, teniendo en cuenta que a medida que el brazo va girando tanto la longitud L1 y L2 se incrementan, por lo que el cálculo aunque aproximado resulta suficientemente válido. La ecuación resultante para el caso más favorable (considerando que la fuerza de la rueda tiene un valor de 1/8 del peso) resulta:

$$\sum M_A = 0 \rightarrow F_m \cdot 15 - \frac{1}{8} \cdot 6,5kg \cdot 9.81 \cdot 35 = 0$$

En este supuesto el valor de la fuerza del muelle resulta de 18,6N, un valor que se encuentra en la zona 1 de la caracterización del muelle y que por tanto equivale a una deformación según la siguiente expresión, donde la deformación del muelle es de 0,4mm:

$$\varepsilon_T = \frac{18,6 - 1,8 \cdot 9,81}{2,3357} = 0,4 \text{ mm}$$

Para el caso más desfavorable se ha considerado el supuesto donde el rover esté superando un obstáculo de manera lateral, con lo que las ruedas en contacto serían las 4 de un lado y las 2 centrales del lado del obstáculo. En este supuesto, el cálculo es análogo, con la única diferencia de que el valor de la fuerza en rueda es de 2/8 del peso, ya que cada una de las ruedas debe absorber la parte de peso correspondiente con la rueda delantera y trasera de ese lado (ya que estarían en el aire a la hora de superar el obstáculo).

$$\sum M_A = 0 \rightarrow F_m \cdot 15 - \frac{2}{8} \cdot 6,5kg \cdot 9.81 \cdot 35 = 0$$

En este supuesto, el valor de la fuerza en el muelle es de 37,2N, un valor que claramente se encuentra en la segunda de las dos zonas diferenciadas del muelle. De igual manera a lo realizado anteriormente la deformación correspondiente a cada zona resulta:

$$\varepsilon_1 = \frac{37,2 - 24,53}{3,1645} = 4 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{24,53 - 1,8 \cdot 9,81}{2,3357} = 2,94 \text{ mm}$$

Con lo que la deformación total del muelle es de 6,94mm, recordando que el máximo se sitúa en los 8mm.

## A.2. Caracterización del muelle torsional del tensor

A diferencia de como ocurría en la suspensión con los muelles helicoidales, los cuales ya estaban incluidos en el inventario, tanto el diseño del basculante como el de los brazos intermedios debía ser acorde con el punto de funcionamiento de los amortiguadores, sin embargo, en este caso no hay ningún modelo predefinido por lo que se tiene más flexibilidad, dando la posibilidad de realizar el diseño del mecanismo y seguidamente seleccionar el muelle torsional más adecuado.

Para explicar los cálculos llevados a cabo, se hará uso de la Figura A.6 donde los dos círculos negros representan la posición de las dos ruedas más externas, la cruz hace referencia a la posición del eje de la palanca y ambos círculos discontinuos muestran las dos posiciones más externas del tensor, la azul en la situación inicial y la verde en la final.

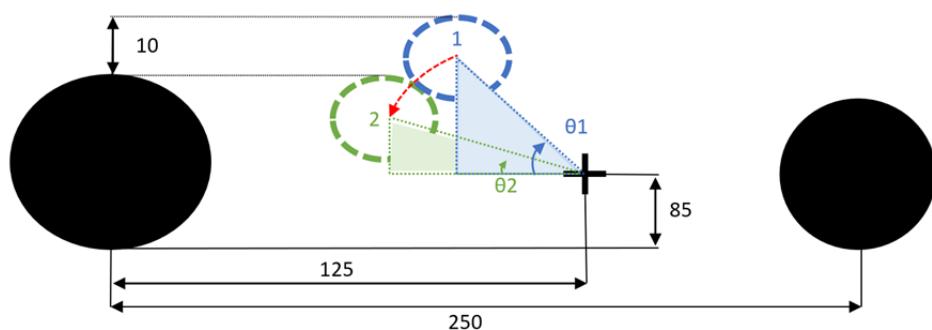


Figura A.6. Diagrama esquemático de las dos posiciones extremas del tensor.

En primer lugar, se parte de varias consideraciones iniciales como las consideraciones geométricas vistas en la anterior figura u otras como la longitud del brazo de la palanca, el diámetro de la rueda tensora o la fuerza de la cadena que se ha comprobado experimentalmente mediante un ensayo de tracción. Estas variables que se consideran constantes a lo largo del cálculo son:

$$L_{Palanca} = 30 \text{ mm}$$

$$R_{Rueda} = 10 \text{ mm}$$

$$F_{Cadena} = 10 \text{ N}$$

Seguidamente, se calculará el momento que se produce en la situación inicial. Para ello se ha puesto la condición de que en esta situación la separación vertical entre la rueda tensora y la rueda motriz es de:

$$s = 10 \text{ mm}$$

Previo a calcular el momento que se genera en el eje de la palanca, es preciso conocer cuál es el valor de la fuerza vertical que transmite la cadena. Aunque ambas ruedas extremas tienen distinto diámetro, para simplificar el cálculo se supondrán de la misma dimensión ( $\varnothing 100 \text{ mm}$ ) de forma que la componente horizontal del tiro se eliminará y solo afectará la vertical, que se duplicará para tener en consideración ambos ramales. De acuerdo con la Figura A.7, se procede a determinar la fuerza vertical de la cadena.

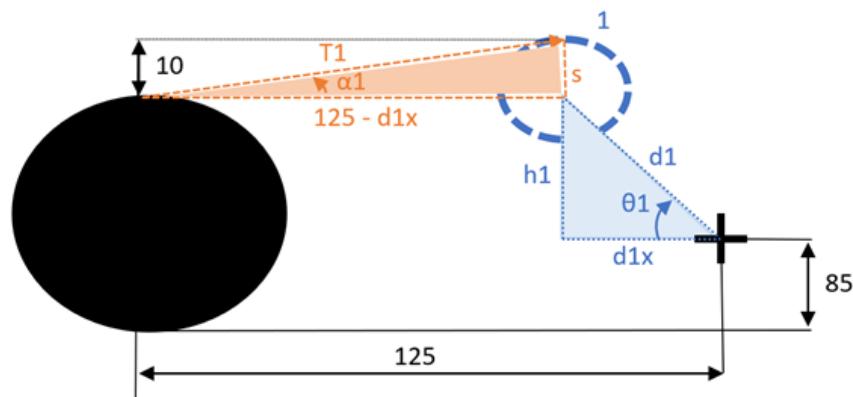


Figura A.7. Diagrama esquemático de la situación inicial.

En primer lugar, se calcula el triángulo azul para obtener la cota  $d_{1x}$ :

$$h_1 = \varnothing - 85 = 100 - 85 = 15 \text{ mm}$$

$$\theta_1 = \arcsin \frac{h_1}{d_1} = \arcsin \frac{15}{30} = 30^\circ$$

$$d_{1x} = d \cdot \cos \theta_1 = 30 \cdot \cos 30 = 25,98 \text{ mm}$$

Una vez se obtiene, se calcula el triángulo naranja para extraer la fuerza vertical  $T_{1y}$ :

$$\alpha_1 = \arctan \left( \frac{s}{125 - d_1} \right) = \arctan \left( \frac{10}{125 - 25,98} \right) = 5,77^\circ$$

$$T_{1y}(\text{1 ramal}) = F_{\text{Cadena}} \cdot \sin(\alpha_1) = 10 \cdot \sin(5,77) = 1 \text{ N}$$

Y la fuerza vertical resultante es la duplicada:

$$T_{1y}(2 \text{ ramales}) = 2 \cdot T_{1y}(1 \text{ ramal}) = 2 \text{ N}$$

Con ella es posible conocer el momento que realiza sobre el eje de la palanca, que resulta:

$$M_1 = T_{1y} \cdot d_1 = 2 \cdot 25,98 = 52,21 \text{ Nmm}$$

Una vez se obtiene el momento generado en la etapa inicial, conociendo la posición deseada en la etapa final es posible determinar la variación angular, y a partir de esta se puede seleccionar un muelle torsional cuya constante permita generar un momento en esta segunda etapa que sumado a la anterior resulte inferior al valor máximo indicado en la hoja de características del fabricante. Adicionalmente, es importante mencionar que en cuanto a la selección del muelle resulta interesante que la constante  $K$  sea lo más pequeña posible, para que ante una misma variación de tensión la deformación varíe lo mínimo posible. Partiendo de las condiciones geométricas mencionadas para la situación final:

$$S = 0 \text{ mm}$$

$$h_2 = 5 \text{ mm}$$

Se calcula la variación angular:

$$\theta_2 = \arcsin \frac{h_2}{d_1} = \arcsin \frac{5}{30} = 9,6^\circ$$

$$\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2 = 30 - 9,6 = 20,41^\circ$$

Es a partir de aquí donde se considera la constante del muelle. Para ello, se hizo uso de una hoja de cálculo donde se realizó una serie de pruebas iterativas hasta dar con el muelle más adecuado. Los diferentes modelos se consultaron en la página web del fabricante Sodemann, donde el seleccionado fue el referenciado como T029-300-250 que presenta las siguientes características:

$$M_{Max} = 60 \text{ Nmm}$$

$$\alpha_{Max} = 300^\circ$$

$$K = 0,2 \frac{\text{Nmm}}{\circ}$$

Considerando las constantes de dicho modelo, se calcula el momento que se genera en esta etapa final a partir de la variación angular:

$$M_2 = K \cdot \Delta\theta = 0,2 \cdot 20,41 = 4,1 \text{ Nmm}$$

Resultando un par total de:

$$M = M_1 + M_2 = 52,21 + 4,1 = 56,3 \text{ Nmm}$$

Que resulta inferior al par máximo de 60 Nmm que es capaz de absorber el muelle seleccionado.

# ANEXO B. SIMULACIÓN.

## B.1. Simulaciones del bastidor

El bastidor del Rover es la pieza estructural central, sobre la que se apoyan todas las demás, por lo que sus comprobaciones previas se harán desde distintos escenarios para así verificar su funcionalidad. También cabe destacar que para estas simulaciones el bastidor contará con la tapa, que una vez en funcionamiento, aumentará en gran medida la rigidez al crear una estructura cerrada hueca.

### B.1.1. Comprobaciones a peso propio

En primer lugar, el caso más extremo que debería sufrir el bastidor en condiciones normales es la flexión con apoyo en dos extremos. Esto podría suceder por ejemplo si un operario cogiese el Rover por su parte delantera y trasera y lo levantase para ponerlo en una mesa y así hacer labores de mantenimiento. En este caso, el saliente de la batería y el resalte donde irá la RealSense serán los encargados de soportar toda la carga. Para imitar esta situación, se fijó la parte trasera del Rover y se puso una carga delantera vertical de 70 N, aproximadamente el peso que se estima del prototipo final. Otra manera de proceder podría haber sido fijar ambos extremos y cargar la fuerza en el CdG, pero se desconoce su ubicación y parece un ensayo menos restrictivo, por lo que se optó por el primero explicado. Con ello, los resultados fueron los siguientes:

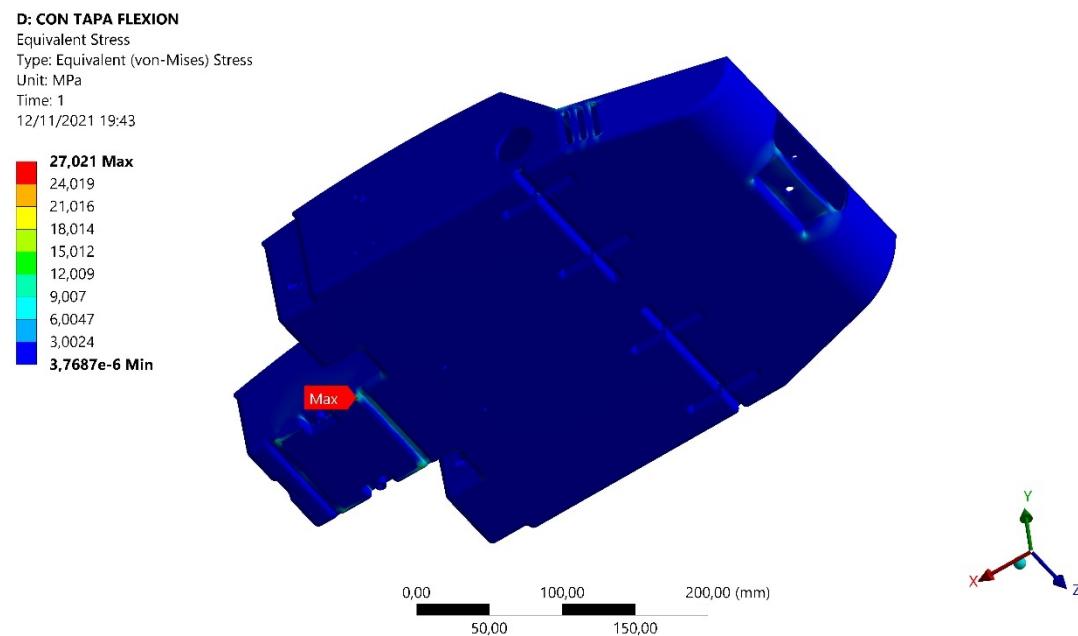


Figura B.1. Tensión de Von Misses en el caso de peso propio del bastidor

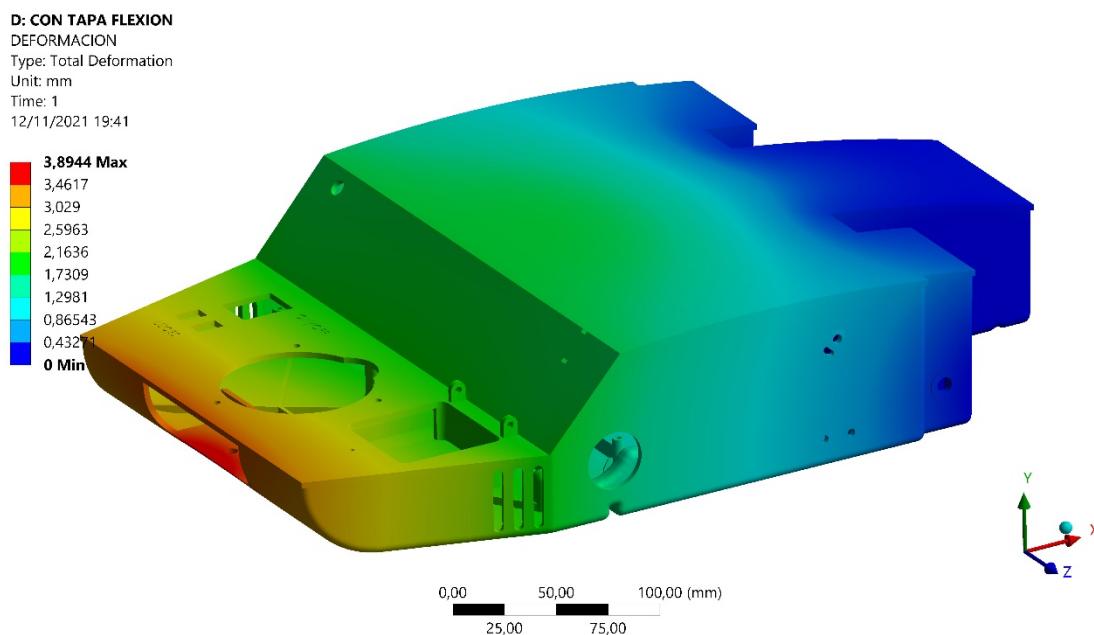


Figura B.2. Deformaciones en el caso del peso propio del bastidor

Se acaba de apreciar como la tensión máxima es de 27 MPa, ubicados en un nodo puntual en el que se hace la transición de la fijación de la condición de contorno al sólido libre. Por eso y viendo que en zonas aledañas la tensión es mucho menor, no se considera un problema, aparte que el límite elástico del material de extrusión usado aguanta en torno a unos 37 MPa y piezas internas como PCBs, motores y demás ayudarán a repartir esfuerzos. Para esta simulación no se incluyeron ya que el coste computacional era muy alto debido a la necesidad de una malla con un tamaño de elemento muy pequeño en base a la cantidad de detalles y geometrías del bastidor.

### B.1.2. Comprobaciones de la fuerza lateral de las suspensión y tensor

Otro de los escenarios más críticos en el análisis del bastidor será a la hora de trasmisir los esfuerzos que le lleguen desde la suspensión intermedio o desde el tensor. Como medida preventiva para minimizar la concentración de esfuerzos muy grandes, se diseñaron unas piezas que ayudan a distribuir la flexión del eje a lo largo de más área de la pared del bastidor. De igual manera, en la zona interior del bastidor existen nervios que rigidizan paredes con el suelo. También hay que destacar que la simulación se realizó en un mismo ensayo para suspensión y pared, ya que al estar ambas en una zona tan próxima, las fuerzas de uno podrían tener repercusión en el otro, sea para bien o para mal. A su vez, se recortó el resto del bastidor y componentes de este ya que no se consideraban influyentes para el ensayo y así se podría crear una malla de gran calidad con mayor facilidad a la vez que se reduce el coste computacional.

A nivel de las condiciones de contorno, se fijaron todos contactos tipo bonded, ya que el apriete de los ejes contra las piezas se supone que será tal que permita transmitir esfuerzos por cierre de fuerzas. En lo que concierne a las fuerzas, se pusieron cargas remotas con aplicación en los ejes y origen el punto de contacto de cada rueda con la oruga. El valor de dichas fuerzas puede encontrarse en detalle en el ANEXO A.

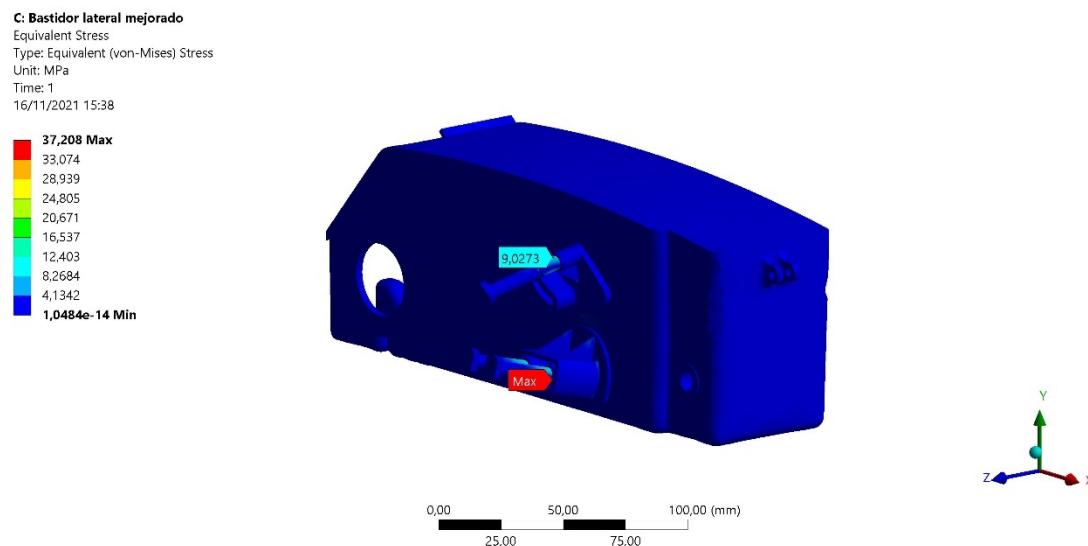


Figura B.3. Von Misses ante las cargas laterales del bastidor

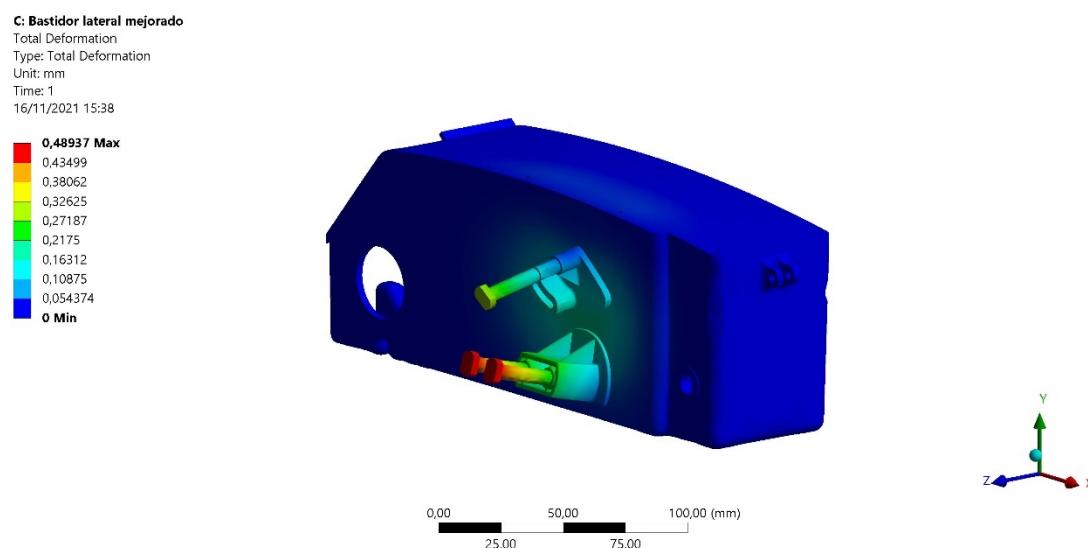


Figura B.4. Deformaciones ante las cargas laterales del bastidor

Como resultados se puede ver un desplazamiento mínimo en el extremo del eje, de menos de medio milímetro para casos de fuerza máxima en la suspensión intermedia, por lo que se puede decir que se cuenta con una rigidez suficiente. A nivel de tensiones se ve un pico de 37 MPa, casi igual que el límite elástico del plástico. No obstante, analizando sólido a sólido se ve como este pico corresponde a una esquina del eje de acero, por lo que no es un dato peligroso, estando el PLA muy por debajo de esos

valores. Este resultado puede ser debido a que el acero, de mayor módulo de Young, absorberá la mayor parte de los esfuerzos, a la vez que sus cambios de sección son concentradores de tensión por definición.

### B.1.3. Comprobaciones de la suspensión trasera

Finalmente, en lo que respecta al bastidor, se analizará el anclaje del muelle de la suspensión trasera, el cual se hará por medio de unas orejetas. Dichas orejetas contarán con el mismo espesor que el bastidor debido a las reglas de diseño, pero se les incluyeron redondeos para un mejor flujo de la tensión. Similar al caso anterior, se recortó el bastidor para obviar zonas no relevantes del mismo. Y, al igual que antes, la fuerza será obtenida del ANEXO A. siendo aplicada de forma puntual en las orejetas a partes iguales en cada una de ellas.

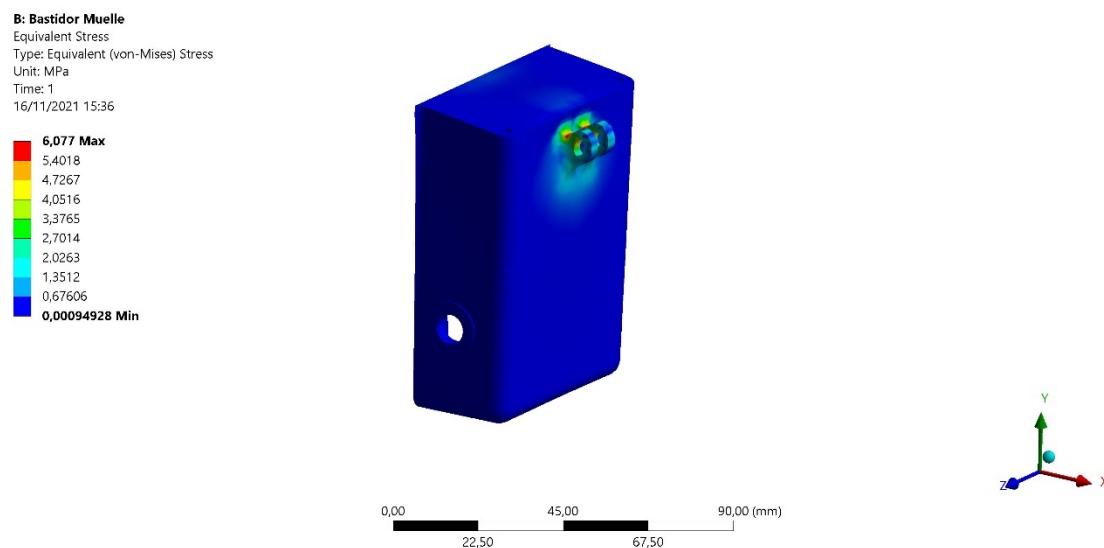


Figura B.5. Von Misses en el apoyo de la suspensión trasera

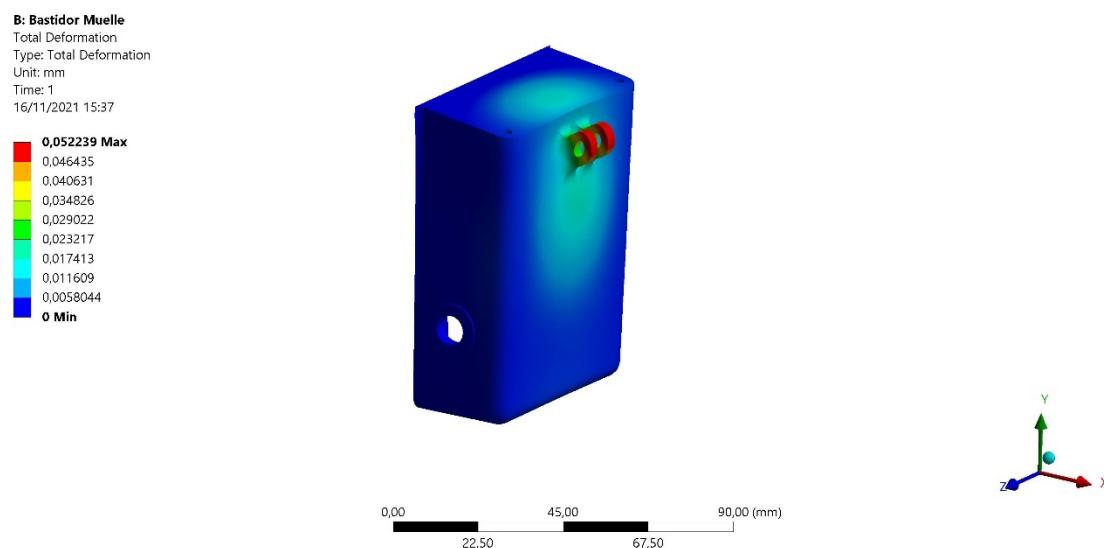


Figura B.6. Deformaciones en el apoyo de la suspensión trasera

En lo que se refiere a resultados, han sido los más holgados de todos, con una tensión que cuanta con un factor de seguridad de 5 y unos desplazamientos menores a una décima de milímetro en condiciones máximas de carga, por lo que se verifica que esta parte no se espera que sea problemática en ningún momento.

## B.2. Simulaciones basculantes de la suspensión

### B.2.1. Basculante trasero.

En primer lugar, se va a realizar un estudio mediante el software ANSYS de un estado normal de trabajo. Para ello se han establecido dos apoyos cilíndricos en las orejetas del basculante donde iría el eje de rotación del mismo. De igual manera, para simular el contacto con el muelle se ha establecido una unión de tipo body-ground restringiendo el movimiento en la dirección del propio muelle a partir de una línea de partición generada en el modelo CAD. Por último, las fuerzas introducidas son los 20N de tensión de la cadena, así como los 10N calculados en el caso más favorable en el Anexo A para esta situación. Con estas consideraciones los resultados de tensiones y deformaciones se pueden observar en la Figura B.7 y la Figura B.8.

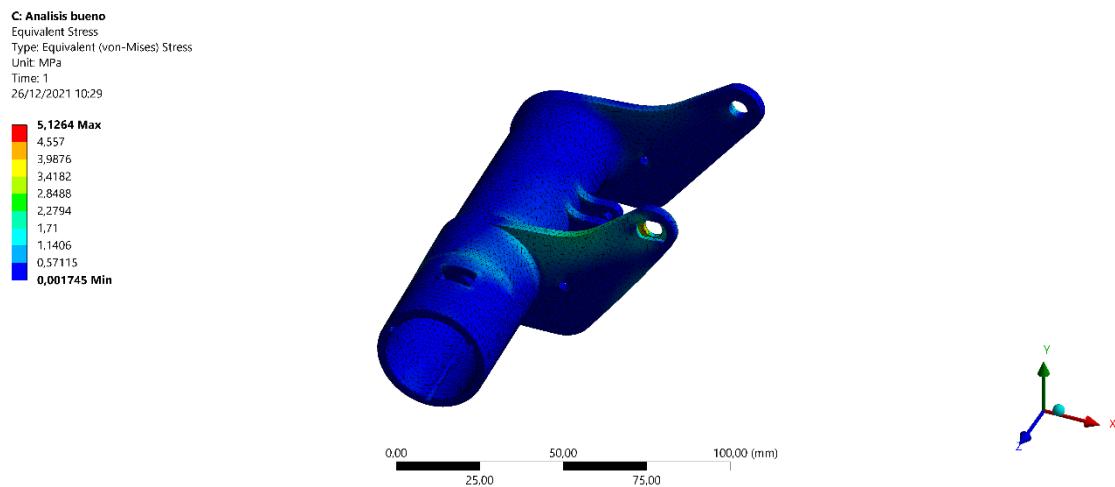


Figura B.7. Tensión equivalente de Von-Misses.

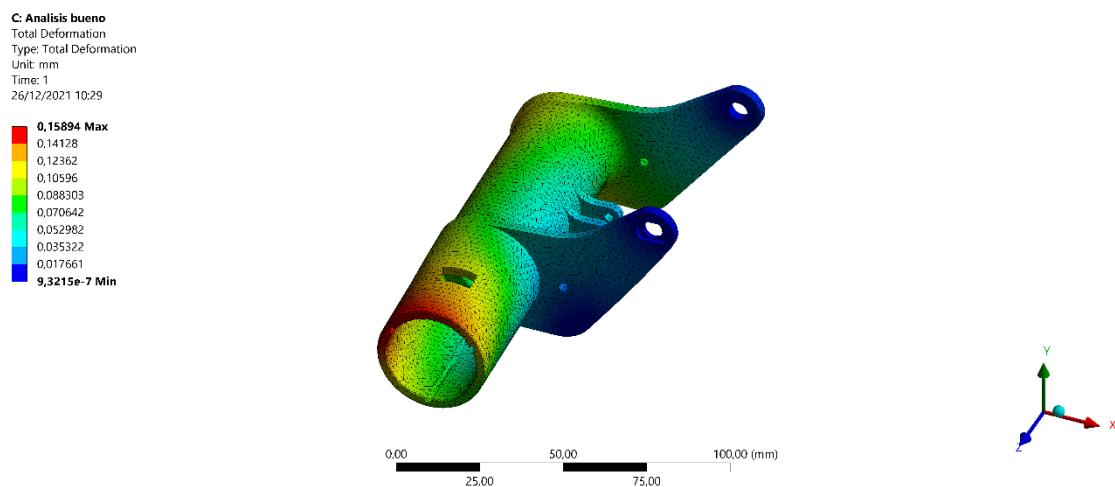


Figura B.8. Deformaciones totales para el caso de estado de trabajo.

Como se puede ver las deformaciones son razonables y las tensiones, teniendo en cuenta que la resistencia a tracción en impresión 3D del material es de 45MPa, son de una magnitud muy pequeña.

De manera análoga a lo realizado para la condición de trabajo, se puede realizar un análisis en la condición última de funcionamiento, suponiendo como carga en la rueda aquella que suponga la deformación máxima admisible en el muelle. De esta forma, haciendo un cálculo aproximado mediante la ecuación de momentos del Anexo A se puede tomar una fuerza vertical en la rueda de 35N (3,5kg), manteniendo constante la tensión de la correa de 20N en dirección horizontal. Con este supuesto los resultados de tensiones y deformaciones se pueden ver en la Figura B.9 y la Figura B.10.

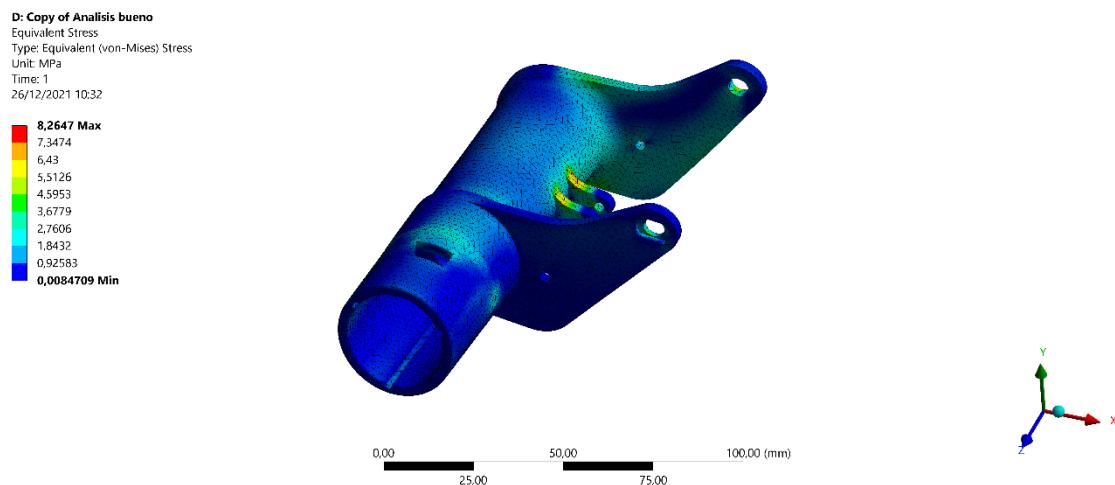


Figura B.9. Tensión equivalente de Von-Misses.

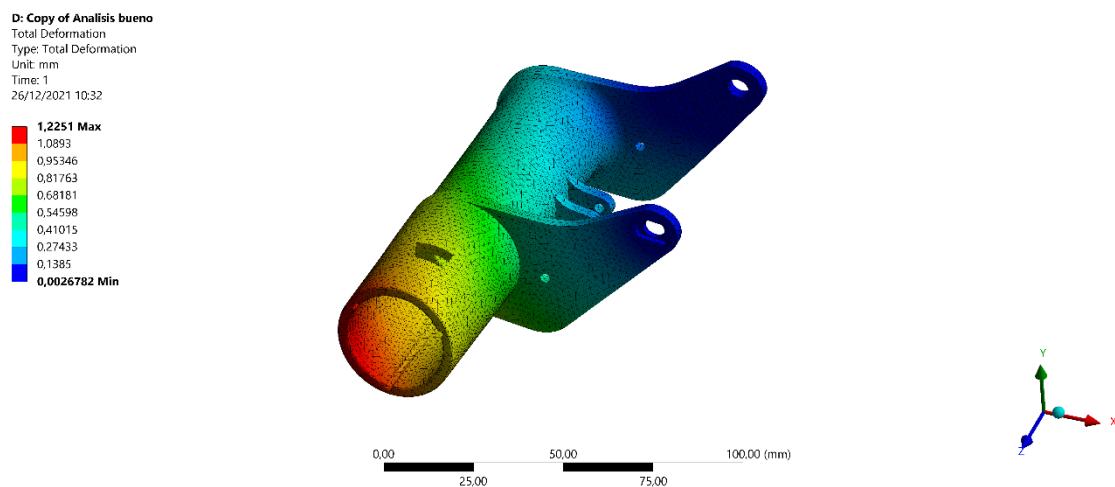


Figura B.10. Deformaciones totales para el caso límite.

En este caso se observa que las deformaciones son de una magnitud mayor (1,2251mm). Si bien este valor es considerable cabe señalar que es en un caso límite, y que además la inclinación de la rueda propiciada por dicha deformación es mínima, ya que la mayor parte se produce en dirección vertical. Además, las tensiones máximas se sitúan en cotas muy inferiores a las máximas, por lo que se da por validado el componente.

### B.2.2. Simulación basculante suspensión intermedia.

Para este caso la simulación realizada se ha simplificado ligeramente, teniendo en cuenta que estas ruedas estarán la mayor parte del tiempo mucho menos solicitadas que las traseras o las delanteras. Para la simulación se ha considerado un apoyo cilíndrico en la zona del eje de la articulación, además se ha fijado con una unión tipo body-ground la parte que soporta la rueda, y se ha aplicado una fuerza de 37,2N en la zona del muelle (calculada como el caso más desfavorable en el Anexo A). Los resultados de tensión y deformación se pueden ver en la Figura B.11 y Figura B.12.

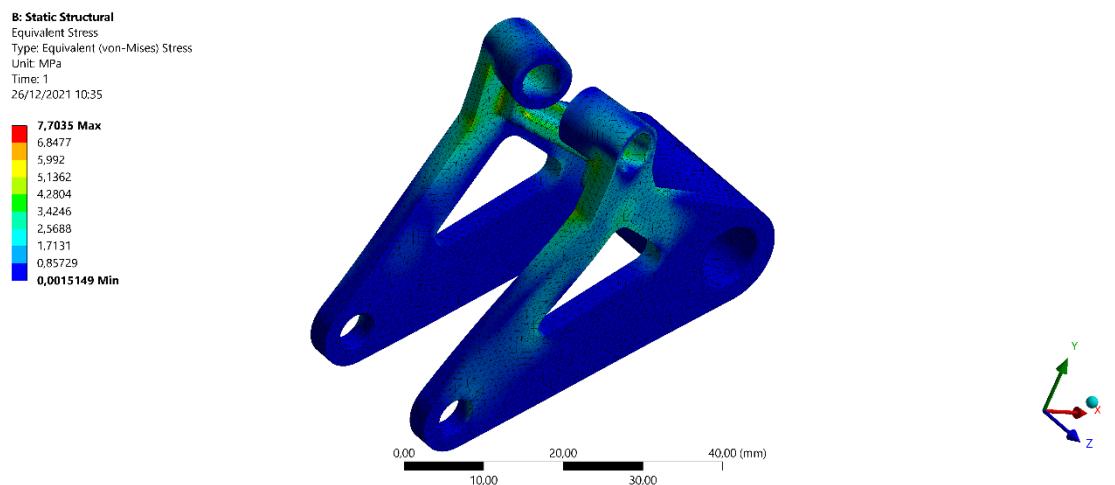


Figura B.11. Tensiones equivalentes de Von-Misses.

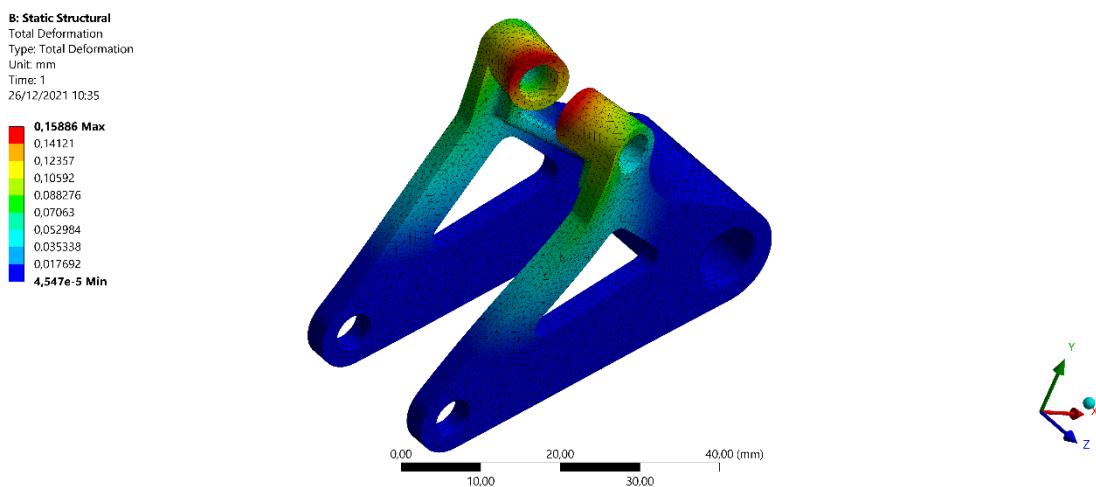


Figura B.12. Deformaciones totales.

Se extrae de las imágenes que las deformaciones y tensiones están en valores pequeños y acotados. Además, cabe destacar que las deformaciones se concentran en la zona superior, debidas principalmente a que la aplicación de la fuerza del muelle se ha supuesto en la zona central de la pieza. En la realidad, debido a que lleva un eje en esa zona la fuerza posiblemente se distribuya mejor y las deformaciones reales sean de menor magnitud.

### B.3. Simulación de la palanca del tensor

En el presente apartado se va a realizar un estudio mediante el software ANSYS del comportamiento de la palanca del tensor bajo las condiciones habituales de trabajo. Para ello se ha establecido una condición de apoyo fijo en el centro del cilindro debido a que es donde está alojado el eje que va anclado al bastidor. Para simplificar los cálculos, los otros elementos presentes en el subconjunto como los cojinetes o el eje de la rueda no se han incluido en el modelo y, debido a la holgura presente entre ellos con esta pieza que se analiza en cuestión no se ha añadido ningún contacto adicional. Con respecto a las cargas, se tiene por tanto dos fuerzas bien diferenciadas. Por un lado, la resultante vertical de la oruga se ha modelado como una fuerza puntual de valor 2N que actúa sobre el centro de la rueda, por lo que sobre el modelo se ha situado justo en el centro de las orejetas con una dirección vertical negativa. En lo respectivo a la otra fuerza, es la reacción del muelle sobre la palanca donde de acuerdo con los cálculos mostrados ésta toma un valor de 4N en dirección vertical positiva. Dicha carga se ha modelado como una fuerza puntual sobre el plano medio del cilindro hueco donde se aloja el resorte de torsión. Bajo estas consideraciones, se tienen los resultados de tensiones y deformaciones que se observan en la Figura B.13 y la Figura B.14.

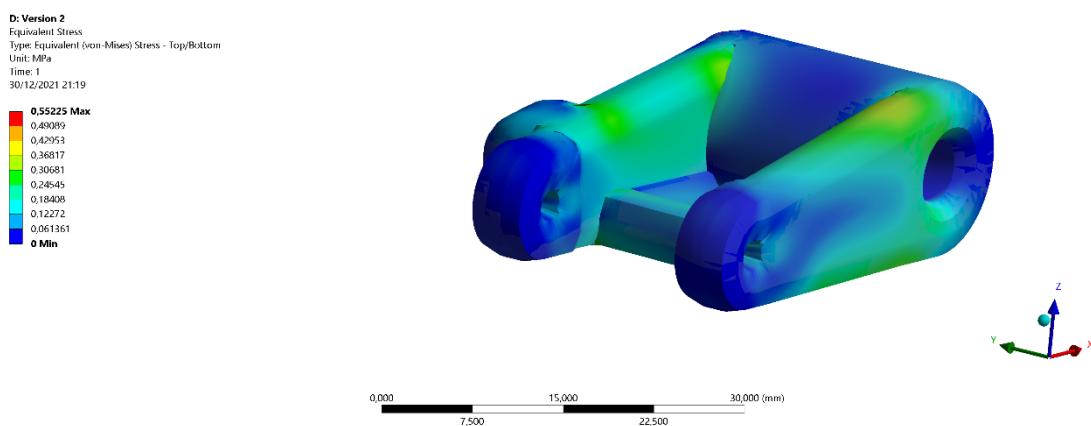


Figura B.13 Tensiones equivalentes de Von-Misses.

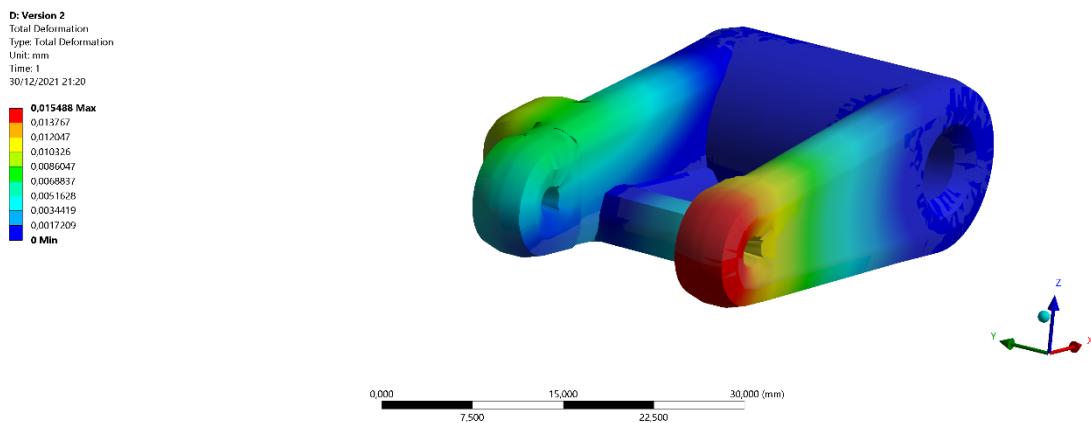


Figura B.14 Deformaciones totales.

De ambas figuras se observa como tanto los análisis de tensiones como deformaciones muestran unos resultados muy satisfactorios debido principalmente a los bajos esfuerzos a los que la pieza mostrada está sometida. Se considera relevante mencionar que el diseño de la palanca se ha realizado en base a las consideraciones propias de la fabricación por inyección de plástico, donde ya de por sí un espesor mínimo de 3 mm a lo largo de toda la pieza con nervios de refuerzo ya generan una solución robusta o donde incluso los redondeos reducen las posibles zonas que actúen como concentradores de tensión.

# ANEXO C. PLANOS.

## C.1. Análisis del bastidor

El análisis de modelo es el primer paso a la hora de analizar la validez del diseño, ya que nos permitir saber si es el diseño es viable y si habrá zonas que serán conflictivas. Al realizar este primer paso, se puede observar que el modelo (Figura 1) tiene 99% de zonas que tienen una alta idoneidad, un 0.32% tienen una idoneidad media y tan solo un 0.66% tiene una idoneidad baja, encontrándose estas zonas en los apoyos del motor nema. Teniendo en cuenta los resultados del análisis, se puede considerar un modelo con una alta idoneidad.



Figura C.15. Idoneidad del modelo del bastidor

El resultado de la predicción de calidad estima la calidad esperada del aspecto de la pieza y sus propiedades mecánicas. Este resultado se deriva de la presión, la temperatura y otros resultados. En el caso del bastidor, se puede considerar que tendrá una alta calidad, ya que el 98.4% de la pieza se espera que tenga una buena calidad de acabado, un 0.69% tendrá una calidad media y tan solo un 0.92% tendrá una baja calidad.

Para analizar esta propiedad se han tomado capturas de pantalla de la parte de arriba del bastidor (Figura 2) como de la parte inferior (Figura 3). En las imágenes se puede volver a observar que las zonas con menos calidad serán las mismas en las que el estudio del model suitability daba zonas conflictivas, es decir, en las sujeciones de los nema, tanto por la parte de arriba, como por la parte de abajo.

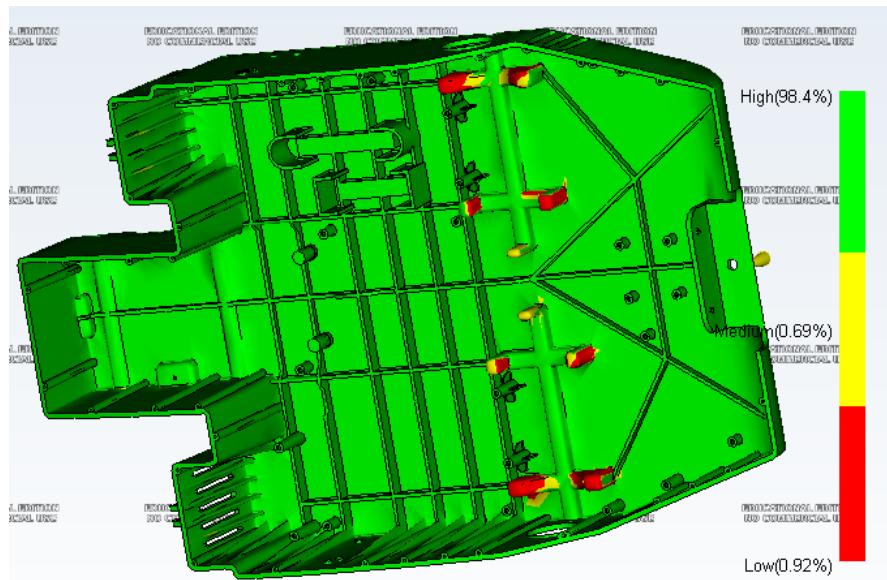


Figura C.16. Predicción de calidad del bastidor (parte de arriba)

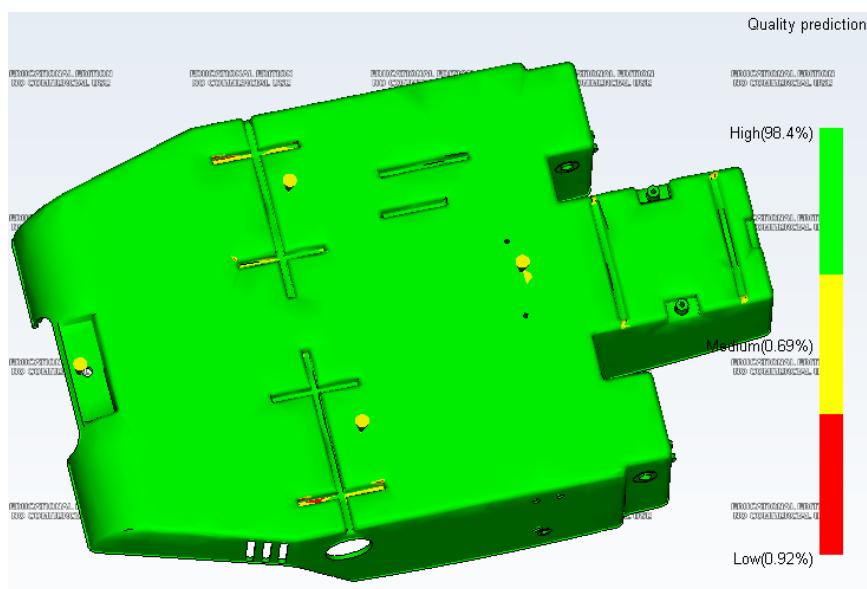


Figura C.17. Predicción de calidad del bastidor (parte de abajo)

Por último, se realizó un estudio para encontrar los rechupes o sink marks (Figura 4). Los rechupes son cavidades indeseadas que se producen a veces en una pieza moldeada o colada a partir de una materia líquida, como consecuencia de su contracción en la solidificación.

Los rechupes tienden a aparecer en zonas en las que se producen cambio de espesor, como puede ser la base de los nervios o las bases de los resalte de montaje. En el caso de la tapa de la carcasa, la mayor

fuente de rechupes (en cuanto a profundidad de estos) es la zona de los resalte de montaje. Esto es debido a que es donde se produce la mayor acumulación de material, siendo de todas formas casi despreciables los rechupes que aparecen. En el caso del modelo, se observan zonas sobre todo en la parte inferior, que coinciden con las zonas en las que están colocados los nervios. No obstante, no revisten importancia, ya que no se observan zonas anaranjadas, es decir que los rechupes no superan 0.1 mm.

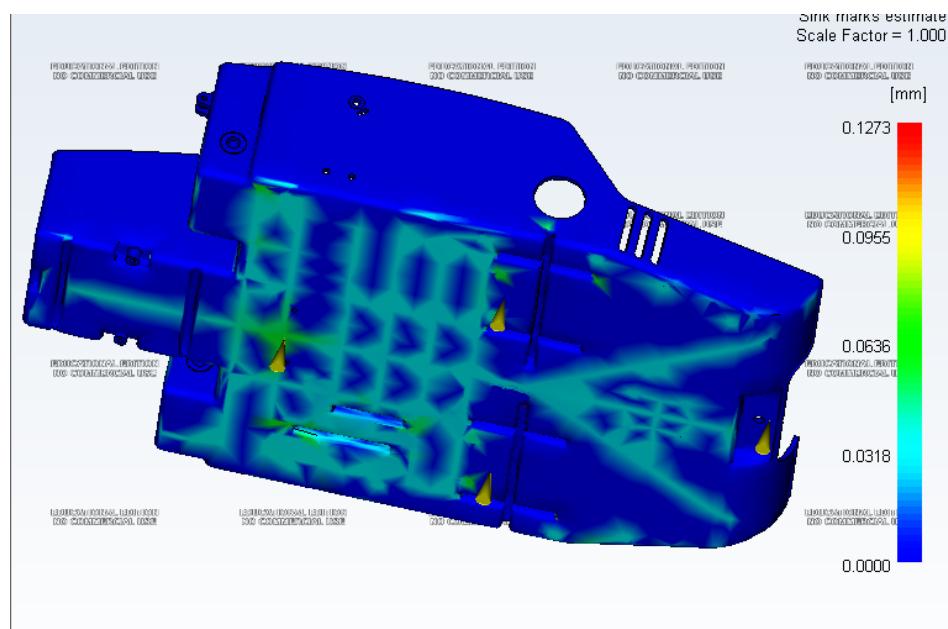


Figura C.18. Rechupes del bastidor

## C.2. Análisis de la tapa del bastidor

En el caso de la rapa del bastidor, habría una idoneidad de modelo del 99.9%, es decir, tan solo un 0.06% del modelo tendría una idoneidad media, tal y como se puede observar en la Figura 5, encontrándose estas zonas en las orejetas que sujetan la tapa del M5Stack. Por tanto, se puede considerar que el modelo es idóneo para la inyección de plástico.

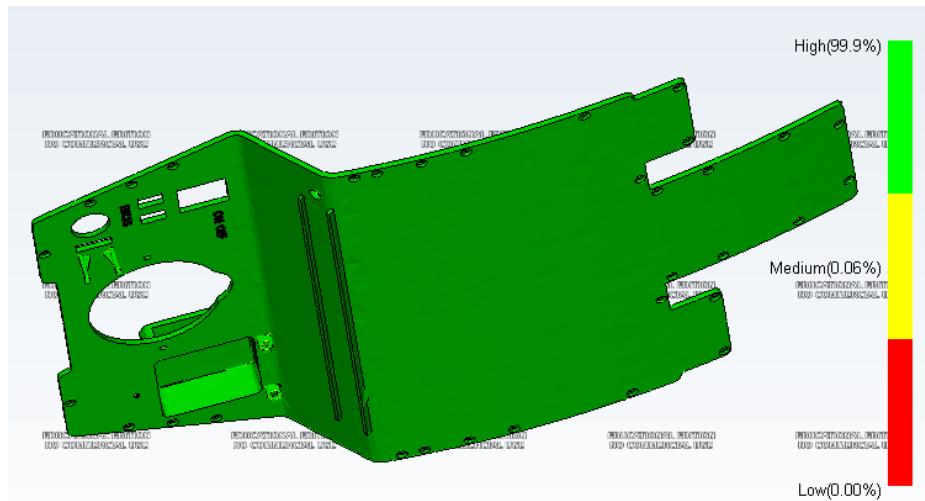


Figura C.19. Análisis de idoneidad del modelo de la tapa del bastidor

Con el estudio de predicción de la calidad del resultado del modelo (Figura 6) nos pasa algo similar, alcanzando en esta un 100% de alta calidad, es decir, que la predicción es que la pieza saldrá completa con la calidad deseada.

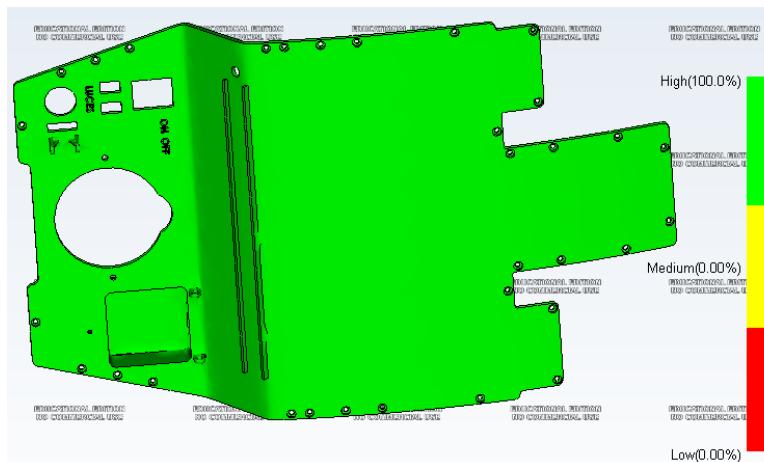


Figura C.20. Predicción de calidad de la tapa del bastidor

Una vez se han realizado las pruebas anteriores, se procede a comprobar los posibles rechupes (Figura 7 y Figura 8) que aparecerán en la pieza a la hora de realizarla mediante inyección. Se puede observar que la escala utilizada para la representación en el mapa de rechupes es muy pequeña, tan solo 0.0648 como máximo. Se observa que la mayor parte de los rechupes aparecen en zonas de curvatura y en las zonas de las orejetas, ya que no se ha nervado la pieza.

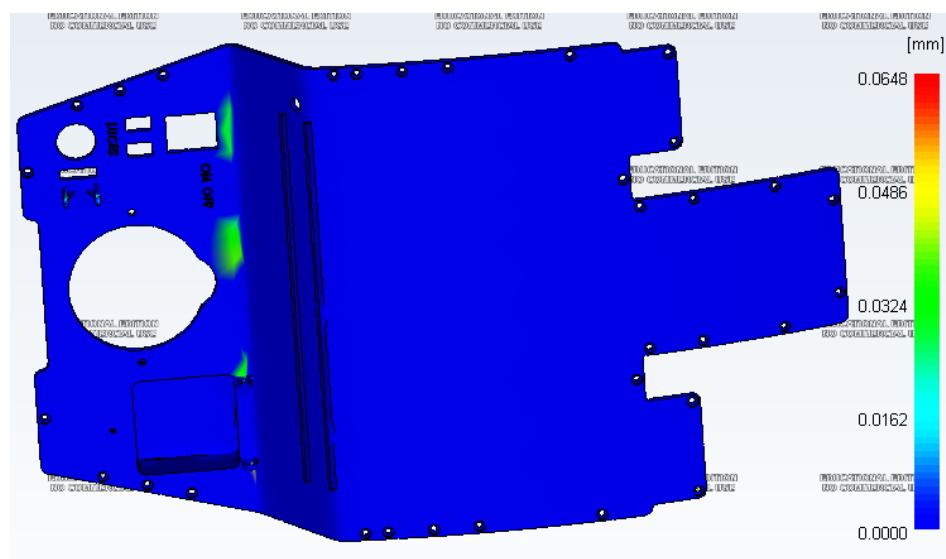


Figura C.21. Rechupes en la parte superior de la tapa del bastidor

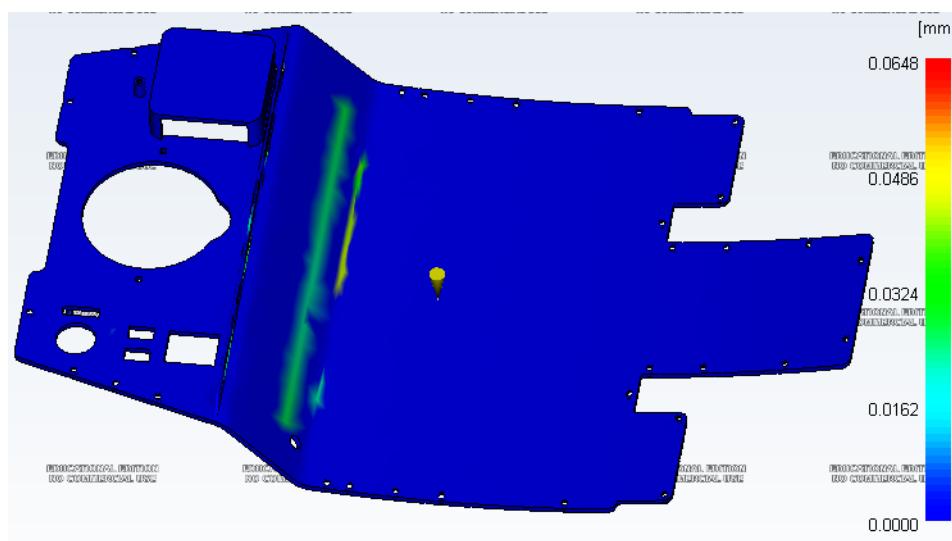


Figura C.22. Rechupes en la parte inferior de la tapa del bastidor

### C.3. Análisis abrazaderas motores Nema

En este caso se ha querido realizar un estudio de la complejidad del modelo con el que se va a trabajar. Este análisis nos permite saber la complejidad del modelo. Si se observa la Figura 9 (resultados del análisis de complejidad del modelo), se puede observar que tiene una baja complejidad (tan solo un 0.89% de alta complejidad), que se encuentra en las ranuras de vaciado de la pieza.

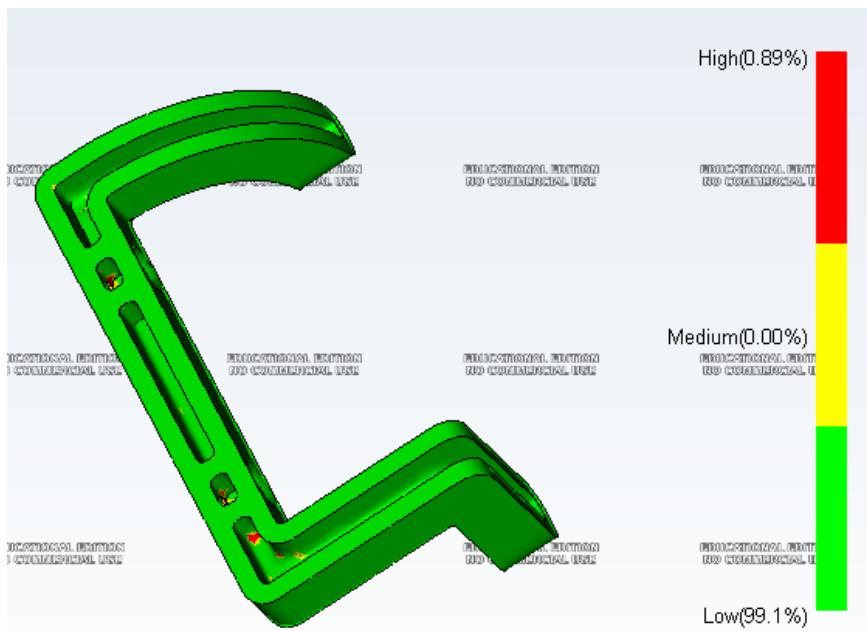


Figura C.23. Análisis de complejidad de las abrazaderas de los motores Nema

Tal y como se puede observar en la Figura 10, el modelo tendrá una calidad elevada (100% de calidad alta).

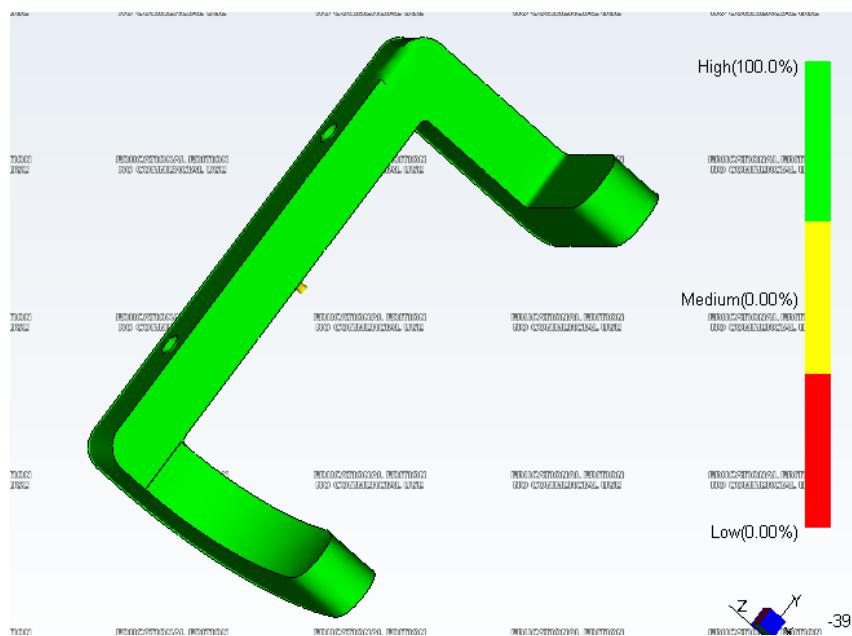


Figura C.24. Predicción e calidad de las abrazaderas de los motores Nema

En este caso (Figura 11) y debido a los redondeos internos de la pieza, que le dan una mayor rigidez a la pieza, se producen unos pequeños rechupes en algunas zonas coincidentes con estos. En la mayoría de

los casos no es nada significativo, ya que ronda los 0.1 mm, aunque en algunas zonas se aproxima a 0.13 mm. No obstante, debido a la naturaleza de la pieza (se trata únicamente de una pieza de soporte del motor, sin ningún tipo de función estética), se puede considerar adecuado el diseño, ya que los redondeos que posiblemente provocan los rechupes le aportan rigidez a la pieza.

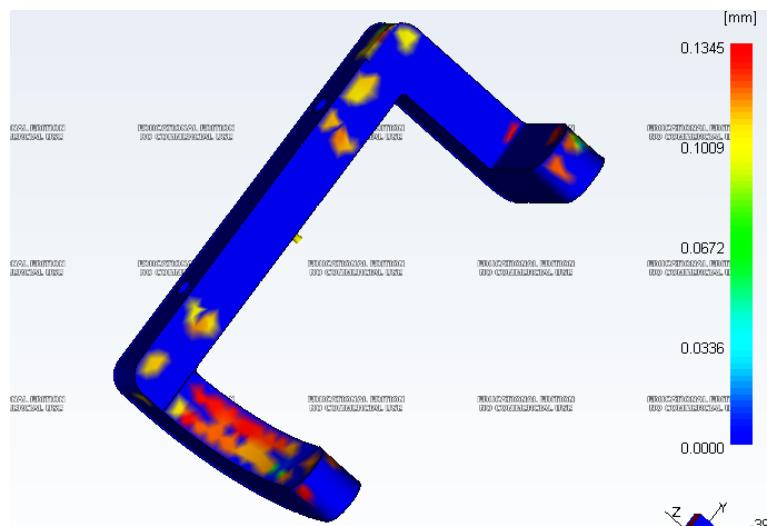


Figura C.25. Rechupes de las abrazaderas de los motores Nema

## C.4. Análisis de la base del Pan&Tilt

Para terminar, se realizó un estudio de la base del Pan&Tilt, pieza encargada de soportar la cámara y la cúpula protectora. A la hora de realizar el análisis de la idoneidad del modelo (Figura 12), se observa que, al igual que el resto de las piezas, tiene una alta idoneidad (99.7%) y unas zonas mínimas de idoneidad media (0.3%), es decir, que el diseño de la pieza es el idóneo para la fabricación mediante inyección de plástico.

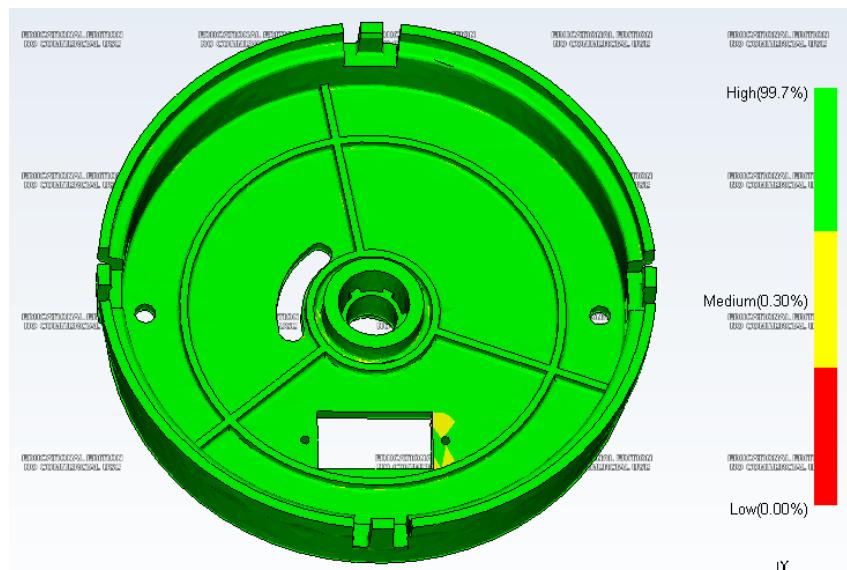


Figura C.26. Análisis de idoneidad de la base del movimiento Pan&amp;Tilt

Otro de los estudios realizados, al igual que en el resto de las piezas es el de la predicción de la calidad final de la pieza, estudio en el que arroja los resultados representado en el Figura 13. En esta imagen se observa que la pieza tendrá una alta calidad (99%), con la excepción de pequeñas zonas, como son los bordes de la pieza o la zona sobre la que se monta el servomotor del movimiento Pan, que tendrán una calidad media (0.95%).

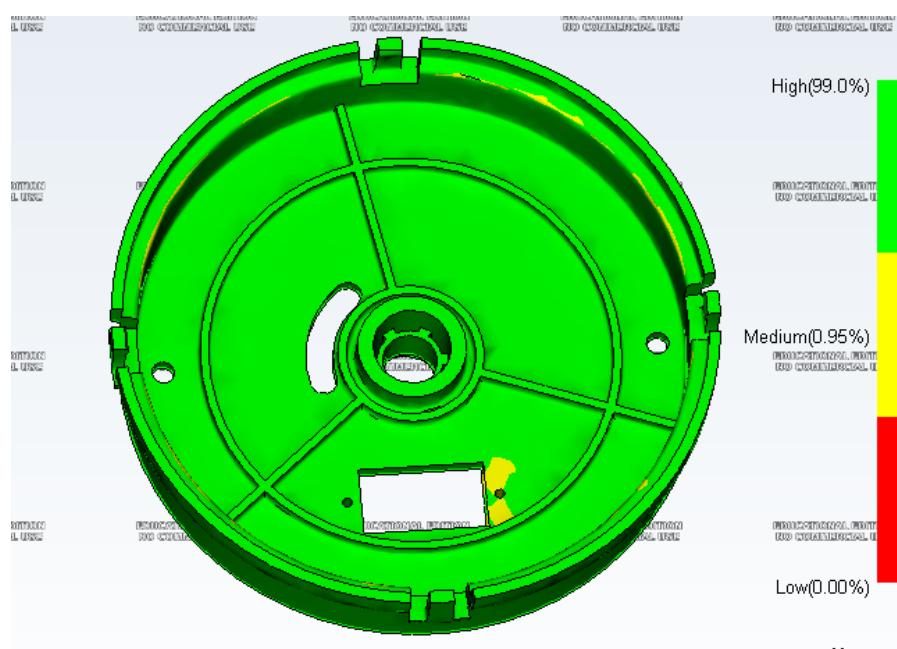


Figura C.27. predicción de calidad de la base del movimiento Pan&amp;Tilt

Finalmente, se realiza el estudio de los rechupes de la pieza (Figura 14 los rechupes en la zona superior de la base y Figura 15 los rechupes en la parte inferior), en el que se pueden ver unos rechupes significativamente pequeños (no llegando en la mayoría de los casos a 0.0811 mm) y que siguen un patrón similar a los encontrados en el bastidor, es decir, apareciendo estos en las zonas en las que se encuentra nervada la base. Además, también tiende a aparecer algún pequeño rechupe en las esquinas redondeadas, pero estos tienen unas dimensiones despreciables.

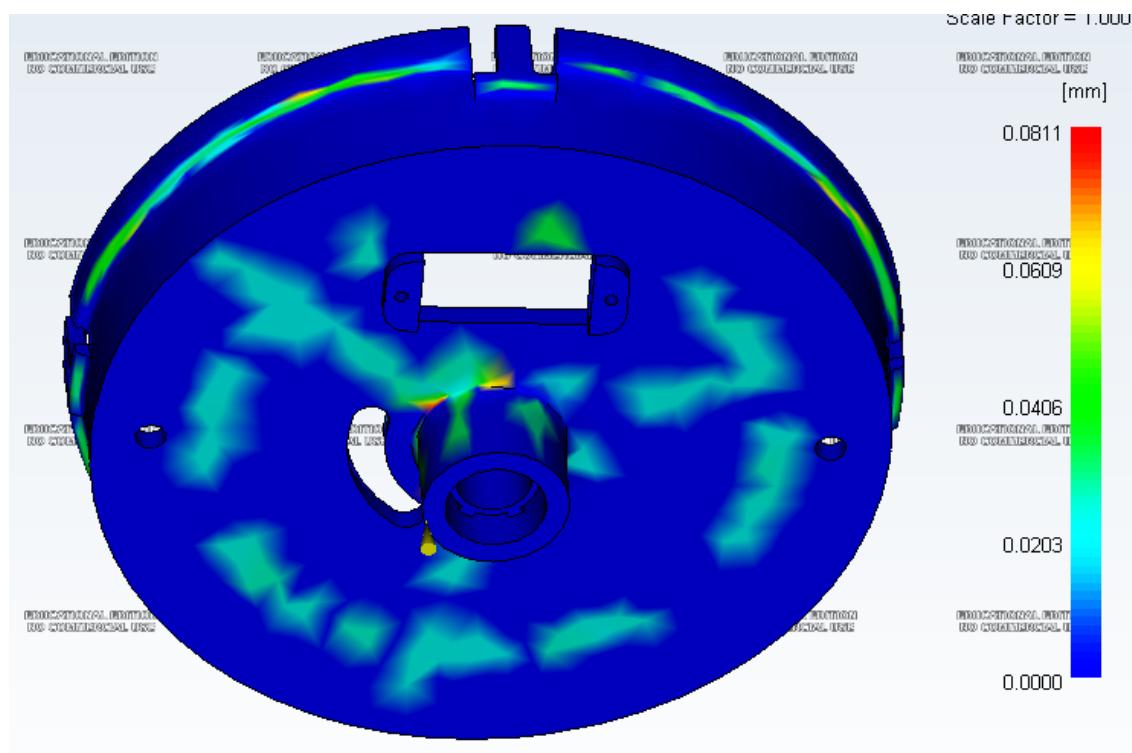


Figura C.28. Rechupes de la base del movimiento Pan&Tilt (Parte inferior)

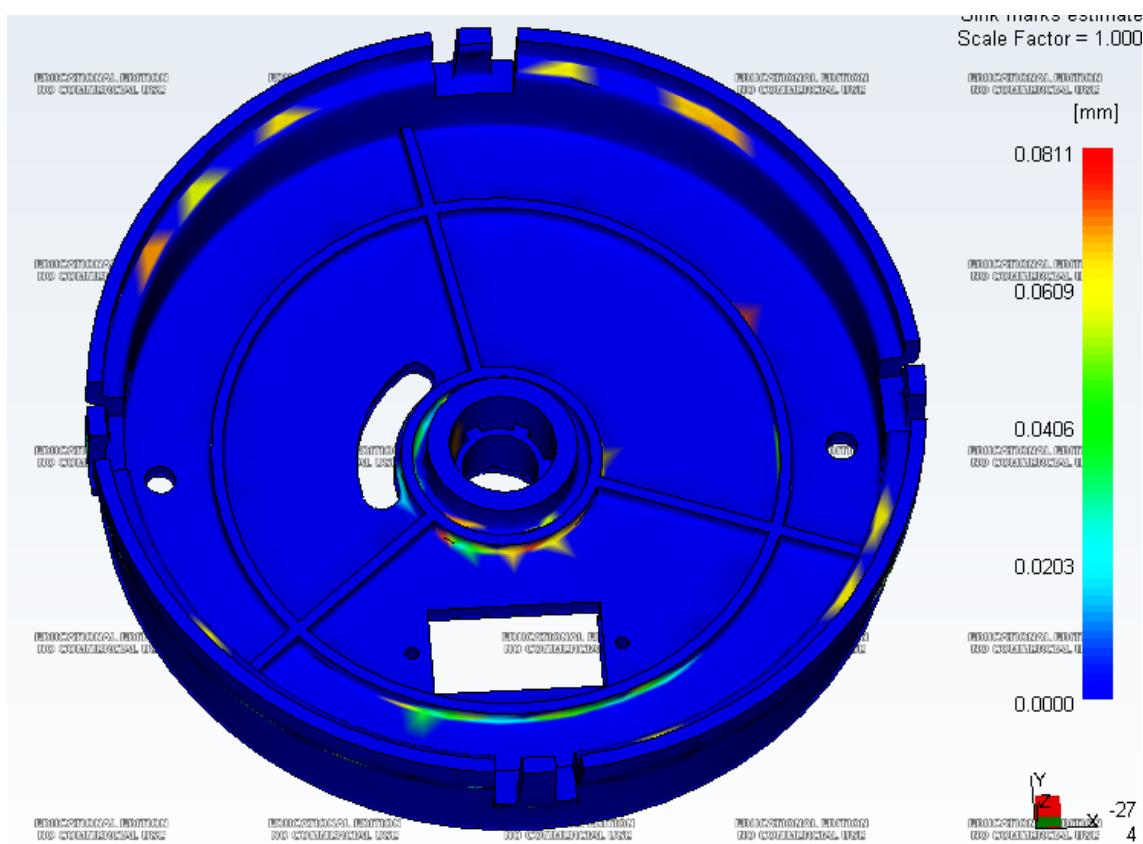


Figura C.29. Rechups de la base del movimiento Pan&amp;Tilt (Parte superior)

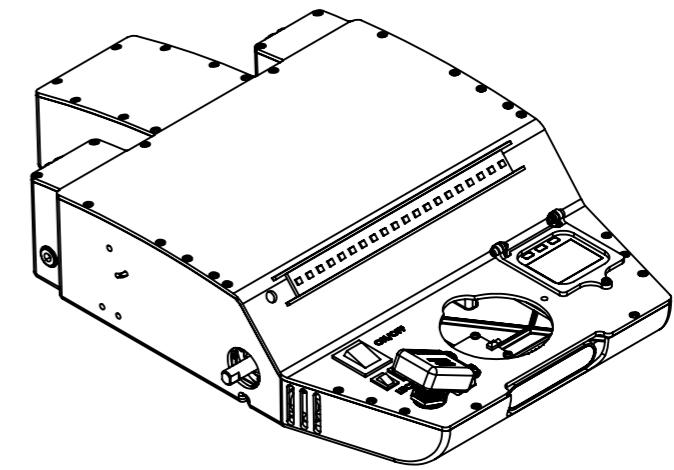
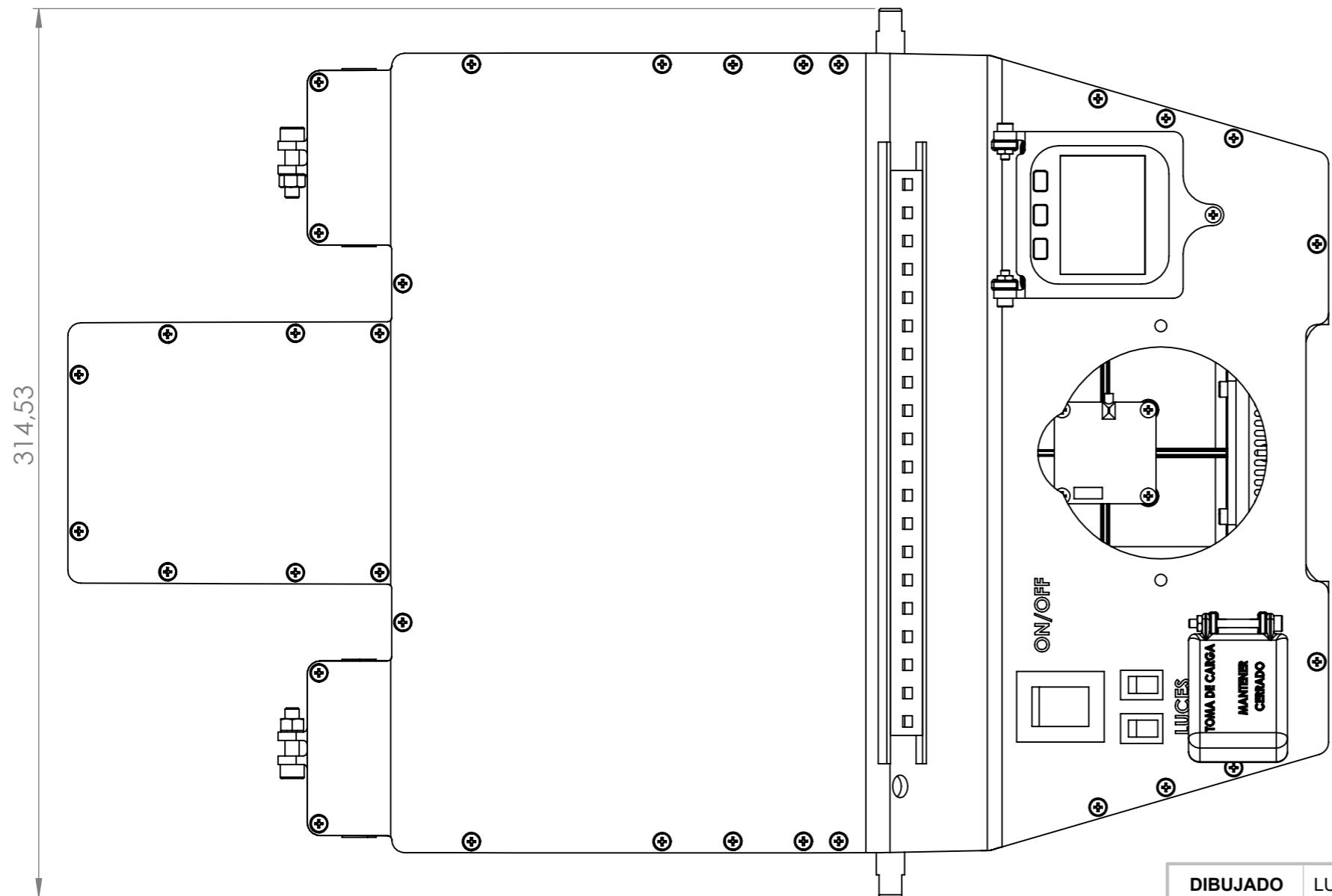
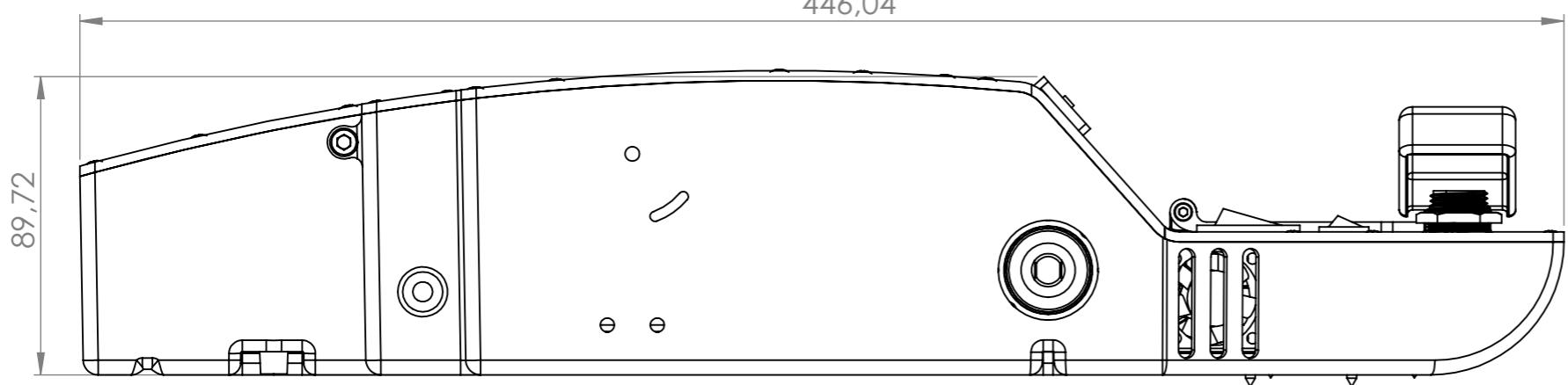
## ANEXO D. CRITERIO DE DISEÑO PCB

Siguiendo las recomendaciones dadas por el profesorado y teniendo en cuenta las limitaciones que existen a la hora de realizar las placas de circuito impreso en el laboratorio de la Universidad de Oviedo se muestra en la Tabla D.1 cuales serían las reglas de diseño empleadas tanto para las pistas generales como para las que se encargan de suministrar la potencia a distintas partes del circuito.

Tabla D.1. Reglas de Diseño para las pistas de la PCB expresado en milésimas de pulgada.

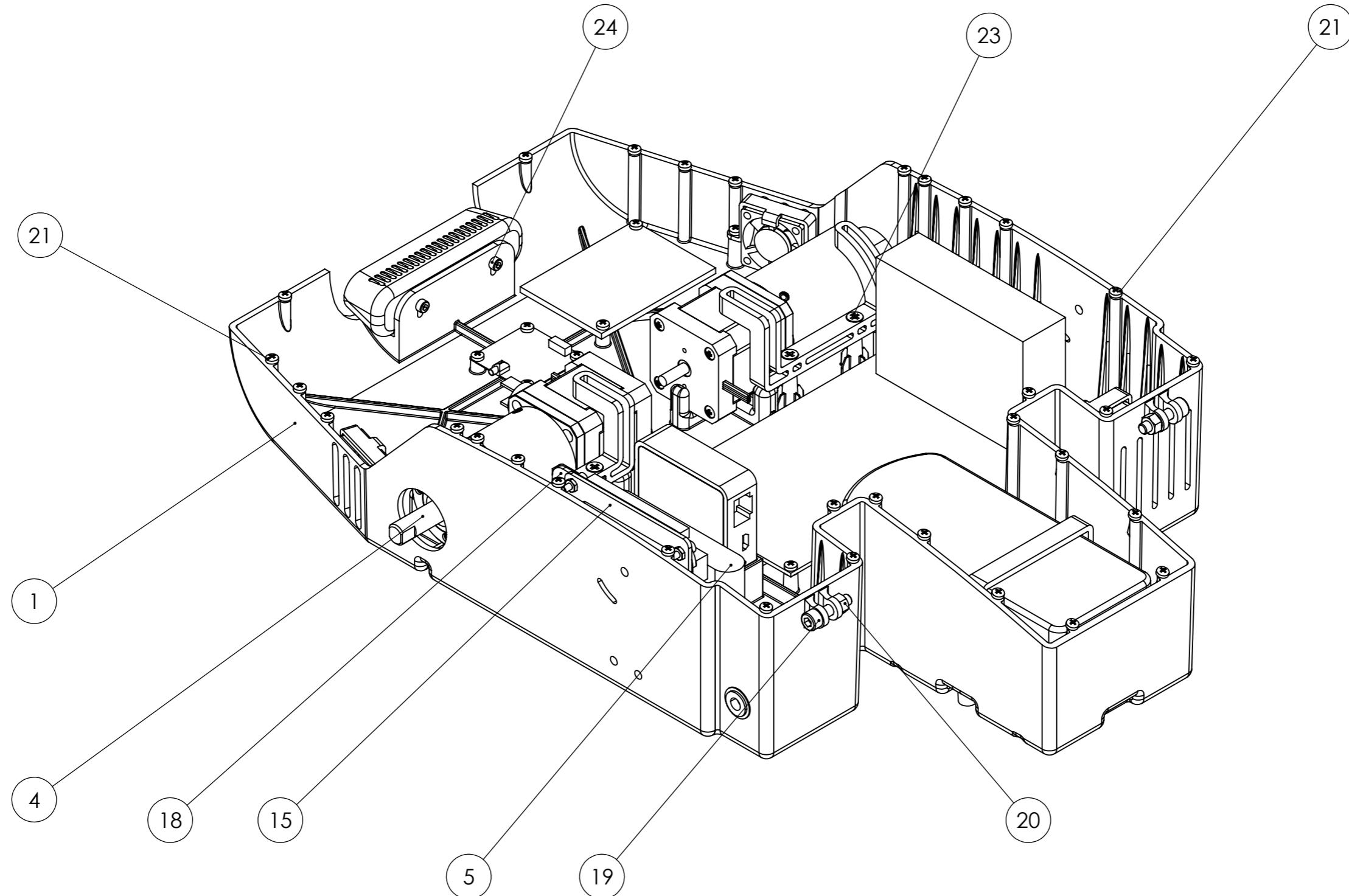
Regla	Ancho del Trazado	Espaciado	Diámetro de vía	Diámetro de Taladro
General	30	20	50	20
Potencia	50	25	70	20

Además de esas reglas de diseño también se han modificado los PADs de forma manual de todos los componentes para tratar de garantizar que el diámetro de taladro fuese como máximo de 20 milésimas de pulgada.



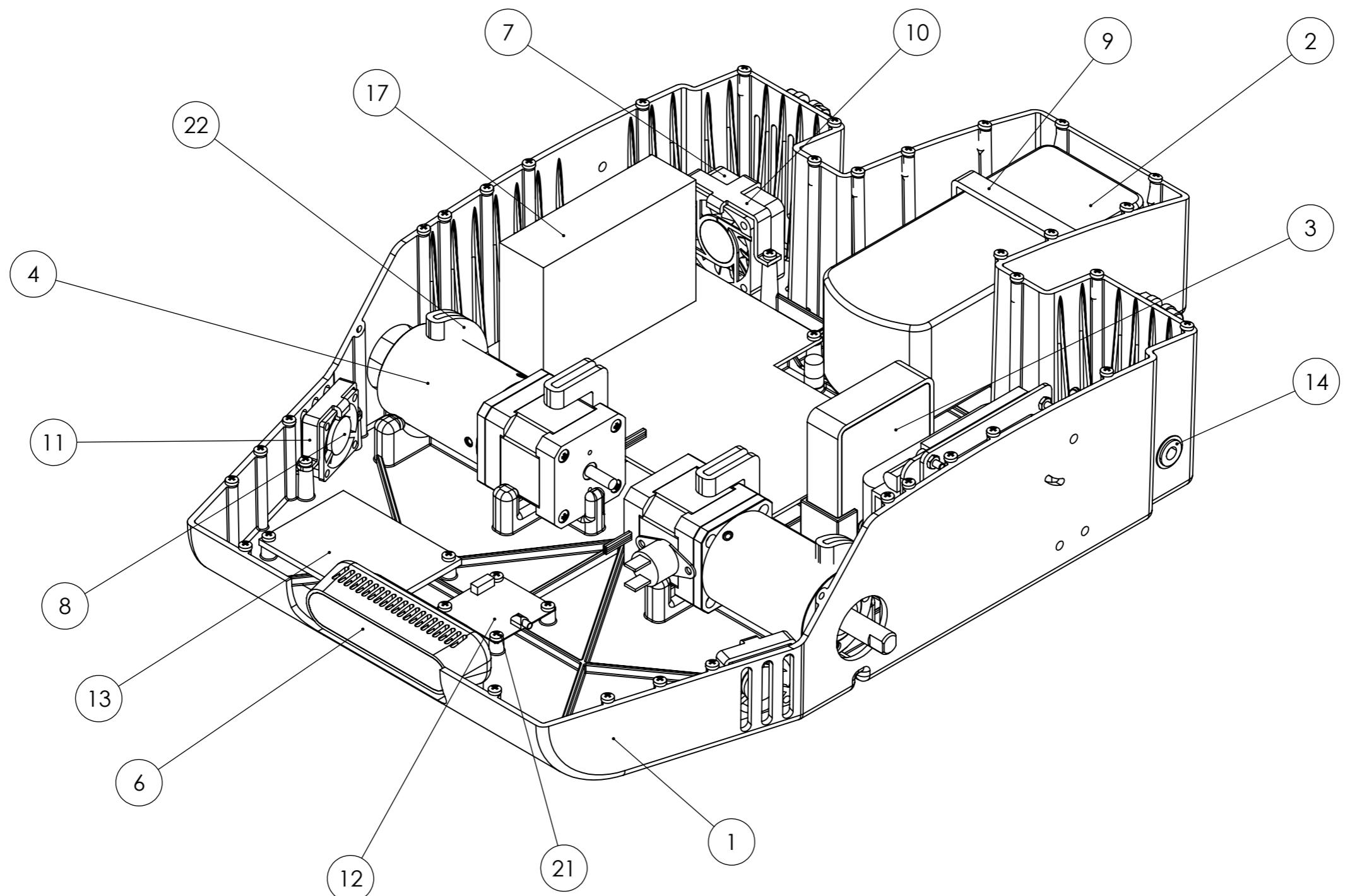
DIBUJADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ	Nº PLANO	Universidad de Oviedo
FECHA DIBUJ.	09/12/2021	RVR-01-FR-00-00-00	
REVISADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ		
FECHA REVIS.	09/12/2021	TIPO CONJUNTO	
ESCALA:	1:2		
ENSAMBLAJE BASTIDOR			MATERIAL --
			TOL. GEN. ISO 2768-mK
			CANTIDAD 1
			HOJA 1 de 5





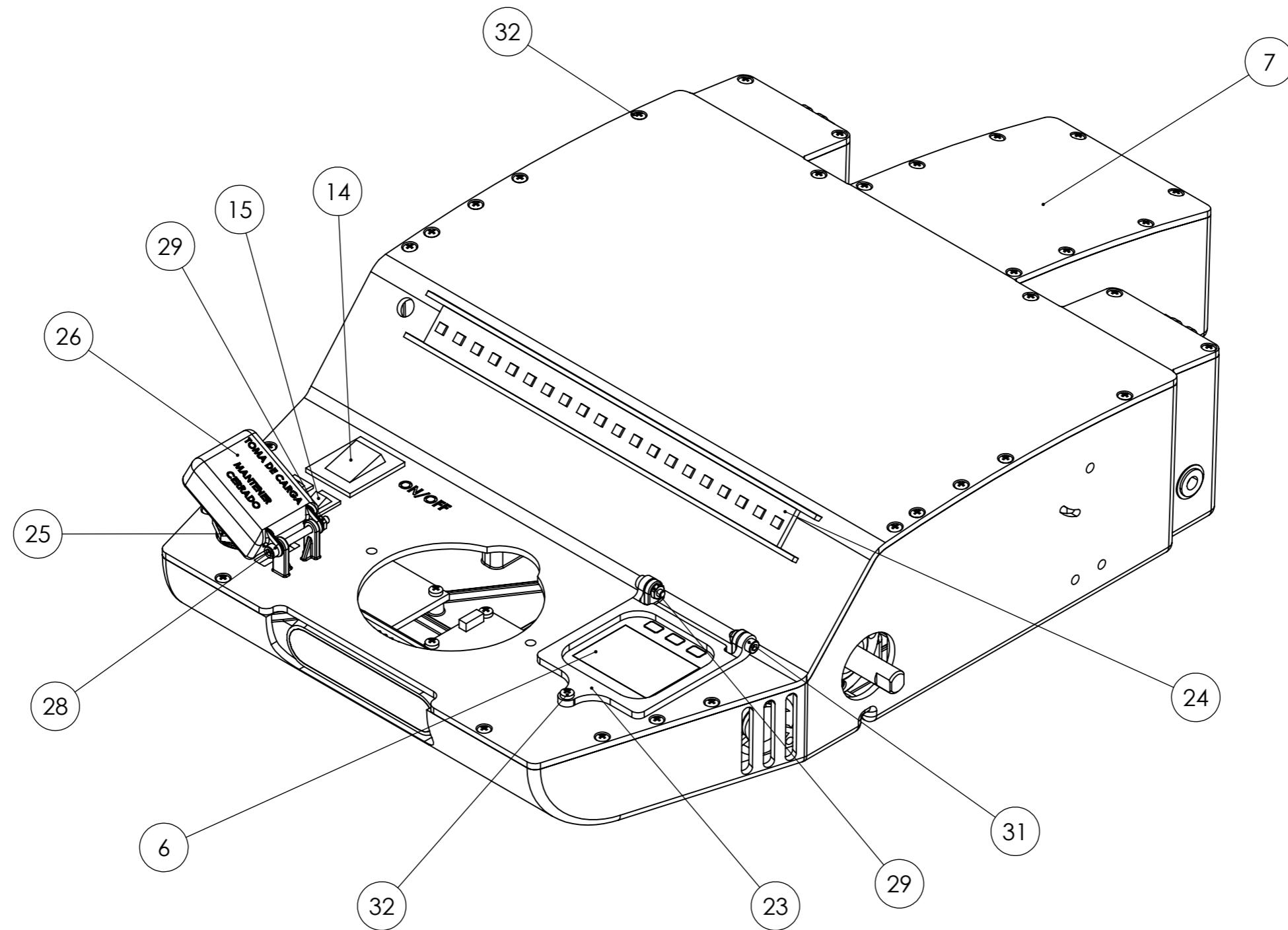
DIBUJADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ	Nº PLANO	Universidad de Oviedo
FECHA DIBUJ.	09/12/2021	RVR-01-FR-00-00-00	
REVISADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ		
FECHA REVIS.	09/12/2021	TIPO	CONJUNTO
ESCALA:	1:2		
ENSAMBLAJE BASTIDOR			MATERIAL
			--
			TOL. GEN.
			ISO 2768-mK
			CANTIDAD
			1
			HOJA
			2 de 5





DIBUJADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ	Nº PLANO	Universidad de Oviedo	
FECHA DIBUJ.	09/12/2021	RVR-01-FR-00-00-00		
REVISADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ			
FECHA REVIS.	09/12/2021	TIPO CONJUNTO		
ESCALA:	1:2 ENSAMBLAJE BASTIDOR			
MATERIAL	--			
TOL. GEN.	ISO 2768-mK			
CANTIDAD	1			
HOJA	3 de 5			





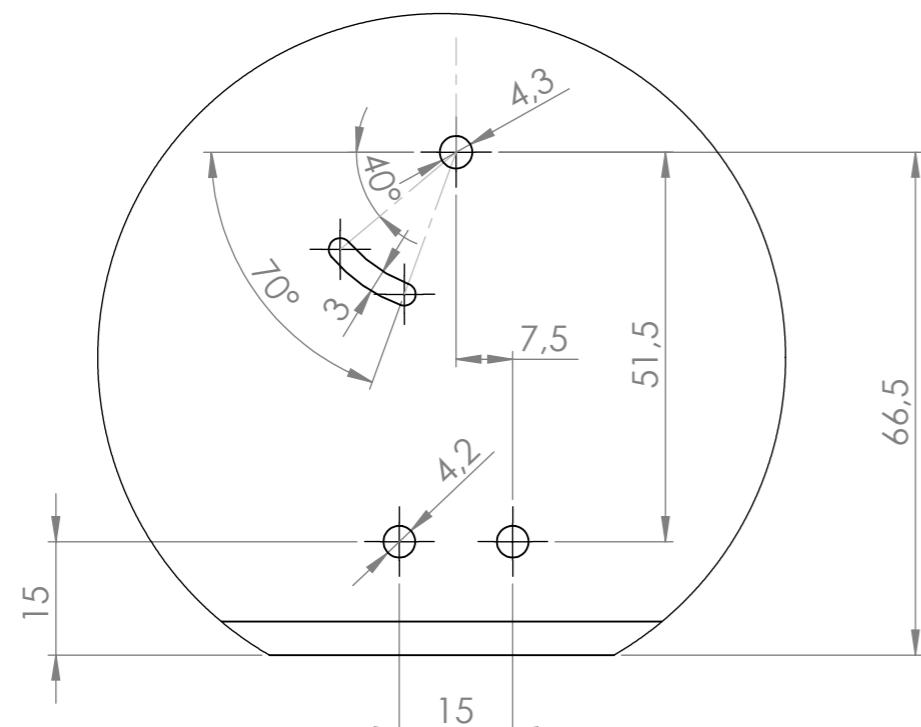
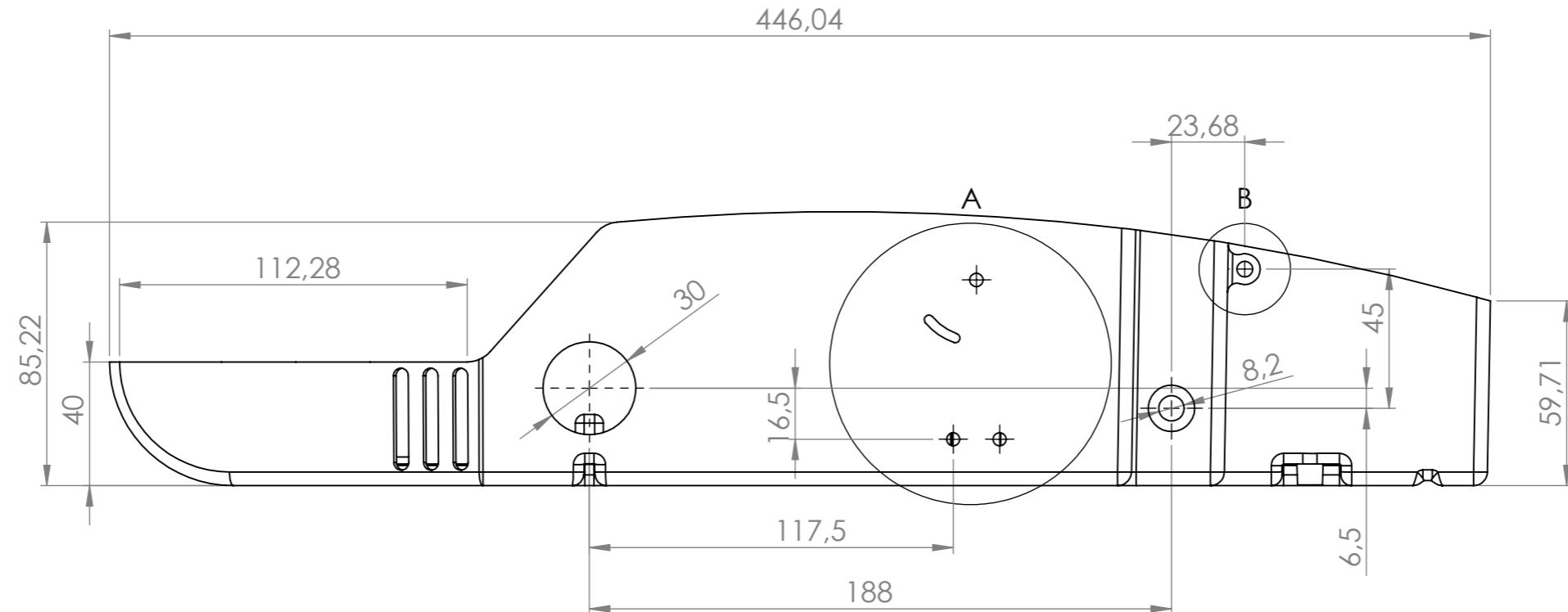
DIBUJADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ	Nº PLANO	Universidad de Oviedo
FECHA DIBUJ.	09/12/2021	RVR-01-FR-00-00-00	
REVISADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ		
FECHA REVIS.	09/12/2021	TIPO CONJUNTO	
ESCALA:	1:2 ENSAMBLAJE BASTIDOR		
MATERIAL	--		
TOL. GEN.	ISO 2768-mK		
CANTIDAD	1		
HOJA	4 de 5		



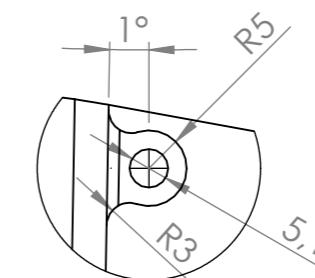
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PLANO	NOMBRE PIEZA	CANT.
1	RVR-01-FR-00-00-01	BASTIDOR	1
2	COMERCIAL	BATERIA	1
3	COMERCIAL	ROUTER WIFI	1
4	COMERCIAL	MOTORREDUCTOR	2
5	COMERCIAL	HUB USB	1
6	COMERCIAL	M5 STACK	1
7	RVR-01-FR-00-00-02	TAPA BASTIDOR	1
8	COMERCIAL	REAL SENSE	1
9	COMERCIAL	VENTILADOR 40X40	1
10	COMERCIAL	VENTILADOR 30X30	2
11	RVR-01-FR-00-00-07	ABRAZADERA BATERIA	1
12	RVR-01-FR-00-00-05	ABRAZADERA VENTILADOR 40X40	1
13	RVR-01-FR-00-00-04	ABRAZADERA VENTILADOR 30X30	2
14	COMERCIAL	INTERRUPTOR PRINCIPAL	1
15	COMERCIAL	INTERRUPTOR SECUNDARIO	2
16	COMERCIAL	VTX	1
17	FABRICACIÓN ELECTRÓNICA	PCB 12V	1
18	COMERCIAL	CASQUILLO VALONA 6/8	4
19	RVR-01-FR-00-00-09	SOPORTE BBB	1
20	RVR-01-FR-00-00-03	ABRAZADERA NEMA IZQUIERDA	1
21	FABRICACIÓN ELECTRÓNICA	PCB PRINCIPAL	1
22	COMERCIAL	BEAGLEBONE BLACK	1
23	RVR-01-FR-00-00-06	ABRAZADERA M5STACK	1
24	COMERCIAL	TIRO LED	1
25	COMERCIAL	CONECTOR DE CARGA	1
26	RVR-01-FR-00-00-10	TAPA CARGADOR	1
27	COMERCIAL	TORNILLO DIN 912 M5X20	2
28	COMERCIAL	TORNILLO DIN 912 M3X30	1
29	COMERCIAL	TUERCA DIN 934 M3	5
30	COMERCIAL	TUERCA DIN 934 M5	2
31	COMERCIAL	TORNILLO DIN 912 M3X10	6
32	COMERCIAL	TORNILLO DIN 4079 ST2.9X13	54
33	RVR-01-FR-00-00-08	ABRAZADERA NEMA DERECHA	1
34	COMERCIAL	TORNILLO DIN 7976 ST3.5X25	4
35	COMERCIAL	RELE TÉRMICO	1

DIBUJADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ	Nº PLANO		Universidad de Oviedo	
FECHA DIBUJ.	09/12/2021	RVR-01-FR-00-00-00			
REVISADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ				
FECHA REVIS.	09/12/2021	TIPO	CONJUNTO		
ESCALA:	1:2			MATERIAL --	
	ENSAMBLAJE BASTIDOR			TOL. GEN. ISO 2768-mK	
				CANTIDAD 1	
				HOJA 5 de 5	





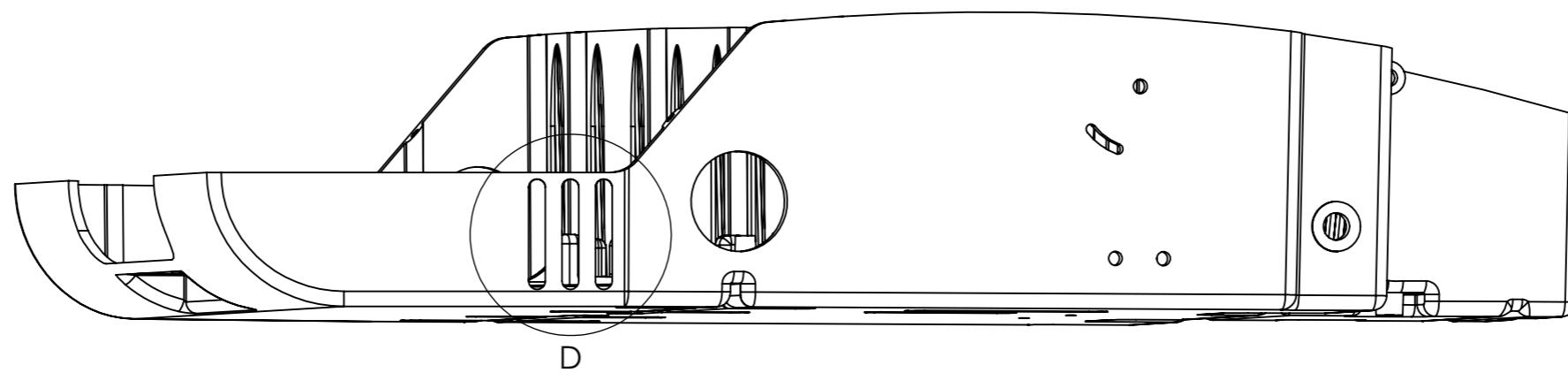
DETALLE A  
ESCALA 1 : 1



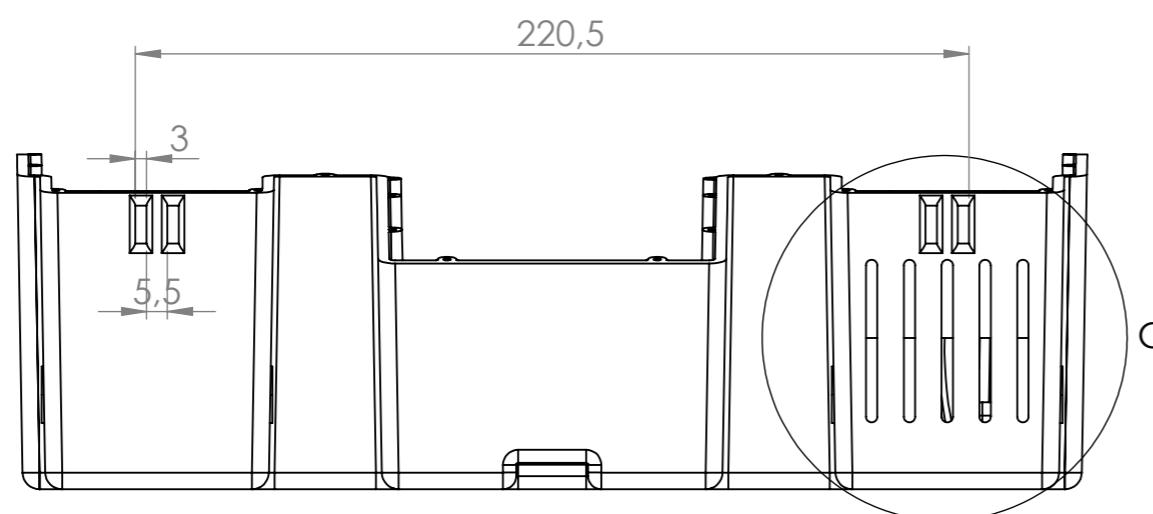
DETALLE B  
ESCALA 1 : 1

DIBUJADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ	Nº PLANO	Universidad de Oviedo				
FECHA DIBUJ.	09/12/2021	RVR-01-FR-00-00-01					
REVISADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ	TIPO	PIEZA				
FECHA REVIS.	09/12/2021	BASTIDOR					
ESCALA:	1:2						
MATERIAL	PLA						
TOL. GEN.	ISO 2768-mK						
CANTIDAD	1						
HOJA	1 de 4						

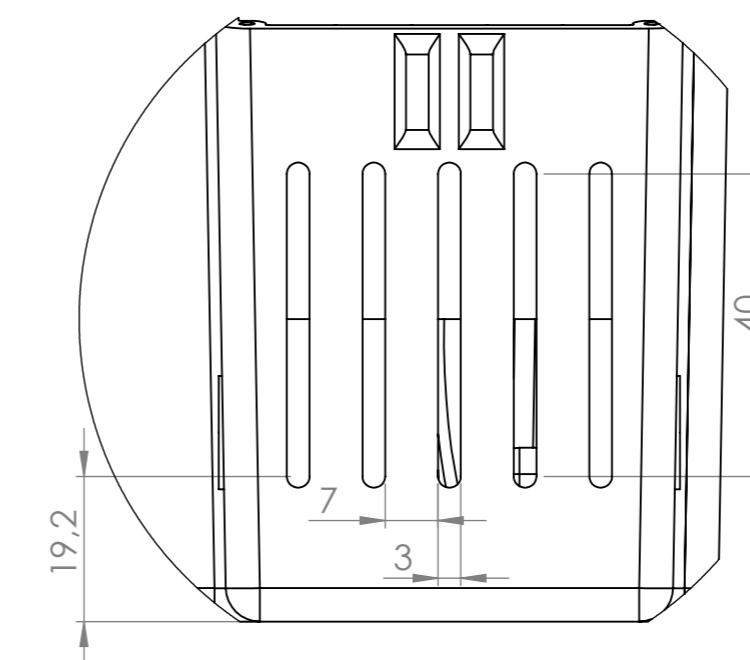




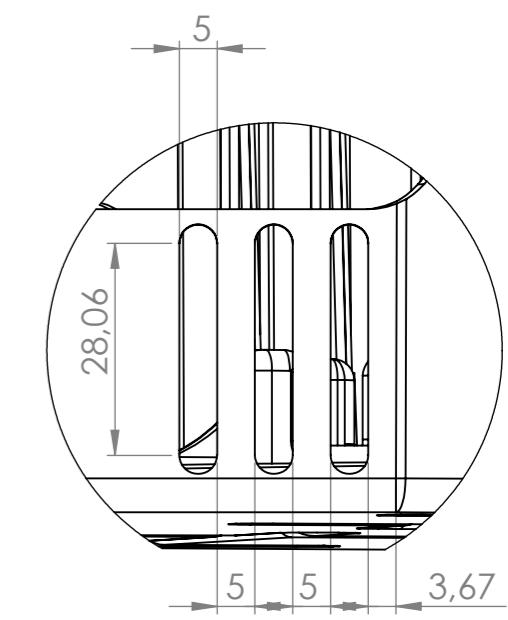
D



C



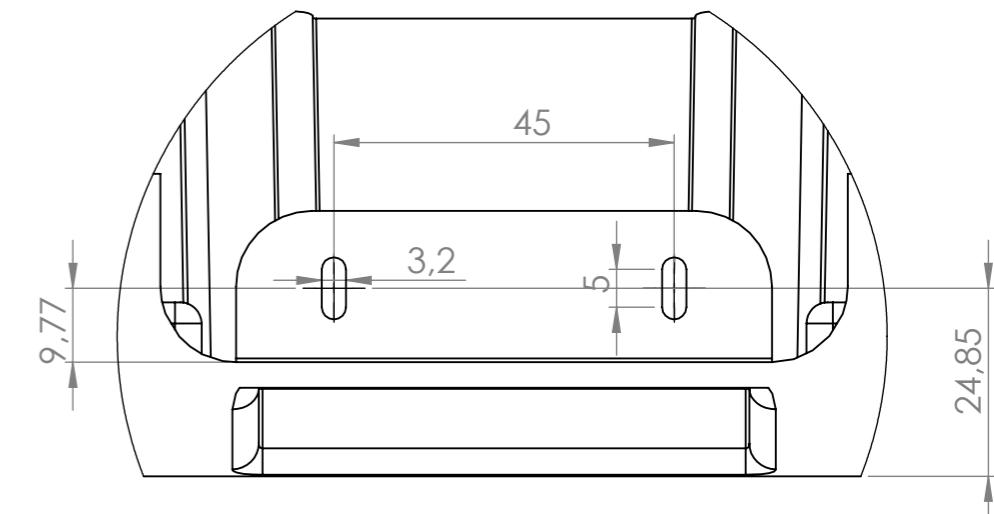
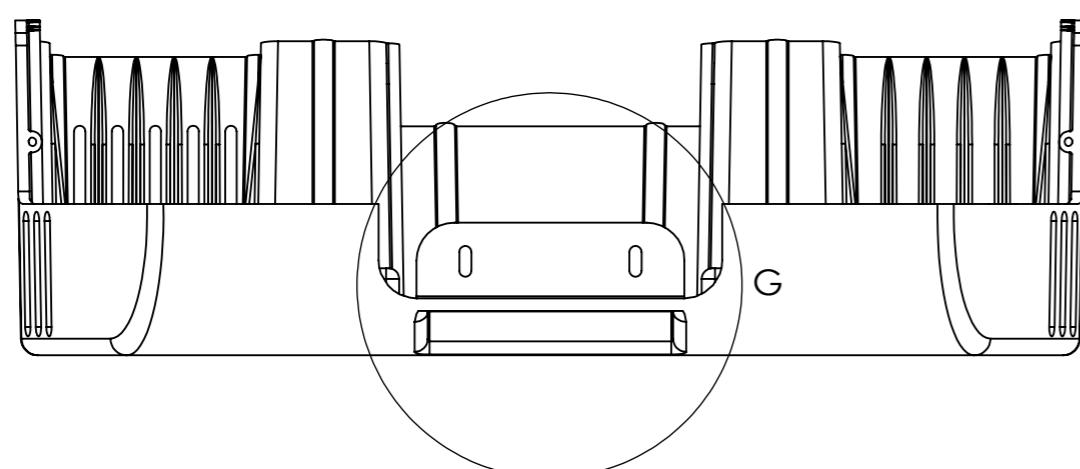
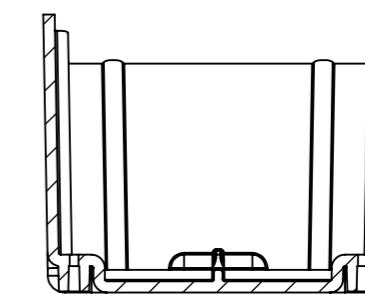
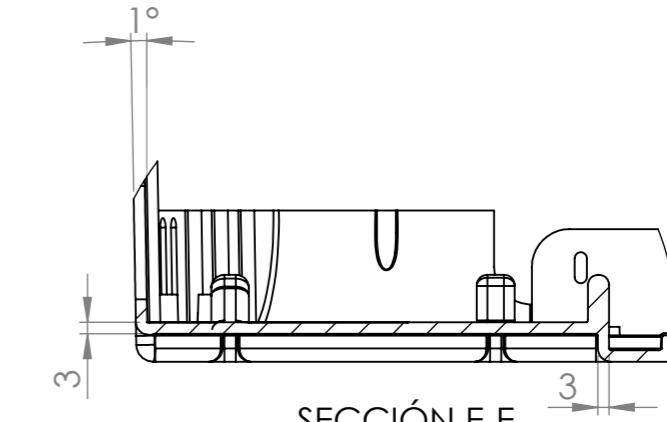
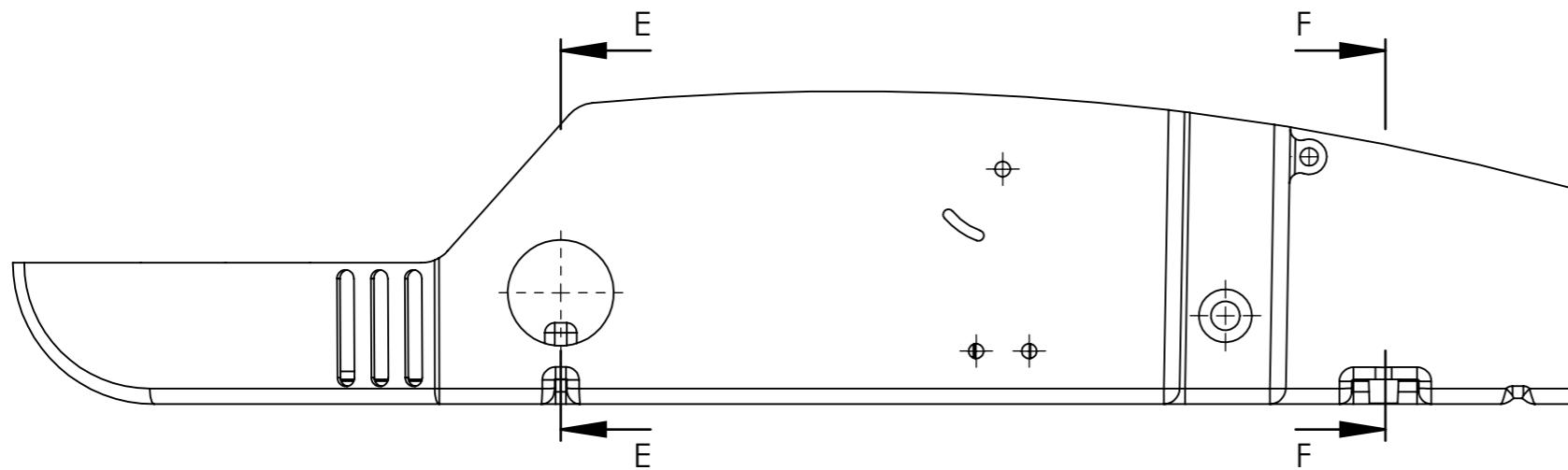
DETALLE C  
ESCALA 1 : 1



DETALLE D  
ESCALA 1 : 1

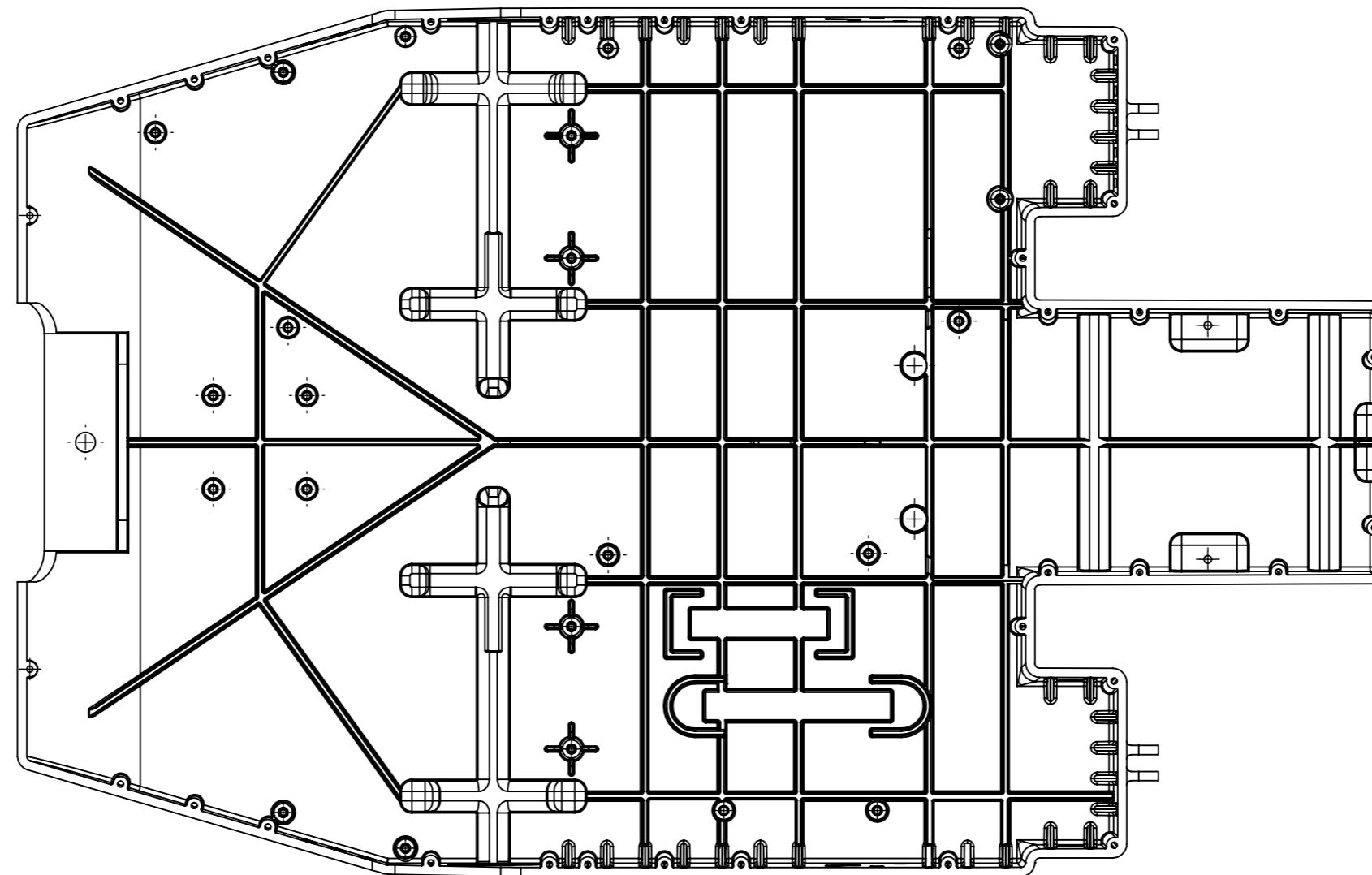
DIBUJADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ	Nº PLANO	Universidad de Oviedo	
FECHA DIBUJ.	09/12/2021	RVR-01-FR-00-00-01		
REVISADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ			
FECHA REVIS.	09/12/2021	TIPO   PIEZA		
ESCALA:	1:2			
	BASTIDOR			
MATERIAL	PLA			
TOL. GEN.	ISO 2768-mK			
CANTIDAD	1			
HOJA	2 de 4			





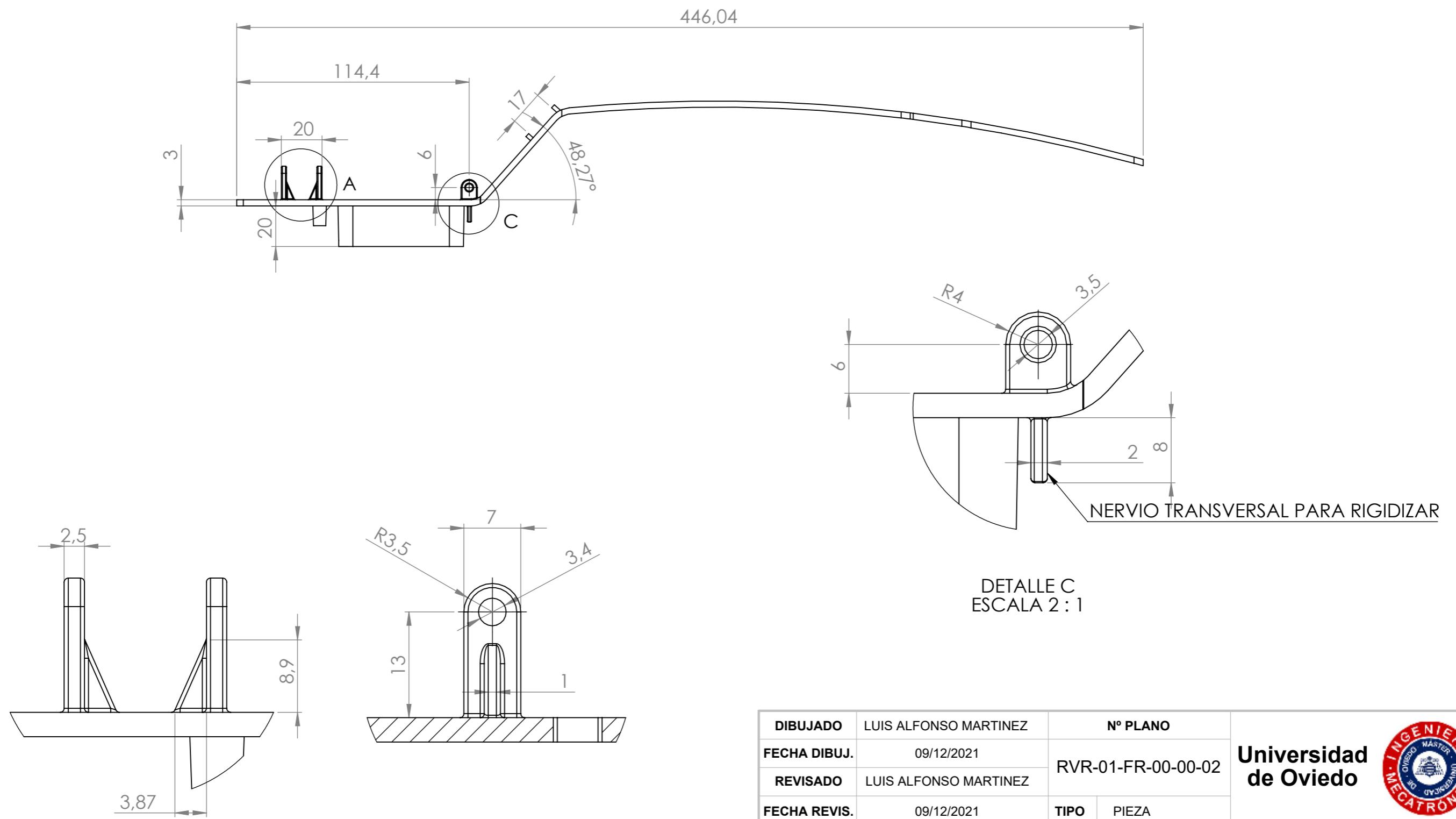
DIBUJADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ	Nº PLANO	DETALLE G	Universidad de Oviedo
FECHA DIBUJ.	09/12/2021	ESCALA	1 : 1	
REVISADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ	RVR-01-FR-00-00-01		
FECHA REVIS.	09/12/2021	TIPO	PIEZA	
ESCALA:	1:2			
BASTIDOR				MATERIAL
				PLA
				TOL. GEN.
				ISO 2768-mK
				CANTIDAD
				1
				HOJA
				3 de 4





DIBUJADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ	Nº PLANO	Universidad de Oviedo
FECHA DIBUJ.	09/12/2021	RVR-01-FR-00-00-01	
REVISADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ		
FECHA REVIS.	09/12/2021	TIPO	PIEZA
ESCALA:	BASTIDOR		
1:2			
MATERIAL	PLA		
TOL. GEN.	ISO 2768-mK		
CANTIDAD	1		
HOJA	4 de 4		

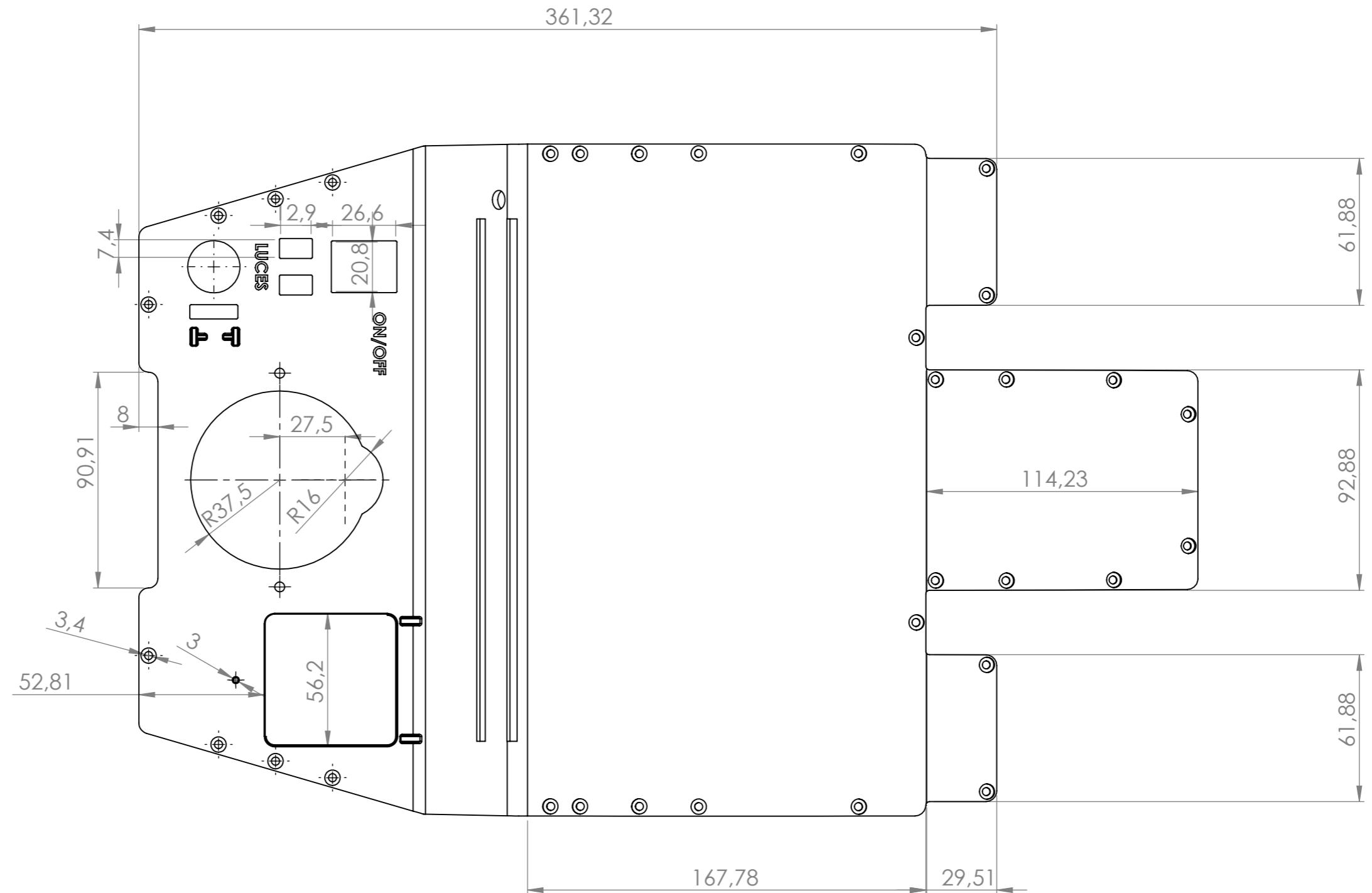




DIBUJADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ	Nº PLANO	Universidad de Oviedo
FECHA DIBUJ.	09/12/2021	RVR-01-FR-00-00-02	
REVISADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ		
FECHA REVIS.	09/12/2021	TIPO PIEZA	
ESCALA:	1:2		
MATERIAL	PLA		
TOL. GEN.	ISO 2768-mK		
CANTIDAD	1		
HOJA	1 de 2		

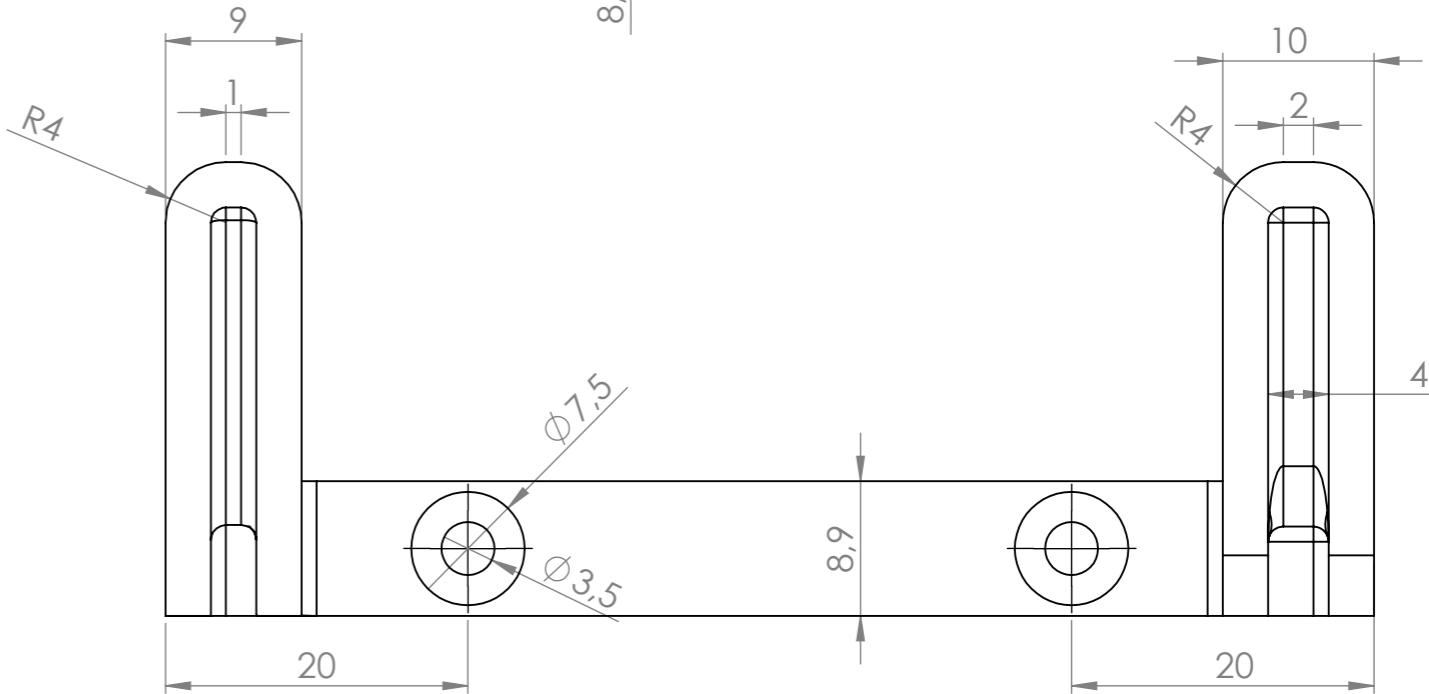
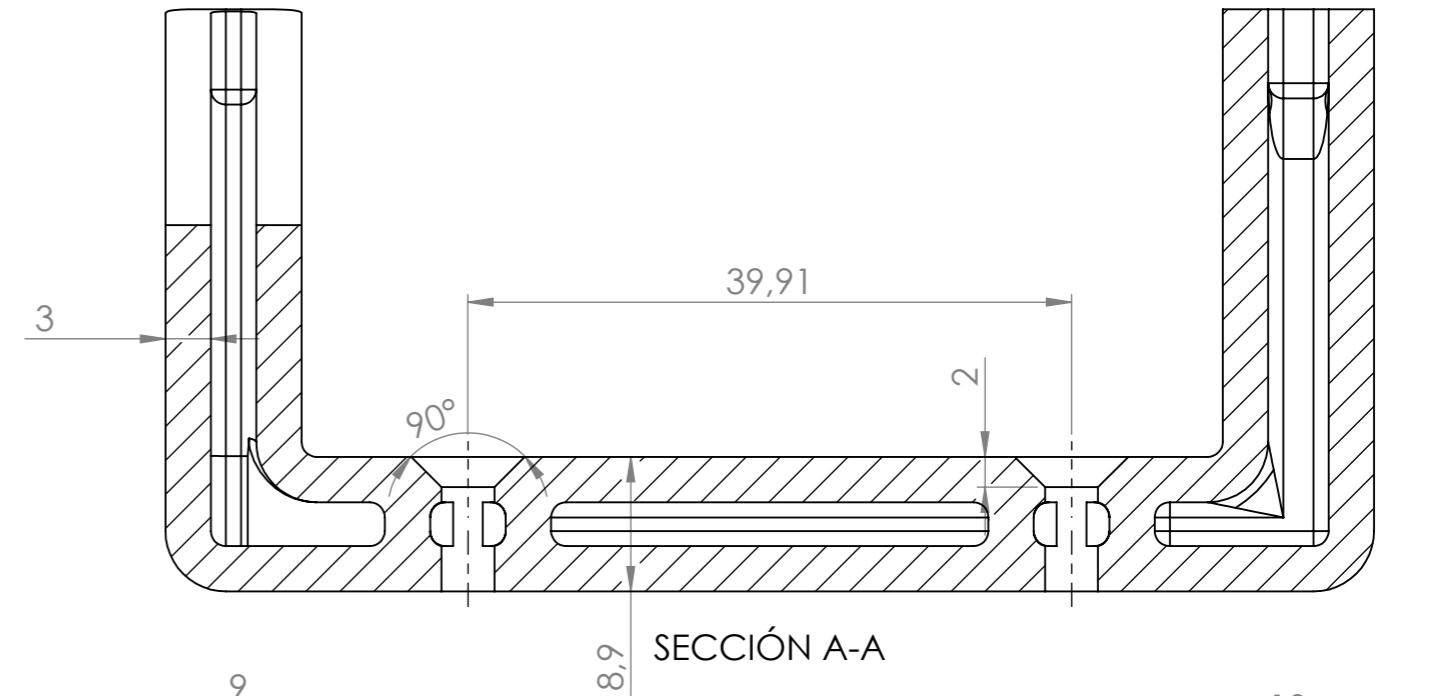
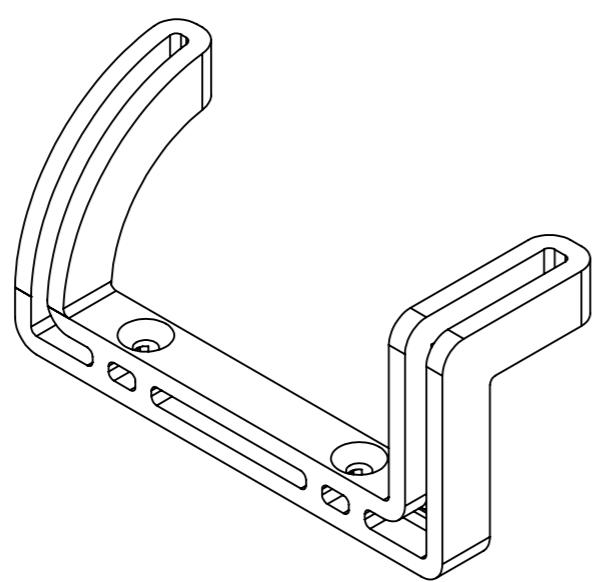
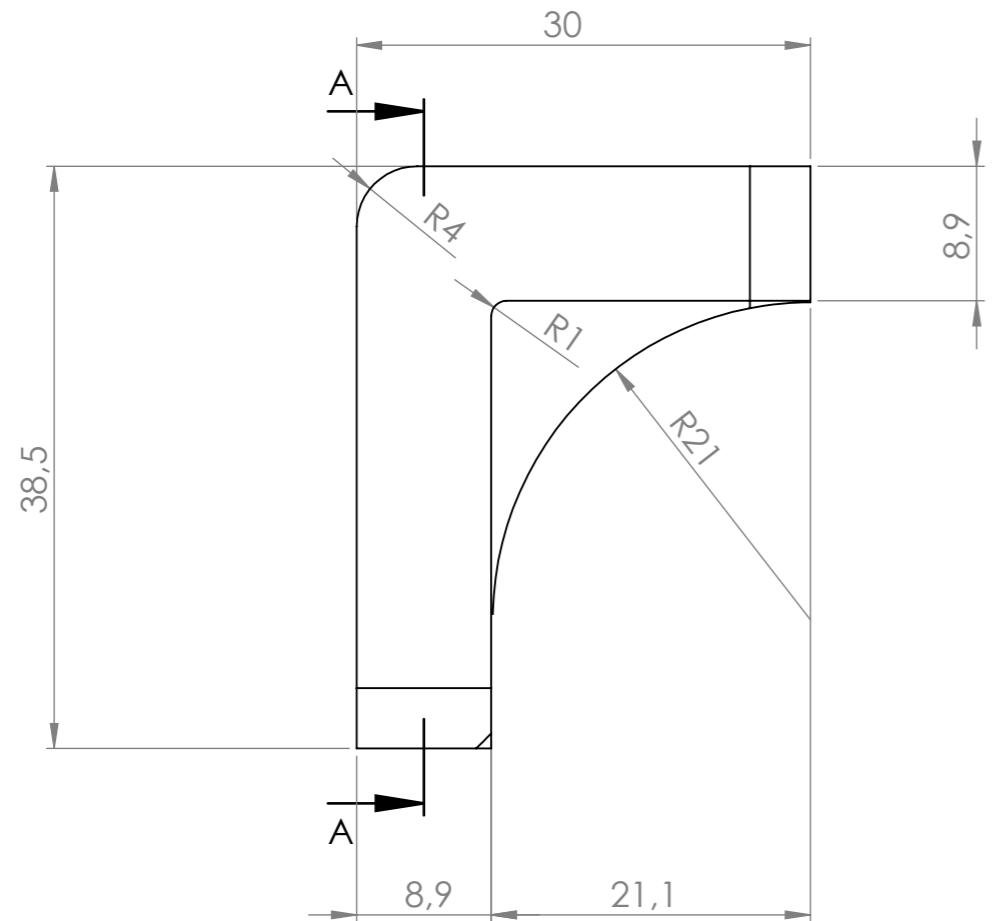
**TAPA BASTIDOR**





DIBUJADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ	Nº PLANO	Universidad de Oviedo	
FECHA DIBUJ.	09/12/2021	RVR-01-FR-00-00-02		
REVISADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ	TIPO		
FECHA REVIS.	09/12/2021	PIEZA		
ESCALA:	1:2			
TAPA BASTIDOR				MATERIAL PLA
				TOL. GEN. ISO 2768-mK
				CANTIDAD 1
				HOJA 2 de 2



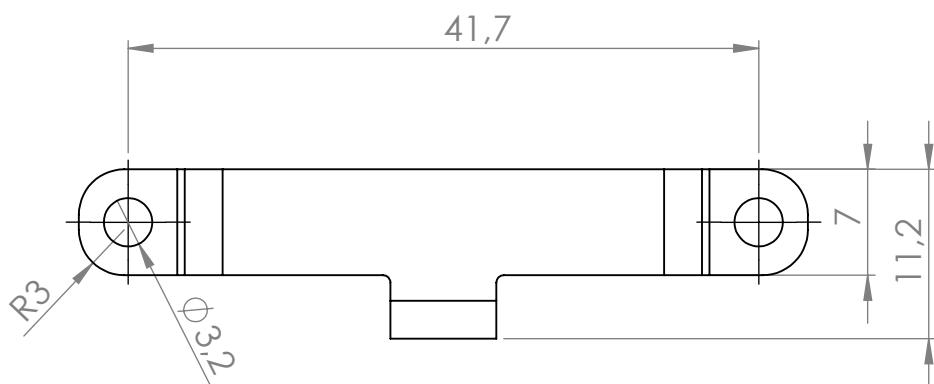
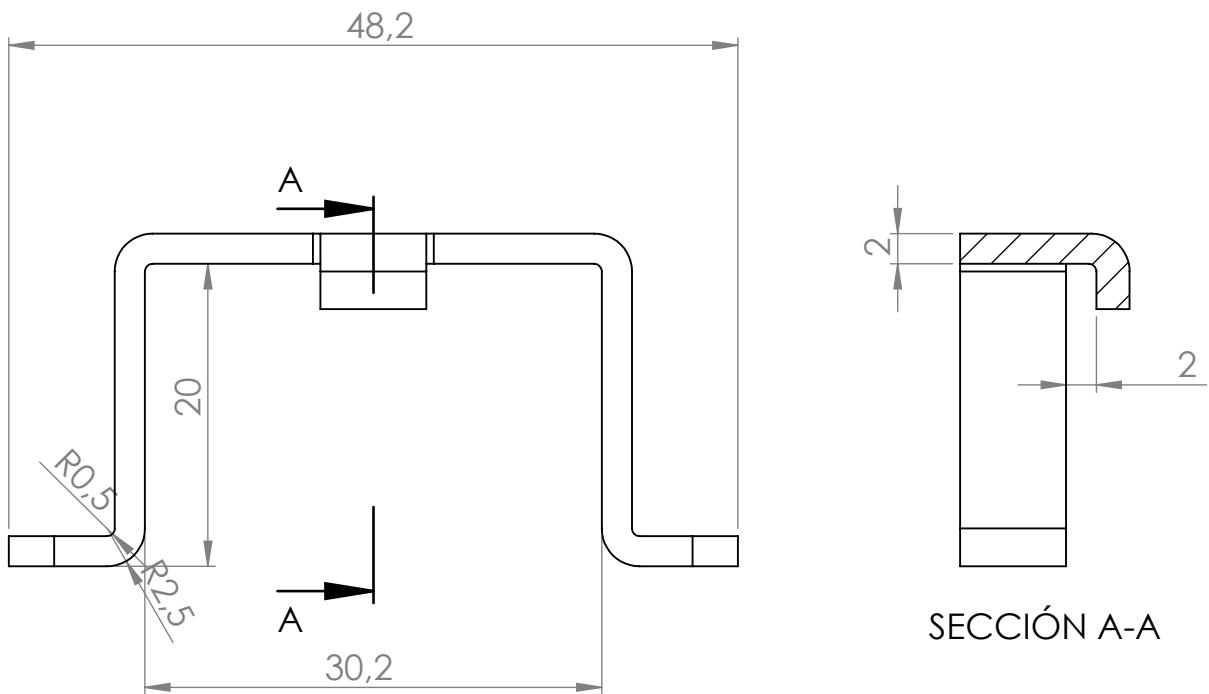


DIBUJADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ	Nº PLANO	
FECHA DIBUJ.	06/12/2021	RVR-01-FR-00-00-03	
REVISADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ		
FECHA REVIS.	06/12/2021	TIPO	PIEZA
ESCALA:	2:1 ABRAZADERA NEMA IZQUIERDA		

Universidad  
de Oviedo



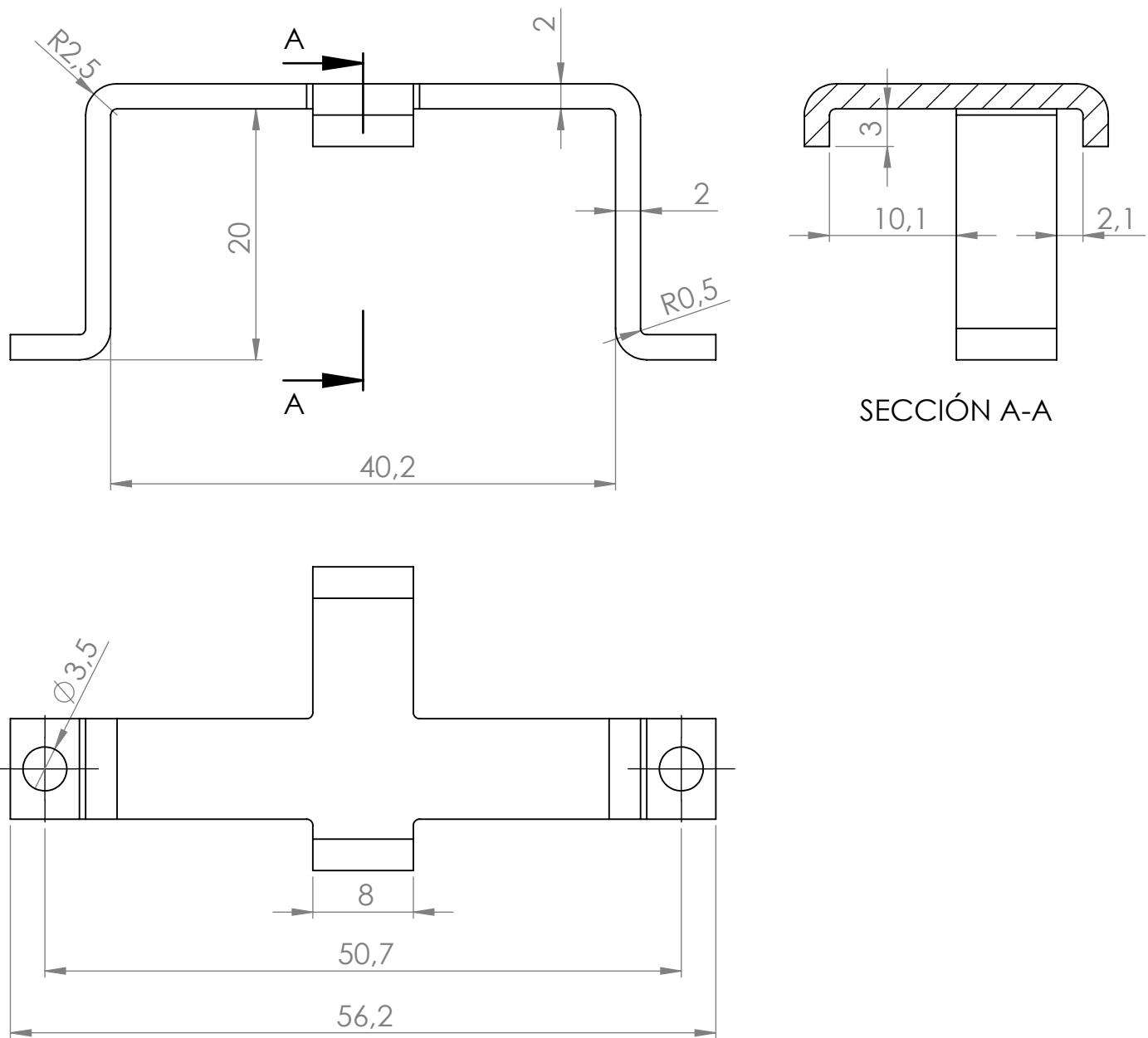
MATERIAL	PLA
TOL. GEN.	ISO 2768-mK
CANTIDAD	1
HOJA	1 de 1



DIBUJADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ	Nº PLANO	
FECHA DIBUJ.	09/12/2021		
REVISADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ	RVR-01-FR-00-00-04	
FECHA REVIS.	09/12/2021	TIPO	PIEZA
ESCALA:			
2:1	ABRAZADERA VENTILADOR 30X30		
	MATERIAL	PLA	
	TOL. GEN.	ISO 2768-mK	
	CANTIDAD	2	
	HOJA	1 de 1	

Universidad  
de Oviedo

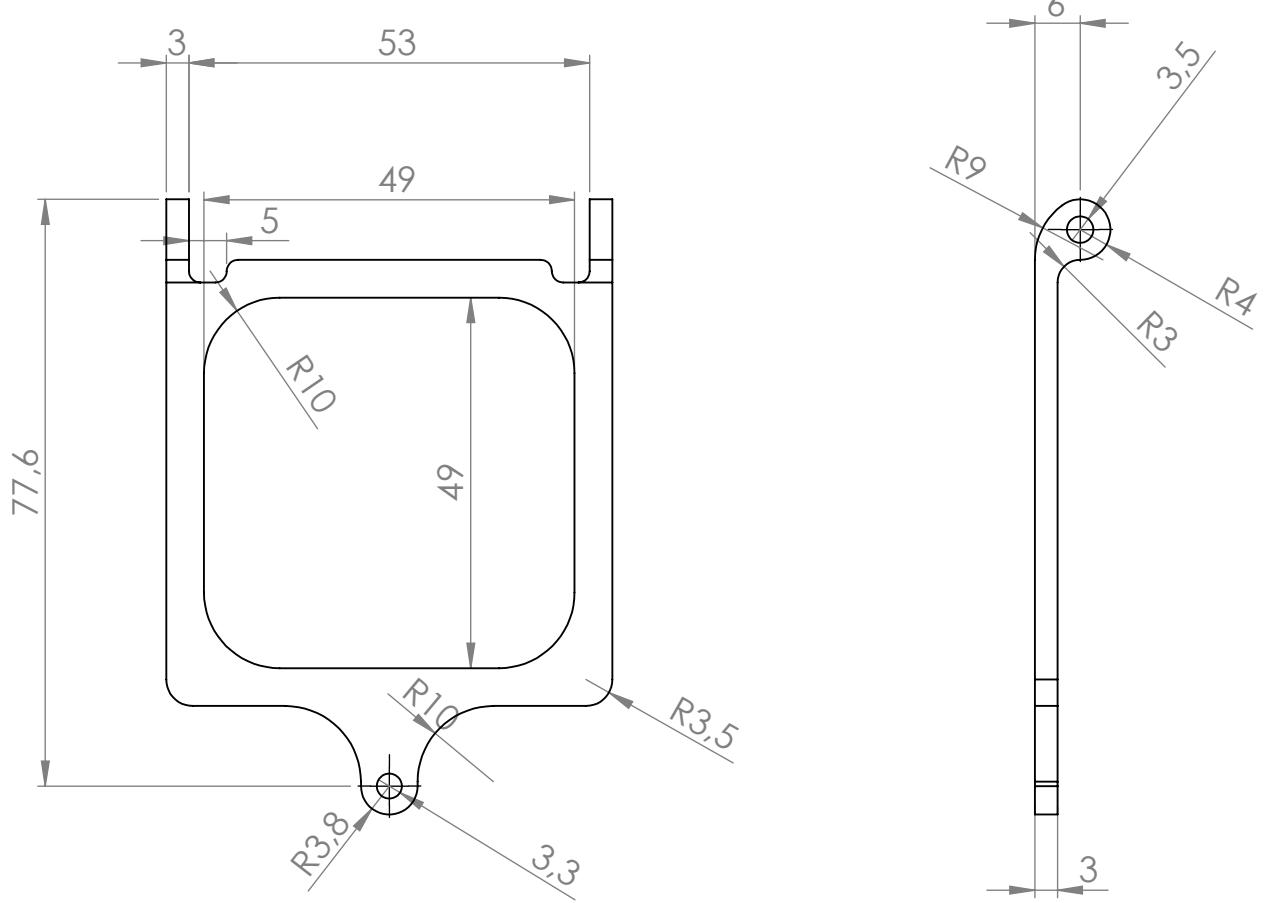




DIBUJADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ	Nº PLANO	
FECHA DIBUJ.	09/12/2021		
REVISADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ	RVR-01-FR-00-00-05	
FECHA REVIS.	09/12/2021	TIPO	PIEZA
ESCALA:			
2:1	ABRAZADERA VENTILADOR 40X40		
	MATERIAL	PLA	
	TOL. GEN.	ISO 2768-mK	
	CANTIDAD	1	
	HOJA	1 de 1	

Universidad  
de Oviedo





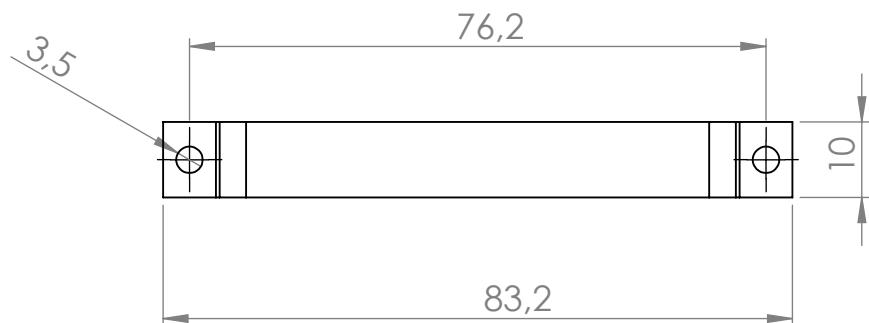
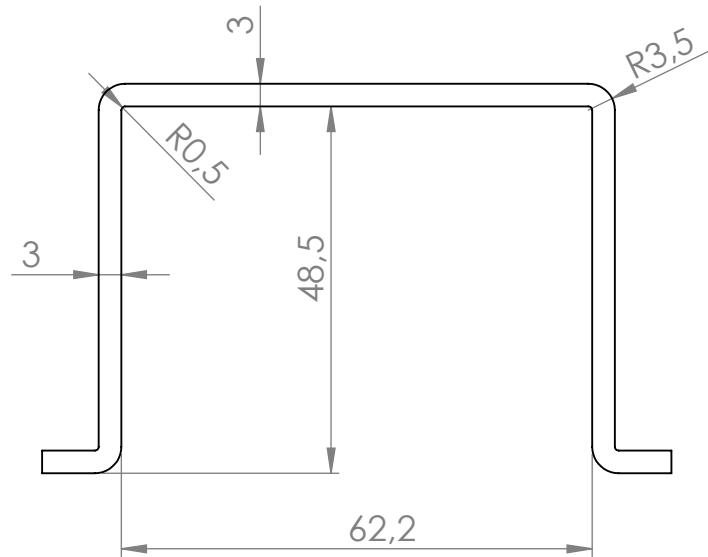
DIBUJADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ	Nº PLANO	
FECHA DIBUJ.	09/12/2021		
REVISADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ	RVR-01-FR-00-00-06	
FECHA REVIS.	09/12/2021	TIPO	PIEZA
ESCALA:	1:1		

**ABRAZADERA M5STACK**

**Universidad  
de Oviedo**



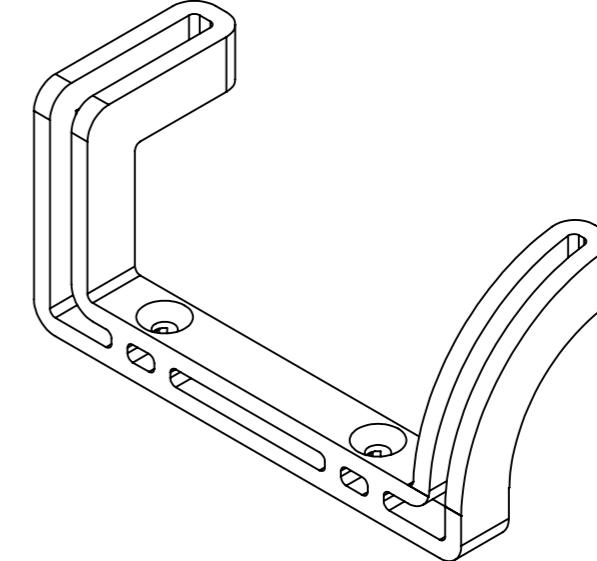
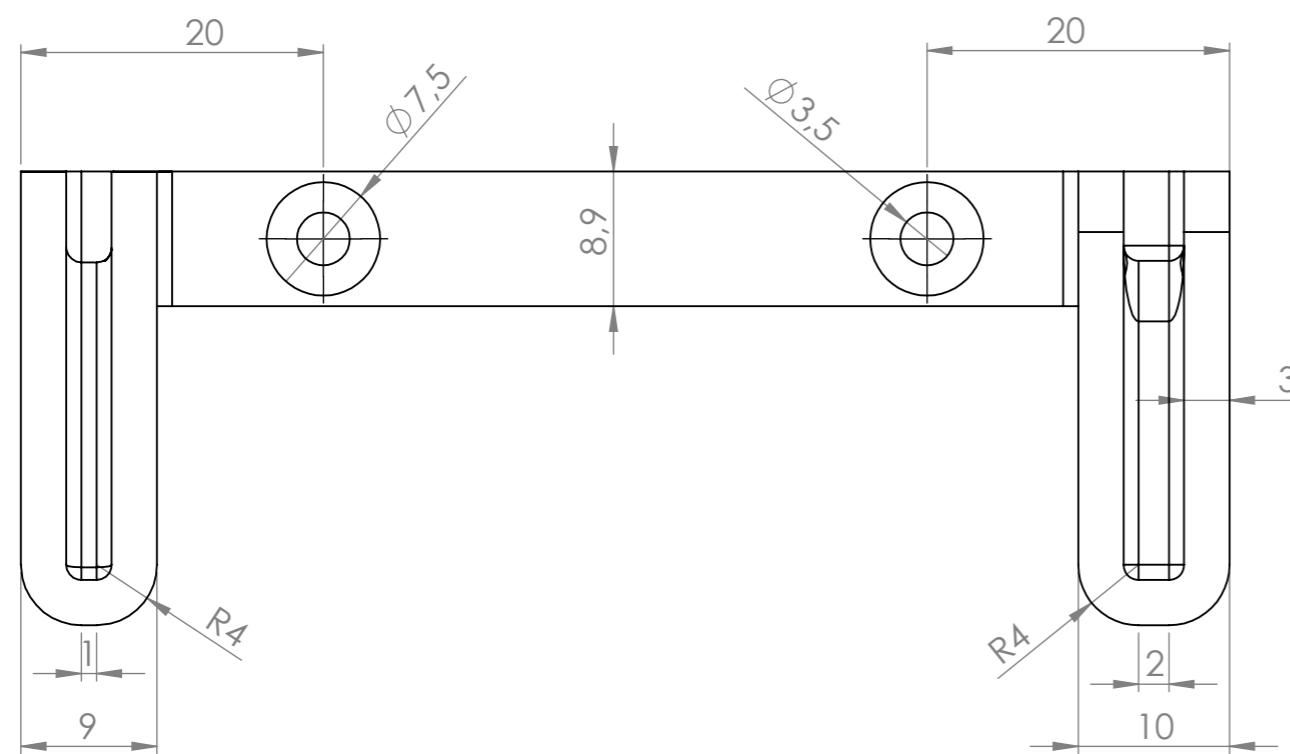
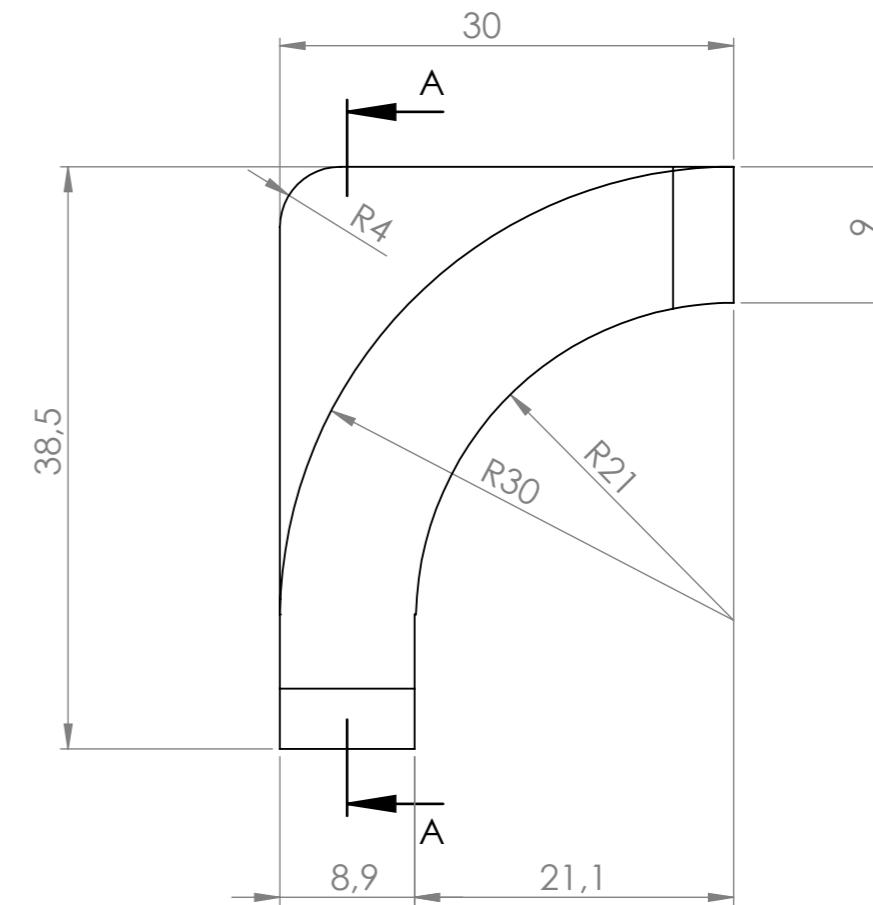
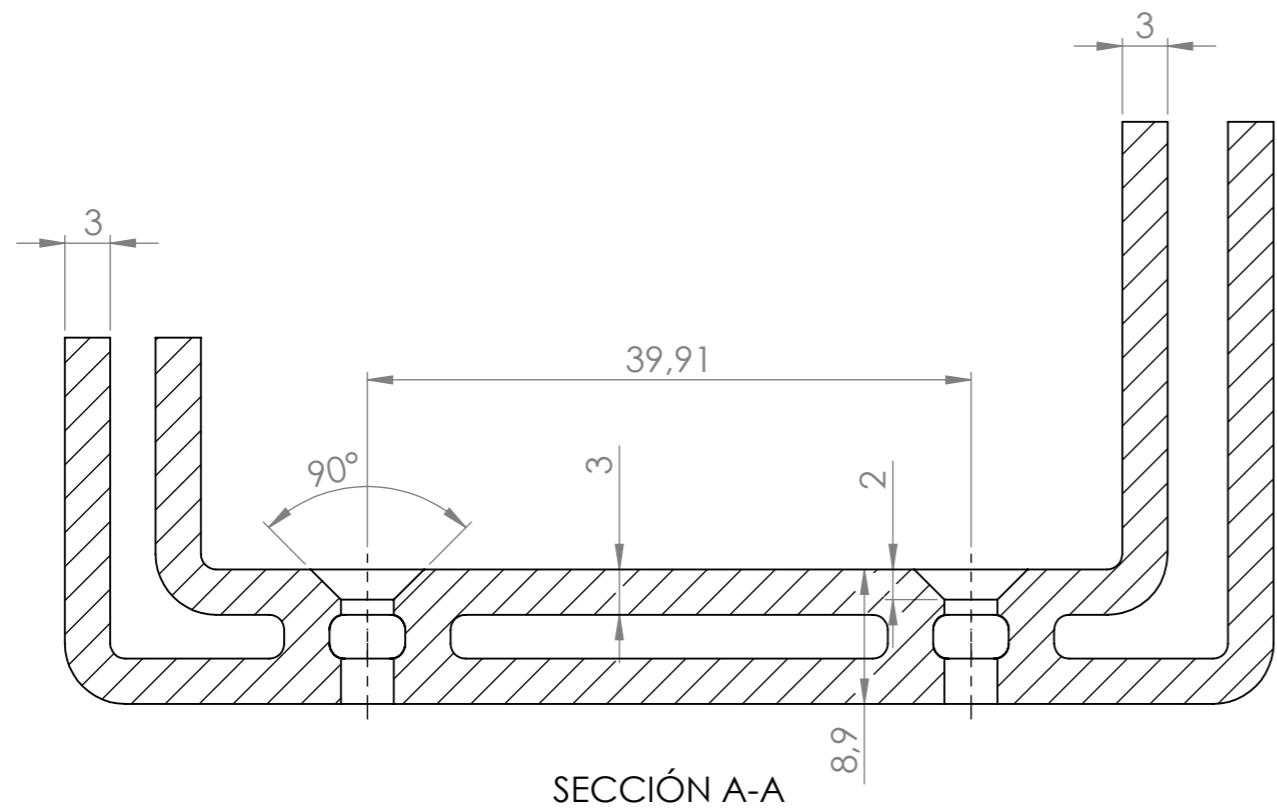
MATERIAL	PLA
TOL. GEN.	ISO 2768-mK
CANTIDAD	1
HOJA	1 de 1



DIBUJADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ	Nº PLANO	
FECHA DIBUJ.	09/12/2021		
REVISADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ	RVR-01-FR-00-00-07	
FECHA REVIS.	09/12/2021	TIPO	PIEZA
ESCALA:			
1:1	ABRAZADERA BATERIA		
			MATERIAL PLA
			TOL. GEN. ISO 2768-mK
			CANTIDAD 1
			HOJA 1 de 1

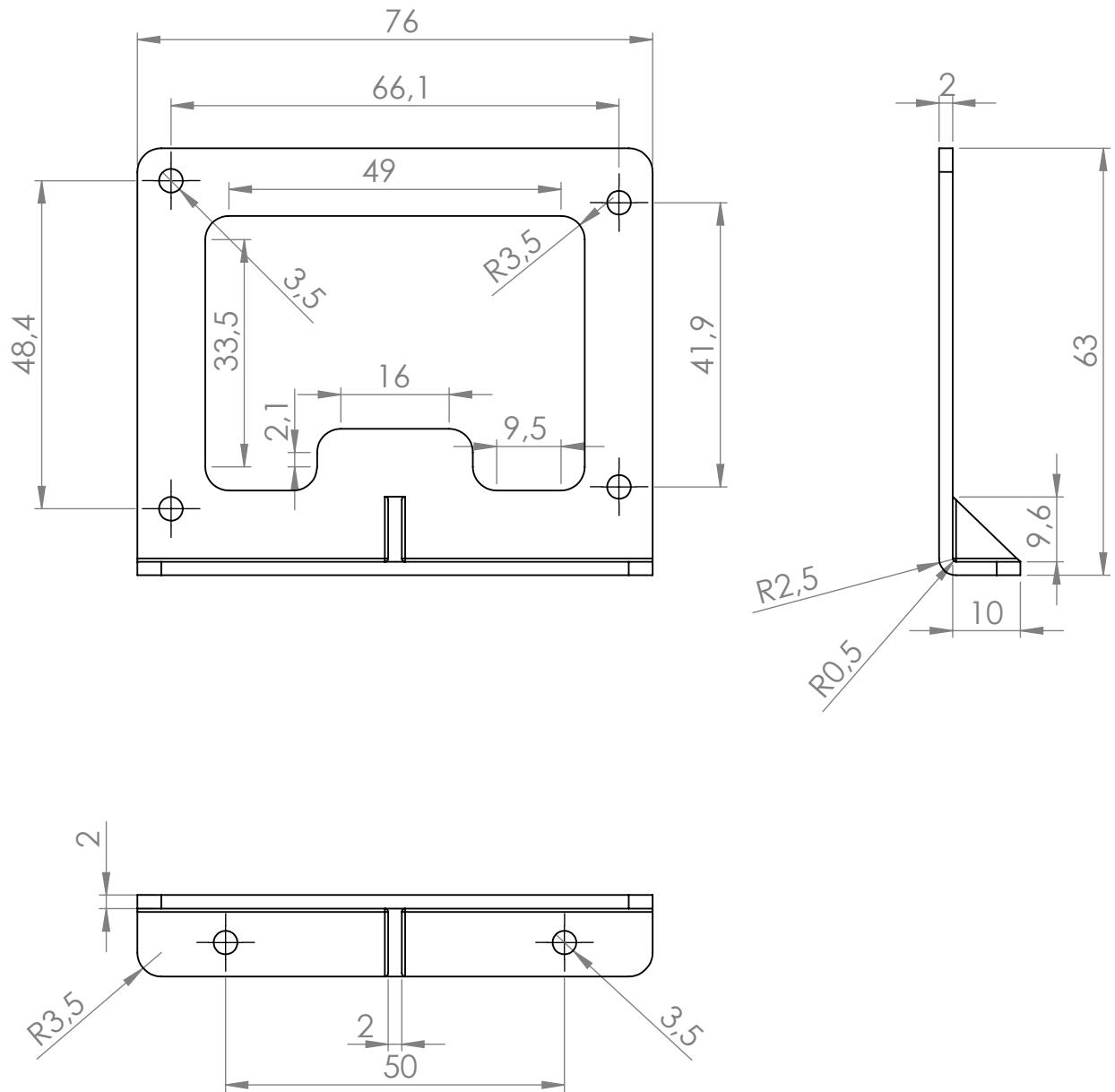
Universidad  
de Oviedo





DIBUJADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ	Nº PLANO	Universidad de Oviedo
FECHA DIBUJ.	09/12/2021	RVR-01-FR-00-00-08	
REVISADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ	TIPO	
FECHA REVIS.	09/12/2021	PIEZA	
ESCALA:	2:1 ABRAZADERA NEMA DERECHA		
MATERIAL	PLA		
TOL. GEN.	ISO 2768-mK		
CANTIDAD	1		
HOJA	1 de 1		





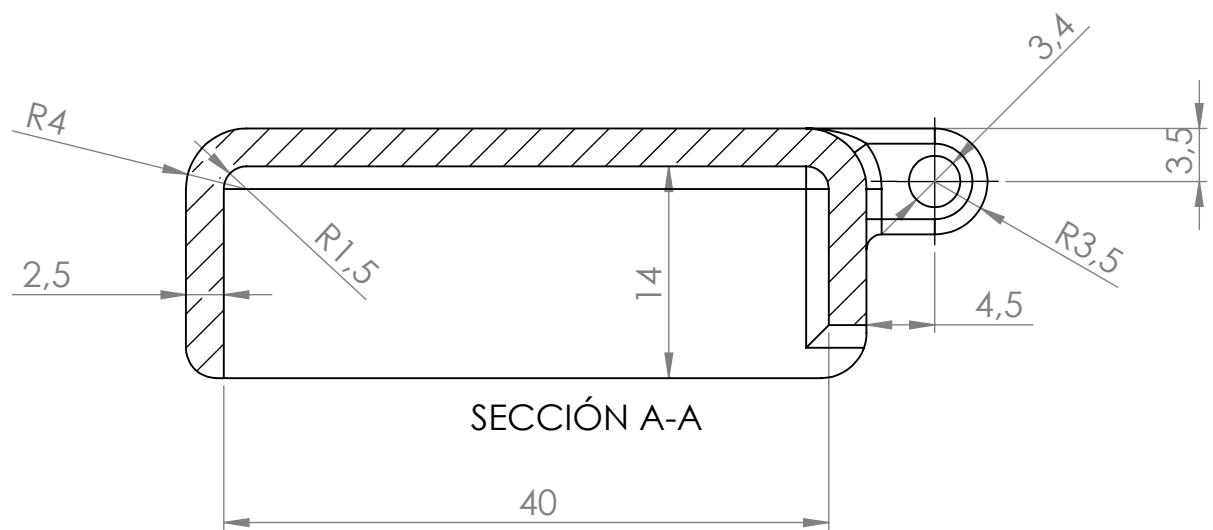
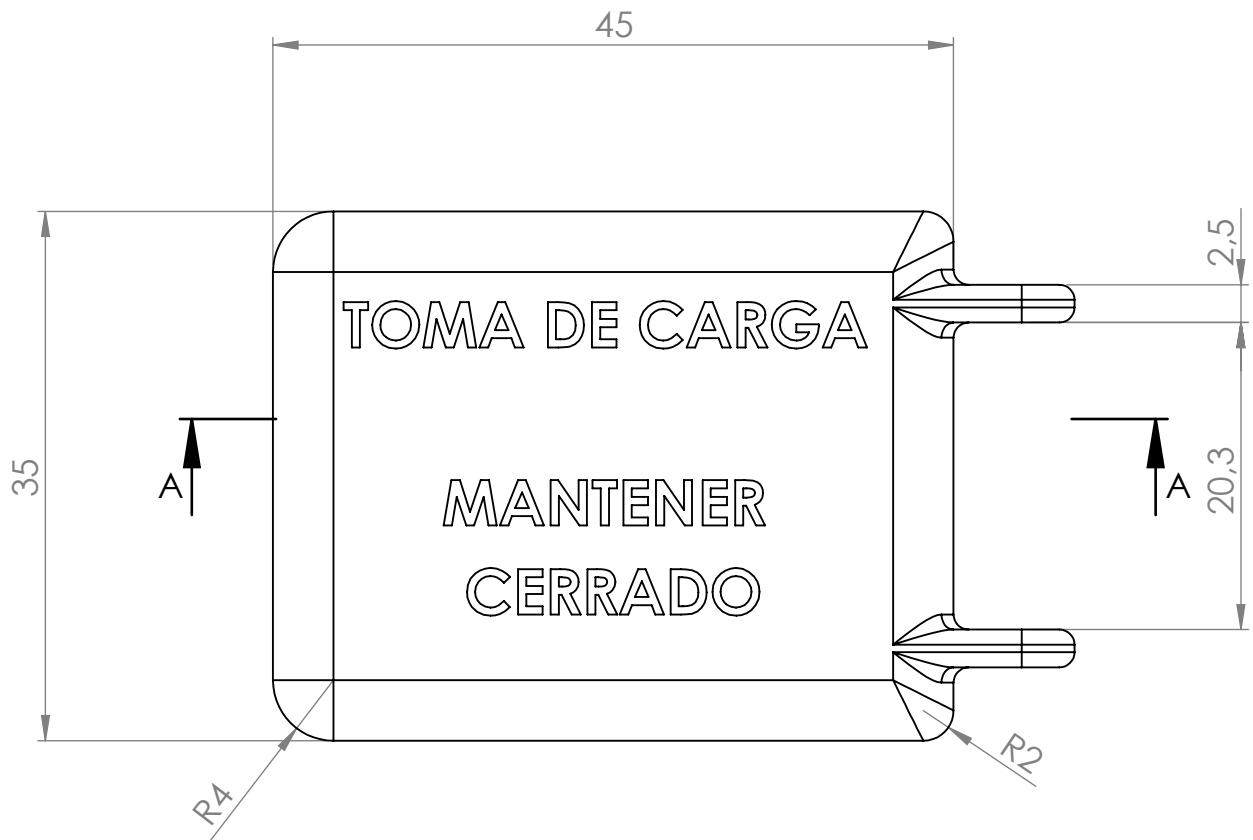
DIBUJADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ	Nº PLANO	
FECHA DIBUJ.	09/12/2021		
REVISADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ	RVR-01-FR-00-00-09	
FECHA REVIS.	09/12/2021	TIPO	PIEZA
ESCALA:	1:1		

**SOPORTE BBB**

**Universidad  
de Oviedo**



MATERIAL	PLA
TOL. GEN.	ISO 2768-mK
CANTIDAD	1
HOJA	1 de 1

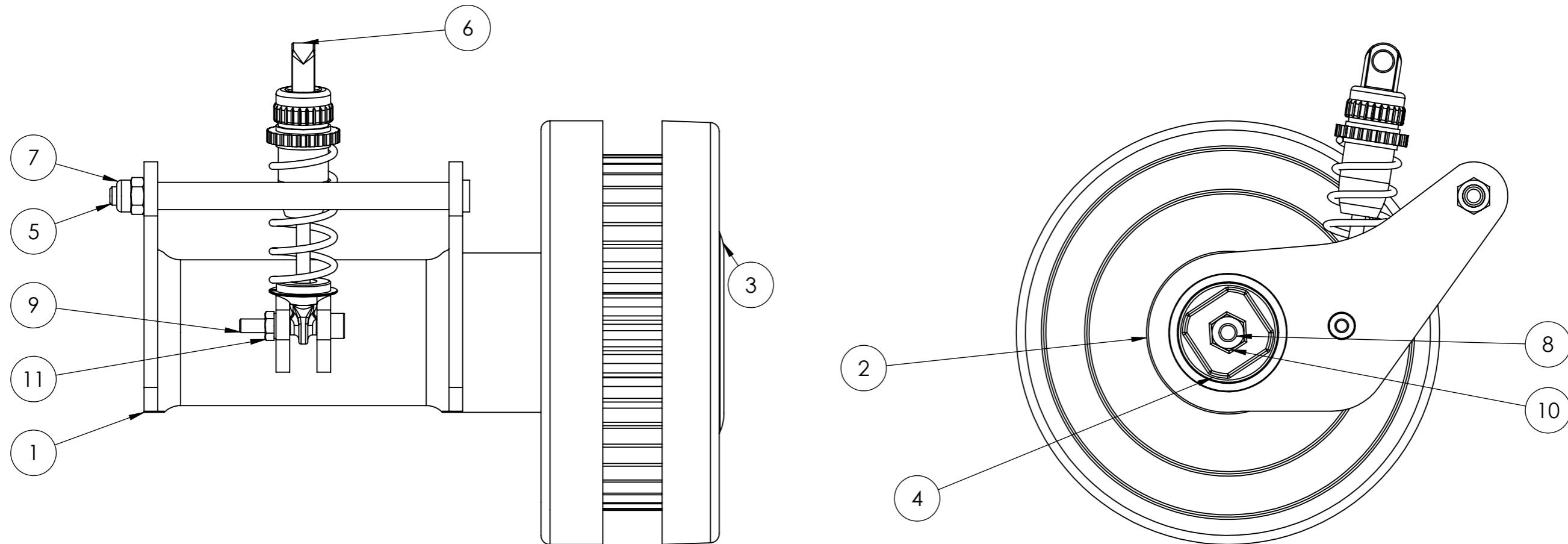


DIBUJADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ	Nº PLANO	
FECHA DIBUJ.	09/12/2021		
REVISADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ	RVR-01-FR-00-00-10	
FECHA REVIS.	09/12/2021	TIPO	PIEZA
ESCALA:			
2:1	<b>TAPA CARGADOR</b>		

**Universidad  
de Oviedo**



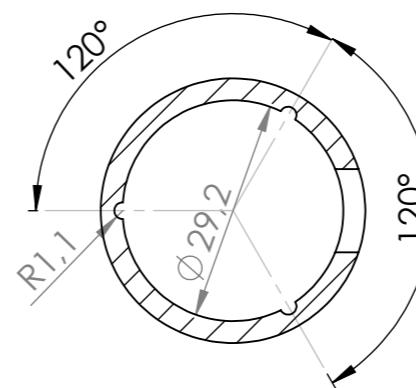
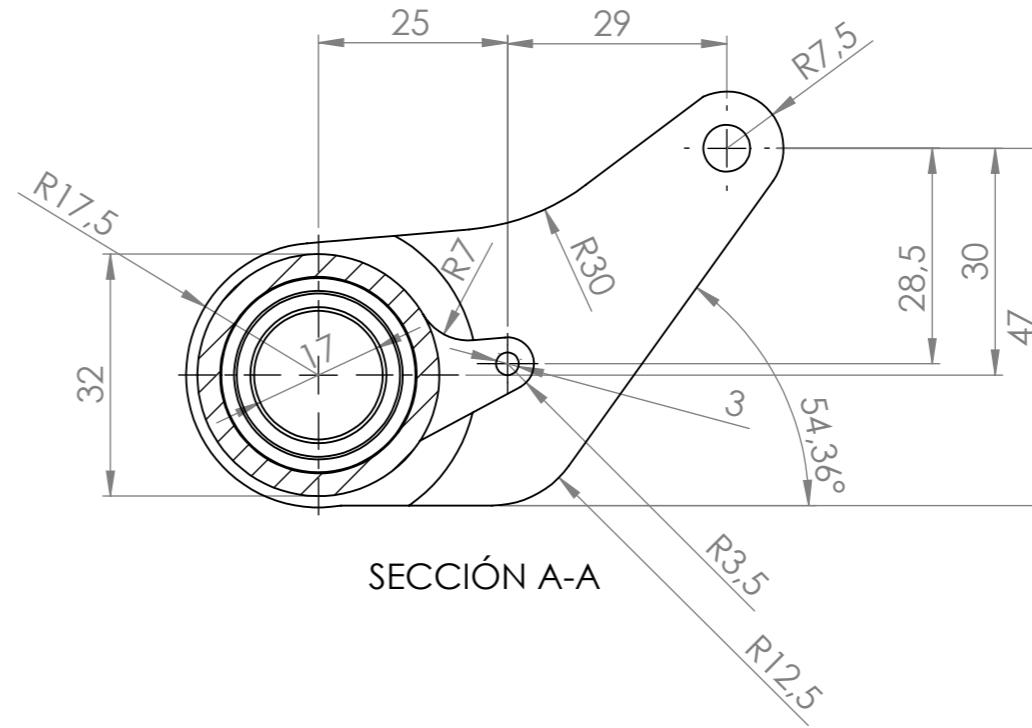
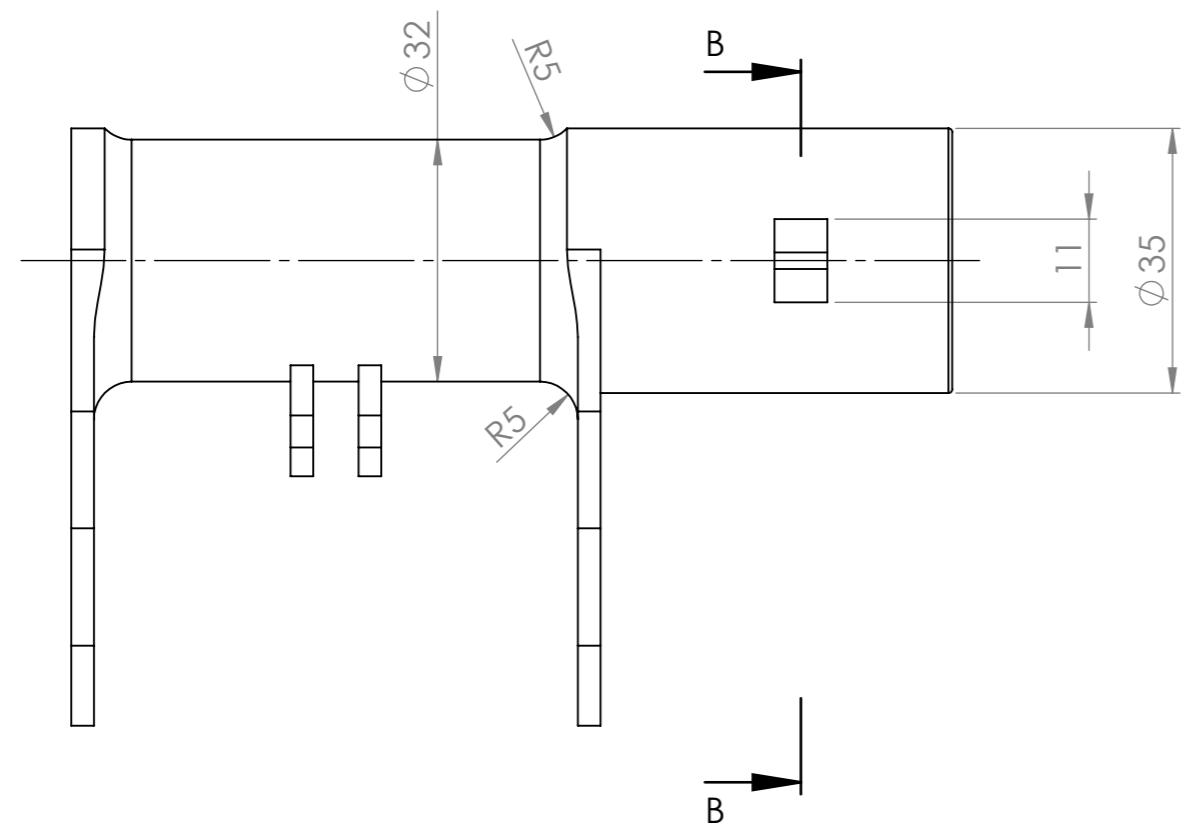
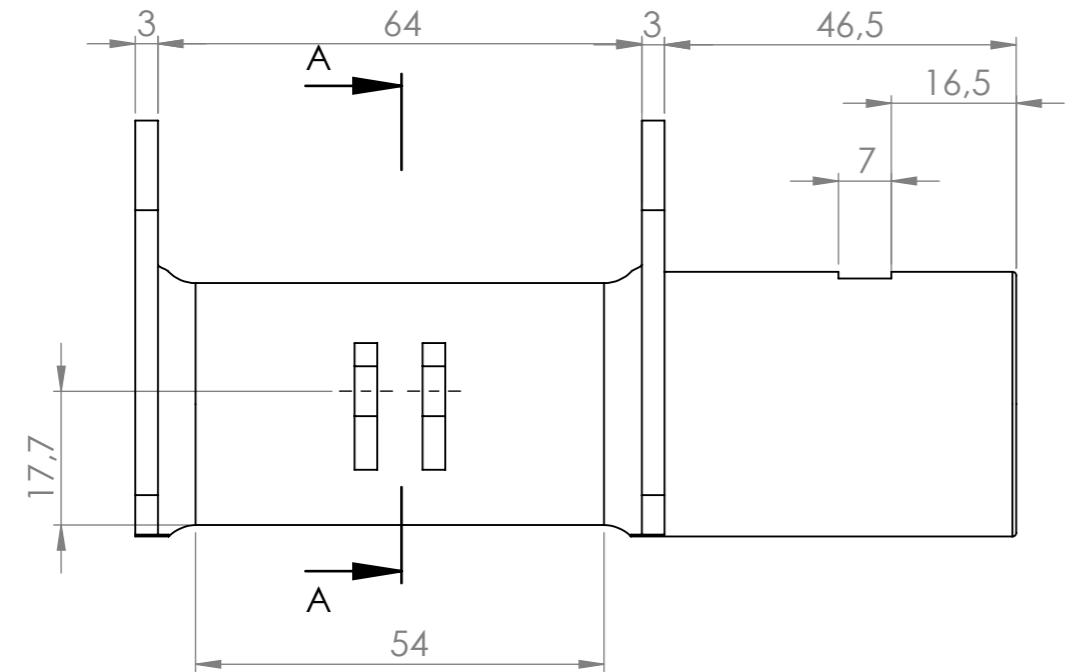
MATERIAL	PLA
TOL. GEN.	ISO 2768-mK
CANTIDAD	1
HOJA	1 de 1



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	RVR-02-SP-00-00-01	BASCULANTE TRASERO	1
2	COMERCIAL	CASQUILLO RUEDA TRASERA	1
3	COMERCIAL	RUEDA TRASERA	1
4	RVR-02-SP-00-00-02	TOPE RUEDA TRASERA	1
5	RVR-02-SP-00-00-03	EJE BASCULANTE	1
6	COMERCIAL	AMORTIGUADOR	1
7	COMERCIAL	TUERCA M4 AUTORRETENCIÓN	1
8	COMERCIAL	TORNILLO M4x30	1
9	COMERCIAL	TORNILLO M3x20	1
10	COMERCIAL	TUERCA M4	1
11	COMERCIAL	TUERCA M3	1

DIBUJADO	J. ÁLVAREZ	Nº PLANO	Universidad de Oviedo MÁSTER INGENIERÍA MECATRÓNICA	
FECHA DIBUJ.	29/12/2021	RVR-02-SP-00-00-00 IZQDA		
REVISADO	I. DÍAZ			
FECHA REVIS.	29/12/2021	TIPO CONJUNTO		
ESCALA:	1:1 SUSPENSIÓN TRASERA IZQUIERDA			
MATERIAL				
TOL. GEN.	ISO 2768-mK			
CANTIDAD	1			
HOJA	1 de 1			

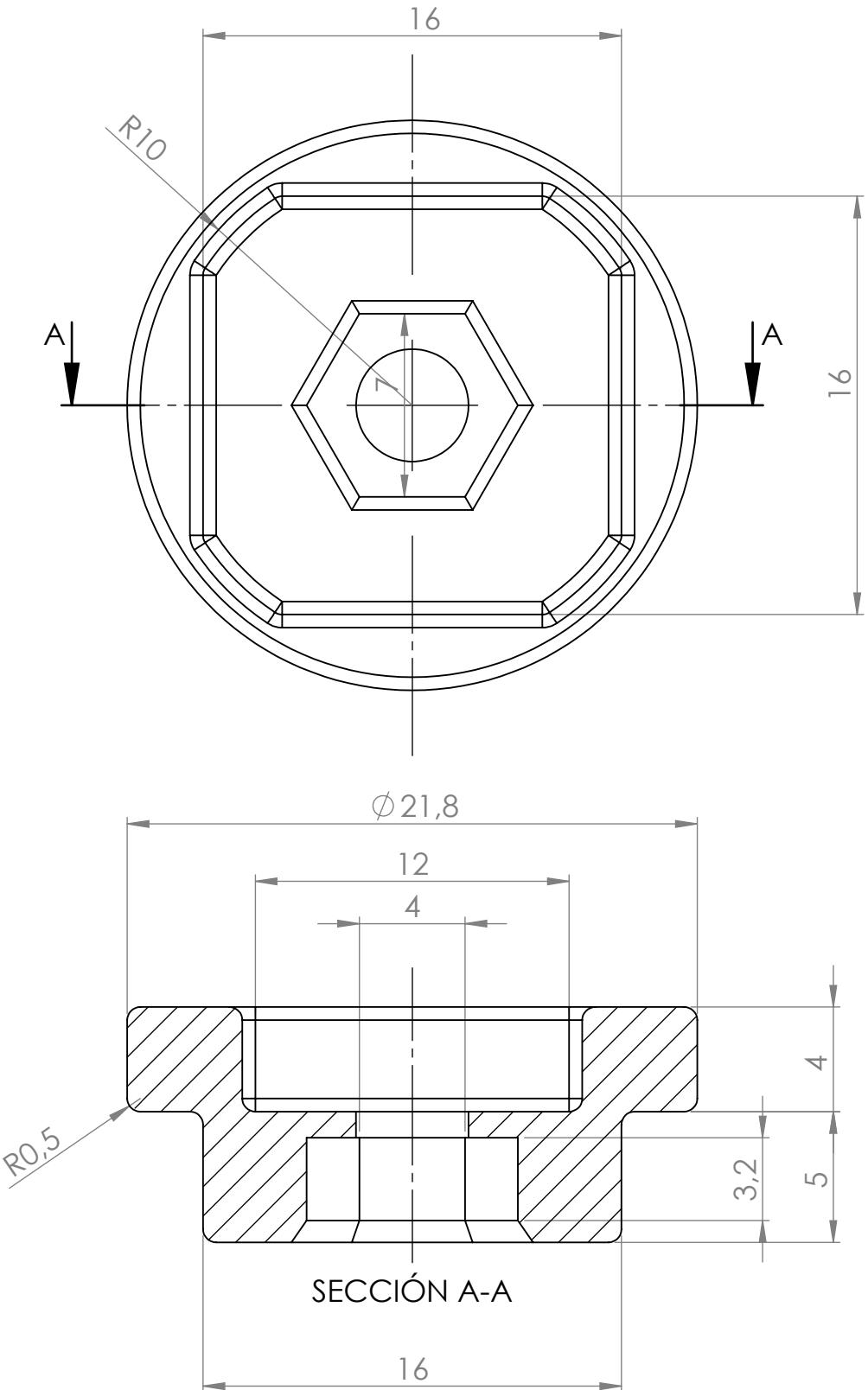




El basculante derecho es la pieza simétrica a esta.

DIBUJADO	J. ÁLVAREZ	Nº PLANO	Universidad de Oviedo
FECHA DIBUJ.	29/12/2021	RVR-02-SP-00-00-01	
REVISADO	I. DÍAZ		
FECHA REVIS.	29/12/2021	TIPO PIEZA	
ESCALA:	1:1 BASCULANTE TRASERO (IZQDO)		
MATERIAL	PLA		
TOL. GEN.	ISO 2768-mK		
CANTIDAD	1		
HOJA	1 de 1		



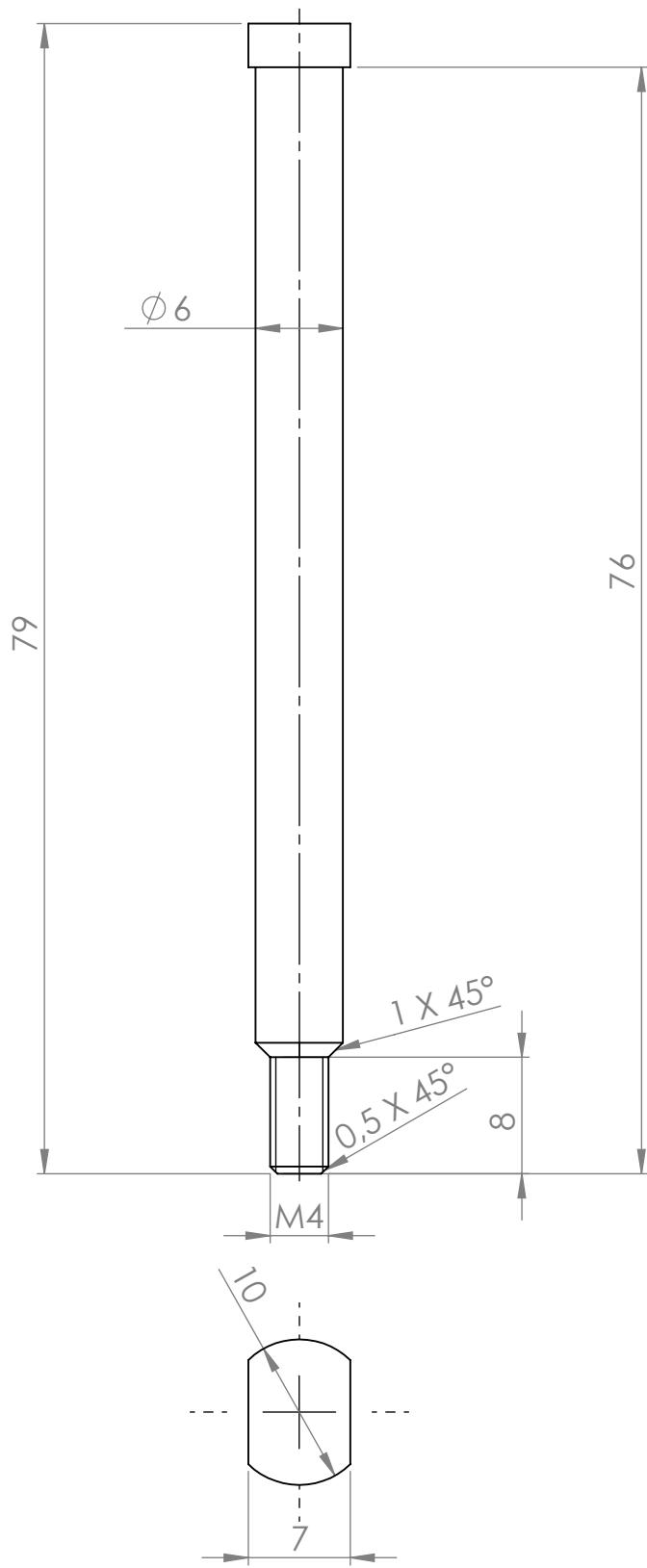


DIBUJADO	J. ÁLVAREZ	Nº PLANO	
FECHA DIBUJ.	29/12/2021		
REVISADO	I. DÍAZ	RVR-02-SP-00-00-02	
FECHA REVIS.	29/12/2021	TIPO	PIEZA
ESCALA:			
4:1	TOPE AXIAL RUEDA TRASERA		

Universidad  
de Oviedo



MATERIAL	PLA
TOL. GEN.	ISO 2768-mK
CANTIDAD	2
HOJA	1 de 1

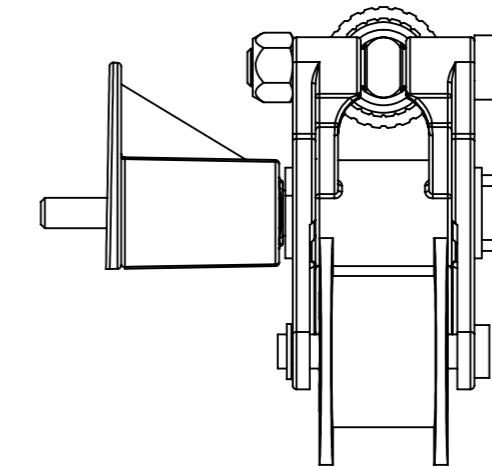
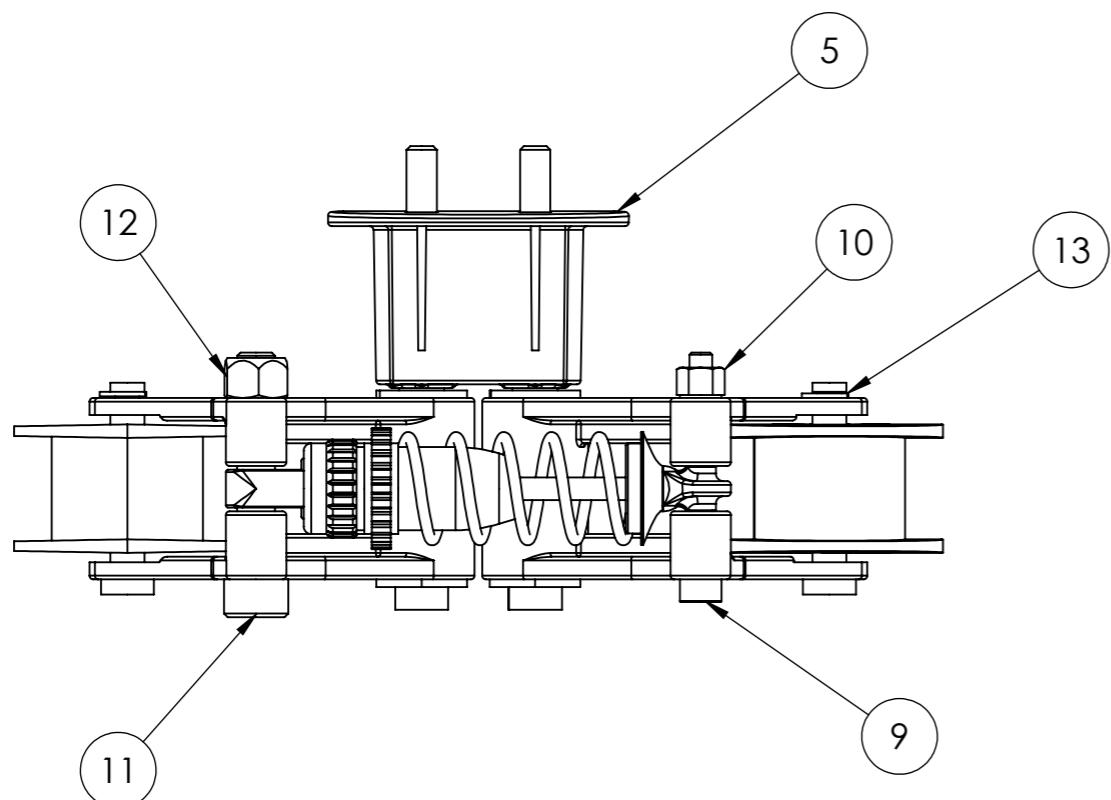
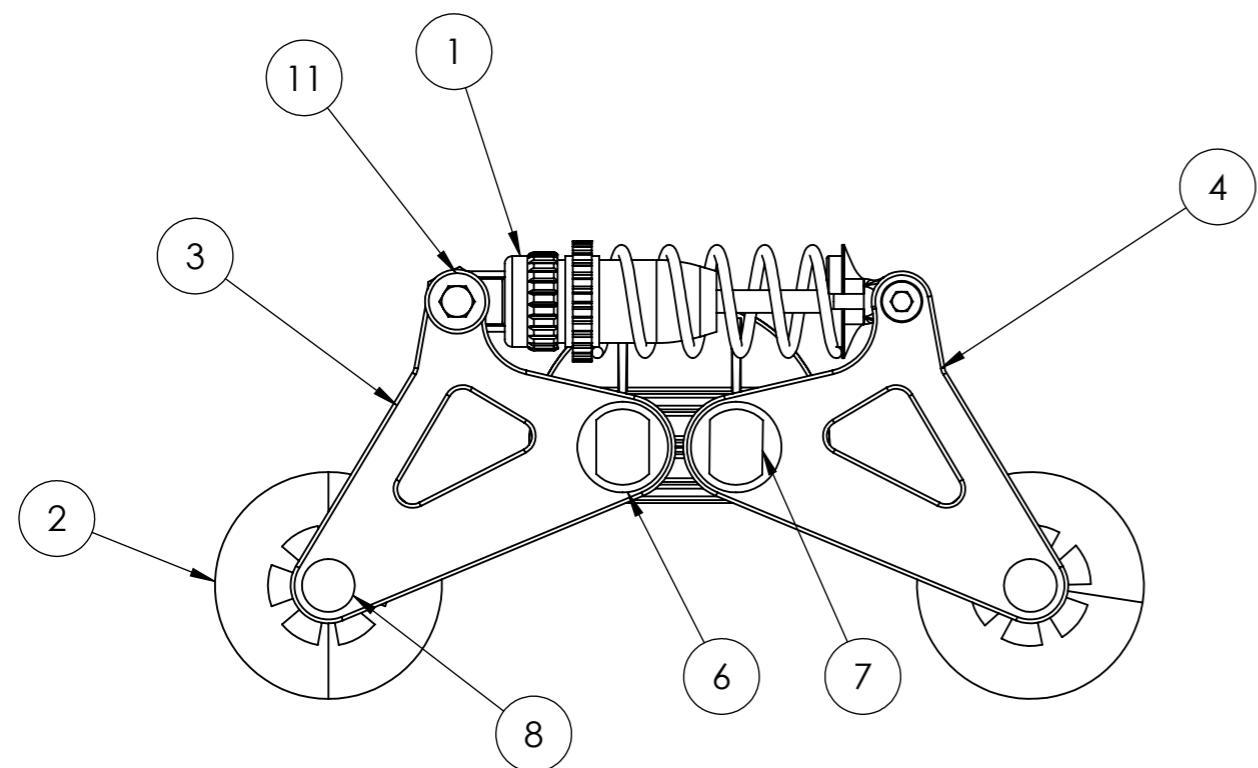


DIBUJADO	17/11/2021	Nº PLANO	
FECHA DIBUJ.	LUIS ALFONSO MARTINEZ		
REVISADO	17/11/2021	RVR-02-SP-00-00-03	
FECHA REVIS.	JORGE ALVAREZ	TIPO	PIEZA
ESCALA:	2:1		
EJE BASCULANTE			

Universidad  
de Oviedo



MATERIAL	ACERO
TOL. GEN.	ISO 2768-mK
CANTIDAD	2
HOJA	1 de 1

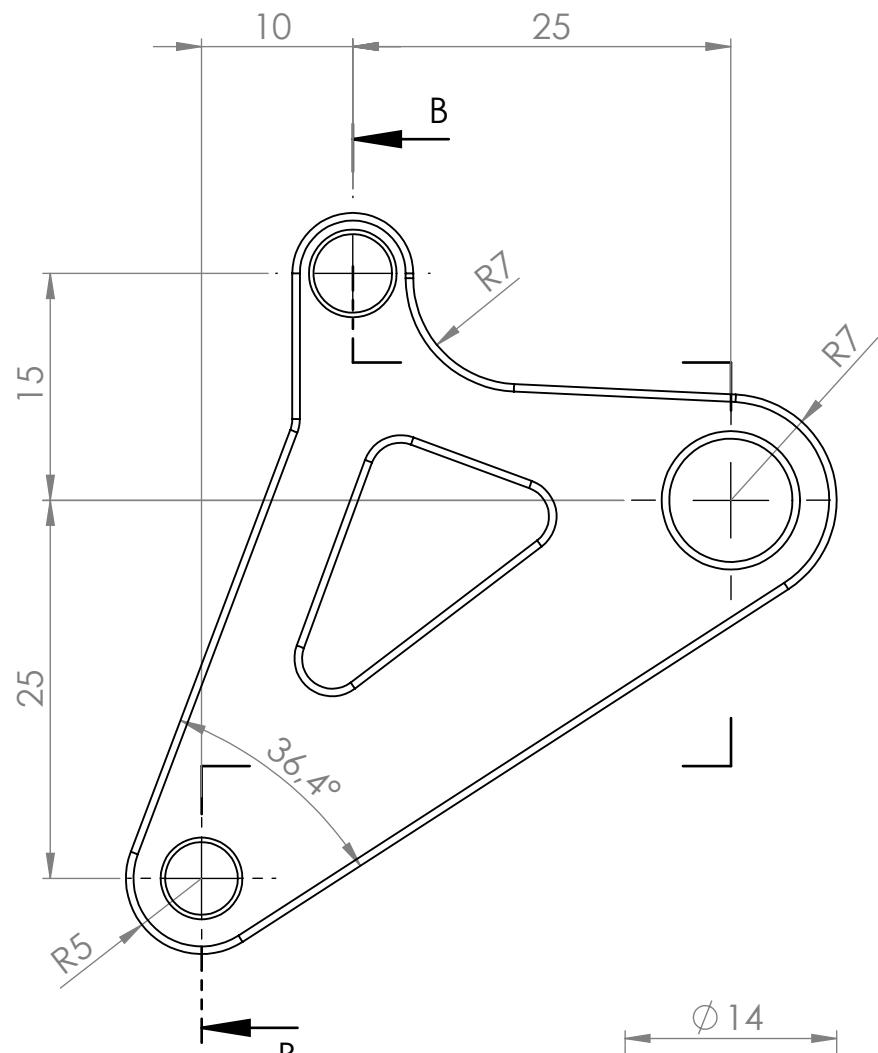
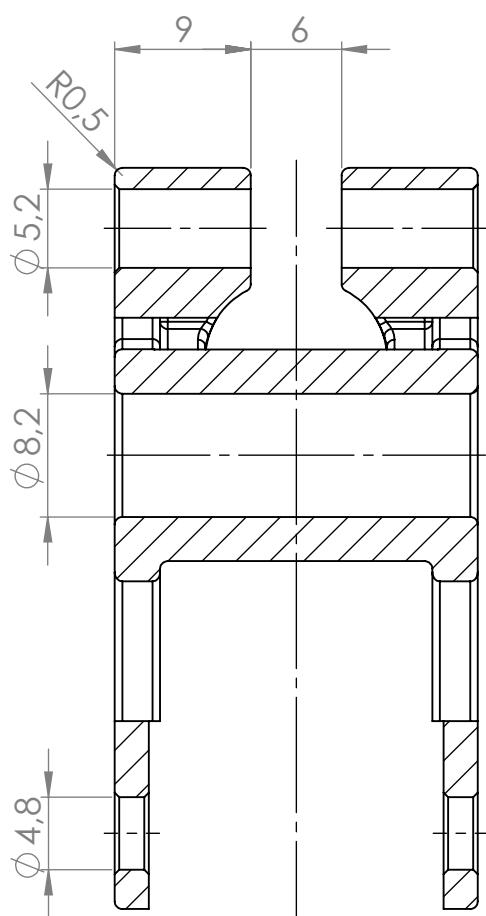


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	COMERCIAL	AMORTIGUADOR	1
2	RVR-02-SP-00-01-03	RUEDA SUSP. INTERMEDIA	2
3	RVR-02-SP-00-01-01	BASCULANTE LADO M5	1
4	RVR-02-SP-00-01-01	BASCULANTE LADO M3	1
5	RVR-02-SP-00-01-02	RIGIDIZADOR	1
6	COMERCIAL	CASQUILLO DE VALONA	4
7	RVR-02-SP-00-01-04	EJE ARTICULACIÓN	2
8	RVR-02-SP-00-01-05	EJE RUEDA	2
9	COMERCIAL	TORNILLO M3x35	1
10	COMERCIAL	TUERCA M3	1
11	COMERCIAL	TORNILLO M5x35	1
12	COMERCIAL	TUERCA M5	1
13	COMERCIAL	CIRCLIP	2

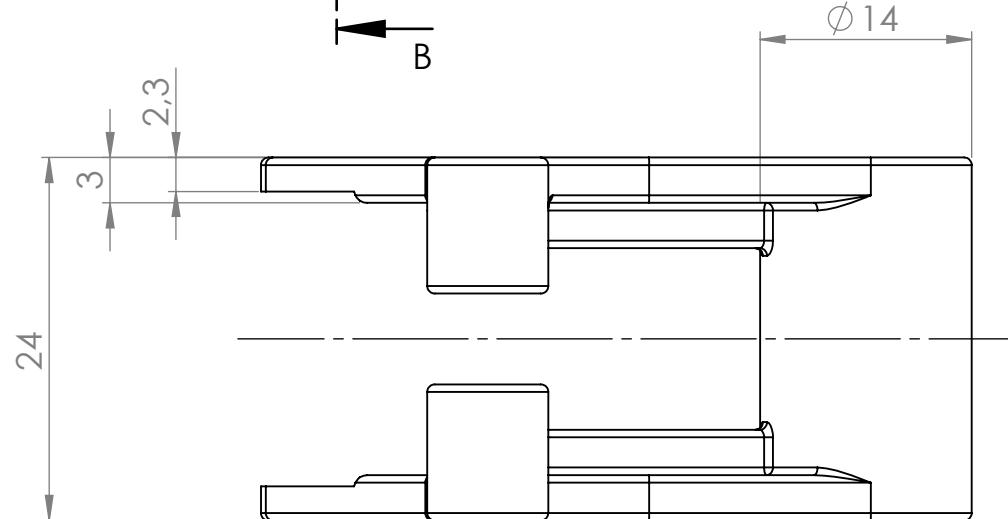
DIBUJADO	J. ÁLVAREZ	Nº PLANO	Universidad de Oviedo
FECHA DIBUJ.	29/12/2021	RVR-02-SP-00-01-00	
REVISADO	I. DÍAZ		
FECHA REVIS.	29/12/2021	TIPO CONJUNTO	

ESCALA:	1:1 SUSPENSIÓN INTERMEDIA			MATERIAL	
				TOL. GEN.	ISO 2768-mK
				CANTIDAD	2
				HOJA	1 de 1

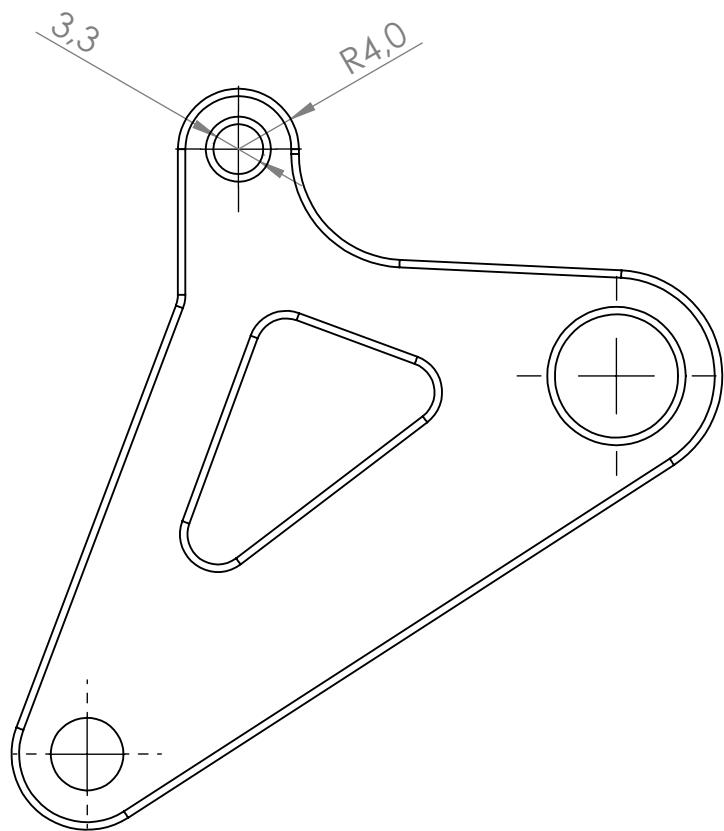




SECCIÓN B-B



DIBUJADO	J. ÁLVAREZ	Nº PLANO		
FECHA DIBUJ.	29/12/2021			
REVISADO	I. DÍAZ	RVR-02-SP-00-01-01		
FECHA REVIS.	29/12/2021	TIPO	PIEZA	
ESCALA:	2:1			
<b>BASCULANTE INTERMEDIO LADO M5 (CONFIG. 1)</b>		<b>Universidad de Oviedo</b>		
		MATERIAL	PLA	
		TOL. GEN.	ISO 2768-mK	
		CANTIDAD	2	
		HOJA	1 de 1	

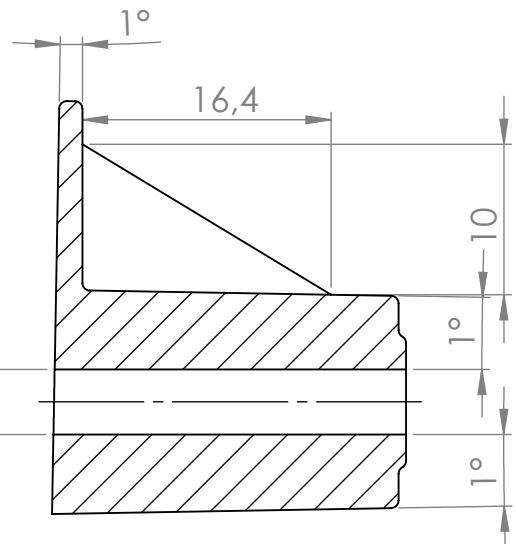
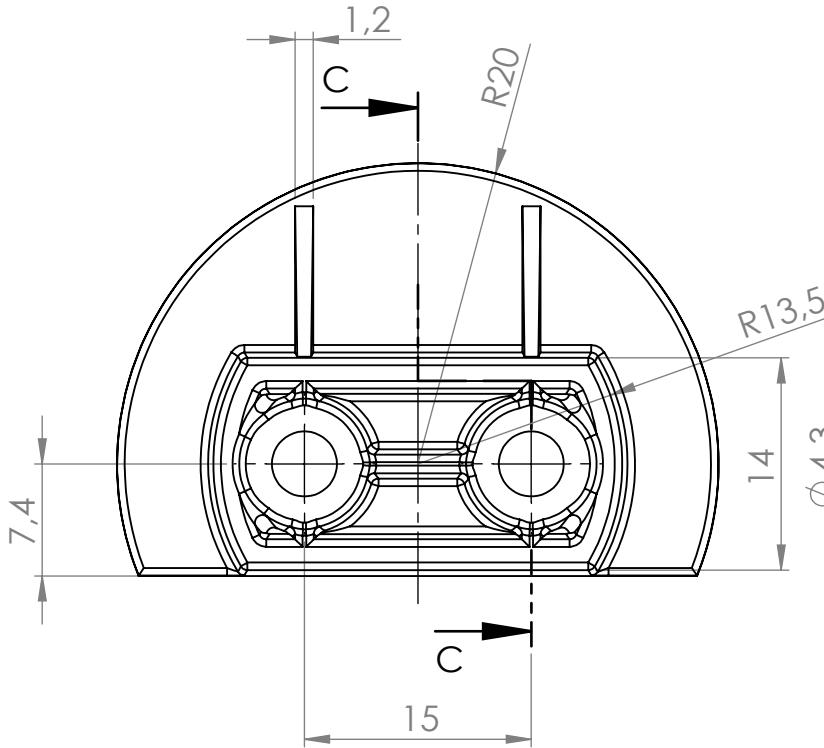


Todas las cotas son idénticas a las del lado M5  
salvo las acotadas.

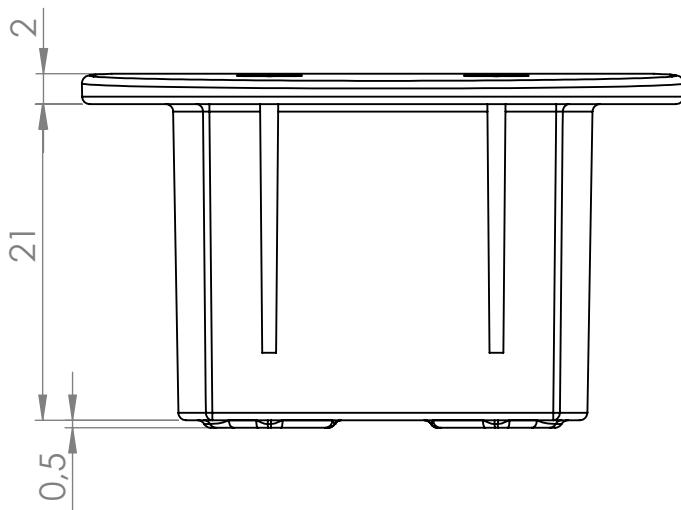
DIBUJADO	J. ÁLVAREZ	Nº PLANO	
FECHA DIBUJ.	29/12/2021		
REVISADO	I. DÍAZ	RVR-02-SP-00-01-01	
FECHA REVIS.	29/12/2021	TIPO	PIEZA
ESCALA:			
2:1	<b>BASCULANTE INTERMEDIO LADO M3</b>		
		MATERIAL	PLA
		TOL. GEN.	ISO 2768-mK
		CANTIDAD	2
		HOJA	1 de 1

**Universidad  
de Oviedo**





SECCIÓN C-C



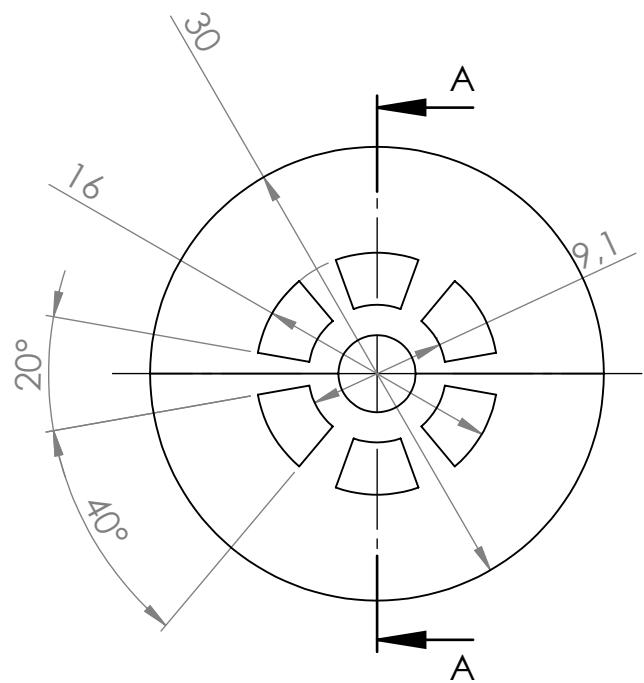
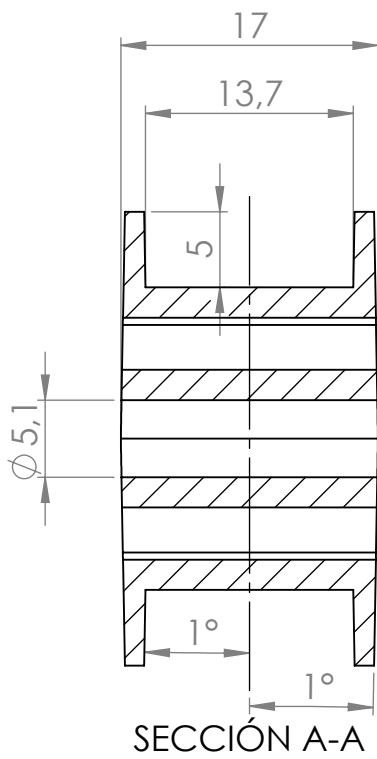
DIBUJADO	J. ÁLVAREZ	Nº PLANO	
FECHA DIBUJ.	29/12/2021		
REVISADO	I. DÍAZ	RVR-02-SP-00-01-02	
FECHA REVIS.	29/12/2021	TIPO	PIEZA
ESCALA:	2:1		

## RIGIDIZADOR SUSPENSIÓN INTERMEDIA

Universidad  
de Oviedo



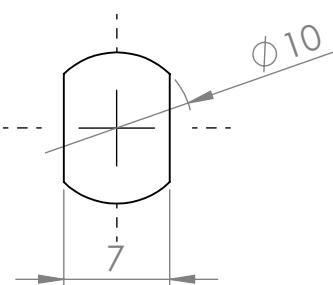
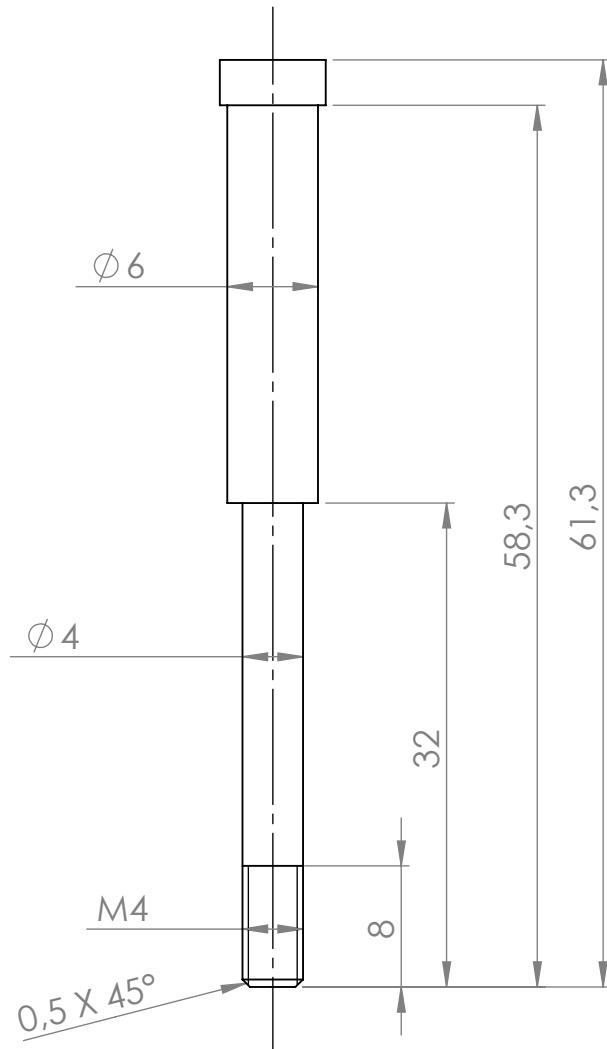
MATERIAL	PLA
TOL. GEN.	ISO 2768-mK
CANTIDAD	2
HOJA	1 de 1



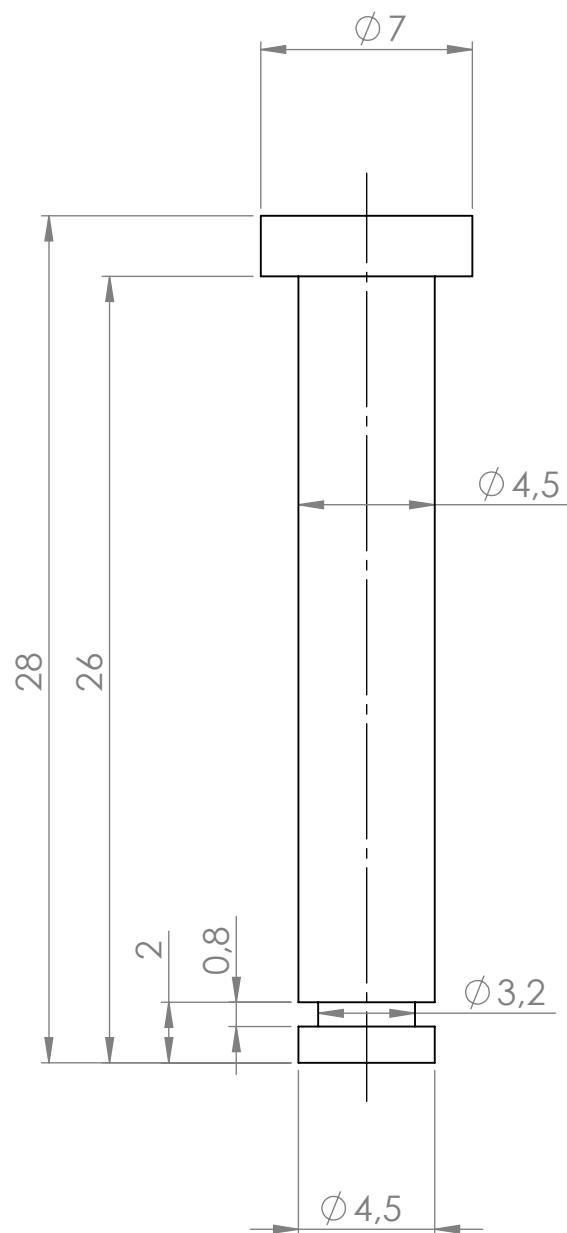
DIBUJADO	J. ÁLVAREZ	Nº PLANO	
FECHA DIBUJ.	29/12/2021		RVR-02-SP-00-01-03
REVISADO	I. DÍAZ		
FECHA REVIS.	29/12/2021	TIPO	PIEZA
ESCALA:	2:1		
<b>RUEDA SUSPENSIÓN INTERMEDIA</b>		MATERIAL	PLA
		TOL. GEN.	ISO 2768-mK
		CANTIDAD	4
		HOJA	1 de 1

**Universidad  
de Oviedo**





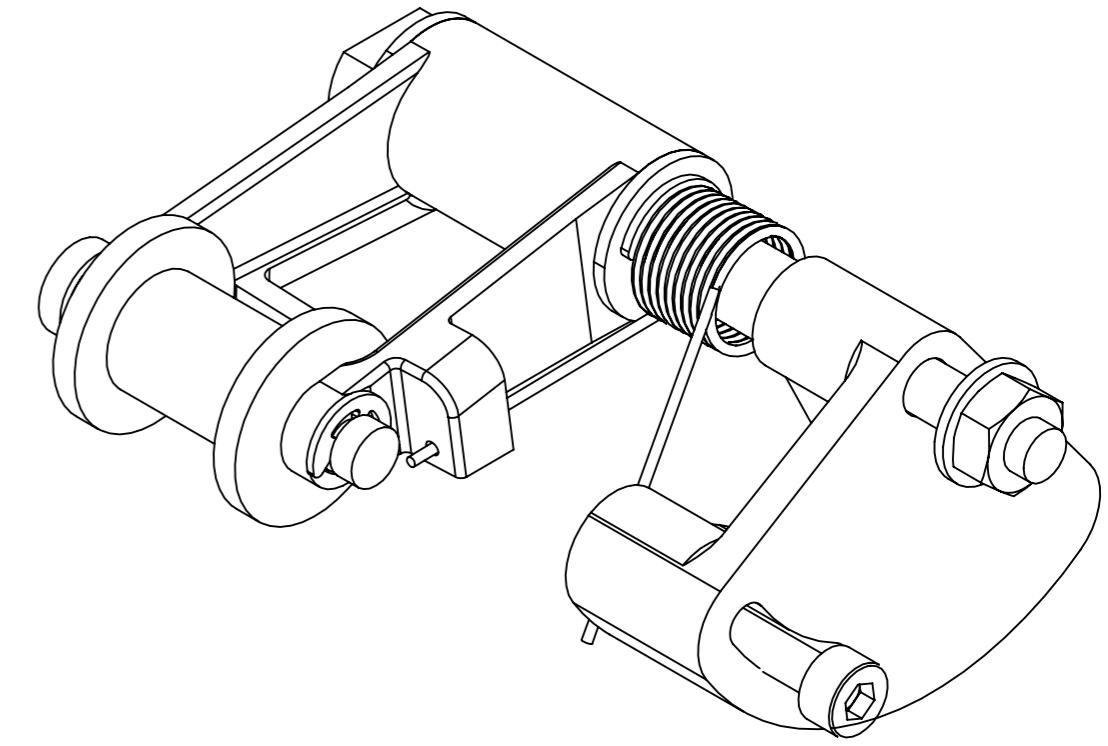
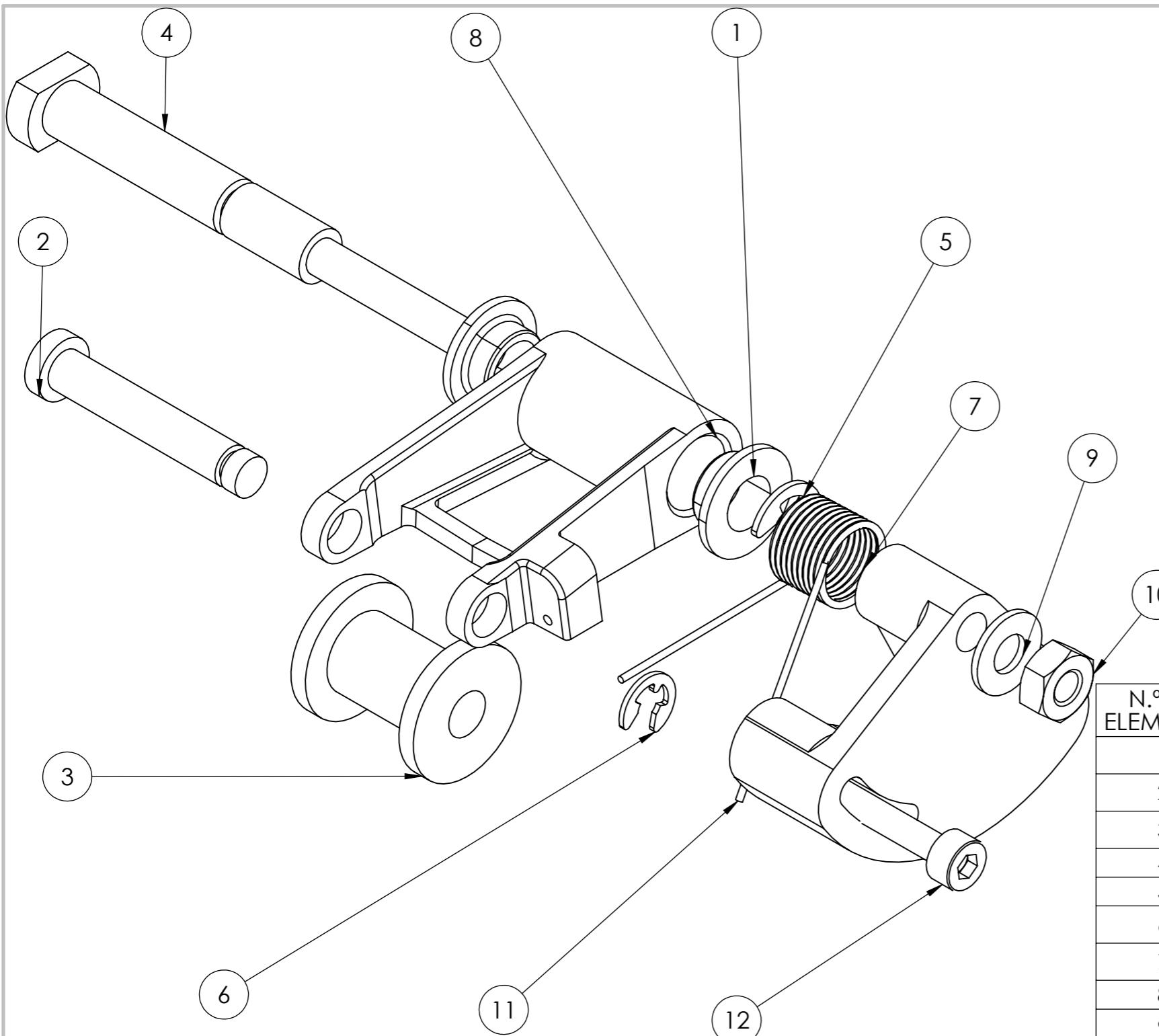
DIBUJADO	Jorge A.	Nº PLANO		<b>Universidad de Oviedo</b> 	
FECHA DIBUJ.	17/11/2021				
REVISADO	Nacho D.	RVR-02-SP-00-01-04			
FECHA REVIS.	17/11/2021	TIPO	PIEZA		
ESCALA:			MATERIAL	Acero F1250	
2:1	<b>EJE BASCULANTE INTERMEDIO</b>		TOL. GEN.	ISO 2768-mK	
			CANTIDAD	4	
			HOJA	1 de 1	



DIBUJADO	Jorge A.	Nº PLANO	
FECHA DIBUJ.	17/11/2021	RVR-02-SP-00-01-05	
REVISADO	Nacho D.		
FECHA REVIS.	17/11/2021	TIPO	PIEZA
ESCALA:			
4:1	<b>EJE RUEDAS SUSP. INTERMEDIA</b>		
			MATERIAL Acero F1250
			TOL. GEN. ISO 2768-mK
			CANTIDAD 4
			HOJA 1 de 1

**Universidad  
de Oviedo**

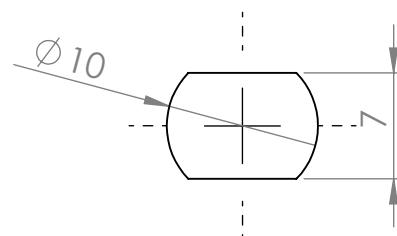
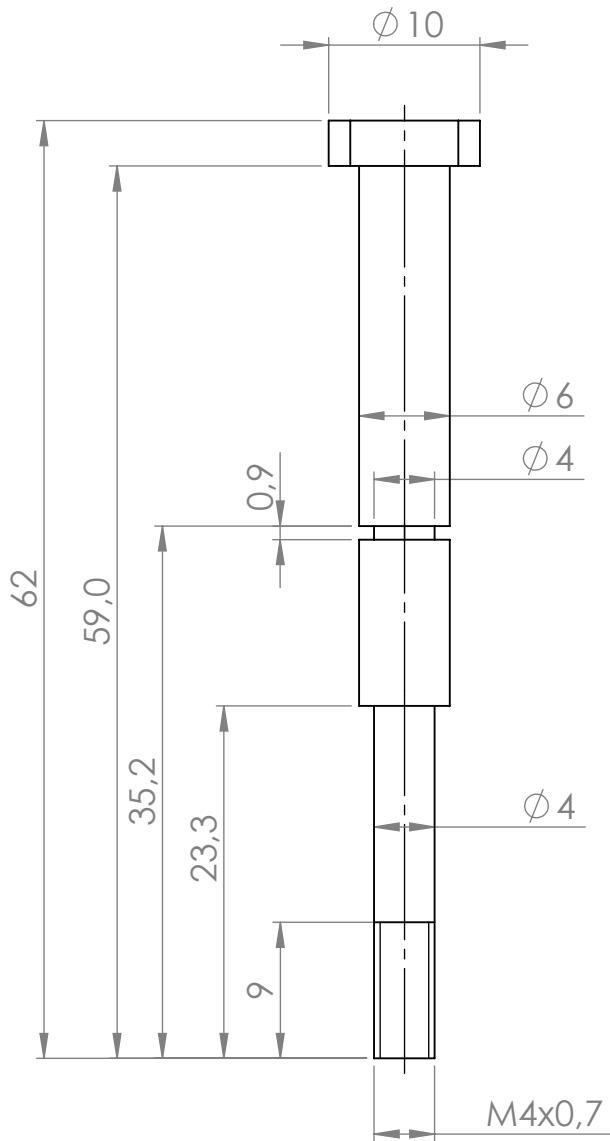




N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	COMERCIAL	CASQUILLO DE VALONA	2
2	RVR-02-SP-00-02-03	EJE RUEDA TENSORA	1
3	RVR-02-SP-00-02-04	RUEDA TENSORA	1
4	RVR-02-SP-00-02-01	EJE PALANCA-BASTIDOR	1
5	COMERCIAL	CIRCLIP Di 4mm	1
6	COMERCIAL	CIRCLIP Di 3.2 mm	1
7	RVR-02-SP-00-02-06	BASE DE APOYO	1
8	RVR-02-SP-00-02-02	PALANCA	1
9	COMERCIAL	ARANDELA PLANA M4	1
10	COMERCIAL	TUERCA M4	1
11	COMERCIAL	RESORTE TORSIONAL	1
12	COMERCIAL	TORNILLO M3X30 mm	1

DIBUJADO	I.DÍAZ	Nº PLANO		Universidad de Oviedo	
FECHA DIBUJ.	30/12/21	RVR-02-SP-00-02-00			
REVISADO	J.ÁLVAREZ				
FECHA REVIS.	30/12/21	TIPO	CONJUNTO		
ESCALA:	1:1				
	TENSOR				
MATERIAL					
TOL. GEN.	ISO 2768-mK				
CANTIDAD	2				
HOJA	1 de 1				



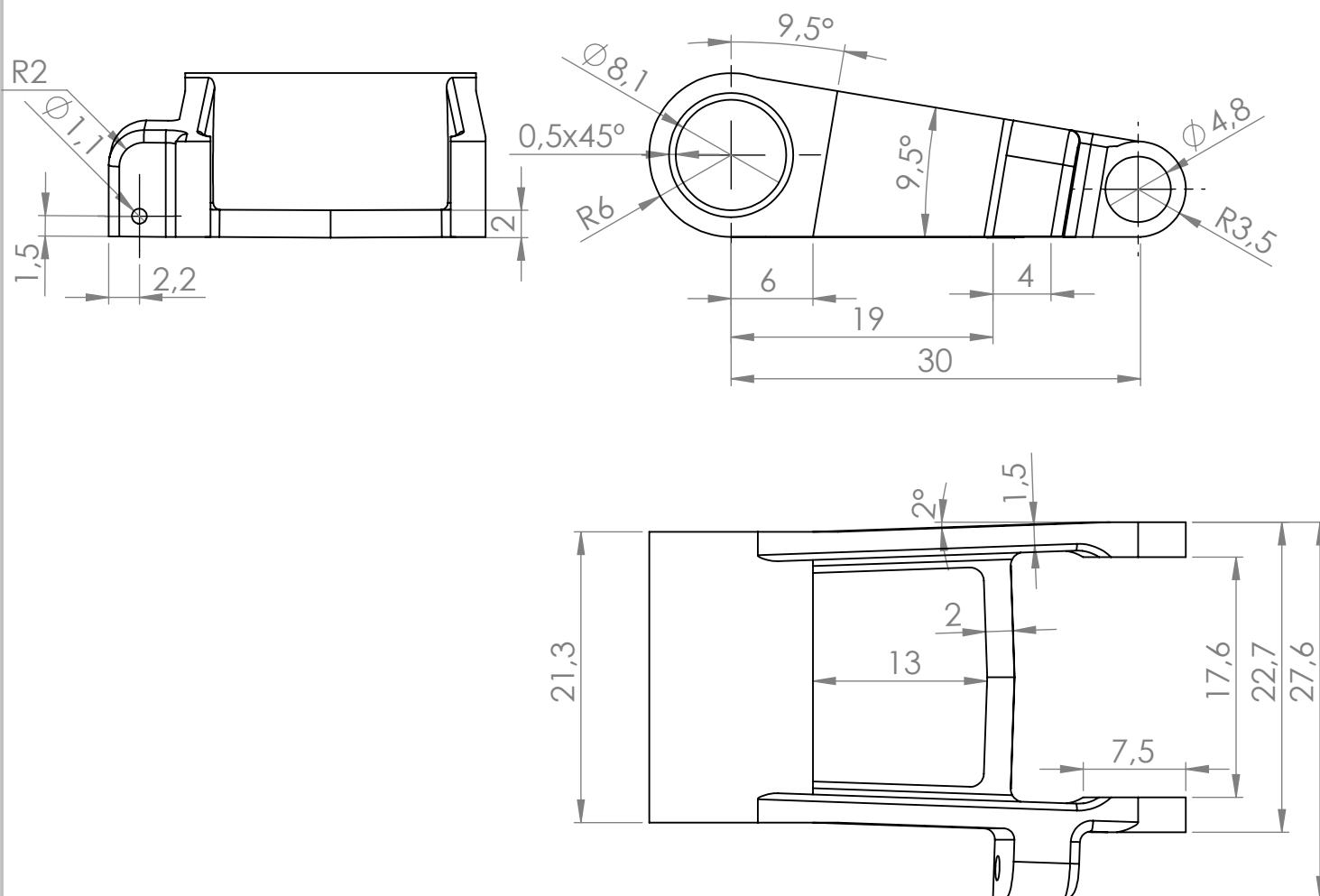


DIBUJADO	Nacho D.	Nº PLANO	
FECHA DIBUJ.	17/11/21		RVR-02-SP-00-02-01
REVISADO	Jorge P.		
FECHA REVIS.	17/11/21	TIPO	PIEZA
ESCALA:			
2:1	EJE BASTIDOR TENSOR		

Universidad  
de Oviedo



MATERIAL	Acero F1250
TOL. GEN.	ISO 2768-mK
CANTIDAD	2
HOJA	1 de 1

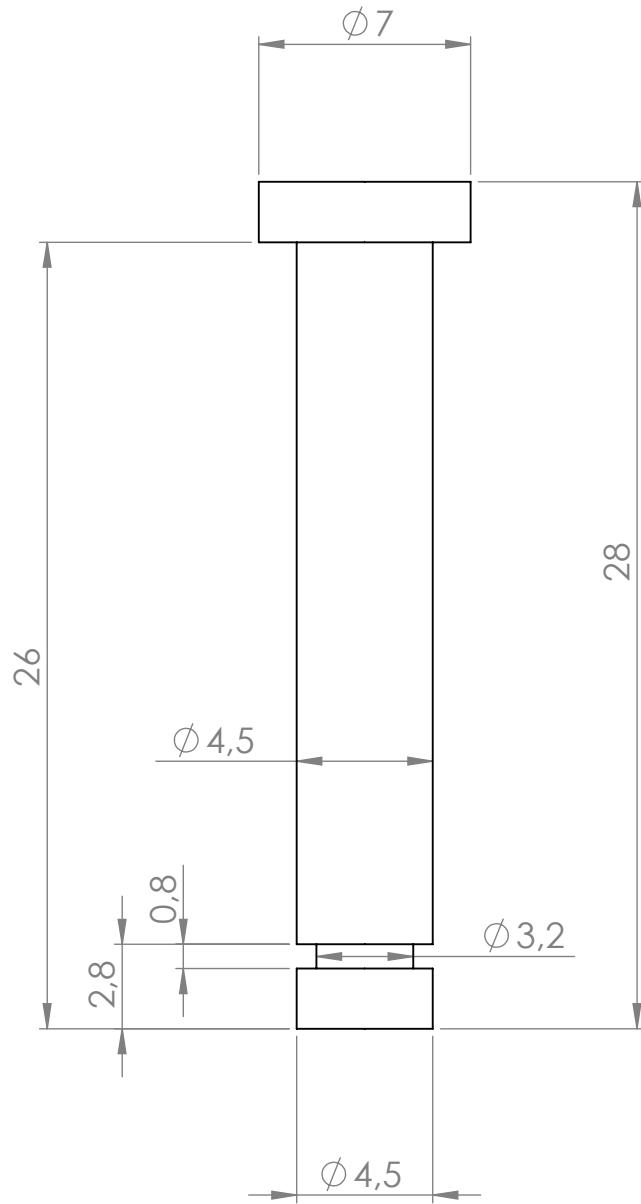


Nota: El brazo de la palanca derecha es la simétrica a ésta

DIBUJADO	I.DÍAZ	Nº PLANO	
FECHA DIBUJ.	30/12/21	RVR-02-SP-00-02-02	
REVISADO	J.ÁLVAREZ		
FECHA REVIS.	30/12/21	TIPO	PIEZA
ESCALA:			
2:1	BRAZO DE PALANCA (IZQ)		
			MATERIAL PLA
			TOL. GEN. ISO 2768-mK
			CANTIDAD 1
			HOJA 1 de 1

Universidad  
de Oviedo

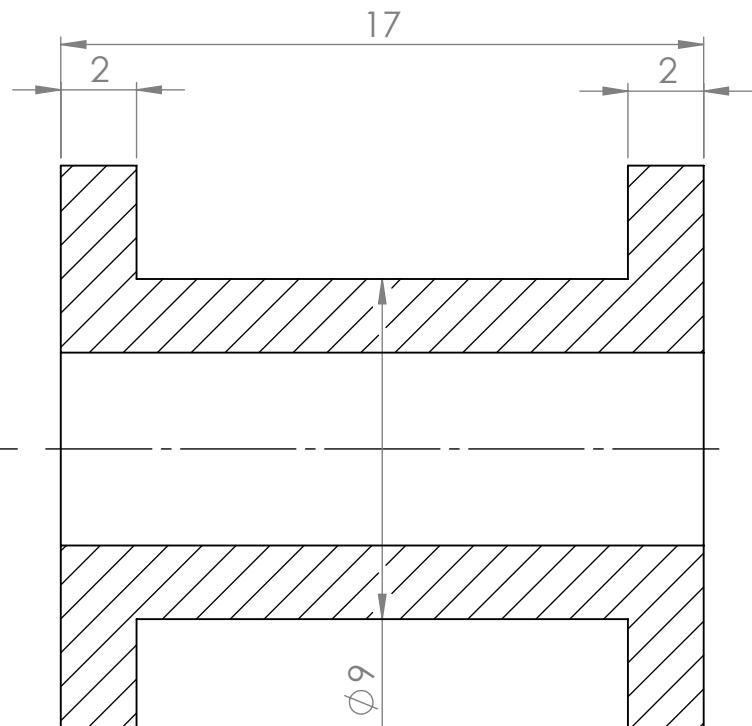
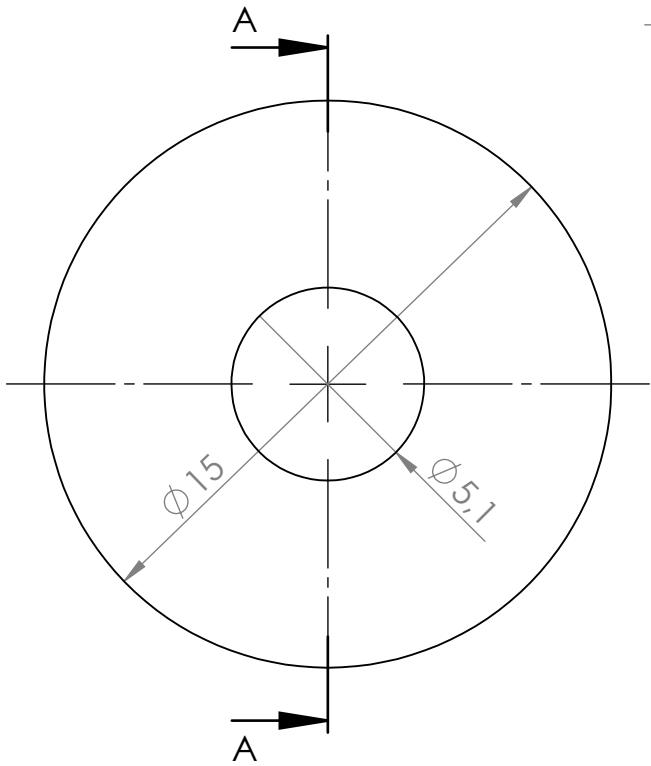




DIBUJADO	Nacho D.	Nº PLANO	
FECHA DIBUJ.	17/11/21	RVR-02-SP-00-02-03	
REVISADO	Jorge P.		
FECHA REVIS.	17/11/21	TIPO	PIEZA
ESCALA:			
4:1	EJE RUEDA POLEA TENSORA		
			MATERIAL Acero F1250
			TOL. GEN. ISO 2768-mK
			CANTIDAD 2
			HOJA 1 de 1

Universidad  
de Oviedo



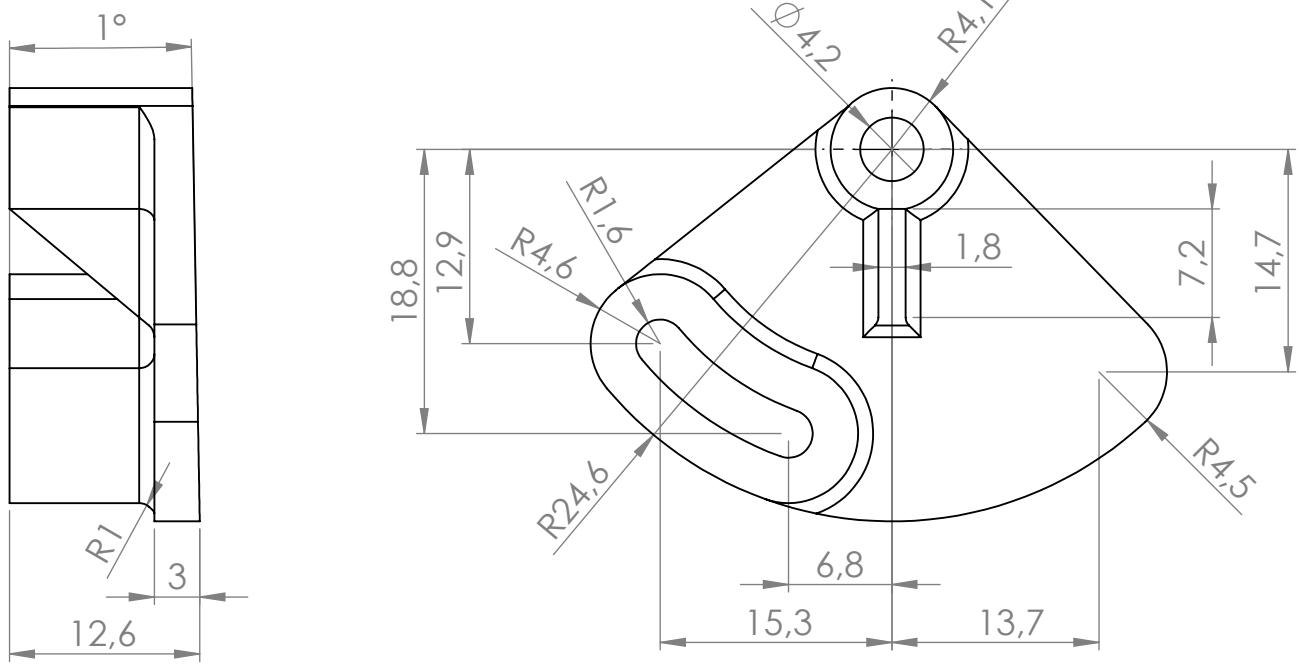


SECCIÓN A-A  
ESCALA 5 : 1

DIBUJADO	I.DÍAZ	Nº PLANO	
FECHA DIBUJ.	30/12/21		
REVISADO	J.ÁLVAREZ	RVR-02-SP-00-02-04	
FECHA REVIS.	30/12/21	TIPO	PIEZA
ESCALA:			
5:1	RUEDA TENSORA		
		MATERIAL	PLA
		TOL. GEN.	ISO 2768-mK
		CANTIDAD	2
		HOJA	1 de 1

Universidad  
de Oviedo





Notas:

La base de pieza presenta un ángulo de 1° para adaptarse al ángulo de desmoldeo del bastidor.

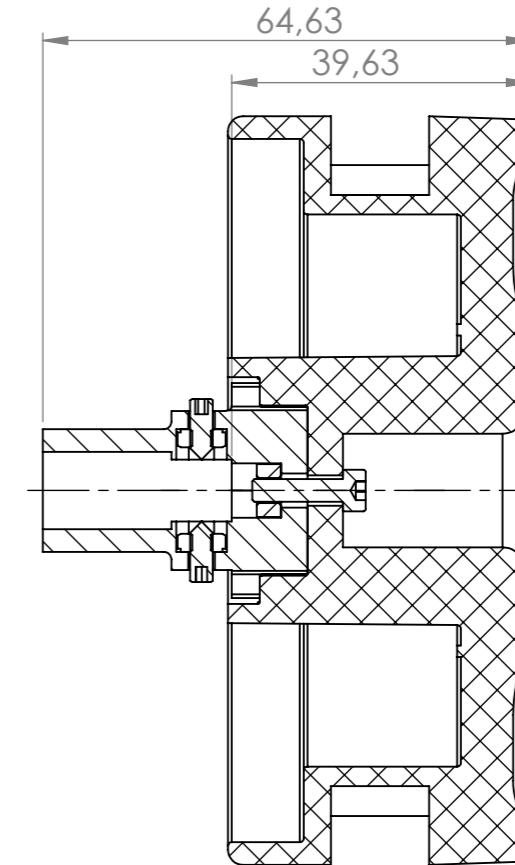
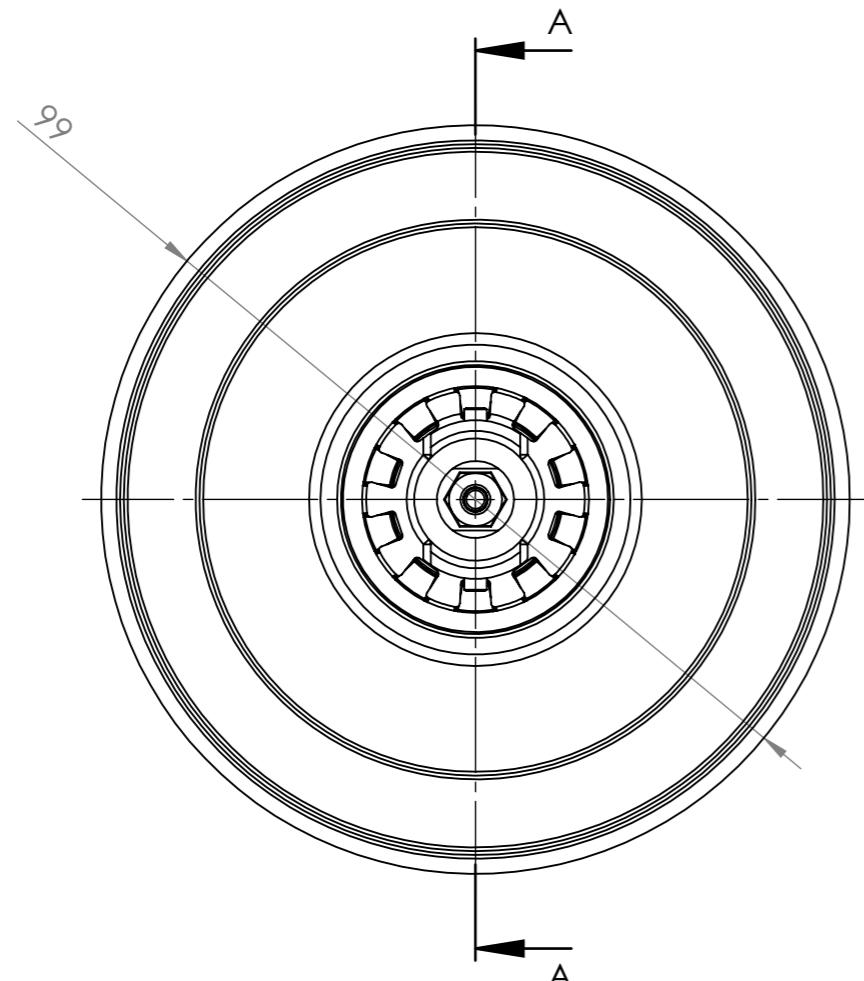
Todos los redondeos presentes son de 1 mm.

La pieza Base de apoyo derecha es simétrica respecto a ésta.

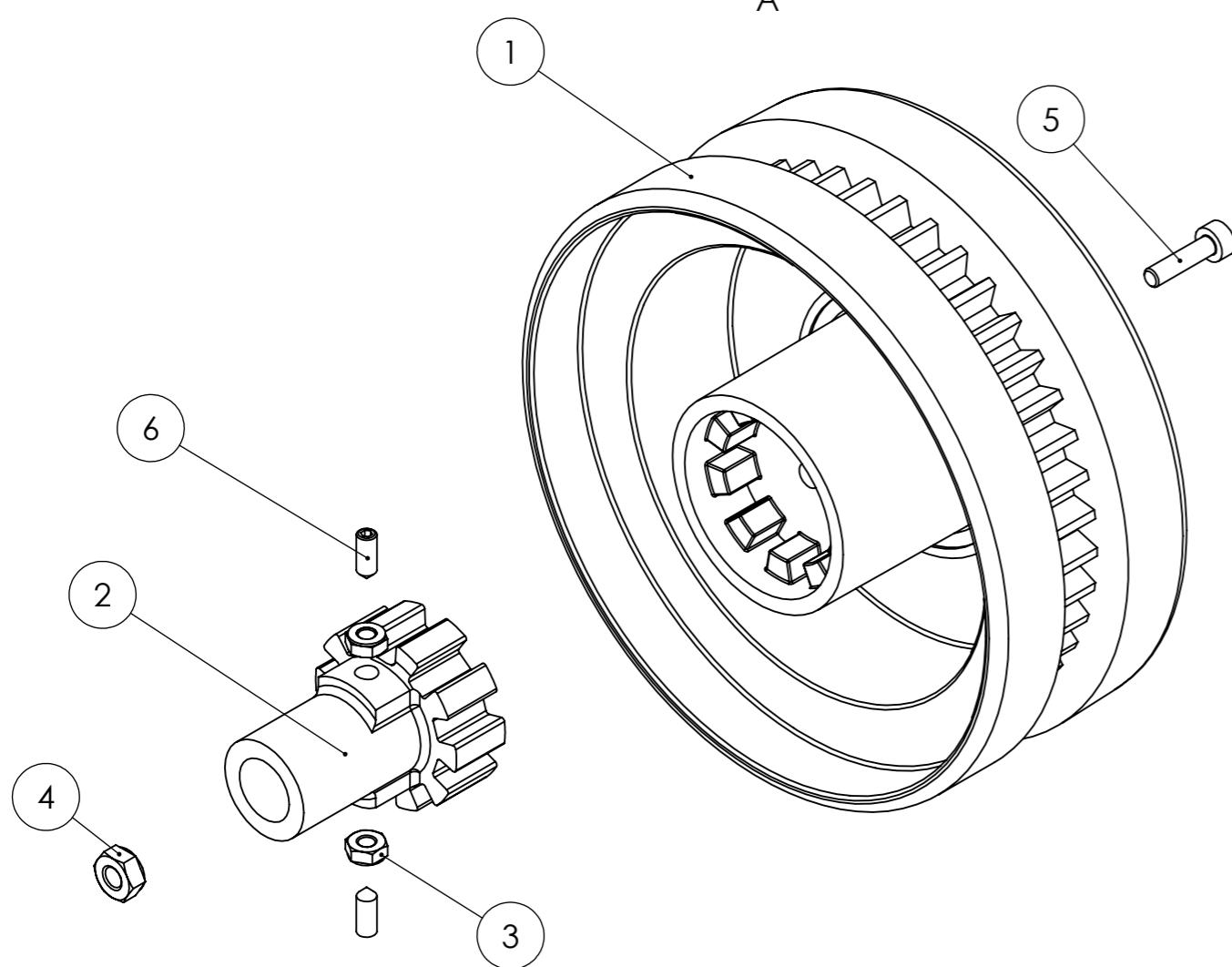
DIBUJADO	I.DÍAZ	Nº PLANO	
FECHA DIBUJ.	30/12/21		
REVISADO	J.ÁLVAREZ	RVR-02-SP-00-02-05	
FECHA REVIS.	30/12/21	TIPO	PIEZA
ESCALA:			
1:1	BASE DE APOYO (IZQ)		
		MATERIAL	PLA
		TOL. GEN.	ISO 2768-mK
		CANTIDAD	1
		HOJA	1 de 1

Universidad  
de Oviedo





SECCIÓN A-A

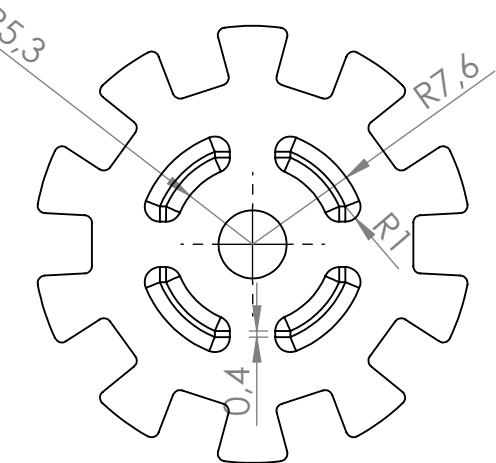
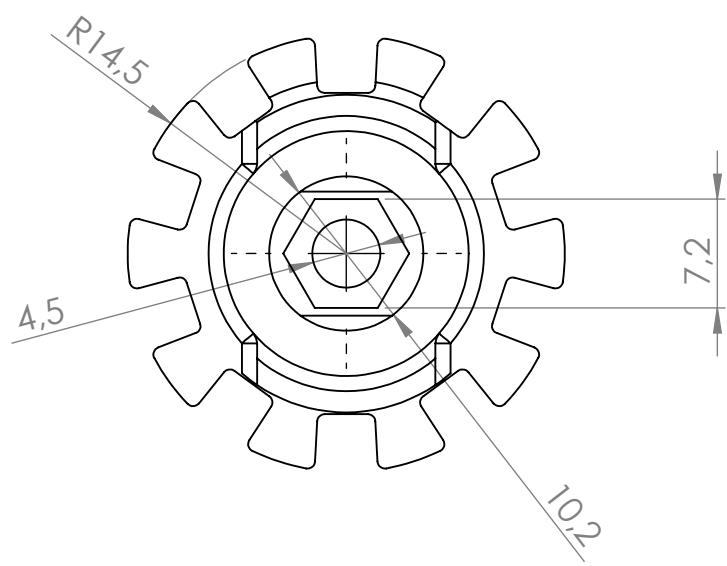


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PLANO	NOMBRE PIEZA		CANT.
1	COMERCIAL	RUEDA TRACTORA		1
2	RVR-03-TR-00-00-01	ACOPLE RUEDA		1
3	COMERCIAL	TUERCA ISO 4032 M3		2
4	COMERCIAL	TUERCA ISO 4032 M4		1
5	COMERCIAL	TORNILLO DIN 912 M4X12		1
6	COMERCIAL	TORNILLO DIN 914 M3X8		2

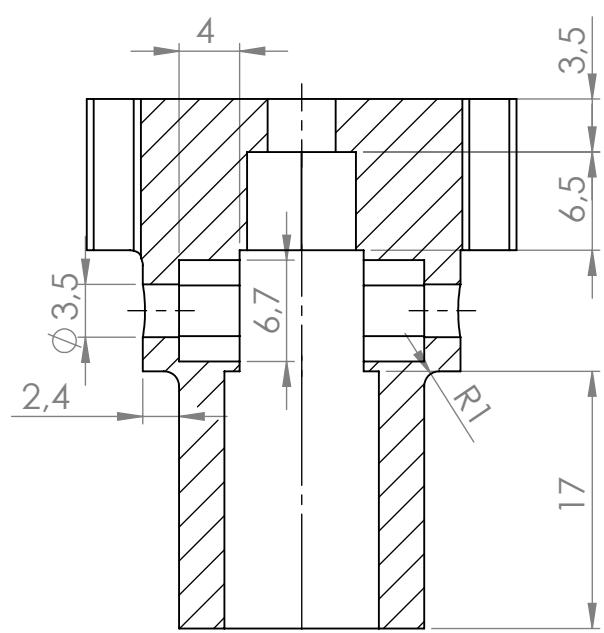
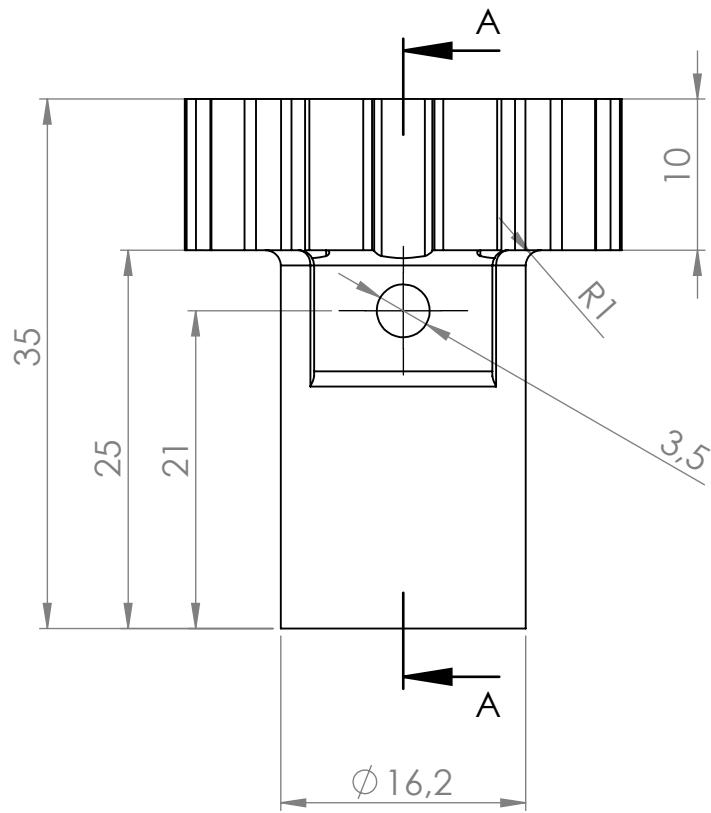
DIBUJADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ	Nº PLANO	Universidad de Oviedo
FECHA DIBUJ.	09/12/2021	RVR-03-TR-00-00-00	
REVISADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ		
FECHA REVIS.	09/12/2021	TIPO CONJUNTO	

ESCALA:	2:2	SISTEMA DE TRACCIÓN	MATERIAL	--
TOL. GEN.		ISO 2768-mK	TOL. GEN.	ISO 2768-mK
CANTIDAD	2		CANTIDAD	2
HOJA	1 de 1		HOJA	1 de 1





VISTA FRONTAL TRASERA



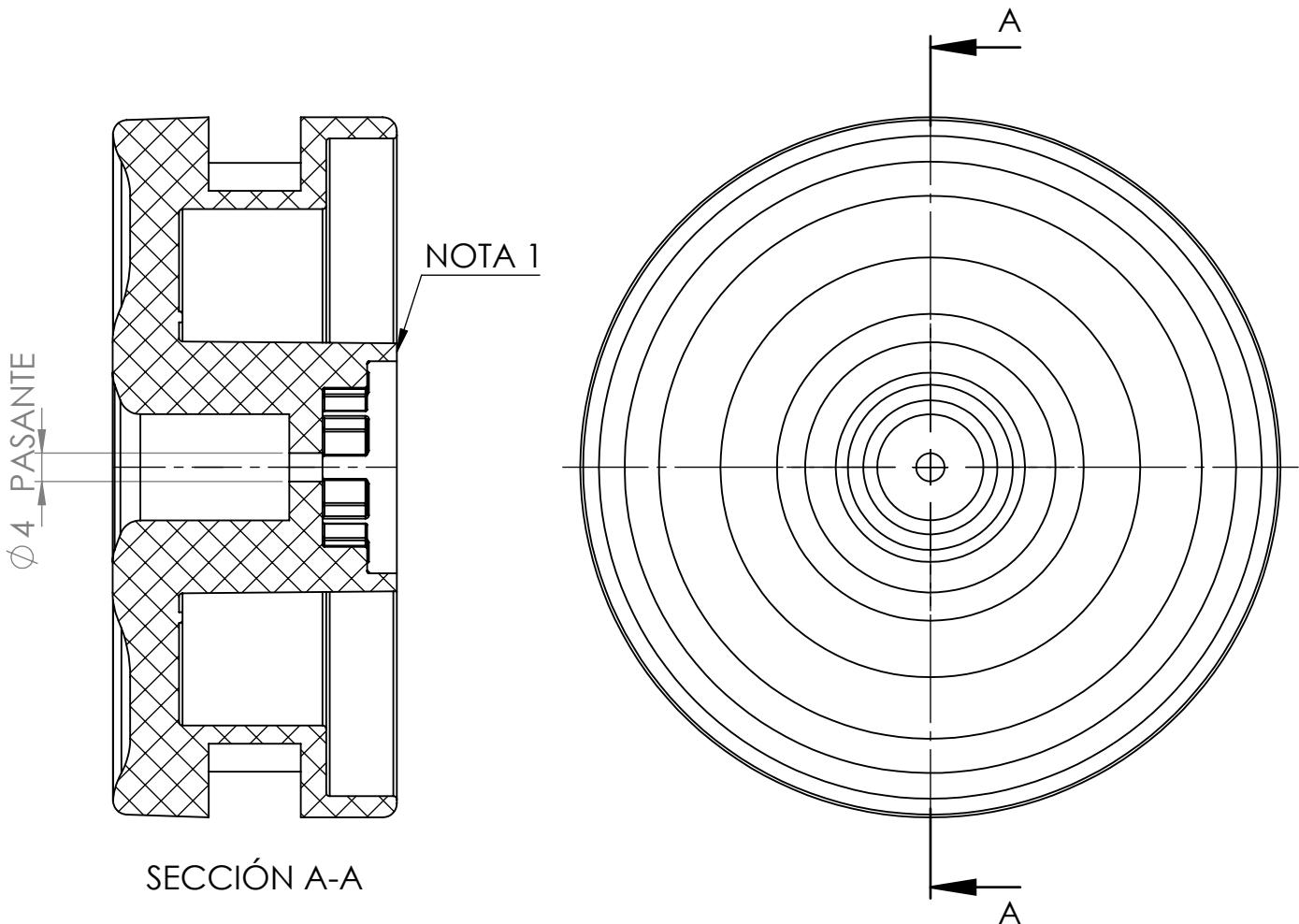
SECCIÓN A-A

DIBUJADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ	Nº PLANO	
FECHA DIBUJ.	09/12/2021		
REVISADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ	RVR-03-TR-00-00-01	
FECHA REVIS.	09/12/2021	TIPO	PIEZA
ESCALA:			
2:1	ACOPLE RUEDA		

Universidad  
de Oviedo

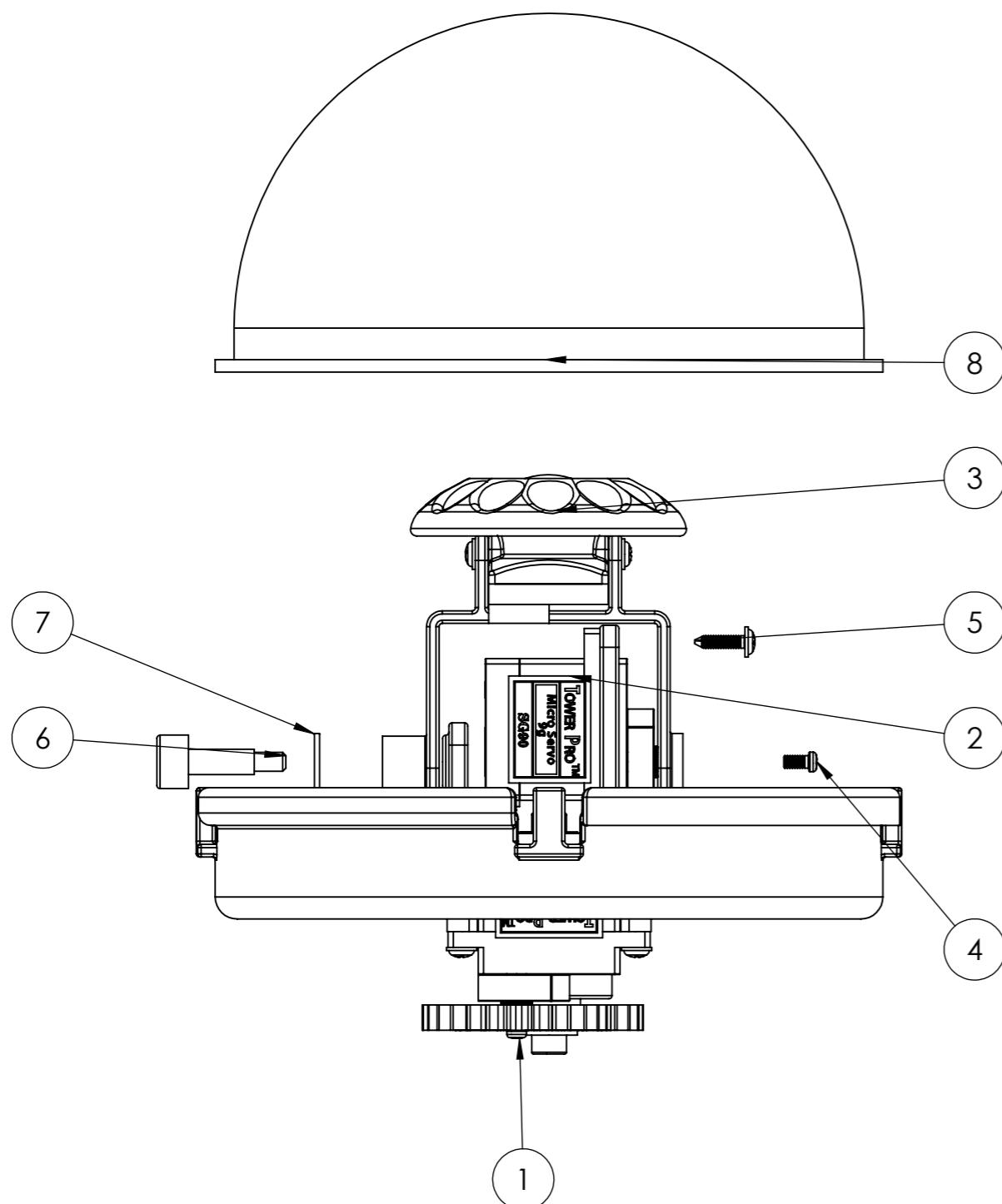


MATERIAL	PLA
TOL. GEN.	ISO 2768-mK
CANTIDAD	2
HOJA	1 de 1



NOTA 1: CORTAR EL CUBO INTERIOR DE LA RUEDA HASTA QUE QUEDA ENRASADO CON EL ARO EXTERIOR

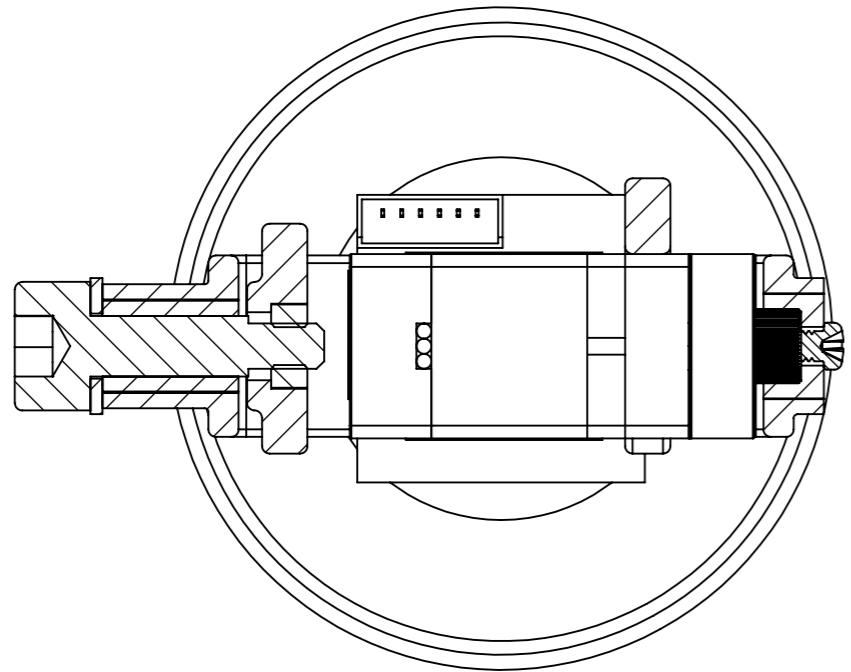
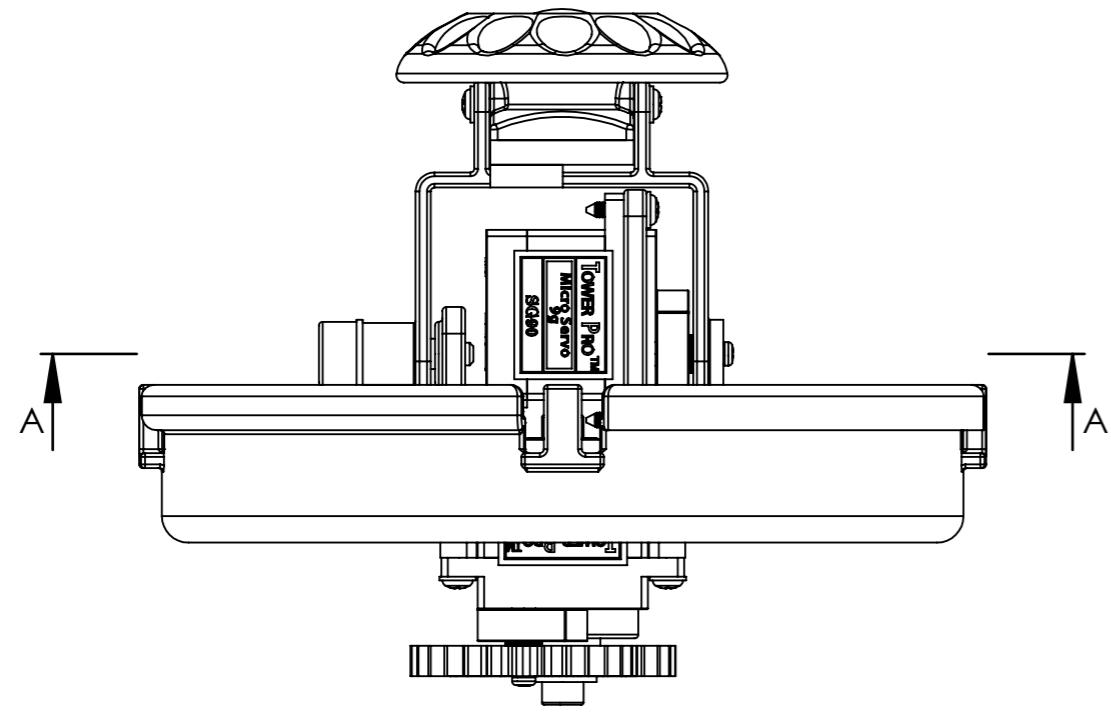
DIBUJADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ	Nº PLANO		<b>Universidad de Oviedo</b> 	
FECHA DIBUJ.	17/11/2021	COMERCIAL			
REVISADO	LUIS ALFONSO MARTINEZ				
FECHA REVIS.	17/11/2021	TIPO	PIEZA		
ESCALA:			MATERIAL	PLASTICO	
1:1	<b>RUEDA TRACTORA</b>		TOL. GEN.	ISO 2768-mK	
			CANTIDAD	2	
			HOJA	1 de 1	



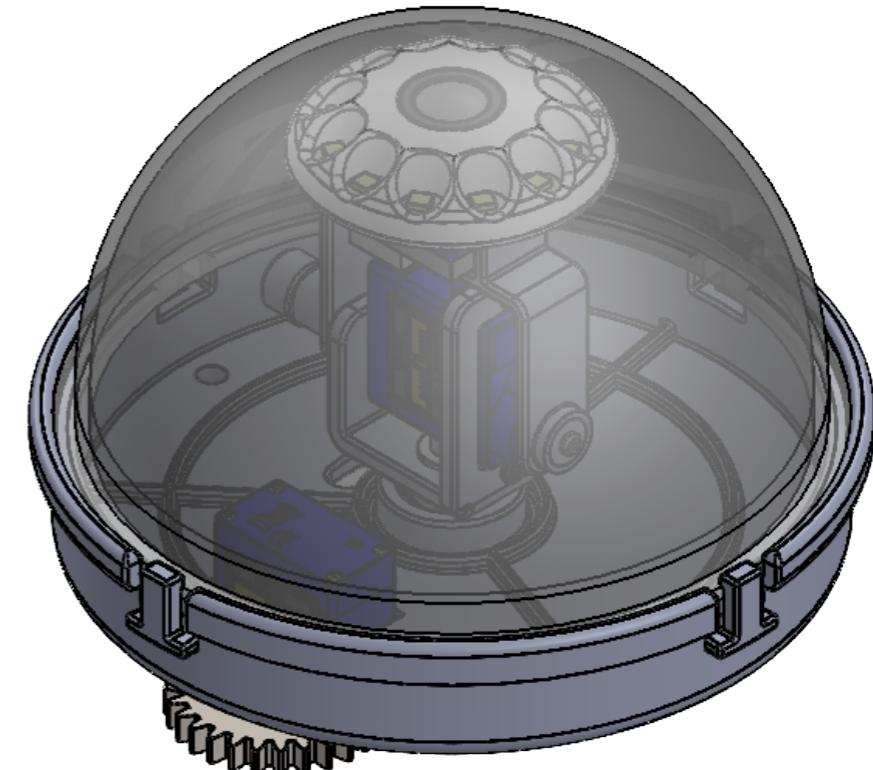
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PLANO	NOMBRE PIEZA		CANT.
1	RVR-04-CM-00-01-00	Ensamblaje Pan		1
2	COMERCIAL	Servomotor SG90		1
3	RVR-04-CM-00-02-00	Ensamblaje Tilt		1
4	COMERCIAL	Tornillo servo SG90		1
5	COMERCIAL	Tornillo acoplamiento SG90		2
6	RVR-04-CM-00-00-01	EJE TILT		1
7	COMERCIAL	Arandela DIN125 M4		1
8	COEMRCIAL	Cupula		1

DIBUJADO	Pelayo P.	Nº PLANO		Universidad de Oviedo	
FECHA DIBUJ.	03/01/2022	RVR-04-CM-00-00-00			
REVISADO	Victor A.				
FECHA REVIS.	05/01/2022	TIPO	CONJUNTO		
ESCALA:	1:1				
	Pan&Tilt				
MATERIAL	-				
TOL. GEN.	ISO 2768-mK				
CANTIDAD	1				
HOJA	1 de 2				



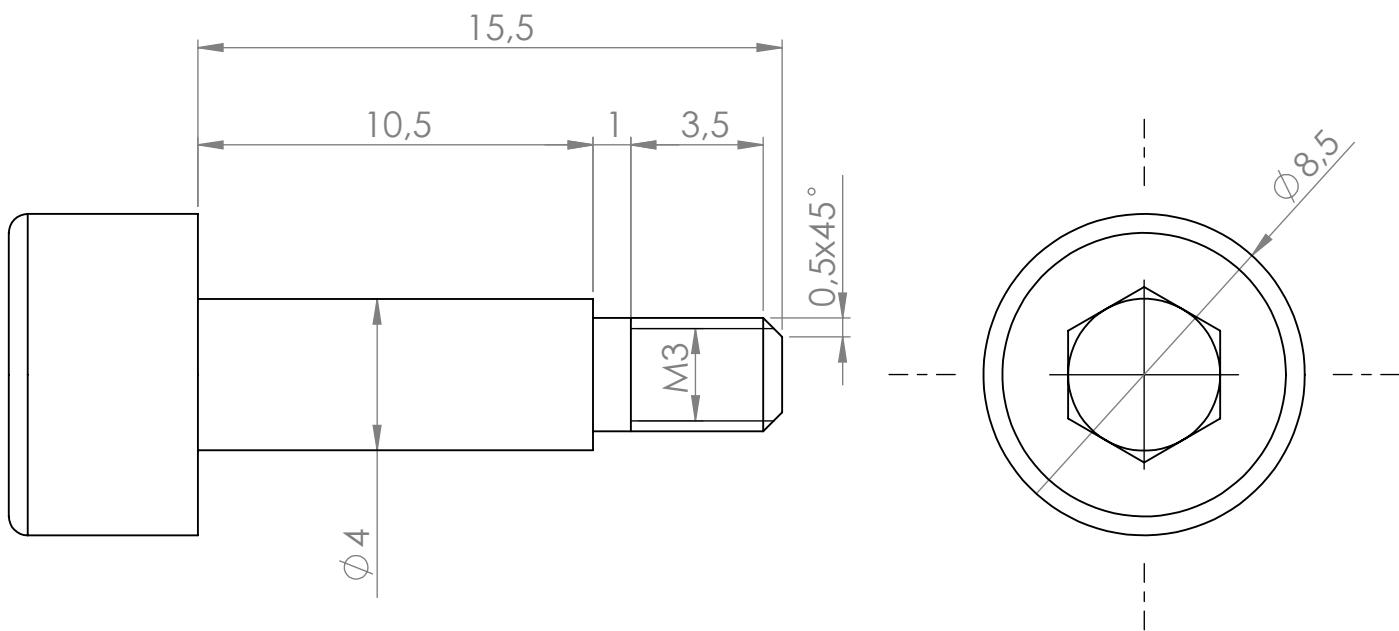


SECCIÓN A-A  
ESCALA 2 : 1



DIBUJADO	Pelayo P.	Nº PLANO	Universidad de Oviedo	
FECHA DIBUJ.	03/01/2022	RVR-04-CM-00-00-00		
REVISADO	Victor A.			
FECHA REVIS.	05/01/2022	TIPO CONJUNTO		
ESCALA:	Pan&Tilt			
1:1				
MATERIAL	-			
TOL. GEN.	ISO 2768-mK			
CANTIDAD	1			
HOJA	2 de 2			



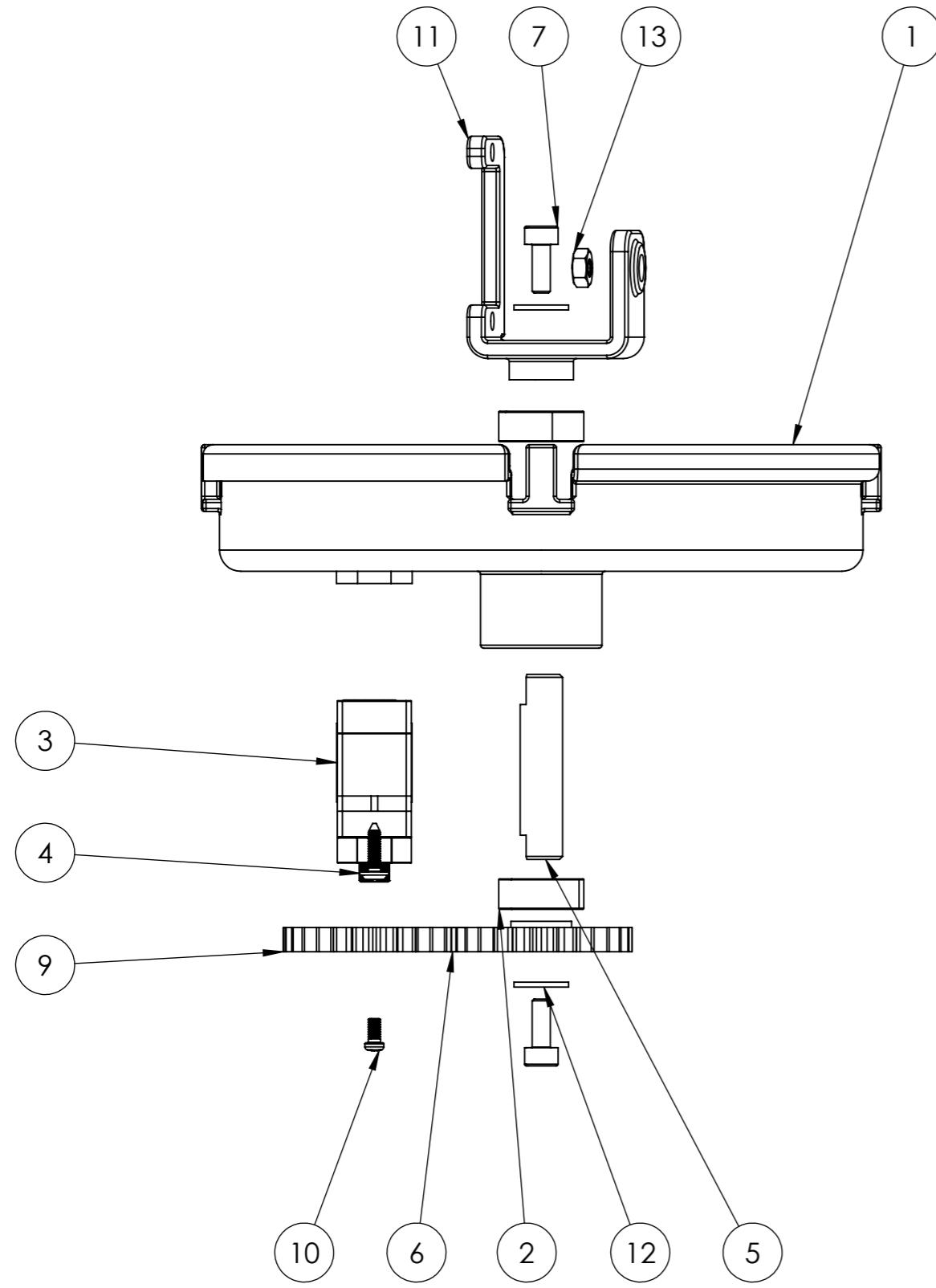


NOTA: Mecanizar a partir de un tornillo M5x20

DIBUJADO	Pelayo Prieto García	Nº PLANO	
FECHA DIBUJ.	03/11/21	RVR-04-CM-00-00-01	
REVISADO	Pelayo Prieto García		
FECHA REVIS.	11/11/21	TIPO	PIEZA
ESCALA:			
5:1	EJE TILT		
			MATERIAL ACERO 1250
			TOL. GEN. ISO 2768-mK
			CANTIDAD 1
			HOJA 1 de 1

Universidad  
de Oviedo

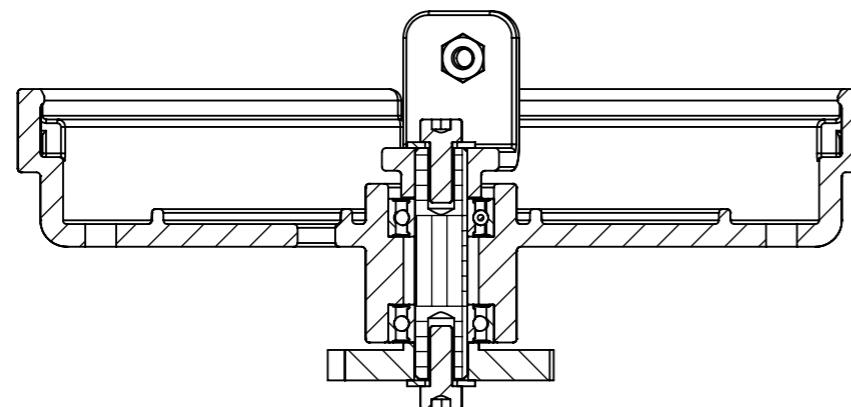
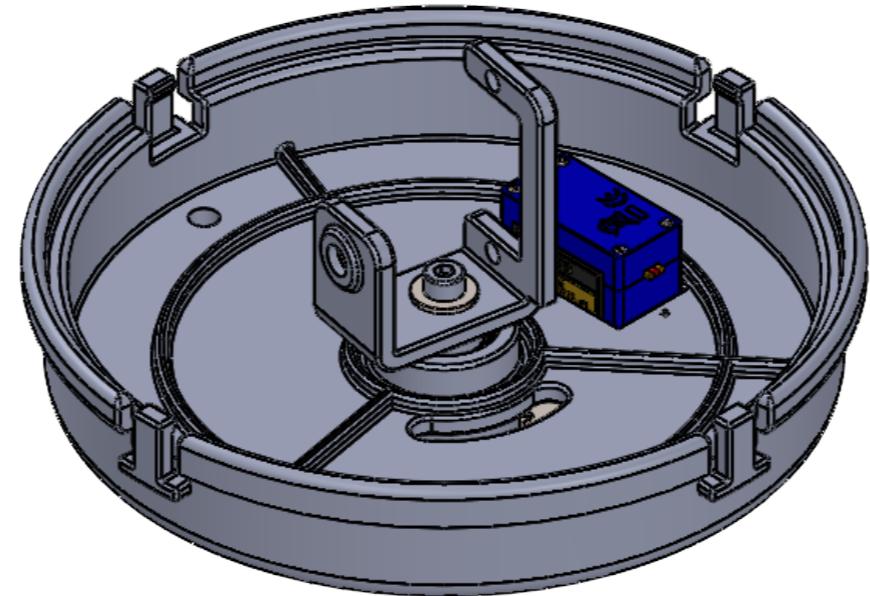




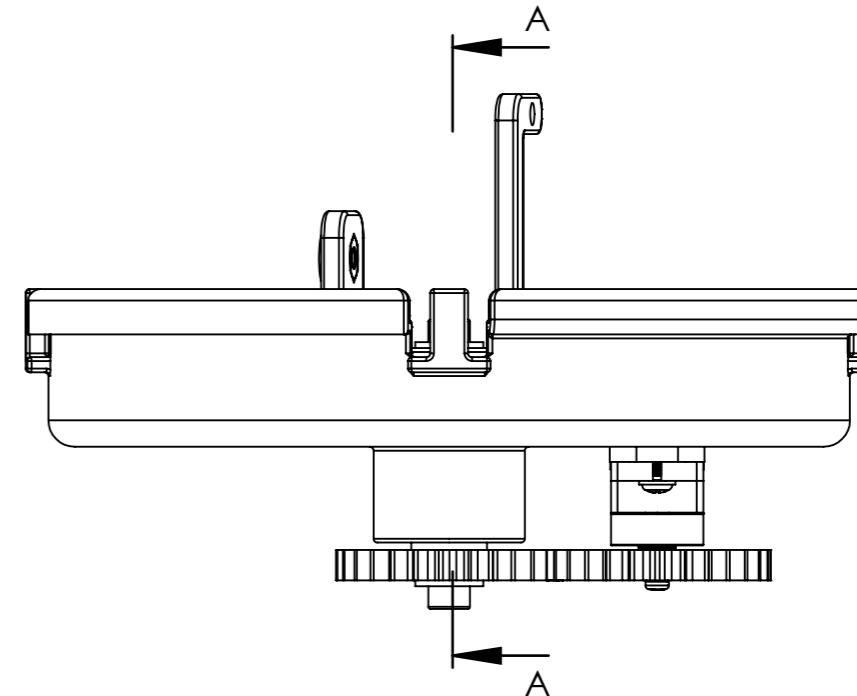
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PLANO	NOMBRE PIEZA		CANT.
1	RVR-04-CM-00-01-01	Base camara		1
2	COMERCIAL	Rodamiento SKF 628 7 2Z		2
3	COMERCIAL	Servomotor SG90		1
4	COMERCIAL	Tornillo acoplamiento SG90		2
5	RVR-04-CM-00-01-02	Eje		1
6	RVR-04-CM-00-01-04	Engranaje eje		1
7	COEMRCIAL	Tornillo DIN912 M3x8		2
8	COMERCIAL	Acoplamiento servo		1
9	RVR-04-CM-00-01-05	Engranaje servo		1
10	COMERCIAL	Tornillo servo SG90		1
11	RVR-04-CM-00-01-03	Base Pan		1
12	COMERCIAL	Arandela DIN125 M4		2
13	COMERCIAL	Tuerca ISO4032 M3		1

DIBUJADO	Pelayo P.	Nº PLANO		Universidad de Oviedo	
FECHA DIBUJ.	27/12/21	RVR-04-CM-00-01-00			
REVISADO	Victor A.				
FECHA REVIS.	02/01/2022	TIPO	CONJUNTO		
ESCALA:	1:1	Ensamblaje Pan			
MATERIAL	-				
TOL. GEN.	ISO 2768-mK				
CANTIDAD	1				
HOJA	1 de 2				



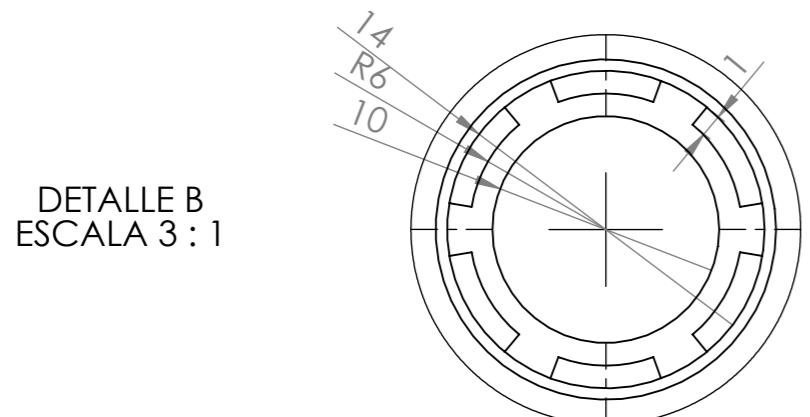
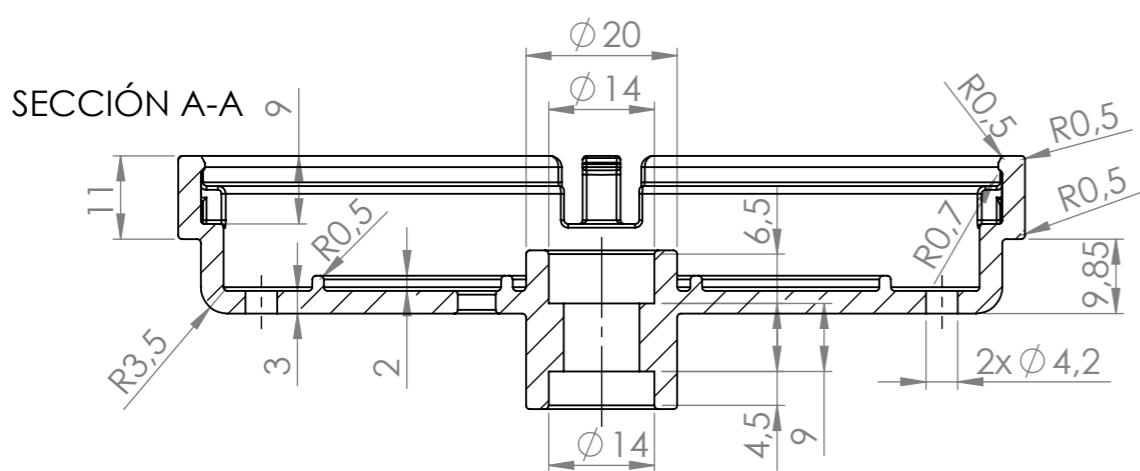
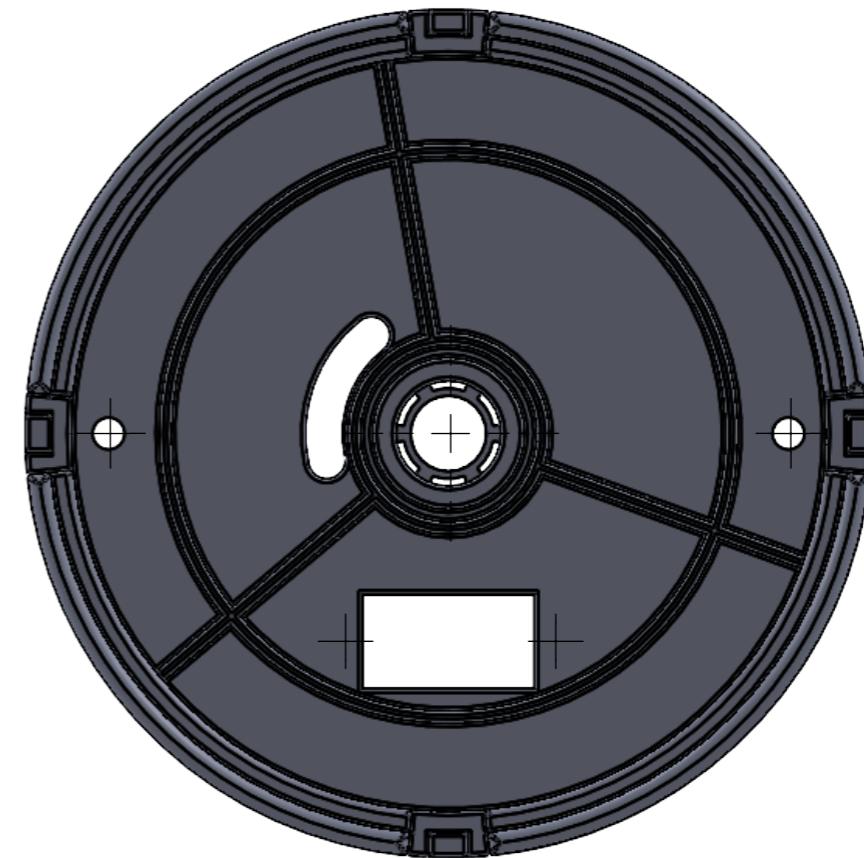
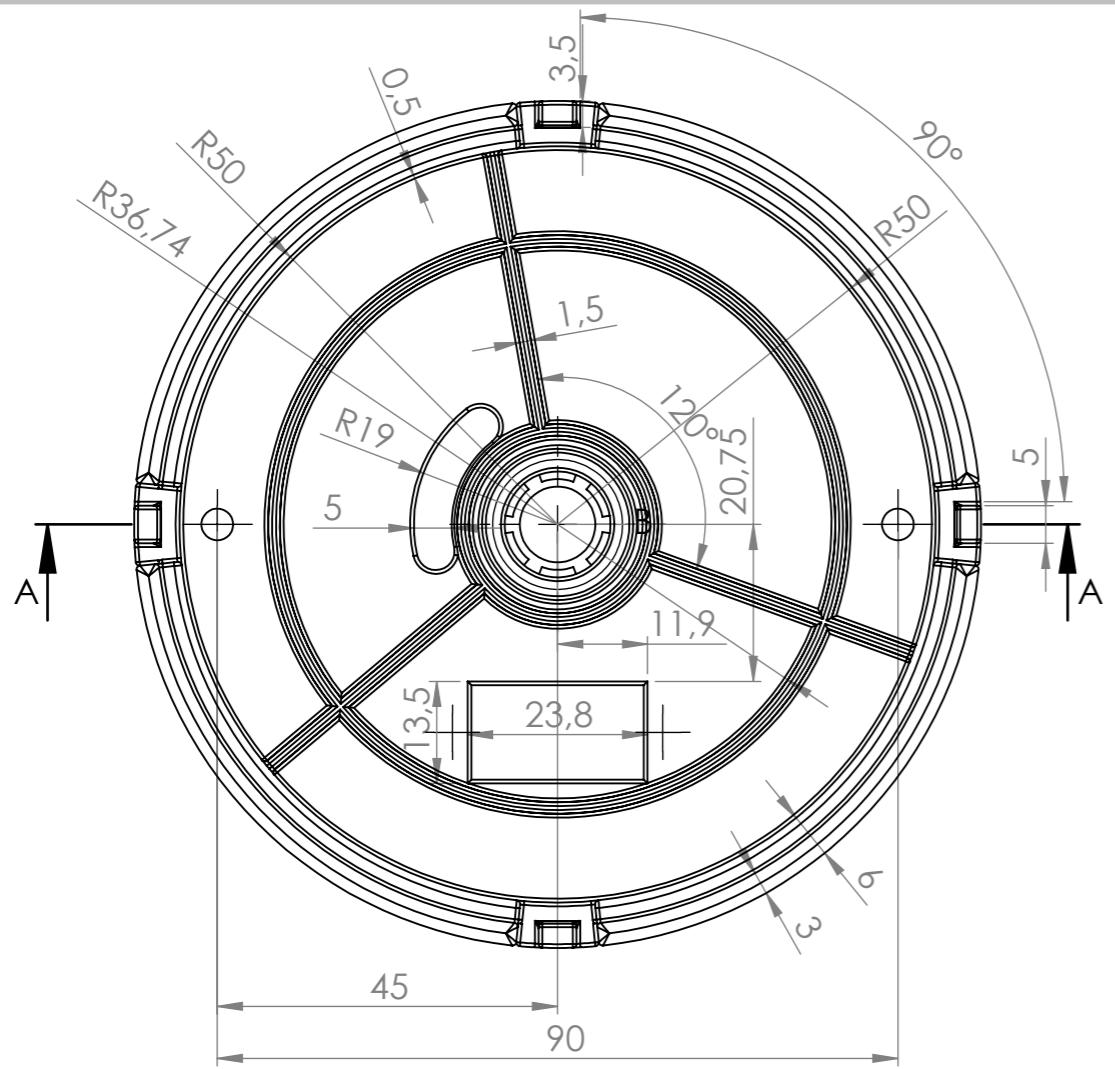


SECCIÓN A-A



DIBUJADO	Pelayo P.	Nº PLANO	Universidad de Oviedo	
FECHA DIBUJ.	27/12/21	RVR-04-CM-00-01-00		
REVISADO	Victor A.			
FECHA REVIS.	02/01/2022	TIPO		
ESCALA:	CONJUNTO			
1:1	Ensamblaje Pan			
MATERIAL	-			
TOL. GEN.	ISO 2768-mK			
CANTIDAD	1			
HOJA	2 de 2			

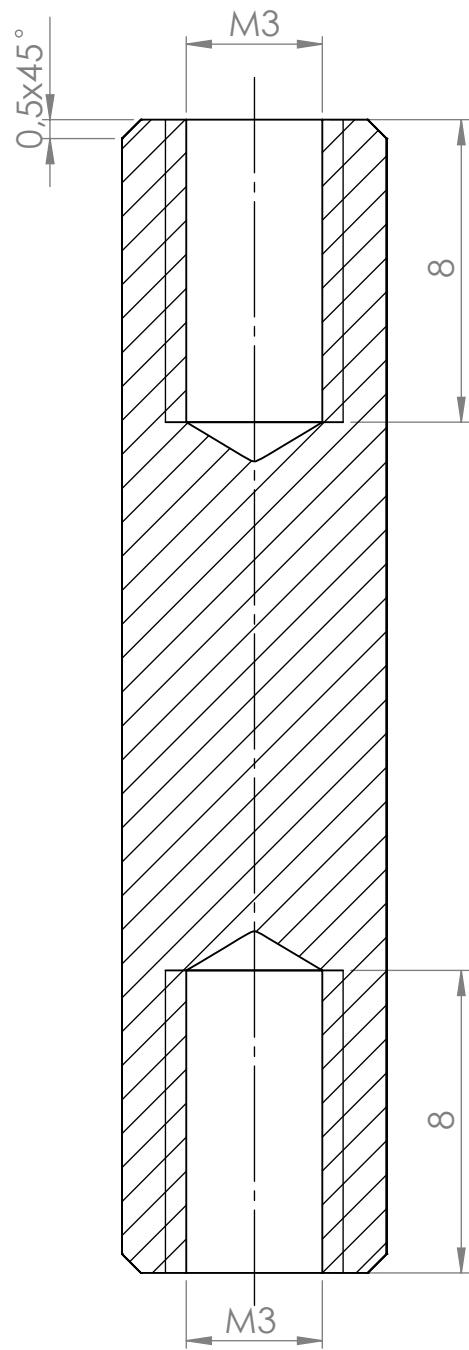
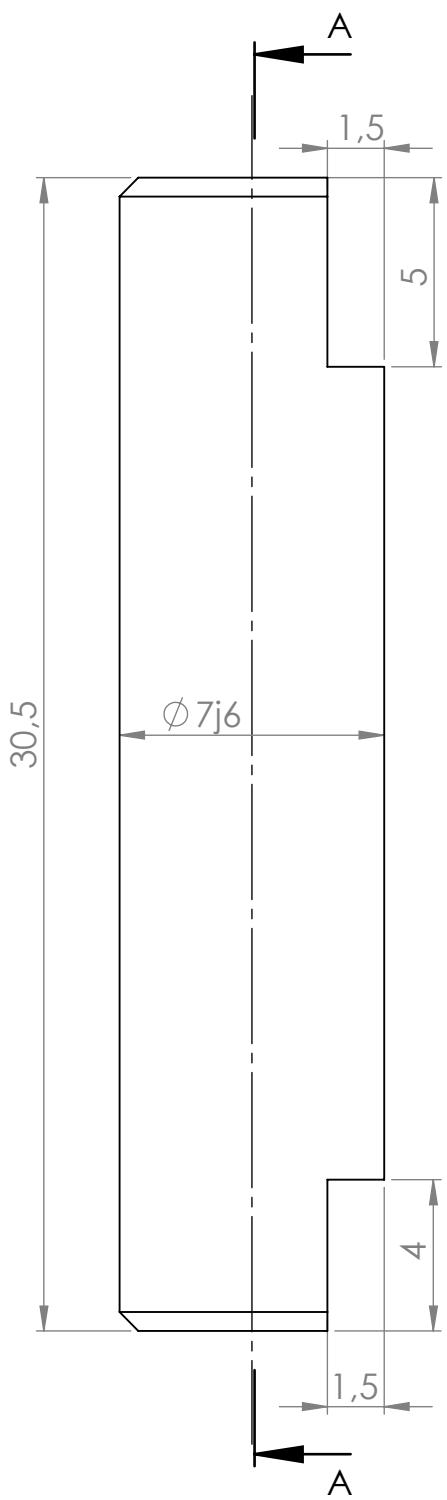




DETALLE B  
ESCALA 3 : 1

DIBUJADO	Pelayo P.	Nº PLANO	Universidad de Oviedo			
FECHA DIBUJ.	27/12/2021	RVR-04-CM-00-01-01				
REVISADO	Victor A.	TIPO PIEZA				
FECHA REVIS.	02/01/2022					
ESCALA:	1:1	Base camara				
MATERIAL	PLA					
TOL. GEN.	ISO 2768-mK					
CANTIDAD	1					
HOJA	1 de 1					





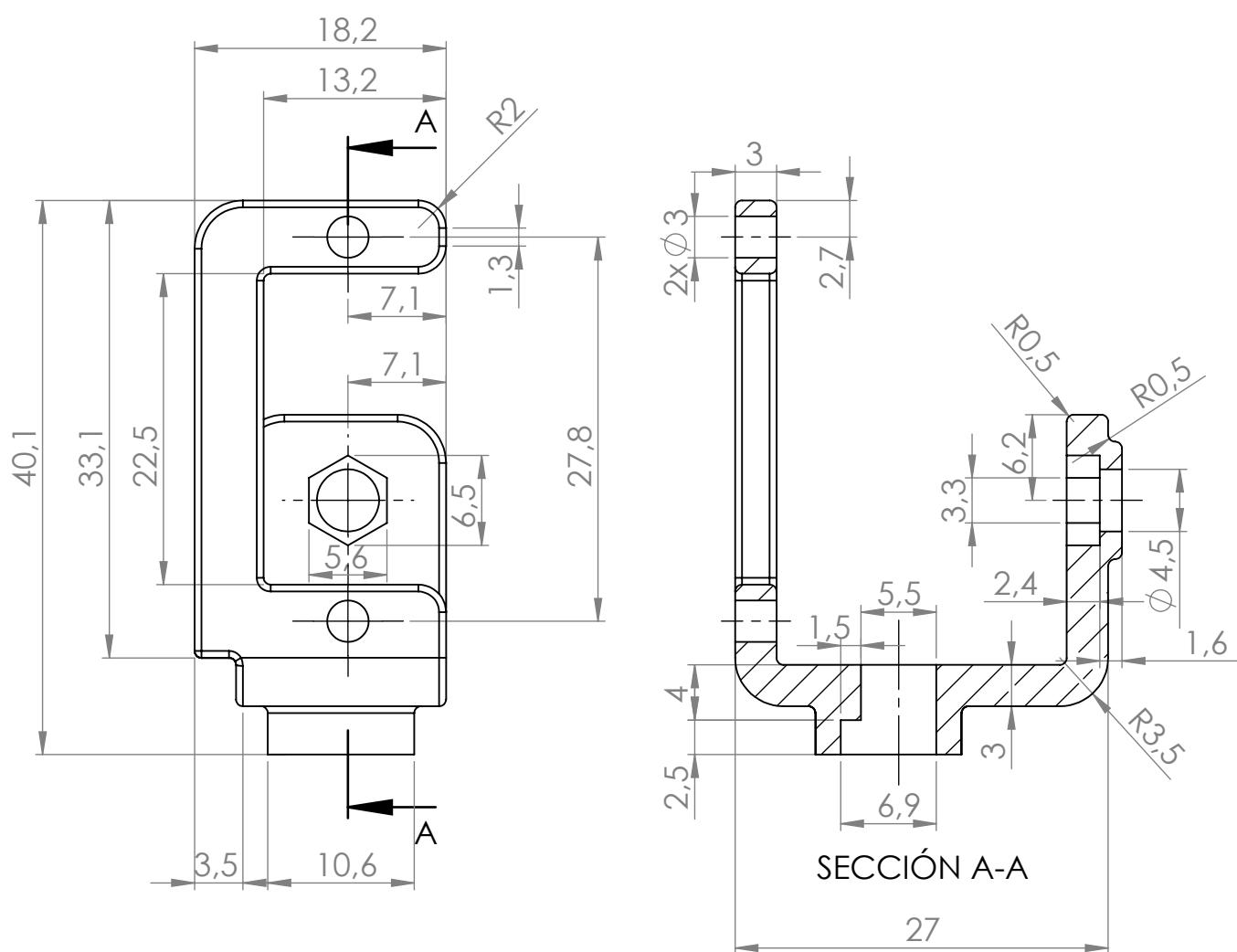
SECCIÓN A-A

DIBUJADO	Pelayo Prieto García	Nº PLANO	
FECHA DIBUJ.	18/10/21		RVR-04-CM-00-01-02
REVISADO	Pelayo Prieto García		
FECHA REVIS.	11/11/21	TIPO	PIEZA
ESCALA:	5:1	Eje	

Universidad  
de Oviedo



MATERIAL	Acero 1250
TOL. GEN.	ISO 2768-mK
CANTIDAD	1
HOJA	1 de 1



DIBUJADO	Pelayo P.	Nº PLANO	
FECHA DIBUJ.	26/12/2021	RVR-04-CM-00-01-03	
REVISADO	Victor A.		
FECHA REVIS.	30/12/2021	TIPO	PIEZA
ESCALA:	2:1		

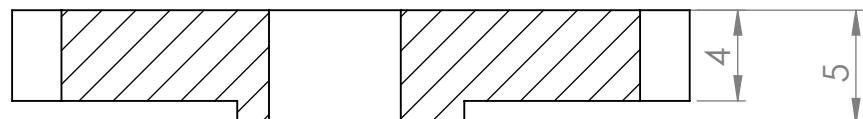
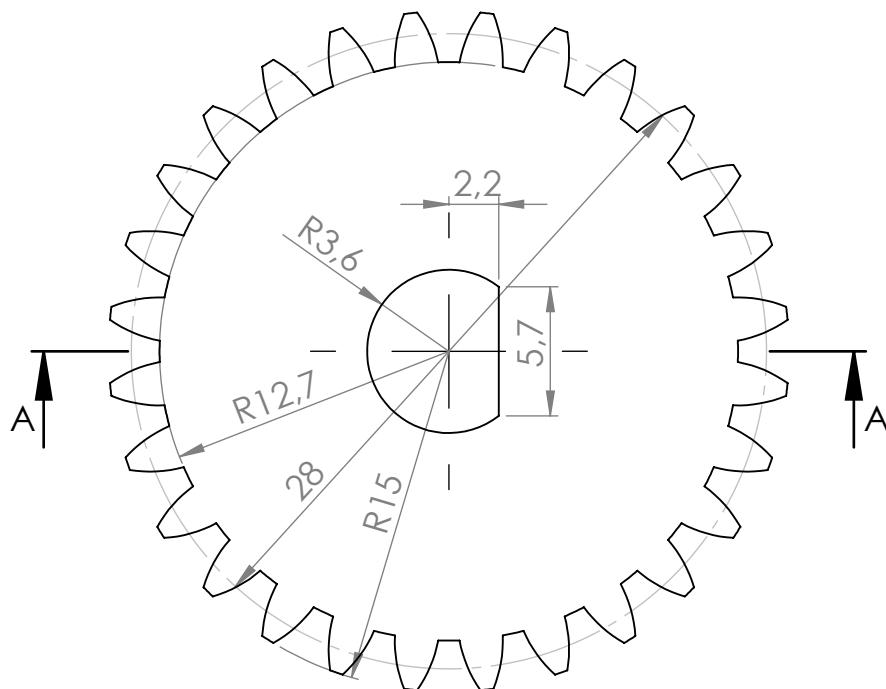
**Universidad  
de Oviedo**



**Base Pan**

MATERIAL	PLA
TOL. GEN.	ISO 2768-mK
CANTIDAD	1
HOJA	1 de 1

Módulo: 1  
Nº Dientes: 28  
Dp: 28 mm



SECCIÓN A-A

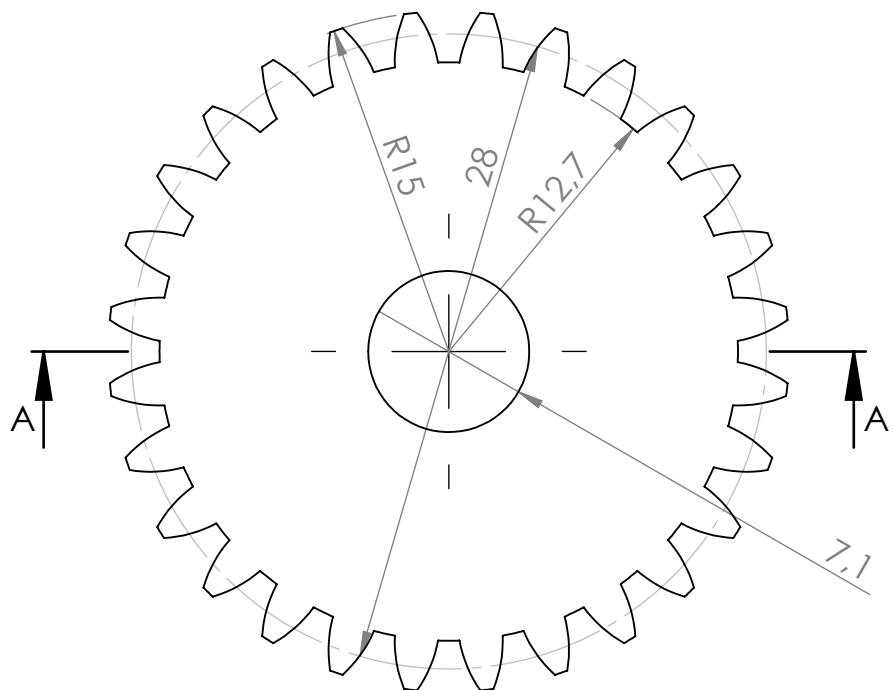
DIBUJADO	Pelayo P.	Nº PLANO	
FECHA DIBUJ.	27/12/2021		RVR-04-CM-00-01-04
REVISADO	Victor A.		
FECHA REVIS.	30/12/2021	TIPO	PIEZA
ESCALA:			
3:1	Engranaje eje		

Universidad  
de Oviedo



MATERIAL	PLA
TOL. GEN.	ISO 2768-mK
CANTIDAD	1
HOJA	1 de 1

Módulo: 1  
Nº Dientes: 28  
Dp: 28 mm

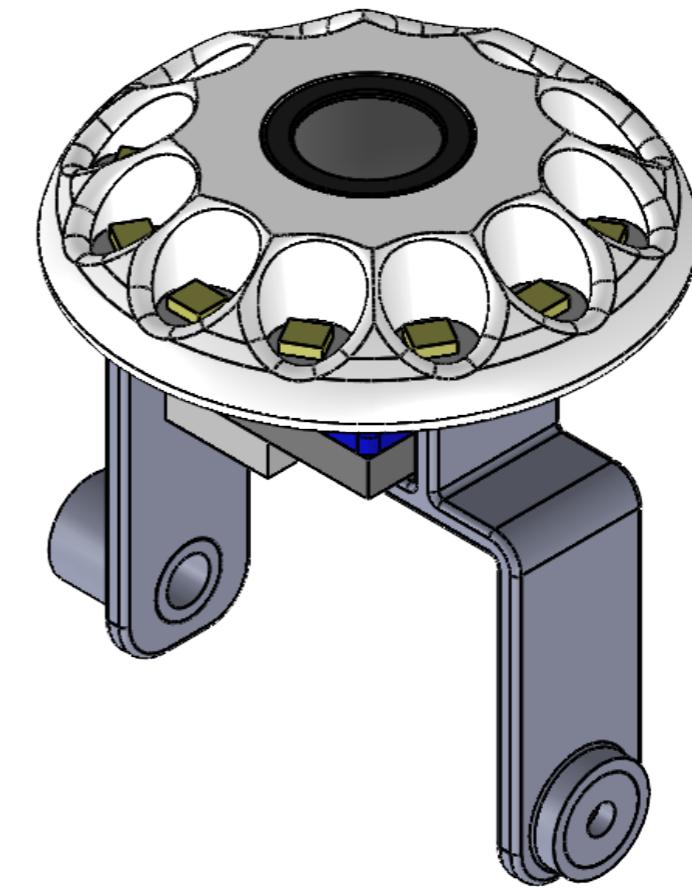
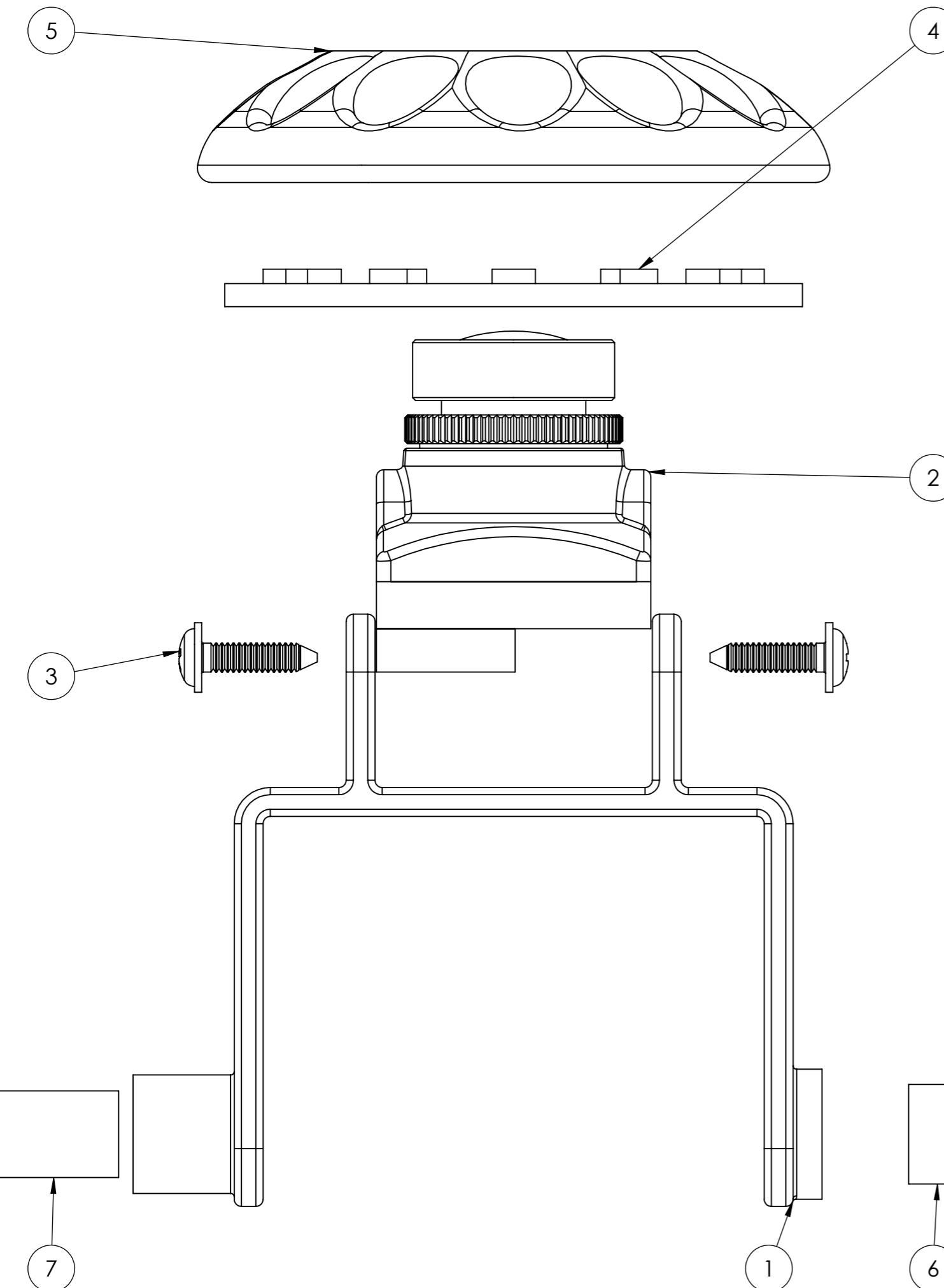


SECCIÓN A-A

DIBUJADO	Pelayo P.	Nº PLANO	
FECHA DIBUJ.	27/12/2021	RVR-04-CM-00-01-05	
REVISADO	Victor A.		
FECHA REVIS.	30/2/2021	TIPO	PIEZA
ESCALA:			
3:1	Engranaje servo		
		MATERIAL	PLA
		TOL. GEN.	ISO 2768-mK
		CANTIDAD	1
		HOJA	1 de 1

Universidad  
de Oviedo





N.º DE ELEMENTO	N.º DE PLANO	NOMBRE PIEZA	CANT.
1	RVR-04-CM-00-02-01	Base Tilt	1
2	COMERCIAL	RunCam Phoenix 2	1
3	COMERCIAL	Tornillo acoplamiento SG90	2
4	COEMRCIAL	Corona de LEDs	1
5	RVR-04-CM-00-02-02	Soporte Corona	1
6	COMERCIAL	Acoplamiento servo	1
7	COMERCIAL	RS Pro Plain Bush OB469	1

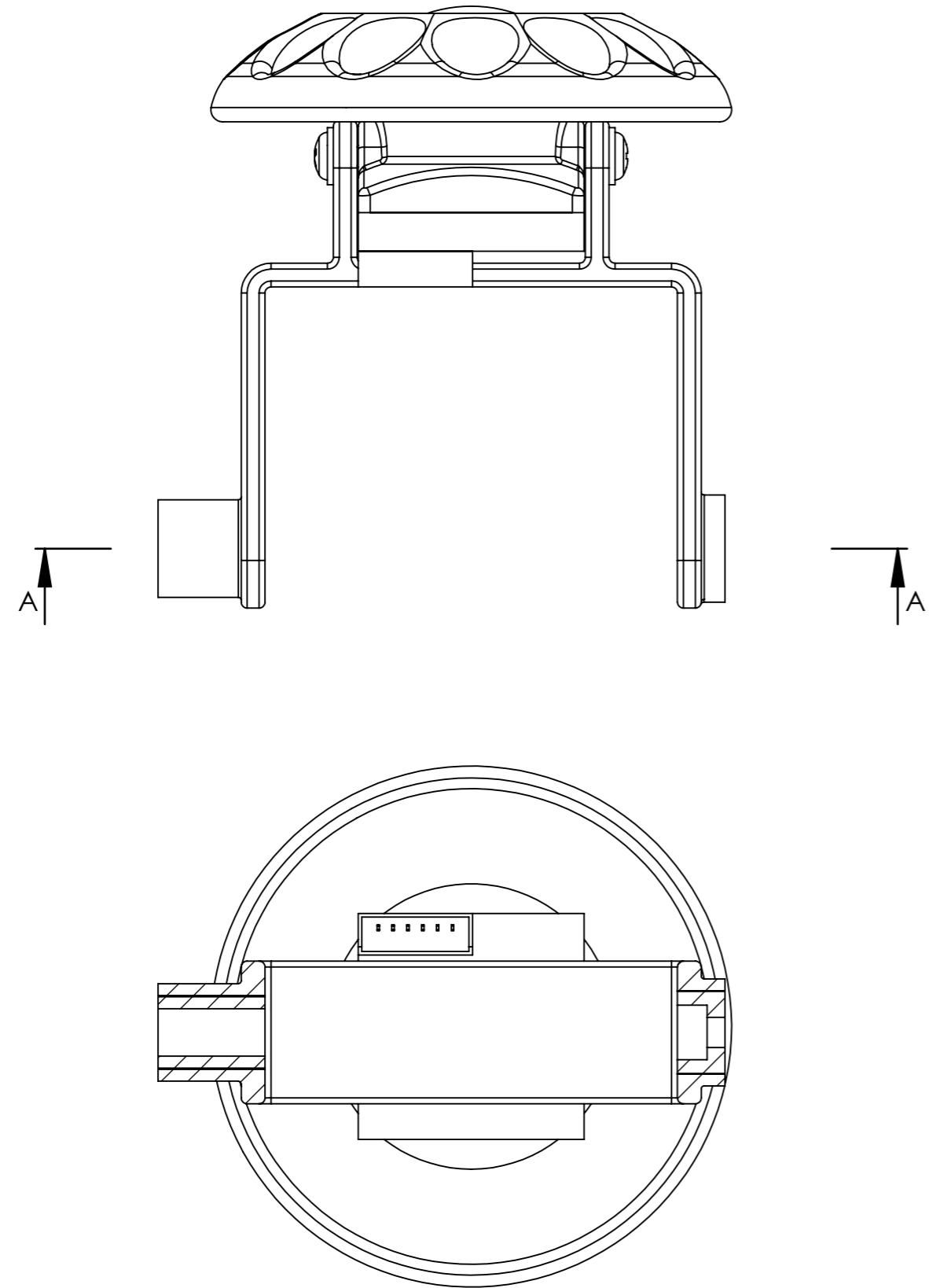
DIBUJADO	Pelayo P.	Nº PLANO	Universidad de Oviedo
FECHA DIBUJ.	26/12/2021	RVR-04-CM-00-02-00	
REVISADO	Victor A.		
FECHA REVIS.	02/01/2022	TIPO CONJUNTO	

MATERIAL	-
TOL. GEN.	ISO 2768-mK
CANTIDAD	1
HOJA	1 de 2

3:1

Ensamblaje Tilt



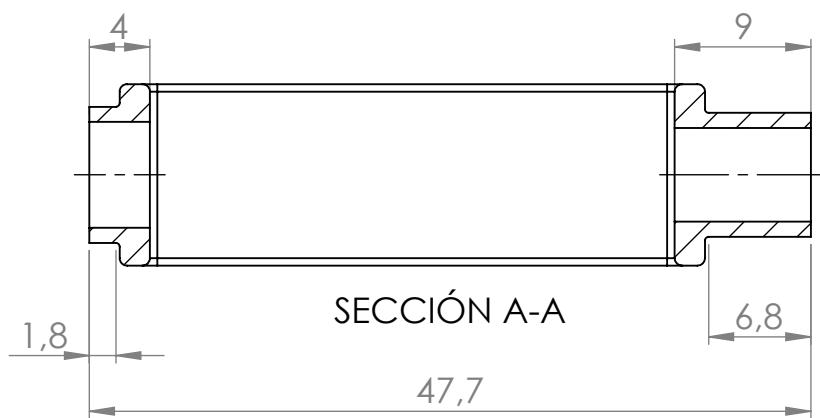
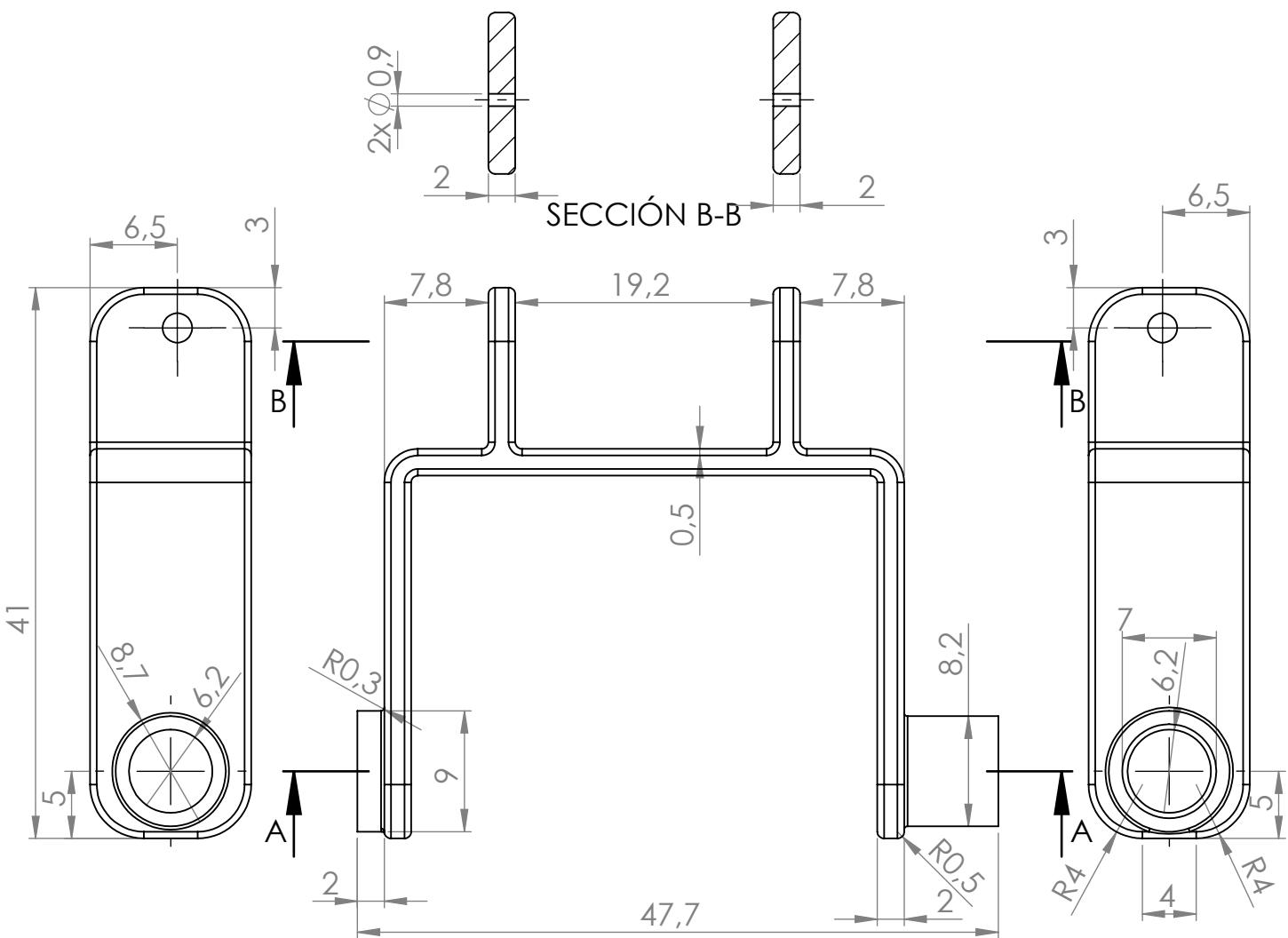


SECCIÓN A-A  
ESCALA 2 : 1

DIBUJADO	Pelayo P.	Nº PLANO	Universidad de Oviedo
FECHA DIBUJ.	26/12/2021	RVR-04-CM-00-02-00	
REVISADO	Victor A.		
FECHA REVIS.	02/01/2022	TIPO	CONJUNTO
ESCALA:	1:1		
MATERIAL	-		
TOL. GEN.	ISO 2768-mK		
CANTIDAD	1		
HOJA	2 de 2		



Ensamblaje Tilt

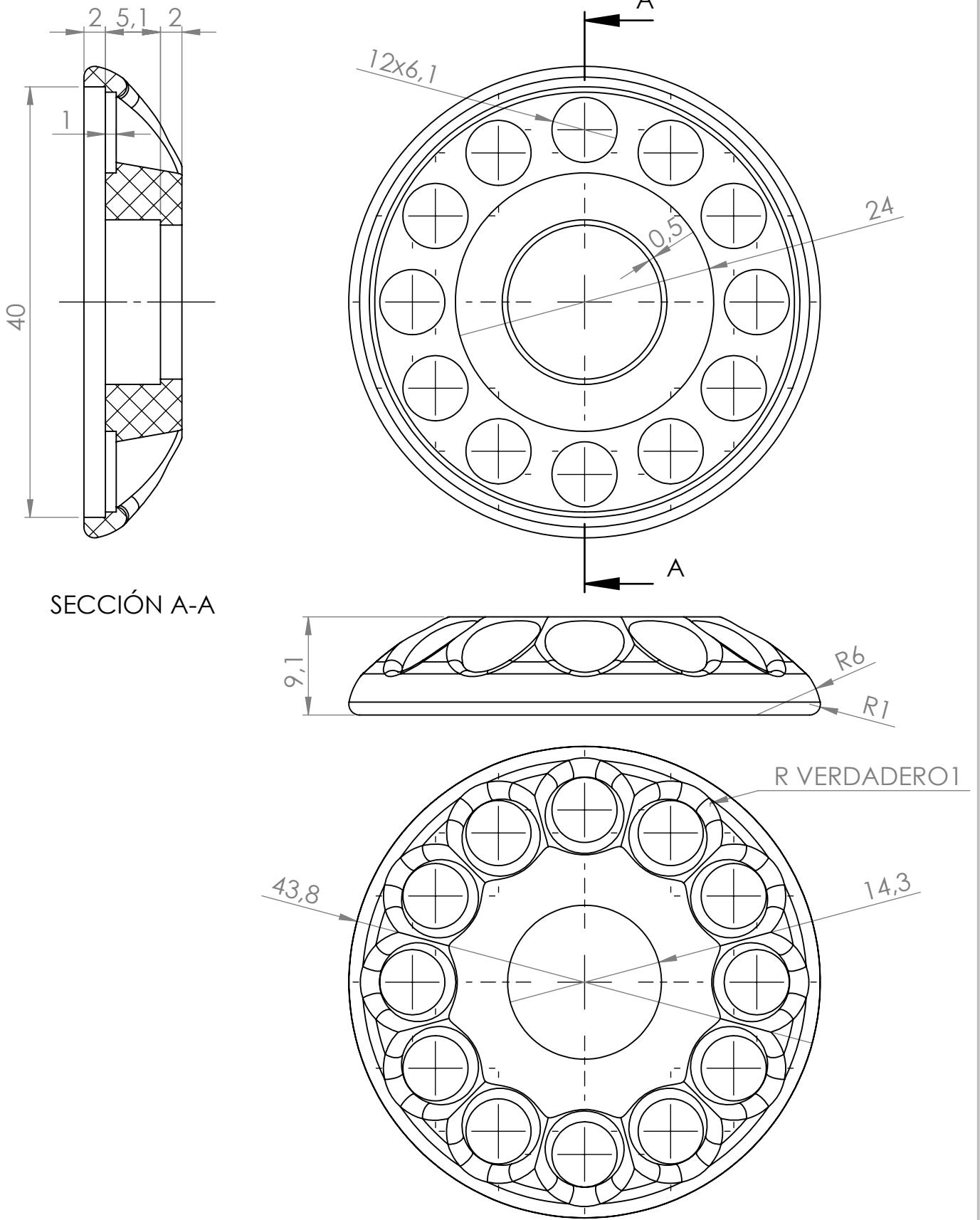


DIBUJADO	Pelayo P.	Nº PLANO	
FECHA DIBUJ.	26/12/2021		
REVISADO	Victor A.	RVR-04-CM-00-02-01	
FECHA REVIS.	02/01/2022	TIPO	PIEZA
ESCALA:			
2:1	Base Tilt		

Universidad  
de Oviedo



MATERIAL	PLA
TOL. GEN.	ISO 2768-mK
CANTIDAD	1
HOJA	1 de 1



DIBUJADO	Pelayo P.	Nº PLANO	
FECHA DIBUJ.	26/12/2021	RVR-04-CM-00-02-02	
REVISADO	Victor A.		
FECHA REVIS.	02/01/2022	TIPO	PIEZA
ESCALA:			
2:1	<b>Soporte Corona</b>		
		MATERIAL	PLA
		TOL. GEN.	ISO 2768-mK
		CANTIDAD	1
		HOJA	1 de 1

**Universidad  
de Oviedo**



1

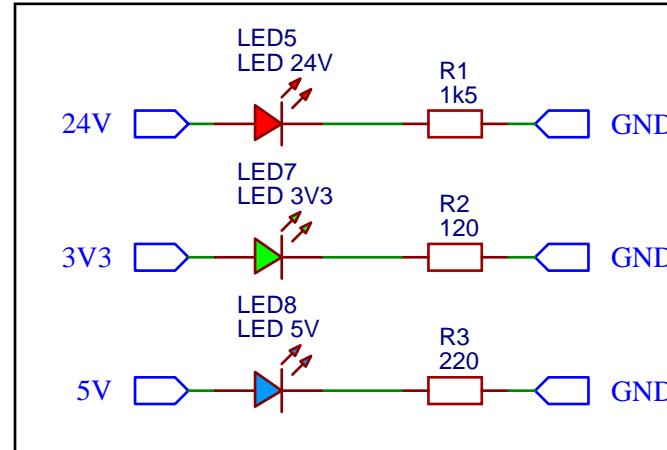
2

3

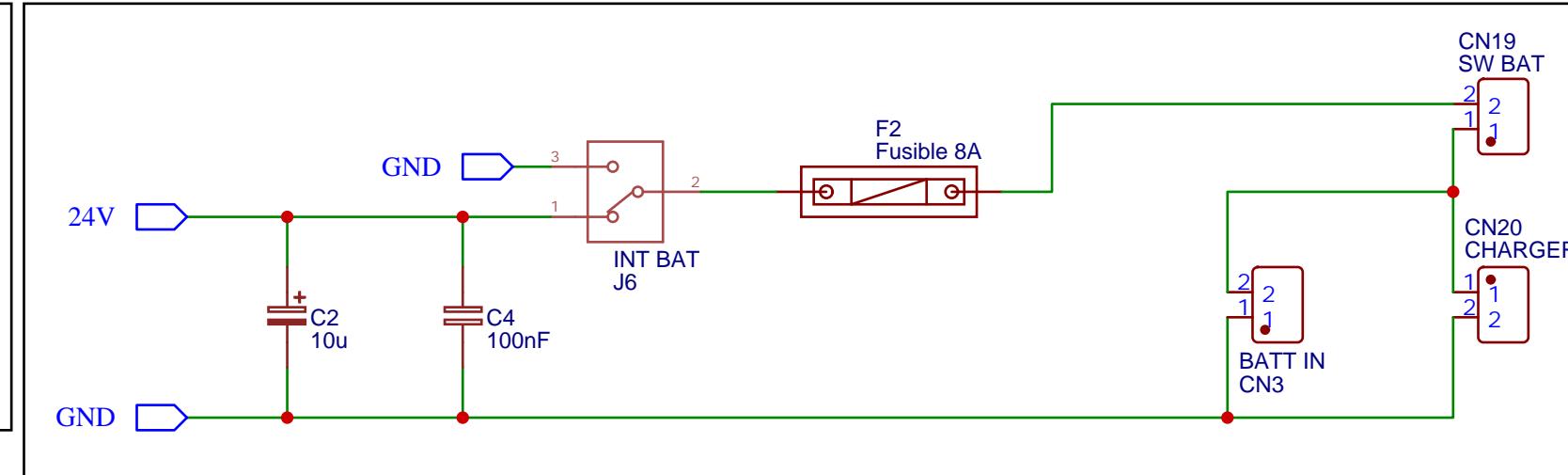
4

5

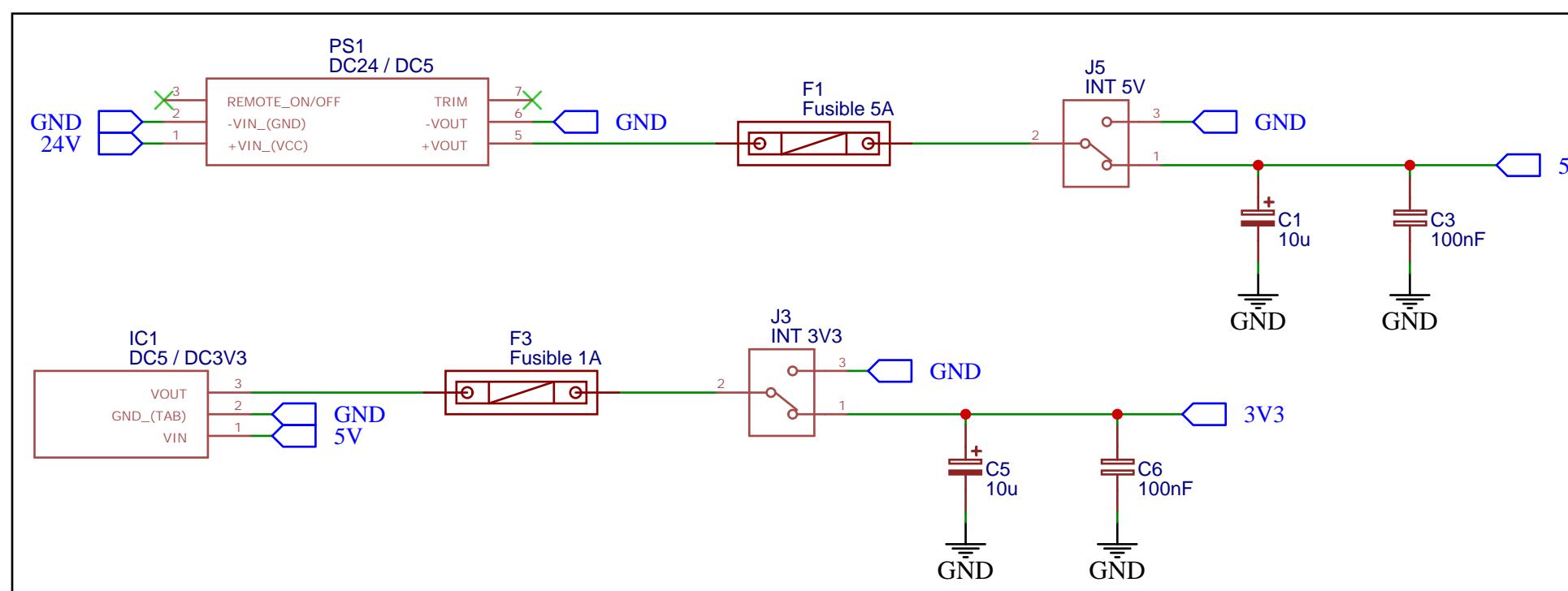
### COMPROBACION DE CORRIENTE



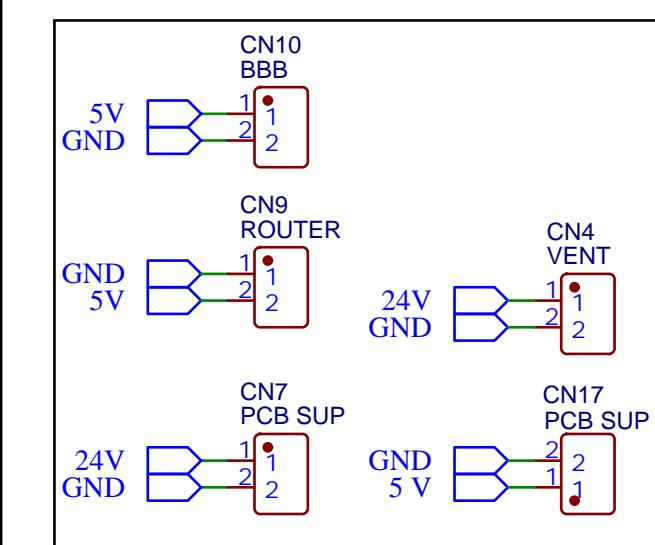
### SISTEMA DE FILTRADO Y CARGA PARA LA BATERIA



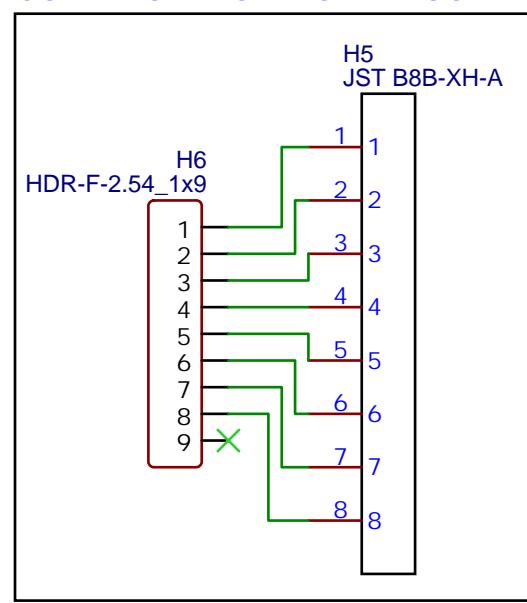
### CONVERSION DE POTENCIA



### ALIMENTACION DE DISPOSITIVOS



### CONEXION MONITOR LIPOS

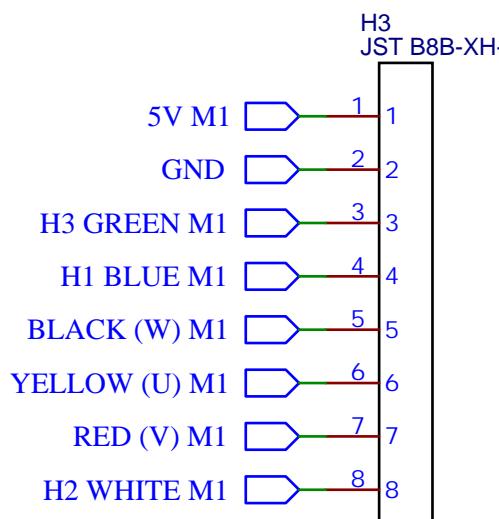
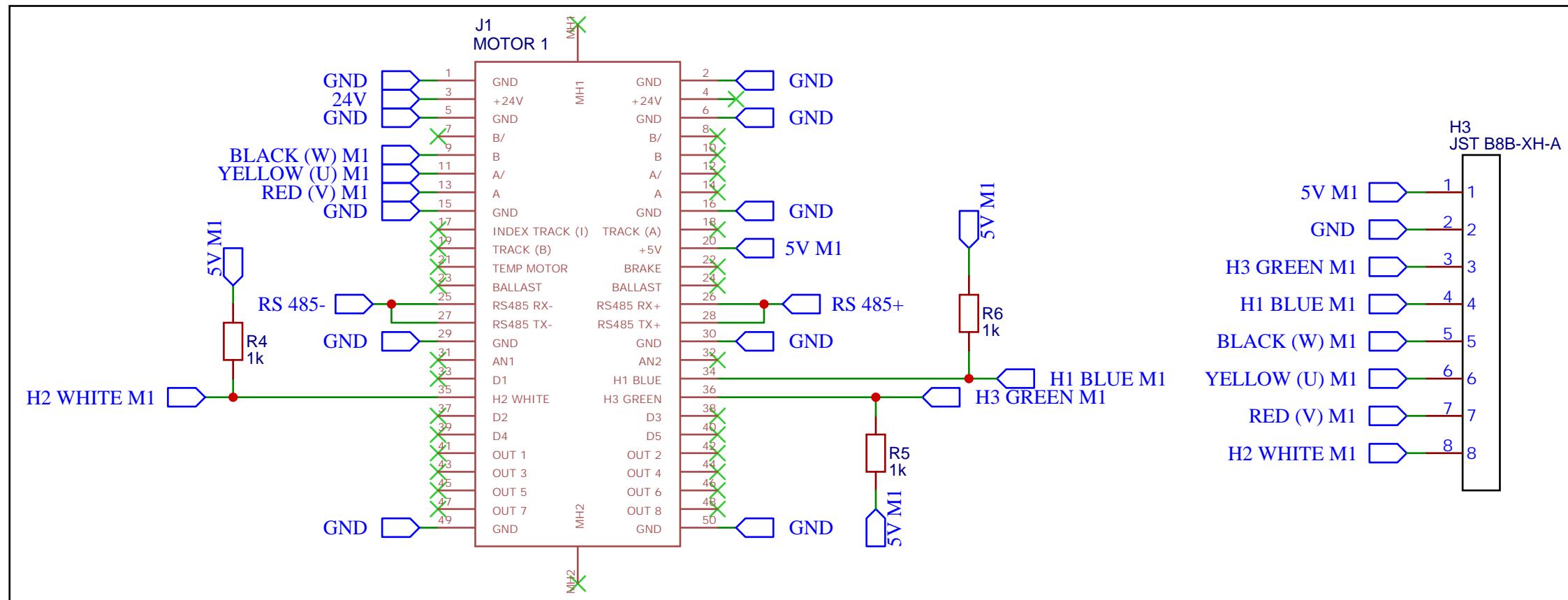


TITLE:

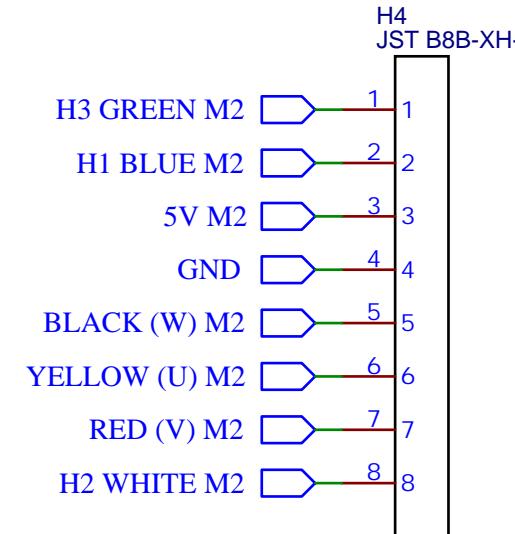
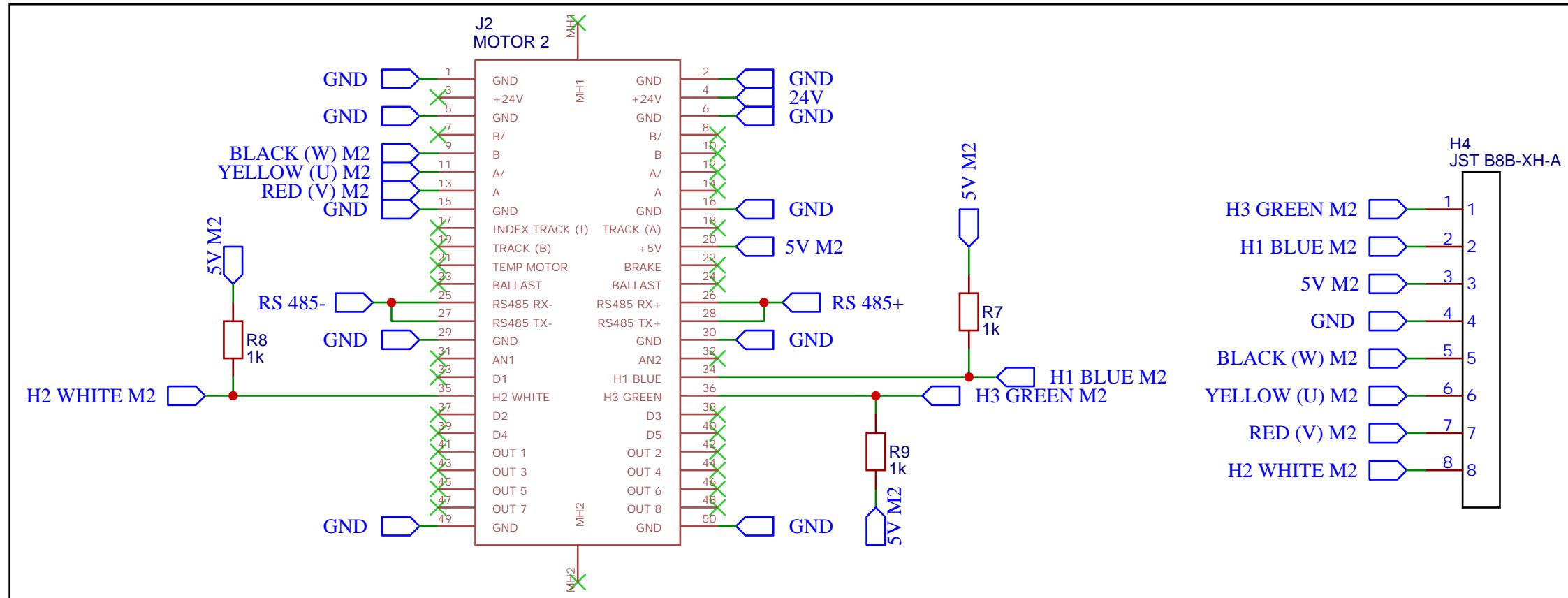
Alimentacion y Potencia

REV: 7.0

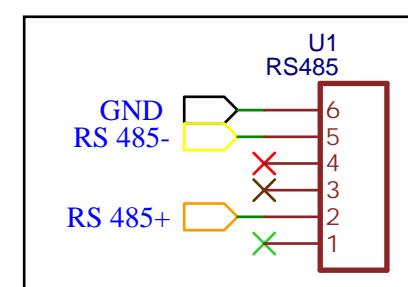
## CONTROL PARA EL MOTOR 1



## CONTROL PARA EL MOTOR 2



## COMUNICACION RS485



TITLE:

Controladores Motores

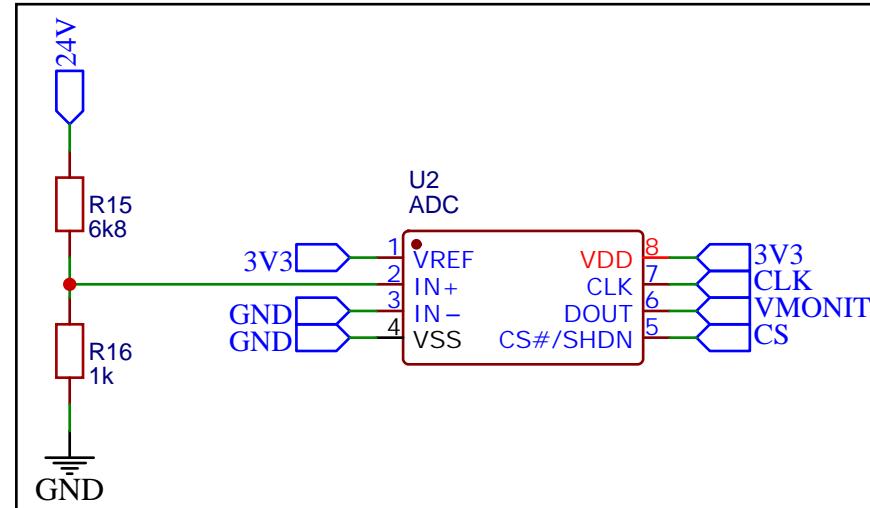
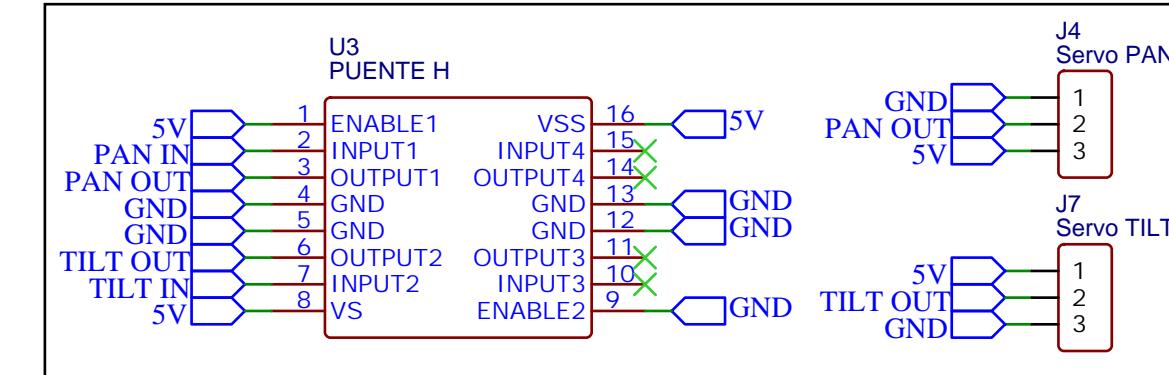
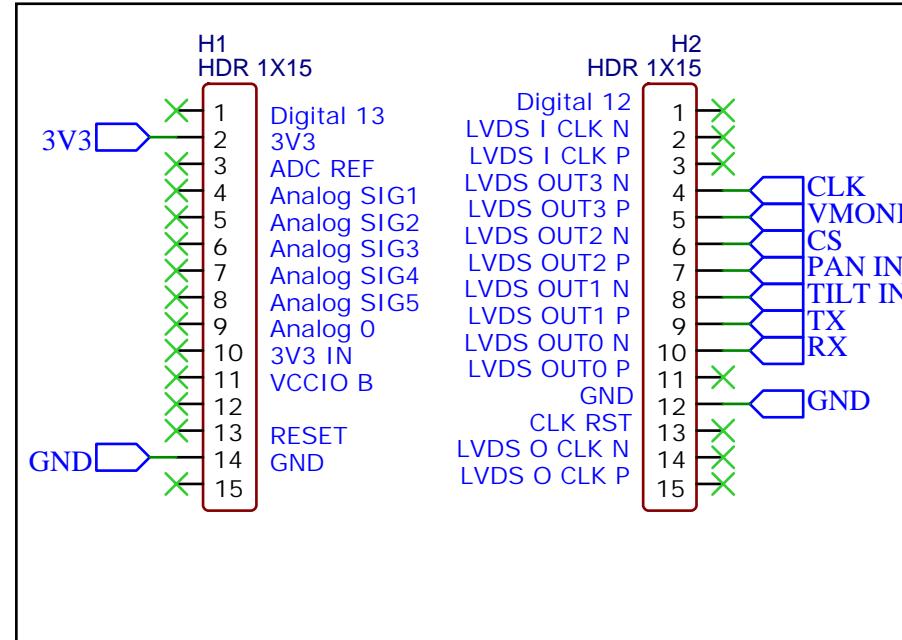
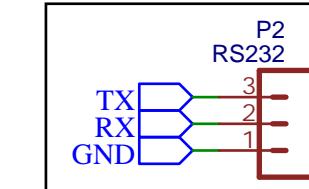
REV: 7.0

EasyEDA

Company: Universidad de Oviedo

Sheet: 1/1

Date: 2021-10-16 Drawn By: Alejandro Fernandez

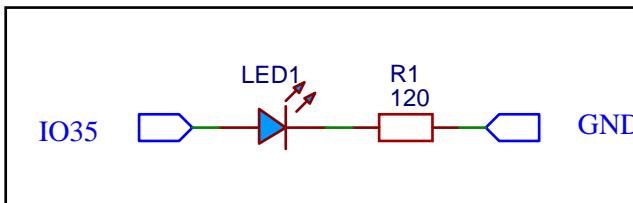
**MODULO CONVERSOR AD PARA TENSION DE BATERIA**

**CONTROL DE LOS SERVOMOTORES PAN & TILT**

**CONEXIONES PARA FPGA**

**RS232**


TITLE:

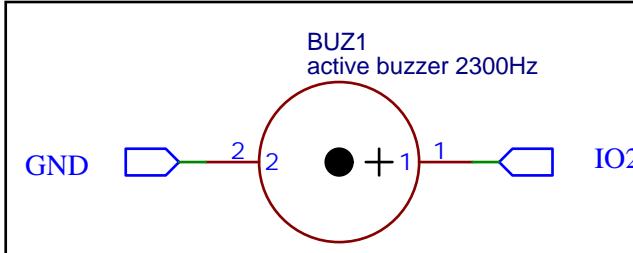
Conexiones para FPGA Odyssey

REV: 7.0

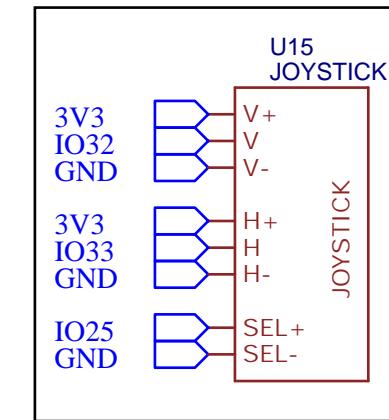
### INDICADOR CONEXION



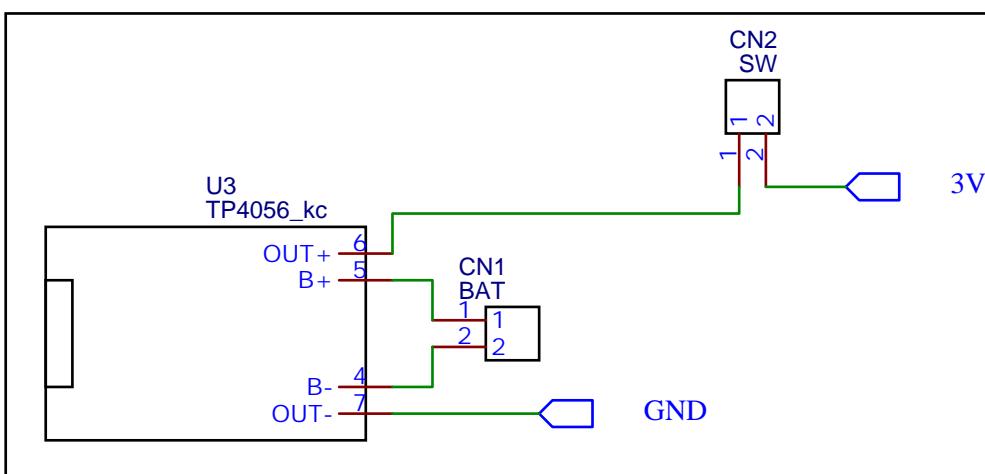
### BUZZER DE SONIDO



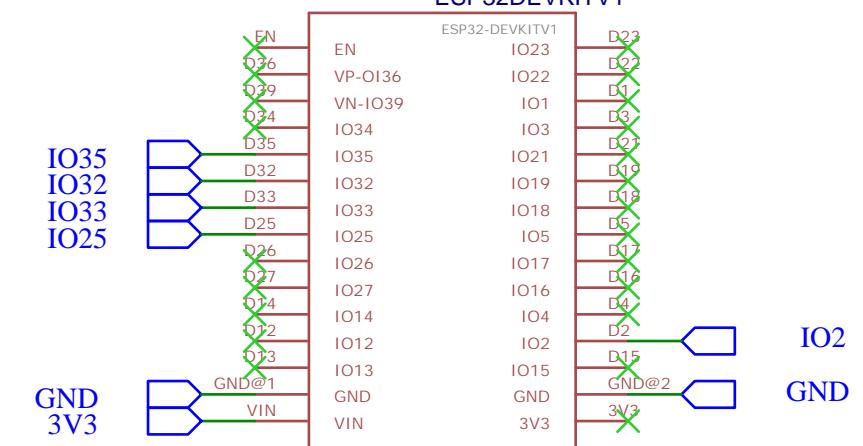
### JOYSTICK



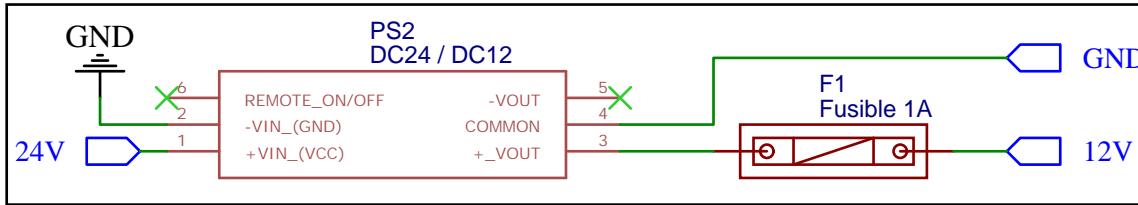
### MODULO DE CARGA PARA LA BATERIA



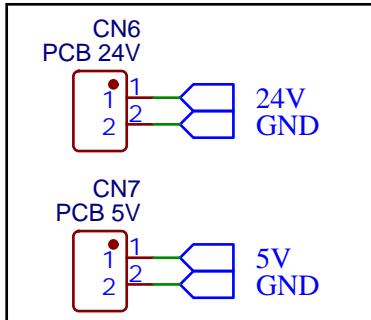
### 1 ESP32DEVKITV1



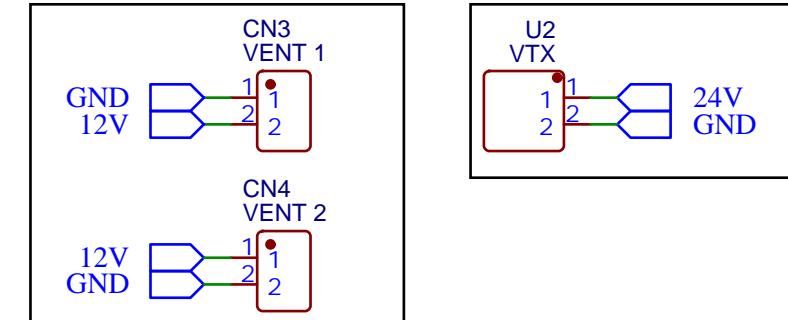
## CONVERSION DE POTENCIA



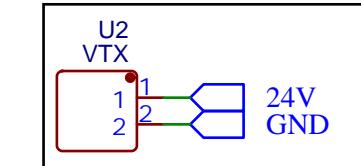
## CONEXION A PCB



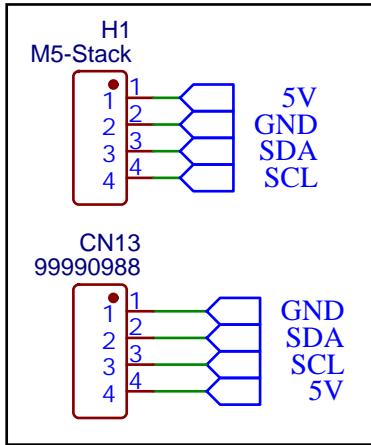
## VENTILADORES



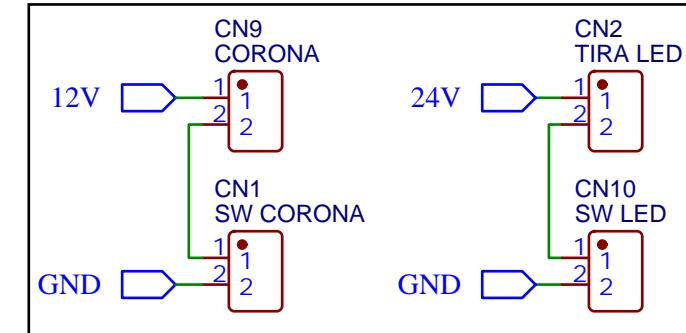
## TRANSMISOR VTX



## M5STACK Y TEMP



## ELEMENTOS PARA ILUMINACION



TITLE:

PCB Parte Delantera del Rover

REV: 3.0