



ESTUDIO Y CASO PRÁCTICO DE ASPIRADORA VOLANTE DE OZONO (ASPIRADO₃)

Proyecto de Fin de Grado

Grado de Ingeniería de Computadores

Curso académico 2023-2024

Autor:

Alejandro Serrano López.

Tutores:

Vicente Á García Alcántara.

Alberto Cruz Ruiz.

Agradecimientos

A Vicente García Alcántara, por guiarme durante el desarrollo del proyecto.

A Norberto Cañas de la Paz, por consultas en sistemas de control y sobre las placas y el uso de KiCad.

A Héctor, por ayudarme en el taller cuando nos faltaba material (o mi pulso fallaba) y en las pruebas de campo.

A Alberto, por ayudarme considerablemente en asegurarse que la impresión 3D fuera sin incidencias, así como algunos detalles para aligerar la carga útil del dispositivo.

A Alejandro Leo, por como sus prácticas de SBC me ayudaron a familiarizarme con el entorno Espressif con mayor profundidad.

A ciruu1, por su programa GPS que ayudó a resolver los problemas de lectura.

A Iván Coca, por darme una de las bibliotecas de huellas de la ESP-32 sin tener que registrarme en una página web.

A los diversos compañeros de laboratorio, por ayudarme a transportar algunos módulos a exteriores cuando el prototipo no tenía soporte.

A mi familia, por su apoyo y paciencia, y por ayudarme a encontrar y pagar por algunos componentes en Mouser, JLCPCB y Electrónica Embajadores.

Índice

Objetivo del proyecto:	I
Resumen:	III
Abstract:	V
Estructura de la Memoria	VII
1. Introducción	1
1.1. Marco del Problema	1
1.2. Estado de la Técnica	2
2. Especificaciones y requisitos	
2.2. Modelo inicial	7
3. Desarrollo del proyecto	
3.1. Metodología de desarrollo	9
3.2. Lista de Hitos	9
4. Construcción y Pruebas del Sistema	
4.1 Motores	17
4.2 Sensores	19
4.3 GPS y GSM	27
4.4 IoT	31
4.5 PCB	35
4.6 Impresión del chasis	47
4.7 Sistema de control	57
4.8 Pruebas de conjunto	59
5. Herramientas Software utilizadas	
5.1. FreeCad	61
5.2. GitHub/Git	62
5.3. Kicad	64
5.4. Ultimaker Cura	65
5.5 Visual Studio Code	67
6. Estructura del Proyecto	69
7. Planificación del Proyecto	75
7.1. Planificación temporal	75
7.2. Planificación de costes	77
8. Impacto social, legal y medioambiental	83
9. Conclusiones y líneas futuras	87
Anexos	
Referencias	89
Anexo I - Repositorio GitHub y otros links de interés	99
Anexo II – Glosario de términos	103
Anexo III – Videos de Pruebas	105
Anexo IV – Pruebas de nivelación de la Creality Ender 3	109
Anexo V – Algunas imágenes de interés	113
Anexo VI – Algunas tablas de interés	115

Índice de Figuras:

Figura 1: Diagrama de casos de uso en StarUML.	6
Figura 2: Diagrama de bloques de alto nivel.	6
Figura 3: Boceto inicial esquemático del sistema.	7
Figura 4: Plan de sistema simplificado de funcionamiento del proyecto, más plan futuro.	8
Figura 5: lista de otros sensores de ozono disponibles	12
Figura 6: Primer Boceto alternativo del sistema.	13
Figura 7: segundo y tercer refinamiento del boceto del sistema.	14
Figura 8: croquis del tercer refinamiento, sin medidas.	14
Figuras 9: modelo del chasis en FreeCAD a 20 de Febrero de 2023	15
Figuras 10: croquis corregido del tercer refinamiento del boceto, 20 de Febrero de 2023	15
Figuras 11 y 12: Diligent Mod LVLHFP y servomotores SG90.	17
Figura 13: Captura de pantalla del código de mcpwm.h.	18
Figura 14: Circuito base de pruebas del sensor.	19
Figura 15: Captura de Matlab de aproximación a la función (3).	20
Figura 16: Captura sección “ <i>Conversion of Signal Output</i> ”	21
Figura 17: Captura del <i>Thingsboard</i> cuando se utilizaba el ADC interno del ESP32	22
Figura 18: Módulo <i>MikroE ozone 2.</i>	22
Figura 19: Lecturas ozono de 1 h cuando servos, motor y sensores O ₃ compartían alimentación.	24
Figura 20: Lecturas ozono en <i>Thingsboard</i> durante la prueba de sensores de ozono número 6.	25
Figuras 21, 22 y 23: Módulos Diligent Pmod GPS y SIM800H, y licencia de nmea_parser.h.	27
Figura 24: Instrucciones mediante curl que permiten enviar telemetría.	28
Figura 25: Otra captura del panel de <i>Thingsboard</i> .	29
Figuras 26 y 27: Capturas de móvil recibiendo alertas	30
Figuras 28 y 29: Rule-chain de alertas <i>Thingsboard</i> ; nuevo formato de widgets.	31
Figura 30: <i>Thingsboard</i> tras enviar firmware y número de versión	31
Figura 31: Esquemático incompleto inicial de la circuitería.	32
Figura 32: Esquemático incompleto de la circuitería, 15 Febrero 2023.	32
Figura 33: Esquemático incluyendo resistencias I2C de pull-up 4k7, 22 Febrero 2023.	33
Figura 34: Esq. inclusión de pines de alimentación para sensores y actuadores, 1 Marzo 2023.	33
Figura 35: Esq. reemplazo de 75% de pines ADC por I2C ADC, y cambio de pin GPS RX a TX, 8 Marzo 2023.	33
Figura 36: Esq. reemplazo pines de motores DC de babor/estribor por servos, 9 Marzo 2023.	34
Figura 37: Esquemático 14 Marzo 2023, pasamos el voltaje de los servomotores temporalmente a 3v3.	34
Figura 38: Esq. 15 Marzo 2023, inclusión puente H y alimentación del GPS separada.	34
Figura 39: Esq. 22 Marzo 2023, separación alim. motores y servos, corrección ADDR de ADC externo.	35
Figura 40: Esq. 18 Abril 2023, incorporación de pines necesarios para la SIM800H.	35
Figura 41: Esquemático terminado, 4 Mayo 2023.	36
Figura 42: Captura de pantalla de la calculadora de KiCad 7.0.	36
Figura 43: Captura de los requerimientos PCB ajustados.	37
Figura 44: Captura de pantalla de la configuración de la Netlist Signal.	37
Figuras 45, 46 y 47: Esq. 8 Mayo 2023, reemplazo conector 2x0X por versión odd-even; PCB 8 Mayo 2023	38
Figuras 48 y 49: PCB 9 Mayo 2023, reducidas posibles inducciones.	38

Figuras 50 y 51: PCB 10 Mayo 2023, añadido logo oculto.	39
Figura 52: Captura de pantalla del pedido y coste de llegada, 12-05-2023.	39
Figura 53: Paquete de PCBs, aún sin soldar.	40
Figuras 54 y 55: Componentes y PCB, 30-05-2023; y 6-06-2023.	40
Figura 56: Adaptador de voltaje y corriente para nuevas baterías	41
Figura 57: PCB completa, a 23 de Junio de 2023.	41
Figura 58: chasis en FreeCAD a 16 de Mayo de 2023, escala 1:10.	42
Figura 59: modelo del chasis en FreeCAD a 17 de Mayo de 2023, escala 1:10.	42
Figuras 60, 61, 62 y 63: 1 ^a , 2 ^a , 3 ^a y 4 ^a parte del modelo de impresión del chasis, 18-5-2023	43
Figura 64: 5 ^a parte del chasis, 18-5-2023	43
Figura 65: modelo reajustado de las piezas 1 ^a y 2 ^a en FreeCAD, 24-5-2023.	44
Figuras 66, 67, 68, 69, 70 y 71: imágenes de la primera versión del chasis final impreso a escala 1:10	44
Figuras 72 y 73: soporte diseñado por Alberto, Ultimaker Cura.	45
Figura 74: PCB con el soporte de Alberto.	46
Figuras 75, 76, 77 y 78: antiguas partes del modelo de chasis, 25-7-2023.	46
Figuras 79, 80, 81, 82 y 83: ajustes del chasis, 14-9-2023. Peso total: 2,71 kg	47
Figuras 84, 85 y 86: Ajustes antiguo chasis, 19-9-2023. Peso total: 2,56 kg	48
Figura 87: tabique del antiguo chasis, 25-7-2023, válido hasta 14-9-2023.	48
Figuras 88 y 89: tapa con rosca delantera y aspas, 2 y 3-10-2023	49
Figura 90: abrazadera, 2-10-2023	50
Figuras 91 y 92: resto del chasis refinado, 15-11-2023.	50
Figura 93 : diagrama de bloques simplificado del sistema de control idealizado, a 1 de junio de 2023	51
Figuras 94, 95, 96, 97 y 98: ícono del FreeCAD (Bejant, 2023); algunas operaciones del panel Part; panel vista combinada.	53
Figuras 99 y 100: panel del PartDesign.	53
Figuras 101 y 102: Iconos de git y GitLFS.	55
Figuras 103 y 104: Git Bash y GitHub desktop.	55
Figuras 105, 106 y 107: Ícono de Kicad 5.0 (izquierda) vs Kicad 7.0 (derecha). Reflejo esquemático-PCB.	56
Figura 108: Ícono del Ultimaker Cura.	57
Figuras 109 y 110: configuración Ultimaker para Artillery Sidewinder	57
Figuras 111 y 112: Configuración para autonivelación automática.	58
Figura 113: Configuración manual de .gcode para autonivelación	58
Figuras 114 y 115: Íconos de Visual Studio Code y Visual Studio.	59
Figura 116: Barra de herramientas inferior de VSC.	59
Figuras 117, 118 y 119: configuración para Ender-3 de Creality.	101
Figura 120: Pieza CE3E3V2_Unnamed-Cubo5-PruebaEnder.	102
Figura 121: Una de las piezas de prueba de Creality Ender-3.	104
Figuras 122 y 123: Mensajes del Servicio de Aviación General.	105
Figura 124: Mensaje de Norberto, a 12 Mayo 2023.	105
Figura 125: Imagen estado final Prototipo, a 30 Noviembre 2023.	106

Índice de Tablas:

Tabla 1: Relación entre nombres, longitud de onda y energía de radiación UV.	1
Tabla 2: Diagrama de Gantt del proyecto, planificación ideal.....	67
Tabla 3: Diagrama de Gantt de desviaciones del proyecto.	68
Tabla 4: Precios de componentes (planificación inicial y final).	70
Tabla 5: Costes de personal del proyecto y total.	73
Tabla 6: Glosario de Términos (Elaboración propia).....	95
Tabla 7: Anexos de pruebas	97
Tabla 8: Pruebas de la Ender-3	102
Tabla 9: Precios de componentes con todos los proveedores (planificación inicial y final).	
.....	108

Objetivo del proyecto:

El objetivo es desarrollar un sistema con el menor coste posible que permita limpiar la troposfera de sustancias químicas nocivas, principalmente el ozono troposférico, de acuerdo a los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2 (Salud) y 13 (Acción por el clima) de la Agenda 2030.

Para ello, se realizarían los siguientes subobjetivos:

1. Investigación inicial de la técnica y tecnología: este subobjetivo podría ayudar a encontrar métodos pre-existentes y optimizar el desarrollo del proyecto.
2. Filtrar el aire capturando el ozono: para ello será imprescindible un filtro adecuado, así como sensores a babor y estribor para maximizar la detección para el filtrado. También se investigarían métodos para permitir que el ozono entrase en el filtro con mayor eficacia, como pudiera ser el uso de un mecanismo de aspiración.
3. Almacenarlo: adicionalmente, se investigaría una forma de poder almacenar el ozono sin necesidad de destruirlo, para líneas futuras.
4. Sistema para capturarlo en la troposfera: una vez se pudiera filtrar y almacenar el ozono, el enfoque se movería a diseñar, desarrollar y probar un dispositivo capaz de realizar estas funciones e informar a tierra. Además, se investigarían métodos para facilitar su autonomía y refinar su diseño a entornos exteriores de esta capa atmosférica.

Resumen:

El proyecto en sí se centra en el desarrollo de una aspiradora volante autónoma con filtro de carbono activo, programada para dirigirse hacia las áreas con mayor concentración de ozono y su monitorización junto con otros factores del área que pudiesen influir en la generación de ozono, facilitando un estudio del ozono troposférico y la limpieza atmosférica las áreas urbanas y periurbanas de este agente contaminante. Para ello, se explicarán en primer lugar las decisiones del diseño, software y hardware utilizados, así como los múltiples problemas encontrados durante su fabricación; a fin de demostrar que dicho dispositivo, una vez completamente investigado, debería ser suficientemente sencillo y asequible como para su factibilidad de producción en masa; y aportando así un documento para todo lector, con cierto nivel técnico, que desee realizar proyectos de similar índole, y así demostrar la factibilidad de dicho tipo de trabajo. Finalmente, futuros planes y vías de investigación y desarrollo son sugeridos como mejoras para el prototipo.

Abstract:

The project itself focuses on the development of an autonomous flying vacuum cleaner with an active-carbon filter, programmed to go towards highest-ozone-concentration areas, and its monitoring along with other area key factors that could influence O₃ generation, facilitating further tropospheric ozone studies and urban and peri-urban atmospheric cleanup of this contaminant agent. To do this, design, software and hardware used, as well as the multiple problems encountered during its manufacturing, will be explained first; in order to demonstrate that such a device, once fully researched, should be simple and affordable enough for mass production feasibility; and thus providing a document for every reader, with a certain technical level, wishing to carry out projects of similar nature, and thus demonstrate the feasibility of said type of work. Finally, future plans and avenues of research and development are suggested as further improvements to the prototype.

Estructura de la Memoria

La memoria, en lo relativo a contenido, se divide en diversos apartados, de acuerdo al proceso de resolución de problemas: una sección de introducción al problema y las tecnologías y soluciones existentes, otra relativa a la planificación del proyecto, otra relativa a la ejecución de dicha planificación, una relativa a costes y finalmente conclusión y líneas futuras.

Adicionalmente, al final de esta memoria se indica una sección de anexos con información útil para el lector, entre ellas referencias, líneas de código, algunas versiones más amplias de determinadas tablas, enlaces a diversos vídeos de pruebas y un glosario de términos.

Por favor, tenga en cuenta que debido al desarrollo del proyecto, la metodología dada y cuestiones de recursos disponibles, algunas de las fases relativas a construcción han repercutido en la fase de diseño u en otras fases, o se han realizado en paralelo, por lo que a veces parece existir contenido repetido, mas realmente solo está para aclarar dichas situaciones.

1. Introducción

El ozono (O_3) es un compuesto altamente oxidativo y relativamente inestable encontrado usualmente en la capa de ozono estratosférica. Sin embargo, en décadas recientes cada vez se encuentra menos presente en la estratosfera y más en la troposfera.

Este documento indica el progreso paso a paso del estudio en torno a la problemática del ozono, tanto troposférico como estratosférico, y se han visto las soluciones y tecnologías asociadas ya existentes. Aplicando esto, y utilizando una metodología de prototipos, se ha planificado la realización del proyecto que realiza una aportación en este campo

1.1. Marco del Problema

El ozono (fórmula química O_3) es un componente vital para proteger la superficie terrestre de los cancerígenos rayos ultravioleta (UV). Esto se debe a su estructura molecular de tres átomos de oxígeno, muy oxidativa y que en cuanto es impactada por radiación provoca que absorba parte de la misma y se rompa en una molécula de oxígeno molecular (O_2) y otra de oxígeno atómico (O), que se vuelven a recombinar, cuando el fotón de luz pierde energía y se vuelve más inocuo para la vida, siendo particularmente eficiente en las longitudes de onda de 320 nm, correspondientes a las radiaciones Ultravioleta de Onda Corta o UVC y las Ultravioletas Bajas o UVB, dejando pasar solo las Ultravioletas Altas o UVA (Universidad de Granada, 2023).

A continuación, se muestra una tabla donde se recogen las diferentes longitudes de onda y energía del fotón según el tipo de radiación (Universidad de Granada, 2023).

Tabla 1: Relación entre nombres, longitud de onda y energía de radiación UV.

Nombre	Abreviatura	Longitud de onda (nm)	Energía por fotón (eV)
Ultravioleta Cercano	NUV	400-200	3,10 – 6,30
Onda larga	UVA	400-320	3,10 – 3,87
Onda media	UVB	320-280	3,87 – 4,43
Onda corta	UVC	283-200	4,43 – 6,20
Ultravioleta lejano	FUV, VUV	200-10	6,20 – 124
Ultravioleta extremo	EUV, XUV	91,2 - 1	13,6 -1240

Este mismo proceso también se produce para la formación de ozono, donde cualquier onda electromagnética de longitud de onda menor de 241 nm rompe el oxígeno molecular en atómico, que tras una reacción exotérmica producirá ozono a partir de otra molécula de oxígeno, por lo que eventualmente por un equilibrio de reacciones entre la formación y destrucción de ozono (Ciclo de Chapman) se forma una zona difusa de la superficie atmosférica dónde la presencia de radiaciones UVC y más energéticas crean una capa de ozono. Esta capa se sitúa en la estratosfera, a 15-35 km de la superficie terrestre (Universidad de Granada, 2023), por lo que se le denomina ozono estratosférico.

Actualmente existen dos problemas causados por la contaminación humana que afectan a la localización de esta capa, y son los compuestos sintéticos catalíticos del ozono, principalmente los clorofluorocarbonos (CFC) y los menos regulados halógenos de vida corta; y los óxidos nitrosos (NO_x) y componentes volátiles del carbono (CVC, también llamados Compuestos Orgánicos Volátiles).

Por una parte, debido a su estructura muy oxidativa y no completamente estable (a diferencia del oxígeno molecular, O_2) el ozono en presencia de oxígeno atómico también se descompone en oxígeno molecular, aunque es muy poco eficiente y apenas afecta a la regeneración del ozono. Los CFC, un producto muy usado anteriormente en aerosoles y limpieza de chips y circuitería y ahora prohibidos, al carecer de un sumidero

1.1. Marco del Problema

natural en la troposfera (la capa más baja de la atmósfera, de hasta 11 km de altura) se elevan hasta la estratosfera, donde por la predominancia de corrientes de aire horizontales se extiende rápidamente por el globo. Ahí la radiación ultravioleta UVC rompe el CFC en fluorocarbono y cloro, con el último actuando de catalizador en la ruptura natural del ozono para después regenerarse (es decir, unirse de nuevo en CFC) durante décadas (Universidad de Granada, 2023).

Aunque existen compuestos como los radicales hidroxilos que hacen lo mismo, estos suelen ser absorbidos de forma natural o reaccionan con otros compuestos antes de llegar a la estratosfera, por lo que su efecto es notablemente menor. Sin embargo, recientes estudios han mostrado que otros halógenos de vida corta producidos por la contaminación humana (como el cloroformo) siguen siendo una amenaza para la estratosfera baja en zonas ecuatoriales puesto que contienen halógenos reactivos con el ozono (Cl, Br, I) y al aumento de la circulación atmosférica debida al calentamiento global (CSIC, 2023).

Por otra, los CVC y NO_x procedentes principalmente de la combustión de combustibles fósiles también catalizan el O₂ y O₃, pero debido a la baja presencia de ozono en la troposfera, su reacción con la radiación ultravioleta de menores intensidades acaba generando mayores cantidades de ozono del que destruyen (elDiario.es, 2022). El problema de este ozono troposférico contaminante (Sánchez, 2019) (Grabianowski, 2019) radica de nuevo en la naturaleza oxidativa de la molécula, tóxico y dañino para animales, plantas e infraestructuras (airedemadrid.madrid.es, 2023).

Entre los síntomas más comunes de la sobreexposición al ozono, cada vez más común en las zonas periurbanas ("Avispa", 2015) (Ecologistas en Acción, 2016) (TerceraInformacion, 2022) (Dirección General de Salud Pública, 2020), destacan la inflamación de la piel y mucosas, incluyendo el tegumento ocular; trastornos respiratorios, un aumento de problemas nerviosos, cardiovasculares y reproductivos, así como un incremento general de la tasa de mortalidad (Sánchez, 2019) (Gobierno de la Rioja, 2023).

1.2. Estado de la Técnica:

Los resultados de la investigación concluyen en que el estado actual de la técnica, metodología y tecnología es perfectamente compatible con este proyecto. Es un campo en el que ha habido décadas de investigación debido a la preocupación que el ozono es para la salud y el medio ambiente y el uso del mismo en algunos tipos de filtros como desinfectantes (Oxygen Ozone, 2023).

En lo relativo a proyectos con soluciones para filtrar el ozono, no existe un proyecto anterior que coincida en un 100% con el enfoque de un dispositivo móvil que filtre el ozono (al menos, un proyecto público y comercializable). Sin embargo, se descubrió que existía una compañía israelí, High Hopes, que está trabajando en un dispositivo similar al de este proyecto, pero centrado en un proceso inverso y para otra sustancia, en llevar CO₂ de la estratosfera al subsuelo (Holgado, 2021), una prueba de que nuestra tecnología es factible.

La idea de filtrar el ozono para resolver el problema del ozono troposférico en tierra, sin embargo, sí que existe y ha sido comercializable por mucho tiempo, por lo que bastaría con encontrar una forma de hacerla móvil y navegable. Aunque debido a la naturaleza del ozono, los filtros convencionales HVAC ("Heating, Ventilation and Air Conditioning" típicos de los aires acondicionados) son incapaces de filtrar el ozono en ninguna cantidad, requiriendo de filtros o procesos especiales; dichos filtros son de uso bastante común aunque especializado, existiendo numerosos filtros que catalizan la destrucción de ozono, siendo los más populares comercialmente desde filtros electrónicos y foto-oxidativos que generan radicales hidroxilos para destruir el ozono (condorchem envitech, 2023). (Grabianowski, 2019) basados en los relámpagos (León, 2022) a variaciones de filtros HVAC (aunque estas sean muy ineficientes, se prefieren por el precio y no mucha necesidad de mantenimiento) y de carbono activo. De hecho, ya existen opciones utilizadas a nivel industrial para reducir la concentración de ozono en fábricas que utilizan lámparas ultravioleta, como puede ser el filtro

de ozono comercializable GEW en los EEUU (GEW, 2023), aunque no parece que sean un único filtro que se encargue de eliminar tanto el ozono como el contaminante que lo catalizó. También el uso de filtros pasivos, tales como infraestructuras recubiertas o formadas de carbón activo, pueden ayudar en la filtración hasta cierto punto y de hecho sí se usan comercialmente (Grabianowski, 2019).

Por otra parte, también existen filtros más avanzados de uso comercial que tratan los agentes generadores de ozono troposférico como el CVC porque también son peligrosos (p.ej. eltolueno), como el filtro foto-oxidativo, aunque tienen el inconveniente de requerir y generar también ozono y por lo tanto necesitan de un catalizador adicional para este (condorchem envitech, 2023); el filtro oxidativo térmico regenerativo/recuperativo, que básicamente los quema, pero requieren de una alta temperatura y de un combustible en primer lugar (condorchem envitech, 2022) (condorchem envitech, 2023). El lado positivo es que existen sistemas que solventan alguno de estos problemas y combinan el filtro de ozono y de CVC en un único sistema de carbono activo (Philips, 2023).

Algo similar ocurre con algunos sistemas de depuración de óxidos nitrosos, que basados en los procesos naturales de depuración de esta sustancia de la atmósfera, requieren de radiación UV y ozono en primer lugar (Condorchem Envitech, 2023), o de compuestos químicos relativamente nocivos, como en la reducción catalítica selectiva, que suele emplear amoníaco junto al catalizador (Condorchem Envitech, 2023), aunque en este último caso se puede reemplazar por urea, muchísimo más asequible y que reduciría el óxido nitroso en nitrógeno molecular (N_2) y CO_2 (Kuternowski, Staszak, & Staszak, 2020).

Ya en lo relativo a la navegación, no es solo necesario el tener un sistema de control adecuado; sino además poder tener un conjunto de variables de entrada que permitan navegar de acuerdo a nuestros objetivos, en nuestro caso, el O_3 . Por lo tanto, es también imprescindible investigar posibles filtros existentes, así como métodos y sistemas de navegación.

Por una parte, el uso de tecnologías capaces de detectar la presencia de ozono está bastante extendida y generalizada. Existen múltiples detectores completos, desde versiones básicas con sensores electroquímicos a sistemas que reaccionan sobre un film de óxido semiconductor metálico y modelos más avanzados que miden el ozono mediante la radiación ultravioleta (Koz, 2021), aunque su precio suele ser bastante alto. Afortunadamente los sensores por separado de a pie son mucho más asequibles incluso si poseen de microcontroladores ya instalados (rs-online, 2023), aunque los sensores electroquímicos tienen el inconveniente de necesitar un período de calentamiento antes de arrojar lecturas fiables, e incluso sufrir problemas de desensibilización con el tiempo.

En lo que se refiere a mantener objetos en el aire por tiempos prolongados sin gran consumo de combustible, el método más utilizado es el uso de globos llenos de un gas más ligero que el aire. Entre las opciones profesionales utilizadas por la NASA existen dos tipos de globos: los Globos de Presión Zero (ZPB por sus siglas en inglés) que tienen agujeros a los lados para evitar que la presión aumente y expanda en exceso el globo; y los globos de Super Presión (o Globos de Ultra Larga Distancia, ULDBs en inglés) que no permiten el escape de gases y por lo tanto duran mucho más. Ambas opciones utilizan polietileno para el revestimiento, pero también son gigantescos al expandirse y por ello no se permiten usar en zonas urbanas por períodos prolongados (Adkins, 2022). Esto y el hecho de que parecen llegar a la estratosfera hace que, aunque se pudiera basar en estos parámetros para la construcción del proyecto, solo interese en verdad en la versión más ambiciosa mencionada en los objetivos como plan futuro. Otras empresas, corporaciones y grupos (como aparentemente los chinos en globos meteorológicos) también usan estos dos tipos con algunas modificaciones, por ejemplo, los micro globos de Urban Sky, que de acuerdo a una entrevista con el creador de dicha compañía originalmente tienen la forma de una piruleta a nivel del mar y se expanden a 11 veces su tamaño original a 18km de altura, y cuyos mayores retos son mantenerlos a una altitud estable y que luego desciendan controladamente. Para el primero lo logran mediante un ZPB con un sistema pasivo en su parte inferior que permite liberar un poco del gas hasta que la densidad se equaliza con la exterior y dejan de ascender, mientras que para el segundo tienen tres métodos diferentes, del que se menciona uno con una tobera activa en la parte superior que deja escapar todo el gas cuando deseen y un paracaídas para frenar la

1.2. Estado de la técnica

caída, con el detalle de que usan una combinación de polietileno con compuestos similares para permitir globos reutilizables (Carney, 2023). A nivel comercial existen productos como los “Air Swimmers”, que con un globo de polietileno de tamaño más asequible y reinflable (William Mark Corporation, 2023) son perfectamente capaces de flotar hasta medianas alturas. Y en lo que se refiere a mantener un sistema cargado por largos períodos de tiempo en el aire, la combinación de globo aerostático junto con paneles solares es una de las más populares y factibles, aunque la utilización de helio sea un recurso limitado al escapar de la atmósfera terrestre (Blain, 2023).

Adicionalmente existen métodos y tecnologías utilizados para asegurarse que dichos globos y dispositivos similares puedan volar de forma autónoma y descender al punto de origen, como puede ser el R2Home, que utiliza un paracaídas inflable o parapente controlado por servomotores especiales para guiarse a la posición de origen mediante GPS, aunque solo ha sido probado en altitudes bajas de unas centenas de metros (Hadji, 2023). Todos ellos suelen requerir de un gran campo de pruebas y alguna forma de llevar la baliza a gran altura para las pruebas, por ejemplo con un dron autónomo. Para ajustar la dirección de vuelo de un globo a muy altas altitudes también se pueden utilizar IAs que van inflando o desinflando el globo para subir o bajar a una capa con un viento más favorable a la dirección deseada, aunque no siempre funciona (McClure, 2023).

Así, viendo que para las necesidades del prototipo estudiado hay presentes una gran variedad de opciones baratas y suficientemente fiables, la opción adecuada para este proyecto sería amalgamar opciones comercializables ya existentes para cada uno de los ámbitos ya mencionados generando un modelo nuevo; un filtro de carbón activo, que reduciría hasta en un 70% el ozono (Grabianowski, 2019) además de filtrar otros compuestos asociados y que aunque naturalmente se degrada con el tiempo, es fácilmente asequible por su uso extendido para otros usos cotidianos, como filtros de peceras (TiendAnimal, 2023); así como un filtro HVAC típico de los aires acondicionados para ayudar con la degradación del filtro, y que los sensores fueran de los ya asequibles desde nuestros proveedores.

2. Especificaciones y requisitos

En este apartado definiremos el objetivo a nivel de especificaciones, que luego se convertirán en requisitos. A continuación, procederemos a crear un modelo inicial del prototipo a relativamente alto nivel; para más tarde proceder a las siguientes fases del proyecto.

Entre las especificaciones se encuentran, además de aquellas ya implícitas en el objetivo inicial, algunas derivadas de esta. En la siguiente lista se muestra la especificación, junto a una sublista de requisitos para cada una:

1. El dispositivo debe ser capaz de realizar acciones de filtrado de ozono.
 - a. Debe presentar al menos un filtro capaz de filtrar O₃, y probablemente alguna forma activa de maximizar su efecto.
2. El dispositivo debe poder detectar las concentraciones de ozono y dirigirse hacia las áreas de mayor concentración.
 - a. Debe incluir al menos 2 sensores de O₃.
3. El dispositivo debe ser móvil y autónomo en el aire, a suficiente altura en la troposfera.
 - a. Sistema de control.
 - b. Mecanismos de vuelo.
 - c. Sistemas de detección de posición (p.ej. GPS).
 - d. Mecanismos de control de vuelo (p.ej. timones).
 - e. Baterías de vida media y carga adecuadas.
 - f. Alternativas para reducir la carga útil (p.ej. métodos para recargar baterías, globo, chasis ligero, etc.).
4. El mecanismo debe poder detectar errores, problemas y situaciones peligrosas comunes e informar de ellas, por ejemplo si el filtro se rompe o un sensor está defectuoso.
 - a. Redundancias en los sensores de ozono.
 - b. Mecanismos de calibración de sensores y actuadores.
 - c. Forma de detectar posibles riesgos de baterías descargadas.
 - d. Forma de detectar posible incendio, inundación u otras condiciones adversas en vuelo.
 - e. Forma de enviar telemetría en todo momento para trazar (p.ej. a una página dedicada a IoT), y de dichas situaciones peligrosas (p.ej.). Relativo también a la especificación 3, forma de poder enviarlo de la forma más económica posible sin perder rango de autonomía, y que se puedan saber dichas alertas de forma remota.
5. Se debe poder actualizar el dispositivo de forma que no requiera desmontarlo.
 - a. Forma de actualización de firmware OTA (*Over The Air*).

De estas especificaciones y requisitos, surgen dos diagramas más específicos (ambos de elaboración propia), uno de casos de uso, y otro a más bajo nivel de clases, que fueron refinados a lo largo del desarrollo.

Entre los diversos actores, se encuentran:

- **Cliente HTTPS**, encargado de acceder a una página web local creada por el dispositivo y desde ahí dar la orden de volver al modo de fábrica.
- **Cliente de Telegram**, que al acceder a un bot de la plataforma de mensajería *Telegram* puede ver información básica de alertas enviadas por la plataforma *Thingsboard* (para así no sobrecargar nuestro dispositivo), de tal forma que en caso de que una alerta sea activada, se le notificará inmediatamente, bien de que hay un filtro roto, de que hay concentraciones elevadas de ozono, o de que se encuentra nublado y por lo tanto la batería se encuentra en riesgo de descargarse.
- **Cliente de la plataforma IoT Thingsboard**, que puede ver lo mismo que el cliente de *Telegram* pero sin acceder al bot, sino accediendo a un *dashboard*, que además incluye información de telemetría como temperatura y humedad (que serían útiles tanto para detectar si se hubiera causado un incendio

2. Especificaciones y requisitos

o los componentes internos estuvieran comprometidos por agua, como para calibración), datos de GPS (posición 3D, velocidad y orientación), así como la posición de los timones.

- **Administrador del panel de *Thingsboard***, que además de poseer las mismas habilidades que el usuario regular de *Thingsboard* y tener capacidades administrativas sobre el panel (“operar el sistema”), puede modificar el link de descarga asociado, de tal forma que cuando un cliente https decida dar la orden de resetear el dispositivo al modo de fábrica, la aplicación OTA pedirá dicho link y grabará en una partición secundaria ese nuevo firmware que tomará el control del dispositivo.

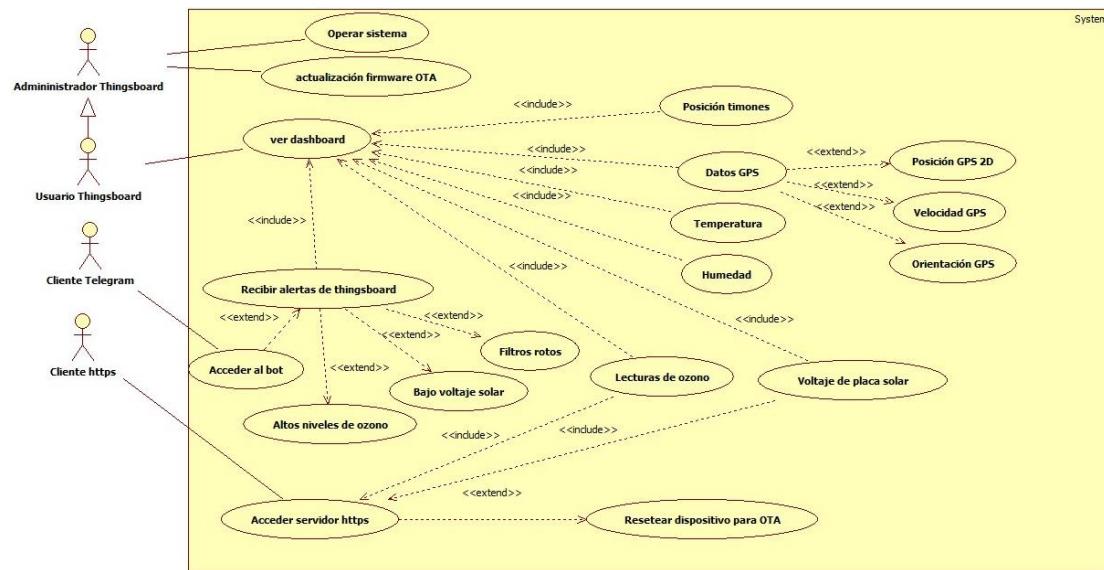


Figura 1: Diagrama de casos de uso en StarUML.

A continuación, en el siguiente diagrama de bloques, se indica a relativamente alto nivel las funciones y métodos utilizados en el firmware – nótese que a nivel de implementación existen algunas diferencias.

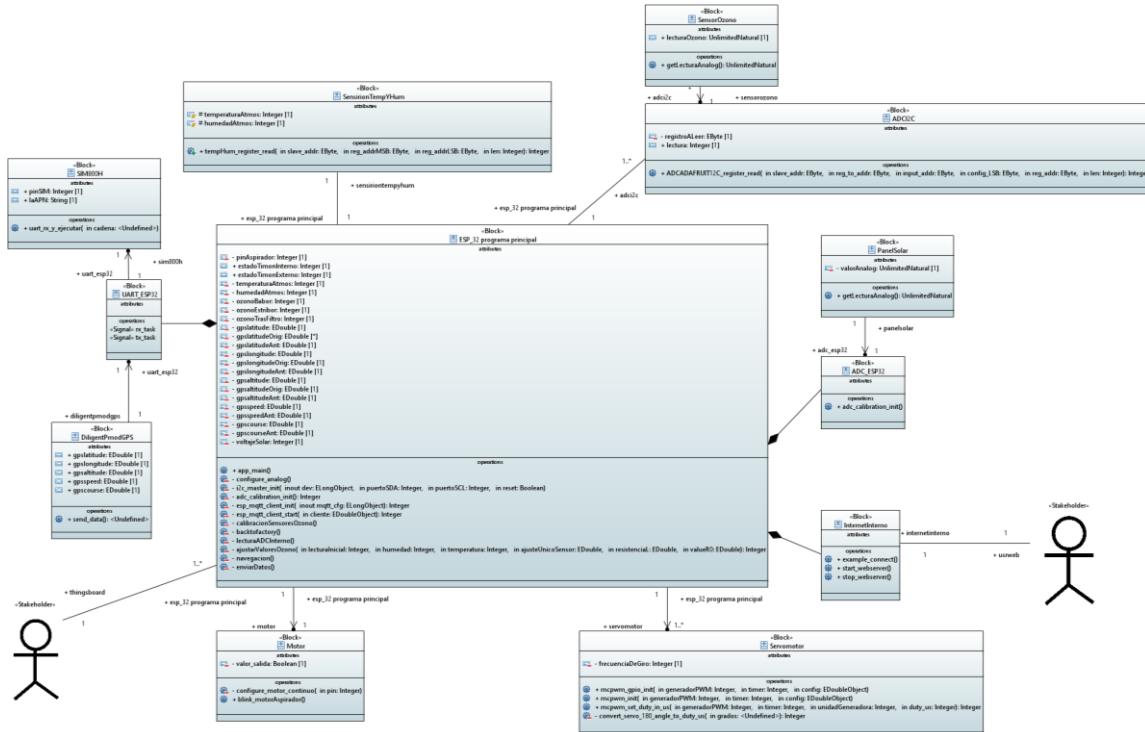


Figura 2: Diagrama de bloques de alto nivel.

2.2. Modelo inicial:

Según la investigación inicial, se utilizaría un sistema similar a un dirigible o globo aerostático, en el que los sistemas de control y actuación del dron estarían suspendidos por un globo de un gas ligero, helio o hidrógeno. Esto es para poder llegar a las áreas donde el ozono troposférico se encuentre, y donde un simple filtro a nivel del suelo no pudiera ayudar.

El concepto funcionaría de forma similar a una aspiradora, en la que un motor propulsa el aire a través de una serie de filtros que eliminan el gas contaminante, utilizando un filtro de carbón activo, más un par de filtros anti-pájaro y HVAC (con el que limpiar un poco la atmósfera de polución, y evitar que el filtro para ozono reaccione con otras sustancias no deseadas), y posiblemente un filtro catabólico selectivo de NO_x basado en urea.

El sistema en sí tendría 3 sensores Mikroelektronika Ozone 2 Click-MIKROE-2767 que detectarían el O₃: dos externos a proa (babor y estribor), y uno interno tras el filtro de ozono. Poseería además un par de motores de movimiento que podrían rotar hacia una posición vertical y para que pudieran compensar el movimiento de aspiración si fuera necesario, posiblemente del mismo tipo, de la forma vista en la imagen que sigue.

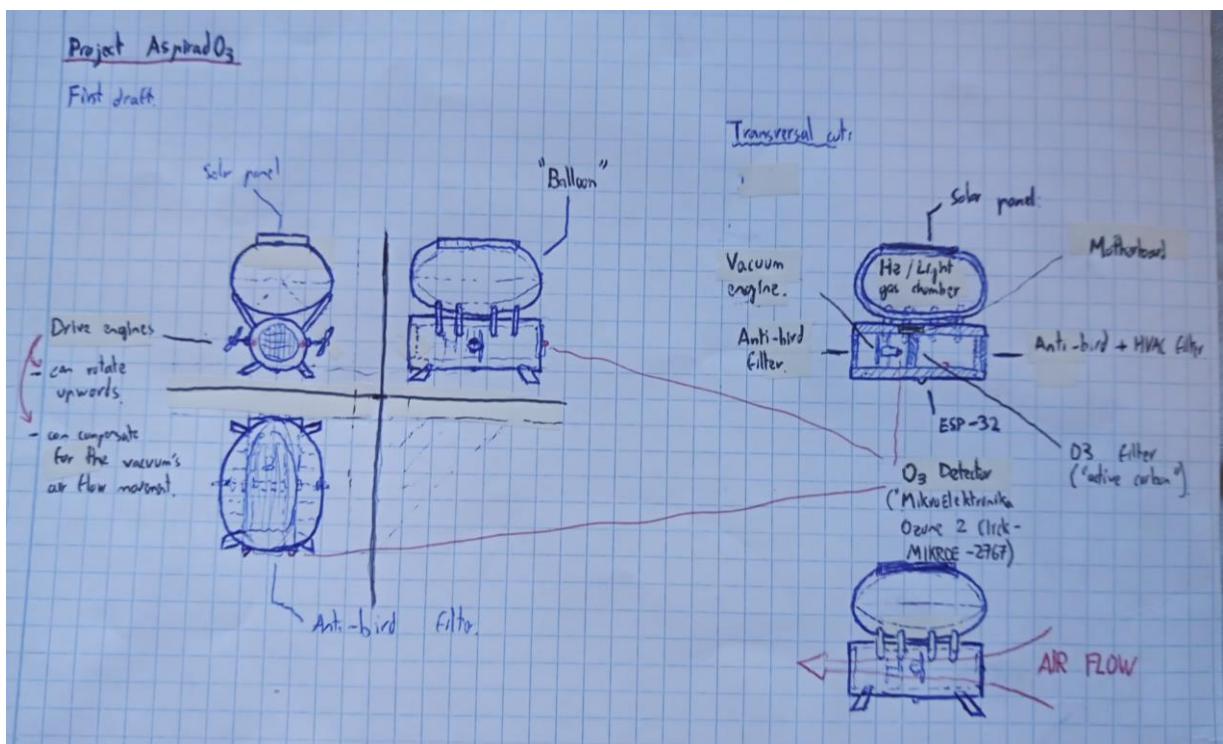


Figura 3: Boceto inicial esquemático del sistema.

Estos sensores y actuadores responderían a una ESP-32 que actuaría como unidad de control del dron, de tal manera que utilizaría los sensores externos para guiarse hacia zonas de mayor concentración de ozono, y los internos para poder detectar si hubiera un problema con el filtro. Posteriormente estos resultados se notificarían por Wi-Fi (por la misma ESP-32) / GSM (con un módulo SIM800H) probablemente mediante *Thingsboard*, debido a la familiaridad con esta plataforma. Por la misma razón el control de versiones del firmware se realizaría de forma similar.

Adicionalmente, el sistema poseería de una batería de 5V recargable y un panel solar para poder actuar con autonomía, y posiblemente de algún sistema de posicionamiento para poder orientarse y trazar sus movimientos con mayor precisión.

2.2. Modelo Inicial

Abajo se introduce una imagen que explicaría de forma simplificada en funcionamiento del proyecto al tratar el marco del problema, junto a una línea futura de regeneración del ozono estratosférico que se mencionará más adelante.

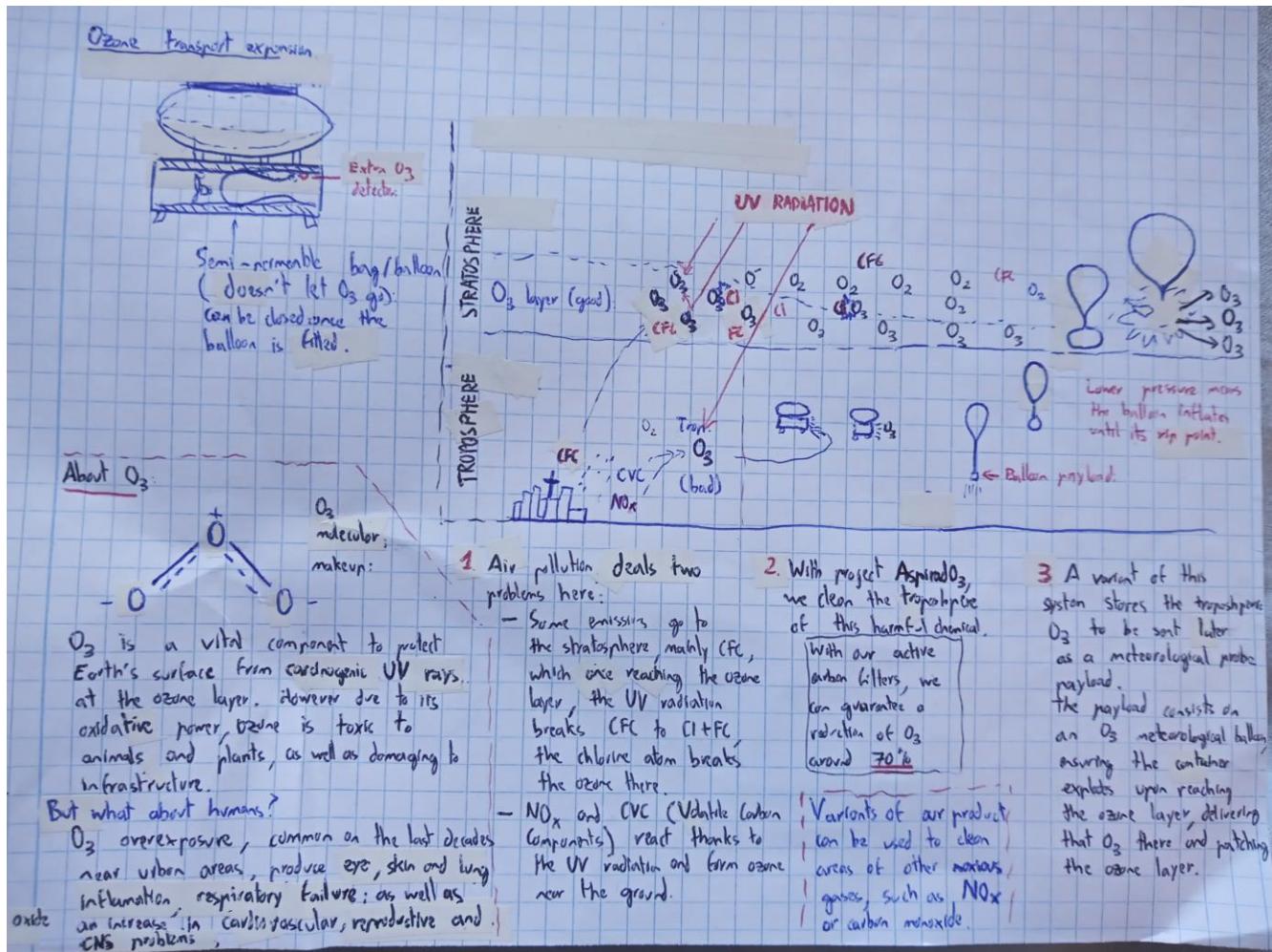


Figura 4: Plan de sistema simplificado de funcionamiento del proyecto, más plan futuro.

3. Desarrollo del proyecto:

Una vez ya se habían especificado los posibles casos de uso iniciales, se realizó la investigación inicial (incluyendo una prospección de factibilidad y potenciales aspectos legales, profesionales y medioambientales) y se documentara un anteproyecto al que se le dio luz verde, se decidió elegir la metodología a seguir durante el resto del proyecto, así como los hitos a seguir y refinar aún más el modelo inicial.

3.1. Metodología de desarrollo

Se aplicó una metodología de hitos paralelos incrementales en espiral, similar a la metodología de Prototipos (BLOGADMIN, 2023), con cada vuelta de la espiral consistiendo en fases de investigación, búsqueda de materiales/herramientas, construcción/implementación y pruebas del prototipo iterativo (incluyendo pruebas individuales y en conjunto). Cada vez que se completaba un hito o prototipo iterativo, se avanzaba en los siguientes. La ventaja de esta metodología iterativa continua es que si hubiera un percance en una fase, se iniciaba el mismo ciclo de la espiral de nuevo en vez de verse automáticamente forzado a rehacer todo, garantizando así un menor coste y reducción de riesgos.

Por motivos de tiempo o recursos, si dos hitos eran paralelos y una de las fases de un hito quedaba congelada (p.ej. debido a que los materiales no habían llegado aún) entonces se progresaba con el prototipo con el hito no congelado; algo que, gracias de nuevo a la metodología elegida, suponía una reducción de coste en lo referente a montar o desmontar módulos aún no integrados.

3.2. Lista de Hitos

En la siguiente lista se indica la planificación de este trabajo por hitos, así como una breve descripción de cada hito y su progreso.

Hito 1: refinamiento del diseño

- Se consultará con el profesor guía para el PFG.
- Según límites a la hora de implementar y del presupuesto, se ajustará el diseño y se pedirán los materiales.
- Este hito consta a su vez, de varios sub-hitos, que debido a su carácter intermedio entre diseño y construcción, se referirán en un apartado más adelante:
 - Hito 1.1. Elección del HW a utilizar. También referencia los componentes físicos utilizados como sensores y actuadores.
 - Hito 1.2. Elección del SW a utilizar.
 - Hito 1.3 Refinamiento del diseño general; acorde también a los hitos anteriores

Hito 2: funcionamiento de motores.

Las pruebas se harán incrementalmente, de nivel inferior al superior (primero un motor, luego otro). Se debe comprobar que los motores no drenen demasiada energía, y si se requieren de adaptadores para la potencia suministrada.

Hito 3: funcionamiento de sensores de ozono, posicionamiento y móvil.

- Las pruebas se harán incrementalmente, de nivel inferior al superior (primero un sensor, luego otro, luego los dos, luego enlazar la lógica interna de movimiento). Se comprobarán limitaciones con los sensores, y ver si son salvables con la placa utilizada.
- Este hito, por lo tanto, se puede dividir en tres sub-hitos:

- Hito 3.1. Sensores.
- Hito 3.2. posicionamiento GPS.
- Hito 3.3 comunicación GSM.

Hito 4: conexión a *Thingsboard*.

Este hito contiene a su vez, 3 sub-hitos:

- Hito 4.1: Se puede cargar firmware en red *Wi-Fi* mediante la OTA.
- Hito 4.2: se pueden enviar datos a otra plataforma (en este caso, *Telegram*).
- Hito 4.2-3.3.: Extensión del sub-hito 3.3, se pueden recibir datos tanto en conexión *Wi-Fi* como por red móvil.

Hito 5: impresión del chasis y PCB.

- En realidad son dos sub-hitos, uno relativo a la impresión de la PCB (5.1) y otro relativo al chasis y globo (5.2), pero ambos son el cuello de botella final para la mayoría de las pruebas de los siguientes hitos de autonomía, ya que en incluso si todo lo demás progresara sin percances, sería necesario probar de nuevo los hitos de autonomía una vez se tuviesen ambos completos, y la falta de uno u otro directamente imposibilita cualquier banco de pruebas de dichos hitos relativos al entorno. Si hay limitaciones, se deberán buscar otras opciones.
- Si es necesario se pedirá ayuda a un experto en uso de herramientas de impresión 3D o circuitos integrados.

Hito 6: programación y pruebas de autonomía.

- Esta etapa no puede iniciarse hasta haber terminado las etapas anteriores.
- Entre las pruebas (no relativas al resto de hitos) están:
 - Hito 6.1. Batería proporciona suficiente energía para el sistema completo.
 - Hito 6.2. Panel solar ayuda en la carga del sistema completo.
 - Hito 6.3. Puede actuar sin conexión a la red *Wi-Fi* con el sistema completo.
 - Hito 6.4. Implementación del sistema completo.
 - Hito 6.5. Manejo en entorno ideal (sistema de control).
 - Hito 6.6. Manejo en el exterior (sistema de control).
 - Este sub-hito además contaría con una preparación para una posible exposición del funcionamiento de prototipo, si fuera necesario. La exposición consistiría en una repetición del resultado del hito; el lanzamiento del dron en las cercanías de un área rica en componentes generadores de ozono y realizar las mediciones de este así como examinar la reducción del ozono tras el filtro de carbono activo para demostrar su capacidad de reducción del ozono troposférico – por seguridad se equiparía alguna cuerda para evitar que escapase y para no alarmar a las autoridades en caso de que por lo que fuera no se permitiera el lanzamiento o se requiriese del carnet de conducción de drones o este no fuera válido. En zonas como la UPM Campus Sur sería ideal ya que no solo es próxima a la carretera de Valencia por lo que puede haber suficiente cantidad de productos que contribuyen a la producción de ozono, sino que por ese mismo motivo es posible que los compuestos se encuentren en interiores, razón por la cual se podría realizar en algunas de las zonas interiores más espaciosas de la escuela como el Bloque IX/X o algunos patios.

Hito 7: desarrollo de la memoria.

Se realizará a lo largo de los demás hitos, y es vital para trazar y referenciar el progreso de este proyecto.

También se incluye en este hito:

- Desarrollo de un documento de exposición,
- Creación de un manual de uso y mantenimiento del prototipo; para asegurarse de que se cumplen los requisitos de las ayudas para el TFG del subcomponente HW válido hasta la fecha indicada en el documento de ayuda para la realización del TFG y TFM con segmento Hardware, “junio de 2024” (Yagüe Panadero, 2023).

3.2.1. Hito 1: Refinamiento del diseño

De acuerdo con la planificación de hitos, se procedió a elegir los componentes SW y HW.

A nivel de componentes HW, se decidió que la unidad de control fuera una ESP-32, por motivos de coste y familiaridad con el módulo (específicamente un ESP-32 Wroom-32 de Az-Delivery, que fue la versión utilizada, visible en la lista de costes). A nivel de SW, esto conlleva 2 opciones principales para este módulo, utilizando lenguaje C: utilización de *Arduino Core*, de implementación básica más sencilla; o el Entorno *Espressif (ESP-IDF)* asociado a dicho módulo y de funcionalidad más completa. Finalmente se eligió *Espressif* porque una de las herramientas software disponibles en aquel momento ya estaba incorporado en una de las herramientas disponibles (para más información, consultar la sección sobre *Visual Studio Code* del apartado 5: “Herramientas SW utilizadas”). En ese apartado también se explica la elección de las herramientas SW utilizadas) y adicionalmente la opción de Arduino podría no proporcionar algunas funcionalidades más avanzadas y carecer de flexibilidad (espboards, 2023).

Los motores planificados para ser utilizados inicialmente fueron tres motores de corriente continua para proporcionar empuje más un paso a paso para orientación, por encontrarse entre las opciones disponibles (ver lista de materiales “Motores para aspas” y “Motores para orientación”). Sin embargo, debido a refinamientos posteriores y a problemas durante el hito relativo a motores, se decidió utilizar finalmente solo un motor de corriente continua para empuje y dos servomotores SG90 para timones, que no solo son igual de precisos, pero más baratos y ligeros (ver lista de materiales, “Motores para orientación: Servomotor SG-90”).

En relación con el módulo GPS y GSM, inicialmente se planificó tener un único módulo común que realizará ambas funciones, siendo el SIM800H la opción disponible más barata en aquel momento (ver lista de materiales, “Módulo SIM800H para GPS y GSM”), pero por razones debidas a la falta temporal de dicho módulo, se incluyó posteriormente un módulo Diligent Pmod (módulo visible en la Figura 21, (RS-online, 2023)) para realizar las pruebas de GPS, y finalmente por motivos de reducción de costes de datos móviles, se optó por mantener ambos. Como ambos módulos podían soportar comunicación por protocolo I2C, se decidió que para mejor modularidad se utilizase dicho protocolo común.

Inicialmente se optó por utilizar baterías recargables de níquel-metahidruro, pero tanto por disponibilidad, como por menor peso, como por mayor tiempo de vida y menores problemas de memoria de carga, se optó por baterías de litio, cuyo número y tipo fueron variando a lo largo de las fases de construcción y pruebas.

A nivel de selección del sensor HW, se sugirió utilizar otro sensor de ozono disponible en RS-online porque el de Mikroelectronika era caro. Tras buscar entre las opciones disponibles sin embargo se pudo comprobar que de las opciones disponibles solo dos sensores más baratos (ambos ZMOD 4510) estaban disponibles entre los proveedores primarios, con los demás siendo significativamente más caros que el sensor a reemplazar, como es visible en la siguiente captura de pantalla listando todas las demás opciones que no fueran el sensor de MikroE (RS-online, 2023).

3.2.1. Hito 1: Refinamiento del diseño

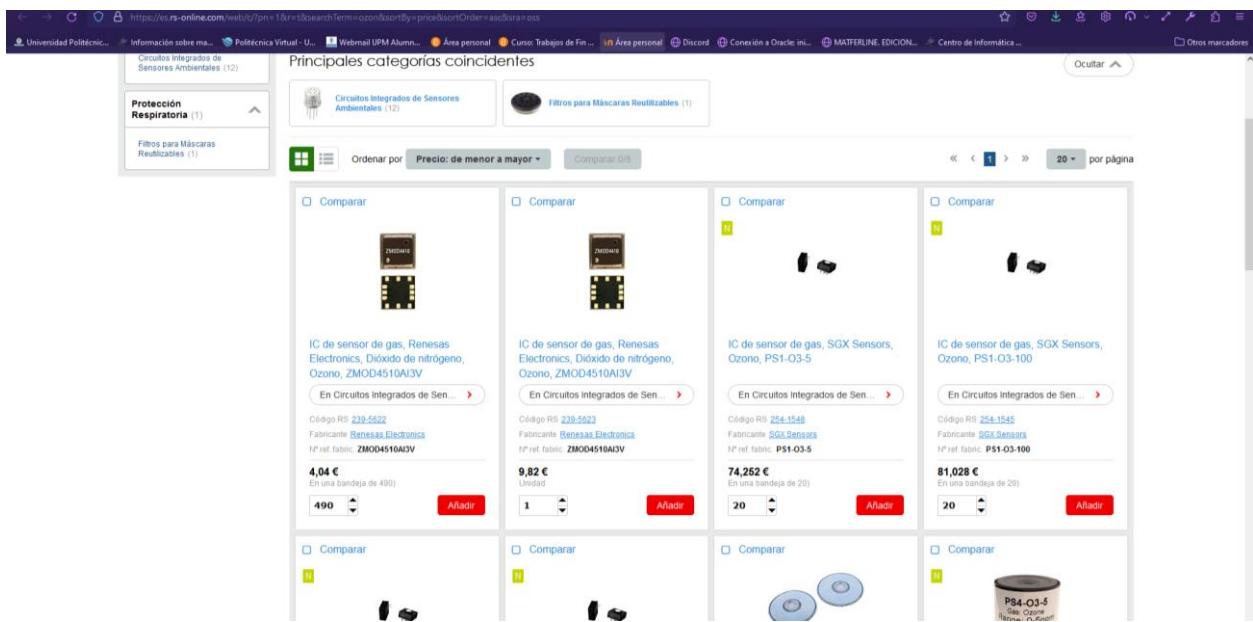


Figura 5: lista de otros sensores de ozono disponibles

Además, los dos sensores disponibles a 13 de Febrero de 2023 tenían los siguientes inconvenientes

- De acuerdo con lo visto en el *datasheet* (Renesas, 2021) y otros tratando de usar el sensor, las direcciones de los registros I2C para utilizarlo no están disponibles al público, y se debe firmar un “NDA” (*Non Disclosure Agreement*, un Acuerdo de Confidencialidad) que por lo visto puede llevar meses (pcbartists, 2023). En este caso, se trató de ver la API pero simplemente pedir permiso para ver su manual de instrucciones para el sensor específico necesitó de un registro en su base de datos, dar datos personales como números de teléfono y código postal, y aún así tener que pedir un parte de petición de permiso, que tardaría entre 12-48 horas. Afortunadamente llegó a las 12 horas, pero tras abrirlo se pudo observar que su acuerdo de licencia no permite compartir nada del código fuente, solo para uso interno cumpliendo estrictamente con todas las regulaciones de licencia de acuerdo con las leyes estadounidenses del estado de California (Renesas, 2023), lo que va en contra de la política del proyecto, ser de código libre y abierto a todos en un repositorio *GitHub*, y dificulta las tareas de la UPM relacionadas con la propiedad intelectual.
- La variante en la que se insertó una UART, aunque todavía más barata que el sensor de MikroE y posiblemente tardase 5-7 días en llegar, no está en los proveedores primarios ni secundarios. De hecho, parece ser producida en la India (pcbartists, 2023). Además el ESP-32 tiene un número muy limitado de módulos UART que según la planificación del proyecto, están reservados exclusivamente para el módulo GPS/GSM si es posible para reducir su margen de error.
- Su programación para la ESP-32 y el hardware requerido parecen ser más complicados a primera vista, principalmente por el detalle de que no parecen soportar la opción de cambiar su dirección I2C por defecto y para tener los 3 sensores activos hubiera sido requerido HW adicional para conectar/desconectar el SDA de cada sensor individualmente y así obtener los resultados de múltiples sensores.

Por lo tanto, y teniendo en cuenta que tras una búsqueda exhaustiva en otros proveedores arrojaban sensores más caros, al final se optó por los sensores de MikroE originales para la lectura de ozono mediante lecturas analógicas, ideales para pruebas de prototipado iniciales.

En cuanto a los módulos ADC del ESP32-S2, cabe mencionar que, aunque dispone de 2, el módulo adc2 comparte recursos con el módulo Wi-Fi por lo que se debió tener en cuenta en el diseño (Espressif, 2023). Además, se sabe que el módulo analógico digital de algunas ESP-32 tenía un gran error y problemas. A pesar de que al revisar el manual técnico y la documentación oficiales no mencionaba nada de esto y de hecho dicen que son de altas prestaciones para el escaneo de múltiples pines a la vez (Espressif Systems, 2023), sí es cierto

que son muy sensible al ruido y hubo quejas sobre los ADC básicos de los primeros ESP-32 por lo que un cambio de cables a mitad de lectura podría ocasionar la entrada de ruido e interferencias (como se puede ver en el vídeo de prueba “Pruebas de ADC y Temperatura y Humedad (parte 1, interiores y ambiente seco)”), reducible mediante múltiples lecturas, medias de lecturas o incluyendo condensadores cerámicos de $0.1 \mu\text{F}$ (Espressif, 2023). Sin embargo, debido a problemas durante la fase de pruebas de los sensores (visible más adelante), se optó por incluir adicionalmente un módulo ADC externo, y teniendo en cuenta que los sensores de MilkroE requerían además de un ajuste de lecturas según temperatura y humedad (ver la sección relativa a IoT del apartado Construcción y Pruebas para más información) y que anteriormente el equipo ya estaba familiarizado con un sensor mixto de temperatura y humedad Sensirion SHT85 que utiliza el protocolo I2C (Sensirion, 2023), se optó por elegir un módulo ADC externo que utilizase dicho protocolo y que no fuera necesario tener que programar aparte (para más detalles, ver la sección relativa a sensores del apartado de Construcción y Pruebas).

En paralelo con estas acciones, se decidió progresar en el sub-hito de refinar el diseño físico con respecto a seguridad y coste. Un primer intento de refinamiento inicial supuso una modificación del chasis para incluir los motores de forma interna y ahorrar uno de los motores de orientación de los rotores (como se ve en la figura inferior de elaboración propia).

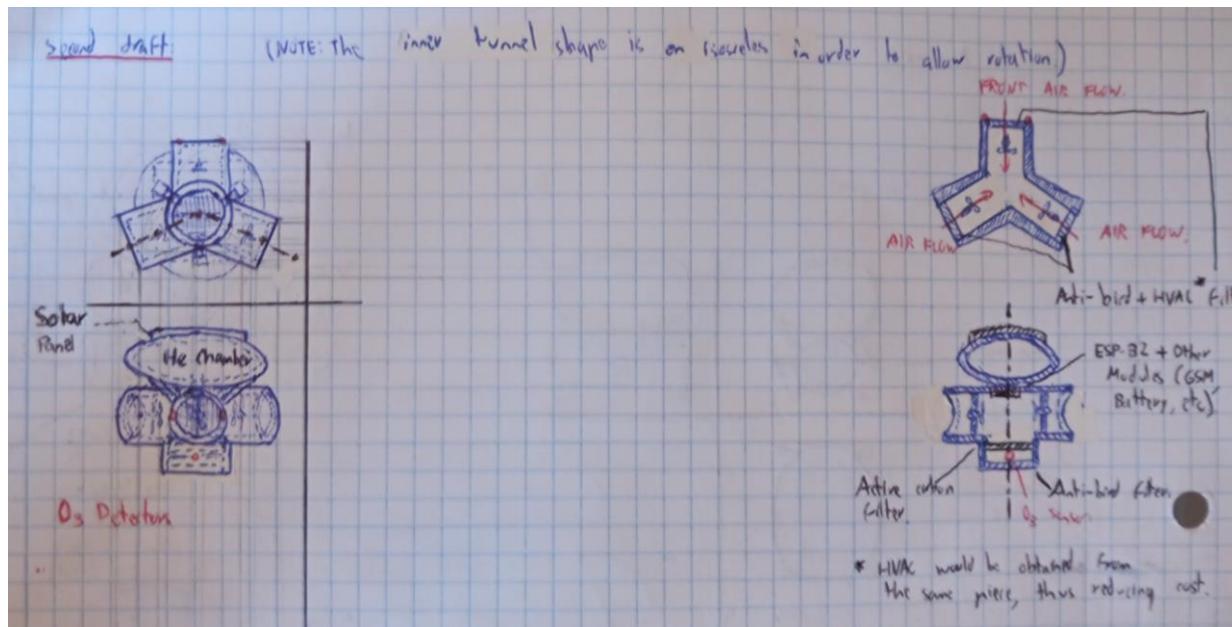


Figura 6: Primer Boceto alternativo del sistema.

Un segundo refinamiento implicó una nueva modificación del chasis y sistemas a un modelo con mayor semejanza al original pero con mayor énfasis en la seguridad y ahorrando uno de los motores de propulsión, teniendo en cuenta que el globo de helio haría que el dispositivo alcanzase su equilibrio de alturas para luego lentamente descender.

Un tercer refinamiento supuso considerar un mayor ahorro energético, tal que solo hubiera 1 aspa girando continuamente y dos de los motores se encargasen de manejar la dirección en el eje XY, sugerido por la idea del tutor que si se redirigía el aire de la aspiradora frontalmente no habría movimiento (de tal forma que un motor redirigiera el flujo de aire hacia una tobera de salida delantera o trasera, y otro tuviera un timón semicircular que permitiese virar a babor o estribor).

Fue este último refinamiento el elegido para pasar a croquis, modificando ligeramente la posición del motor de redirección de la tobera para que opusiera menos resistencia a la corriente de aire y se pudiera emplear un motor más simple. Sin embargo, no fue hasta más tarde que se seleccionaron las medidas de dimensiones del prototipo. Ambos refinamientos, así como el croquis, se pueden ver en las dos figuras siguientes de elaboración propia.

3.2.1. Hito 1: Refinamiento del diseño

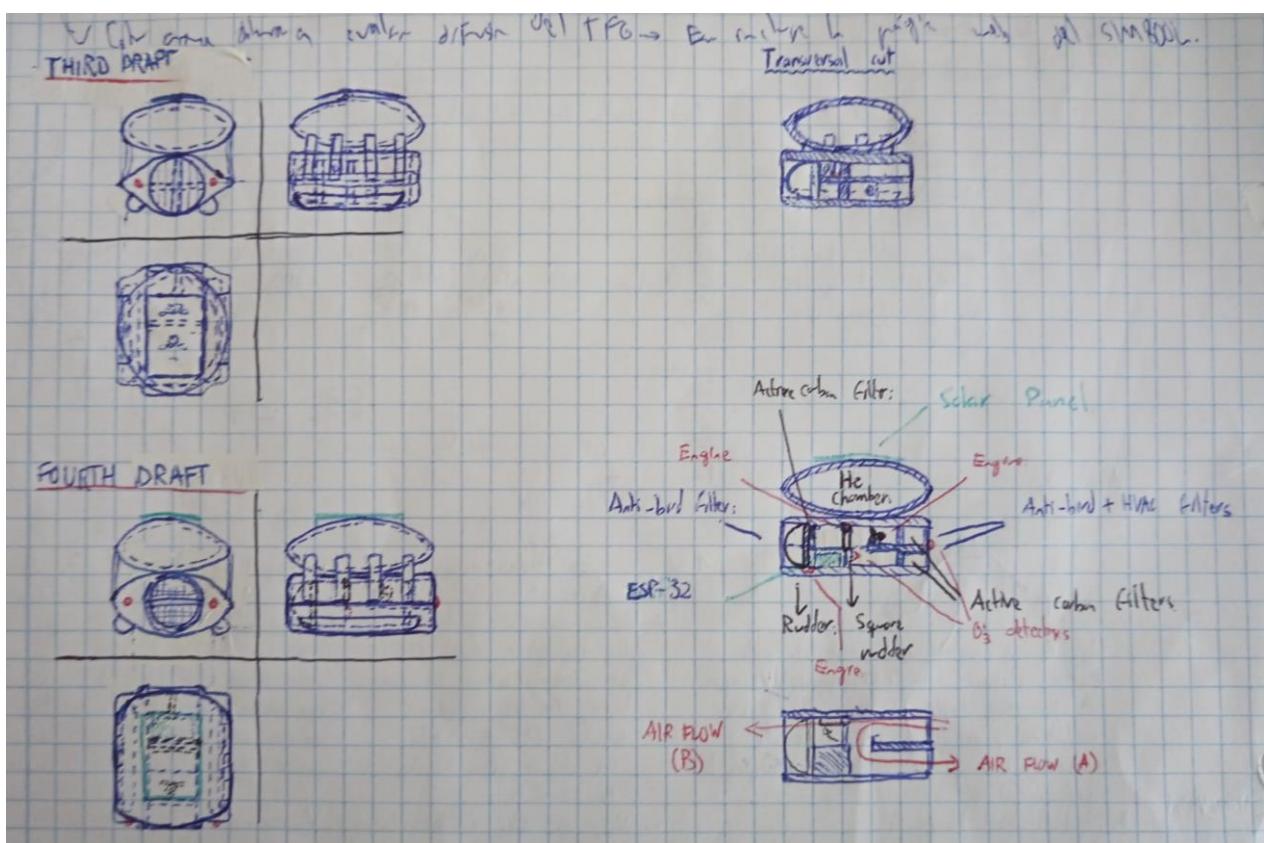


Figura 7: segundo y tercero refinamiento del boceto del sistema.

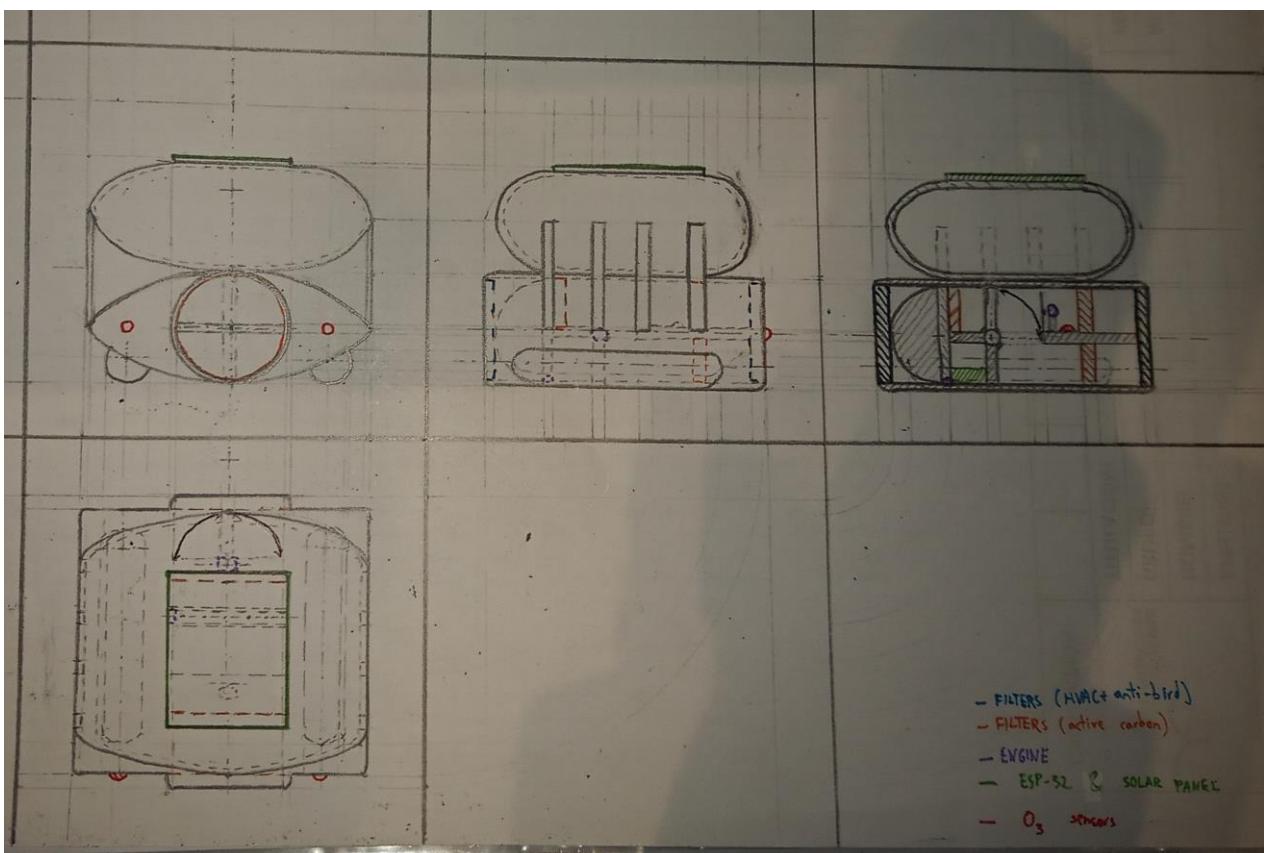
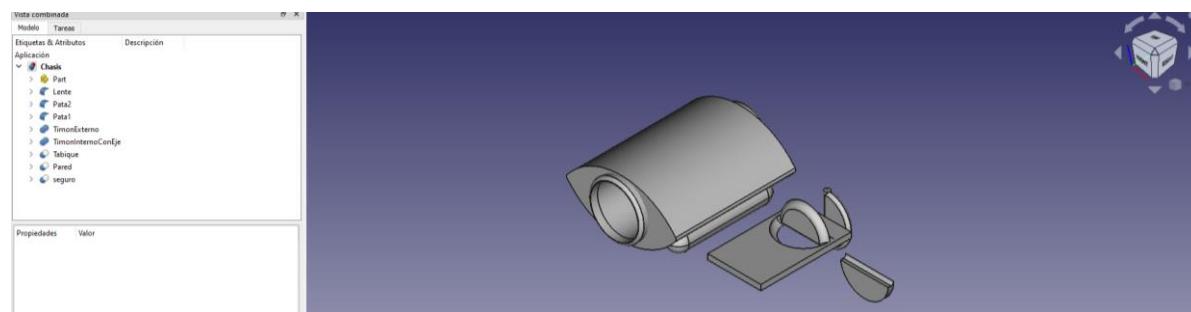


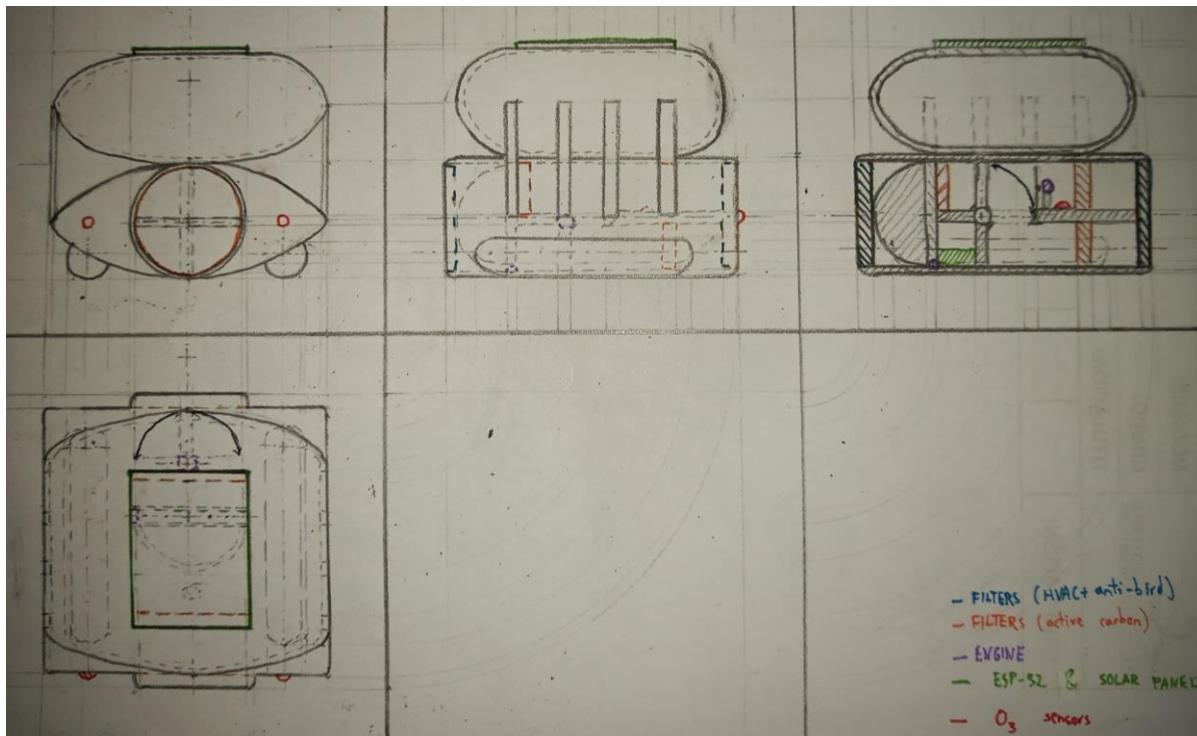
Figura 8: croquis del tercer refinamiento, sin medidas.

Más tarde, se vio que este diseño podría además simplificar el tipo de motores utilizados, ya que mientras el motor del timón esté inactivo, cuando puede afectar al rumbo del dirigible la corriente de aire del aspirador está presente, por lo que esta corriente de aire podía enderezar el timón (aunque posteriormente se procedieron a utilizar servomotores por exactitud de todos modos). El tipo de globo planeado originalmente fue un globo aéreo meteorológico ultra-larga distancia, pero eso cambió durante las fases de construcción.

Adicionalmente se consideró emplear un sensor de humedad y temperatura para poder afinar los cálculos del ozono ya que dependiendo de estos la sensibilidad del sensor podría verse alterada, decisión que se afianzó en diseños posteriores, con prácticamente muy pocas modificaciones, colocándose tras los filtros HVAC y el filtro de carbón activo frontal (con el consiguiente cambio visible en el croquis a continuación). Este chasis comenzó a modelarse con la plataforma FreeCad el 20 de Febrero de 2023 9:00, cuando se realizó una pequeña corrección en la parte del timón interno (faltaba una de las líneas discontinuas al croquizar) y posteriormente sufrió modificaciones para ajustarlo a los sensores y actuadores necesarios (como es visible en la imagen siguiente de elaboración propia, dejando los tabiques por fuera para mayor visibilidad).



Figuras 9: modelo del chasis en FreeCAD a 20 de Febrero de 2023



Figuras 10: croquis corregido del tercer refinamiento del boceto, 20 de Febrero de 2023

4. Construcción y Pruebas del Sistema:

Como se mencionó en los hitos, primero se procedió a programar el código de los motores, de forma incremental. Todo código generado se almacenó en un repositorio de *GitHub*. Si ocurrían contratiempos que no se pudieran resolver *ipso-facto* o en un período de tiempo razonable (p.ej. no disponer de los materiales necesarios en aquel momento), se procedía a avanzar mientras tanto en otros hitos independientes. Es de ese modo que se estuvo trabajando en diversas secciones relativas a diversos hitos a la vez, por lo que la estructura lógica general del flujo del programa, del sistema de control y de la OTA y alarmas de plataforma IoT ya se estuvieron desarrollando y completando mucho antes de que el refinamiento de la parte física y el hardware llegara a término. Por motivos de la metodología usada, este capítulo se divide en subapartados relativos al componente testado, más que a sub-hitos individuales.

La estructura del programa, así como una vista de su funcionamiento, están disponibles en la sección “Estructura del proyecto”, y en la figura del diagrama de bloques del programa, mostrada anteriormente. Los vídeos de pruebas mencionados se encuentran en el Anexo correspondiente.

En el caso de los componentes finales utilizados, están referenciados en la lista de materiales de la sección de Planificación y costes.

4.1 Motores

Una vez codificado el programa en Espressif, el primer paso consistió en probar que efectivamente el motor de corriente continua funcionase, teniendo la sospecha de que a lo mejor se requeriría de un transistor adaptador de corriente para suministrar suficiente energía para que rotara. Al realizar las pruebas se vió que aunque el 3.3 V de salida del ESP-32 era suficiente y que el modelo previsto de invertir la polaridad para cambiar en sentido del motor de corriente continua funcionaba, lo proporcionado por los pines GPIO no era, probablemente por una falta de amperaje (ver Prueba motor aspas I). Tras utilizar un módulo Logic Level shifter (visible en la figura (de elaboración propia) inferior izquierda, (Diligent, 2023)), quedó confirmado que el problema fue un amperaje insuficiente puesto que incluso a 5V conectado a batería propia no giraba hasta que se le proporcionara impulso, y lo que se necesitaba era un puente en H o un transistor que permitieran proporcionar el voltaje y amperaje adecuado. En un primer caso para el motor de las aspas se probó un transistor C945 genérico (ALLDATASHEET.COM, 2023), al que al introducirle el 3.3 V de la alimentación funcionaba, pero no al introducirle el pin, que al revisar con multímetro tenía 3.3 V también, pero una vez conectado a la base caía a 0.8 V. Posteriormente fue reemplazado por un Transistor Bipolar de potencia 2n3055 (ON Semiconductor, 2023) con la esperanza de que permitiera conducir la corriente de la batería y de tal forma que cuando estuviera a 3.3 V girara y cuando estuviera a 0 V dejase de girar, pero seguía sin responder a los GPIO (Prueba motor aspas II y Prueba de servos III). Al final se decidió utilizar el puente H por simplicidad (específicamente, ver lista de materiales, “Puente H L9110S”, por ser la versión disponible en aquel momento), que funcionó en las pruebas unitarias (Prueba motor aspas IV), aunque es probable que se hubiera alcanzado el máximo voltaje que la ESP-32 podía proporcionar por sí sola para todos los dispositivos, ya que en cuanto se conectó el dispositivo con varios módulos que requerían de un voltaje constante o causaban gran drenado en su conjunto, parecía que alguno de los cables o ruido en la entrada ocasionaban problemas al puente H (Prueba motor aspas V), resuelto al insertar los componentes en el integrado (cuyo esquemático se modificó para tratar de minimizar ruidos al sensor y motores) y al proporcionar una batería de 5 V VARTA (utilizada por su comodidad y por permitir cambiar entre dos opciones de amperaje, útil para probar necesidades de amperaje y voltaje en prototipos) (VARTA consumer batteries, 2023) independiente adicional para mantener todo el circuito en las pruebas de autonomía.

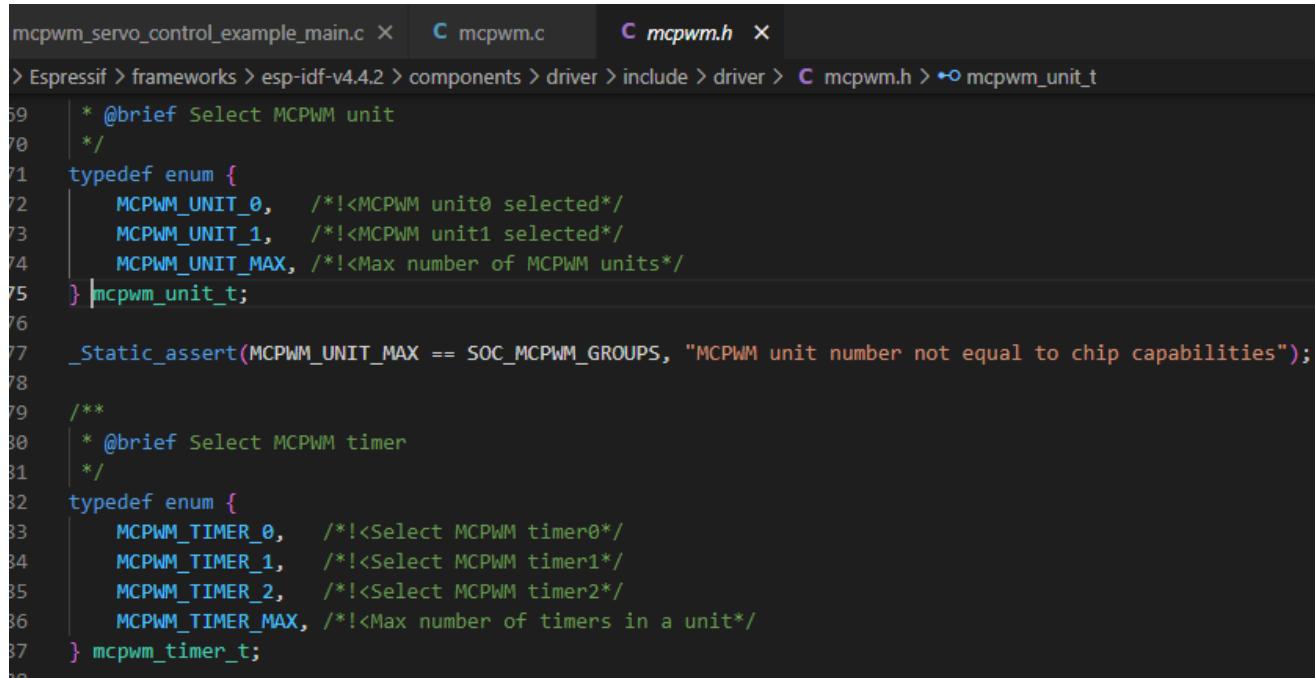


Figuras 11 y 12: Diligent Mod LVLSHFT y servomotores SG90.

Debido a todos los problemas que dió el motor de corriente continua para las aspas, se consideró que para los timones en los que la precisión importa más que la velocidad resultaría mucho más fácil el uso de servomotores. Y efectivamente, la implementación y pruebas de un servomotor SG90 (como el de la figura de arriba a la derecha, (RS-online, 2023) que era la opción más barata disponible por entonces y cuya amplitud teórica de giro de 180 grados resultaría ideal) fueron mucho más sencillas, primero realizando una prueba unitaria, ajustando el ejemplo de programa de Espressif al *datasheet* del servomotor de 90 grados SG90 (www.ee.ic.ac.uk, 2023) para el timón interno; para luego incluir un segundo servomotor con rango de amplitud de 180 del timón externo y por último probarlo con el resto de los componentes (Prueba de servos I a V). Ambos módulos utilizan cada uno uno de los 2 generadores PWM disponibles, según lo visto en la API (Espressif, 2023) y en mcpwm.h (ver Figura 13, de elaboración propia). También se comprobó que, a pesar de sus *datasheets*, pueden funcionar incluso con los 3.3 V provistos por la ESP32 (Prueba de servos III).

Inicialmente y dado que con el programa de prueba con amplitudes de PWM de 1000-2000 ms según las especificaciones solo aportaba un rango de control total de 90 grados de rotación, para el servo de 180 grados de amplitud fue decidido comprar un servomotor que tolerase esos rangos o bien trucar uno de los SG90 para dichos rangos, pero según el co-tutor ese truaje puede complicarse, y además existía una alternativa más barata, consistente en poner a la salida del servomotor un par de engranajes en los que el engranaje de salida tuviera la mitad de dientes, a costa de reducir la precisión de 1 a 2°, lo cual en este caso no era una pérdida suficientemente significativa como para rechazarlo.

Sin embargo, tras sospechar y confirmar mediante un servo SG90 metálico de 180 grados de amplitud (del que se veía efectivamente sí podía alcanzar 180 grados en condiciones normales) que el generador de PWM de la ESP-32 tenía un error al pasar las longitudes de pulso, se compensó dicho defecto para permitir la amplitud deseada mediante el ajuste de dichas longitudes de pulso mínima y máxima a 600 y 2600 (mayor amplitud que el dado en la hoja de datos), por lo que se utilizaron 2 SG90 no trucadas para el prototipo.



```
mcpwm_servo_control_example_main.c x  C mcpwm.c  C mcpwm.h x
> Espressif > frameworks > esp-idf-v4.2 > components > driver > include > driver > C mcpwm.h > mcpwm_unit_t
59  * @brief Select MCPWM unit
60  */
61  typedef enum {
62      MCPWM_UNIT_0,    /*!<MCPWM unit0 selected*/
63      MCPWM_UNIT_1,    /*!<MCPWM unit1 selected*/
64      MCPWM_UNIT_MAX, /*!<Max number of MCPWM units*/
65  } mcpwm_unit_t;
66
67 _Static_assert(MCPWM_UNIT_MAX == SOC_MCPWM_GROUPS, "MCPWM unit number not equal to chip capabilities");
68
69 /**
70  * @brief Select MCPWM timer
71  */
72  typedef enum {
73      MCPWM_TIMER_0,   /*!<Select MCPWM timer0*/
74      MCPWM_TIMER_1,   /*!<Select MCPWM timer1*/
75      MCPWM_TIMER_2,   /*!<Select MCPWM timer2*/
76      MCPWM_TIMER_MAX, /*!<Max number of timers in a unit*/
77  } mcpwm_timer_t;
```

Figura 13: Captura de pantalla del código de mcpwm.h.

4.2 Sensores

El segundo hito en el que se comenzó a trabajar fue la instalación de los sensores de ozono, junto a un sensor I2C de temperatura y humedad Sensirion SHT85 ya testado que se utilizaría para recibir y calcular la concentración de ozono ante variaciones de humedad y temperatura según su *datasheet* (Sensirion, 2023), y por las razones ya mencionadas en el hito de refinamiento del diseño. Para ello se utilizaron las siguientes fórmulas basadas en los niveles de sensibilidad indicados en su respectiva hoja de datos junto a la imagen del circuito interno utilizado (Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., 2014):

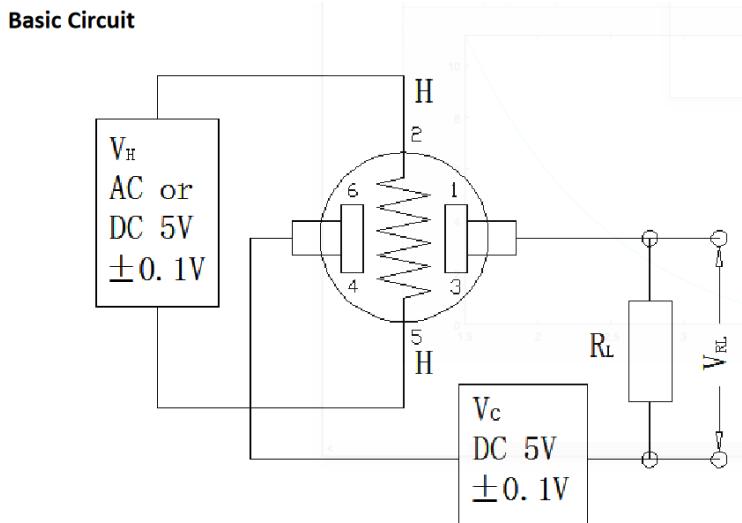


Figura 14: Circuito base de pruebas del sensor.

Aplicando el divisor de tensión, V :

$$V_{lectura} = V_{RL} = \frac{R_L}{R_L + R_S} * V_{REF} \quad (1a)$$

Teniendo en cuenta que R_S va variando de acuerdo a la humedad y temperatura según un factor F , se deduce que

$$V_{lectura} = V_{RL} = \frac{R_L}{F * R_S + R_L} * V_{REF} \Rightarrow (F * R_S) = \frac{R_L * V_{REF}}{V_{RL}} - R_L \quad (1b)$$

Suponiendo que el comportamiento de sensibilidad frente a humedad y temperatura es aproximadamente lineal en las condiciones atmosféricas dadas (de -10 a 50 grados) se sabe que según los diagramas de la hoja de datos, F se reduce aproximadamente 0.013 por cada grado centígrado "T" adicional (despreciando la ligera variación de倾inación a muy baja humedad), y que F se reduce en $0.19 + ((0.35-0.15)/60 * (20 - T))$ con el aumento de la humedad "H" cada 30%, de lo que se extrae esta ecuación en la que se consideran $H=55\%$ y $T=20^{\circ}\text{C}$ y presión 1 atm. como condiciones normales:

$$F = 1 - 0.013 * (T - 20) - (H - 55) / 30 * (0.19 + 0.2 / 60 * (20 - T)) \quad (2)$$

Analizando el diagrama de la tensión en R_L , se concluye que el nivel de ozono base (en ppm) depende aproximadamente de esta fórmula frente a temperatura y humedad constantes en condiciones ideales (con "Vlectura" en mV):

$$\text{ozonoBase}(V_{\text{lectura}}) = 100 * (e^{-V_{\text{lectura}}+4}-1) \quad (3)$$

A continuación, se presenta una imagen de elaboración propia para mejor entendimiento de dicha aproximación de la función (3), ejecutada en Matlab entre los interavlos 1.5 y 4 V:

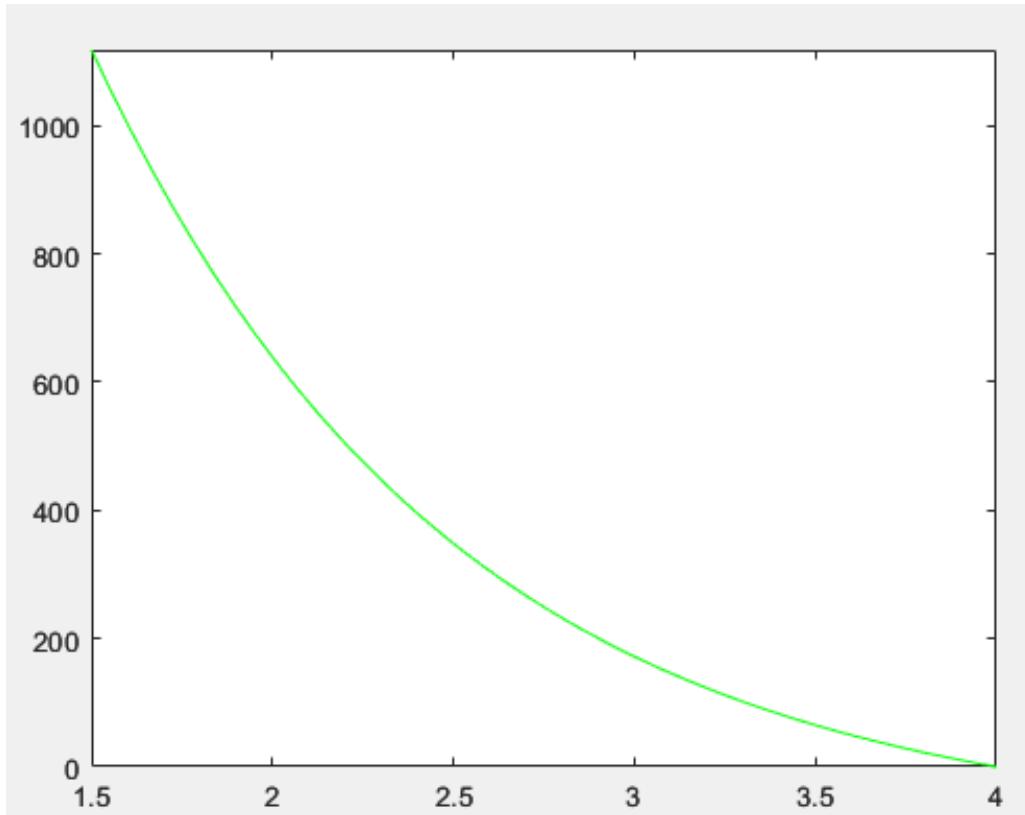


Figura 15: Captura de Matlab de aproximación a la función (3).

También se sabe que, con los datos dados por el *datasheet*, en condiciones normales de T y H frente a temperatura y humedad constantes en condiciones ideales, y que si la resistencia R_L = 1 MΩ, entonces se puede extraer que en dichas condiciones:

$$V_{\text{lectura}} = 2.5 = \frac{R_L}{R_L + R_S} * 0.5 \Rightarrow \frac{R_L}{R_L + R_S} = 0.5 \Rightarrow R_S == R_L = 1 \text{ M}\Omega \text{ a } 200 \text{ ppm} \quad (4a)$$

$$V_{\text{lectura}} = 4 \text{ V} = \frac{R_L}{R_L + R_S} * 5 \text{ V} \Rightarrow R_S = 250 \text{ k}\Omega \text{ a } 0-10 \text{ ppm} \quad (4b)$$

$$V_{\text{lectura}} = 1.6 \text{ V} = \frac{R_L}{R_L + R_S} * 5 \text{ V} \Rightarrow R_S = \frac{5 - 1.6 \text{ M}\Omega}{1.6} = 2.125 \text{ M}\Omega \text{ a } \geq 1000 \text{ ppm} \quad (4c)$$

Por lo tanto, con estos conocimientos se puede simplemente usar (1b) para despejar (F * Rs), luego dividir esto por (2) para eliminar el error causado por las diferencias en la resistencia variable del sensor, y luego recalcular con (1a) para luego asignar ese resultado a (3).

La única diferencia es que en el sensor de Mikroe la resistencia de carga no es de $1 \text{ M}\Omega$ sino que es una resistencia variable de $100 \text{ }\Omega$ - $10.1 \text{ k}\Omega$ ajustable a los valores deseados teóricamente como salida (MikroElektronika, 2023), por lo que se debe tener en cuenta en (3), ya que si fuera a aplicarse (1) con el valor máximo de resistencia los rangos de voltajes quedan algo más cortos, como se ve en (1c) y (1d) tomando los valores de (4b) y (4c) como referencia de la resistencia del sensor:

$$V_{RL} = \frac{10100\Omega}{10100 + 250\text{k}\Omega} * 5 \text{ V} = 0.19415 \text{ V} \quad (1c)$$

$$V_{RL} = \frac{10100\Omega}{10100 + 2.125\text{M}\Omega} * 5 \text{ V} = 0.023365 \text{ V} \quad (1d)$$

Para simplificar el proceso y poder ajustarse a las gráficas del *datasheet*, y sabiendo que se está prácticamente recalculando V_{RL} con (1a) y que la resistencia del sensor es conocida, es posible simplemente utilizar el valor de la resistencia de carga de $1 \text{ M}\Omega$ en (1a) y dar el resultado a (3), con el detalle de que se debe multiplicar la resistencia obtenida por ResistenciaDatasheet/ResistenciaLoadFinal = $1 \text{ M}/10.1 \text{ k} = 99$.

La humedad y temperatura obtenidas por el Sensirion de I2C se ajustaron según las fórmulas del *datasheet* (ver Figura 16) (Sensirion, 2023).

4.14 Conversion of Signal Output

Measurement data is always transferred as 16-bit values (unsigned integer). These values are already linearized and compensated for temperature and supply voltage effects. Converting those raw values into a physical scale can be achieved using the following formulas.

Relative humidity conversion formula (result in %RH):

$$RH = 100 \cdot \frac{S_{RH}}{2^{16} - 1}$$

Temperature conversion formula (result in $^{\circ}\text{C}$ & $^{\circ}\text{F}$):

$$T [^{\circ}\text{C}] = -45 + 175 \cdot \frac{S_T}{2^{16} - 1}$$

$$T [^{\circ}\text{F}] = -49 + 315 \cdot \frac{S_T}{2^{16} - 1}$$

S_{RH} and S_T denote the raw sensor output for humidity and temperature, respectively. The formulas work only correctly when S_{RH} and S_T are used in decimal representation.

Figura 16: Captura sección “Conversion of Signal Output”

Una vez esto quedó programado, y dado que los sensores pedidos no habían llegado aún, se procedió a realizar una prueba de los componentes de lectura analógicos, así como del I2C para el sensor de Temperatura y Humedad (ver Pruebas de ADC y Temperatura y Humedad (parte 1, interiores y ambiente seco)), en la que se observó que aunque los valores de lectura ADC no se ven muy alterados cuando se les provee de corriente, son muy sensibles a ruido e interferencias, por ejemplo en el video de pruebas estaban todos conectados a un GND que alimentaba múltiples módulos en la *breadboard*, incluyendo un par de cables abiertos. Sin embargo, en cuánto los sensores fueron conectados a una pata GND menos utilizada, los resultados (visibles en el área de Sensores ADC de ozono y de energía solar de la Figura 17 de elaboración propia como tres áreas: la primera en la que había una mala conexión, la segunda cuando se arregló dicha conexión y se vio como la de energía solar solo afectaba a una de ellas por un muestreo algo rápido, y la tercera cuando se alimentó una de esas entradas de ozono con una lectura de otro potencíometro) ya se mostraban correctamente (mostrando que el problema parecía provenir de interferencias por una mala conexión).

4.3 GPS y GSM



Figura 17: Captura del *Thingsboard* cuando se utilizaba el ADC interno del ESP32

En cuanto llegaron los sensores de ozono, se procedió a su montaje, teniendo que cambiar los jumpers para que comunicaran los valores al pin AN, viendo si resultaba exitoso. Se encontró un problema de factor humano, debido a que el pulso de la mano del estudiante no es muy bueno, casi ocasionando daños al sensor del primer módulo, por lo que se pasó a esperar ayuda del co-tutor o el técnico de laboratorio para desoldar y resoldar el jumper, y se cambió a la fase de pruebas del *Thingsboard* (ver

4.4 IoT).

A continuación se presenta una imagen del aspecto de los sensores de MikroE, con los jumpers en su posición por defecto (MikroE, 2023).



Figura 18: Módulo MikroE ozone 2.

Tras comprobar el funcionamiento de la recepción a *Thingsboard* y la correcta soldadura del jumper del sensor de ozono, se procedió a su conexión al sistema, utilizando una batería de 5 V puesto que el sensor seguía necesitando de alimentación TTL. Esas pruebas demostraron que el ADC del ESP-32 sería suficiente en cuanto a precisión cuando estaba solo (ver Prueba sensor ozono 1), pero teniendo en cuenta que según el *datasheet* de la variante utilizada con el sensor de bakelita negro, concentraciones superiores al umbral de 1000 ppb americano (1 ppm) no se pueden considerar exactamente, y viendo cómo según la OMS los niveles peligrosos frente a largas exposiciones ya son de 50 ppm, 50000 ppb (Medher, 2023) este prototipo no sería adecuado como alarma de concentración de ozono, y si el problema es por un error en el *datasheet* (eso es, que en realidad cuando mencionan ppb es en realidad ppm), por el funcionamiento del ADC de 5 V concentraciones inferiores a 120 ppb no se podrían captar a menos que se emplease un circuito que convirtiera la señal de 5 V a 3.3 V, con su correspondiente ajuste en el circuito lógico, o se usase un ADC externo que pudiera leer hasta ese voltaje; siendo esta última la alternativa elegida.

Para este fin, se decidió emplear un módulo I2C de ADC de 4 canales que además quitara de en medio los problemas de sensibilidad y ruido de múltiples entradas, dejando el ADC interno únicamente para la lectura de energía del panel solar. El motivo del uso de un sistema basado en I2C fue para no activar más sistemas de los necesarios y sobre todo para facilitar la implementación del módulo con los ya existentes, como se mencionó en el apartado de refinamiento del diseño. Inicialmente la placa de Microchip MCP3424-EV fue la mejor candidata (Microchip, 2023), pero posteriormente fue rechazada por un precio elevado al ser una versión más elaborada y porque tanto esta versión como el microchip de dicho kit (el MCP3424-ESL) requerían de extensiva soldadura superficial, que tras el cambio de jumpers de los sensores de MikroE, probaron no ser ideales para prototipado con las herramientas disponibles. Por este motivo se buscaron opciones baratas de *hole-through*, como el sensor ADS1015 de Adafruit (ver “Módulo ADC Adafruit ADS1015” de la sección de coste de materiales), que existía como producto en *rs-online* pero estaba fuera de existencias en aquel momento, y que fue finalmente el componente utilizado, soldando sus pines y verificando sus conexiones (ver Prueba de soldadura del ADC I2C correcta).

Las pruebas sobre este módulo confirmaron la reducción del ruido e interferencias entre sensores; sin embargo, dos incidencias ocurrieron durante la instalación: la primera fue que no daba las lecturas con valores similares a lo obtenido por el multímetro, que descubrimos se debió por error propio al no haber alimentado el módulo con el Vdd adecuado (fue alimentado accidentalmente a 3.3 V en vez de 5 V); mientras que la segunda fue que no todos los sensores de Ozono daban las mismas lecturas ni funcionaban igual de bien, puesto que se probó alternar el pin al que dos sensores estaban conectados y sus valores leídos en el ADC cambiaron acorde, indicando que no era un problema de lectura del módulo ADC I2C (Prueba ADC I2C II).

El cambio a un sensor I2C alimentado por 5 V supuso además ajustar el código y circuito para los nuevos valores y componentes, teniendo en cuenta que cuando todos los componentes del circuito estaban soldados el voltaje que recibían no era ya de 5 V, sino de algo más de 4 V, y que el ruido de los motores (específicamente, el DC) se podía colar e interferir con el sensor electroquímico de ozono (Prueba sensor ozono 2, y la Figura 19, de elaboración propia, donde se percibe la fase inicial de *warm-up* cuando los valores van subiendo de manera notable, y que cuando los servomotores empiezan a girar afectan las lecturas creando picos mientras están activos, con el motor DC causando además un desajuste durante los siguientes minutos), probablemente debidos a tener un gran número de sensores y componentes que necesitaran de gran corriente y voltaje y que se generase un acoplamiento de impedancia común adicional; por lo que se probó con baterías de 5 V conectadas solo a los sensores de ozono y el ADC I2C y a utilizar una entrada de mayor amperaje.

Sin embargo, antes de poder llegar a eso los sensores de ozono dejaron de funcionar adecuadamente. Tras una semana tratando de averiguar el por qué a veces los sensores dejaban de proporcionar valores correctos y sin embargo daban valores de corriente muy bajos (de 3856 mV a 300 mV), se sospechaba parte de ello se debía una mala alimentación, derivación o pin suelto con algún ruido, ya que una vez el pin GND dió un pequeño calambre; y que el sensor utilizado al ser el de bakelite negra de niveles bajos de concentración podía tener diferencias notables de un día para otro. Con respecto a dar resultados similares, se concluyó que una parte del problema se debía a la falta de precisión de las resistencias variables de tipo potenciómetro, por lo que el código fue ajustado para que en vez de emplear una RESL común ideal de 10.1 kΩ (la indicada en el *datasheet*) utilizase una RESL individual ajustada al valor de la resistencia variable máximo de cada sensor (10.63 kΩ para babor, 9.55 kΩ para estribor y 9.64 kΩ para la situada tras el filtro, según lecturas del multímetro), mientras que para reducir las derivaciones y hacerlo más fácil de entender, se pasó el prototipo a un formato de cables cortados cercanos a la *protoboard*.

También se decidió alterar un poco la lógica de conversión para añadir una fase de calibración, y en vez de comparar en un circuito ideal basado en el indicado en la hoja de datos, se probó a realizar una comparación entre la resistencia leída y la resistencia obtenida tras calibrar, siguiendo un modelo de calibración-lectura visto en las bibliotecas de Arduino MQ131_gas_sensor-1.5.2 (Staquet, 2021), lo cual aunque haría las lecturas dependientes de iniciar la calibración en un entorno controlado y alargaría el tiempo requerido para iniciar el viaje del dispositivo, al menos ayudaría a resolver el problema de variaciones de concentración y problemas de voltaje. Este modelo se probó posteriormente y se confirmó en la práctica que la estabilización de variaciones entre lecturas durante la calibración podía llevar su tiempo, pero al menos mantiene los valores de lectura estables y razonables, aunque con ligeros picos esporádicos debidos a problemas y naturaleza de los sensores electroquímicos y la *protoboard*.

Para reducir el error aún más, se procedió a una calibración manual adicional de potenciómetros para igualar sus valores al máximo (Prueba sensor ozono 3 y Prueba sensor ozono 4). Por entonces, y debido a como se iba saltando del progreso de un hito a otro y que para calibrar correctamente los sensores se debía realizar la calibración con el mayor número de componentes activos, el módulo GSM también estaba instalado y descubrimos que el SIM800H introducía ruido que causaba problemas a dichos sensores; por lo que para esta calibración manual en particular, se desconectó temporalmente dicho módulo GSM antes de calibrar los potenciómetros (Prueba sensor ozono 5). Una vez se completó esta calibración adicional, se realizó una prueba con un generador de ozono en la que se vio que estos sensores, aunque efectivamente podían detectar las subidas de ozono, no eran muy buenos como sistemas de aviso por los problemas que reducían su sensibilidad tras un tiempo (Prueba sensor ozono 6), aunque afortunadamente para el sistema de navegación lo que importa es la diferencia entre valores, que sí se registraba (como se ve en la Figura 20 de elaboración propia, donde la calibración de lecturas se completó en 12:42:32 (dejando a propósito el sensor de ozono tras filtro con valores de lectura algo más elevados), se activó el generador de ozono en 12:50:10, y se arrimó el generador a los sensores en 12:53:12., donde el sensor de ozono de estribor era el más cercano al generador de ozono).

Proyecto Aspiradora de Ozono

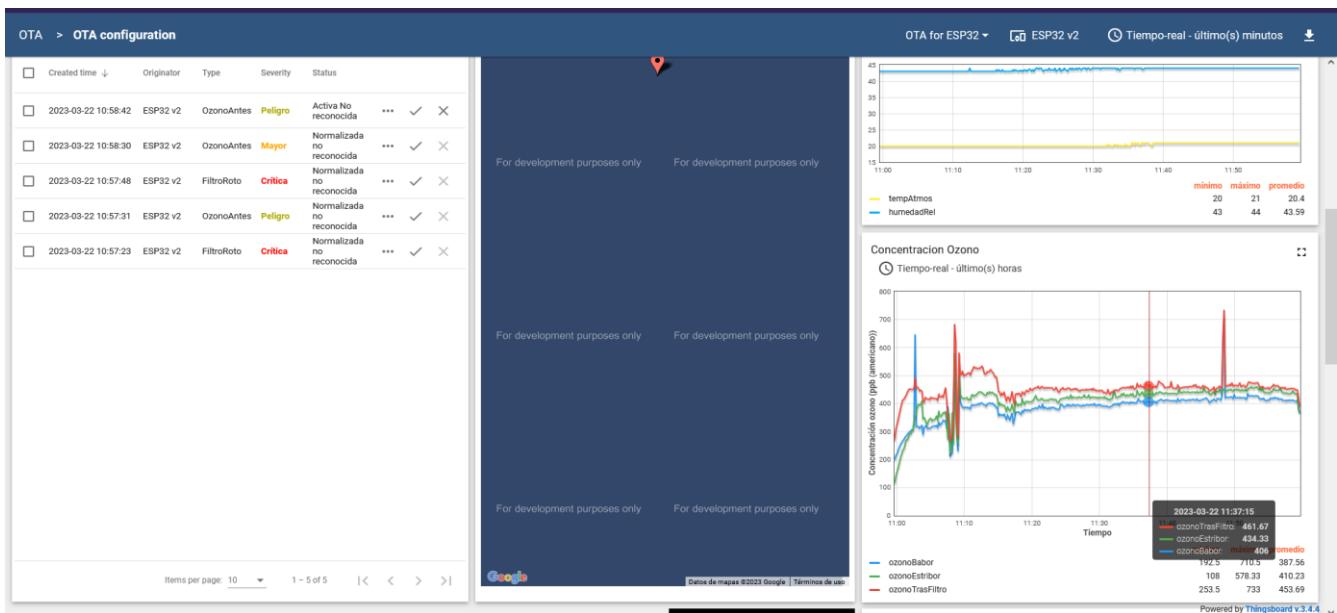


Figura 19: Lecturas ozono de 1 h cuando servos, motor y sensores O₃ compartían alimentación.

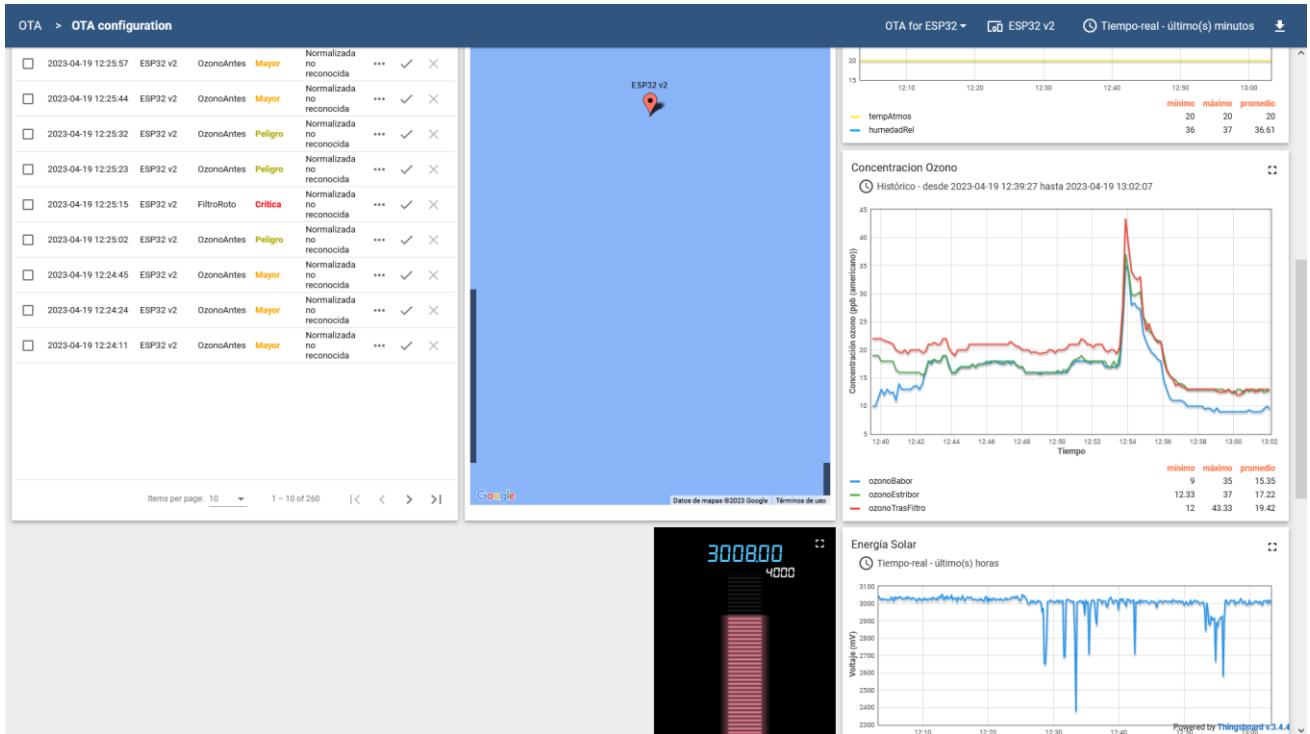


Figura 20: Lecturas ozono en *Thingsboard* durante la prueba de sensores de ozono número 6.

4.3 GPS y GSM

Una vez se verificó el funcionamiento inicial de los ADC de los sensores, el tercer hito en el que se comenzó a trabajar fue el sensor GPS de posicionamiento, que, como fue mencionado anteriormente, utilizaba el módulo UART como emisor y receptor de información. Para comunicarse con el periférico GPS inicialmente se eligió el módulo UAR0 con el pin RX 2 (uno de los dos pines que no estaba ocupado por aquel entonces con la comunicación entre la ESP-32 y el ordenador de pruebas), que en la ESP-32 es el pin GPIO 5, y para ayudar con

la implementación se importó inicialmente la biblioteca `nmea_parser.h`, de código abierto y bajo licencia Apache 2.0 (como se ve en la Figura 23, captura de elaboración propia).

Al realizar las pruebas, se vio que se iniciaba correctamente el NMEA *parser*, pero el GPS se quedaba buscando satélites incluso en exteriores. Esto se debe a la necesidad de descargarse la información de las Efemérides, que puede llevar hasta 15 minutos. Esta información se guarda en la memoria no volátil normalmente, pero según el manual de uso del módulo Pmod (módulo visible en la Figura 21, (RS-online, 2023)), en este caso parte de esa información ya debe de almacenarse en una memoria no volátil porque dice tardar bastante menos en conectar (Diligent, 2016). Por recomendación del manual de uso de dicho componente, se recomendaba tener una pila recargable de botón instalada de tipo BR1225 / CR1220 en el módulo para permitir un *warm-start* y reducir el tiempo de sincronización. Sin embargo, el uso de una batería de botón para el GPS, aunque agilizaría la carga del sistema, no solo añadiría peso que haría los movimientos más torpes (aunque fuese prácticamente unos pocos gramos) pero requeriría que en modelo final se sugiese la normativa para tratamiento de residuos de pilas para otro componente adicional, lo cual prácticamente compensaría cualquier beneficio que pudiera dar.

Posteriormente aparecieron problemas con la conectividad del GPS una vez se conectaba (Pruebas de conectividad del GPS (primer fallo)); aunque en pruebas individuales de un solo mensaje el sistema programado por eventos de los ejemplos del *Espressif* con el *parser* de nmea podía captar resultados, no siempre los obtenía y al añadir más componentes ni siquiera los tomaba. Fue por ello que se pidió ayuda de otros compañeros que habían trabajado con el mismo módulo anteriormente, ofreciendo un programa de código abierto (Ver Anexo I, Link de repositorio de compañeros con mismo módulo GPS), que luego fue modificado junto a una sección del `nmea_parser` para que realizara la misma tarea que la suya pero utilizara nuestro *parser*— para ello se tuvo que declarar en el *header* el struct `esp_gps` y la función `gps_decode`. Sin embargo el sistema por eventos seguía sin captar la información de forma adecuada (a veces perdía el evento) y tratar de usar su tarea de lectura de UART con el *parser* de nmea tampoco arrojó nada; mientras que la versión original de su programa de lectura más activa para nuestro módulo y bibliotecas minmea disponibles en concreto (ver Anexo I, Repositorio de minmea) leía las líneas siempre, pero muchas veces de forma parcialmente corrupta, por lo que finalmente se decidió aplicar su versión de la tarea con una alteración de su *parser* de minmea, con aspectos de inicialización del `nmea_parser` que arrojaban lecturas limpias, de tal forma que en la versión final este sí daba resultados sin tener que ser modificado significativamente, a costa de un ligero aumento de coste energético y computacional (ver Anexo III, Pruebas de conectividad del GPS (éxito conexión UART)).

Posteriormente pudo ser probado de forma incremental (ver sección 4.8), pero más tarde se volvió a este hito para tratar de reducir el número de pines; pero se observó que la utilización del pin de U0RXD impedía la carga de programas por UART y monitorización de mensajes por terminal, algo vital durante el desarrollo y comprobación de resultados. Finalmente se decidió emplear como potencial medida de seguridad para evitar una carga directa, sin definir el pin TX a un pin de UART 0 y recurriendo a una página web básica con un botón de reinicio que llamaría a la OTA si fuera necesario (según lo visto en

4.4 IoT).

También se estudió el uso del GSM para comunicaciones, según el hito correspondiente. Se consideró que no tiene ningún sentido tener que realizar una actualización de SW mientras está en vuelo, ya que eso podría suponer perder el control del sistema, por lo que en ese aspecto la OTA (que por entonces ya estaba programada y se probó funcional en la sección respectiva de IoT) no se vio modificada. Sin embargo, sí es importante poder comunicar la información de vuelo a la base, por lo que dos diferentes alternativas de comunicación fueron propuestas: la primera consistía en conectarse directamente al *Thingsboard* mediante GSM por protocolo HTTP/HTTPS u otros protocolos relativamente avanzados, mientras que la segunda tendría una ESP-32 intermediaria que recibiera los mensajes GSM SMS básicos (que todos los módulos de transmisión GSM soportan) del aspirador y tras parsearlos los pasara al *Thingsboard* mediante Wi-Fi. La segunda, aunque

más aparatoso podría ayudar en caso de que la primera opción no fuese posible por protocolos, restricciones de seguridad o prestaciones no disponibles en nuestra versión de la plataforma (*Thingsboard Demo*) que requiriesen de una actualización a la versión de pago, con mayores sobrecostes. Tras una investigación se comprobó que al menos algunos modelos de la SIM800 propuesta son capaces de realizar comunicación SMS mediante Arduino a plataformas HTTP (How To Electronics, 2020), y por ende podría ser posible comunicarse a una plataforma con protocolo MQTT como la que *Thingsboard* soporta, sin tener que pasar a la versión Profesional o Cloud de pago de la plataforma IoT.

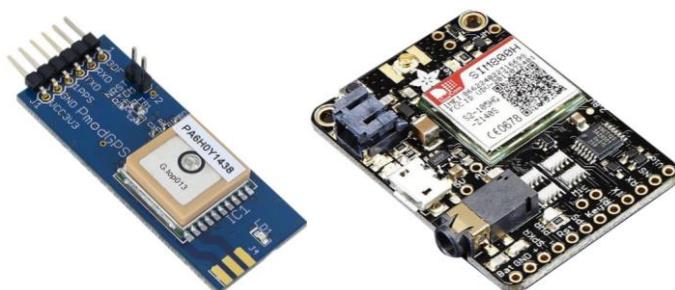
Para ello fue pedido un módulo SIM800H FONA (visible en la Figura 22 , (RS-online, 2023)) que fue instalado en la *protoboard* para realizar pruebas. Para comunicarse con el periférico SIM800H y su GSM se estudió el manual del SIM800H/L y su sección de comandos (lady ada, 2016), así como un manual de comandos genérico de los módulos SIM800 (SIM Com, 2013).

En las pruebas iniciales se verificó que el módulo efectivamente se encendía e iba buscando redes disponibles (ver Pruebas SIM800H I), pero no parecía avanzar más, así que inició una prueba de depuración de las instrucciones del sistema, modificando ligeramente el rx_task para que devolviese las tramas recibidas de cualquier tipo y además conectara temporalmente nuestro TX de la GSM.

En la primera prueba se observó una posible errata en la que se introdujo el comando AT sin estar seguido de “\r\n” (la combinación de caracteres que, en ese orden, indica al GSM que se ha terminado de enviar el mensaje), por lo que el GSM se hubiera quedado esperando, lo cual ya se corrigió en Pruebas SIM800H II, en el que respondía y arrojaba OK.

Una vez funcionó lo anterior se realizó la prueba de señales (Pruebas SIM800H III), la cual devolvió el código +CSQ: 26,0 junto al OK, lo que significaba que el indicador de fuerza de la señal recibida era de “-110 a -54 dBm”, por lo que había señales de excelente a baja cobertura, pero sin problemas para establecer llamadas, e índice Rxqual 0, “la mejor calidad”; según el manual de comandos (SIMCom, 2013),

Tras eso, se probó la conectividad de la SIM (puesto que las comunicaciones móviles requieren de una tarjeta SIM), para lo cual el módulo pedía la CCID de ésta y su estado de registro por comandos. Esto arrojaba su CCID específica, demostrando que estaba correctamente conectado al módulo, pero también iba indicando que no estaba registrado a ninguna red. Una vez fue registrada a Lowi, se sufrió otra incidencia de alimentación (cuando aún se estaba probando cuáles módulos podían funcionar con la misma batería), en el que había variaciones de voltaje que causaban que el SIM800H se pudiera apagar por sobrevoltaje o posible falta de amperaje, lo que se concluyó era debido a la falta de una batería idónea que permitiera al módulo enviar mensajes, ya que al transmitir estos módulos suelen requerir bastante más energía y los 5 V de la placa ESP-32 podían no ser suficientes teniendo en cuenta que esa entrada de alimentación estaría compartida por múltiples módulos que también requerirían gran parte de dicho voltaje y su respectivo amperaje. Esta hipótesis efectivamente fue demostrada en Pruebas SIM800H IV, cuando al introducirse una batería recomendada de 3.7 V y 2.4 Ah en el puerto auxiliar JTAG del GSM el problema del apagado y CCID desapareció; y es por ello por lo que, a diferencia de la pila de botón del módulo GPS, esta batería se decidió incluir en la versión final (ver “Batería auxiliar para módulo SIM800H, LiPo 3.7V 2400 mAh” en lista de materiales) a costa de un mayor peso y tener que asegurarse que cumpla las normativas de baterías de polímero de litio.



```

main.c      C nmea_parser.h X  sdkconfig      Kconfig.projbuild
main > C nmea_parser.h > ...
1 // Copyright 2015-2018 Espressif Systems (Shanghai) PTE LTD
2 //
3 // Licensed under the Apache License, Version 2.0 (the "License");
4 // you may not use this file except in compliance with the License.
5 // You may obtain a copy of the License at
6 //
7 //     http://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0
8 //
9 // Unless required by applicable law or agreed to in writing, software
10 // distributed under the License is distributed on an "AS IS" BASIS,
11 // WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied.
12 // See the License for the specific language governing permissions and
13 // limitations under the License.

```

Figuras 21, 22 y 23: Módulos Diligent Pmod GPS y SIM800H, y licencia de nmea_parser.h.

Sin embargo, al tratar de enviar un mensaje SMS saltó una respuesta ERROR sin indicar su naturaleza, se supuso que era de la configuración del prefijo, lo cual no afectaría a la conexión a internet; y poder conectar a Vodafone y obtener una IP diferente cada vez que se pedía una corroboraba esto. Por ello se pasó a la siguiente fase de interacción con la interfaz HTTP/HTTPS de *Thingsboard* para ejecutar el comando equivalente en *Espressif*, aunque tratar de mandar POST mediante HTTP a través de GSM al *Thingsboard* lanzaba un error 601 de error de red. Ejecutar el comando HTTPSSL reveló la causa: el SIM800 no soporta el SSL adecuadamente, por lo que se procedió a utilizar HTTP, aunque también resultó infructuoso, y tras Pruebas SIM800H V, después de hacer un simple GET a una página HTTP, se concluyó que existía un error subyacente.

Tras una hora de investigación, se descubrió que la raíz del problema se debía a que dependiendo de la plataforma el método para enviar los datos requería utilizar un modelo CIPSTART +CIPSEND POST o bien un modelo SAPBR (FTP) para luego realizar un HTTP estructurado. Una vez se empleó este último método, el módulo ya fue capaz de enviar datos de prueba al *Thingsboard*, por separado y finalmente en conjunto (Pruebas SIM800H VI y Pruebas SIM800H VII) emitiendo instrucciones similares a las curl de la barra de comandos visibles en la siguiente figura:

```

Connection #0 to host demo.thingsboard.io left intact
C:\Users\androxcr1>curl -v --ssl-no-revoke -X POST -d "{\"tempAtmos\": 134}" "https://demo.thingsboard.io/api/v1/YSRNEFD0xyIG
Note: Unnecessary use of -X Or --request, POST is already inferred.
Note: Unnecessary use of -H Or --header, Content-Type is already inferred.
* Connected to demo.thingsboard.io (104.196.24.78) port 443 (#0)
* ALPN: offers http/1.1
* ALPN: server accepted http/1.1
* SSL: TLS 1.3 (quic)
* SSL: certificate OK
* SSL: cipher: TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_128_GCM_SHA256
* SSL: session_id: 0
* SSL: content_length: 18
* SSL: content_type: application/json
* SSL: date: Wed, 26 Apr 2023 11:49:22 GMT
* Connection #0 to host demo.thingsboard.io left intact
C:\Users\androxcr1>curl -v --ssl-no-revoke -X POST -d "{\"twinklmos\": 14}" "http://demo.thingsboard.io/api/v1/YSRNEFD0xyIG
Note: Unnecessary use of -X Or --request, POST is already inferred.
Note: Unnecessary use of -H Or --header, Content-Type is already inferred.
* Connected to demo.thingsboard.io (104.196.24.78) port 80 (#0)
* POST /api/v1/YSRNEFD0xyIG/telemetry HTTP/1.1
* Host: demo.thingsboard.io
* User-Agent: curl/8.0.1
* Accept: */*
* Content-Type: application/json
* Content-Length: 17
* HTTP/1.1 200
* content-length: 0
* date: Wed, 26 Apr 2023 11:50:01 GMT
* Connection #0 to host demo.thingsboard.io left intact
C:\Users\androxcr1>curl -v POST -d "{\"tempAtmos\": 54}" "http://demo.thingsboard.io/api/v1/YSRNEFD0xyIG/telemetry"
* header "Content-Type:application/json"
* Content-Type:application/json
* Closing connection 0
curl: (6) Could not resolve host: POST
* trying 104.196.24.78...
* Connected to demo.thingsboard.io (104.196.24.78) port 80 (#1)
* POST /api/v1/YSRNEFD0xyIG/telemetry HTTP/1.1
* Host: demo.thingsboard.io
* User-Agent: curl/8.0.1
* Accept: */*
* Content-Type:application/json
* Content-Length: 17
* HTTP/1.1 200
* content-length: 0
* date: Wed, 26 Apr 2023 11:50:45 GMT
* Connection #0 to host demo.thingsboard.io left intact

```

Figura 24: Instrucciones mediante curl que permiten enviar telemetría.

Más tarde se vió que el SIM800H también soporta comunicación GPS, y fueron investigadas las diferencias entre el módulo GPS específico y el SIM800H. El SIM800 tiene un comando “AT+CIPGSMLOC=1,<cid>” que permite a través de la red móvil obtener la longitud, latitud, tiempo y fecha. Sin embargo, este método no aporta la altura (aunque se podría suplir con un servicio de página web de GPS), y más importante, depende de la conexión de red móvil, lo que hace que en caso de un fallo en la red (lo cual sucede en muchas zonas rurales recónditas, como las Hoces del Duratón, en Segovia) el sistema pierda su georeferencia, y además

supone un coste para la SIM con cada petición. Estos motivos supusieron que al final se optase por mantener el dispositivo de GPS, aunque en la producción a gran escala se requiera de otro módulo, ya que el utilizado se había dejado de producir (Diligent, 2023).

4.4 IoT

La plataforma IoT utilizada para el control del firmware fue *Thingsboard*, inicialmente por la familiaridad del equipo con la plataforma, ya ya posteriormente porque ninguno de los demás hitos afectó esta decisión ya que esta plataforma IoT poseía las funcionalidades requeridas para cubrir los requisitos relacionados.

Allá fueron establecidos un conjunto de reglas iniciales para alarmas que se irían desarrollando posteriormente y se comunicarían con un servicio de *Telegram* unidireccionalmente (por motivos de los casos de uso), a su vez que se transmitieran los datos, todo ello por módulo *Wi-Fi* inicialmente. Como algunos componentes aún no habían llegado (y para algunos de ellos se requería de una gran precisión del control motriz que el autor carecía) se procedió a probar esta plataforma durante las primeras semanas, y efectivamente se comprobó que la ESP-32 compartía la información que recibía con *Thingsboard* a través de su panel (ver Pruebas del *Thingsboard* (sin sensores de GPS ni de ozono realmente conectados)).

Como ya se mencionó, las alarmas se fueron especificando posteriormente mediante una cadena de reglas (con la versión final visible en la figura 28, una captura de elaboración propia) que enviaban alertas a la *dashboard* y al bot de *Telegram* cuando había más de 50 ppms en los filtros, 100 ppm causarían una alerta crítica, mientras que detectar un nivel de ozono tras los filtros similar al del exterior enviaría una alerta de filtro roto. Además, se añadió una alerta menor por área nublada, ya que el sistema final utiliza una placa solar como suplemento a sus baterías (ver Prueba IoT Alarmas II). Se pueden ver dichas alertas informativas de nivel solar bajo y alerta de nivel roto en un móvil en las figuras 26 y 27, de elaboración propia. A medida que se progresaba en el proyecto y conectando los Sensores al ADC I2C, también se fue modificando el formato de posición de los widgets, como se puede ver junto a las alertas en la figura 29, de elaboración propia.

También se utilizó para ayudar a detectar erratas en la lógica de lecturas del programa, como en la fórmula de corrección de niveles de ozono, en la que no se puso el voltaje de referencia en mV y faltaba un símbolo menos; así como para verificar funcionamiento de diversos módulos, entre ellos el GPS, el panel solar y su ADC, la posición de los servomotores, los sensores Sensirión y los sensores de ozono (como se pudo ver en imágenes anteriores, así como en la figura 25, otra captura de elaboración propia, de cuando los sensores de O₃ y GPS aún no estaban conectados y se usaba el ADC interno del ESP32),

Una vez los módulos (excepto el SIM800H) fueron probados se decidió utilizar la OTA para cargar los programas por conexión *Wi-Fi* mediante la configuración recomendada en los tutoriales de la plataforma *Thingsboard* (*Thingsboard*, 2022), de tal forma que mediante un *reset* al conectarse a un servidor web propio de cada dispositivo, pidiese al *Thingsboard* una URL específica del *GitHub* del proyecto (ver Anexo I: “Enlace de la OTA usado para bajarse el firmware”), lo cual no supuso problema alguno, excepto por un extraño bug con el widget donde no se enviaba la versión del firmware y se debía reenviar cada vez, lo que resultó extraño puesto que no saltaba ninguna alarma del *Thingsboard* y el ota era un programa funcional que había recibido datos con anterioridad (Ver Anexo III “Prueba de OTA y Alarmas de *Thingsboard* sobre *Wi-Fi*”), como se ve en la Figura 30 . Finalmente se concluyó que ese error se debía a un problema temporal de compatibilidad con la propia plataforma.

4.4 IoT

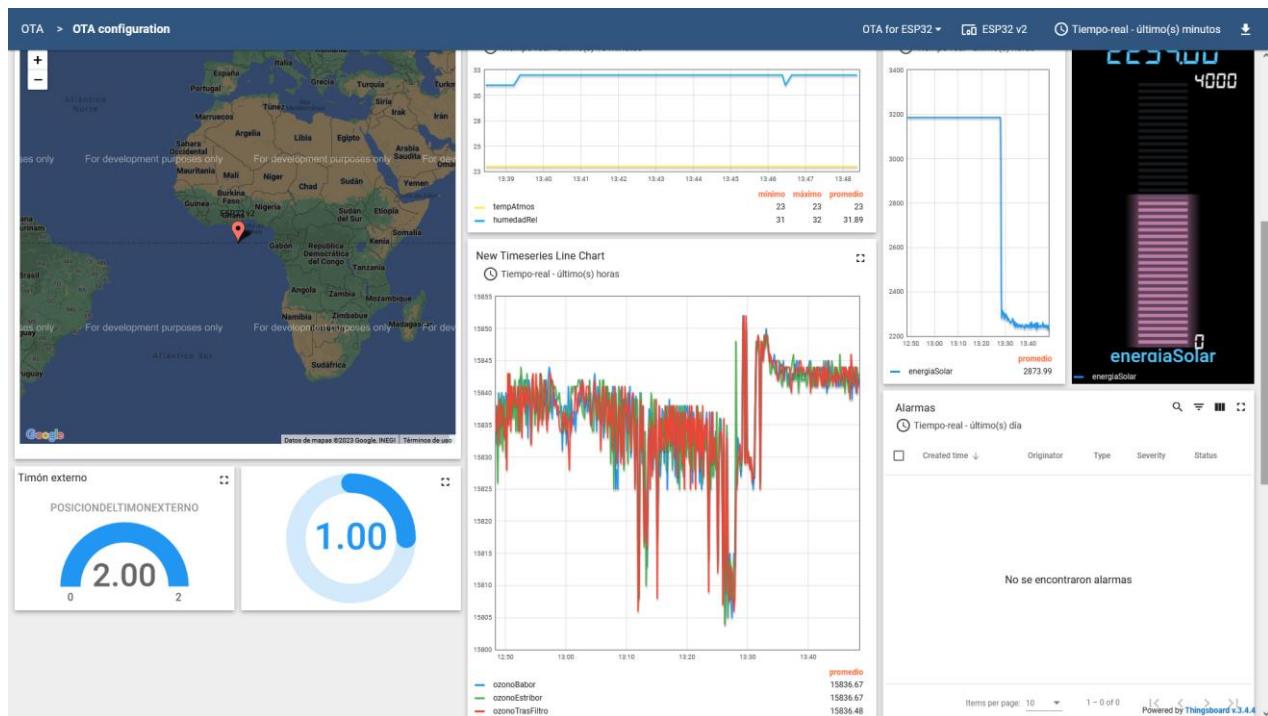


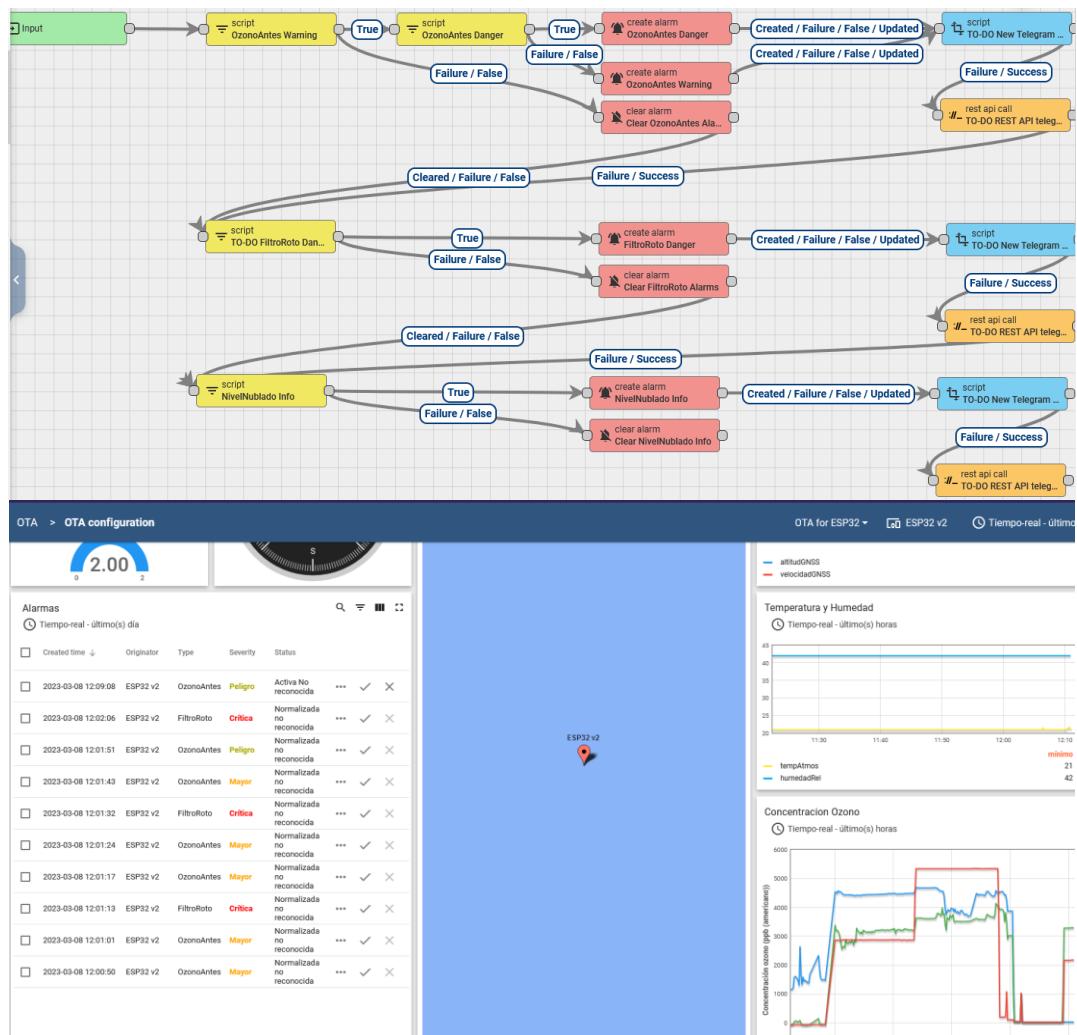
Figura 25: Otra captura del panel de *Thingsboard*.

Proyecto Aspiradora de Ozono



Figuras 26 y 27: Capturas de móvil recibiendo alertas

4.4 IoT



Figuras 28 y 29: Rule-chain de alertas *Thingsboard*; nuevo formato de widgets.

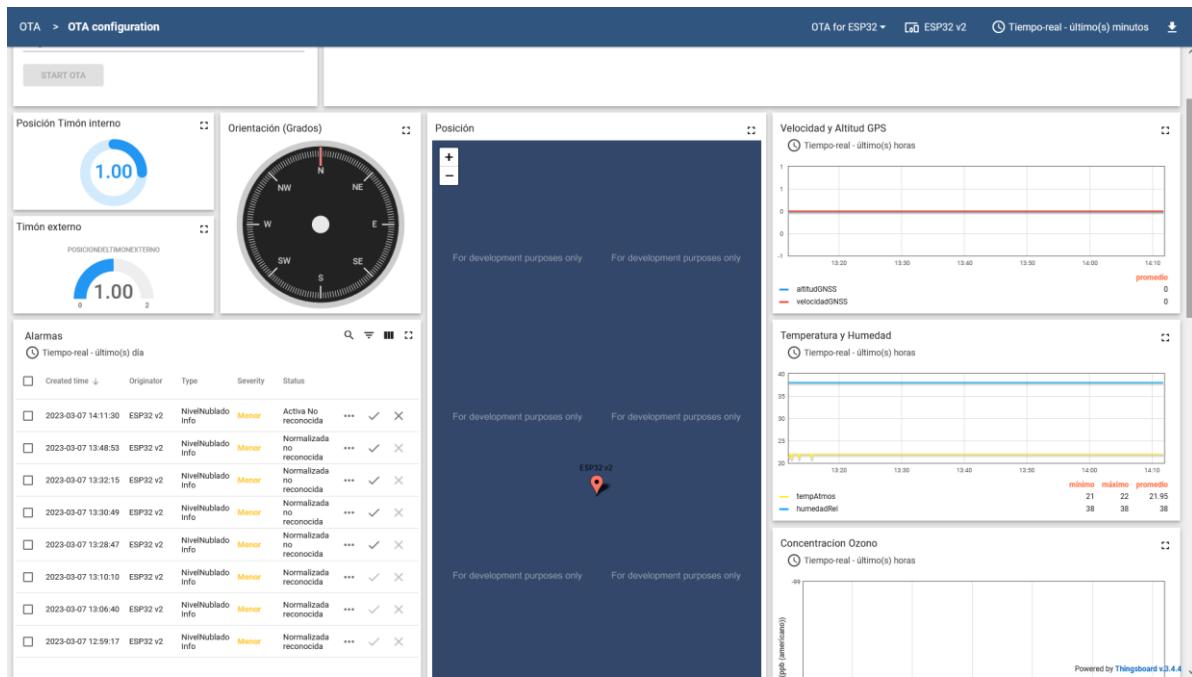


Figura 30: *Thingsboard* tras enviar firmware y número de versión

4.5. PCB

Mientras tanto, Kicad 7.0 fue instalado por motivos de compatibilidad con las bibliotecas de huellas esquemáticas y físicas del ESP-32 requeridas, no funcionales con la versión de dicho software hasta entonces disponible (5.1.10).

Abajo se indica una lista de imágenes (todas de elaboración propia) de la progresión del diseño esquemático a lo largo de la evolución del proyecto con la metodología de prototipos, indicándose en cada imagen la fecha y los cambios realizados (explicados en secciones posteriores), hasta llegar al diseño definitivo. Cabe destacar la última imagen de esta lista, donde se pueden observar el reemplazo del simulacro de ESP32 por huella de librería (gracias a Iván Coca), la eliminación de pines de alimentación innecesarios y la indicación del espacio del puente H.

La estructura eléctrica fue basada en la del proyecto padre GhiFi inicial, del que se obtuvieron los valores de resistencias de *pull-up* I2C necesarias de $4.7\text{ k}\Omega$ (recomendadas para los sensores de temperatura y humedad Sensirion, que fueron utilizados más tarde (Sensirion, 2022)) y del valor mínimo del condensador para permitir una carga de baterías sin producirse cortes en la alimentación: $125\text{ }\mu\text{F}$ (*tras consultar el manual técnico y el datasheet del ESP-32, se calculó suponiendo que a los 100 ms se desearía que el voltaje estuviera por encima del mínimo de 1.8 V y 0.5 A (Espressif, 2022), en aquel caso 2 V y 0.5 A*” (Carrasco, Parla, Riñón, & Serrano, upm365.sharepoint.com, 2022)), aunque para el PFG fueron utilizados $220\text{ }\mu\text{F}$ por conveniencia.

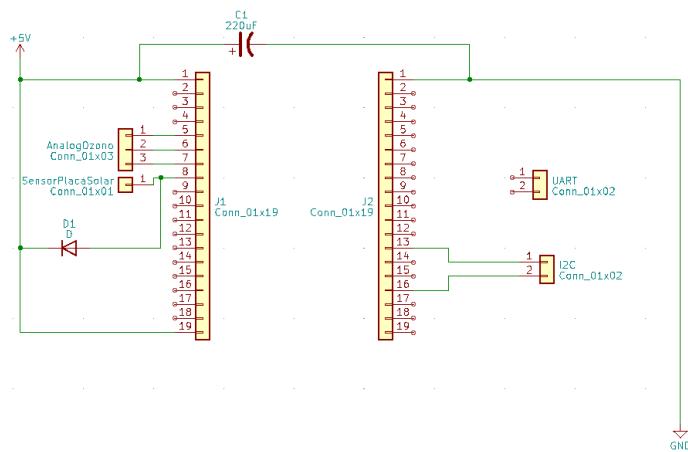


Figura 31: Esquemático incompleto inicial de la circuitería.

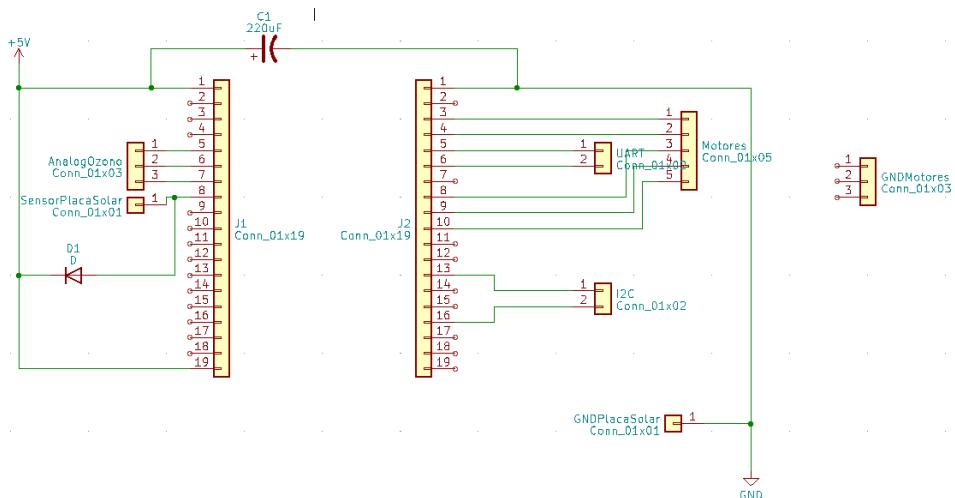


Figura 32: Esquemático incompleto de la circuitería, 15 Febrero 2023.

4.5 PCB

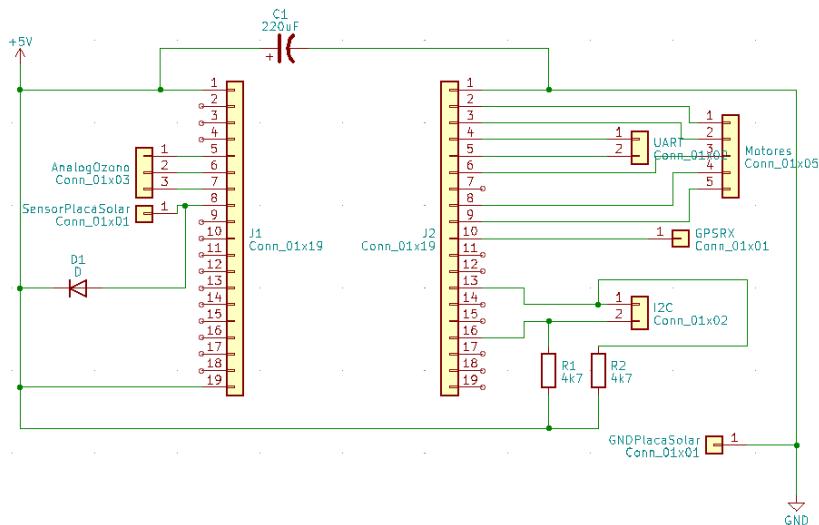


Figura 33: Esquemático incluyendo resistencias I2C de pull-up 4k7, 22 Febrero 2023.

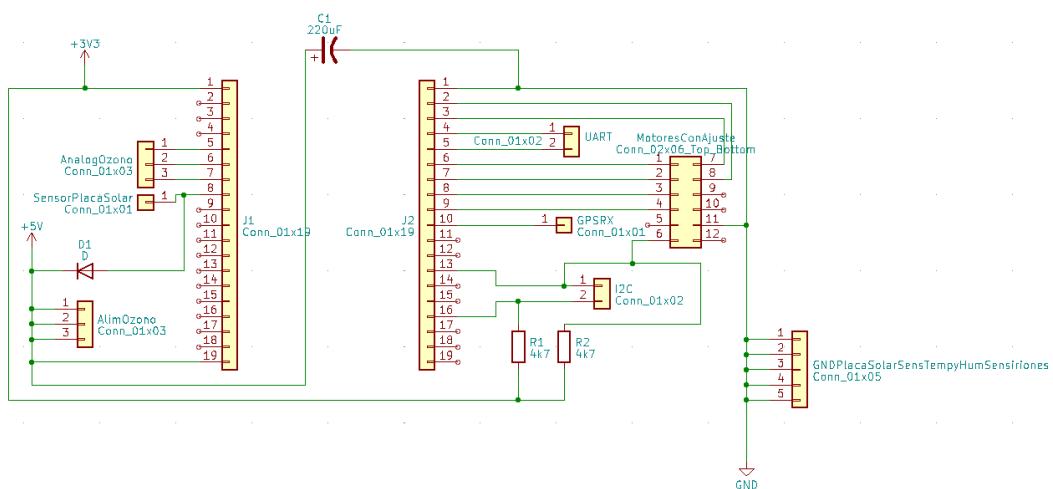


Figura 34: Esq. inclusión de pines de alimentación para sensores y actuadores, 1 Marzo 2023.

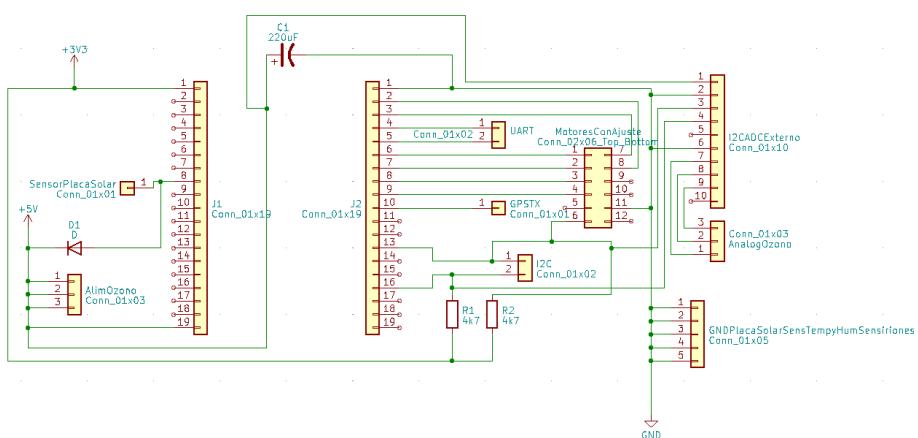


Figura 35: Esq. reemplazo de 75% de pines ADC por I2C ADC, y cambio de pin GPS RX a TX, 8 Marzo 2023.

Proyecto Aspiradora de Ozono

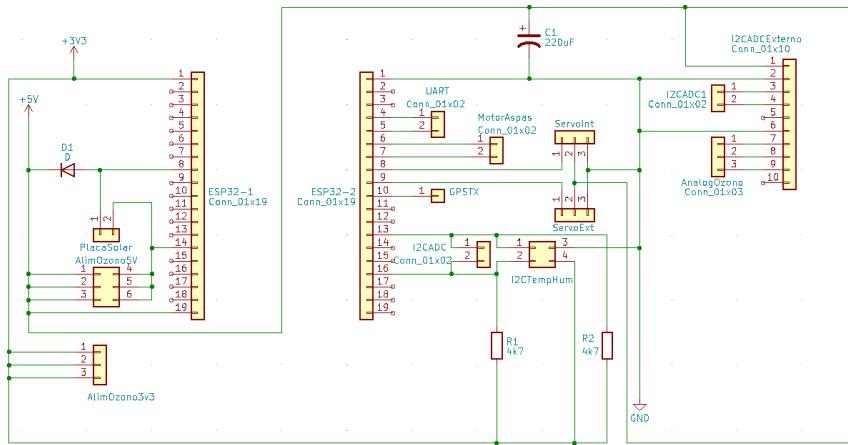


Figura 36: Esq. reemplazo pines de motores DC de babor/estribor por servos, 9 Marzo 2023.

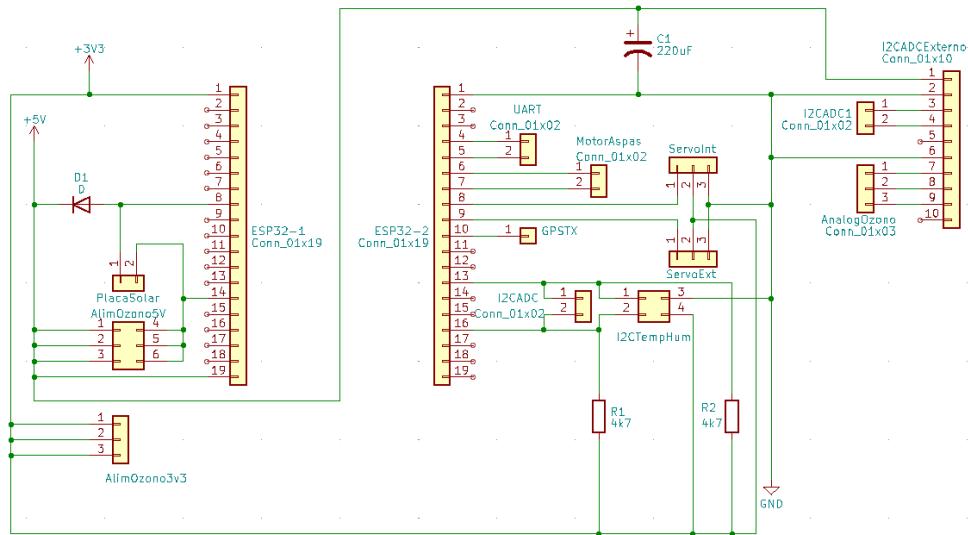


Figura 37: Esquemático 14 Marzo 2023, pasamos el voltaje de los servomotores temporalmente a 3v3.

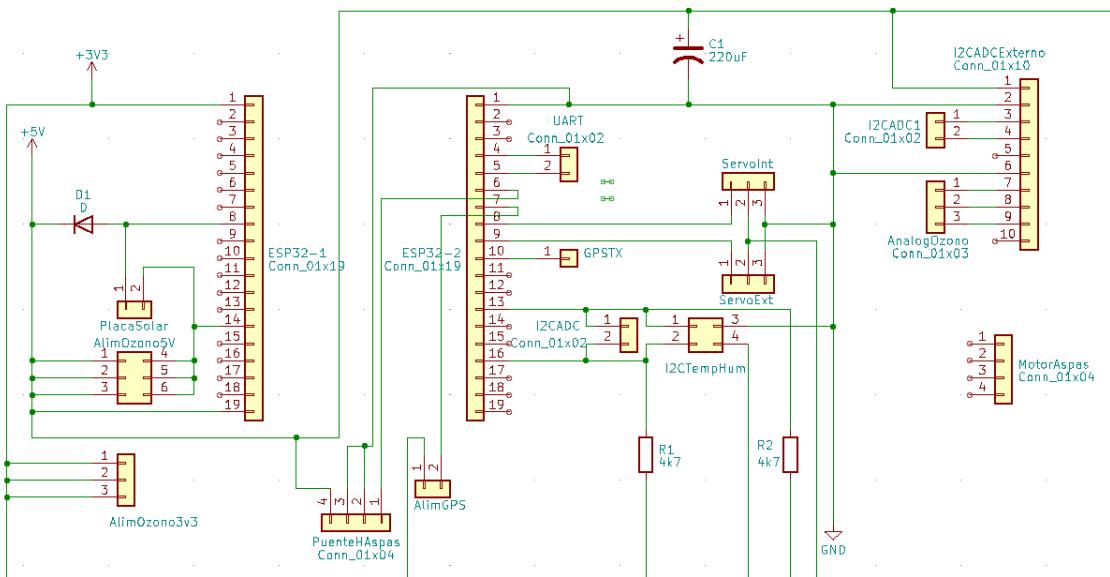


Figura 38: Esq. 15 Marzo 2023, inclusión puente H y alimentación del GPS separada.

4.5 PCB

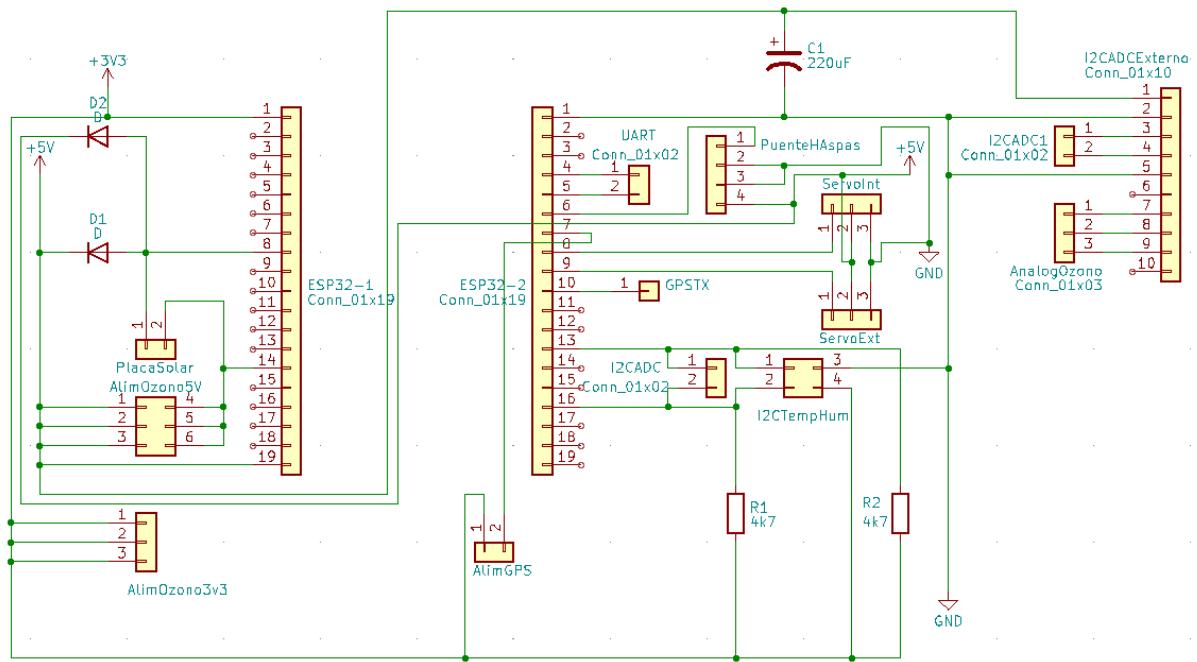


Figura 39: Esq. 22 Marzo 2023, separación alim. motores y servos, corrección ADDR de ADC externo.

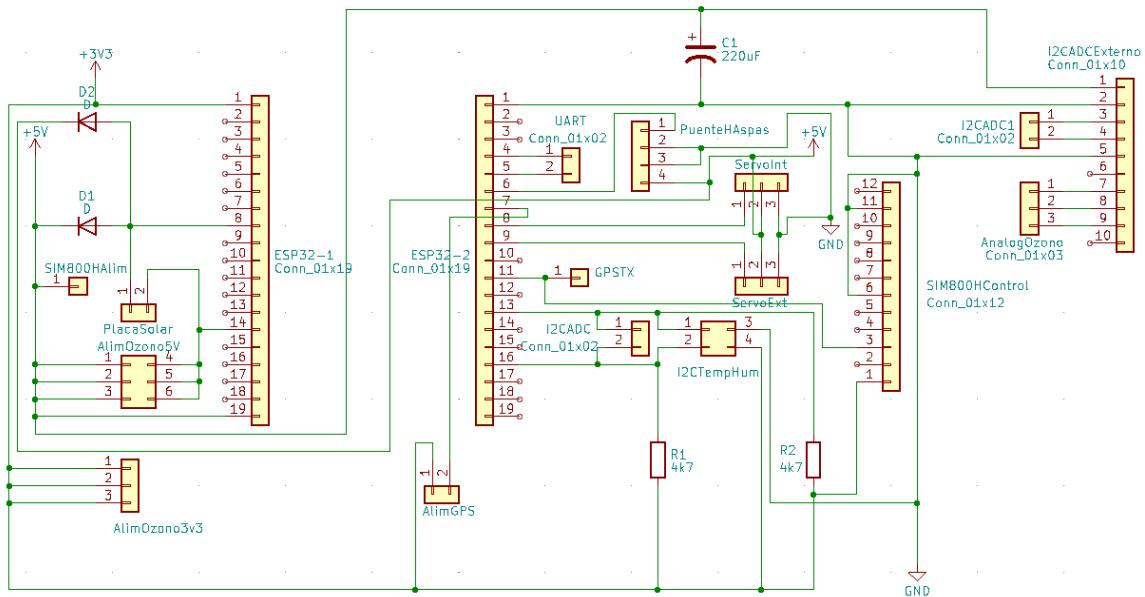


Figura 40: Esq. 18 Abril 2023, incorporación de pines necesarios para la SIM800H.

Proyecto Aspiradora de Ozono

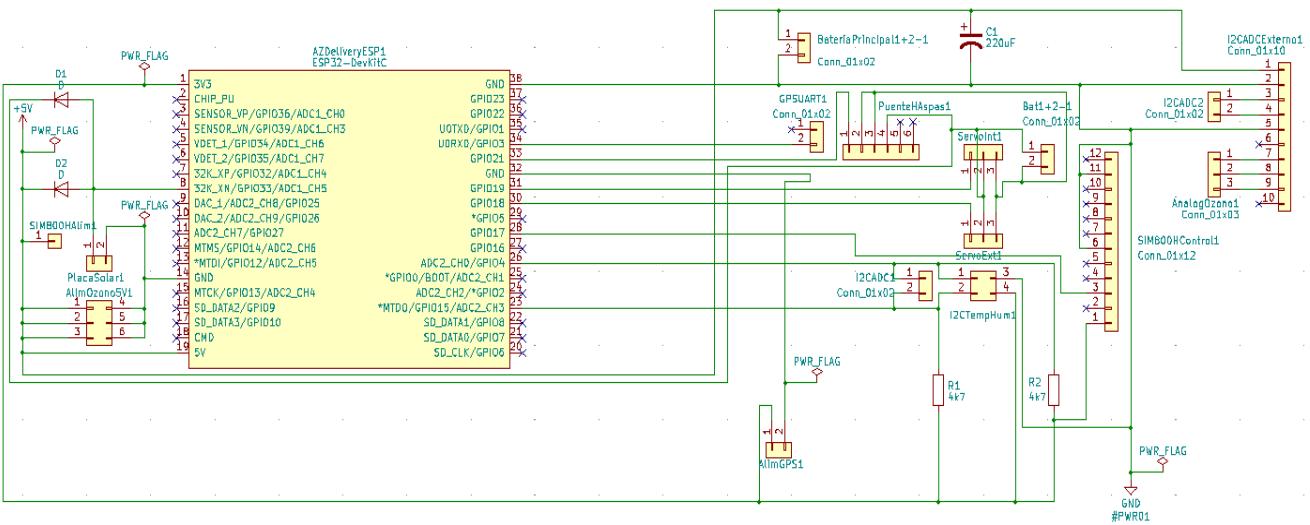


Figura 41: Esquemático terminado, 4 Mayo 2023.

Tras el refinamiento del nivel esquemático y comprobación del funcionamiento de los módulos, el PCB a nivel físico comenzó su diseño el 8 de Mayo de 2023, utilizando la herramienta de PCB del Kicad 7.0, que tenía disponible la huella del ESP32-C2-Kit usado. Las configuraciones del ancho de pista y vía fueron ajustadas a las indicadas que podía soportar el sistema de impresión de la placa, según los resultados dados por la herramienta de cálculo integrada en Kicad para el grosor mínimo de pista, tomando parámetros de variación de temperatura de 40 grados y alimentación de corriente de 2.0 A, y visibles en la figura 42 de elaboración propia; o por recomendaciones de proyectos anteriores impresos manualmente en la Universidad para mayor seguridad durante la impresión, como se ve en la figura 43. Asimismo, inicialmente fue decidido que *Signal* y *Power* tuvieran el mismo grosor (como se aprecia en la figura 44, de elaboración propia), debido al gran grosor que requería para nuestra impresión manual. También se restringieron las dimensiones tentativamente a una placa de 6.0x6.0 cm. Nótese que, por simplicidad, se utilizaron pinos en vez de zócalos, ya que en la PCB el agujero es el mismo. Solo si se tuviera que pedir la placa enteramente soldada a un tercero se tendría que alterar en acorde.

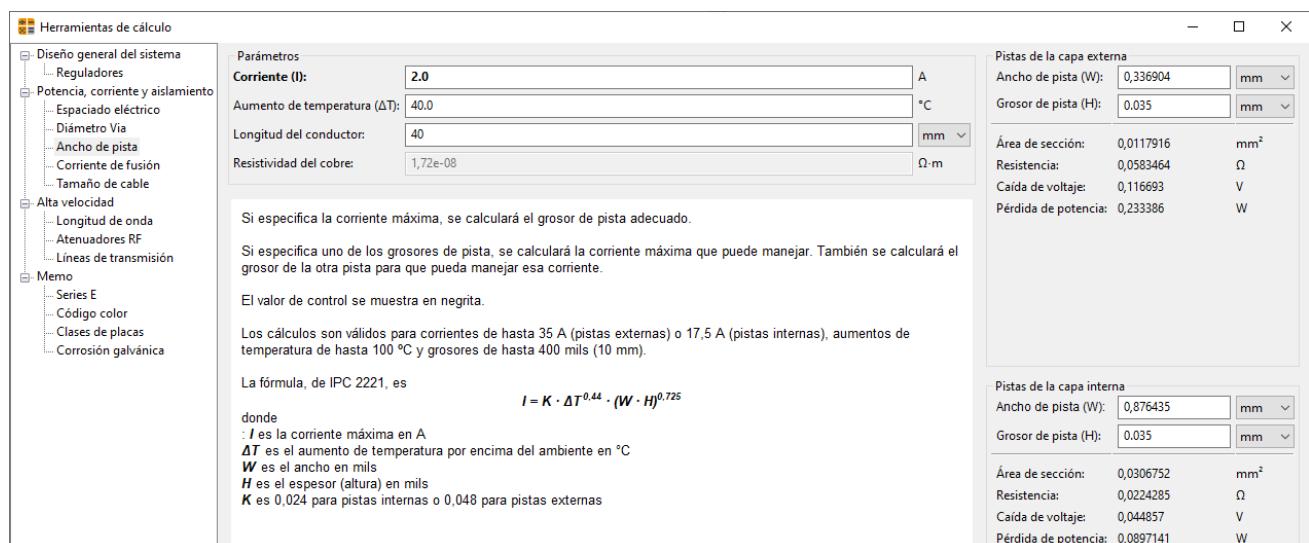


Figura 42: Captura de pantalla de la calculadora de KiCad 7.0.

4.5 PCB

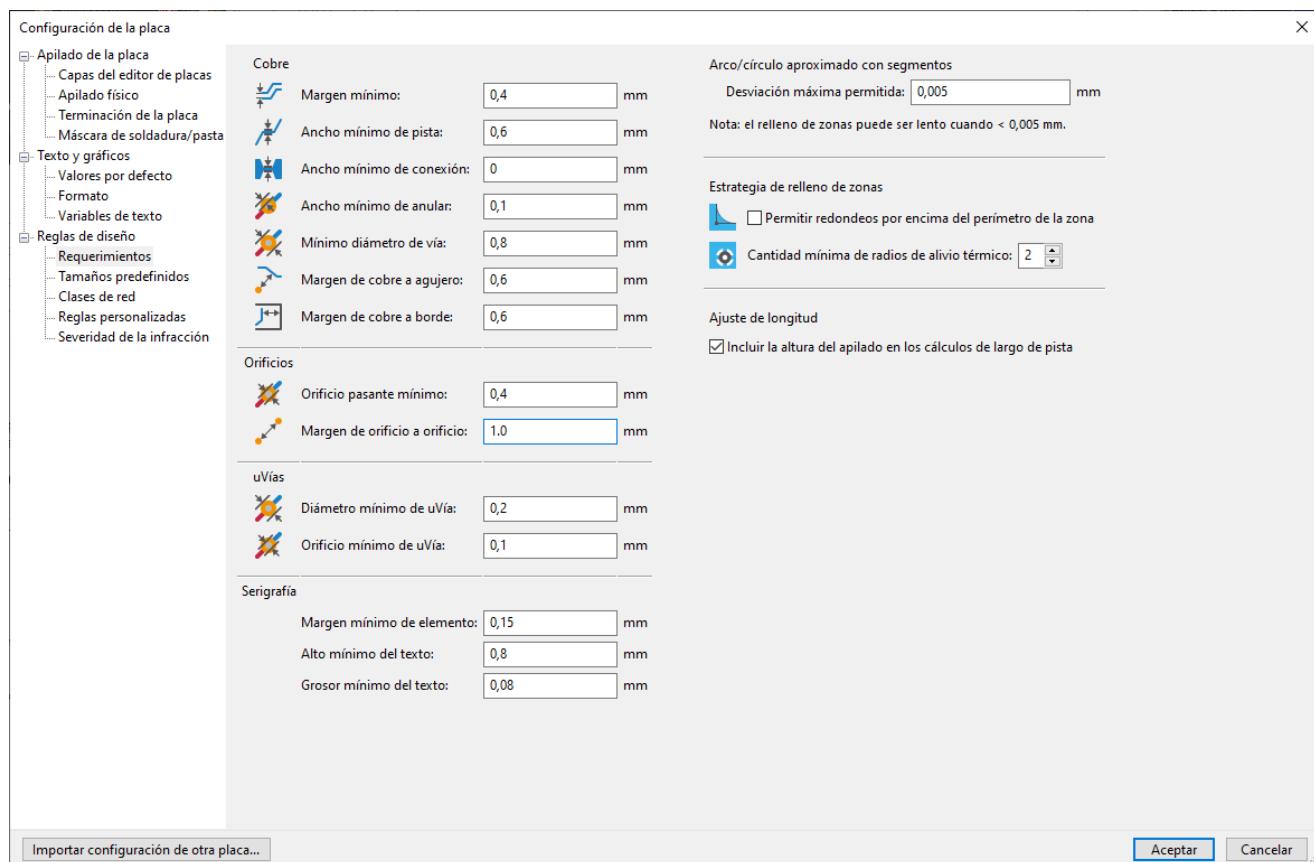


Figura 43: Captura de los requerimientos PCB ajustados.

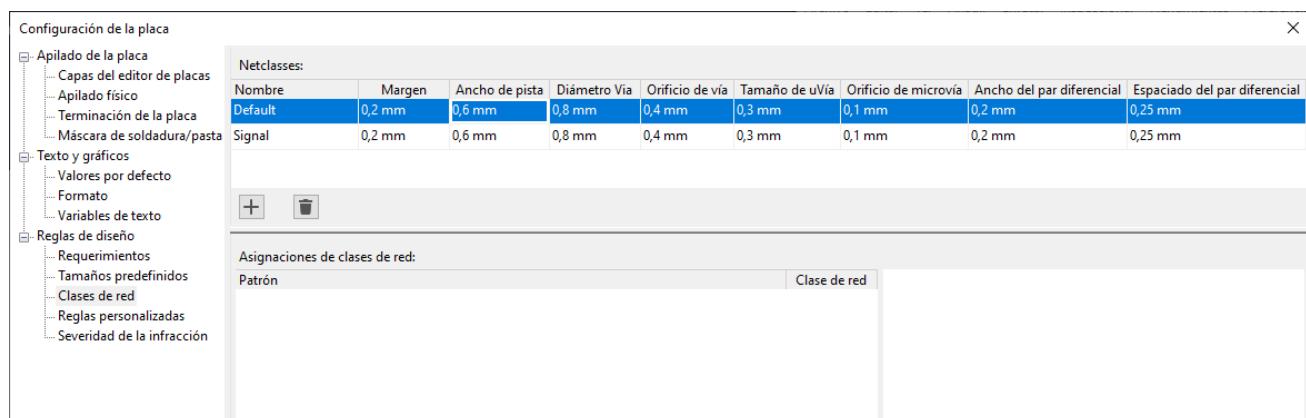
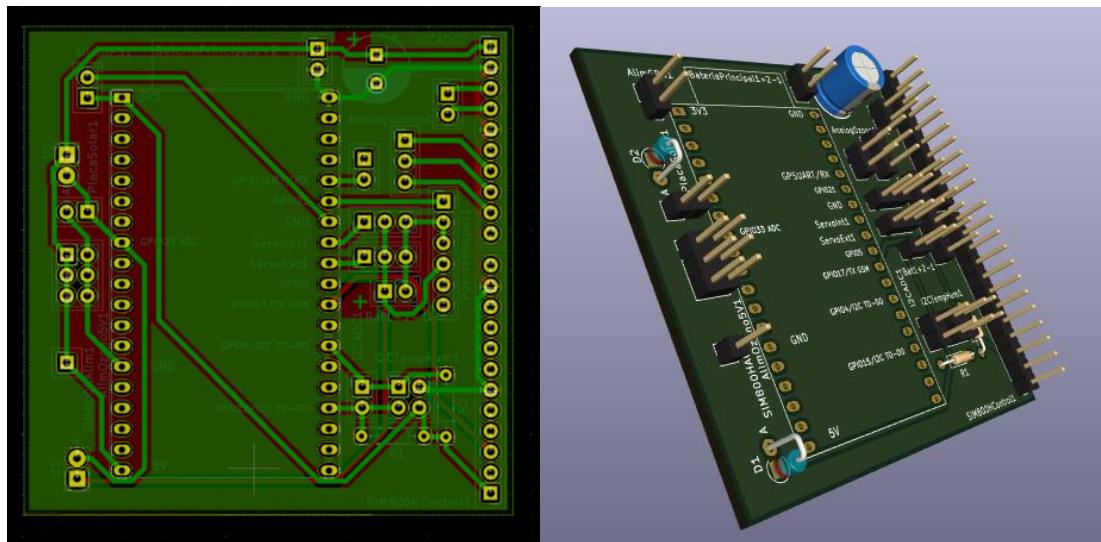
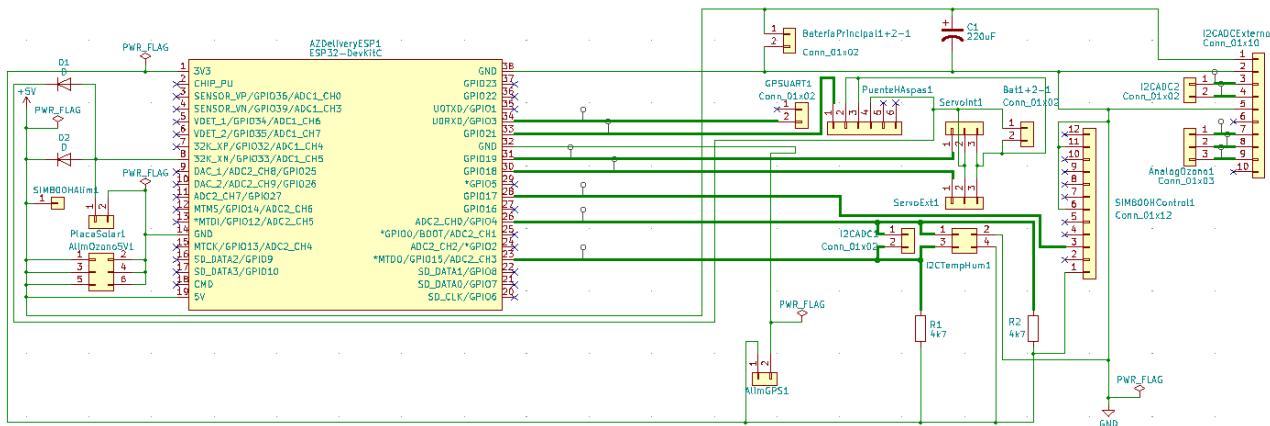


Figura 44: Captura de pantalla de la configuración de la Netlist Signal.

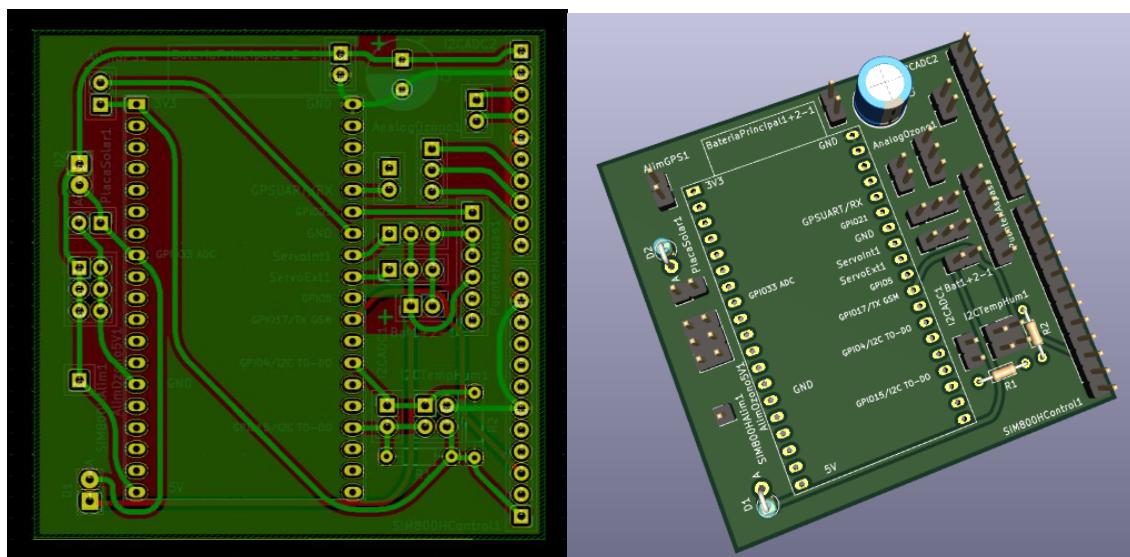
Sin embargo, se tuvo que realizar un cambio en el esquemático ajeno al diseño debido a que por restricciones del KiCad 7.0 no se disponía de algunas de las huellas de los conectores 2x02 y 2x03 2.54 mm adecuados, lo cual se resolvió mediante el reemplazo del conector 2x0X por su versión odd-even, como se ve a continuación.

Proyecto Aspiradora de Ozono



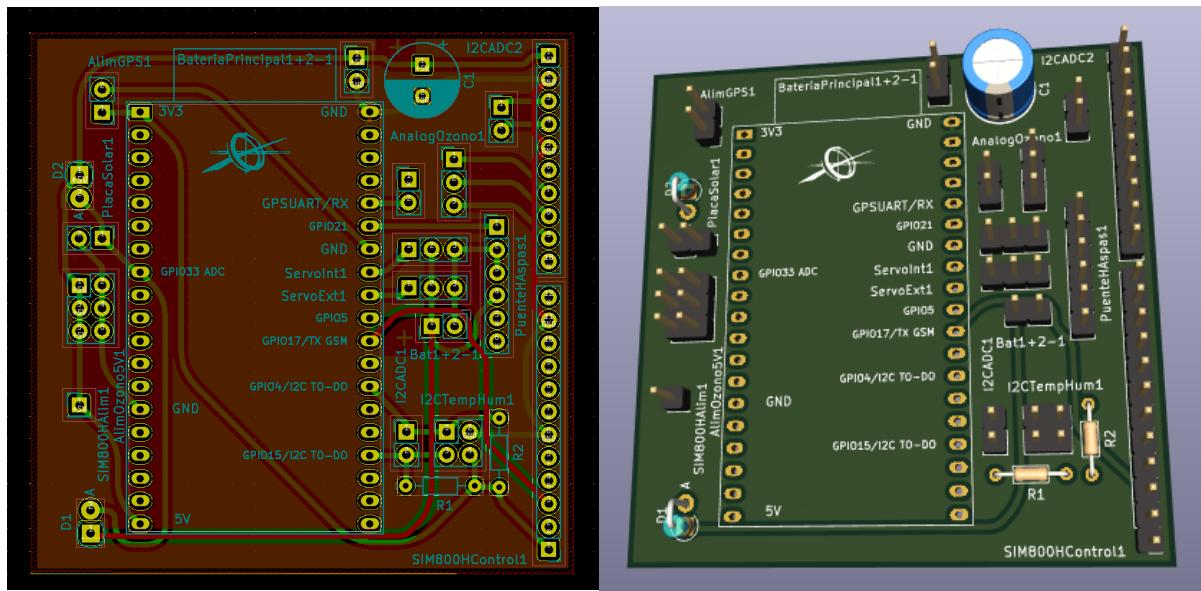
Figuras 45, 46 y 47: Esq. 8 Mayo 2023, reemplazo conector 2x0X por versión odd-even; PCB 8 Mayo 2023

Más tarde, se realizaron optimizaciones que redujeron posibles inducciones mediante el redondeo de pistas y finalmente se incluyó un logo oculto de la ETSI, como se puede ver en las cuatro figuras a continuación.



Figuras 48 y 49: PCB 9 Mayo 2023, reducidas posibles inducciones.

4.5 PCB



Figuras 50 y 51: PCB 10 Mayo 2023, añadido logo oculto.

Al consultar cuál método sería mejor para imprimir esta placa, Norberto indicó que el laboratorio disponible no admite agujeros metalizados, y eso en pines como los de bakelita no permite que se puedan soldar ambos lados, por lo que algunas de las zonas no podrían ser impresas. Esto fue lo que finalmente conllevó pedir la impresión a un tercero que soportase agujeros metalizados (aunque manteniendo las restricciones de diseño previas en la placa), en este caso JLC PCB por ser la opción más barata. Tras el registro en su página web, se ajustaron los parámetros para tener una placa azul y que careciera de mercurio (acorde a la legislación sobre residuos y metales pesados), como se ve en la siguiente figura.

Base Material	FR-4
Layers	1, 2, 4
Dimensions	60 x 60 mm
PCB Qty	5
Product Type	Industrial/Consumer electronics
PCB Specifications	
Different Design	1, 2, 3, 4
Delivery Format	Single PCB
PCB Thickness	0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.6, 2.0
PCB Color	Green, Purple, Red, Yellow, Blue, White, Black
Silkscreen	White
Surface Finish	HASL(with lead), LeadFree HASL, ENIG
High-spec Options	
Outer Copper Weight	1 oz, 2 oz
Via Covering	Tented, Untented, Plugged, Epoxy Filled & Capped, Copper paste Filled & Capped
Board Outline Tolerance	±0.2mm(Regular), ±0.1mm(Precision)
Confirm Production file	No, Yes
Remove Order Number	No, Yes, Specify a location
Flying Probe Test	Fully Test, Not Test
Gold Fingers	No, Yes
Castellated Holes	No, Yes
Advanced Options	

Figura 52: Captura de pantalla del pedido y coste de llegada, 12-05-2023.

A 25 de Mayo de 2023, finalmente llegaron múltiples copias de la PCB. Abajo se muestran en una foto de elaboración propia tal y como llegaron a destino.

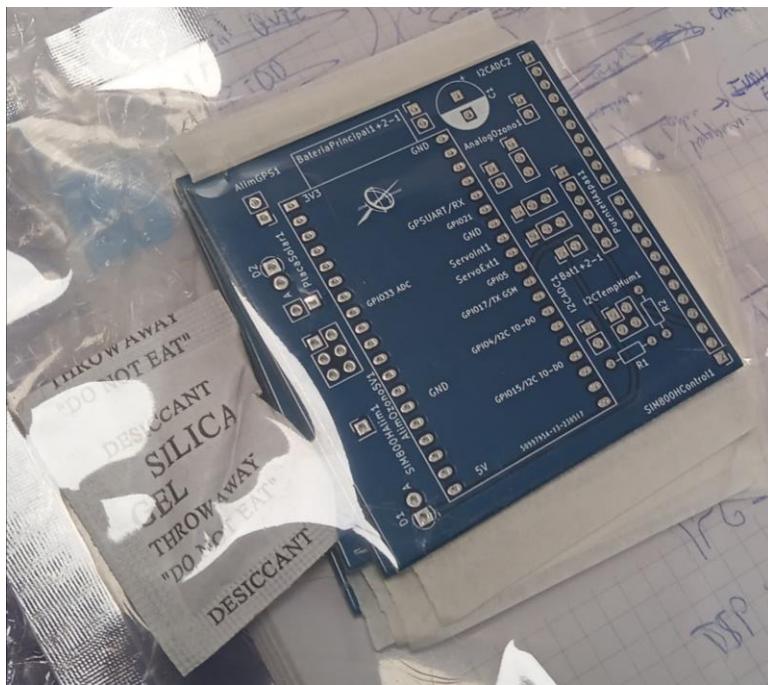
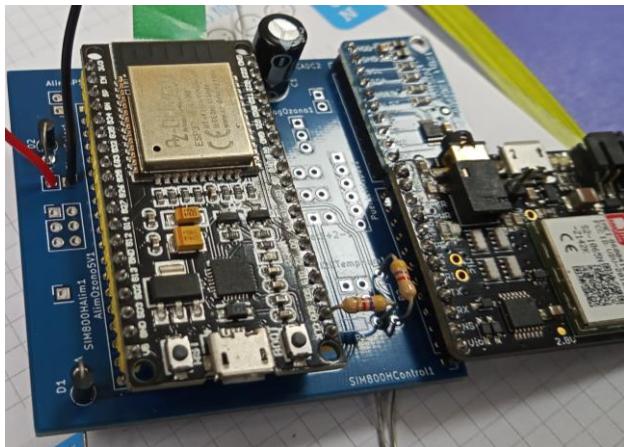


Figura 53: Paquete de PCBs, aún sin soldar.

Sin embargo, cuando se procedió a su soldadura, se descubrió que la huella del ESP-32, aunque muy similar, no se ajustaba al 100% con las dimensiones del ESP-32 de Az-Delivery utilizado, por lo que se realizaron unos pequeños apaños en los pines para que entrasen (la primera fila, la izquierda, entraba; pero la segunda no por un ínfimo margen), y se hizo que el cable hacia la batería principal se conectara desde abajo y no desde arriba. Además, observamos que el SIM800H tenía una pequeña unidad que sobresalía un poco, por lo que fue ajustado en consecuencia. Las baterías VARTA se conectaban con cable micro-USB, por lo que se buscaron componentes de dicho tipo inicialmente; aunque posteriormente, debido a una sugerencia del co-tutor Alberto sobre una alimentación diferente con baterías de petaca de litio alternativa de 7.4 V (es.rs-online.com, 2023), se postergó la finalización de las conexiones a la PCB hasta que se tuvieran las baterías adecuadas.

A continuación, se muestran dos imágenes, la primera una vista de cómo quedarían los componentes, aún sin soldar; y una con todos los componentes menos la ESP32 soldada y a la espera de la batería alternativa. En ambos casos, los cables rojo y negro son de la placa solar, y las fotos son de elaboración propia.



Figuras 54 y 55: Componentes y PCB, 30-05-2023; y 6-06-2023.

Tras obtener la nueva batería y circuitos, se completó la integración de módulos a la PCB el 15 de Junio de 2023; realizando un ligero cambio para mayor modularidad en el que el ESP-32 se apoya sobre zócalos en vez de estar directamente soldado, con el coste de un poco más de espacio; y la utilización de un adaptador de voltaje y corriente: 5-50 V IN, 5 V 2 A OUT, con protección de sobrecorriente e inversión de polaridad (Future Electronics, 2023) para las nuevas baterías, visible en la siguiente figura. Además, se optó por dejar que la batería alimentando a los servomotores fuese una Powerbank 5V por ser más reducida y ligera y por procesos relativos al refinamiento del chasis (especificaciones sobre esta batería pueden verse en la sección correspondiente de la lista de materiales).

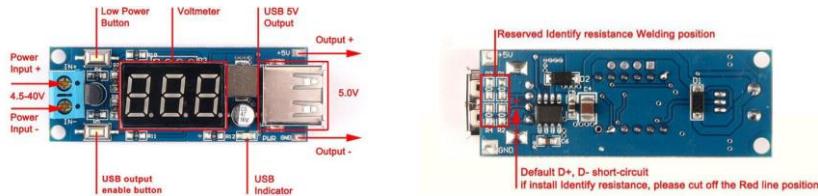


Figura 56: Adaptador de voltaje y corriente para nuevas baterías

Sin embargo, hubo un contratiempo debido a que accidentalmente una de las nuevas baterías dañó el módulo SIM800H, que tuvo que ser reemplazado. Mientras tanto se realizaron las pruebas de funcionamiento básicas en la PCB: Pruebas PCB sin baterías I, Pruebas PCB sin baterías II y Pruebas PCB Baterías I, relativas a los hitos de autonomía.

Cuando llegó la SIM800H de repuesto el 22 de Junio de 2023, se pudo comprobar que la desinstalación y reinstalación de dicho componente a la PCB tal y como habíamos soldado era complicada, especialmente para un prototipo, por lo que se aprovechó su reinstalación para conectarla con zócalo-pin en vez de directamente soldada. Uno de los problemas encontrados más tarde a raíz de los intentos previos de desinstalación fue que accidentalmente se alteró la pista de TX del módulo GSM y conectaba al zócalo-pin 2 y no al 3 (a pesar de que inicialmente sí conectaba al 3 y no al 2). Afortunadamente, el pin 2 era la salida de un led *Network State* externo y bastó con puentejar el zócalo 2 y el 3 y cortar el pin 2, dejándonos el resultado visible en la siguiente foto de elaboración propia: con la PCB completa y todos los componentes funcionales de forma más modular.

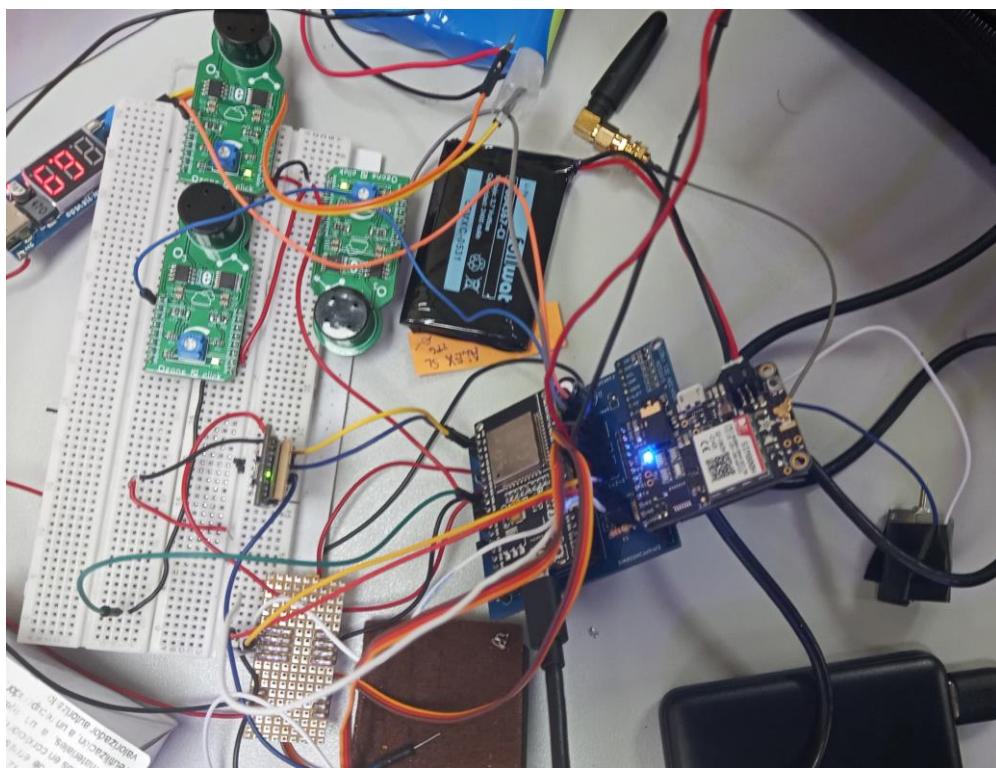


Figura 57: PCB completa, a 23 de Junio de 2023.

4.6 Impresión del chasis y globo

El modelo del chasis fue inicialmente reajustado el 16 de Mayo de 2023 cuando quedaron todos los componentes determinados, para así ajustarse a los componentes finales y tener espacio suficiente para estos. También permitió imprimir las aspas y por lo tanto rebajar su coste.

A continuación se muestra la siguiente imagen, de dicho reajuste del modelo del chasis. Se dejaron algunos tabiques por fuera para permitir introducir los timones más tarde. En colores, simulación de espacio ocupado por sensores de ozono (verde), la placa más el SIM800H, el ADC Adafruit y el puente H (azul marino) y dos de las baterías VARTA (cian celeste). El cubo naranja es la referencia de tamaño máximo permitido por legislación.

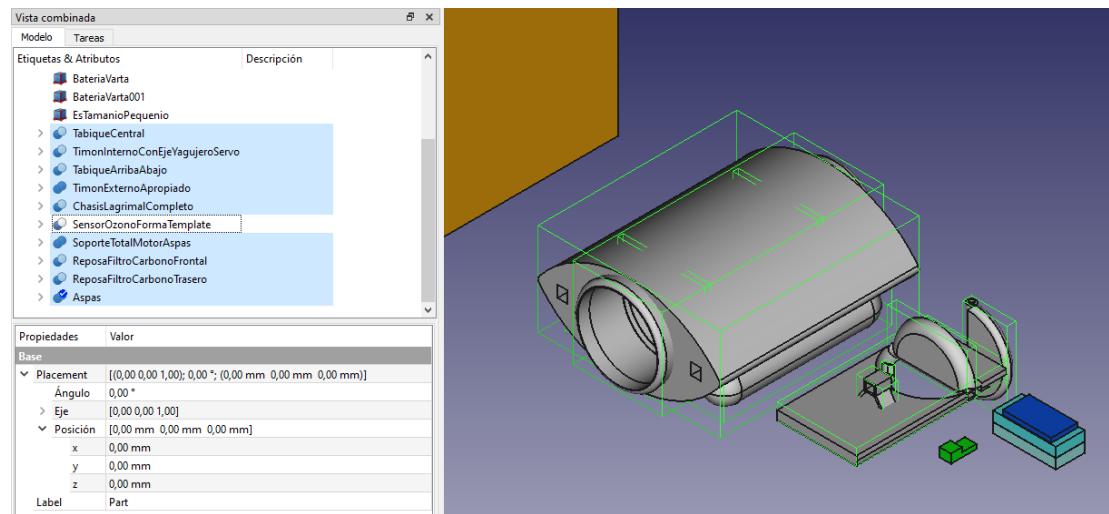


Figura 58: chasis en FreeCAD a 16 de Mayo de 2023, escala 1:10.

El primer modelo final comenzó a ser configurado con Ultimaker Cura el 17 de Mayo de 2023, ajustándolo a las dimensiones de la impresora 3D Artillery Sidewinder X2, de 300x300x400 mm, por lo que fue dividido en 5 secciones para permitir una impresión ajustada a las dimensiones máximas, como se ve en la siguiente figura.

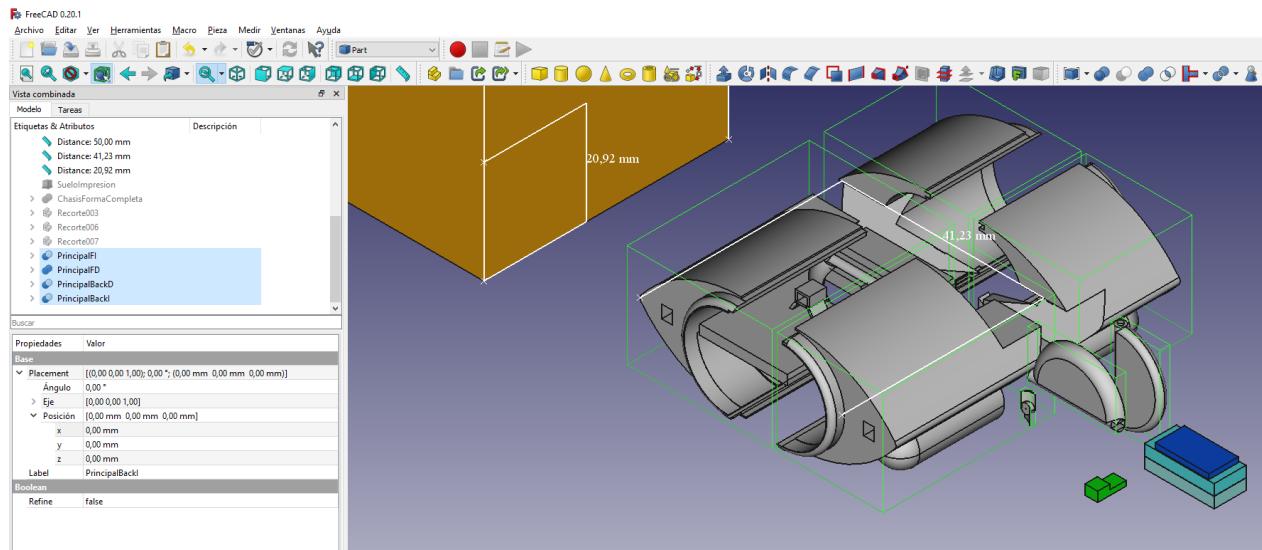
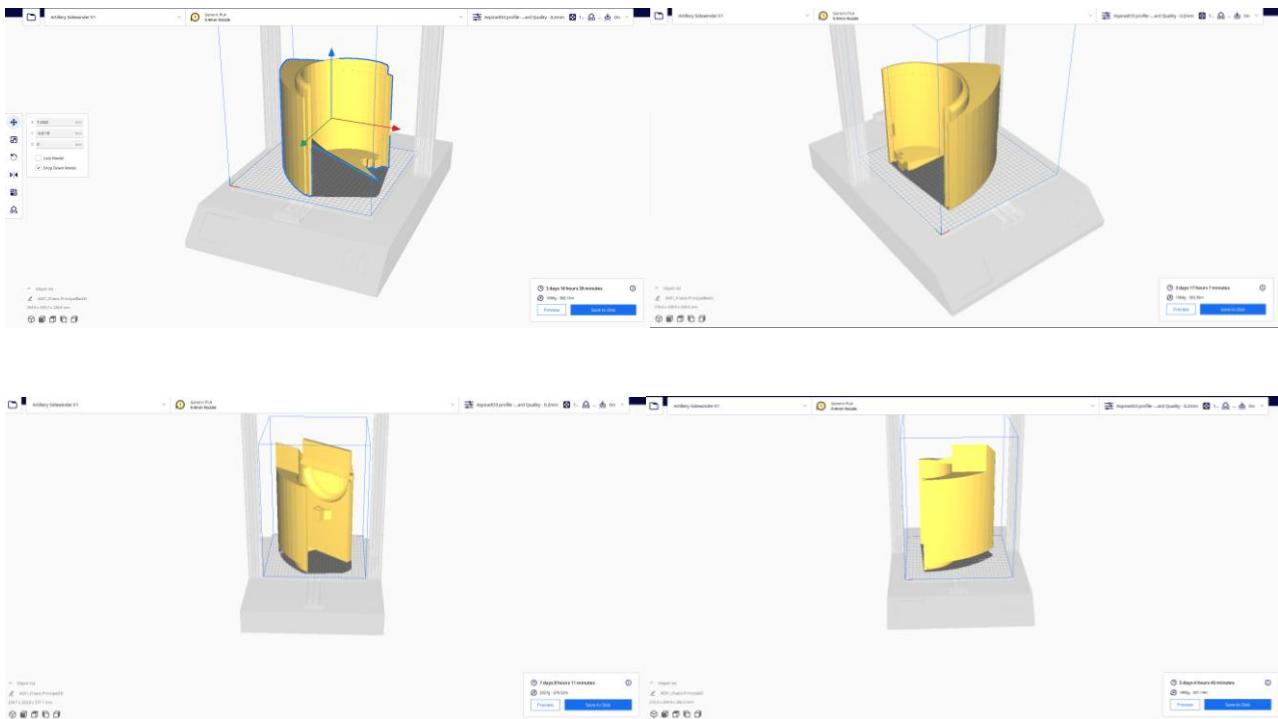


Figura 59: modelo del chasis en FreeCAD a 17 de Mayo de 2023, escala 1:10.

Luego cada parte fue re-escalada en Cura a tamaño real (como se ve en las 5 imágenes de abajo, con cada trozo numerado de izquierda a derecha, arriba a abajo), se ajustaron al de impresión (ver apartado 5, sección “Ultimaker Cura”) y se exportaron las partes como .gcode. Por su tamaño la impresión costaría al menos una semana, por lo que Héctor, el técnico de laboratorio, recomendó que las partes más complicadas se iniciasen al comienzo de ésta.

4.6. Impresión del Chasis



Figuras 60, 61, 62 y 63: 1^a, 2^a, 3^a y 4^a parte del modelo de impresión del chasis, 18-5-2023

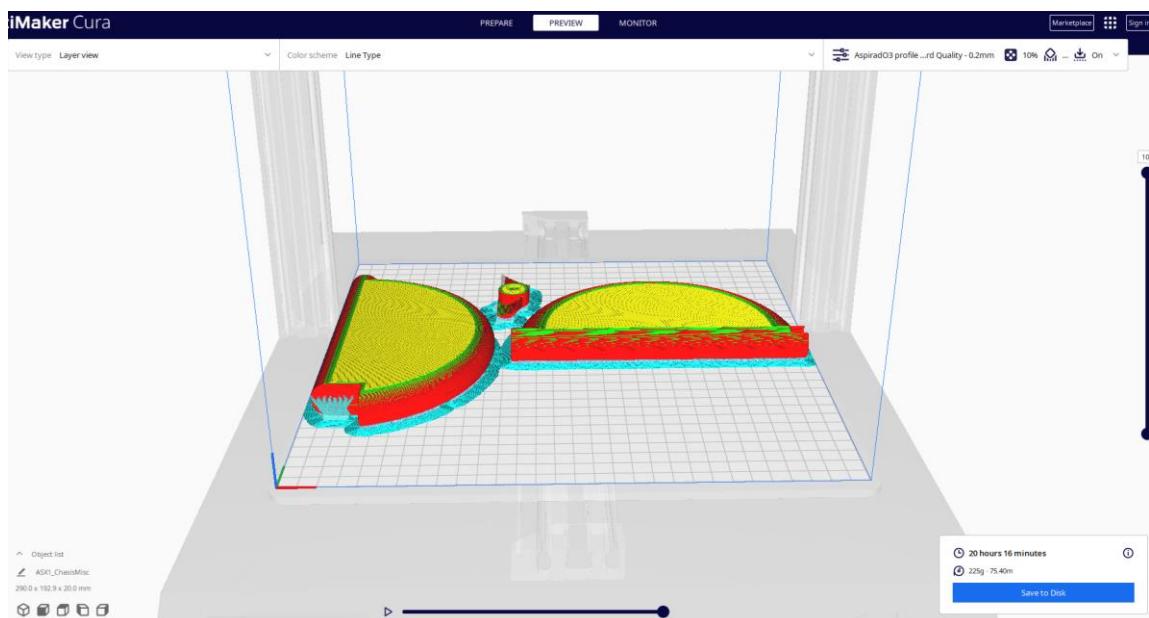


Figura 64: 5^a parte del chasis, 18-5-2023

Por el gran tiempo y material requerido, se probó a realizar una impresión a escala 1:10 el 23 de Mayo de 2023, para así ver si las tolerancias permiten encajar las piezas. La impresora Sidewinder X2 dispone de una opción de autonivelación de la cama, la cual inicialmente fue activada mediante la edición manual del .gcode (línea M420 S1), que luego se añadió a las configuraciones de la máquina para realizar esta opción automáticamente. Para el día siguiente ya estaban terminadas, y se procedió a comprobar que encajaran. Sin embargo, se vió que la pieza más grande no había impreso el soporte de motor por la baja escala, así que por si acaso se volvió a imprimir. Fue durante este proceso donde se descubrió que una de las piezas de timón externas no podía encajar con los cortes realizados porque el agujero de pase del motor estaba en un lugar

incorrecto, por lo que se corrigió la estructura para soportar eso, como se puede ver en la imagen a continuación.

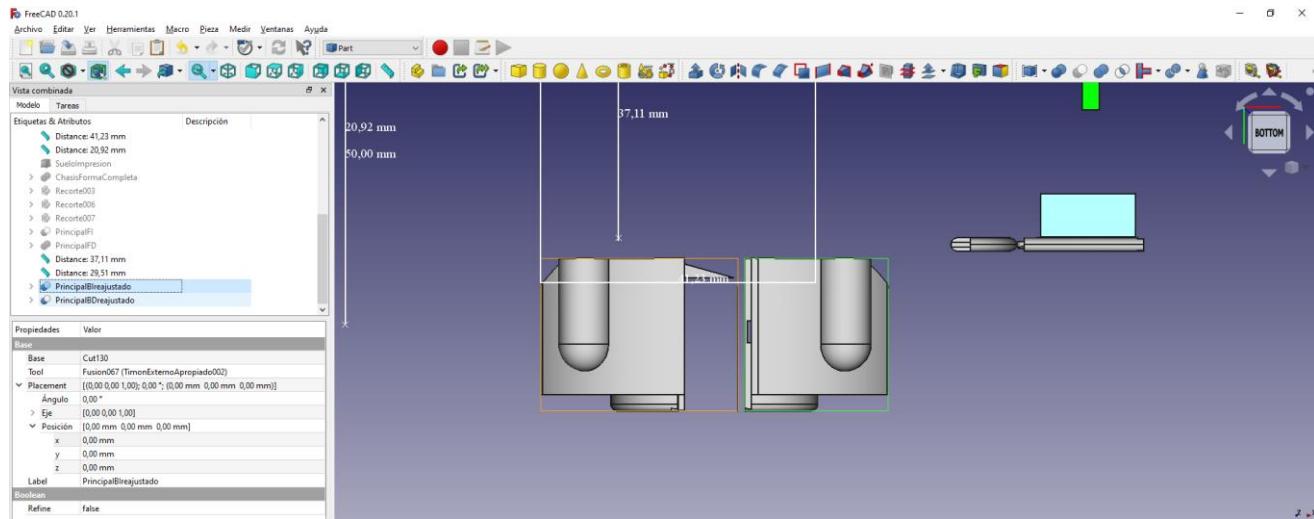
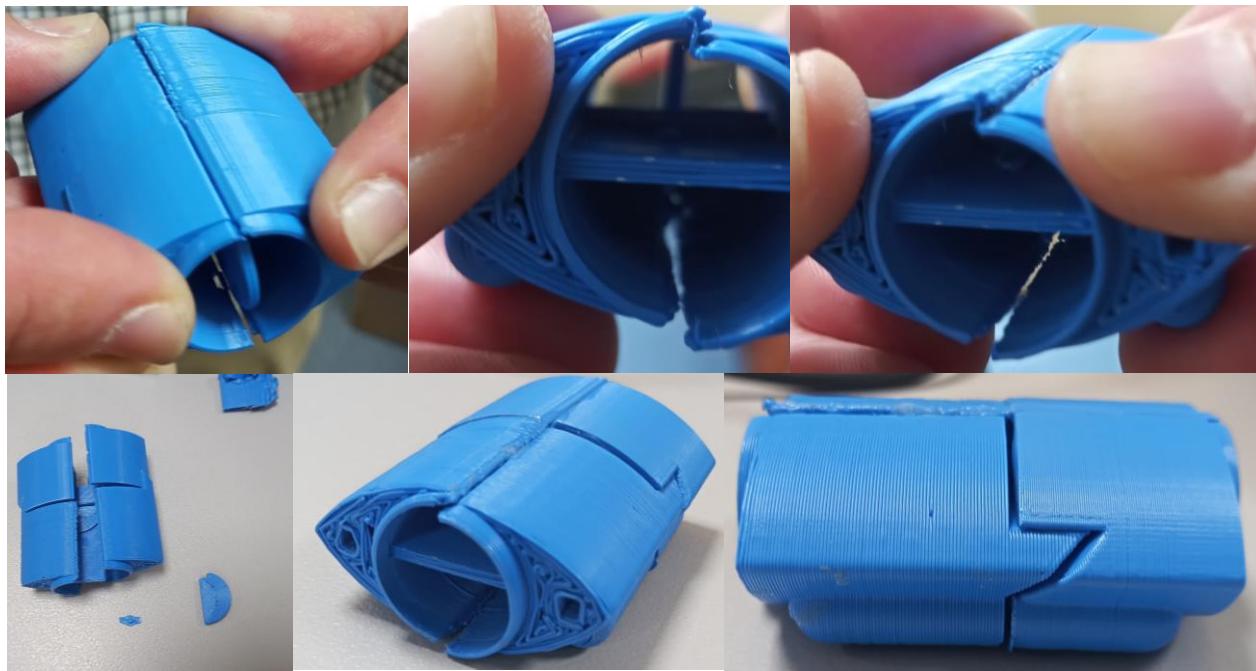


Figura 65: modelo reajustado de las piezas 1^a y 2^a en FreeCAD, 24-5-2023.

Una vez dicha corrección se aplicó e imprimió, ya se pudo comprobar que las piezas encajaban sin problema, como se puede ver en las figuras de elaboración propia 66, 67, 68, 69, 70 y 71, donde se aprecian la vista trasera, frontal, de medio lado y medio abierto con la miniaspa y timón externo al lado, y de medio lado y perfil con las piezas pegadas.

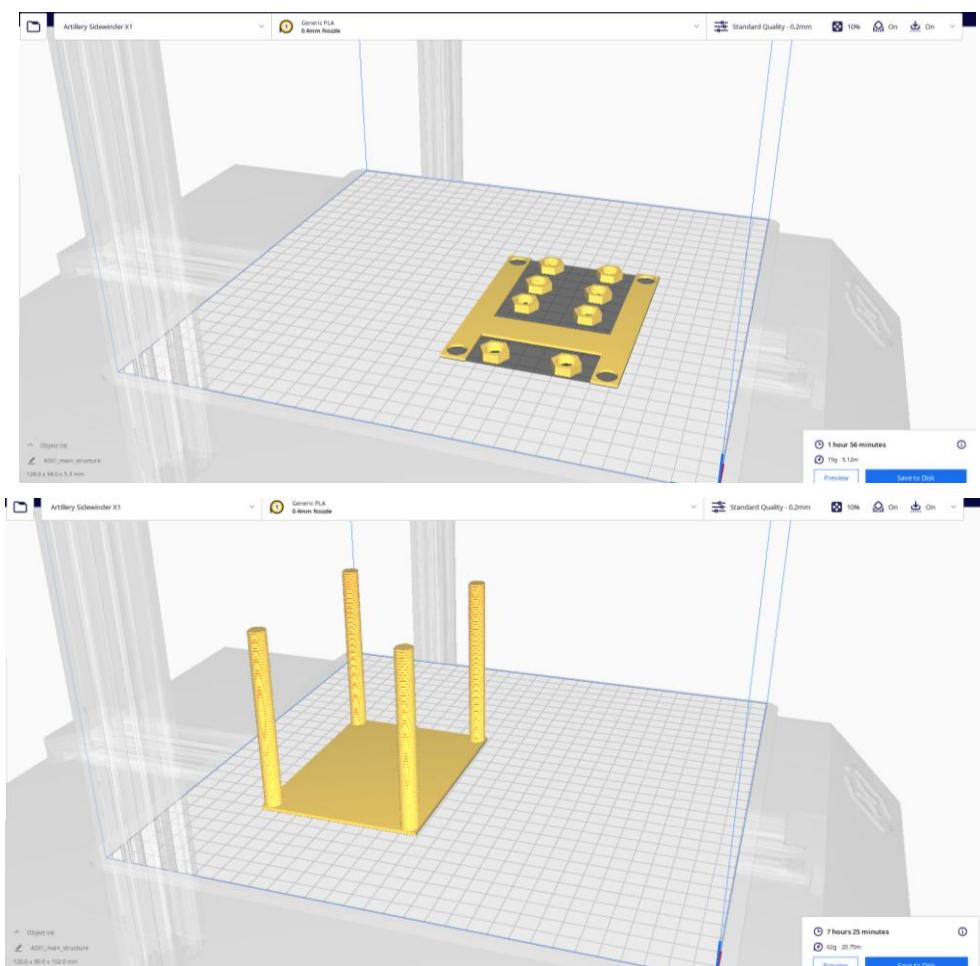


Figuras 66, 67, 68, 69, 70 y 71: imágenes de la primera versión del chasis final impreso a escala 1:10

Sin embargo, como la impresión a escala 1:1 de este modelo habría costado un gran tiempo, además de pesar unos 6 kg de plástico, Alberto Cruz decidió modificar el diseño para aligerar el peso al máximo y aliviar un posible problema de sobrecalentamiento del motor principal, elaborando este nuevo chasis modificado de forma incremental, imprimiendo primero las partes que sostendrán la PCB y baterías, y además de paso se investigó el uso de baterías alternativas (ver sección 4.8 de pruebas de conjunto). El 14 de junio de 2023, se pudo comenzar a ajustar el diseño a las dimensiones de los componentes obtenidos.

4.6. Impresión del Chasis

La impresión a escala 1:1 del soporte refinado de Alberto comenzó el 5 de julio de 2023, con las tres figuras siguientes siendo relativas a dicho soporte, en el que la pieza en H se duplicó y se creó una copia de soporte intermedio a mediados de julio, mientras que las tuercas se copiaron 4 veces adicionales el 29 de Octubre de 2023, dando un peso de (9+3g). Los archivos .gcode pueden encontrarse en el *Sharepoint*, en un .zip y en Anexo I “Los gcode y .3mf del soporte (nuevos de Alberto y modificados por Alejandro)”. La estimación del peso total de este soporte fue 84 g, mientras que el chasis suponía 3,104 kilos, por lo que se realizaron posteriores reducciones de peso recortando secciones (tales como la parte trasera) hasta ~2,5 kg (visibles en las siguientes 13 imágenes tras las referidas a Alberto), importante para la decisión de materiales para el globo. Sin embargo el 14 de Septiembre de 2023, el tutor pidió al co-tutor un nuevo chasis simplificado para tener terminado en unas dos semanas.



Figuras 72 y 73: soporte diseñado por Alberto, Ultimaker Cura.

Proyecto Aspiradora de Ozono

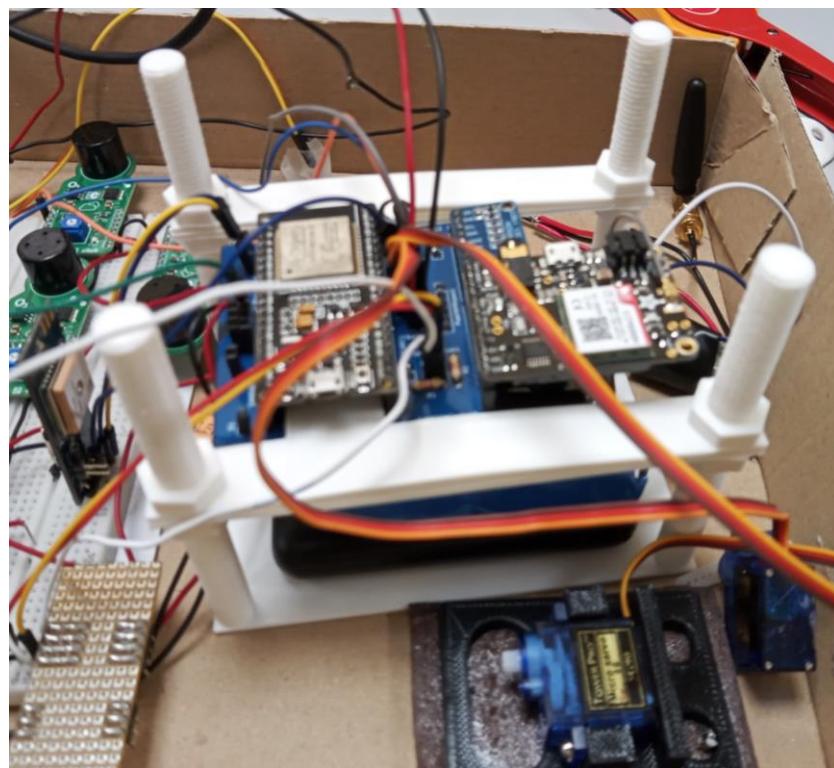
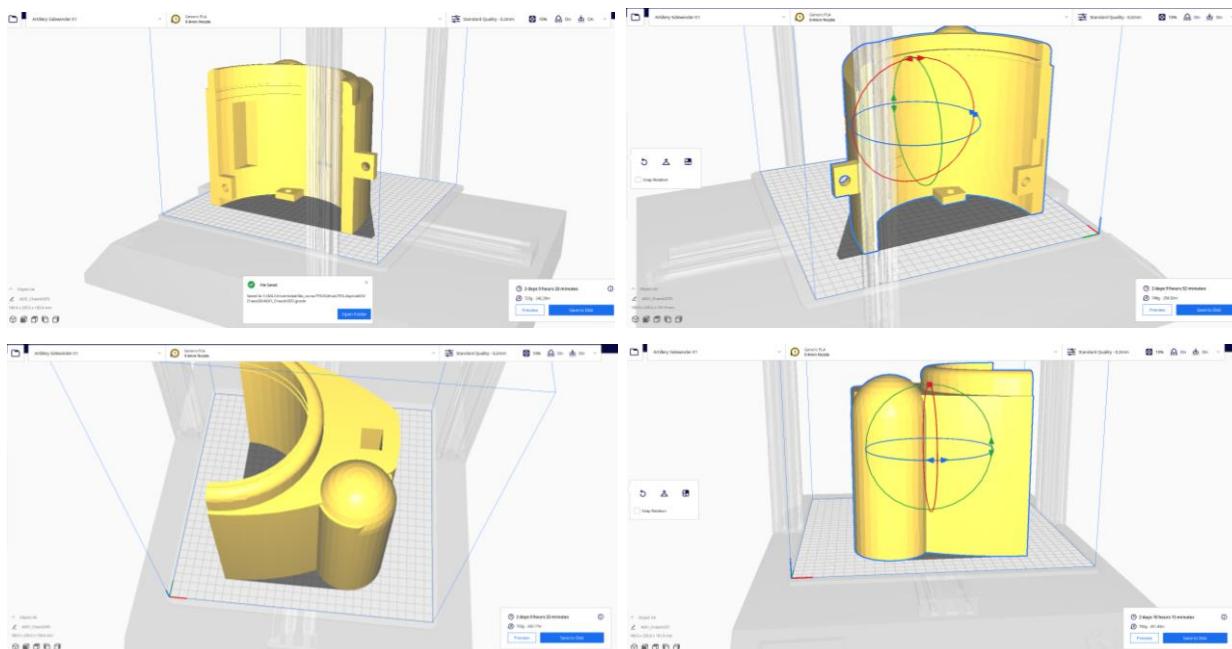
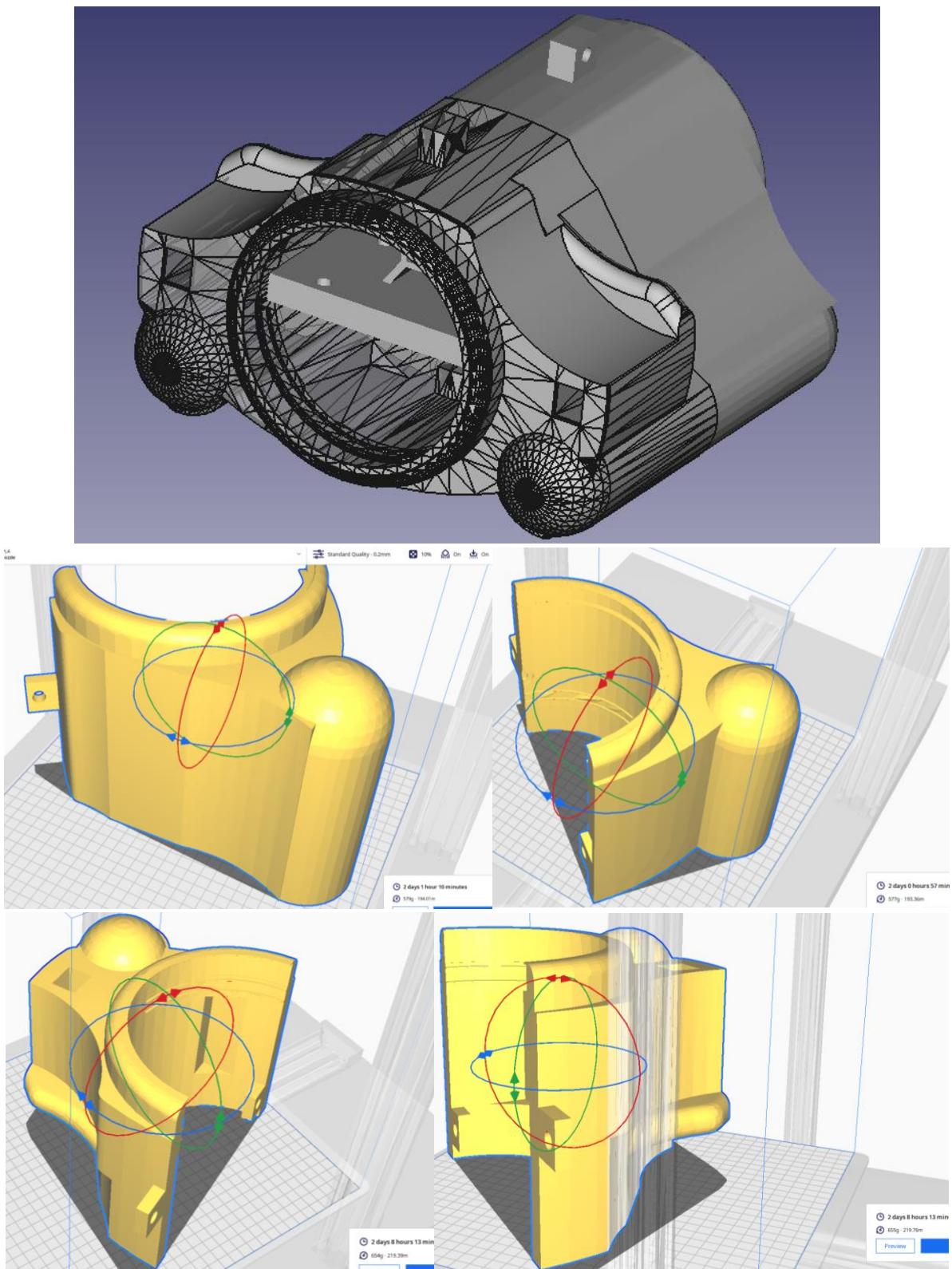


Figura 74: PCB con el soporte de Alberto.



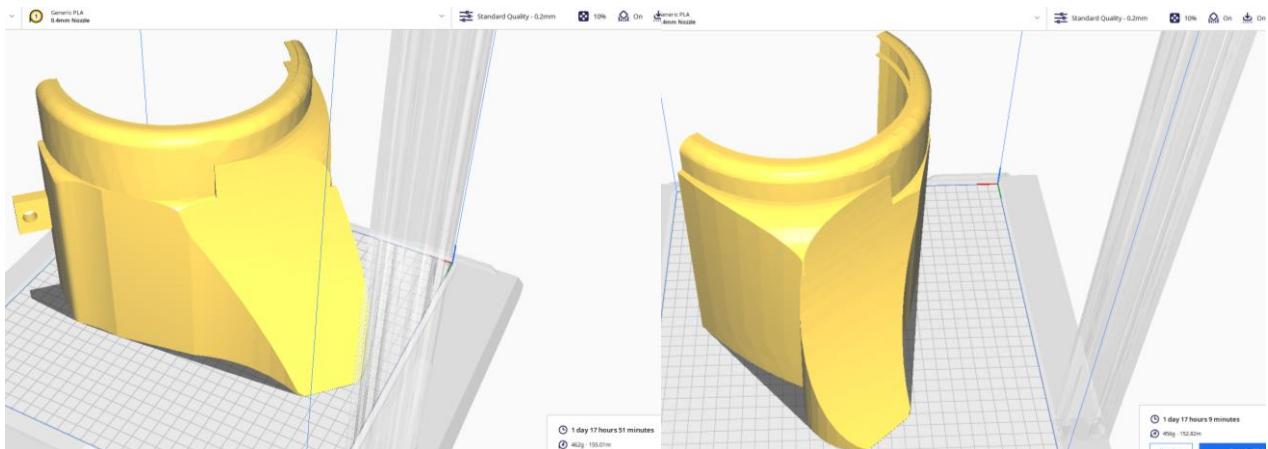
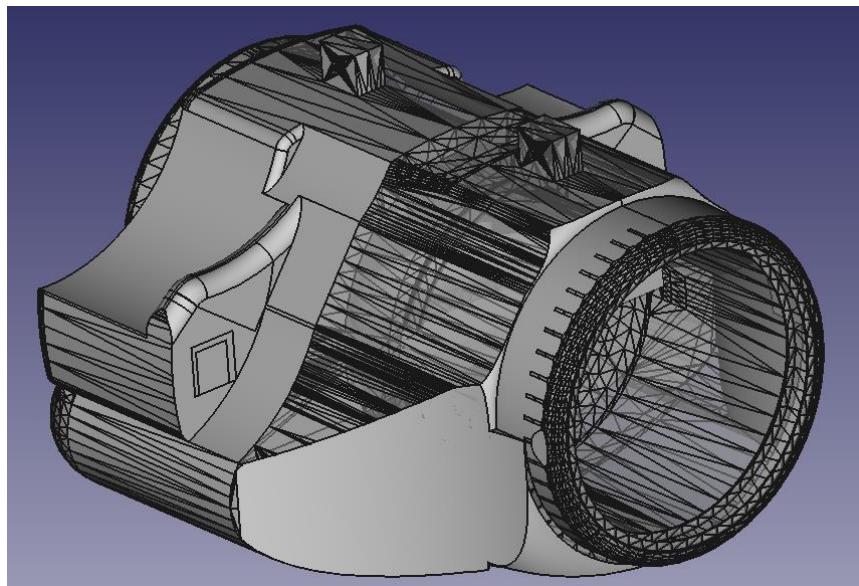
Figuras 75, 76, 77 y 78: antiguas partes del modelo de chasis, 25-7-2023.

4.6. Impresión del Chasis



Figuras 79, 80, 81, 82 y 83: ajustes del chasis, 14-9-2023. Peso total: 2,71 kg

Proyecto Aspiradora de Ozono



Figuras 84, 85 y 86: Ajustes antiguo chasis, 19-9-2023. Peso total: 2,56 kg

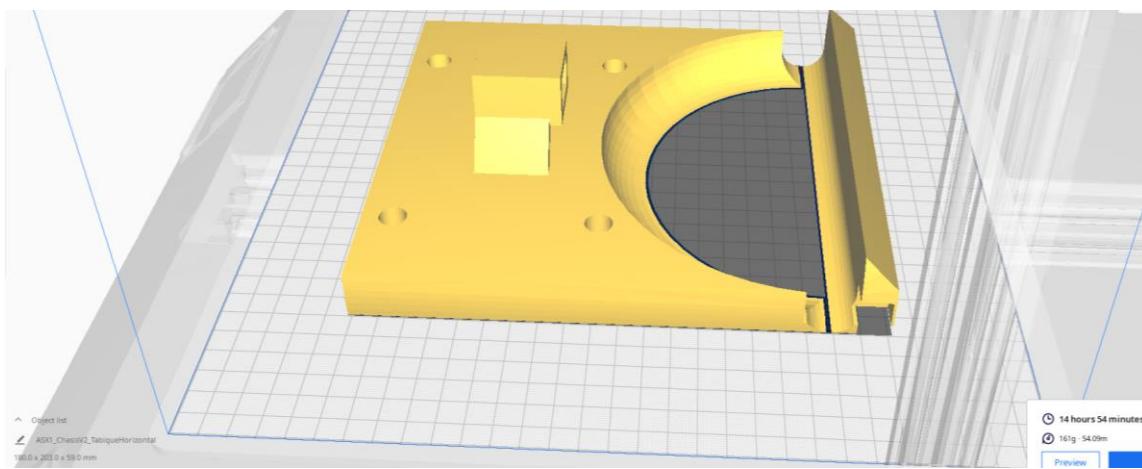


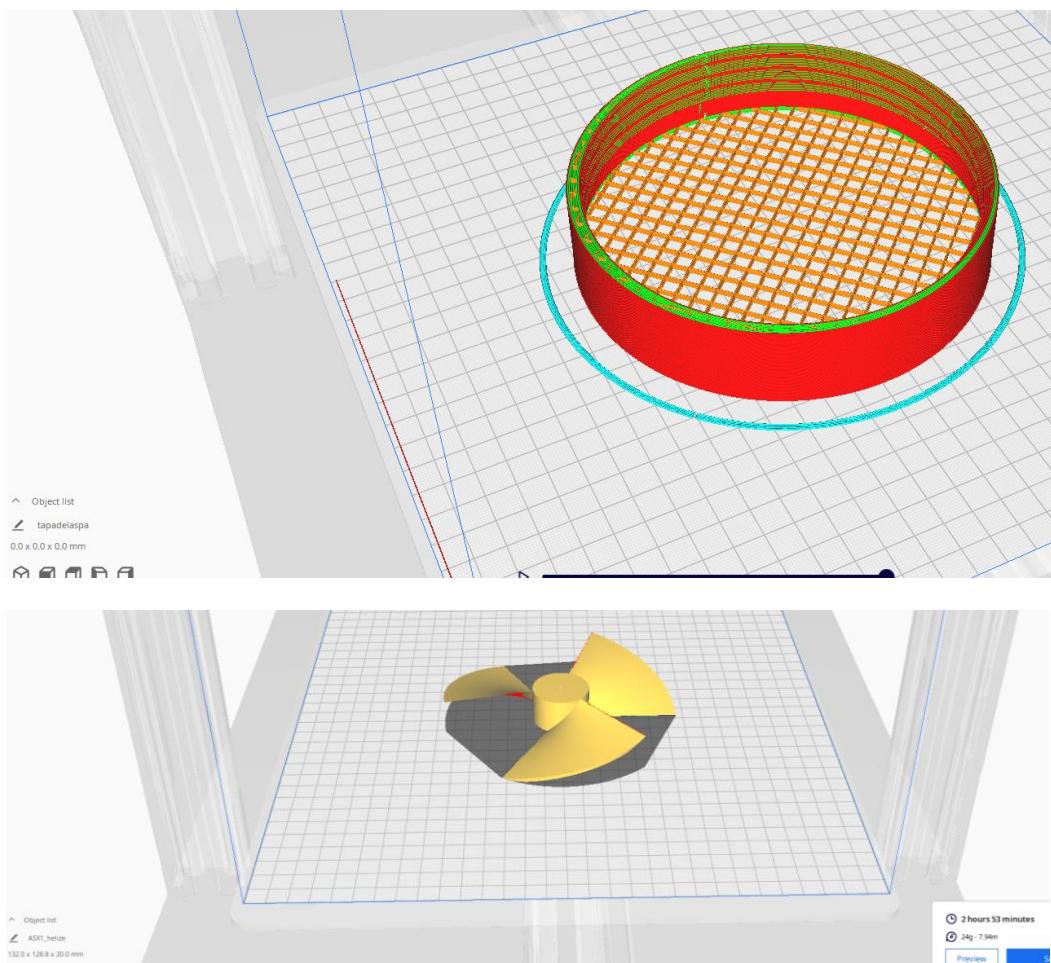
Figura 87: tabique del antiguo chasis, 25-7-2023, válido hasta 14-9-2023.

El 2 de octubre de 2023 finalmente se obtuvo el nuevo diseño de Alberto en Autodesk, mucho más similar al primer diseño del proyecto y más ligero, de unos 1700 g (peso de componentes electrónicos incluidos), consistente en un cilindro hueco con soporte fusionado para el motor del aspa (que fue adicionalmente mejorada para ser mayor y maximizar el flujo de aire, ya que se desechó la idea del timón interno siendo utilizado para prevenir que el aspirador mantuviera su posición), cuatro orificios circulares a los lados para

4.6. Impresión del Chasis

permitir que los sensores de bakelite puedan asomarse al exterior sin comprometer la diferencia de ozono con el interior y que se pueda reintroducir uno de los timones como alerones, ranuras internas por las que se deslizaría el soporte (al que se le incluirían dos abrazaderas según la forma de la figura 90 de Alberto, captura de elaboración propia); y dos roscas con ranuras a cada lado que contendrían los filtros de ozono y HVAC. El Sensor GPS y la SIM800H se pueden introducir dentro porque el plástico no ocasionará problemas para la emisión y recepción de señales. Sin embargo, y por simplicidad y para permitir una retirada fácil del soporte si fuera necesario, los servos aplican el uso de ruedas dentadas y engranajes cónicos y al menos uno de los servos y timones sería externo (de tal forma que actúen como alerones protuberantes desde el interior al exterior). Posteriormente a este modelo se le engarzarían dos “hebillas” atornillados que servirían tanto de soporte para la sujeción del globo, como para el tren de aterrizaje. Para que el tribunal pudiera ver los timones, se optó originalmente no imprimir la tapa trasera.

A continuación se pueden ver las imágenes de la rosca delantera y aspas utilizadas, capturas de pantalla de elaboración propia.



Figuras 88 y 89: tapa con rosca delantera y aspas, 2 y 3-10-2023

La tapa con rosca sufrió una incidencia durante la impresión que causó que algunos hilos se deshilacharan, pero no supuso ningún problema que unos alicates no pudieran solucionar. La hélice sufrió algunos desperfectos más serios pero considerados aceptables a menos que en el modelo final causaran vibraciones, aunque podrían haber sido indicios tempranos de que la impresora *Sidewinder* había comenzado a averiarse.

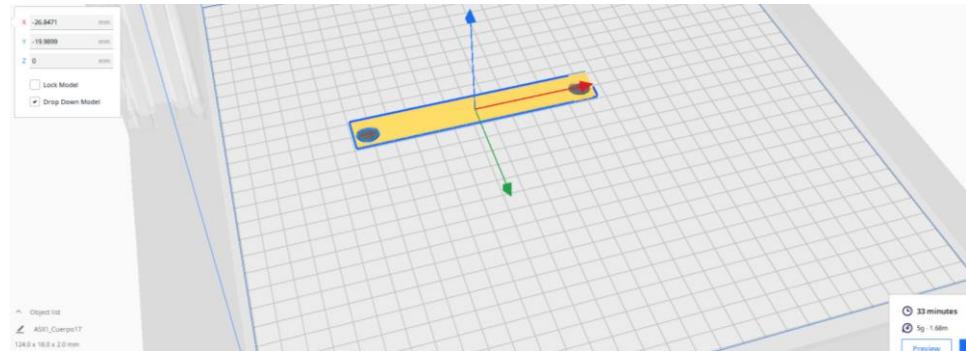
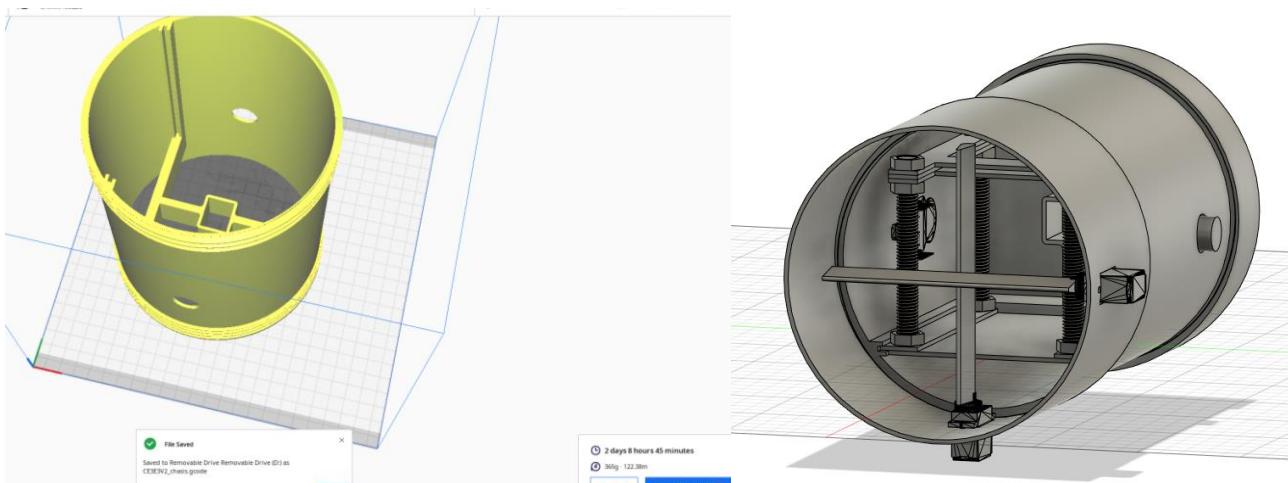


Figura 90: abrazadera, 2-10-2023

El 16 de Noviembre de 2023, tras reemplazar la impresora defectuosa por una Ender-3 de nivelación manual (con su correspondiente ajuste del Ultimaker Cura) se trató de imprimir de nuevo, pero esta tenía un extrusor defectuoso y la PLA inundó el cableado (ver “Tabla 3: Diagrama de Gantt de desviaciones del proyecto.”) y el 21 de Noviembre de 2023 se propuso que por todos los retrasos acarreados se pudiera excepcionalmente presentar el PFG sin el prototipo completo.

A continuación se presentan las imágenes (capturas de pantalla de elaboración propia) del resto del Chasis planificado para impresión hasta las averías con las impresoras 3D.



Figuras 91 y 92: resto del chasis refinado, 15-11-2023.

4.6.1 Globo

La siguiente fase del chasis habría sido la de la implementación del globo. Este globo habría sido idealmente de polietileno como los globos meteorológicos, pero tras consultar con diversas empresas y organizaciones aéreas se vió que hay pocas compañías aéreas que proporcionan globos aéreos personalizados, ninguna en España (ver Anexo V- Algunas imágenes de interés), por lo que se consideró la utilización en el prototipo de globos náuticos inflables para cable (NauticEXPO, 2023). Finalmente, se optó por el uso de globos de polietileno baratos similares a los de las fiestas, con el volumen o número necesarios para levantar el dispositivo, unos 165 gramos de He, 879 L aprox, con un peso de 900 gramos estimados y a ≈ 1.025 g/L de empuje del helio (Kazemi, 2022).

4.7 Sistema de control

Dado el retraso en el desarrollo del chasis y de los hitos en general por no disponer de los materiales disponibles, se comenzó a realizar el sistema de control de la aspiradora antes de finalizar los hitos. Para ello fue definido un sistema retroalimentado que tuviese en cuenta las lecturas de ozono a babor y estribo, así como la velocidad GPS y el estado anterior del timón externo. Cuando se consultó a un experto en el tema, sobre como expandir y ajustar dicho sistema, indicó que “el globo aerostático tendrá su centro de gravedad algo elevado, por lo que al impulsarse tenderá a inclinarse un poco hacia arriba y luego ligeramente oscilar como un péndulo hasta llegar al estado de equilibrio” y que por lo tanto “un diseño de un Sistema de Control fino sería bastante complicado. Sin embargo, para un prototipo puede ser suficiente que solo necesites que controle la dirección general a la que va mediante el timón, y por lo tanto se podría diseñar un control ajustado a prueba y error mediante métodos heurísticos”¹, por lo que tras realizar un ajuste teórico del sistema de control a alto nivel (incluyendo un método para que el dispositivo diese la vuelta si se aleja demasiado del origen, como el de la figura inferior de elaboración propia, donde el “FactorAjustable” se alteraría), se esperó a tener el sistema completo.

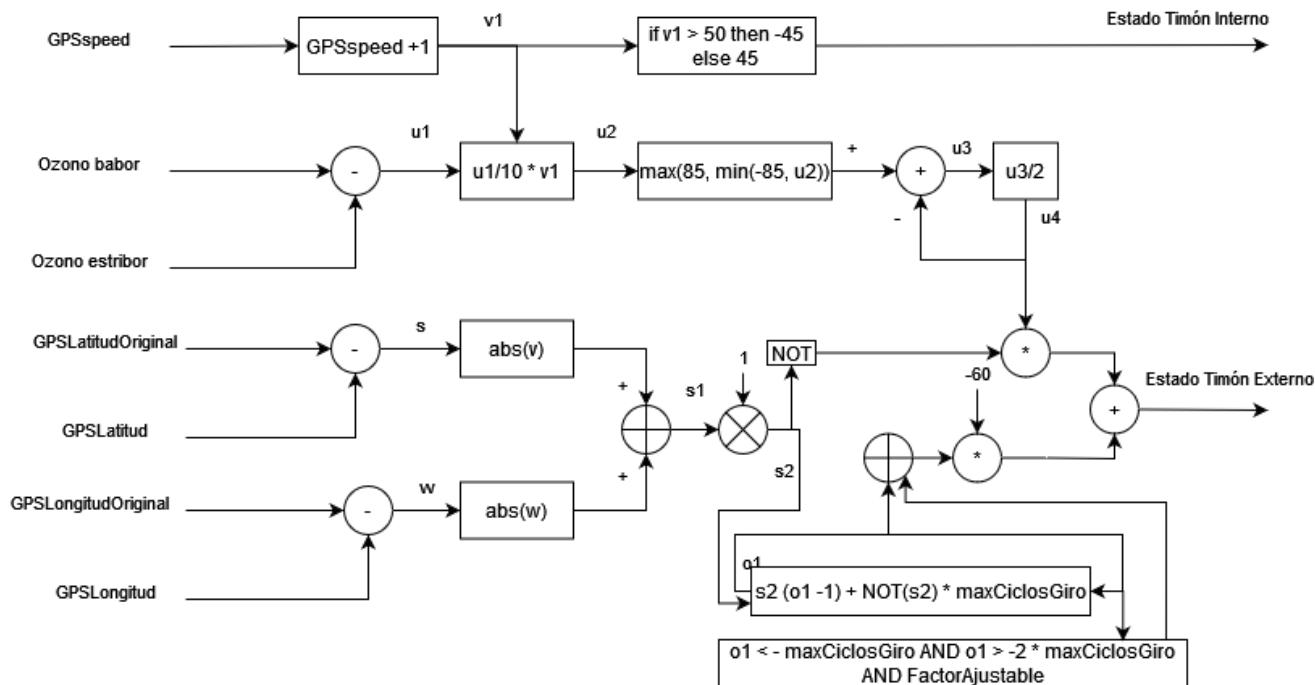


Figura 93 : diagrama de bloques simplificado del sistema de control idealizado, a 1 de junio de 2023

El plan original de pruebas habría consistido en probar primero el prototipo finalizado en interiores, en el Bloque X de la Escuela, donde se verificaría que el globo de helio proporciona suficiente empuje para flotar pero no suficiente para perder el control de navegación; que las aspas y timones proporcionan suficiente empuje y torsión para navegar hacia un área objetivo, que puede responder de manera adecuada como un sistema de tiempo real en lo posible dentro de las limitaciones de la ESP-32, y finalmente probar como se desplazará autónomamente al introducir uno de los generadores de ozono hacia el área con mayor concentración de éste.

4.8 Pruebas de conjunto

¹ Cañas de la Paz, Norberto (private communication), 2023

Esta sección recoge el resultado de diversas pruebas de conjunto, que, si bien pudieran estar más centradas en las pruebas individuales de uno de los hitos, se vieron afectadas por la prueba de conjunto de HW, principalmente relativas a los hitos de autonomía.

Relativo a motores, al probar todos los dispositivos en conjunto con solo una batería, hubo problemas de GPS debidos probablemente al drenado de energía y ruido causados por los motores y servos en 3.3 V mencionados anteriormente en la sección de las pruebas de motores (Prueba de servos IV) lo que se resolvió igualmente al conectarlos a 5 V independientemente de la parte del circuito 3.3 V, y otro motivo por el que en el diseño final se decidió incluir la batería secundaria de 5 V dedicada solo a los servos y el motor, con el consiguiente aumento de peso y volumen requerido.

En cuanto al GPS, antes de la fase de experimentación para reducción del número de pines, ya se había probado de forma incremental con el resto de los componentes hasta obtener una versión plenamente funcional del GPS, concluyéndose que parte de los problemas de conectividad de dicho módulo Pmod se debían a un cable mal instalado o algún error de la antigua placa (ver Anexo III, Pruebas de conectividad del GPS incrementales I (solo módulo GPS) a Pruebas de conectividad del GPS incrementales V (GPS, Wi-Fi, I2C, 1 sensor de ozono, condensador)). Posteriormente, se decidió re-evaluar las pruebas de GPS para incluir un nuevo sub-hito relativo a reducir el número de pines de la UART aún más, del que se habla en la sección de GPS y GSM.

En lo relativo al GSM, antes de pasar a la versión impresa, fueron realizadas dos pruebas adicionales de autonomía: en la primera se trató de ejecutar el mismo programa de pruebas unitarias del GSM pero solo alimentado por las baterías. La primera vez no fue capaz porque una de las baterías estaba descargada y no paraba de drenar a la otra, de tal forma que el ESP-32 lograba funcionar pero el GPS sufría de infravoltaje y se apagaba. Una vez ambas baterías fueron cargadas, se logró que el GSM pudiera comunicarse con las órdenes dadas (Prueba Autonomía baterías I).

La segunda prueba incremental relacionada con el GSM consistía en una optimización, en la que el sistema GSM quedaba a la espera de que las subrutinas Wi-Fi consideraran la conexión rota (y por ende, se desconectara del Wi-Fi). Se vió bajo escrutinio de monitorización UART en la Prueba optimización GSM que dicha optimización funcionaba correctamente.

Finalmente, relativo a ambos módulos GPS y GSM, y una vez la PCB estuvo disponible y se reemplazó el módulo SIM800H por otro mismo módulo nuevo (ver 4.5. PCB, por las causas relativas al reemplazo del módulo GSM por otro SIM800H), se realizaron pruebas de conjunto en las que se pudo verificar que el módulo GPS y GSM son capaces de funcionar correctamente en el diseño final y comunicarse con *Thingsboard*, por lo que esta fase queda oficialmente terminada (ver Anexo III, Pruebas PCB total (sin chasis)).

Para reducir la masa del dispositivo, y por lo tanto el volumen del globo, se investigó el uso de una batería LiPo alternativa de 7.4 V (es.rs-online.com, 2023) con uno o dos reguladores de 5 V, además de porque las baterías adecuadas no estaban disponibles en aquel momento; aunque por tal y como estaba diseñada la PCB podría suponer perder la habilidad de cargar todas las baterías mediante la placa solar, y por las necesidades de los motores y convertidores se tuvo que realizar un modelo híbrido en el que los motores utilizaban directamente una Powerbank de 5 V mientras que el resto del circuito utilizaba baterías de litio de 3.7 V (SIM800H) o la batería de 7.4V con regulador de 5 V. Estos componentes fueron incorporados el 14 de junio de 2023.

5. Herramientas Software utilizadas:

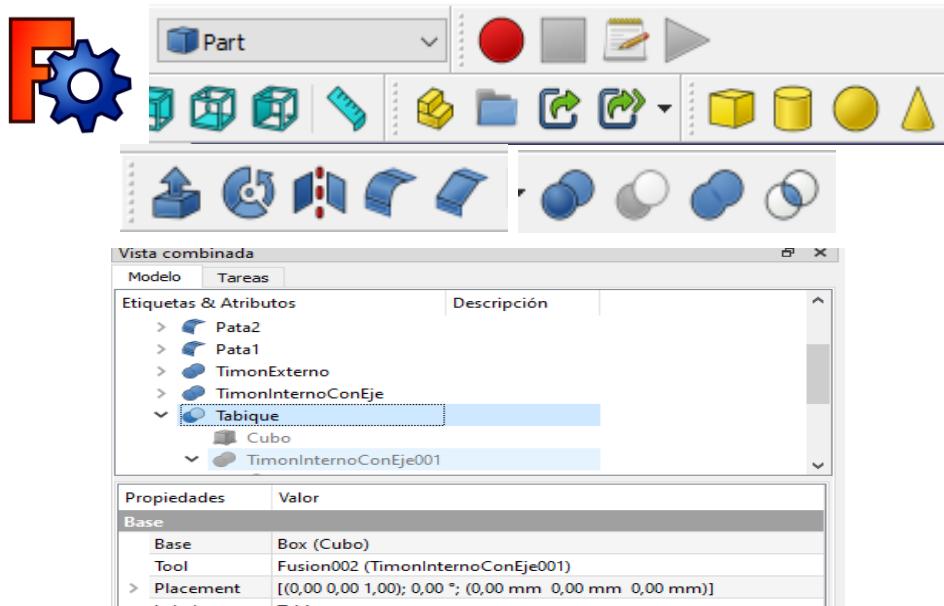
Por favor, nótese como no se incluye *Thingsboard Demo* en esta sección por ser más una plataforma puramente online a propósito del PFG, que una aplicación SW; ni se menciona SW ofimático como el Word, ni herramientas que solo se llegaron a usar 1 vez y para algo superfluo, como MatLab (solo empleada una vez para verificar fórmulas) ni herramientas externas no utilizadas por el alumno para editar y solo para visualizar (como Autodesk).

5.1. FreeCad

Freecad es una herramienta libre y gratuita de diseño 3D muy popular en el mundo de la impresión 3D, en el que las piezas se encuentran ordenadas en una jerarquía, visible en el panel de vista combinada. Dicho panel se puede utilizar para alterar las propiedades de los objetos, como su posición, o en algunos casos, su forma, giro y dimensiones. Aunque esta herramienta posee una amplia gama de herramientas y planos de vista, nos centraremos en los utilizados para este proyecto, que es la vista Part y PartDesign en FreeCad 0.20.1, empleada para el modelo CSG, o diseño de piezas a través de primitivas.

Así, el primer paso en la creación de los objetos consiste en utilizar la herramienta CreateSketch de PartDesign con el fin de generar un plano al que luego se le realizarán operaciones para convertirlo en el objeto 3D deseado (la herramienta de sketch y creación de forma 3D son la del papel con círculo y rectángulo rojos, y la que se encuentra a su izquierda; herramientas de extrusión y revolución de sketches, visibles en las figuras 99 y 100), o bien crear un objeto 3D básico (iconos amarillos de cubo, esfera y cilindro son muy populares) que se modificará con dichas operaciones, en nuestro caso, Revolución, Redondeo y Booleanas han resultado ser las más utilizadas. Posteriormente se seleccionan las figuras que nos interesen y se exportan a formato stl.

Abajo se muestran, de izquierda a derecha y de arriba abajo, el icono de esta aplicación (Bejant, 2023), algunas de las operaciones básicas de creación y medición de objetos mencionadas en Part, más herramientas de edición de objetos y sketches, operaciones booleanas y el panel de vista combinada.



Figuras 94, 95, 96, 97 y 98: ícono del FreeCAD (Bejant, 2023); algunas operaciones del panel Part; panel vista combinada.



Figuras 99 y 100: panel del PartDesign.

5.2. GitHub/Git

Git (con su conocidísimo icono, visible en la figura 101 (Git, 2022)) es una plataforma de control de versiones entre múltiples repositorios locales y una serie de repositorios remotos común, utilizada por su versatilidad y la familiaridad que muchos usuarios de herramientas similares tienen con ella. Aunque tiene diversos comandos y se puede ejecutar por GUI, los únicos de uso común que nos interesan por haber sido utilizados en el proyecto son los siguientes, utilizados por la *Bash* (que es case-sensitive):

- `git clone <URL>` | este comando es una de las formas de poder crear un nuevo repositorio local a partir de uno remoto según la URL, copiada del *GitHub*.
- `git pull` | Te trae los cambios del repositorio remoto, respetando tus cambios guardados con `git add` y tus cambios del commit. En trabajos en equipo es muy recomendable ejecutar éste antes de comenzar a trabajar para evitar conflictos de versiones.
- `git add -A` | esta instrucción indica que se guarden todas las modificaciones realizadas en nuestro repositorio local, sirve como paso anterior al commit y para prevenir que al traer cambios del repositorio remoto estos sobreescriban los nuestros. Si en vez de -A se pone el path a un archivo, solo se aplicará a dicho archivo.
- `git restore <archivo>` | Restaura un archivo específico a la última versión del repositorio remoto con la que te sincronizaste, borrando tus cambios no guardados. Se debe indicar el path relativo al archivo.
- `git commit -m "<mensaje>"` | Permite que los cambios guardados se metan en una “versión”, esto se puede hacer para subirlos al repositorio remoto, cambiar de rama con seguridad o permitir retroceder a una versión anterior en caso de que la hubiéramos pifiado y guardado cambios erróneos. El mensaje en nuestro trabajo solía referenciar el progreso realizado o fecha.
- `git push` | actualizar el repositorio remoto con nuestros cambios.
- `git log` | te permite ver todos los commits en tu repositorio local, que están identificados por una id. También indica cuál de ellos es el head para tu repositorio local y remoto; como se puede ver en la figura 103 . Para salir, presiona la letra q. Se utilizó para una vez que querímos saber el hash de un commit a revertir.
- `git reset –hard <id del commit>` | Permite retroceder tu repositorio local a un commit anterior.
- `exit` | cierra la consola de forma limpia.

Ejecutando todos esos comandos mencionados (menos el clone, restore, log, reset y exit), en ese orden, se pueden mantener el repositorio remoto y los locales actualizados de forma coherente y a distancia.

Con respecto a los commits, hay dos limitaciones: la primera es el conflicto entre commits, y la segunda es el tamaño máximo de archivos. En caso de conflictos de versiones que git/GitHub no pueda solucionar (algo que puede ocurrir tanto con git pull como con git push), nos pedirá corregirlo manualmente, indicando mediante una cadena de símbolos fácilmente reconocibles donde se halla el conflicto. Dichos conflictos deben ser resueltos y un nuevo commit debe ser creado con los cambios aplicados. Con respecto al tamaño máximo de archivos, si un commit o archivo individual sobrepasan cierto peso, entonces dicho commit falla en ser subido al repositorio remoto, aunque permanecerá en tu local. En el caso de la consola de comandos de Git y la Git GUI, la plataforma solo acepta un máximo de 2 GB por commit, y que los cambios en archivos individuales sean menores de 100 MB (por lo tanto, archivos indivisibles superiores a ese tamaño no se pueden subir normalmente). Afortunadamente para nosotros, ninguno de nuestros archivos han sido mayores de 100MB en un inicio y no ha habido commits tan grandes, pero incluso si sucedieran, hay dos maneras de sortear este hándicap: la primera es si el archivo o commit son divisibles, crear un commit con un fragmento del archivo/commit inicial; para luego subirlo y proceder a subir los fragmentos de archivo/commit restantes; mientras que la segunda es instalar la extensión Git for Large Storage (GFS, figura 102, (Git LFS, 2023)) que permite almacenar hasta un total de 2 GB de archivo. Una vez instalado, se asocia a la cuenta mediante el comando “git lfs install”, tras lo cual podemos simplemente indicar cuáles archivos debe seguir la extensión con el comando “git lfs track <archivo>”. El único inconveniente de git LFS es que como debe guardar también versiones de dicho archivo, cambios en este suponen un consumo adicional del mínimo gratuito, y si dicho

límite se rebasa en más de un 150%, esta función se desactiva para la cuenta a menos que se pague por el espacio adicional ocupado por dichas versiones.

Como se puede ver en la figura 104, la parte desde el navegador web, *Github*, nos permite visualizar dichas versiones además de su historia mediante una serie de menús de manera amigable para el usuario, así como regular permisos de edición y visibilidad del repositorio remoto, entre otras características. También permite realizar commits de manera más sencilla para archivos individuales, aunque tiene un límite de 25 MB de cambio como máximo.

Cabe mencionar que para ambas plataformas es necesario como mínimo estar registrado para poder pasar los cambios a un commit.



Figuras 101 y 102: Iconos de git y GitLFS.

The screenshot shows a terminal window and a GitHub repository page for the same project. The terminal window displays the command-line history, including several commits made by the user 'tardisfromtornspace'. The GitHub page shows the repository's structure, including files like 'Chasis3D', 'Esquematicos', and various JSON and ZIP files. It also displays statistics such as 40 commits, 0 stars, 1 watching, 0 forks, and 0 packages published.

```
MINGW64:/c/ASL/Universidad/4to_curso/TFG/Github/TFG-AspiradO3
commit 99f0e4180b88d94dee6a12da5b58db95a4fc5c06 (HEAD -> master, origin/master, origin/HEAD)
Author: tardisfromtornspace <andromedavirgoa@gmail.com>
Date:   Tue May 9 14:40:32 2023 +0200

    9 mayo 2023

commit e3a0f4f80e667e7edc80ef1967652984dd0b7b62
Author: tardisfromtornspace <andromedavirgoa@gmail.com>
Date:   Mon May 8 13:11:42 2023 +0200

    Lunes 8 Mayo 2023
```

GitHub Repository Page:

- Code: master, 1 branch, 0 tags
- Issues: 0
- Pull requests: 1
- Actions: 0
- Projects: 0
- Wiki: 0
- Security: 0
- Insights: 0
- Settings: 0
- Go to file: 99f0e41, 20 hours ago, 40 commits
- Add file: +
- Code: ▾
- About: No description, website, or topics provided.
- Readme: 0
- Stars: 0
- Watching: 1
- Forks: 0
- Star: 0
- Follow: 0
- Code: ▾
- Commits: 40
- Contributors: 1
- Releases: No releases published. Create a new release
- Packages: No packages published. Publish your first package
- Languages: Assembly 42.2%, CMake 30.4%, C 21.6%, C++ 5.1%, Python 0.6%, Makefile 0.1%

Figuras 103 y 104: Git Bash y GitHub desktop.

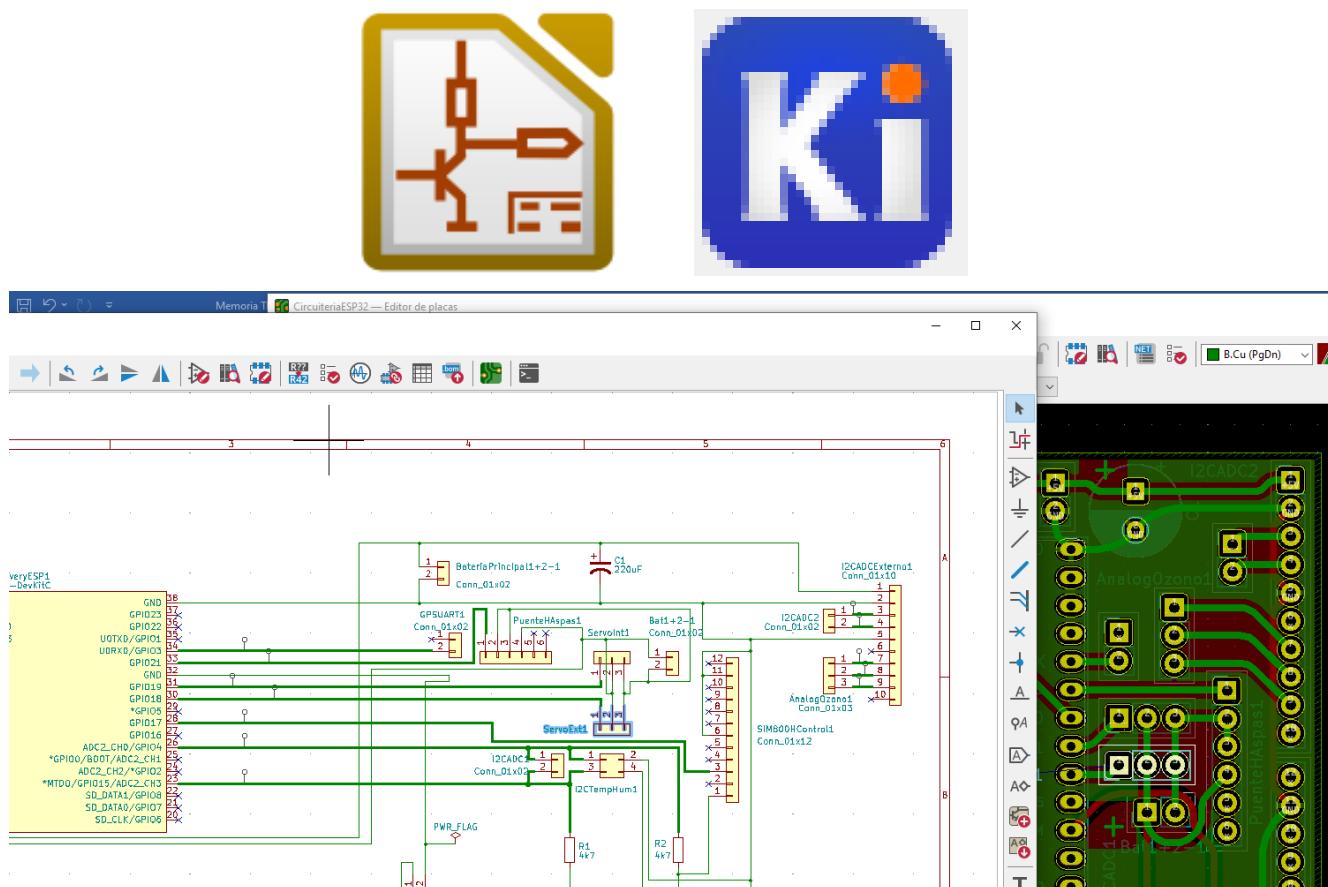
5. Herramientas Software utilizadas

5.3. Kicad

Kicad es un conjunto de herramientas de software libre y gratuito para el diseño electrónico, de ahí el atractivo para la selección de esta herramienta. Entre ellas, destacan el editor de esquemas, el editor de símbolos (para cuando por lo que sea se necesiten de símbolos personalizados), el editor de huellas (imprescindible para pasar del esquemático al PCB, asignando el componente físico al símbolo esquemático), el editor de placas, el visor Gerber (dónde se pueden ver los resultados a imprimir en ese formato), las herramientas de cálculo (útiles para calcular el grosor necesario para que la placa conductora funcione con parámetros óptimos), un conversor de imágenes (utilizado para introducir el logo en la placa) y el administrador de complementos.

Algunos de los motivos no mencionados por los que Kicad era tan atractivo son que tanto el esquemático como el PCB tienen un sistema de comprobación de reglas eléctricas y de diseño (botón de lista con un tick blanco sobre círculo rojo), un sistema de visualización refleja entre símbolos del esquemático y símbolos en la PCB (apreciable en la figura 107), y permiten redondear pistas para reducir corrientes de fuga y problemas a altas frecuencias; lo que ayuda notablemente en la automatización. La cantidad de tutoriales y familiaridad con esta herramienta fueron un factor decisivo.

Inicialmente utilizamos Kicad 5.0 (Figura 105, (Kicad EDA, 2023)**105105105**), pero debido a que la librería de huellas de la ESP-32 descargada no era compatible con una versión tan antigua, procedimos a actualizar a la última versión disponible de Kicad en aquel momento que la soportase, KiCad 7.0 (Figura 106, captura de elaboración propia).



Figuras 105, 106 y 107: Icono de Kicad 5.0 (izquierda) vs Kicad 7.0 (derecha). Reflejo esquemático-PCB.

5.4. Ultimaker Cura

Ultimaker Cura es uno de los software gratis de impresión 3D más conocidos, transformando objetos de gran variedad de formatos 3D y 2D (incluso algunos formatos comprimidos y archivos de proyecto) en planes de impresión para las distintos tipos de impresoras. En el caso específico de este proyecto, la importación del archivo .stl generado por el FreeCad y su transformación en formato .gcode. Por motivos de seguridad las versiones más recientes recopilan datos como el tipo de máquina donde se ejecuta, el material usado, etc.

Debido a la gran variedad de tipos de impresoras 3D, es siempre necesario configurar cuál utilizar. La primera vez preguntará si es de Ultimaker o no, para luego abrir un menú dónde se dará la opción de conectar por red a la impresora o si en cambio emplear métodos más tradicionales. En el caso de este proyecto, se optó por seleccionar una Artillery Sidewinder X1, la más parecida a la Artillery Sidewinder X2 (con el mismo formato de impresión) que es la impresora de mayores dimensiones disponible en los laboratorios; sin conexión a red.

Tras ello se ajusta el extrusor y las dimensiones de la impresora acorde a la X2, que en este caso coincidían con la X1; y se creó un perfil de relleno del 10%, con bordes de 2 mm de grosor, con soporte en todas las partes que lo requiriesen, así como crear una zona plana bajo los objetos que sea fácil de recortar más tarde, como se puede ver en las figuras de abajo.

A continuación se muestra el ícono de la aplicación software en 2023 (Ultimaker, 2023).



Figura 108: Ícono del Ultimaker Cura.

Machine Settings

Artillery Sidewinder X1

Printer		Extruder 1	
Printer Settings		Printhead Settings	
X (Width)	300.0 mm	X min	-20 mm
Y (Depth)	300.0 mm	Y min	-10 mm
Z (Height)	400.0 mm	X max	10 mm
Build plate shape	Rectang... ▾	Y max	10 mm
Origin at center	<input type="checkbox"/>	Gantry Height	25.0 mm
Heated bed	<input checked="" type="checkbox"/>	Number of Extruders	1 ▾
Heated build volume	<input type="checkbox"/>	Apply Extruder offsets to GCode	<input checked="" type="checkbox"/>
G-code flavor	Marlin ▾		
Start G-code	<pre>G1 X2 Y20 Z0.3 F5000.0 ; move to G1 X2 Y200.0 Z0.3 F1500.0 E15 ; G1 X2 Y200.0 Z0.4 F5000.0 ; move G1 X2 Y20 Z0.4 F1500.0 E30 ; dra G92 E0 ; reset extruder G1 Z1.0 F3000 ; move z up little</pre>		
End G-code	<pre>G1 X0 Y200 F1000 ; prepare for p M104 S0; turn off extruder M140 S0 ; turn off bed G1 X0 Y300 F1000 ; prepare for p M84 ; disable motors M106 S0 ; turn off fan</pre>		

Next

Machine Settings

Artillery Sidewinder X1

Printer		Extruder 1	
Nozzle Settings		Extruder 1	
Compatible material diameter		1.75 mm	
Nozzle offset X		0.0 mm	
Nozzle offset Y		0.0 mm	
Cooling Fan Number		0	
Extruder Start G-code		Extruder End G-code	

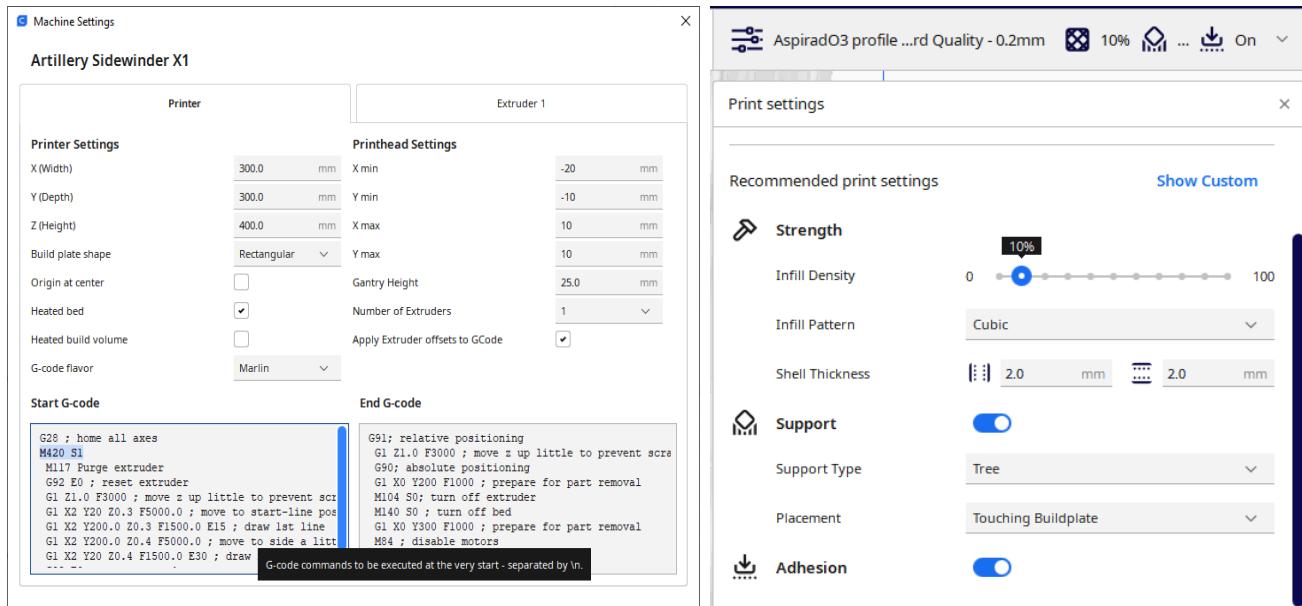
Next

Figuras 109 y 110: configuración Ultimaker para Artillery Sidewinder

Para la *Sidewinder X2*, no para la *Ender-3*, si se desea activar la autonivelación, se debe alterar la configuración de la impresora para que automáticamente el .gcode incluya la línea M420 S1 tras la línea G28, o bien alterar

5. Herramientas Software utilizadas

el .gcode manualmente para incluir dicho comando. Abajo se muestra la forma de hacerlo, con capturas de elaboración propia.



Figuras 111 y 112: Configuración para autonivelación automática.

```

*ASX1_Chasis-PrincipalBDreajustado.gcode: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

;FLAVOR:Marlin
;TIME:1943
;Filament used: 1.46956m
;Layer height: 0.2
;MINX:126.842
;MINY:131.326
;MINZ:0.2
;MAXX:171.23
;MAXY:168.696
;MAXZ:22.8
;Generated with Cura_SteamEngine 5.3.1
M140 S60
M105
M190 S60
M104 S200
M105
M109 S200
M82 ;absolute extrusion mode
G28 ; home all axes
M420 S1
M117 Purge extruder
G92 E0 ; reset extruder
G1 Z1.0 F3000 ; move z up little to prevent scratching of surface

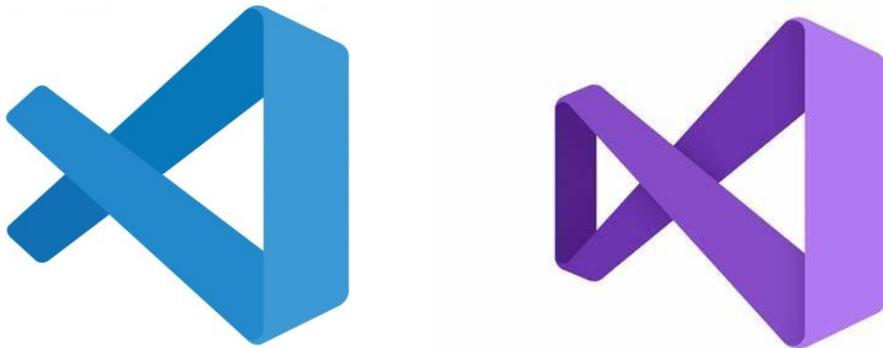
```

Figura 113: Configuración manual de .gcode para autonivelación

5.5. Visual Studio Code

Visual Studio Code (de icono de la izquierda de la imagen mostrada abajo (Microsoft, 2023)), también abreviado VSC, es una herramienta de texto enriquecido de uso extendido para edición de código “redefinida y optimizada para construcción y depuración de aplicaciones modernas de web y *cloud*” (Visual Studio Code, 2023). Para nuestro prototipo, solo fue utilizada con las extensiones para ESP-32, con el entorno IDF-ESPRESSIF instalado según la guía ESP-IDF del Moodle (Coca Maya, 2022) (se proporciona un link secundario en el *Sharepoint* en caso de caída del archivo, ver Anexo I, Link backup de la Guía ESP-IDF de instalación del entorno sobre *Visual Studio Code*).

No confundir con la herramienta *Visual Studio* (derecha de la imagen de abajo (Microsoft, 2023)), un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un ícono similar, como se aprecia en las figuras de abajo.



Figuras 114 y 115: Iconos de *Visual Studio Code* y *Visual Studio*.

Para nuestro proyecto, lo principalmente útil de esta aplicación sobre este entorno han sido las librerías y los ejemplos de código de Espressif (View -> Paleta de Comandos -> ESP-IDF: Show Example Projects), la compilación y comprobación de errores con el botón build (en la captura de pantalla visible en la figura inferior cuando se tiene la extensión para Espressif, el cilindro), la subida del programa a la placa mediante UART (símbolo del rayo o flash), y el dispositivo de monitorización ESP-IDF, también por UART en nuestro caso, con el botón en forma de pantalla de ordenador. Si las opciones adecuadas de método (la estrella en la imagen) y puerto (el símbolo del enchufe) ya están configuradas, se pueden ejecutar las tres a la vez con el botón de la llama.



Figura 116: Barra de herramientas inferior de VSC.

6. Estructura del Proyecto

El programa se escribió únicamente en C mediante *Visual Studio Code* para el entorno *Espressif ESP-32*, como desarrollo del software antecesor del proyecto *GhiFi*, aunque sí es cierto que en ocasiones se consultaron métodos de otras plataformas, como *Arduino*, para entender el funcionamiento de los módulos, así como consejo para el módulo GPS (ver agradecimientos, ciruu).

A parte de las librerías de esp-32 nativas, se utilizaron las bibliotecas de minmea y nmea_parser, para el GPS usado anteriormente. Por cómo fue realizada la comunicación I2C y la utilización de un *display* I2C para verificar suficiente suministro de corriente eléctrica al dispositivo, también se empleó una versión modificada de la biblioteca “ssd1306_i2c” con i2c_master_init diferente y toda la sección de SPI comentada.

También, para planes futuros de mejoras en seguridad en la comunicación por el protocolo HTTPS con certificados mediante http2, se dejó la librería sh2lib y se comentó el código asociado a esta en el fichero principal, aunque la versión por defecto utiliza un ejemplo para *Telegram* refinable *a posteriori*.

Abajo se listan todas las librerías utilizadas para el firmware de nuestro dispositivo. Nótese que el que una librería se mencione en un segmento no significa que no fuese utilizada en otro (p.ej. esp_event.h):

```
/* Librerías básicas, wi-fi y servicios de servidor https */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#include <esp_wifi.h>
#include <esp_event.h>
#include <esp_log.h>
#include <esp_system.h>
#include <nvs_flash.h>
#include <sys/param.h>
#include "esp_netif.h"
#include "esp_eth.h"
#include "protocol_examples_common.h"

#include <esp_https_server.h>
#include "esp_tls.h"

/* De los motores e I/O básico en general */
#include "driver/gpio.h"
#include "led_strip.h"
#include "sdkconfig.h"
/* Para servomotores en particular */
#include "driver/mcpwm.h"

/* Del ADC específicamente */
#include "driver/adc.h"
```

6. Estructura del Proyecto

```
#include "esp_adc_cal.h"

/* Del reseteo de fábrica y OTA (over the air) */
#include "esp_partition.h"
#include "esp_https_ota.h"
#include "esp_ota_ops.h"
#include "esp_log.h"

/* MQTT */
#include "lwip/sockets.h"
#include "lwip/dns.h"
#include "lwip/netdb.h"

#include "mqtt_client.h"

#include <stdint.h>
#include <stddef.h>
#include "esp_wifi.h"
#include "esp_system.h"
#include "esp_event.h"

/* Para programación concurrente y por eventos y tareas */
#include "freertos/FreeRTOS.h"
#include "freertos/task.h"
#include "freertos/semphr.h"
#include "freertos/queue.h"

/* Para crear un JSON */
#include "cJSON.h"

/* Para I2C */
#include "driver/i2c.h"
#include "driver/spi_master.h"

/* Para comunicación UART */
#include "driver/uart.h"
```

```
/* Para el módulo GPS */
#include "nmea_parser.h"
#include "minmea.h"

/* Para mensajes y operaciones genéricas */
#include <string.h>
#include <math.h>

/* Librerías para extensión de seguridad y extras para Telegram (plan futuro)
#include <sys/time.h>
#include "lwip/apps/sntp.h"
#include "sh2lib.h"
```

Con respecto a la estructura del proyecto, se puede dividir en dos secciones según lo almacenado en *GitHub* y en el *Sharepoint* de la universidad:

- Sección *Sharepoint*: los resultados se hallaban compartidos en un *Sharepoint* perteneciente al antiguo grupo SBC22M01 (del que el autor de la obra es responsable) puesto que el desarrollo de este PFG fue la evolución de ese proyecto (llamado “GhiFi”). Es en esta carpeta dónde se hallan la mayoría de archivos pesados que el *GitHub* no puede soportar, como son todos los vídeos de pruebas, algunos gcode de impresión, etc., y una copia del anteproyecto en Word y esta memoria, en Word y PDF.
- Sección *GitHub*: en esta se guardaron la mayor parte de los archivos asociados, por la comodidad de la plataforma:
 - Chasis3D: es dónde se almacenan todos los ficheros relacionados con el modelo impreso en 3D: tanto el Chasis en formato .FCStd de FreeCad, como en los formatos .stl, .3mf de Ultimaker Cura y los .gcode de impresión, así como una propuesta de chasis mejorado en .f3d de Autodesk.
 - Esquemáticos: en este directorio se localizan todos los archivos relacionados con la PCB, bajo la subcarpeta “CircuiteriaESP32”:
 - Raíz del proyecto: “CircuiteriaESP32.kicad_pro”
 - Esquemático: “CircuiteriaESP32.kicad_sch”
 - PCB: “CircuiteriaESP32.kicad_pcb”
 - Diversos archivos Postscript, Gerber y de taladrado (.ps, .gbr, .drl) para la impresión de la PCB.
 - Archivo de logo personalizado de la ETSISI: logo.pretty.
 - Algunas carpetas de backups generadas automáticamente por Kicad 5.0 y 7.0.
 - Archivo comprimido “CircuiteriaEsp32.zip” de capas a enviar al tercero que imprima la placa.
 - Kicad-libraries-main: incluye las huellas personalizadas del ESP32.
 - OTA: SW utilizado como programa de actualización *Over the Air*, toma la versión del firmware y la url según el token de dispositivo grabado en la memoria de la placa, pide por MQTT la url de descarga y la versión que tiene el *Thingsboard*, y si la versión de la placa está desactualizada, procede a iniciar Wi-Fi una comunicación HTTP para descargar el nuevo firmware.
 - Un readme que resume el objetivo del proyecto.

6. Estructura del Proyecto

- Múltiples .json con los widgets, paneles y reglas del *Thingsboard*, tanto las originales como las modificadas.
- Firmware del proyecto: bajo la carpeta “simple” se incluye el código con la aplicación real que la ESP-32 utilizará. En esta lista, se incluyen (naturalmente, a pesar de ser necesarios, se omite la mención detallada a los diferentes sdkconfig ajustados a la placa):
 - Componente sh2lib, ya mencionado.
 - Componente ssd1306 – alterando el ssd1306_i2c por las razones mencionadas anteriormente.
 - minmea.c y minmea.h – utilizados para el GPS, tomando la cadena de texto de la UART y buscando los patrones que indican la trama GPS, así como reconocer el tipo de trama, dejando la cadena parseada para la aplicación principal.
 - nmea_parser.h y nmea_parser.c – originalmente utilizados para el GPS en su totalidad, ahora solo se usan para refinar la entrada y salida del minmea de forma más estructurada.
 - Certificados de HTTP y http2: solo los utilizan el main.c y el componente sh2lib para su comunicación mediante dichos protocolos, aunque se usan de forma minoritaria en la versión actual. Referenciados por el archivo “component.mk”, así como el “CMakeLists.txt” a altura del main.
 - Kconfig.projbuild, incluye algunas configuraciones de NMEA, así como el PIN, la APN, el token MQTT y nombre del Campus de la Universidad por defecto utilizados en el prototipo y que luego se aplican al sdkconfig.
 - Componente main.c: el fichero que contiene al programa principal, así como un gran número de funciones auxiliares. Sigue la estructura include (incluyendo además las bibliotecas mencionadas anteriormente)->define->variables globales->subrutinas y tareas->bucle principal; pero se puede dividir en ciertas partes importantes para cada funcionalidad final:
 - **Secciones Comunes:** principalmente dedicadas a almacenar diversas variables comunes que múltiples secciones utilizan, como es la concentración de ozono, la lectura del voltaje solar recibido o diversos elementos de control de ejecución de tasks, como los semáforos; para la depuración del código (incluyendo comprobación de alimentación adecuada mediante el display); y el propio main; que primero llama a las inicializaciones de los pines básicos de input-output y pwm, el ADC interno del ESP-32, el I2C y la calibración del ADC interno, la inicialización del semáforo de control de envíos GSM/Wi-Fi, para luego iniciar la conexión Wi-Fi y HTTP, el cliente MQTT, la UART y sus tareas de recepción y transmisión, y enciende el motor de las aspas. Una vez se ha realizado esto procede a calibrar los sensores de ozono, esperando 17 ciclos estables para cada sensor, y finalmente procede a un bucle infinito, en el que comprueba si se le ha ordenado resetear a la partición de fábrica, lee el valor del panel solar del ADC interno, lee las lecturas de temperatura y humedad del módulo I2C, obtiene las lecturas que el I2C ADC ha recogido de los tres sensores de ozono, ajusta las lecturas según la calibración y las variaciones de temperatura y humedad, y según estos datos más cualquier dato que el GPS haya podido recibir, corrige el rumbo alterando al señal PWM que envía a los timones; para posteriormente tratar de enviar la información por MQTT. Si la conexión Wi-Fi está desconectada o detecta un error en el protocolo MQTT, no lo enviará, y otra sección dejará pasar al semáforo para que la tarea de transmisión de la UART pueda mandarlas por GSM.
 - **Secciones I2C:** configuran los sensores I2C básicos como nuestros sensores de temperatura y humedad, el I2C ADC y el display de prueba que el programa

- principal llamará. Cabe indicar el detalle de que para los módulos utilizados no hacia falta una configuración previa antes del bucle principal.
- **Sección calibración ozono:** de pequeño tamaño pero importante, ajusta los valores de los sensores de acuerdo a circuitos ideales, así como curvas de temperatura y humedad dadas al ser llamada por el programa principal.
 - **Secciones ADC:** se simplificó el uso del único módulo ADC disponible a la vez que el Wi-Fi, indicando en los anexos las secciones relativas a guardar las variables interesadas, así como la calibración. Sin embargo, y como ya se mencionó, la lectura en sí la realiza el bucle del programa principal.
 - **Secciones MQTT:** su papel es comunicarse de y hacia el servidor *Thingsboard Demo* (demo.thingsboard) utilizando el protocolo MQTT, aunque la función de recepción solo es empleada por la OTA. Aparte de la propia inicialización, se puede ver su uso al final del programa principal, siendo la encargada de transformar los datos de las lecturas de los sensores en un JSON que se envía al panel mediante este protocolo.
 - **Secciones HTTP del servidor básico:** estos soportan una página web básica accesible por red de área local (en este caso cualquier red SBC con la misma contraseña) que muestra los datos que se envían al *Thingsboard*; refrescándose cada 10 segundos; y también proporciona acceso a un botón para reiniciar la ESP32 a la partición de fábrica. Esta sección también se encarga de detectar si la red Wi-Fi se ha desconectado en forma de un evento de desconexión, y alzar el semáforo acorde para permitir que la sección del GSM haga su papel. Acidionalmente, se ha estudiado mejorar esta sección con protocolos más seguros, por lo que la sección http2, aunque no utilizada actualmente, se ha dejado comentada.
 - **Secciones de retorno a valores de fábrica:** su papel es retornar a la sección que tiene el software de la esp32-ota para que busque actualizaciones.
 - **Secciones de transmisión UART y GPS/GSM:** son dos tareas encargadas de la transmisión y recepción de tramas por el protocolo UART, en este caso por la simplicidad de las comunicaciones requeridas en las que no se requiere que uno responda al otro, la tarea de recepción se encarga mayoritariamente de recibir las tramas GPS, dárselas al módulo minmea y obtener la información de posición, altura y velocidad, mientras que la tarea de envío se encarga exclusivamente de la sección del protocolo GSM, enviando los comandos en la secuencia necesaria para que el SIM800H envíe los datos a la API HTTP de *Thingsboard* en ausencia de red Wi-Fi, deteniéndose en un semáforo a la espera de que la conexión Wi-Fi caiga. Una vez termina la comunicación, indica al resto del programa que ya no está en ello, por lo que la sección HTTP podrá levantar de nuevo el semáforo más tarde y el programa principal enviar sus datos.
 - **Sección de motores:** su papel es iniciar la configuración del motor mediante un simple GPIO conectado a un puente H y de los dos servos mediante señales PWM ajustadas para permitir una amplitud total de 180 (para el timón externo) y 90 (para el timón interno), que serán regulados por el programa principal.
- Una copia de este documento, en formato .docx
 - Un manual de uso, también en formato .docx
 - Una presentación del proyecto, en formato .pptx
 - Carpeta auxiliar para otros archivos misceláneos, incluyendo archivos genéricos para imágenes de Papyrus y StarUML elaboradas específicamente para mejor comprensión.

6. Estructura del Proyecto

- Diagrama de casos de uso en StarUML (visible en la sección de Especificaciones y Requisitos de esta memoria), en el que se observan los operadores y usuarios principales: cliente *Telegram*, cliente HTTP y los usuarios de *Thingsboard* –téngase en cuenta que en el prototipo para mejor revisión y comprobación de funciones por parte del jurado, se ha dado el link del panel directo con ciertos privilegios para la OTA.
- Diagrama de bloques visible en la sección de Especificaciones y Requisitos de esta memoria), indicando a relativamente alto nivel las funciones y métodos utilizados en el firmware –nótese que a nivel de implementación existen algunas diferencias.

7. Planificación del Proyecto

7.1. Planificación temporal

A continuación, se presentan la tabla relativa a la planificación ideal del proyecto según cada hito. Inicialmente, y en condiciones ideales, se estimó que 11-12 semanas serían suficientes.

Tabla 2: Diagrama de Gantt del proyecto, planificación ideal.

Hito	S. 5	S. 6	S. 7	S. 8	S. 9	S. 10	S. 11	S. 12	S. 13	S. 14	S. 15
1											
2											
3											
4											
5				*							
6											
7											

*Esta se podría realizar anteriormente pero por realismo y seguridad consideramos que esta es la fecha más prudente.

7.1. Planificación temporal

A continuación, se presenta una tabla de las desviaciones en la planificación ideal del proyecto según cada hito. Se indica en rojo secciones que fueron retrasadas y en azul aquellas adelantadas, referenciándose con un número o carácter la causa.

Tabla 3: Diagrama de Gantt de desviaciones del proyecto.

Hito	S. 5	S. 6	S. 7	S. 8	S. 9	S. 10	S. 11	S. 12	S. 13	S. 14	S. 15	S. 16	S. 17	S. 18	S. 19	S. 20	S. 21	S. 22	S. 23	S. 24	S. 25	S. 26	S. 27	S. 28	S. 29	S. 30	S. 31	S. 32	S. 33	S. 34	S. 35	S. 36	S. 37	S. 38
1																																		
2				[1]	[1]	[1]	[1]	[1]																										
3				[1]					[4]	[4]	[4]	[4]	[4]	[7]																				
4				[2]																														
5				*	[3]	[3]	[3]	[3]	[3]	[6]	[6]	[6]	[6]	[8]	[8]	[9]	[9]	[9]	[B]	[B]	[B]	[C]	[D]	[D]	[D]	[E]	[E]	[F] [G]	[G]	[G]	[G]	[G]	[G]	
6																																		
7																																		

[1] Los motores y los sensores de ozono aún no habían llegado de ninguno de los proveedores durante las dos primeras semanas, solo pudimos comprobar la parte analógica y los sensores I2C de humedad y Temperatura funcionaban. Posteriormente estuvimos esperando a que nos aceptaran la petición de la beca de sostenibilidad, y estuvimos resolviendo algunos problemas (ver sección de Construcción y Pruebas)

[2] Como [1] nos había forzado a retrasar un poco los hitos 2 y 3, y teniendo en cuenta que ya teníamos una plataforma funcional de *Thingsboard* con *Telegram*, decidimos ir implementando esa parte de antemano para evitar mayores retrasos, por lo que esta etapa se pudo terminar a tiempo, aunque algunos de los vídeos de prueba se realizaron más tarde.

[3] Aparte de esperar a ver si aceptaban nuestra beca para reducir los costes, que sería a finales de Febrero, surgió una duda con respecto a los motores que podría suponer aún mayores modificaciones al chasis final.

[4] Aunque la parte SW del sistema de sensores y GPS se había terminado a tiempo, aún quedó realizar calibraciones de los sensores de ozono, y esperar a ver si aceptaban la beca para obtener el módulo GPS/GSM SIM800, lo cual se hizo a finales de la semana 12, indicándonos que los componentes se podrían pedir a partir de la semana 13 y que podrían tardar hasta la semana 14. [

5] Una vez se aceptó la beca, procedimos a pedir materiales – se nos indicó que el filtro climatizador estaba fuera de stock y podría tardar hasta el 5 de Abril o más.

[6] Se necesitaba tener un prototipo con todas las partes completas y funcionales antes de pasar a imprimir el circuito y el chasis.

[7] Problemas de pruebas del módulo SIM800H por no disponer de alimentación adecuada nos llevaron a pedir una batería que tardó una semana más.

[8] Impresión del PCB y el chasis se fueron intercalando, así que cada vez que se ajustaba la PCB se volvían a ajustar los componentes.

[9] Los procesos de impresión de la primera versión del chasis final llevó varias semanas, sin tener en cuenta los contratiempos de dar luz verde a la impresión de piezas tan grandes y finalmente ser denegada su construcción por cantidad excesiva de plástico utilizada, procediendo a realizar la sugerencia de Alberto.

[A] Se procedió a adelantar las partes del hito 6 que fueran posibles, y se verificaron los dos primeros sub-hitos (la batería proporciona suficiente carga, y el panel solar ayuda a cargar la batería)

[B] Alberto indicó que esperara a que él diseñase e imprimiese el soporte incremental con las baterías de rs que estábamos esperando.

[C] La impresión del nuevo soporte llevó varios días, con retroalimentación constante entre Alberto y Alejandro.

[D] A la espera de retroalimentación y visto bueno de Vicente para progresar el chasis.

[E] A la espera del chasis simplificado pedido a Alberto, hubo incidencias durante el proceso relativas al uso de la impresora para necesidades más urgentes y caídas de corriente intermitentes.

[F] Norberto requirió del uso urgente de la impresora para sus clases, lo que demoró el proyecto por 2 días.

[G] El jueves 5 de Octubre de 2023, a mitad de la impresión de Norberto la impresora dejó de imprimir correctamente y saltaron virutas metálicas del raíl de la cama y ocasionando daños en dicha impresora que la dejaron inutilizable, a la espera de reparaciones por parte de la garantía y si no, por parte nuestra. Por lo tanto, la impresora no estuvo disponible hasta que tuviésemos montada una impresora de reemplazo, lo cual además sufrió retrasos porque pidieron montarla en una nueva habitación que se estaba construyendo y pintando (Aula 4210) y el extrusor de esa impresora estaba atascado. En la semana 37 pudimos imprimir un poco pero enseguida se nos volvió a atascar. Finalmente como medida excepcional decidimos considerar si presentar el PFG sin el prototipo completo

7.2. Planificación de costes

En la siguiente tabla, se presenta la lista de materiales del prototipo, tanto los costes planificados iniciales como los costes finales de éste. Haríamos uso de impresión 3D para montar el chasis así como las aspas, por lo que no se cuentan en el precio directamente. Como ya se aclaró previamente, aunque los materiales utilizados actualmente no lo requieran, el uso de motores que puedan funcionar a distinto voltaje del del microcontrolador puede suponer costes adicionales por requerir de transformadores.

Esta tabla solo presenta al proveedor/fabricante del que se obtuvo o se iba a obtener. Para ver una versión más extensa con todos los proveedores considerados, vea Anexo VI.

En amarillo se indican aquellos componentes que se incluyeron más tarde en el proceso de fabricación, y en rojo aquellos que se eliminaron del diseño final. Texto rojo tachado indica componentes utilizados en cantidades o precio distintos a los originales, con el nuevo precio o cantidad ajustados debajo. En verde se indican los que se han pagado y tenemos disponibles. En resaltado gris se indican alternativas a un producto

7.2. Planificación de costes

determinado (que no se cuentan en el precio final). Un resaltado cian en el precio significa que ha sido pagado por la beca de la UPM. Un (y.d.) significa que ya estaban disponibles entre los materiales de prueba antes de tener que pedirlos.

Tabla 4: Precios de componentes (planificación inicial y final).

Componente	Proveedor/Fabricante	Unidades	Precio sin IVA	Precio con IVA
	URL			
Procesador ESP32 AzDelivery	https://www.az-delivery.de/en/products/esp32-developmentboard	1	10,99 € (y.d.)	10,99 € (y.d.)
MikroElektronika Ozone 2 Click-MIKROE-2767	https://www.mouser.es/ProductDetail/Mikroe/MIKROE-2767?qs=1mb0lxNpo8cHSPn6LrSrWQ%3D%3D	3	42,30 * 3 €	51,19 * 3 €
Módulo ADC Adafruit ADS1015	https://www.electronicaembajadores.com/es/Productos/Detalle/LCINAD4/modulos-electronicos/modulos-instrumentacion/ads1015-convertisor-analogico-digital-adc-4-canales-12-bit-amplificador-de-ganancia-programable-adc	1	11,67 €	14,12 €
Resistencias 4k7	https://es.rs-online.com/web/p/resistencias-de-montaje-en-orificio-pasante/7078280 (707-8280)	2	0,179. * 2 €	0,217 * 2 €
Condensador 220 µF	https://www.electronicaembajadores.com/es/Productos/Detalle/COEL22725/condensadores/condensadores-electroliticos/condensador-electrolitico-radial-220-uf-25-v-105-c	1	0,107 €	0,13 €
Diodos rectificadores 1N4007	https://www.electronicaembajadores.com/es/Productos/Detalle/SMD1N4007/semiconductores/diodos-excepto-leds/1n4007-diodo-rectificador-1000-v-1-a	2	0,115 €	0,14 * 2 €
Filtro carbono activo	https://es.rs-online.com/web/p/accesorios-para-aspiradores-de-humo-de-soldadura/1234906 (123-4906, fabricado RS)	1	9,86 € (bolsa de 3) 3,287 € (ud.)	11,93 € (bolsa de 3)
Filtro HVAC	https://es.rs-online.com/web/p/filtros-de-aire-para-climatizacion/format7302921 (730-2921, fabricado RS)	1	41,28€ (pack de 10) 4,128 € (ud.)	49,95 (pack de 10)
Pilas recargables NiMh RS PRO	https://es.rs-online.com/web/p/pilas-recargables-aa/9053781 (905-3781)	6	2,724 * 6 € (y.d.)	3,296 * 6 € (y.d.)
PowerBank 5V	https://www.electronicaembajadores.com/es/Productos/Detalle/BA70003/baterias-pilas-y-cargadores/power-bank/gembird-pb05-02-power-bank-5v-5000-ma	2	9,85 * 2	11,91 * 2 €
Batería 7.4V 5.2Ah (alternativa a las 2 baterías de 5V, si no están disponibles)	https://es.rs-online.com/web/p/baterias-recargables/1449412 (144-9412)	1	38,04	46,03 €
Convertidor de corriente 5-40V a 5V 2A	https://www.electronicaembajadores.com/es/Productos/Detalle/SA31375/sistemas-de-alimentacion/convertidores-dc-dc-uso-general/convertidor-dc-dc-in-4-5-40-v-out-5-v-2-a-voltmetro-incorporado/	1	4,96 €	5,995 €

Proyecto Aspiradora de Ozono

(si se usan baterías distintas a la PowerBank 5V)				
Cables conexión USB baterías a PCB	https://www.electronicaembajadores.com/es/Productos/Detalle/CX31041/conexiones/conexiones-usb-pc-multimedia/nanocable-cable-usb-2-0-usb-a-macho-a-micro-usb-b-macho-0-8-m/ (NOTA: requieren ser modificadas para la PCB)	2	2,33 * 2 €	2,82 *2 €
Diligent Pmod GPS: GPS Receiver - 410-237	https://es.rs-online.com/web/p/kits-de-desarrollo-de-sensores/1346455 (134-6455)	1	43,97 € (y.d.)	53,20 € (y.d.)
Placa Solar 6V NOTA: se podría usar la placa que ya empleamos para el proyecto GyPhi	https://es.farnell.com/osepp/sc20050/no-of-cells/dp/2819535	1	16,00 € (y.d.)	19,36 € (y.d.)
Motores para aspas: Motor DC RS PRO, 1,5 → 3 V., 1,21 W, 8200 → 14000 rpm, par máx. 10,4 gcm, Ø de eje 2mm	https://es.rs-online.com/web/p/motores-dc/2389692 (238-9692)	3	2,48 * 3 €	3 * 3 €
Puente H L9110S	https://es.rs-online.com/web/p/complementos-de-bbc-micro-bit/2153182 (215-3182)	1	1,07 € (y.d.)	1,29 € (y.d.)
Motores para orientación: Servomotor SG-90	https://www.electronicaembajadores.com/es/Productos/Detalle/MMSV002/motores-servomotores-actuadores-lineales/servomotores/tower-pro-sg90-9g-servomotor-miniatura	2	3,04 * 2 €	3,68 * 2 €
Motores para orientación: Motor paso a paso RS PRO, 4 V, Ø de eje 6.35mm	https://es.rs-online.com/web/p/motores-dc/1805280/ (180-5280)	1	45,35 € (y.d.)	54,87 € (y.d.)
Aspas (REEMPLAZO: IMPRESO 3D)	https://es.rs-online.com/web/p/kits-de-desarrollo-de-sensores/2025501 (202-5501)	1 (ya nos dan 4 unidades por él)	53,09 € (kit completo)	64,24 € (kit completo) NOTA: Si se usa este kit los motores para aspas ya no son necesarios
Globo (Super-Pressure Balloon)	Más similar: https://www.amazon.es/ZERODECO-Decoraci%C3%B3n-cumplea%C3%B1os-Birthday-Accesorios/dp/B07KRXKD5Z/ref=sr_1_1_sspa?keywords=globos+polietileno&qid=1675095531&sr=8-1&spons&sp_csd=d2k77V0ImE7T1zcF9hdGY&nsc=1 https://www.amazon.es/ Angry-Birds-AR-1013-Air-Swimmers/dp/B009YB3IC1/ref=sr_1_5?qid=1Q72W9	1	18,33 €	22,17 €

7.2. Planificación de costes

	https://www.instructables.com/RC-Zeppelin-dirigible/			
Helio + Globo	Más similar: https://www.donglobo.com/helio-para-globos/bombona-de-helio-para-globos-013m3-sin-globos https://www.amazon.es/ZERODECO-Decoraci%C3%B3n-cumplea%C3%B1os-Birthday-Accesorios/dp/B07KRXKD5Z/ref=sr_1_1_sspa?keywords=globos+polietileno&qid=1675085531&sr=8-1-spons&sp_csd=d2lk2V0TmFtZT1zcF9hdGY&psc=1	1	24,72 € (bombona)	29,90 € (bombona)
Módulo SIM800H para GPS y GSM	https://es.rs-online.com/web/p/kits-de-desarrollo-inalambricos-y-de-comunicacion/1245474 (124-5474)	1	41,22 €	49,88 € * *Requiere de antena externa y microSD
Modulo de Expansión Diligent Pmod GPS: GPS Receiver	https://es.rs-online.com/web/p/kits-de-desarrollo-de-sensores/1346455 (134-6455)	1	30,05 €	36,37 €
Antena SMA y adaptador para SIM800	https://es.rs-online.com/web/p/antenas-gsm-y-gprs/7934376 (793-4376)	1	11,42€	13,82 €
Tarjeta SIM Móvil	https://www.lowi.es/	1	-	Lowi 7,95 €/mes (incluye precio inicial)
Batería auxiliar para módulo SIM800H, LiPo 3.7V 2400 mAh	https://www.electronicaembajadores.com/es/Productos/Detalle/BA1A3724/baterias-pilas-y-cargadores/baterias-de-polimero-de-litio/bateria-de-polimero-litio-3-7-v-2400-ma-1lp804367	1	17.65 €	21.36 €
Sensor de humedad y temperatura SHT85, 0.01 %RH, encapsulado 4 pines, interfaz Serie I2C.	https://es.rs-online.com/web/p/circuitos-integrados-de-sensores-de-temperatura-y-humedad/1826530 (182-6530)	1	47,31 € (y.d.)	57,25 € (y.d.)
Fabricación PCB	https://jlcpcb.com/ (JLCPCB en Hong Kong)	1	50 € 11.24 € Producción (+ 4 PCB) + 15,75 € Transporte	
TOTAL (inicial, excluyendo ya disponibles)				615,49 €
TOTAL (inicial)				457,294 €
TOTAL (final)				630,759 €

A continuación, se presenta la tabla relativa al coste de personal directamente involucrado en el desarrollo del proyecto (sin contar *outsourcing*), así como sus roles en éste, y el coste total del proyecto final. Para los salarios se han tenido en cuenta precios de programador junior de 19.700 € al año (Jobted, 2024) y se asume que se

ha programado durante 6 horas durante 5 días a la semana durante 13 semanas; relativa a las semanas empleadas en los hitos relativos con la programación, que la memoria y documentos aledaños relativos a esta programación también se cuentan dentro de este período, y si no, se cuentan con la mitad de ese precio; que el salario de un diseñador 3D es de 20.000 € /año (Glassdoor, 2024). En todos los cálculos se ha asumido 12 meses al año y 30 días al mes, con jornada de 8 horas, sin vacaciones, bajas, festivos ni similar; a ratio de 6,8402 €/hora de programación y 6,944 €/hora de diseño 3D.

No se han tenido en cuenta conceptos como asesoría; que el salario de un asesor/tutor en España es de 1833 € al mes (Talent.com, 2024), 7,375 €/hora, ni que se asesoraba aproximadamente 1 hora a la semana.

Tabla 5: Costes de personal del proyecto y total.

Personal	correo	Rol(es)	Horas de trabajo	Coste (€)
Alejandro Serrano López,	alejandro.serranol @alumnos.upm.es	Programador, diseño, gestión de documentación tras desviación	390 ; 72; 36*	2957,401
TOTAL (€)				3588,21

* Solo se incluye tiempo adicional no incluido en la sección de programación.

8. Impacto social, legal y medioambiental

Por una parte, a nivel social, la crisis de los dos globos chinos detectados en los EE.UU. y Canadá el pasado 3 de Febrero de 2023 (ABC, 2023) y Costa Rica (EFE, 2023) causó un gran revuelo que podría ocasionar un cierto rechazo a proyectos que involucrasen globos, dirigibles o métodos similares de mantener el dispositivo flotando en el aire, así como una normativa mucho más estricta que podría dificultar el progreso y distribución del proyecto, cuyo dron podría arriesgar a ser derribado. Por lo tanto, sería absolutamente necesario que se tuviera permiso del órgano competente para permitir su vuelo, y posiblemente una licencia de pilotaje del mismo incluso aunque fuese autónomo, haciendo la prioridad de monitorización mediante GPS imperativa. Por ejemplo, en la Unión Europea y España, al consultar con el Buzón de la AESA sobre globos (Figuras 122 y 123), su operación se encuadra “dentro del marco normativo del SERA.3140 - Apéndice 2 de la Regulación Europea de EASA” (EASA, 2023) y “el Apéndice S del RD 57/2002 en el que encontrará la clasificación y reglas generales de utilización de globos libres no tripulados” (BOE España, 2023). También indica que se aplica la normativa de los Artículos 10, 11, 12, 13 y 14 del Capítulo III del RD 1180/2018, de especial importancia el contenido del artículo 12 que establece: “Sin perjuicio de lo previsto en los artículos 10 y 11, estará sujeto a la coordinación operativa por parte de la entidad pública empresarial ENAIRE el lanzamiento de globos medianos o pesados”, por lo que esta empresa deberá coordinarse con dicha entidad pública y dirigir la solicitud con un mínimo de 10 días de antelación y a través de la [aplicación PLANEA](#) (BOE España, 2023). En todo caso, como no son tripulados, no se deberá seguir el Reglamento UE 2018/395 (EASA, 2020).

También se presenta el problema de que en España no existen muchas compañías dedicadas a la producción de globos aéreos no tripulados, como se puede ver en la figura 123. La alternativa de utilizar algunos globos inflables náuticos (NauticEXPO, 2023) o globos de polietileno de fiestas paliaría el problema en prototipos, pero supondría un aumento de carga y posibles problemas adicionales por no utilizar los materiales correctos para resistir la atmósfera.

También está el aspecto de seguridad vital obvio para todo tipo de drones (y legislado en nuestro caso según el ya mencionado Apéndice S de RD 57/2002) y es que actúen únicamente en sus competencias sin salirse de sus áreas designadas ni amenazar la vida de las personas y animales. La sugerencia dada por el tutor de mantener el dispositivo atado por algún cordel para evitar que se escapasen en el peor caso solo sería válido para una distancia corta y en el prototipo, lo que reduciría su efectividad, y en tal caso debería atarse algún tipo de pañuelo o aviso para evitar que personas y animales se enredaran en el cordel. Además, en caso de colisión sería adecuado diseñar un chasis no muy agresivo (sin objetos punzantes) y evitar que ocurra como en los aviones, donde los pájaros se introducen en el mecanismo y lo bloquean a la vez que quedan heridos o mueren – esta última parte se ha tenido en cuenta durante el refinamiento del diseño, tratando de hacer un chasis en forma de cilindro o píldora, incluyendo filtros anti-pájaro en los conductos de entrada y salida, y curvando las aristas en lo posible. En la realidad, el sistema de control futuro debe ser conforme a la legislación, de tal forma que el sistema de la vuelta si sale del área preestablecida al comienzo del vuelo.

En lo referente al aspecto medioambiental, el balance total de aspectos es positivo. La impresión del chasis sería ventajosa ya que muchos con la impresora adecuada podrán imprimir y reemplazar partes, pero los plásticos de impresión también generan residuos gaseosos, y muchos componentes electrónicos también, fundamentalmente en forma sólida, algunos tóxicos. Es por ello por lo que, para facilitar la reutilización y exportación, es deber seguir las normativas de tratamiento de residuos tóxicos, por la que todos los componentes no rebasen cierta cantidad de dichos compuestos por la legalidad ni los límites recomendados (a ser posible 0). P. ej. nuestra PCB en el diseño final debe utilizar materiales de soldadura sin mercurio ni plomo, así que el acabado HASL no debe tener plomo (Gobierno de España, 2023). Sin embargo, para la impresión 3D, la legalidad en este aspecto todavía está algo por detrás del mercado, por lo que se asumirán los estándares ISO y recomendando el filamento de plástico PLA al ser uno de los menos tóxicos, en un ambiente ventilado y que pueda tratar esos humos (ISO, 2014) (IMPRESORAS 3D, 2023) (3D Town, 2021),

8. Impacto social, legal y medioambiental

aunque existan terceros que decidan utilizar otros filamentos, de los que ni los desarrolladores de este proyecto ni la UPM serían responsables.

El uso de placas solares, aunque generan resinas epoxi tóxicas durante su fabricación, posteriormente permiten obtener energía verde durante un gran período y depender menos de otras fuentes de energía, contribuyendo a largo plazo a la reducción de emisiones. La normativa de la RAEE2 es aplicable ya que todos los generadores de corriente y voltaje están incluidos (Dirección General de Industria y la PyME, Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, Gobierno de España, 2019), especialmente si no están limitados a la investigación y empresas (aunque la normativa, para facilitar el i+D+i, no se aplica en dispositivos de investigación ni prototipos para facilitar dichas tareas; la intención final del autor es que el dispositivo sea más que un prototipo y se pueda difundir por la sociedad), aunque no es por este motivo por el que recaen en el anexo I de la Directiva 2012/19/UE ni el anexo del Real Decreto 110/2015, al utilizar dicha energía para utilización propia y ser clasificado en la categoría de pequeños aparatos porque sus medidas son de menos de 50 cm, incluyendo sus paneles solares (Dirección General de Calidad y Control Ambiental, Ministerio para la Transición ecológica y el reto demográfico, 2022).

Las baterías empleadas son de polímero de litio, que posee mejor capacidad de almacenamiento energético y menor pérdida de carga y efecto memoria que la siguiente alternativa factible, las baterías recargables de níquel e hidruro metálico (NiMh) (Unwin, 2019), lo cual para el uso continuo al que están sometidas es idóneo, reduciendo la tasa de reemplazo de baterías y reduciendo el impacto medioambiental del consumo de pilas. Sin embargo, cabe destacar que las baterías de ión litio pueden provocar incendios si se dañan por lo que se deben elegir baterías no defectuosas y protegerse en un ambiente adecuado para prevenir posibles explosiones en caso de accidente.

Esto y que según la Directiva de pilas y acumuladores, al considerar a este equipo de trabajo productores de pilas al incluir baterías en el dispositivo que necesita de corriente eléctrica o campos electromagnéticos para funcionar, significa que es necesario seguir la normativa 2012/19/UE (Diario Oficial de la Unión Europea, 2012) (Dirección General de Calidad y Control Ambiental, Ministerio para la Transición ecológica y el reto demográfico, 2022) y tratar dicho dispositivo en el marco 160213*-61 como producto peligroso de uso profesional, de tal forma que al tratar los residuos se separen las baterías del resto de dispositivo al reciclar (como se haría con los paneles solares, placa PCB y condensadores electroquímicos), que estas sean de fácil extracción sin un profesional para no tener que suministrar los costes de transporte de pilas y acumuladores y su tratamiento y trazabilidad posterior. Para facilitar todo esto e indicar que requiere de contenedores específicos, será vital el uso de etiquetas (y codificación LER-RAEE para manejo de los residuos según sus concentraciones en el producto) incorporadas al chasis de forma visible, legible e indeleble, incluyendo la del contenedor de basura tachado con un aspa (Boletín Oficial del Estado, 2015), incluyendo su versión electrónica una vez el sistema electrónico de la RAEE entre en funcionamiento. Todo lo anterior naturalmente implica que los comercializadores y productores de este proyecto estarían sujetos a los controles por parte de las autoridades de inspección de RAEE.

El módulo SIM800H puede generar ruidos de alta frecuencia durante su uso y carga, que en algunos casos pueden ser audibles para los humanos, y generar molestias, aunque este ruido es apenas perceptible comparado con el del ventilador. Habrá que tener cuidado de no acercar mascotas ni animales con oídos sensibles al módulo, y utilizar un chasis que absorba dicho ruido para reducir la contaminación acústica. Por otra parte, las antenas de este módulo y el GPS están definidas como aparatos transmisores de corriente eléctrica o campos electromagnéticos dentro de la Directiva RAEE2 y se deben seguir sus normativas de utilización y tratamiento de residuos; por ejemplo, restringirlos a las bandas de telecomunicaciones de 1600 MHz para el GPS y la banda según la legislación vigente para la red móvil (Boletín Oficial del Estado, 2020).

Debido a como hay múltiples componentes sujetos a diferentes legislaciones, se debe incluir en el informe económico actual los datos asociados a cada uno para evitar una doble financiación de la gestión.

No se han visto efectos medioambientales negativos de liberación de helio accidental en la atmósfera, ya que tiende a subir y escapar de la biosfera; aunque sí es cierto que respirar un entorno rico en helio puede ser peligroso por el mero hecho de que desplaza el oxígeno en el espacio que ocupa y por lo tanto depriva de éste, por no mencionar que el helio es algo caro y se suele obtener del gas natural, no muy verde. Existe una posible alternativa, consistente en poner un potente calentador al estilo resistencia calorífica en el interior de un globo de presión 0, lo cual ahorraría el helio, pero aumentaría considerablemente el consumo de batería, requiriendo de más baterías para compensar y reduciendo el período útil entre cargas, por no mencionar que se debería asegurar que el chasis no corriese riesgo de derretimiento en contacto con dicha resistencia. El uso de hidrógeno sería poco recomendado dada su inflamabilidad, y su uso tras este aviso por parte de terceros sin las medidas de seguridad adecuadas quedaría totalmente fuera de la responsabilidad de los creadores de este documento.

Aunque a menor escala un solo aspirador de ozono no sea suficiente, la colaboración a gran escala de múltiples unidades AspiradO₃ permitirá una monitorización y limpieza efectiva de un área determinada del ozono y otros componentes nocivos, permitiendo una gran mejora de la calidad del aire en áreas urbanas y periurbanas, y por lo tanto, de la salud y bienestar de las personas (Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030, número 3) y del ecosistema en general. Un modelo refinado permitiría mapear un área para detectar zonas con crecientes niveles de ozono y así poder realizar estudios de posibles usuarios incumpliendo la normativa. Es cierto que con el presupuesto actual podría ser algo caro de manufacturar a gran escala, pero realizando una búsqueda en otros proveedores alternativos y buscando otros componentes compatibles a menor precio reducirían el coste a valores mucho más aceptables.

Además, la versión más ambiciosa (dejada para planes futuros), en una escala similar, también favorecería a la recuperación de la capa de ozono estratosférica, contribuyendo al objetivo 13 de las ODS aún más, aunque debería investigarse una alternativa biodegradable para los globos de polietileno meteorológicos ya que la explosión del globo naturalmente genera residuos y un aumento del consumo de globos desechables podría generar un aumento de microplásticos en suspensión en la biosfera. Si se usa una alternativa de Urban Sky con ZPB reutilizables este impacto se podría reducir, aunque debido a la estanqueidad que sería necesaria para mantener el ozono contenido hasta llegar a la estratosfera, no se podría reducir a 0 (Carney, 2023). Esta alternativa también supondría, sin embargo, un mayor coste logístico.

A nivel de protección de datos, afortunadamente para el dispositivo estudiado no hay ningún dato recabado que no se quiera ocultar, los datos de monitorización se planean hacer públicos a través del link del *Thingsboard*, y la plataforma *IoT* tampoco tiene problemas con esto. Sin embargo, el uso de GSM con SIM800H tiene el problema de que la conexión no está apropiadamente encriptada y los *tokens* de acceso se podrían interceptar, que es algo que se debe corregir antes de lanzar para obtener una conexión cifrada, como poco de forma similar al http2 de Espressif, incluyendo certificados.

A nivel de difusión y propiedad intelectual, el primero queda cubierto por los artículos 105 y 99 de los Estatutos de la UPM, en los que se comprometen a contribuir a la máxima difusión de los planes y resultados. Los derechos de explotación quedan principalmente en la UPM, debido al uso sustancial de recursos de la Universidad (principalmente dinero para el HW) según el artículo 6, párrafo 2, subsección c, aunque todo el software queda declarado de código abierto (upm.es, 2017), pero se trataría de negociar para que cualquiera que fuera a explotar el producto se asegure de que las distribuidoras de AEE en las que se apoyen cumplan con la normativa: dispongan de registro y plataformas para recoger todos sus residuos cuando lo saquen al mercado y también permitan la recogida de residuos pequeños de menos de 25 cm, que permitan recoger RAEE de AEE similares al comprado al menos de forma gratuita, que no apilen los AEE de forma que haya riesgo de rotura y protejan los AEE que se vayan a reutilizar con un embalaje adecuado, justificantes de recogida adecuados junto a la entrega de cualquier AEE, que indiquen un plazo de entrega de menos de 30 días, que permitan hacer recogidas 1x1, etc., según la directiva 5.2 de la RAEE2. La responsabilidad en caso de fallo cuando se patenta con la UPM puede variar según diferentes acuerdos con su departamento legal, de tal forma que en caso de una incidencia, bien podría recaer en el programador (si es un error en el programa o

8. Impacto social, legal y medioambiental

seguridad que ocasionara una violación de la normativa), el diseñador o constructor (si hubiera algún incidente o incumpliera requisitos de construcción o tratamiento), el encargado de los derechos de explotación (la UPM) o una combinación de éstos (p.ej. si el sistema saliera de las zonas establecidas, dependiendo de si se debe a un error en el sistema de control o en los sensores de ozono).

Puede haber un problema en el aspecto de exportaciones, ya que por presentar baterías sus residuos se consideran peligrosos y por lo tanto se prohíben sus exportaciones de acuerdo con el apéndice 4 relativo a la subdirección general de residuos sobre los traslados transfronterizos de aparatos eléctricos y electrónicos y de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, de la RAEE2; por lo que para las exportaciones se debe asegurar de que las pilas pudieran entregarse por separado.

Finalmente, podría existir un potencial caso de competencia, ya que existe al menos una empresa mencionada en el apartado del estado de la técnica, High Hopes, cuyos dispositivos, aunque actualmente no se encuentran en el ámbito de recuperación de la capa de ozono y actúan de forma inversa a la nuestra (ellos tratan de traer dióxido de carbono al suelo para enterrarlo); podrían naturalmente evolucionar hacia otros gases o métodos, incluyendo el de este proyecto; o viceversa, en cuyo caso se vuelve vital que este producto posea una característica destacable superior a ellos, como podría ser un menor coste, mejor conexión o funciones añadidas, como las indicadas en el apartado de planes futuros.

9. Conclusiones y líneas futuras

Este proyecto, de diseño engañosamente sencillo e índole muy definida, ha sufrido múltiples contratiempos por falta de comunicación, transporte, averías y búsqueda de elementos alternativos. Aunque simple, tener un equipo oficial multidisciplinar de apoyo habría resultado muy útil para acelerar el progreso, como se puede ver en las desviaciones del plan de realización, un equipo integrado con las herramientas adecuadas y el material preparado probablemente lo habría terminado en un mes como máximo y sin tener que deshacer ningún progreso en fases avanzadas del desarrollo. Por no mencionar que, si se volviese a realizar el proyecto de nuevo, el tener más mentes centradas en la investigación contribuirían a un modelo más asequible y barato desde el comienzo.

Es por ello que según el éxito de este proyecto y su comercialización, se pedirá a los beneficiarios (es decir, a toda la población interesada e informada) que sugieran o realicen aportaciones para mayor refinamiento de diseños futuros, de tal forma que el prototipo se complete y éste sea aún más seguro, fiable, barato y cumpla las nuevas legislaciones que se normalicen en el mañana, de acuerdo a las políticas de código abierto, teniendo un foro o similar que facilite la comunicación y retroalimentación, y si es posible, negociar con la UPM (amparándose en el Artículo 12 de la Normativa de Protección de resultados de investigación de la UPM) los derechos de explotación para que esta invención acabe siendo de dominio público y nadie pueda hacer lo contrario, puesto que **el objetivo de este proyecto no es lucrarse o ganar fama, sino ayudar a paliar y reparar los efectos de la acción humana lo antes posible**, sin corrupción, actuando de parche. De parche para paliar y reparar, no prevenir, puesto que la cantidad de contaminantes atmosféricos y emisiones llegaron a su punto crítico en 2013 (NATIONAL GEOGRAPHIC, 2018) (Fresneda, 2013), y nuestro proyecto, a pesar de su importante aportación, es solo una de las medidas a realizar, y queda mucho por hacer.

Como no se pudo terminar el prototipo, éste naturalmente carece de un sistema automático de recogida comprobado en el sistema de control, así que ese es uno de los objetivos en un plan futuro, para que tras cierto tiempo el globo vuelva al punto de origen y no se salga de las áreas designadas.

Una vez eso quede definido, y sabiendo que la ESP32 es potencialmente capaz de crear su propio Wi-Fi o conectarse a un Wi-Fi local, un mejora inmediata que me viene en mente es una alteración ligera del programa para permitir reducir la brecha digital, sirviendo de “soporte” a conexión en regiones remotas con otros dispositivos (por ejemplo, IoT) dependientes de red Wi-Fi entre sí y a la red global, aunque para cumplir con las normativas en este mundo globalizado requeriría que el dispositivo fuera muchísimo más estricto a nivel de control, manejo de grandes cantidades de datos, y seguridad informática (incluso actuando como un firewall ligero si fuese necesario) con el reemplazo de algunos componentes como en SIM800 por modelos más recientes como el SIM900 más recientes que soportan SSL plenamente; y con tal de que cumpliera las normativas de protección de datos, como la LGPD; y para prevenir que se tratara de reiniciar la OTA de forma maliciosa en vuelo (algo no muy probable ya que se requeriría estar cerca del dispositivo con la red adecuada, pero tal y como vimos y consideramos para el prototipo, la OTA no es capaz de tomar el firmware de forma remota sin conexión Wi-Fi). Y en la versión a gran escala también cambiaría a otra plataforma de mejores capacidades que *Thingsboard* demo.

A nivel de hardware, y de forma mucho más asequible, existe la opción de reacondicionar el sistema para sensores calibrados para VOCs, CO u óxidos de nitrógeno, mencionado en apartados anteriores. No solo no requerirían de un gran cambio en SW y con alteraciones mínimas en la plataforma IoT, sino que en todo nuestro tiempo buscando sensores alternativos, los sensores de VOC y NO_x suelen tener un mejor índice calidad-precio; particularmente problemático en los sensores de ozono, donde aquellos baratos y aptos para prototipado son sensores electroquímicos con una rápida tasa de degradación de lecturas, y el siguiente nivel de opción de mejora prevista, los considerablemente más fiables receptores de absorción/emisión espectrográfica, suponen una barrera para probar prototipos. Afortunadamente, por como hemos diseñado la PCB, es simple conectar más módulos que respondan por I2C en cualquiera de los dos casos y el abanico de opciones no es tan limitado. Sin embargo, debido a como el ESP-32 y esp-idf tienen funcionalidades limitadas

9. Conclusiones y líneas futuras

(p.ej. ADC interno no muy fiable, la compatibilidad con *clock stretching* es reducida (almoondsllc, 2020)), es posible que por estos cambios o mejoras sea necesario estudiar otras alternativas de dispositivos de control y entornos de programación.

En el caso de proseguir con el plan de ozono, por supuesto permanecería vigente el ambicioso plan futuro de transportar el ozono troposférico a la estratosfera, mediante un sistema que filtre el O₃, lo almacene en bolsas o un formato compatible con el transporte de dicha sustancia, para posteriormente ser enviado como la carga de un globo meteorológico, usando el mismo concepto que éste, para expandirse y reventar por la diferencia de presión al llegar a las capas altas de la atmósfera y proporcionar más ozono a la estratosfera. Para la cual, de nuevo, sería muy útil tener un equipo para cubrir los planes logísticos. También requeriría de la utilización de materiales más resistentes que los del prototipo actual, aunque simplemente fuera para que el globo meteorológico explotase al llegar al nivel adecuado.

Anexos

Referencias

BIBLIOGRAFÍA:

- 3D Town. (1 de 3 de 2021). *3dtownplus.com*. Obtenido de 3dtownplus.com: <https://3dtownplus.com/blog/plastico-pla-acido-polilactico/>
- ABC. (3 de 2 de 2023). *www.abc.es*. Obtenido de www.abc.es: <https://www.abc.es/internacional/china-reconoce-globo-localizado-eeuu-su-yo-aclara-20230203151308-nt.html>
- Adkins, J. (26 de 9 de 2022). *www.nasa.gov*. Obtenido de www.nasa.gov: <https://www.nasa.gov/scientific-balloons/types-of-balloons>
- airedemadrid.madrid.es. (30 de 1 de 2023). *airedemadrid.madrid.es*. Obtenido de airedemadrid.madrid.es: <https://airedemadrid.madrid.es/portales/calidadaire/es/Contaminacion-atmosferica/Contaminantes/Ozono-troposferico-O-/?vgnnextfmt=default&vgnextchannel=405e471c5c503710VgnVCM1000008a4a900aRCRD>
- ALLDATASHEET.COM. (15 de 2 de 2023). *www.alldatasheet.com*. Obtenido de www.alldatasheet.com: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/82713/ETC/C945.html>
- almoondslc. (26 de 5 de 2020). *github.com*. Obtenido de github.com: <https://github.com/espressif/esp-idf/issues/4173>
- Avispa", ". (17 de 7 de 2015). *www.madridactual.es*. Obtenido de www.madridactual.es: <https://www.madridactual.es/690285-ozono-troposferico-en-madrid>
- Bejant. (10 de 5 de 2023). *wiki.freecad.org*. Obtenido de wiki.freecad.org: <https://wiki.freecad.org/File:Freecad.svg>
- Blain, L. (28 de 9 de 2023). *NEW ATLAS*. Obtenido de newatlas.com: <https://newatlas.com/aircraft/solar-powered-airship-one/>
- BLOGADMIN. (2 de 7 de 2023). *informatecdigital.com*. Obtenido de informatecdigital.com: <https://informatecdigital.com/desarrollo/metodologia-de-prototipo-para-el-desarrollo-de-software/>
- BOE España. (24 de 5 de 2023). *www.boe.es*. Obtenido de www.boe.es: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2002-1097>
- BOE España. (24 de 5 de 2023). *www.boe.es*. Obtenido de www.boe.es: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2018-15406>

- Boletín Oficial del Estado. (21 de 2 de 2015). www.boe.es. Obtenido de [www.boe.es](https://www.boe.es/boe/dias/2015/02/21/pdfs/BOE-A-2015-1762.pdf):
<https://www.boe.es/boe/dias/2015/02/21/pdfs/BOE-A-2015-1762.pdf>
- Boletín Oficial del Estado. (21 de 7 de 2020). www.boe.es. Obtenido de www.boe.es:
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2020-8286>
- Carney, D. (4 de 2 de 2023). www.designnews.com. Obtenido de www.designnews.com:
<https://www.designnews.com/industry/stratospheric-balloons-ascend-prominence>
- Carrasco, I., Parla, R., Riñón, A., & Serrano, A. (21 de 12 de 2022). upm365.sharepoint.com. Obtenido de upm365.sharepoint.com:
<https://upm365.sharepoint.com/sites/SBC22M01/Documentos%20compartidos/Forms/AllItems.aspx?id=%2Fsites%2FSBC22M01%2FDocumentos%20compartidos%2FProyecto%2FMemoriaProyectoFinal2022%2Fpdf&viewid=5b33b9f6%2D60f0%2D4414%2Da370%2Db78287f8b2e3&parent=%2Fsites%2FS>
- Carrasco, I., Parla, R., Riñón, A., & Serrano, A. (26 de 1 de 2023). [https://upm365.sharepoint.com](http://upm365.sharepoint.com). Obtenido de [https://upm365.sharepoint.com](http://upm365.sharepoint.com):
<https://upm365.sharepoint.com/sites/SBC22M01/Documentos%20compartidos/Forms/AllItems.aspx?id=%2Fsites%2FSBC22M01%2FDocumentos%20compartidos%2FProyecto&viewid=5b33b9f6%2D60f0%2D4414%2Da370%2Db78287f8b2e3>
- Coca Maya, I. (10 de 10 de 2022). moodle.upm.es. Obtenido de moodle.upm.es:
https://moodle.upm.es/titulaciones/oficiales/pluginfile.php/10885308/mod_resource/content/15/Guia%20ESP-IDF.pdf
- condorchem envitech. (30 de 1 de 2022). condorchem.com. Obtenido de condorchem.com:
<https://condorchem.com/es/oxidacion-termica-regenerativa>
- condorchem envitech. (30 de 1 de 2023). condorchem.com. Obtenido de condorchem.com:
<https://condorchem.com/es/blog/oxidacion-termica-recuperativa/>
- condorchem envitech. (30 de 1 de 2023). condorchem.com. Obtenido de condorchem.com:
<https://condorchem.com/es/foto-oxidacion-tratamiento-cov>
- Condorchem Envitech. (30 de 1 de 2023). condorchem.com. Obtenido de condorchem.com:
<https://condorchem.com/es/blog/reduccion-catalitica-selectiva-rcs/>
- Condorchem Envitech. (30 de 1 de 2023). condorchem.com. Obtenido de condorchem.com:
<https://condorchem.com/es/denox-recovery>

CSIC. (29 de 5 de 2023). www.madrimasd.org. Obtenido de www.madrimasd.org/identifican-nuevos-mecanismos-quimicos-que-obstaculizan-recuperacion-capa-ozono

Diario Oficial de la Unión Europea. (4 de 7 de 2012). www.boe.es. Obtenido de [www.boe.es: https://www.boe.es/doue/2012/197/L00038-00071.pdf](https://www.boe.es/doue/2012/197/L00038-00071.pdf)

Diligent. (13 de 1 de 2016). digilent.com. Obtenido de [digilentinc.com: https://digilent.com/reference/_media/reference/pmod/pmodgps/pmodgps-gms-u1lp_rm.pdf](https://digilent.com/reference/_media/reference/pmod/pmodgps/pmodgps-gms-u1lp_rm.pdf)

Diligent. (1 de 5 de 2023). digilent.com. Obtenido de [digilent.com: https://digilent.com/reference/pmod/pmodgps/start](https://digilent.com/reference/pmod/pmodgps/start)

Diligent. (1 de 2 de 2023). digilent.com. Obtenido de [digilent.com: https://digilent.com/reference/pmod/pmodlvsht/reference-manual](https://digilent.com/reference/pmod/pmodlvsht/reference-manual)

Dirección General de Calidad y Control Ambiental, Ministerio para la Transición ecológica y el reto demográfico. (1 de 9 de 2022). www.miteco.gob.es. Obtenido de [www.miteco.gob.es: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/faqsraeev5_tcm30-430277.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/faqsraeev5_tcm30-430277.pdf)

Dirección General de Industria y la PyME, Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, Gobierno de España. (1 de 20 de 2019). industria.gob.es. Obtenido de [industria.gob.es: https://industria.gob.es/registros-industriales/RAEE/Documents/guia-declaracion-AEE-Anexo-III.pdf](https://industria.gob.es/registros-industriales/RAEE/Documents/guia-declaracion-AEE-Anexo-III.pdf)

Dirección General de Salud Pública. (1 de 12 de 2020). www.comunidad.madrid. Obtenido de [www.comunidad.madrid: https://www.comunidad.madrid/sites/default/files/doc/sanidad/samb/c_atm_o3.pdf](https://www.comunidad.madrid/sites/default/files/doc/sanidad/samb/c_atm_o3.pdf)

EASA. (4 de 3 de 2020). www.easa.europa.eu. Obtenido de [www.easa.europa.eu: https://www.easa.europa.eu/en/document-library/regulations#balloons](https://www.easa.europa.eu/en/document-library/regulations#balloons)

EASA. (24 de 5 de 2023). www.easa.europa.eu. Obtenido de [www.easa.europa.eu: https://www.easa.europa.eu/en/document-library/easy-access-rules/online-publications/easy-access-rules-standardised-european](https://www.easa.europa.eu/en/document-library/easy-access-rules/online-publications/easy-access-rules-standardised-european)

Ecologistas en Acción. (5 de 10 de 2016). zasmadrid.com. Obtenido de [zasmadrid.com: https://zasmadrid.com/zonas-rurales-y-periurbanas-las-mas-afectadas-por-el-ozono-troposferico-en-la-comunidad-de-madrid/](https://zasmadrid.com/zonas-rurales-y-periurbanas-las-mas-afectadas-por-el-ozono-troposferico-en-la-comunidad-de-madrid/)

EFE. (6 de 2 de 2023). www.abc.com.py. Obtenido de [www.abc.com.py: https://www.abc.com.py/internacionales/2023/02/06/china-da-explicaciones-a-cost Rica-por-el-incidente-de-globo-cientifico/](https://www.abc.com.py/internacionales/2023/02/06/china-da-explicaciones-a-cost Rica-por-el-incidente-de-globo-cientifico/)

- elDiario.es. (1 de 10 de 2022). [www.eldiario.es](http://www.eldiario.es/madrid/somos/consejos-precauciones-contaminacion-ozono-troposferico-madrid_1_9170774.html). Obtenido de [www.eldiario.es](http://www.eldiario.es/madrid/somos/consejos-precauciones-contaminacion-ozono-troposferico-madrid_1_9170774.html): https://www.eldiario.es/madrid/somos/consejos-precauciones-contaminacion-ozono-troposferico-madrid_1_9170774.html
- es.rs-online.com. (7 de 6 de 2023). Obtenido de es.rs-online.com: <https://es.rs-online.com/web/p/baterias-recargables/1449412>
- espboards. (28 de 3 de 2023). www.espboards.dev. Obtenido de www.espboards.dev: <https://www.espboards.dev/blog/esp-idf-vs-arduino-core/>
- Espressif. (1 de 10 de 2022). www.espressif.com. Obtenido de www.espressif.com: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf#d
- Espressif. (16 de 2 de 2023). docs.espressif.com. Obtenido de docs.espressif.com: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/v4.3/esp32s2/api-reference/peripherals/adc.html>
- Espressif. (9 de 3 de 2023). <https://docs.espressif.com>. Obtenido de <https://docs.espressif.com>: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/peripherals/mcpwm.html>
- Espressif Systems. (16 de 2 de 2023). www.espressif.com. Obtenido de www.espressif.com: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf#subsection.29.3
- Fresneda, C. (30 de 4 de 2013). *Diario El Mundo*. Obtenido de www.elmundo.es: <https://www.elmundo.es/elmundo/2013/04/30/natura/1367316610.html>
- Future Electronics. (14 de 6 de 2023). cdn.shopify.com. Obtenido de cdn.shopify.com: https://cdn.shopify.com/s/files/1/0672/9409/files/5-40_to_5v_dc_step_down_with_display_and_usb_charger-HW-318-v6.pdf?v=1632493420
- GEW. (30 de 1 de 2023). [https://www.gewuv.com](http://www.gewuv.com). Obtenido de [https://www.gewuv.com](http://www.gewuv.com): <https://www.gewuv.com/products/ozone-filter/>
- Git. (12 de 05 de 2022). [https://git-scm.com/images/logos/downloads/Git-Logo-2Color.png](http://git-scm.com/images/logos/downloads/Git-Logo-2Color.png). Obtenido de [https://git-scm.com/images/logos/downloads/Git-Logo-2Color.png](http://git-scm.com/images/logos/downloads/Git-Logo-2Color.png): <https://git-scm.com/images/logos/downloads/Git-Logo-2Color.png>
- Git LFS. (10 de 5 de 2023). [https://github.com](http://github.com). Obtenido de [https://github.com](http://github.com): <https://github.com/git-lfs>
- Glassdoor. (16 de 1 de 2024). [https://www.glassdoor.es](http://www.glassdoor.es). Obtenido de [https://www.glassdoor.es](http://www.glassdoor.es):

https://www.glassdoor.es/Sueldos/dise%C3%B1ador-3d-sueldo-SRCH_K00,12.htm

Gobierno de España. (12 de 5 de 2023). www.miteco.gob.es. Obtenido de www.miteco.gob.es: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/productos-quimicos/mercurio/normativa_mercurio_2.aspx

Gobierno de la Rioja. (30 de 1 de 2023). www.larioja.org. Obtenido de www.larioja.org: <https://www.larioja.org/medio-ambiente/es/calidad-aire-cambio-climatico/calidad-aire/ozono-troposferico/ozono-salud>

Grabianowski, E. (31 de 10 de 2019). molekule.com. Obtenido de https://molekule.com: <https://molekule.com/blog/ozone-removal-methods-filters-to-use-in-your-home/>

Hadji, Y. (17 de 2 de 2023). makezine.com. Obtenido de makezine.com: <https://makezine.com/projects/auto-return-parachute-comes-back-to-the-launch-site-every-time/>

Holgado, R. (15 de 5 de 2021). <https://www.20minutos.es>. Obtenido de https://www.20minutos.es: <https://www.20minutos.es/tecnologia/actualidad/tecnologia-por-el-futuro-del-planeta-high-hopes-usara-globos-estratosfericos-para-la-captura-directa-de-co2-en-el-aire-4691861/>

How To Electronics. (2 de 3 de 2020). youtube. Obtenido de youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=aYQKJFromXs>

IMPRESORAS 3D. (15 de 5 de 2023). imprint3d.net. Obtenido de imprint3d.net: <https://imprint3d.net/abs/son-toxicos-los-vapores-de-los-filamentos-de-las-impresoras-3d-pla-abs-y-consejos-de-seguridad/>

ISO. (31 de 12 de 2014). www.iso.org. Obtenido de www.iso.org: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:3167:ed-5:v1:en>

Jobted. (16 de 1 de 2024). <https://www.jobted.es/salario/>. Obtenido de <https://www.jobted.es/salario/>: <https://www.jobted.es/salario/programador>

Kazemi, P. (25 de 8 de 2022). <https://purecalculators.com>. Obtenido de <https://purecalculators.com>: <https://purecalculators.com/es/helium-balloons-calculator>

Kicad EDA. (10 de 5 de 2023). xess.com. Obtenido de xess.com: https://xess.com/static/media/uploads/blog/devbisme/2014-03-21/icon_kicad.png

Koz. (20 de 6 de 2021). www.forensicsdetectors.com. Obtenido de www.forensicsdetectors.com: <https://www.forensicsdetectors.com/blogs/articles/ozone-detector-guide>

Referencias

- Kuternowski, F., Staszak, M., & Staszak, K. (6 de 7 de 2020). www.mdpi.com. Obtenido de www.mdpi.com: <https://www.mdpi.com/2073-4344/10/7/749>
- lady ada. (28 de 9 de 2016). docs.rs-online.com. Obtenido de docs.rs-online.com: <https://docs.rs-online.com/5a70/0900766b81533fcf.pdf>
- León, F. M. (8 de 6 de 2022). www.tiempo.com. Obtenido de www.tiempo.com: <https://www.tiempo.com/ram/relampago-del-catatumbo-filtro-atmosferico-contra-el-cambio-climatico.html>
- McClure, P. (2 de 3 de 2023). newatlas.com. Obtenido de newatlas.com: <https://newatlas.com/aircraft/sailing-the-winds-stratospheric-balloons-navigate/>
- Medher. (22 de 2 de 2023). medher.cl. Obtenido de medher.cl: <https://medher.cl/limites-y-medidas-del-ozono/>
- Microchip. (28 de 2 de 2023). es.rs-online.com. Obtenido de es.rs-online.com: <https://es.rs-online.com/web/p/kits-de-desarrollo-de-convertidores-de-senales/8252543>
- Microsoft. (9 de 5 de 2023). 1000logos.net. Obtenido de 1000logos.net: <https://1000logos.net/wp-content/uploads/2023/04/Visual-Studio-Logo-2019.png>
- Microsoft. (15 de 4 de 2023). logowik.com. Obtenido de logowik.com: <https://logowik.com/content/uploads/images/visual-studio-code7642.jpg>
- MikroE. (20 de 2 de 2023). cdn1-shop.mikroe.com. Obtenido de cdn1-shop.mikroe.com: https://cdn1-shop.mikroe.com/img/product/ozone-2-click/ozone-2-click-thickbox_default-1.jpg
- MikroElektronika. (15 de 2 de 2023). download.mikroe.com. Obtenido de download.mikroe.com: <https://download.mikroe.com/documents/add-on-boards/click/ozone-2/ozone-2-click-schematic.pdf>
- NATIONAL GEOGRAPHIC. (9 de 8 de 2018). www.ngenespanol.com. Obtenido de www.ngenespanol.com: <https://www.ngenespanol.com/fotografia/se-alcanzan-puntos-criticos-del-calentamiento-global/>
- NauticEXPO. (2 de 6 de 2023). www.nauticexpo.es. Obtenido de www.nauticexpo.es: <https://www.nauticexpo.es/fabricante-barco/flotador-inflable-26173.html>
- ON Semiconductor. (1 de 2 de 2023). www.onsemi.com. Obtenido de www.onsemi.com/: <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/2n3055-d.pdf>
- Oxygen Ozone. (30 de 1 de 2023). o2-o3.com. Obtenido de o2-o3.com: <https://o2-o3.com/en/ozone/ozone-air-purifiers/>

- pcbartists. (13 de 2 de 2023). *pcbartists.com*. Obtenido de [pcbartists.com](https://pcbartists.com/design/sensors/getting-started-with-zmod4510/):
<https://pcbartists.com/design/sensors/getting-started-with-zmod4510/>
- pcbartists. (13 de 2 de 2023). *pcbartists.com*. Obtenido de [pcbartists.com](https://pcbartists.com/product/zmod4510-module/):
<https://pcbartists.com/product/zmod4510-module/>
- Philips. (30 de 1 de 2023). *www.philips.es*. Obtenido de [www.philips.es](https://www.philips.es/c-p/FY2420_30/filtro-de-carbono-activo):
https://www.philips.es/c-p/FY2420_30/filtro-de-carbono-activo
- Renesas. (30 de 6 de 2021). *docs.rs-online.com*. Obtenido de [docs.rs-online.com](https://docs.rs-online.com/6a69/A700000008632711.pdf):
<https://docs.rs-online.com/6a69/A700000008632711.pdf>
- Renesas. (14 de 2 de 2023). *www.renesas.com*. Obtenido de [www.renesas.com](https://www.renesas.com/eu/en/document/oth/renesas-software-license-terms-gas-sensor-software):
<https://www.renesas.com/eu/en/document/oth/renesas-software-license-terms-gas-sensor-software>
- rs-online. (30 de 1 de 2023). *es.rs-online.com*. Obtenido de [es.rs-online.com](https://es.rs-online.com/web/p/kits-de-desarrollo-de-sensores/1651064/?relevancy-data=7365617263685F636173636164655F6F726465723D31267365617263685F696E746572666163655F6E616D653D4931384E5461786F6E6F6D794272616E64267365617263685F6C616E67756167655F757365643D6):
<https://es.rs-online.com/web/p/kits-de-desarrollo-de-sensores/1651064/?relevancy-data=7365617263685F636173636164655F6F726465723D31267365617263685F696E746572666163655F6E616D653D4931384E5461786F6E6F6D794272616E64267365617263685F6C616E67756167655F757365643D6>
- RS-online. (6 de 3 de 2023). *es.rs-online.com*. Obtenido de [es.rs-online.com](https://es.rs-online.com/web/p/kits-de-desarrollo-de-sensores/1346455):
<https://es.rs-online.com/web/p/kits-de-desarrollo-de-sensores/1346455>
- RS-online. (8 de 3 de 2023). *es.rs-online.com*. Obtenido de [es.rs-online.com](https://es.rs-online.com/web/p/kits-de-desarrollo-inalambricos-y-de-comunicacion/1245474):
<https://es.rs-online.com/web/p/kits-de-desarrollo-inalambricos-y-de-comunicacion/1245474>
- RS-online. (9 de 3 de 2023). *es.rs-online.com*. Obtenido de [es.rs-online.com](https://es.rs-online.com/web/p/componentes-de-movimiento-para-robots-educativos/2153180):
<https://es.rs-online.com/web/p/componentes-de-movimiento-para-robots-educativos/2153180>
- RS-online. (13 de 2 de 2023). *rs-online.com*. Obtenido de [rs-online.com](https://es.rs-online.com/web/c/?pn=1&r=t&searchTerm=ozon&sortBy=price&sortOrder=asc&sra=oss):
<https://es.rs-online.com/web/c/?pn=1&r=t&searchTerm=ozon&sortBy=price&sortOrder=asc&sra=oss>
- Sánchez, J. (22 de 2 de 2019). *www.ecologiaverde.com*. Obtenido de [www.ecologiaverde.com](https://www.ecologiaverde.com/que-es-el-ozono-troposferico-y-que-efectos-produce-1860.html):
<https://www.ecologiaverde.com/que-es-el-ozono-troposferico-y-que-efectos-produce-1860.html>
- Sensirion. (6 de 12 de 2022). *sensirion.com*. Obtenido de [sensirion.com](https://sensirion.com/media/documents/4B40CEF3/61642381/Sensirion_Humidity_Sensors_SHT85_Datasheet.pdf):
https://sensirion.com/media/documents/4B40CEF3/61642381/Sensirion_Humidity_Sensors_SHT85_Datasheet.pdf
- Sensirion. (16 de 2 de 2023). *sensirion.com*. Obtenido de [sensirion.com](https://sensirion.com/products/catalog/SHT85/):
<https://sensirion.com/products/catalog/SHT85/>
-

Referencias

- SIM Com. (23 de 10 de 2013). *electronicaembajadores.com*. Obtenido de electronicaembajadores.com:
https://www.electronicaembajadores.com/datos/pdf2/lc/lcgs/lcgs004_2.pdf
- SIMCom. (23 de 10 de 2013). *electronicaembajadores.com*. Obtenido de electronicaembajadores.com:
https://www.electronicaembajadores.com/datos/pdf2/lc/lcgs/lcgs004_2.pdf
- Staquet, O. (19 de 5 de 2021). *Arduino Reference*. Obtenido de <https://referencearduino.cc>:
<https://referencearduino.cc/reference/en/libraries/mq131-gas-sensor/>
- Talent.com. (116 de 1 de 2024). <https://es.talent.com>. Obtenido de <https://es.talent.com>: <https://es.talent.com/salary?job=asesor+laboral>
- TerceraInformacion. (22 de 7 de 2022). www.tercerainformacion.es. Obtenido de www.tercerainformacion.es:
<https://www.tercerainformacion.es/articulo/actualidad/22/07/2022/continuan-los-episodios-de-contaminacion-por-ozono-en-la-region-de-madrid/>
- Thingsboard. (1 de 10 de 2022). *thingsboard.io*. Obtenido de thingsboard.io:
<https://thingsboard.io/docs/samples/esp32/ota/>
- TiendAnimal. (30 de 1 de 2023). www.tiendanimal.es. Obtenido de www.tiendanimal.es:
<https://www.tiendanimal.es/peces/filtros/material-filtrante/>
- Ultimaker. (17 de 5 de 2023). en.freedomdownloadmanager.org. Obtenido de en.freedomdownloadmanager.org: <https://en.freedomdownloadmanager.org/Windows-PC/Ultimaker-Cura-FREE.html>
- Universidad de Granada. (30 de 1 de 2023). *ugr.es*. Obtenido de <https://ugr.es>:
<https://ugr.es/~mota/Parte1-Tema01.pdf>
- Unwin, J. (15 de 5 de 2019). www.power-technology.com. Obtenido de www.power-technology.com: <https://www.power-technology.com/features/what-are-lithium-batteries-made-of/>
- upm.es. (21 de 12 de 2017). Obtenido de upm.es:
<https://https://www.upm.es/sfs/Rectorado/Legislacion%20y%20Normativa/Normativa/Normativa%20de%20Investigac/sfs/Rectorado/Legislacion%20y%20Normativa/Normativa/Normativa%20de%20Investigacion/Normativa%20protecci%C3%B3n%20resultados%20investigaci%C3%B3n.pdf>
- Visual Studio Code. (10 de 5 de 2023). <https://code.visualstudio.com>. Obtenido de <https://code.visualstudio.com>: <https://code.visualstudio.com>
- William Mark Corporation. (30 de 1 de 2023). <http://airswimmers.com/>. Obtenido de <http://airswimmers.com/>: <http://airswimmers.com/>
-

www.ee.ic.ac.uk. (9 de 3 de 2023). Obtenido de www.ee.ic.ac.uk:
http://www.ee.ic.ac.uk/pcheung/teaching/DE1_EE/stores/sg90_datasheet.pdf

Yagüe Panadero, A. (18 de 1 de 2023). www.etsisi.upm.es. Obtenido de
www.etsisi.upm.es:
https://www.etsisi.upm.es/sites/default/files/programa_propio_etsisi_2023.pdf

Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co. (1 de 5 de 2014). [download.mikroe.com.](http://download.mikroe.com/)
Obtenido de [download.mikroe.com:](http://download.mikroe.com/)
<https://download.mikroe.com/documents/datasheets/mq131-datasheet-low.pdf>

Anexo I - Repositorio **GitHub** y otros links de interés

- Link del repositorio *GitHub*: <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/tree/main>
 - Nuestra configuración sdkconfig: <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/master/simple/sdkconfig>
 - Líneas de código:
 - **Secciones Comunes:**
 - Imports:
 - <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/ae14d407ecdd0c008e15fd9d14240863b4f85842/simple/main/main.c#L10>
 - <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/ae14d407ecdd0c008e15fd9d14240863b4f85842/simple/main/main.c#L49>
 - <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/ae14d407ecdd0c008e15fd9d14240863b4f85842/simple/main/main.c#L72>
 - Defines/Variables:
 - <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/ae14d407ecdd0c008e15fd9d14240863b4f85842/simple/main/main.c#L104>
 - <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/9c015beeea98800d9a2f8081adaf6d1c723d974d/simple/main/main.c#L297>
 - Programa principal: <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/9c015beeea98800d9a2f8081adaf6d1c723d974d/simple/main/main.c#L1727>
 - **Secciones I2C básicas:**
 - Imports:
 - <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/ae14d407ecdd0c008e15fd9d14240863b4f85842/simple/main/main.c#L64>
 - Modulo ssd1306 en nuestro Código: <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/ae14d407ecdd0c008e15fd9d14240863b4f85842/simple/main/main.c#L94>
 - Defines/Variables:
 - <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/d22363e962ac82d2fbab8e1f4e9e9fc2871aac66/simple/main/main.c#L142>
 - <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/9c015beeea98800d9a2f8081adaf6d1c723d974d/simple/main/main.c#L338>
 - Métodos:
 - Iniciar I2C: <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/9c015beeea98800d9a2f8081adaf6d1c723d974d/simple/main/main.c#L765>
 - Métodos de llamada al I2C ADC y sensor de temperatura y Humedad: <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/9c015beeea98800d9a2f8081adaf6d1c723d974d/simple/main/main.c#L766>

- [AspiradO3/blob/9c015beeea98800d9a2f8081adaf6d1c723d974d/simple/main/main.c#L836](https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/9c015beeea98800d9a2f8081adaf6d1c723d974d/simple/main/main.c#L836)
- **Sección calibración ozono:**
 - Defines/Variables: <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/d22363e962ac82d2fbab8e1f4e9e9fc2871aac66/simple/main/main.c#L127>
 - Métodos: <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/9c015beeea98800d9a2f8081adaf6d1c723d974d/simple/main/main.c#L798>
- **Secciones ADC:**
 - Imports: <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/ae14d407ecdd0c008e15fd9d14240863b4f85842/simple/main/main.c#L31>
 - Defines/Variables
 - <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/d22363e962ac82d2fbab8e1f4e9e9fc2871aac66/simple/main/main.c#L241>
 - <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/9c015beeea98800d9a2f8081adaf6d1c723d974d/simple/main/main.c#L331>
 - Métodos:
 - <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/9c015beeea98800d9a2f8081adaf6d1c723d974d/simple/main/main.c#L1117>
 - <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/9c015beeea98800d9a2f8081adaf6d1c723d974d/simple/main/main.c#L1718>
- **Secciones MQTT:**
 - Imports: <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/ae14d407ecdd0c008e15fd9d14240863b4f85842/simple/main/main.c#L43>
 - Defines/Variables: <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/d22363e962ac82d2fbab8e1f4e9e9fc2871aac66/simple/main/main.c#L276>
 - Métodos:
 - <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/9c015beeea98800d9a2f8081adaf6d1c723d974d/simple/main/main.c#L1038>
 - Método mqtt_app_start, a pesar de su nombre, no es el que inicia la comunicación, solo el que envía el JSON por este protocolo <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/9c015beeea98800d9a2f8081adaf6d1c723d974d/simple/main/main.c#L1088>
- **Secciones http del servidor básico:**
 - Imports: <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/9c015beeea98800d9a2f8081adaf6d1c723d974d/simple/main/main.c#L20>
 - Métodos (incluye handlers para iniciar cuenta atrás de la OTA presionando un botón): <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG->

[AspiradO3/blob/9c015beeea98800d9a2f8081adaf6d1c723d974d/simple/main/main.c#L1469](https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/9c015beeea98800d9a2f8081adaf6d1c723d974d/simple/main/main.c#L1469)

▪ **Secciones de retorno a valores de fábrica:**

- Imports: <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/ae14d407ecdd0c008e15fd9d14240863b4f85842/simple/main/main.c#L36>
- Métodos: <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/9c015beeea98800d9a2f8081adaf6d1c723d974d/simple/main/main.c#L1689>

▪ **Secciones de transmisión UART y GPS/GSM:**

- Imports:
 - Nmea_parser en nuestro código: <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/ae14d407ecdd0c008e15fd9d14240863b4f85842/simple/main/main.c#L69>
 - Protocolo UART: <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/ae14d407ecdd0c008e15fd9d14240863b4f85842/simple/main/main.c#L91>
- Variables:
 - <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/d22363e962ac82d2fbab8e1f4e9e9fc2871aac66/simple/main/main.c#L210>
 - <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/9c015beeea98800d9a2f8081adaf6d1c723d974d/simple/main/main.c#L312>
- Funciones:
 - <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/9c015beeea98800d9a2f8081adaf6d1c723d974d/simple/main/main.c#L396>
 - Rx_task: <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/9c015beeea98800d9a2f8081adaf6d1c723d974d/simple/main/main.c#L516>
 - <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/9c015beeea98800d9a2f8081adaf6d1c723d974d/simple/main/main.c#L558>
 - Tx_task: <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/9c015beeea98800d9a2f8081adaf6d1c723d974d/simple/main/main.c#L567>

▪ **Sección de motores:**

- Imports: <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/ae14d407ecdd0c008e15fd9d14240863b4f85842/simple/main/main.c#L98>
- Variables: <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/ae14d407ecdd0c008e15fd9d14240863b4f85842/simple/main/main.c#L109>
- Métodos: <https://github.com/tardisfromtornspace/TFG-AspiradO3/blob/9c015beeea98800d9a2f8081adaf6d1c723d974d/simple/main/main.c#L738>

- Link del *Sharepoint* del PFG:
<https://upm365.sharepoint.com/sites/SBC22M01/Documentos%20compartidos/Forms/AllItems.aspx?id=%2Fsites%2FSBC22M01%2FDocumentos%20compartidos%2FTFG%20Aspirado3&viewid=5b33b9f6%2D60f0%2D4414%2Da370%2Db78287f8b2e3>
 - Los gcode y .mf del soporte (nuevos de Alberto y modificados por Alejandro):
 - https://upm365.sharepoint.com/:u/s/SBC22M01/EV27STqJzIFErwACqH-cQB_BM6mqwPsitXsfnmJ6mjiQ?e=5izLWG
 - <https://upm365.sharepoint.com/:u/s/SBC22M01/ERTYUce2oOtNmiFjY4Tzb28Baeo6fYIpVlrvasSyWZA0Ag?e=zl0k0a>
 - <https://upm365.sharepoint.com/:u/s/SBC22M01/EQyqOhg5-1dFjEOc3T3AL4sB2LrBrfs7Mm-rA9SnK6whXA?e=C2sNLJ>
 - https://upm365.sharepoint.com/:u/s/SBC22M01/EbkjpDig7GJKi9GwYTatwHwBN03pQomi9BGaK_tz7xao7A?e=S6zmPG
 - https://upm365.sharepoint.com/:u/s/SBC22M01/ETp4Bv9cPldBmGPC_8g99soBjJZtm0Hipwmug4D6eLib2g?e=9Ajxcl
 - https://upm365.sharepoint.com/:u/s/SBC22M01/EZXG_IqYHGpBrhEsiVnHGqcBaQmEF53s9i6pHtEtp4q-PA?e=5kV6pt
 - https://upm365.sharepoint.com/:u/s/SBC22M01/ESVDxjpe0O5Og6_n9Hz_u68BROuU5iWBt3JBopKQ55rsw?e=3oO5B8
 - Link de los gcode (antiguos): <https://upm365.sharepoint.com/:u/s/SBC22M01/ETQEnv-gNJj3yKztC6noBObFZhP3-Cm8xORdsb4ZZZw?e=htiEKJ>
- Enlace de la OTA usado para bajarse el firmware:
http://raw.githubusercontent.com/tardisfromtorspace/TFG-Aspirado3/master/simple/build/https_server.bin
- Link del panel the *Thingsboard*: <https://demo.thingsboard.io/dashboard/fe483230-5512-11ed-b827-c9be76c6f5d7?publicId=1316bc80-50a0-11ed-b827-c9be76c6f5d7&state=W3siaWQiOjkZWZhWx0liwicGFyYW1zIjp7fX0seyJpZCI6Im90YV9jb25maWd1cmF0aW9uliwicGFyYW1zIjp7ImVudGl0eUlkljp7ImIkjoiNjAyODRIYTA5NTUxMi0xMWVklWI4MjctYzliZTc2YzZmNWQ3liwiZW50aXR5VHlwZSI6IkRFVklDRSJ9LCJlbnRpdHIOYW1lljoiRVNQMzIgdjlilCJlbnRpdHIMYWJlbCI6IkVTUDMyIHYYIn19XQ%253D%253D>
- Link de repositorio de compañeros con mismo módulo GPS:
<https://github.com/ciruu1/SBC/tree/master>
- Repositorio de minmea: <https://github.com/kosma/minmea>
- Link JLCPCB: <https://jlpcb.com/>
- Link *backup* de la Guía ESP-IDF de instalación del entorno sobre *Visual Studio Code*:
<https://moodle.upm.es/titulaciones/oficiales/mod/resource/view.php?id=453669>

Anexo II – Glosario de términos**Tabla 6: Glosario de Términos (Elaboración propia).**

Sigla, Acrónimo o Término	Significado
ADC	“Analog-Digital Converter”
atm.	Unidad de presión, atmósfera
Br	Bromo
CFC	Clorofluorocarbonos
Cl	Cloro
CO(NH ₂) ₂	Urea
COV, VOC	Compuestos Orgánicos Volátiles, sinónimo de CVC
CVC	Compuesto Volátil del carbono, sinónimo de COV
ESP-32	Círculo de Espressif – id. 32
GND	“Ground”, Tierra
GPS/GNSS	“Global Positioning System”, sinónimo de GNSS (“Global Network Satellite System”)
GSM	Sistema Global de Comunicaciones móviles
He	Helio
HVAC	“Heating, Ventilation and Air Conditioning”
I	Yodo
I2C	Círculo Inter-Intergrado
MQTT, mqtt	“MQ Telemetry Transport” (MQ viene de la serie MQ de dispositivos)
Nm	Nanómetro
N ₂	Nitrógeno molecular
NH ₃	Amoníaco
NO _x	Óxidos de Nitrógeno
O	Oxígeno atómico
O ₂	Oxígeno molecular
O ₃	Ozono
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible (Agenda 2030)
OTA	Over-The-Air, actualización de firmware “en el aire”
PLA	Poli-lactic acid (Ácido poliláctico)
ppm, p.p.m.	Partes Por Millón

Anexo II: Glosario de Términos

RAEE1	Directiva 2002/96/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de enero de 2003, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE).
RAEE2	Directiva 2012/19/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de julio de 2012, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE).
ULDBs	<i>"Ultra-Large Distance Balloon"</i> , Globo de Ultra Larga Distancia, o de Super Presión
UV	Radiaciones Ultravioleta
UVA, UV-A	Ultravioleta Alta
UVB, UV-B	Ultravioleta Baja
UVC, UV-C	Ultravioleta de longitud de onda Corta
ZPB	<i>"Zero Pressure Balloon"</i> , Globos de Presión Cero
MΩ	MegaOhmio
3v3, 3V3	3.3 Voltios

Anexo III – Videos de Pruebas

La siguiente tabla contiene los enlaces a los archivos de vídeo de cada una de las pruebas de desarrollo del proyecto realizadas, como prueba y testigo del progreso realizado:

Tabla 7: Anexos de pruebas

Nombre / Descripción	Fecha	URL
Pruebas de ADC y Temperatura y Humedad (parte 1, interiores y ambiente seco)	16/02/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EegQAUx0EB9Lt0H_8m96WC4BW5a0OvGUDXVPAIvSyUgr2Q?e=2lbVnx
Prueba de soldadura del ADC I2C correcta	08/03/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EV7Z6nN4r6lDugd1f5qZs1wBLX7hnuxqm_IHAxe-fB43Jg?e=ve54Vm
Prueba ADC I2C II	08/03/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EchHpMuFqnDJJvvFRgBggy5ABPL0mkR-Gibi_wLJ9FfK4Ng?e=FCeJ86
Pruebas de Temperatura y Humedad (exteriores, ambiente en el que se ha puesto a llover)	23/02/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/Ee3OvPJBXt1Bs_gPO6E7RwQBicj1zckqHlf9GH7KYWH5cA?e=tRZlmR
Prueba sensor ozono 1	23/02/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EYp09DPrrxNDhlbMI7woNhcBZnJWzgFT37jxwhkWOyW2-w?e=4XIDki
Prueba sensor ozono 2	16/03/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EUICUVu5dpAllOeiaZpH3QBuHTFYTm1G883F_9Xcj8mBw?e=tlshtYt
Prueba sensor ozono 3	19/04/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EbX4k4jWgG1FlBtLSI7dBd0BBDN5F5dqQnDBTxVu1JMKdg?e=XsRPCo
Prueba sensor ozono 4	19/04/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/Ecb1Cv526hFMm09XHzh-Ot8BpTLEs0i40z5081jErqcbcg?e=6o03vd
Prueba sensor ozono 5	19/04/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EOga0iAg_PNFi2nHK9-6xyQBV6dX1VRhyxl30B1YoJEsjA?e=c1kk3m
Prueba sensor ozono 6	19/04/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EbGj_kHkNltJuJbq6vZRWAAsBwj318vWfs4MTtEVD--f15Q?e=U62mbe
Pruebas del <i>Thingsboard</i> (sin sensores de GPS ni de ozono realmente conectados)	21/02/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/ESdKpZka2HRNk683chVv36cBJPYRuFKp7GYr_GtoLVX5w?e=Fyjbbu
Pruebas de conectividad del GPS (primer fallo)	23/02/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EUIOuWFusVJBjHq1BSNWM1sBhNtjNUXJbg25wFzvaFJlag?e=gYdiDo
Pruebas de conectividad del GPS (éxito conexión UART)	28/02/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EdRy-INpx-1PoiefTvS4J-sBZnsYLguvX7yWTER-dC1E0g?e=mzbBwv
Pruebas de conectividad del GPS incrementales I (solo módulo GPS)	01/03/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EYU3EJnprgJFnAUgdCwKtf0B13PvumWOuWYQRPk12I93cg?e=NoVufr

Anexo III: Vídeos de pruebas

Pruebas de conectividad del GPS incrementales II (módulo GPS y Wi-Fi conectados)	01/03/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EdTzNpPxxGJ_Ctm-wqxJYdrQBJTiohS8NYDveL8zpzbzpjA?e=Mua87o
Pruebas de conectividad del GPS incrementales III (GPS, Wi-Fi e I2C)	01/03/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EbXrJlqM3Xp_OhjevlyR6_7QByT-n6hDuVtP1BkveuSzAlA?e=I7cRS6
Pruebas de conectividad del GPS incrementales IV (GPS, Wi-Fi, I2C y 1 sensor de ozono)	01/03/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EQ2M1wmg_OHdDhxVWR3gNo8cBqvEahjOgMhxzzGMigbnbQ?e=uqw3AV
Pruebas de conectividad del GPS incrementales V (GPS, Wi-Fi, I2C, 1 sensor de ozono, condensador)	01/03/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EUCYI_aAjxk_OqefxrWtCCfMBVrRPFNMZLjJniQBDvJxCQg?e=nXoRB5
Pruebas SIM800H I	18/04/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/ET6kc83eiEJD_hlFup-Z_m18BIScgRAVCd140U6LwkadqxQ?e=1J2w1o
Pruebas SIM800H II	20/04/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EacckMcDxd_NPrF57dBZnAq8B5SII_DD7xZ7Poy1PIPnEqg?e=ilaRFL
Pruebas SIM800H III	20/04/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EZ4FRKHn4G_dEhvuQrYYGfcgBDmPA5k6CFQRI2Qz8Lx9BMg?e=xJaRQq
Pruebas SIM800H IV	25/04/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EckrS6Lt3EZBsWAn_J3mTIBOPdgBftevLZUCPUQCiDTg?e=GPwvy4
Pruebas SIM800H V	26/04/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/ERC3vsxKuER_Nhm9CQTBCvh8BlwQH7OMR9cGC_oAnAU-UKQ?e=ffI5tl
Pruebas SIM800H VI	27/04/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/ESe-dLH-QnRLmzYgk3I30o0BbKCVJKWSr_uSlhBOWERV-w?e=JcGO2v
Pruebas SIM800H VII	27/04/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EY3VBSHzksxBoe2pe9FtPZEBNFihV7FyXwRk56yJuXZFcA?e=08FucH
Prueba optimización GSM	9/05/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EWz1I1NXZW_RCKLkxPOdN1ZIBWa4KCWCE9CDU7dcz6qRYxQ?e=Jrjxog
Prueba motor aspas I	23/02/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/ETIkQ2WgZfd_Eo08NaAGgYAIBsqFUGX9HBQKrTAm4XO57yg?e=LaiUFR
Prueba motor aspas II	02/03/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EdRMvL5iyIF_Olo4_xncbhYwBNo0vuRyEdEpWdL5HCQyh9Q?e=TneXOW
Prueba motor aspas III	02/03/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/ERMWlo7xB2_RII4MOxzlwDicByyWmwVpnbfZPHKDNIlpLwZg?e=w9P0L2
Prueba motor aspas IV	15/03/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EUKMuoxOjQNMMf8HtBWxnrkBQGSXWYEfRb62eWeWgHb6xg?e=AsPVFo
Prueba motor aspas V	15/03/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/Eaxr2HVy3I5_Dnj3af4tvu9UBCkUxtZ8gvI3jAIQ6j6NM0Q?e=ccHeGE
Prueba de servos I	09/03/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EUp3yck9EDFEg_2dQQ4-OJUBZ2aOWajd53XeBiPeHsEDoA?e=667GTZ

Proyecto Aspiradora de Ozono

Prueba de servos II	09/03/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EaKBQ6tpstVBISBui8WLtHcBSjArs7MZ32-yeEAQQ5PUlg?e=6l49n5
Prueba de servos III	14/03/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EajREUKLIGBlkVgp5GbNExkBzav2zTSr6t68h7vCLlveyw?e=3amdwi
Prueba de servos IV	14/03/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EWdjd9hvP71FnFMrTKv-FKABjHJxZuf8rhAWYCRS1KERsA?e=H1frB6
Prueba de OTA y Alarmas de <i>Thingsboard</i> sobre Wi-Fi	07/03/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EceG86ZSxV1Fk4CotwX0SpcB55GdoURgHFRr5JBMxJru7w?e=QsaL3N
Prueba IoT Alarmas II	08/03/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EWF00IXL7FtlvEYzkI9AZtIBV1NI8mHzSXfQd4aPUgLHUg?e=mrKdB1
Prueba Autonomía baterías I	04/05/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/Ef8BylEen4FqVwLUA5pLAGBafRVZqUwbNvX0ifS2xaoyg?e=SZCkUF
Pruebas PCB sin baterías I	16/06/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EUWa253AynNCnSbNJgW9BscBozxN1u6VQ7v_ALwwu3mvjw?e=rCqS4w
Pruebas PCB sin baterías II	16/06/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/ES0yxPldTShHhRO_0Q5_VDgBhtpnTC6gs4JvoQlaq3Urkw?e=P6SOON
Pruebas PCB Baterías I	16/06/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EePi96J4bphKqfMCJPFz0aUBgJ_EWJQrsX-LgrZjy6nwWA?e=adT57I
Pruebas PCB Baterías II	19/06/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/Ee7chSp6TYRGkvOgkItNqR0BTwRmtFV_5eolggq4oBooqA?e=QflCOT
Pruebas PCB Baterías III	19/06/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/Ee7chSp6TYRGkvOgkItNqR0BTwRmtFV_5eolggq4oBooqA?e=tfh009
Pruebas PCB total (sin chasis)	23/06/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EcRj7xUwS1NHqezgHxTQ6vYBv0izRuzvBgXd7TIQ864v5w?e=UkqNqM

Anexo IV – Pruebas de nivelación de la Creality Ender-3

Debido a la avería mencionada en la Artillery Sidewinder, una vez tuvimos una impresora alternativa disponible, procedimos a probar y realizar determinadas pruebas para verificar su estabilidad. Teniendo en cuenta que no hubo mucho progreso con respecto al proyecto final con esta impresora, se dejan aquí.

La impresora que probamos tenía un nozzle que había sido reutilizado tras un problema en la que se había atascado con un plástico no imprimible, por lo que siempre estuvimos en la sospecha de que todavía podía quedar residuos en el interior ocasionando problemas.

A continuación se muestran las imágenes (capturas de elaboración propia) relativas a la re-configuración del Ultimaker Cura para la Creality Ender-3

The figure consists of three screenshots of the Ultimaker Cura software interface:

- Screenshot 1: Add printer**
Shows the "Add printer" screen where "Creality Ender-3 / Ender-3 v2" is selected from a list of available printers. The printer details show Manufacturer: Creality3D, Profile author: trouch.com, and Printer name: Creality Ender-3 / Ender-3 v2. Buttons for "Add" and "Next" are visible.
- Screenshot 2: Machine Settings**
Shows the "Machine Settings" screen for the "Creality Ender-3 / Ender-3 v2" printer. It includes sections for "Printer Settings" (Dimensions: X(Width) 235.0 mm, Y(Depth) 235.0 mm, Z(Height) 250.0 mm; Build plate shape: Rectangular; Origin at center: unchecked; Heated bed: checked; Heated build volume: unchecked; G-code flavor: Marlin), "Printhead Settings" (X min: -26 mm, Y min: -32 mm, X max: 32 mm, Y max: 34 mm; Gantry Height: 25.0 mm; Number of Extruders: 1; Apply Extruder offsets to GCode: checked), and "G-code" sections for "Start G-code" and "End G-code".
- Screenshot 3: Preferences - Materials**
Shows the "Materials" section of the "Preferences" screen. Under "Materials", it lists "Materials compatible with active printer: Creality Ender-3 / Ender-3 v2". A "Favorites" list includes Generic ABS, Generic ASA, Generic BVOH, Generic CPE, Generic HIPS, Generic Nylon, Generic PC, and Generic PETG. To the right, the "Custom PLA" settings are shown with fields for "Information" (Default Printing Temperature: 215 °C, Default Build Plate Temperature: 70 °C, Standby Temperature: 192 °C) and "Print settings" (Retraction Distance: 5 mm, Retraction Speed: 35 mm/s, Fan Speed: 100 %).

Figuras 117, 118 y 119: configuración para Ender-3 de Creality.

Una de las pruebas llevó a imprimir 5 rectángulos de 2 capas (Pieza CE3E3V2_Unnamed-Cubo5-PruebaEnder, cuya imagen se muestra abajo) para probar que la nivelación manual había funcionado. La tabla a continuación explica el progreso con más detalle.

Anexo IV: Pruebas de nivelación de la Creality Ender 3

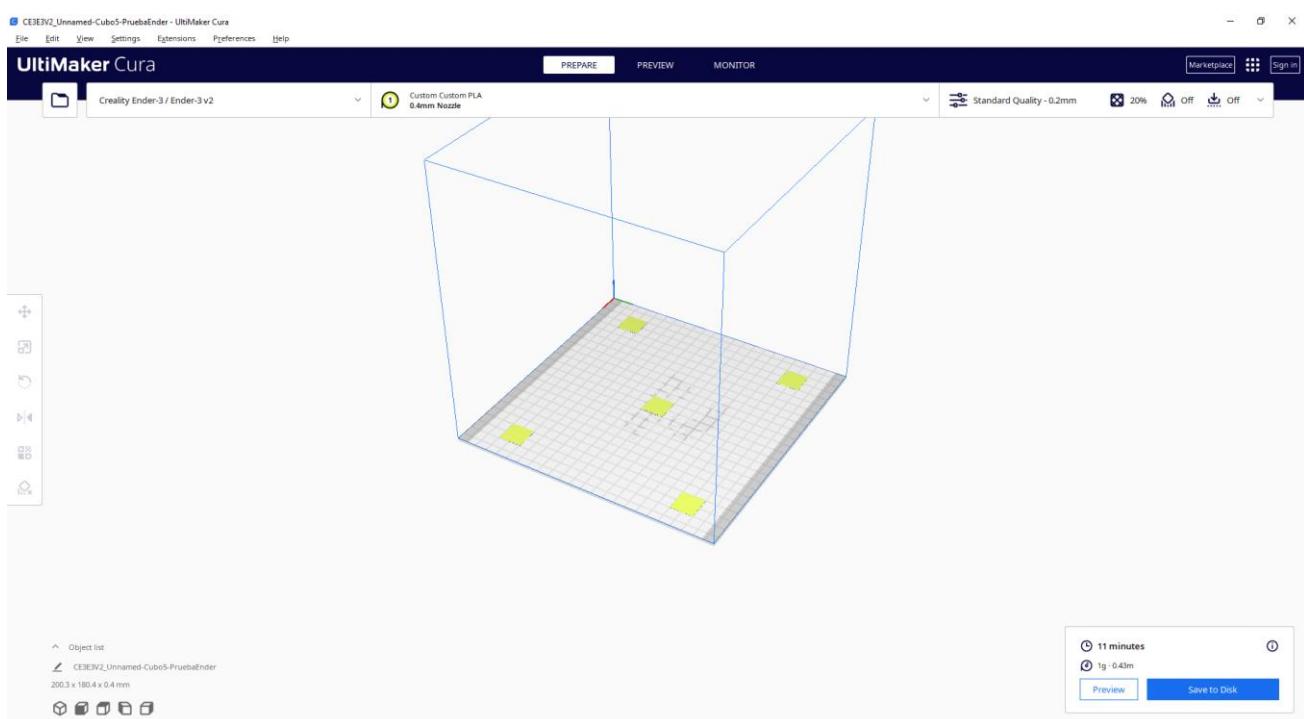


Figura 120: Pieza CE3E3V2_Unnamed-Cubo5-PruebaEnder.

Tabla 8: Pruebas de la Ender-3

Hito	Información
1ª Prueba:	Al comienzo si extruía PLA, pero luego el hilo se volvía muy fino y dejó de hacerlo.
Hipótesis 1	Cama desnivelada por defectos en la impresora (tener un solo soporte para el extrusor supone que con el tiempo las impresoras antiguas tengan dicho soporte torcido) y extrusor atascado o infra-extruyendo.
Plan de pruebas	Nivelar de nuevo la cama, ejecutar extrusión manual de 10 mm, si funcionara correctamente extruiría algo de PLA.
Resultado	No extruía nada, por algún motivo la configuración de la PLA de nuestra impresora pone el extrusor a 185 grados y la cama a 45 cuando deberían ser más de 200 y 60 °C, respectivamente.
Acciones correctivas	ajustar opciones del nozzle y cama para temperaturas de 200 y 60 °C (dentro de las especificaciones de la PLA genérica), nivelar varias veces la cama.
2ª Prueba	Durante el pre-heat la extrusión manual funcionaba, pero la impresión daba problemas porque a veces sí salía material (solo si había ordenado extrusión manual inicialmente) y otras veces no.
Hipótesis 2	Uno de los siguientes motivos debe ocasionar que no entrase suficiente tinta en la boquilla del extrusor: tracción del filamento insuficiente, temperatura, o problemas con la boquilla. Puede que la nivelación de la cama o la velocidad de impresión también afectaran a la adherencia del hilo.

Plan de pruebas	Una vez nivelada la cama de nuevo y modificadas las opciones de la PLA en Ultimaker Cura para temperaturas más altas, se probará a imprimir otra vez, empujando muy suavemente el filamento, y luego probando a dejar de presionarlo. Esta prueba se realizará varias veces probando distintas temperaturas (200, 205, 210), velocidades de impresión (100%, 75%, 50%) y flujo de extrusión (x1.0, x1.05, x.1.1).
Resultado	impresión correcta cuando se empujaba el filamento, en el momento que se dejaba de presionar el hilo primero se volvía más fino y luego empezaba a sufrir mismos síntomas que si la cama estuviera muy lejos del extrusor, para finalmente dejar de salir. Volver a presionar permitía volver a imprimir con normalidad tras cierto tiempo. Una mayor temperatura (especialmente en el rango 205-210) y flujo de extrusión (de x1.05) permite que dure más imprimiendo y evita que se adhiera menos en los bordes, aunque el aumento el el flujo de extrusión apenas cambiaba la situación. También seguía habiendo una ligera desnivelación en el lado frontal-izquierdo de la cama, que se encontrada algo lejos del extrusor.
Acciones correctivas	Verificar que el filamento y el engranaje que lo empuja están sujetos correctamente (lo están), temperatura a 210 para nozzle, respectivamente. Última nivelación de la cama. Atender que la bobina de filamento gira adecuadamente y no ocasiona tirones en el filamento.
3ª Prueba	La impresión de la Pieza CE3E3V2_Unnamed-Cubo5-PruebaEnder se realizó correctamente si se atendía a que el filamento no tuviera tirones por parte de la bobina. Procedemos a primera prueba de impresión del chasis con la Ender.
4º Prueba	La pieza del chasis solo imprime parte de la primera capa bien – logra imprimir el área externa e interna de la primera capa del soporte, pero tras cierto tiempo y acercarse al centro el filamento no se adhiere y posteriormente va progresivamente extruyendo menos hasta que para.
H. 3	La vibración de la cama durante la impresión causa que algunos tornillos se desajusten, aparte de la infra-extrusión no siendo del todo corregida probablemente porque la boquilla debía de seguir algo atascada.
Plan de pruebas	Tras re-nivelar la cama y volver a probar el extrusor, repetir de nuevo la impresión, pero probando a presionar ligeramente el filamento.
Resultado	Aunque se vio que la cama sí se movía muy, muy ligeramente, esto no debía de ser la causa del problema, puesto que si acaso eso acercaría la cama al extrusor y no sufriría de los síntomas vistos. Además, no se completó la nivelación de la cama ni se procedió a imprimir, pues una de las veces al ajustar con un folio, un simple contacto con el folio logró mover la boquilla, lo que no debería ocurrir, lo que sugería que la boquilla se había soltado o no estaba apropiadamente colocada. Tras ser examinado por Héctor y Alberto, parte de la PLA había salido a otras áreas del extrusor, por lo que se detuvieron las pruebas con la Ender hasta que pudiera ser resuelto.

A continuación se muestra el resultado visual de una de las primeras impresiones de la pieza de prueba, con la desnivelación de la zona frontal presente y evidencia de infra-extrusión en la pieza central cuando se dejaba de presionar el filamento.

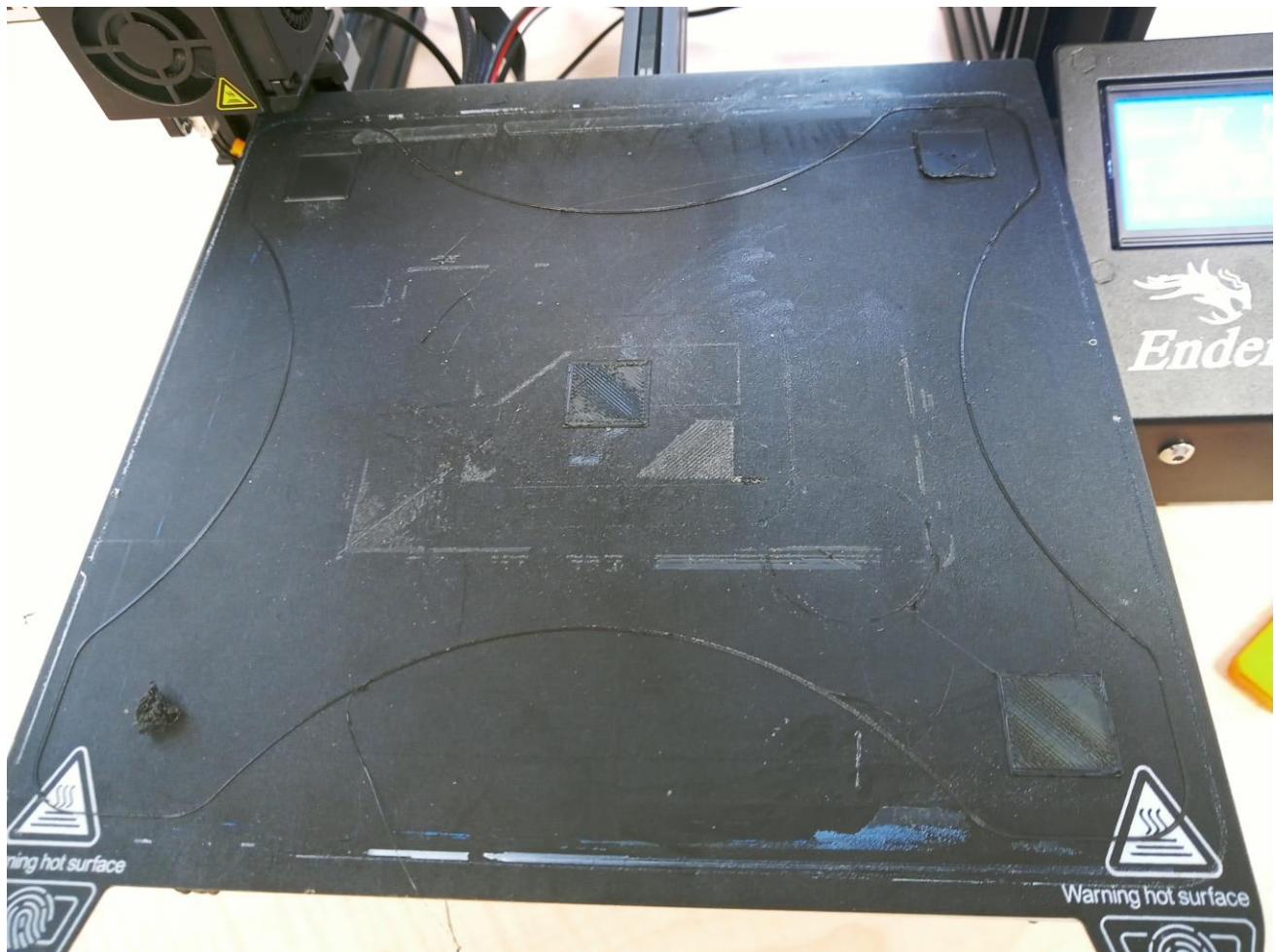
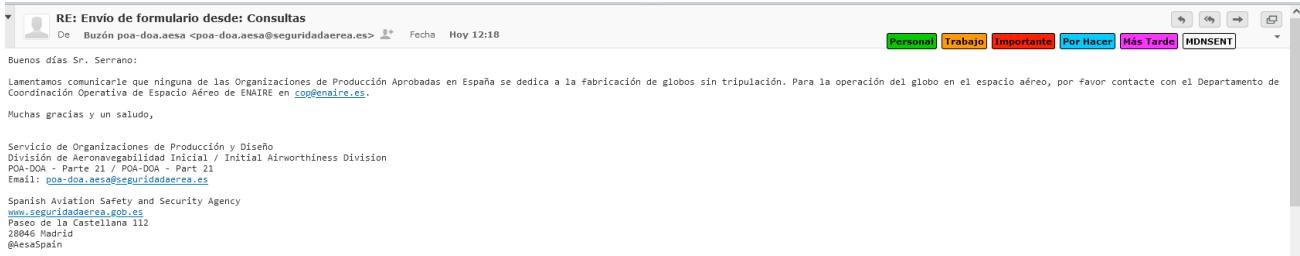
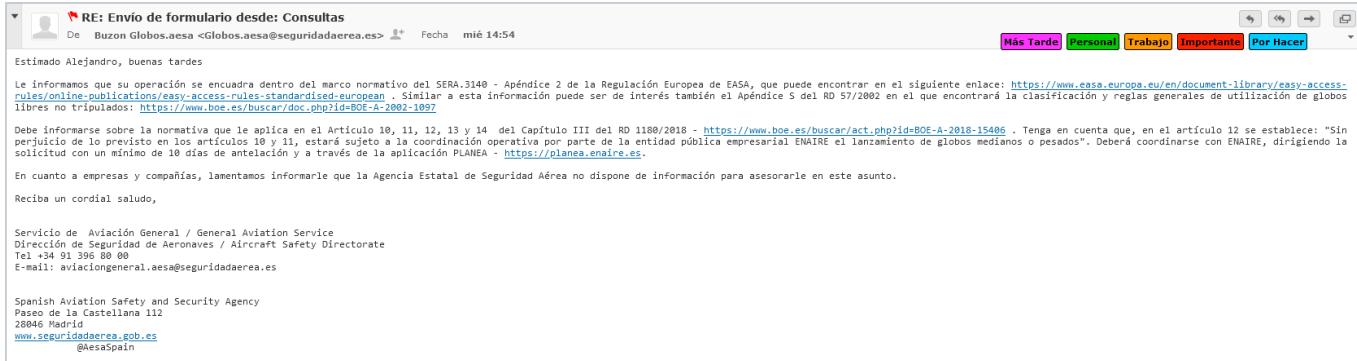


Figura 121: Una de las piezas de prueba de Creality Ender-3.

Anexo V – Algunas imágenes de interés

Anteriormente se ha mencionado que se consultó con ciertas organizaciones aéreas. Dado que la información no era tan relevante, se han dejado en este anexo, como testamento en forma de capturas de pantalla propias, de que dichas consultas se hicieron y no fueron fraudulentas.



Figuras 122 y 123: Mensajes del Servicio de Aviación General.

Por el mismo motivo, se deja aquí el mensaje por correo de Norberto Cañas de la Paz por comunicación privada.

Nuestro laboratorio es de doble cara **sin agujeros metalizados**. Esa dificultad exige comprobaciones añadidas que hay que realizar en circuitos de doble cara.
No tengo tiempo de explicártelas por correo. Tienes que venir a verme.
No hay ningún problema en que hagas la placa en el laboratorio.
Para fabricar en nuestro laboratorio tendrás que sacar las máscaras con la opción de **trazado**.
Para fabricar en una empresa lo que te van a pedir es el fichero **gerber** de cada capa.

Empresas recomendables "baratas":

<https://jlpcb.com/>
<https://www.pcbgogo.com/>
<https://www.pcboway.com/>

Empresa muy recomendable "cara":

<https://www.eurocircuits.com/>

Figura 124: Mensaje de Norberto, a 12 Mayo 2023.

Finalmente, aunque no tenga el prototipo finalizado, se me pidió realizar una foto de todos los componentes funcionales en progreso. Aquí se presenta dicha imagen.

Anexo V: Algunas Imágenes de Interés

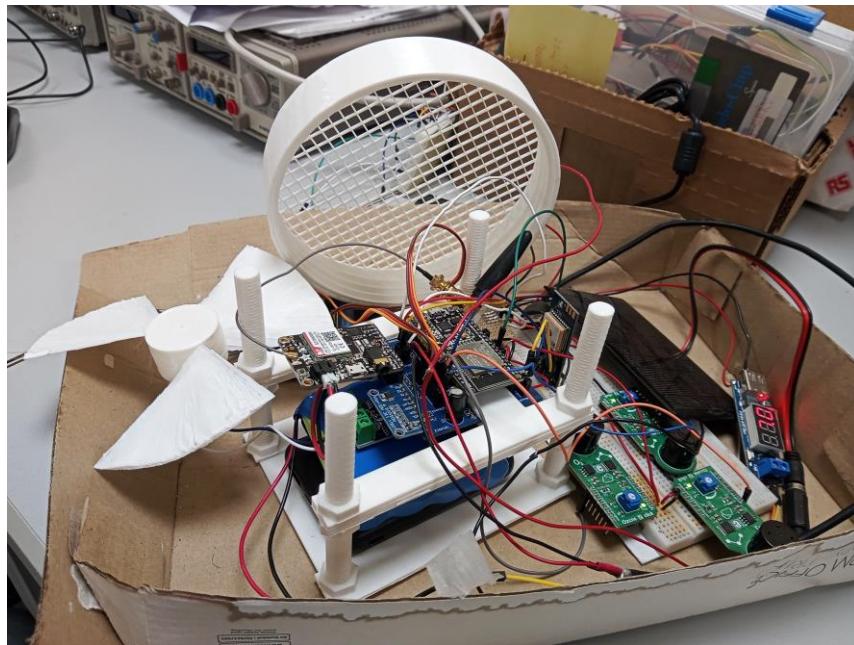


Figura 125: Imagen estado final Prototipo, a 30 Noviembre 2023.

Anexo VI – Algunas tablas de interés-3

A continuación, en la página siguiente, se presenta una tabla más completa de la lista de materiales. El único propósito por el que se ha dejado es porque lista múltiples proveedores primarios y alternativos.

Como ya se aclaró previamente, aunque los materiales utilizados actualmente no lo requieran, el uso de motores que puedan funcionar a distinto voltaje del del microcontrolador puede suponer costes adicionales por requerir de transformadores.

Para precios variables se tomará la opción de mayor coste a la hora de calcular, a menos que ya se hubiera adquirido de la versión de menor coste o se hubiera usado dicha versión de menor coste con adaptaciones, en cuyo caso se resaltará el nombre del proveedor en verde. Hay que indicar que algunos de dichos componentes pueden reemplazarse por opciones más baratas si fuese necesario, realizando algunas modificaciones al chasis.

En amarillo se indican aquellos componentes que se incluyeron más tarde en el proceso de fabricación, y en rojo aquellos que se eliminaron del diseño final. Texto rojo tachado indica componentes utilizados en cantidades o precio distintos a los originales, con el nuevo precio o cantidad ajustados debajo. En verde se indican los que se han pagado y tenemos disponibles. En resaltado gris se indican alternativas a un producto determinado (que no se cuentan en el precio final). Un resultado cian en el precio significa que ha sido pagado por la beca de la UPM.

Tabla 9: Precios de componentes con todos los proveedores (planificación inicial y final).

Componente	Proveedor primario		Proveedor alternativo	Unidades	Precio sin IVA	Precio con IVA
	URL RS- online	Número de ref. RS	URL			
Procesador ESP32 AzDelivery	N/A	(NO RS)	https://www.az-delivery.de/en/products/esp32-developmentboard	1	10,99 € (ya disponible)	10,99 € (ya disponible)
MikroElektronika Ozone 2 Click-MIKROE-2767	https://es.rs-online.com/web/p/kits-de-desarrollo-de-sensores/1651064	165-1064	https://www.mouser.es/ProductDetail/Mikroe/MIKROE-2767?qs=1mboIxNpo8cHSPn6LrSrWQ%3D%3D	3	46,66 * 3 € 42,30 * 3 € (mouser)	56,46 * 3 € 51,19 * 3 € (mouser)
Módulo ADC Adafruit ADS1015	https://es.rs-online.com/web/p/convertidores-analogico-digital/1977077	197-7077	https://www.electronicaembajadores.com/es/Productos/Detalle/LCINAD4/modulos-electronicos/modulos-instrumentacion/ads1015-convertidor-analogico-digital-adc-4-canales-12-bit-amplificador-de-ganancia-programable-adc	1	11,67 € (electronicaembajadores)	14,12 € (electronicaembajadores)
Resistencias 4k7	https://es.rs-online.com/web/p/resistencias-de-montaje-en-orificio-pasante/7078280	707-8280	-	2	0,179. * 2 €	0,217 *2 €
Condensador 220 µF	N/A	(NO RS)	https://www.electronicaembajadores.com/es/Productos/Detalle/COEL22725/condensadores/condensadores-electroliticos/condensador-electrolitico-radial-220-uf-25-v-105-c	1	0,107 €	0,13 €
Diodos rectificadores 1N4007	N/A	(NO RS)	https://www.electronicaembajadores.com/es/Productos/Detalle/SMD1N4007/semitconductores/diodos-excepto-leds/1n4007-diodo-rectificador-1000-v-1-a	2	0,115 €	0,14 * 2€
Filtro carbono activo	https://es.rs-online.com/web/p/accesorios-para-aspiradores-de-	123-4906 (fabricado RS)	(Más similar) https://www.mouser.es/ProductDetail/Metcal/FM-MSA25U?qs=rQFj71Wb1eXTSvMuYg2bpg%3D%3D	1	9,86 € (bolsa de 3)	11,93 € (bolsa de 3)

Proyecto Aspiradora de Ozono

	humo-de-soldadura/1234906				3,287 € (ud.)	
Filtro HVAC	https://es.rs-online.com/web/p/filtros-de-aire-para-climatizacion/7302921	730-2921 (fabricado RS)	No encontrado en proveedores alternativos	1	41,28€ (pack de 10) 4,128 € (ud.)	49,95 (pack de 10)
Pilas recargables NiMh RS PRO	https://es.rs-online.com/web/p/pilas-recargables-aa/9053781	905-3781	No encontrado – más similar: https://www.mouser.es/ProductDetail/Panasonic-Battery/BK-120AAHA01?qs=17u8i%2FzIE8%2Fu5bIc3DG5dQ%3D%3D	6	2,724 * 6 € (ya disponible)	3,296 * 6 € (ya disponible)
PowerBank 5V	https://es.rs-online.com/web/p/power-banks/2361454	236-1454	https://www.electronicaembajadores.com/es/Productos/Detalle/BA70003/baterias-pilas-y-cargadores/power-bank/gembird-pb05-02-power-bank-5v-5000-ma	2	17,80 * 2 € 9,85 * 2 (electronicaembajadores)	21,54 * 2 € 11,91 * 2 € (electronicaembajadores)
Batería 7.4V 5.2Ah (alternativa a las 2 baterías de 5V, si no están disponibles)	https://es.rs-online.com/web/p/baterias-recargables/1449412	144-9412	-	1	38,04	46,03 €
Convertidor de corriente 5-40V a 5V 2A (si se usan baterías distintas a la PowerBank 5V)	N/A	NO RS	https://www.electronicaembajadores.com/es/Productos/Detalle/SA31375/sistemas-de-alimentacion/convertidores-dc-dc-uso-general/convertidor-dc-dc-in-4-5-40-v-out-5-v-2-a-voltmetro-incorporado/	1	4,96 €	5,995 €

Anexo VI: Algunas Tablas de Interés

Cables conexión USB baterías a PCB	-		https://www.electronicaembajadores.com/es/Productos/Detalle/CX31041/conexiones/conexiones-usb-pc-multimedia/nanocable-cable-usb-2-0-usb-a-macho-a-micro-usb-b-macho-0-8-m/ (NOTA: requerirán de ser modificadas para la PCB) https://www.electronicaembajadores.com/es/Productos/Detalle/LCA1US4/modulos-electronicos/arduino/sparkfun-ftdi-cable-5v-cable-adaptador-dev-09718/ (versión para si no pueden modificar componentes demasiado, la llamaremos "intacto")	2	2,33 * 2 € (electronicaembajadores, versión a modificar) 20,39 *2 € (electronicaembajadores, intacto)	2,82 *2 € (electronicaembajadores, , versión a modificar) 24,68 * 2 € (electronicaembajadores, intacto)
Diligent Pmod GPS: GPS Receiver - 410-237	https://es.rs-online.com/web/p/kits-de-desarrollo-de-sensores/1346455	134-6455	https://www.mouser.es/ProductDetail/Digilent/410-237?qs=s%2FdyVPQMB4zUVDfMdmdUxQ%3D%3D	1	43,97 € (ya disponible)	53,20 € (ya disponible)
Placa Solar 6V	https://es.rs-online.com/web/p/paneles-solares/1860599	186-0599	No encontrado - más similar: https://www.mouser.es/ProductDetail/Adafruit/3809?qs=MLitCLRbWswl2zZ4yMv4FA%3D%3D	1	16,00 € (ya disponible)	19,36 € (ya disponible)
NOTA: se podría usar la placa que ya empleamos para el proyecto GyPhi	N/A	(NO RS)	No encontrado. Página web alternativa: https://es.farnell.com/osepp/sc20050/no-of-cells/dp/2819535		12,22 € (ya disponible)	14,79 € (ya disponible)
Motores para aspas: Motor DC RS PRO, 1,5 → 3 V., 1,21 W, 8200 → 14000 rpm, par máx. 10,4 gcm, Ø de eje 2mm	https://es.rs-online.com/web/p/motores-dc/2389692	238-9692	-	3 1	2,48 * 3 € 2,48 €	3 * 3 € 3 €

Proyecto Aspiradora de Ozono

Puente H L9110S	https://es.rs-online.com/web/p/complementos-de-bbc-micro-bit/2153182	215-3182	-	1	1,07 € (ya disponible)	1,29 € (ya disponible)
Motores para orientación : Servomotor SG-90	https://es.rs-online.com/web/p/componentes-de-movimiento-para-robots-educativos/2153180	215-3180	https://www.electronicaembajadores.com/es/Productos/Detalle/MMSV002/motores-servomotores-actuadores-lineales/servomotores/tower-pro-sg90-9g-servomotor-miniatura	2	4,05 * 2 € 3,04 * 2 € (electronicaembajadores)	4,90 * 2 € 3,68 * 2 € (electronicaembajadores)
Motores para orientación: Motor paso a paso RS PRO, 4 V, Ø de eje 6.35mm	https://es.rs-online.com/web/p/motores-dc/1805280/	180-5280	-	1	45,35 € (ya disponible)	54,87 € (ya disponible)
Aspas (REEMPLAZO: IMPRESO 3D)	https://es.rs-online.com/web/p/kits-de-desarrollo-de-sensores/2025501	202-5501	https://www.mouser.es/ProductDetail/STMicroelectronics/STEVAL-DRONE01?qs=byeeYqLlh0PMDSXBzdQIMg%3D%3D NOTA: Si fuera necesario puedo proveer aspas de mis drones para ello, o imprimir.	1 (ya nos dan 4 unidades por él)	53,09 € (kit completo)	64,24 € (kit completo) NOTA: Si se usa este kit los motores para aspas ya no son necesarios
Globo (Super-Pressure Balloon)	N/A	(NO RS)	No encontrado en proveedores alternativos. Más similares: https://www.amazon.es/ZEROFCO-Decoraci%C3%B3n-cumplea%C3%B1os-Birthday-	1	18,33 €	22,17 €

Anexo VI: Algunas Tablas de Interés

			Accesorios/dp/B07KRXKD5Z/ref=sr_1_1_sspa?keywords=globos+polietileno&qid=1675085531&sr=8-1-spons&sp_csd=d2lkZ2V0TmFtZT1zcF9hdGY&psc=1 https://www.amazon.es/ Angry-Birds-AR-1013-Air-Swimmers/dp/B009YB3CI/ref=sr_1_5?qid=1Q72W9HERHRS3&keywords=air+swimmer&qid=1675156490&sprefix=air+swimmer%2Caps%2C108&sr=8-5 ALTERNATIVA: Instrucciones de construcción https://www.instructables.com/RC-Zeppelin-dirigible/			
Helio + Globo	N/A	(NO RS)	No encontrado en proveedores alternativos. Más similar: https://www.donglobo.com/helio-para-globos/bombona-de-helio-para-globos-013m3-sin-globos https://www.amazon.es/ZERODECO-Decoraci%C3%B3n-cumplea%C3%B1os-Birthday-Accesorios/dp/B07KRXKD5Z/ref=sr_1_1_sspa?keywords=globos+polietileno&qid=1675085531&sr=8-1-spons&sp_csd=d2lkZ2V0TmFtZT1zcF9hdGY&psc=1	1	24,72 € (bombona)	29,90 € (bombona)
Módulo SIM800H para GPS y GSM	https://es.rs-online.com/web/p/kits-de-desarrollo-inalambricos-y-de-comunicacion/1245474	124-5474	Más similar: https://www.mouser.es/ProductDetail/Mikroe/MIKROE-1720?qs=bzW4KlwE9U38mry2K8X5yA%3D%3D	1	41,22 €	49,88 € * *Requiere de antena externa y microSD
Modulo de Expansión Diligent Pmod GPS: GPS Receiver	https://es.rs-online.com/web/p/kits-de-desarrollo-de-sensores/1346455	134-6455		1	30,05 €	36,37 €

Proyecto Aspiradora de Ozono

Antena SMA y adaptador para SIM800	https://es.rs-online.com/web/p/antenas-gsm-y-gprs/7934376	793-4376	Más similar: https://www.electronicaembajadores.com/es/Productos/Detalle/LCGS00/modulos-electronicos/modulos-gsm/sim800l-v2-0-modulo-gprs-gsm-850-900-1800-1900-mhz-antena-sma	1	11,42€	13,82 €
Tarjeta SIM Móvil	-	-	-	1	-	Lowi 7,95 €/mes (incluye precio inicial)
Batería auxiliar para módulo SIM800H, LiPo 3.7V 2400 mAh	-	-	https://www.electronicaembajadores.com/es/Productos/Detalle/BA1A3724/baterias-pilas-y-cargadores/baterias-de-polímero-de-litio/bateria-de-polímero-litio-3-7-v-2400-ma-1lp804367	1	17.65 €	21.36 €
Sensor de humedad y temperatura SHT85, 0.01%RH, encapsulado 4 pines, interfaz Serie I2C.	https://es.rs-online.com/web/p/circuitos-integrados-de-sensores-de-temperatura-y-humedad/1826530	182-6530	https://www.mouser.es/ProductDetail/Sensirion/SHT85?qs=byeeYqUIh0OEKWW1Eu%252BLQ%3D%3D	1	47,31 € (ya disponible) 31,38 € (mouser)	57,25 € (ya disponible) 37,97 € (mouser)
Fabricación PCB						50€ 11.24 € Producción + 15,75 € Transporte (JLCPCB en Hong Kong)
TOTAL (inicial)						457,294 €
TOTAL (inicial, incluyendo ya disponibles)						615,49 €
TOTAL final (incluyendo ya disponibles, excluyendo no utilizados)						642,669 €

Anexo VI: Algunas Tablas de Interés

Versión: 31/01/2024