



Universidad
Politécnica
de Madrid

**Grado Ingeniería
de
Computadores
Curso 2022-2023**



Escuela Técnica Superior
de Ingeniería de
Sistemas Informáticos

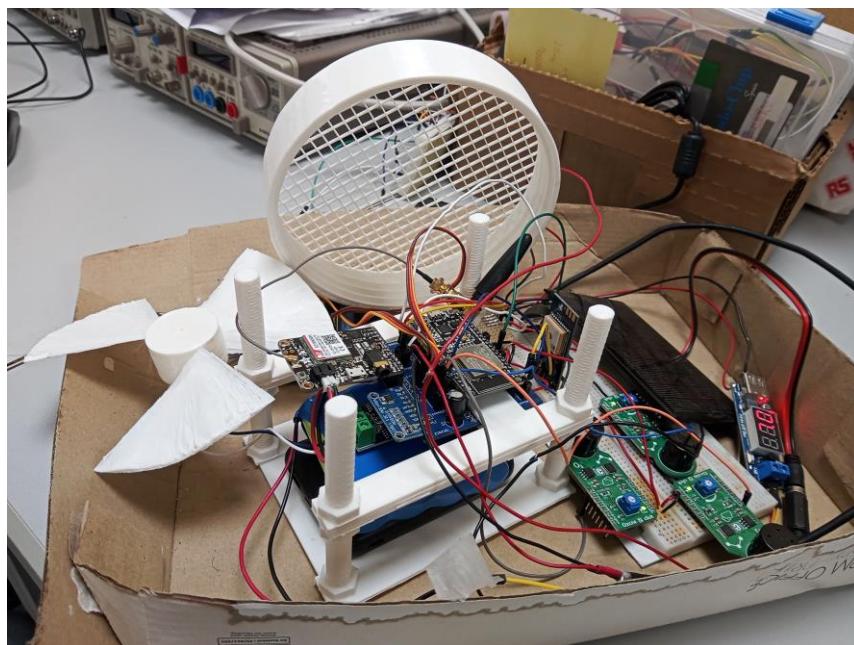
PROYECTO FINAL DE GRADO

Proyecto Aspiradora de Ozono (AspiradO₃)

Por Alejandro Serrano López

Tutor: García Alcántara, Vicente Ángel.

Co-tutor: Alberto Cruz



Nombre del equipo: SBC22-M-01-A03

Miembros del equipo:

Líder	Alumno	correo
X	Serrano López, Alejandro	alejandro.serranol@alumnos.upm.es

PROYECTO

DATOS DEL ALUMNO/A:

APELLIDOS	SERRANO LÓPEZ	Nº DE MATRICULA	bq0100
NOMBRE	ALEJANDRO	DNI - NIE	70423908R
TITULACIÓN	GRADO EN INGENIERÍA DE COMPUTADORES	PLAN	2014
DOMICILIO EN	PLAZA MORO ALMANZOR, nº 9, 1ºC		
MUNICIPIO	RIVAS-VACIAMADRID	PROVINCIA	MADRID
CÓDIGO POSTAL	28523		
TELÉFONO MÓVIL	34 634 72 36 64	TELÉFONO FIJO	914991740
E-MAIL UPM	alejandro.serranol@alumnos.upm.es		
E-MAIL (2)	andromedavirgoa@gmail.com	FECHA	2-2-2023

Anteproyecto	
TÍTULO: Proyecto Aspiradora de Ozono (AspiradO ₃)	
DEPARTAMENTO:	DEPARTAMENTO DE SISTEMAS INFORMÁTICOS
DIRECTOR / TUTOR:	GARCIA ALCANTARA VICENTE ANGEL

Co-tutor: Alberto Cruz (alberto.cruz@upm.es).

Índice

0. Problemática	10
1. Estado de la Técnica:	12
2. Objetivo:	14
3. Plan de Realización:	16
3.1 Desviaciones del Plan de Realización	18
4. Listado de materiales:	22
5. Refinamiento del diseño	28
6. Construcción y Pruebas	
6.1 Motores	38
6.2 Sensores	39
6.3 GPS y GSM	47
6.4 IoT	51
6.5 PCB	54
6.6 Impresión del chasis	64
6.7 Sistema de control.	76
7. Herramientas Software utilizadas	
FreeCad	77
Github/Git	78
Kicad	80
Ultimaker Cura	81
Visual Studio Code	83
8. Estructura del proyecto	84
9. Impacto social, legal y medioambiental	90
Conclusiones y planes futuros	94
Referencias	96
Agradecimientos	104
Anexos	
Anexo I - Repositorio Github y otros links the interés	105
Anexo II – Glosario de términos	109
Anexo III – Videos de Pruebas	111
Anexo IV – Pruebas de nivelación de la Creality Ender 3	114

INDICE DE FIGURAS:

Figura 1: Tabla de relación entre nombres, longitud de onda y energía de la radiación UV (Universidad de Granada, 2023).	10
Figura 2: Boceto inicial esquemático del sistema (elaboración propia).	14
Figura 3: Imagen del sistema simplificado de funcionamiento del proyecto (elaboración propia).	15
Figura 4: captura del mensaje de petición de materiales de filtro y SIM800 (elaboración propia).	20
Figura 5: captura del mensaje de incidencias técnicas para elaborar nuevo chasis el 25 de Septiembre de 2023 (captura de elaboración propia).	21
Figura 6: Primer Boceto alternativo del sistema, para ahorrar un motor (elaboración propia).	28
Figura 7: segundo y tercer refinamiento del boceto alternativo del sistema, para ahorrar energía (elaboración propia).	29
Figura 8: croquis del tercer refinamiento del boceto alternativo del sistema, sin las medidas (elaboración propia).	29
Figuras 9 y 10: croquis corregido del tercer refinamiento del boceto alternativo del sistema, sin las medidas; y modelo del chasis en FreeCAD a 20 de Febrero de 2023, dejado los tabiques por fuera para mayor claridad (ambos de elaboración propia).	30
Figura 11: captura de pantalla de otros sensores de ozono disponibles que no fueran de Mikroelectronika (RS-online, 2023).	31
Figura 12: Esquemático incompleto inicial de la placa de circuitería (elaboración propia).	32
Figura 13: Esquemático menos incompleto de la placa de circuitería, 15 Febrero 2023 (elaboración propia).	33
Figura 14: Esquemático más completo, incluyendo resistencias I2C de pull-up 4k7, 22 Febrero 2023 (elaboración propia).	33
Figura 15: Esquemático 1 Marzo 2023, inclusión de pines de alimentación para sensores y actuadores (elaboración propia).	34
Figura 16: Esquemático 8 Marzo 2023, reemplazo de la mayor parte de pines ADC por un I2C ADC, y cambio de pin GPS RX a TX (elaboración propia).	34
Figura 17: Esquemático 9 Marzo 2023, reemplazo pines de motores DC convencionales de babor y estribor por dos servos y reorganización (elaboración propia).	35
Figura 18: Esquemático 14 Marzo 2023, pasamos el voltaje de los servomotores a 3v3, luego se revirtió (elaboración propia).	35
Figura 19: Esquemático 15 Marzo 2023, nótese la inclusión del puente H así como ajustes para que el GPS tenga la alimentación separada todo lo posible del ruido de los motores (elaboración propia).	36
Figura 20: Esquemático 22 Marzo 2023, nótese la separación de la alimentación de los motores y servos para reducir el ruido introducido en los sensores y la corrección del pin ADDR del ADC externo de 6 a 5 (elaboración propia).	36
Figura 21: Esquemático 18 Abril 2023, tentativamente completado, en el que se incorporan los pines necesarios para la SIM800H (elaboración propia).	37
Figura 22: Esquemático 4 Mayo 2023, en el que se reemplaza el simulacro de ESP32 por un esquemático apropiado de huellas de librería (gracias a Iván Coca), se eliminan unos pin de alimentación innecesarios y se indica espacio del puente H disponible (elaboración propia).	37

Figuras 23 y 24: Diligent Mod LVLHFP (foto de elaboración propia) y servomotores SG90 (RS-online, 2023).	38
Figura 25: Captura de pantalla del código de mcpwm.h (elaboración propia).	39
Figura 26: Circuito base de pruebas del sensor (Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., 2014).	40
Figura 27: Captura de Matlab de la función (1) aproximación de la función real del datasheet, tras ejecutar >> h = @(c) 100 * (exp(-c +4)-1); fplot (h, [1.5 4], 'g');	41
Figura 28: Captura de la sección “Conversion of Signal Output” del sensor I2C de Sensirion (Sensirion, 2023).	42
Figura 29: Captura del Thingsboard cuando se utilizaba el ADC interno del ESP32 – en el área de Sensores ADC de ozono y de energía solar se pueden evidenciar 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 sampling algo rápido, y la tercera cuando se alimentó una de esas entradas de ozono con una lectura de otro potenciómetro.	43
Figura 30: Módulo MikroE ozone 2 (MikroE, 2023).	44
Figura 31: Módulo MikroE ozone 2 preparado para cambiarse su jumper de salida analógica de SPI a AN (elaboración propia).	44
Figura 32: Lecturas ozono en Thingsboard durante 1 hora cuando los servos, el motor de DC y sensores de ozono compartían alimentación. Nótese 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 (elaboración propia).	46
Figura 33: Lecturas ozono en Thingsboard durante la prueba de sensores de ozono número 6. La calibración de lecturas se completó en 12:42:32 (dejando a posta 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. Ozono Esterior era el más cercano al generador de ozono. (elaboración propia).	47
Figuras 34, 35 y 36: Módulos Diligent Pmod GPS y SIM800H (RS-online, 2023) (RS-online, 2023), y captura de la sección de licencia de la biblioteca nmea_parser.h (captura de elaboración propia).	48
Figura 37: Instrucciones mediante curl que nos permiten enviar telemetría al Thingsboard (captura de elaboración propia).	50
Figura 38: Captura del panel de Thingsboard cuando los sensores de ozono y GPS aún no estaban conectados y se usaba el ADC interno del ESP32 (captura de elaboración propia).	51
Figura 39 y Figura 40: Capturas de pantalla del móvil recibiendo una alerta informativa de nivel solar bajo y alerta de nivel roto (capturas de elaboración propia).	52
Figura 41: Captura de pantalla del Thingsboard con otras alertas y nuevo formato de posición de widgets a medida que íbamos conectando los Sensores al ADC I2C (captura de elaboración propia).	53
Figura 42: Captura de pantalla del Thingsboard justo tras enviar el firmware y número de versión, se ve como recibe alertas pero no sale error/alerta de la OTA (captura de elaboración propia).	53
Figura 43: Captura de pantalla de los requerimientos ajustados para mayor seguridad durante la impresión (elaboración propia).	54
Figura 44: Captura de pantalla de la calculadora de KiCad 7.0 del grosor mínimo de pista según parámetros de variación de temperatura de 40 grados y alimentación de corriente de 2.0 A (elaboración propia).	55
Figura 45: Captura de pantalla de la configuración de la Netlist Signal para nuestro proyecto (elaboración propia).	55

Figuras 46, 47 y 48: Esquemático 8 Mayo 2023, en el que se reemplaza los conector 2x0X por su versión odd-even; PCB 8 Mayo 2023, a la espera de más restricciones por fabricación (elaboración propia). _____	56
Figuras 49 y 50: PCB 9 Mayo 2023, reducidas posibles inducciones (elaboración propia). _____	57
Figuras 51 y 52: PCB 10 Mayo 2023, añadido logo oculto (elaboración propia). _____	58
Figura 53: Mensaje de Norberto, a 12 Mayo 2023 (captura de pantalla de elaboración propia). _____	59
Figura 54: Captura de pantalla del pedido y su coste de llegada, a 12 de Mayo de 2023 (captura de pantalla de elaboración propia). _____	59
Figura 55: Las PCB llegaron el 25 de Mayo de 2023, arriba se ve el paquete de PCBs, aún sin soldar (captura de elaboración propia). _____	60
Figura 56: Vista de como quedarían algunos de los componentes, a 30 de Mayo de 2023, aún sin soldar. Los cables rojo y negro en este caso son los de la placa solar (captura de elaboración propia). _____	61
Figura 57: Estado de desarrollo de la PCB, a 6 de Junio de 2023, a la espera de la batería alternativa (captura de elaboración propia). _____	61
Figura 58: Adaptador de voltaje y corriente: 5-50V IN , 5V 2A OUT, con protección de sobrecorriente e inversión de polaridad (Future Electronics, 2023). _____	62
Figura 59: PCB completa, a 16 de Junio de 2023, con la mayoría de componentes conectados (captura de elaboración propia). _____	62
Figura 60: PCB completa, a 23 de Junio de 2023, con forma más modular y funcionando con todos los componentes (captura de elaboración propia). _____	63
Figura 61: modelo del chasis en FreeCAD a 16 de Mayo de 2023, escala 1:10 (elaboración propia). Se han dejado 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 para tomar de referencia de tamaño máximo permitido por legislación. _____	64
Figura 62: modelo del chasis en FreeCAD a 17 de Mayo de 2023, escala 1:10 (elaboración propia). El recorte del chasis principal ha permitido introducir otros componentes en su interior. _____	64
Figuras 63, 64, 65 y 66: de izquierda a derecha y de arriba abajo; primera, segunda, tercera y cuarta parte del modelo de impresión del chasis a 18 de mayo de 2023, escala 1:1 (elaboración propia). _____	65
Figura 67: quinta parte del modelo de impresión del chasis a 18 de mayo de 2023, escala 1:1 (elaboración propia). _____	65
Figura 68: modelo de las piezas primera y segunda reajustadas del chasis en FreeCAD a 24 de Mayo de 2023, escala 1:10 (elaboración propia), el agujero de pase del motor estaba en un lugar incorrecto. _____	66
Figura 69: línea a añadir a los gcode, tras la línea G28 (elaboración propia). _____	66
Figuras 70, 71, 72, y 73: imágenes de la primera versión del chasis final impreso a escala 1:10, trasero, frontal, de medio lado y medio abierto con la miniaspa y timón externo al lado (elaboración propia). _____	67
Figuras 74 y 75: soporte diseñado por Alberto, en Ultimaker Cura. 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 29-10-2023 (9+3g) (capturas de elaboración propia). _____	68
Figura 76: PCB con el soporte diseñado por Alberto (captura de elaboración propia). _____	69
Figuras 77, 78, 79 y 80: antiguas partes del modelo del chasis a 25 de Julio de 2023 (elaboración propia) _____	69
Figuras 81, 82, 83, 84 y 85: ajustes del chasis a 14 de Septiembre de 2023. Peso junto a soporte de 2,71 kg (elaboración propia) _____	70

Figuras 86, 87 y 88: ajustes del chasis a 19 de Septiembre de 2023. El recorte de la parte trasera supuse una reducción de peso junto a soporte a 2,56 kg (elaboración propia)	71
Figura 89: tabique del modelo del chasis a 25 de Julio de 2023, se mantuvo en versiones posteriores hasta la versión de Alberto (elaboración propia)	72
Figura 90: extensión del soporte a 2 de Octubre de 2023, por Alberto. Se imprimió 2 veces (captura de elaboración propia)	72
Figuras 91 y 92: tapa con rosca delantera, y aspas, a 2 y 3 de Octubre de 2023, refinadas por Alberto (captura de elaboración propia)	73
Figuras 93 y 94: resto del chasis planificado y refinado para imprimirse originalmente hasta las averías con las impresoras 3D, a 15 de Noviembre de 2023 (captura de elaboración propia)	74
Figuras 95, 96, 97, 98 y 99, de izquierda a derecha y de arriba abajo: ícono del FreeCAD (Bejant, 2023), algunas de las operaciones básicas de creación y medición de objetos, más herramientas de edición de objetos y sketches, operaciones booleanas, panel de vista combinada.	77
Figuras 100 y 101: panel del PartDesign – 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 (capturas de elaboración propia).	77
Figuras 102 y 103: Uno de los múltiples íconos de la plataforma git (Git, 2022) e ícono GitLFS (Git LFS, 2023).	79
Figuras 104 y 105: Git Bash y Github desktop (capturas de elaboración propia).	79
Figuras 106, 107 y 108: Ícono de Kicad 5.0 (izquierda, (Kicad EDA, 2023)) vs Kicad 7.0 (derecha, captura de elaboración propia). Ejemplo de la funcionalidad de reflejo esquemático-PCB (elaboración propia).	80
Figura 109: Ícono del Ultimaker Cura (Ultimaker, 2023).	81
Figuras 110 y 111: configuración para nuestra impresora 3D Artillery Sidewinder (capturas de elaboración propia).	81
Figuras 112 y 113: configuración de la impresora y la impresión para el proyecto 3D, alterándose el .gcode inicial para que la Artillery Sidewinder autonivele la cama – algo no aplicable a la Ender (capturas de elaboración propia).	82
Figuras 114, 115 y 116: configuración para nuestra impresora 3D Ender-3 de Creality (capturas de elaboración propia).	82
Figuras 117 y 118: Ícono de Visual Studio Code, izquierda (Microsoft, 2023) y Visual Studio, derecha (Microsoft, 2023).	83
Figura 119: Captura de la barra de herramientas inferior de Visual Studio Code (captura de elaboración propia).	83
Figuras 120 y 121: Mensajes del Servicio de Aviación General (capturas de elaboración propia).	90
Figura 122: Pieza CE3E3V2_Unnamed-Cubo5-PruebaEnder (captura de elaboración propia).	114
Figura 123: Una de las Pieza CE3E3V2_Unnamed-Cubo5-PruebaEnder impresa durante el plan de pruebas, con la desnivelación de la zona frontal presente y evidencia de infra-extrusión en la pieza central cuando se dejaba de presionar el filamento (captura de elaboración propia).	116

INDICE DE TABLAS:

Tabla 1: Diagrama de Gantt de nuestro proyecto, planificación ideal (Elaboración propia).	17
.....
Tabla 2: Diagrama de Gantt de desviaciones de nuestro proyecto (Elaboración propia).	18
.....
Tabla 3: Tabla de precios de nuestros componentes (Elaboración propia).	22
Tabla 4: Glosario de Términos (Elaboración propia).	109
Tabla 5: Anexos de pruebas (Elaboración propia).	111
Tabla 6: Tabla de pruebas de la Ender-3 (Elaboración propia).	114

Resumen: Este documento indica el progreso paso a paso en el diseño e implementación del TFG del alumno Alejandro Serrano López “AspiradO3”, consistente en el desarrollo de una aspiradora volante de carbono activo que se controla a sí misma para ir 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; así como los múltiples problemas encontrados durante su fabricación; a fin de demostrar el dispositivo, una vez completamente investigado, debería ser suficientemente sencillo y asequible como para su producción en masa. Finalmente, futuros planes y vías de investigación y desarrollo son sugeridos como mejoras para el prototipo.

Summary: This document summarizes the step-to-step design and implementation progress of Alejandro Serrano López's final degree project, “AspiradO3”, consistent in the development of a self-controlled, flying active-carbon vacuum cleaner that moves towards the highest-ozone-concentration areas and monitors them along with other area key factors in O₃ generation, facilitating further tropospheric ozone studies and urban and peri-urban atmospheric cleanup of this contaminant agent; as well as the myriad of problems found during its fabrication, in order to demonstrate that the device, once fully investigated and developed, should be simple and cheap enough for massive production. Finally, future plans and avenues of research and development are suggested to further improve the prototype.

0. Problemática:

El ozono (fórmula química O₃) 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 radiación y se rompa en una molécula de oxígeno molecular (O₂) y otra de oxígeno atómico (O), que se vuelven a reformar, mientras 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 UV-C y las Ultravioletas Bajas o UV-B, dejando pasar solo las Ultravioletas Altas o UV-A (Universidad de Granada, 2023).

Este mismo proceso también se ve involucrado en 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 UV-C 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.

Nombre	Abreviación	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

Figura 1: Tabla de relación entre nombres, longitud de onda y energía de la radiación UV (Universidad de Granada, 2023).

Ahora se unen dos problemas causados por la contaminación humana, 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, O₂) 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 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 UV-C 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 debido a contener 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 al inflamación de la piel, ocular y respiratoria, 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. Estado de la Técnica:

Tras investigar hemos concluido que el estado actual de la técnica 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 ozono en algunos tipos de filtros como desinfectantes (Oxygen Ozone, 2023).

Por una parte, el uso de tecnología 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.

Debido a la naturaleza del ozono, los filtros convencionales HVAC son incapaces de filtrar el ozono en ninguna cantidad, se requieren de filtros o procesos especiales. Actualmente existen numerosos filtros que catabolizan el ozono, siendo los más populares 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 inefficientes, 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 de carbón activo, pueden ayudar en la filtración hasta cierto punto (Grabianowski, 2019).

Por otra parte, también existen filtros más avanzados de uso comercial que tratan los 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 ya sabemos 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).

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 dejan los gases escapar 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 nos podamos basar en estos parámetros para la construcción de nuestro proyecto, solo nos interese de verdad en la versión expandida del proyecto. 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 ecualiza 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 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).

Finalmente, vimos que existía una compañía israelí, High Hopes, que está trabajando en un dispositivo similar al nuestro, pero centrado en un proceso inverso, en llevar CO₂ de la estratosfera al subsuelo (Holgado, 2021), otra prueba de que nuestra tecnología es factible.

Así, viendo que para nuestra necesidades tenemos una gran variedad de opciones baratas y suficientemente fiables, la opción adecuada para nuestro proyecto sería 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 rs-online.

2. Objetivo:

Nuestro sistema está propuesto para limpiar la troposfera de sustancias químicas nocivas, principalmente el ozono troposférico, pero con unas simples modificaciones también de otros agentes contaminantes como el óxido nitroso, monóxido de carbono y partículas en suspensión, de acuerdo a las ODS 2 (Salud) y 13 (Acción por el clima).

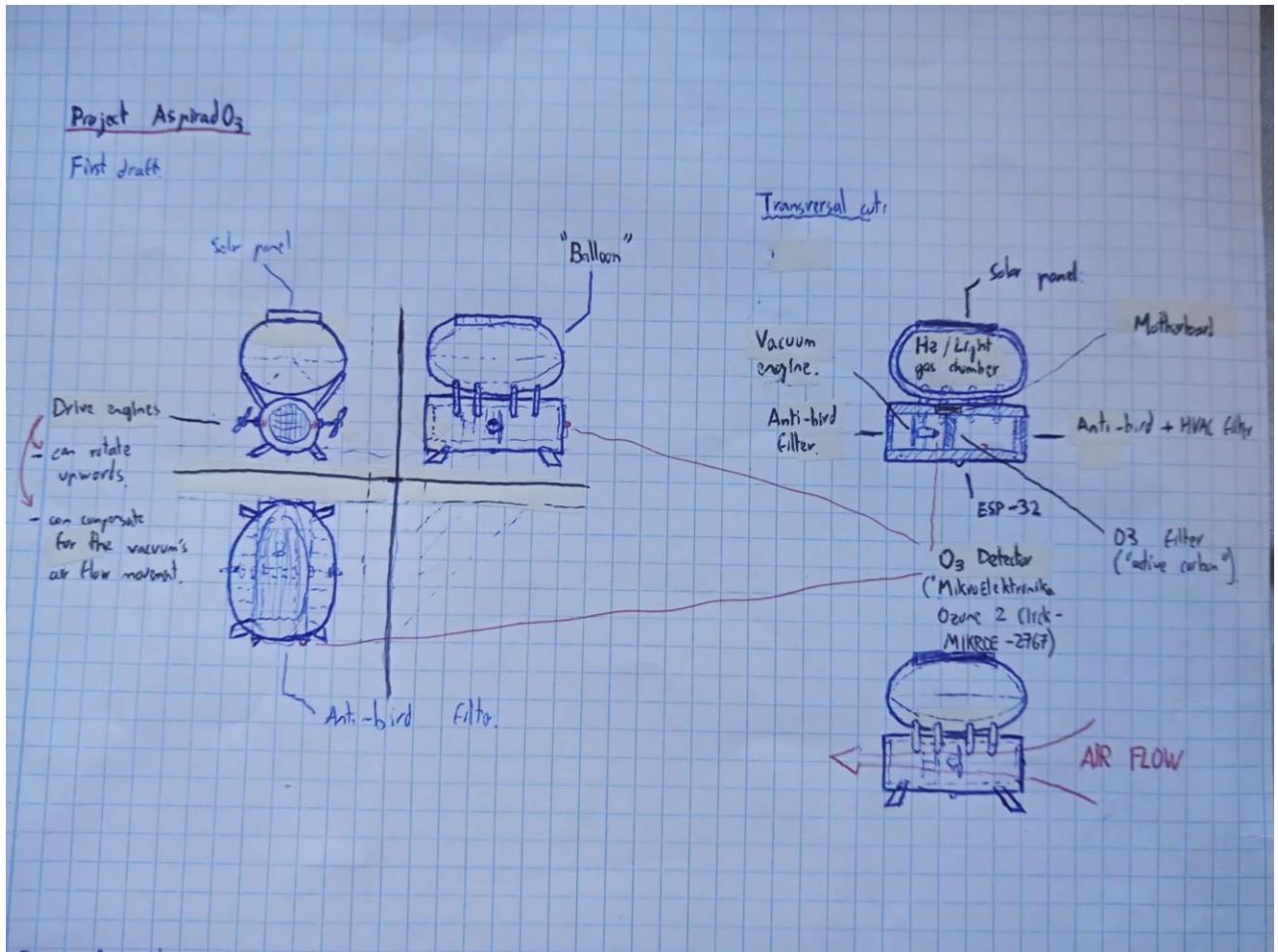


Figura 2: Boceto inicial esquemático del sistema (elaboración propia).

Para ello, según nuestro plan inicial, utilizaríamos un sistema similar a un dirigible o globo aerostático, en el que los sistemas de control y actuación de nuestro 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 (no está de más limpiar un poco la atmósfera de polución, ni evitar que nuestro 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.

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 del equipo 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.

Ya para una variante más ambiciosa, se sugiere un sistema que filtra el ozono captado y lo almacena en bolsas o un formato compatible con el transporte de esta 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.

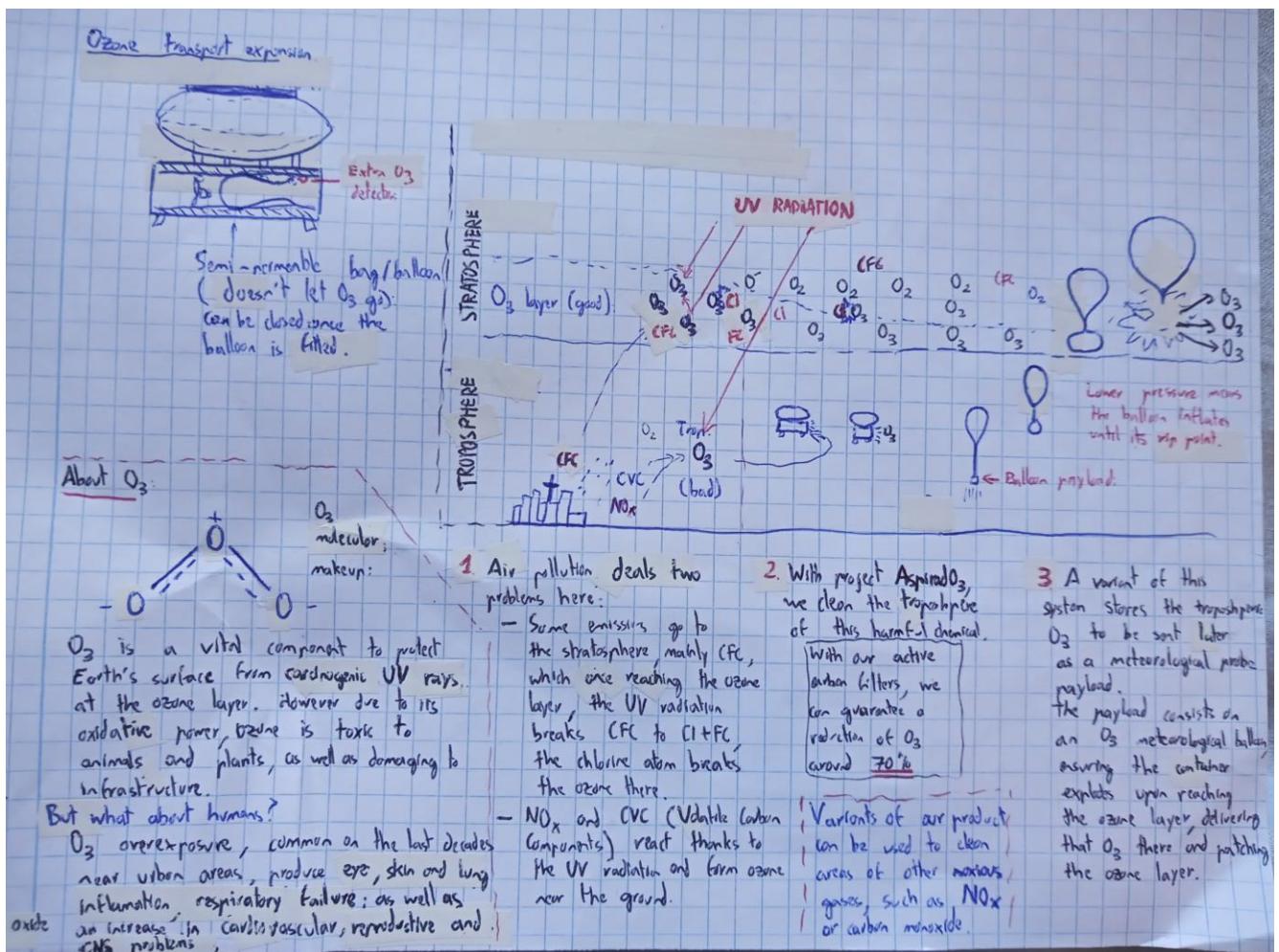


Figura 3: Imagen del sistema simplificado de funcionamiento del proyecto (elaboración propia).

3. Plan de Realización:

Sen la siguiente lista se indica la planificación del TFG por hitos, así como su progreso.

HITOS:

Hito 0: elaboración del anteproyecto. ESTADO: COMPLETO

- Se pedirá visto bueno del profesor antes de proceder.

Hito 1: refinamiento del diseño ESTADO: COMPLETO

- Se consultará con el profesor guía para el TFG.
- Según límites a la hora de implementar y del presupuesto, se ajustará el diseño y se pedirán los materiales.

Hito 2: funcionamiento de motores. ESTADO: COMPLETO

- Las pruebas se harán incrementalmente, de nivel inferior al superior (primero un motor, luego otro).
- 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. ESTADO: COMPLETO

- 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).
- Comprobar limitaciones con los sensores, y ver si son salvables con la placa utilizada.

Hito 4: conexión a Thingsboard. ESTADO: COMPLETO

- Se puede cargar firmware.
- Se pueden recibir datos.
- Opcional: se pueden enviar datos a otra plataforma (por ejemplo, Telegram).

Hito 5: impresión del chasis y PCB. ESTADO: PCB COMPLETO, CHASIS: PROGRESO (DETENIDO)

- Si hay limitaciones, buscar otras opciones.
- Si es necesario se pedirá ayuda a un experto en uso de herramientas de impresión 3D del equipo.

Hito 6: programación y pruebas de autonomía. PROGRESO PARCIAL

- Esta etapa no puede iniciarse hasta haber terminado las etapas anteriores.
- Entre las pruebas están:
 - Batería proporciona suficiente energía para el sistema. PROBADO (PROTOBOARD Y PCB)
 - Panel solar ayuda en la carga. PROBADO (PROTOBOARD Y PCB)

- Manejo en entorno ideal (sistema de control). NO INICIADO
- Manejo en el exterior (sistema de control). NO INICIADO
- Puede actuar sin conexión a la red wi-fi. PROBADO (PROTOBOARD Y PCB)

Hito 7: desarrollo de la memoria. ESTADO: COMPLETO

- Se realizará a lo largo de los demás hitos.
- También se incluye en este hito la exposición, de carácter obligatorio, así como asegurarse de que se cumplen los requisitos de las ayudas para el TFG del subcomponente HW, al final del tiempo asignado al hito y antes de la fecha indicada en el documento de ayuda para la realización del TFG y TFM con segmento Hardware, "junio de 2024" (Yagüe Panadero, 2023), aunque lo prepararemos para junio de 2023 si es posible.
 - La exposición consistiría en 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, por lo que se podría realizar en algunas de las zonas interiores más espaciosas de la escuela como el Bloque IX/X o algunos patios.

Hito 8: desarrollo de la ampliación para planes futuros (opcional). NO INICIADO

- Una vez se han completado los hitos 0-6 se propondrá avanzar el proyecto a la forma más ambiciosa de almacenar el ozono troposférico.

Tabla 1: Diagrama de Gantt de nuestro proyecto, planificación ideal (Elaboración propia).

Hito	S. 5	S. 6	S. 7	S. 8	S. 9	S. 10	S. 11	S. 12	S. 13	S. 14	S. 15
0											
1											
2											
3											
4											
5				*							
6											
7											
8											

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

3.1 Desviaciones del Plan de Realización

Tabla 2: Diagrama de Gantt de desviaciones de nuestro proyecto (Elaboración propia).

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. 27	S. 28	S. 29	S. 30	S. 31	S. 32	S. 33	S. 34	S. 35	S. 36	S. 37	S. 38
0																																			
1																																			
2				[1]	[1]	[1]	[1]	[1]																											
3				[1]				[4]	[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]	[F]	[G]	[G]	[G]	[G]				
6																																			
7																																			
8																																			

Se indica en rojo secciones que fueron retrasadas y en azul aquellas adelantadas, con un número o carácter indicando la causa.

[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 (captura del mensaje de petición de materiales de filtro y SIM800).

[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 testing 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 me 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 (Figura 5).

[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 TFG sin el prototipo completo.

AspiradO₃

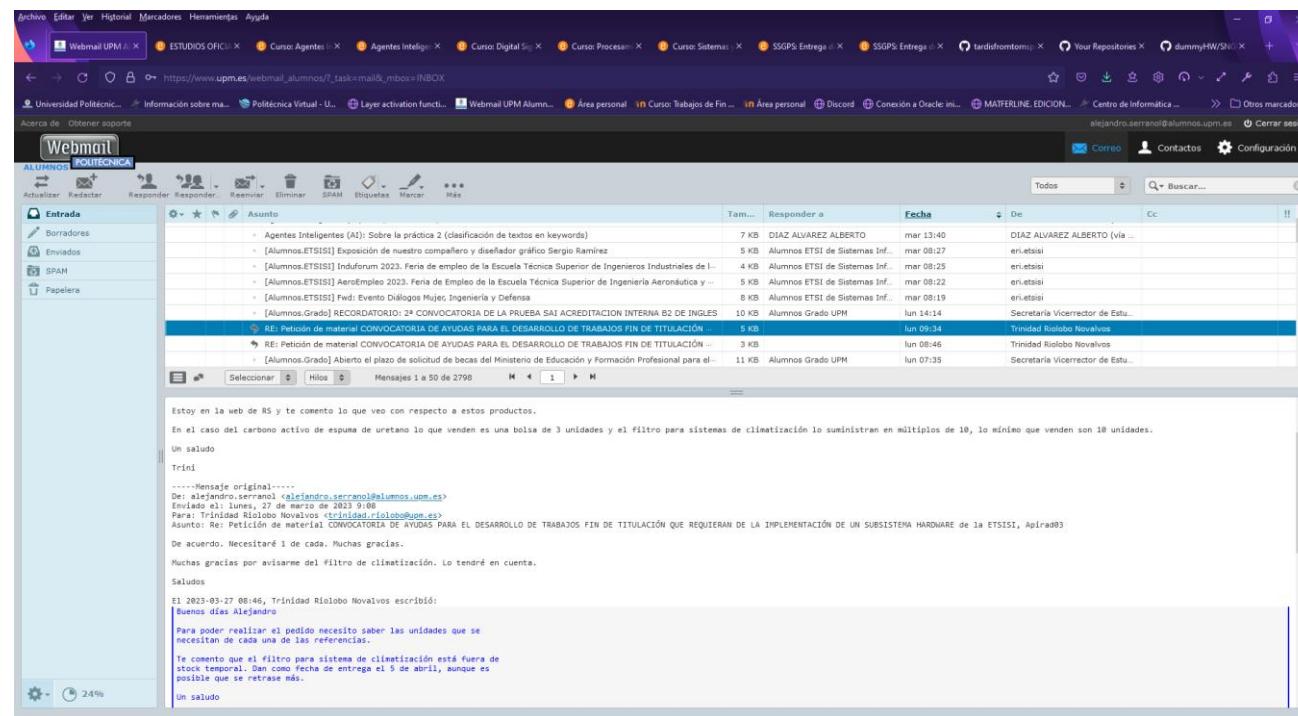


Figura 4: captura del mensaje de petición de materiales de filtro y SIM800 (elaboración propia).

Proyecto Aspiradora de Ozono

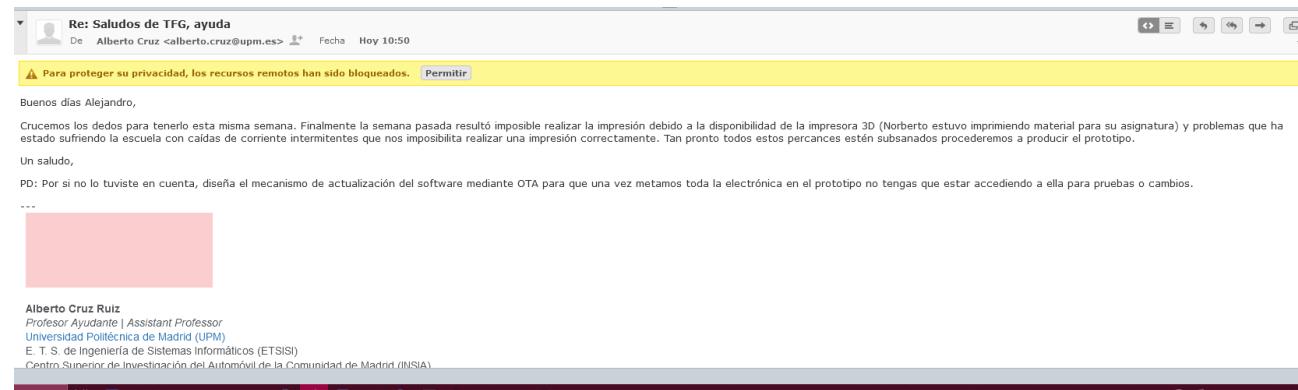


Figura 5: captura del mensaje de incidencias técnicas para elaborar nuevo chasis el 25 de Septiembre de 2023 (captura de elaboración propia).

4. Listado de materiales:

Sobre los proveedores, se debe tener en cuenta de que solo se incluyen resultados de los proveedores indicados, aunque existan en otros (eso es, proveedor primario UPM es <https://es.rs-online.com/web/> mientras que los proveedores alternativos (muy difícil que lleguen a tiempo) son <https://www.mouser.es/>, <https://www.electronicaembajadores.com/>, y <https://www.az-delivery.de/es/>) a menos que no se encuentre en ninguno de esos proveedores.

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.

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 3: Tabla de precios de nuestros componentes (Elaboración propia).

Componente	Proveedor primario		Proveedor alternativo	Unidades	Precio sin IVA	Precio con IVA
	URL RS- online	Número de ref. RS	URL			
Procesador ESP-32 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=1mbolxNpo8cHSPn6LrSrWQ%3D%3D	3	46,66 * 3 € 42,30 * 3 € (mouser)	56,46 * 3 € 51,19 * 3 € (mouser)

Proyecto Aspiradora de Ozono

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 de 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/COLE22725/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/SMDI1N4007/semitconductores/diodos-excepto-leds/1n4007-diodo-rectificador-1000-v-1-a	2	0.115 €	0.14 * 2€
Filtro de carbono activo	https://es.rs-online.com/web/p/accesorios-para-aspiradores-de-humo-de-soldadura/1234906	123-4906 (fabricado por RS)	(Más similar) https://www.mouser.es/ProductDetail/Metcal/FM-MSA25U?qs=rQFj71Wb1eXTSvMuYg2bpq%3D%3D	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/7302921	730-2921 (fabricado por 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=17u8l%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)

AspiradO₃

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 usn 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 €
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)	2,82 *2 € (electronicaembajadores, versión a modificar)
Diligent Pmod GPS: GPS Receiver - 410-237	https://es.rs-online.com/web/p/kits-desarrollo-de-sensores/1346455	134-6455	https://www.mouser.es/ProductDetail/Digilent/410-237?qs=s%2FdVVPQMB4zUVDFMdmdUxQ%3D%3D		1	43,97 € (ya disponible)	53,20 € (ya disponible)
Placa Solar 6V NOTA: se podría usar la placa que ya empleamos para el proyecto GyPhi	https://es.rs-online.com/web/p/paneles-solares/1860599	186-0599	No encontrado - más similar: https://www.mouser.es/ProductDetail/Adafruit/3809?qs=MLltCLRbWswl2zZ4yMv4FA%3D%3D		1	16,00 € (ya disponible)	19,36 € (ya disponible)
	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)

Proyecto Aspiradora de Ozono

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 € (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-sq90-9g-servomotor-miniatura	2	4,05 * 2 € 3,04 * 2 € (electronicaembajadores.es)	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 (REEMPLAZADAS POR IMPRESIÓN 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=bveeYqUih0PMDSXBzOIMg%3D0%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) NOTA: Si se usa este kit los motores para aspas ya no son necesarios	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/ZERODECO-Decoraci%C3%B3n-cumplea%C3%B1os-Birthday-Accesorios/dp/B07KRXKD5Z/ref=sr_1_1_sspa?keywords=globos+poli	1	18,33 €	22,17 €

			<p>etileno&qid=1675085531&sr=8-1-spons&sp_csd=d2lkZ2V0TmFtZT1zcF9hdGY&psc=1</p> <p>https://www.amazon.es/Angry-Birds-AR-1013-Air-Swimmers/dp/B009YB3IC1/ref=sr_1_5?crid=1Q72W9HERHRS8&keywords=air+swimmer&qid=1675156490&sprefix=air+swimmer%2Caps%2C108&sr=8-5</p> <p>ALTERNATIVA: Instrucciones de construcción https://www.instructables.com/RC-Zeppelin-dirigible/</p>			
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 €
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/LCGS004/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)

Proyecto Aspiradora de Ozono

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	https://www.mouser.es/ProductDetail/Sensirion/SHT85?qs=byeeYqUlhOOExKWW1Eu%252BLQ%3D%3D	1 (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 componentes no utilizados)					645,109 €

5. Refinamiento del diseño:

De acuerdo con los hitos 0 y 1, se procedió a refinar el diseño 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.

Un segundo refinamiento implicó la 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 croquizar, 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.

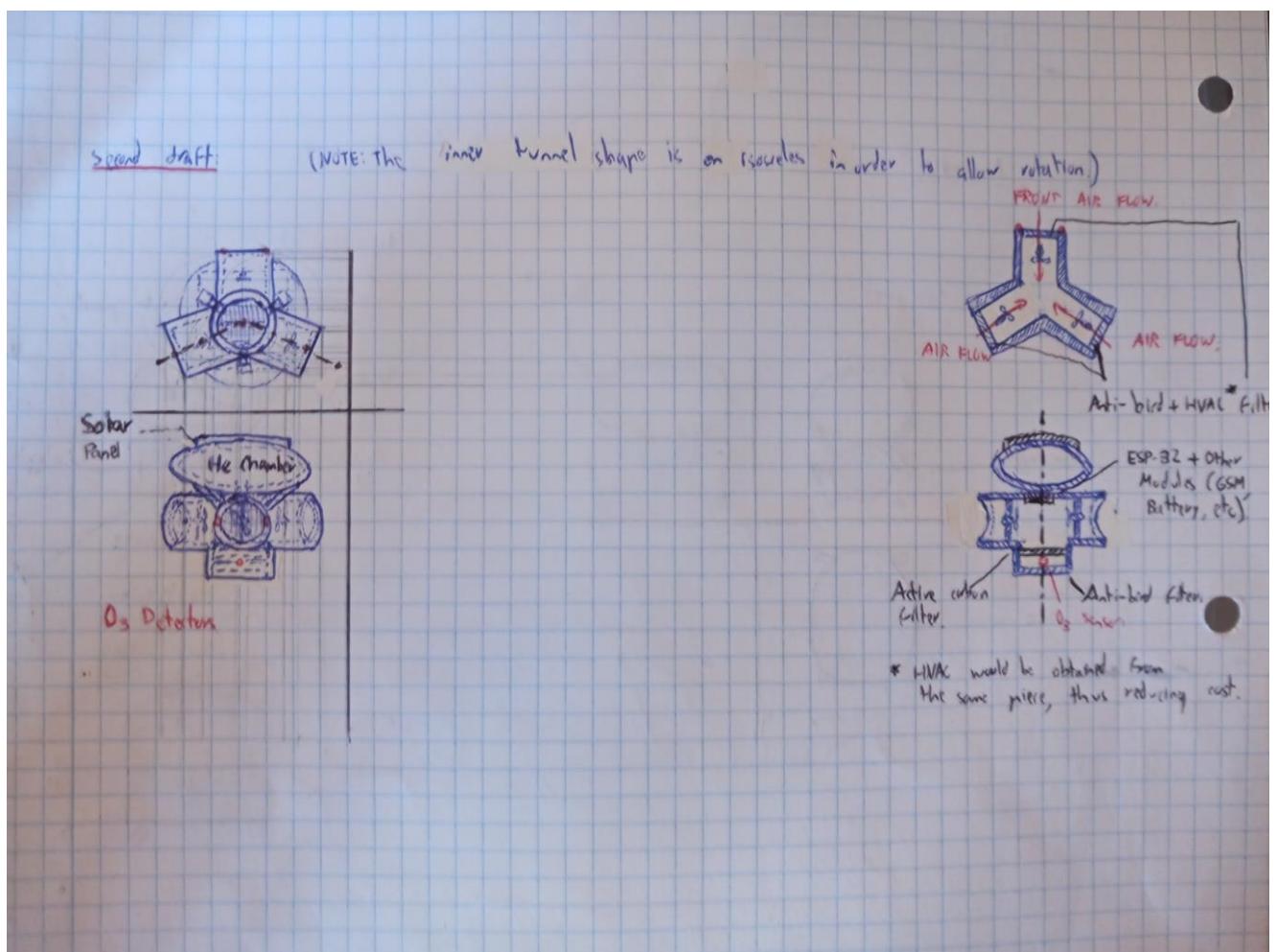


Figura 6: Primer Boceto alternativo del sistema, para ahorrar un motor (elaboración propia).

Proyecto Aspiradora de Ozono

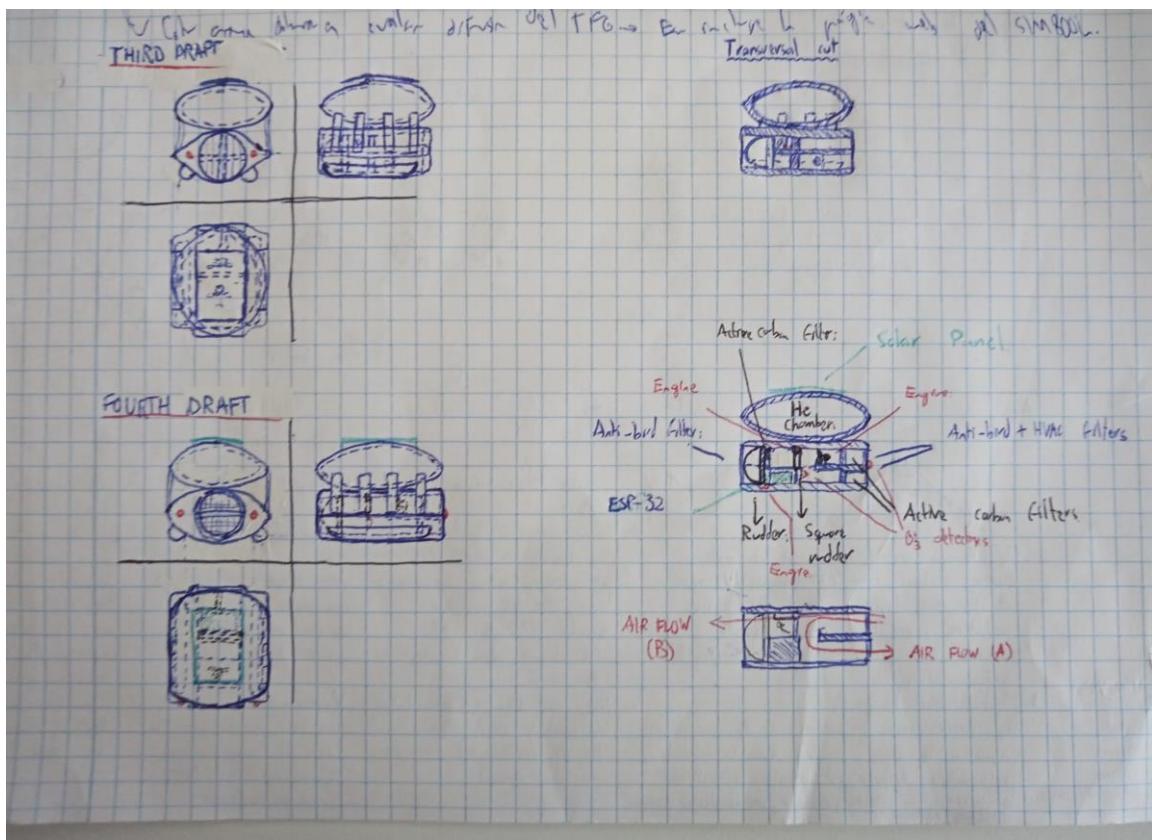


Figura 7: segundo y tercer refinamiento del boceto alternativo del sistema, para ahorrar energía (elaboración propia).

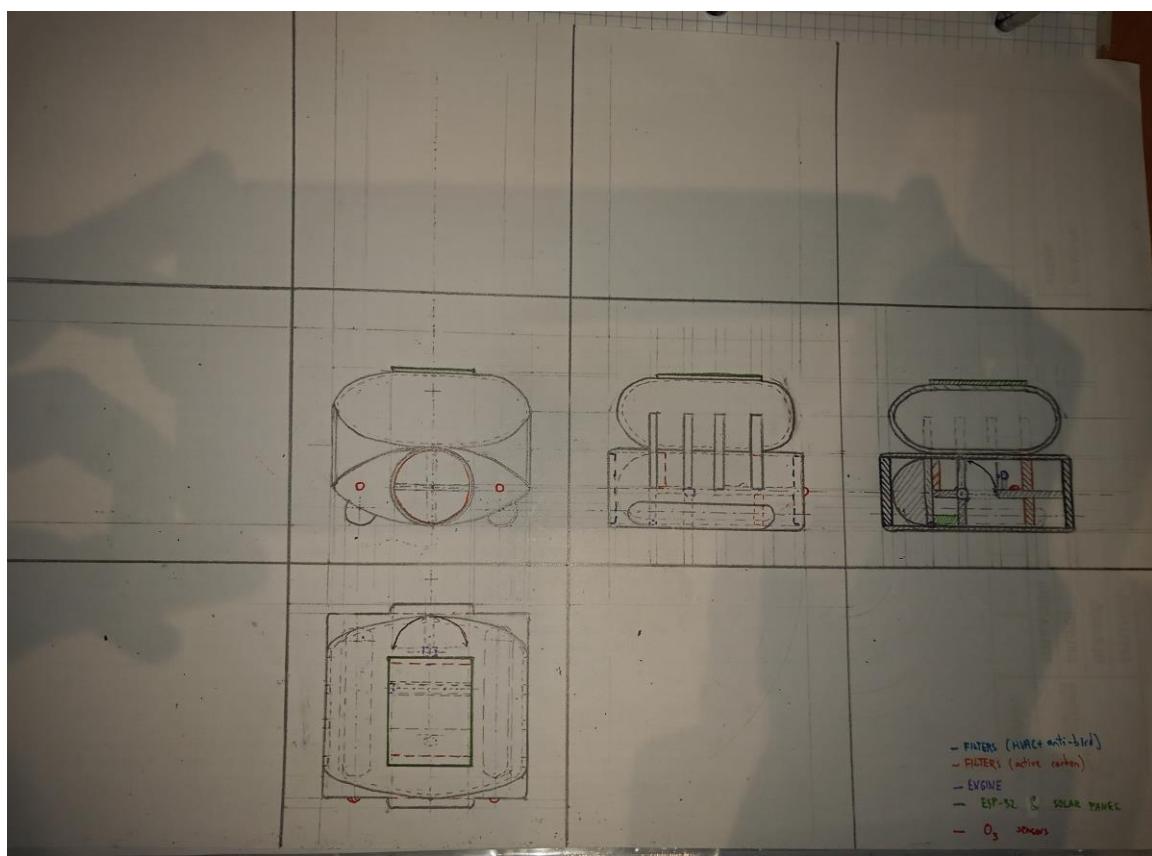
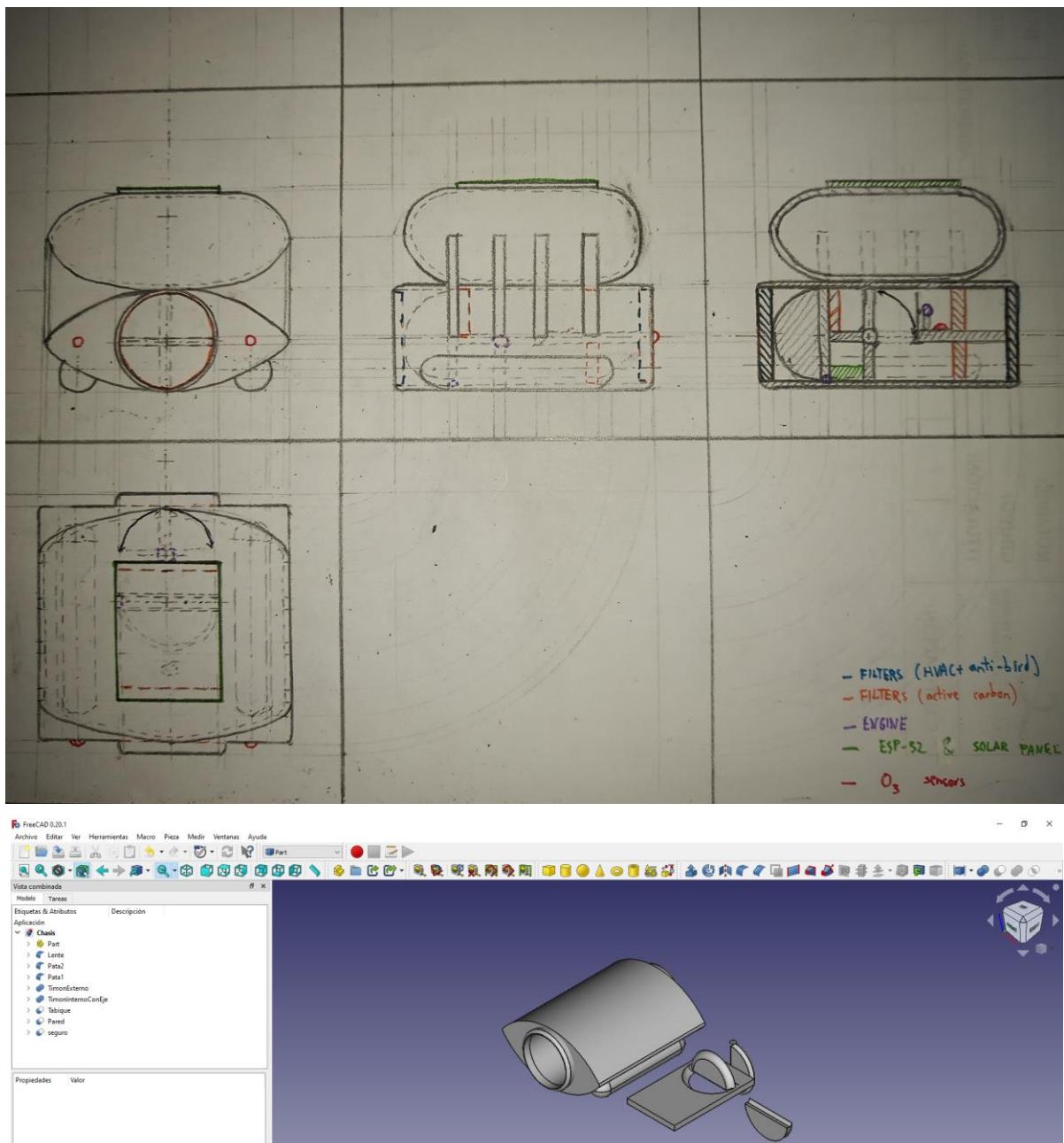


Figura 8: croquis del tercer refinamiento del boceto alternativo del sistema, sin las medidas (elaboración propia).

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).

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. 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 posteriores para ajustarlo a los sensores y actuadores necesarios.



Figuras 9 y 10: croquis corregido del tercer refinamiento del boceto alternativo del sistema, sin las medidas; y modelo del chasis en FreeCAD a 20 de Febrero de 2023, dejado los tabiques por fuera para mayor claridad (ambos de elaboración propia).

A nivel de componentes SW, el profesor sugirió utilizar otro sensor de ozono disponible en RS-online porque ese sensor era caro. Tras buscar entre las opciones disponibles sin embargo descubrimos que de las opciones disponibles solo dos sensores (ambos ZMOD 4510) estaban disponibles en nuestro proveedor primario, con los demás sensores siendo notablemente más caros que el sensor a reemplazar.

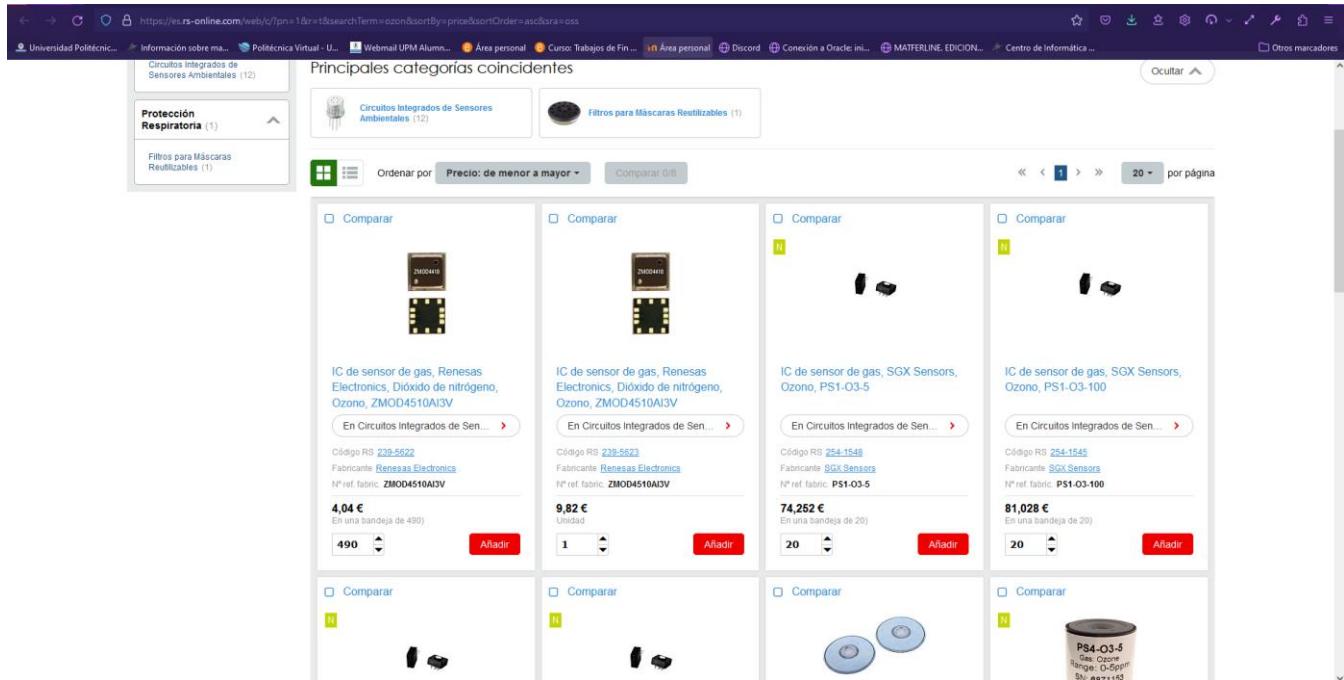


Figura 11: captura de pantalla de otros sensores de ozono disponibles que no fueran de Mikroelectronika (RS-online, 2023).

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). Nosotros hemos tratado de ver por nosotros mismos 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 para nosotros llegó a las 12 horas, pero tras abrirlo vimos 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 nuestra política 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 estamos reservando 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 nos quedamos con 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 se usa potencialmente para el wi-fi por lo que se tuvo que tener en cuenta en el diseño (Espressif, 2023). Además, el profesor mencionó que el módulo analógico digital de algunas esp-32 tenían un gran error y problemas. A pesar de que al comprobar 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 sensibles 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 µF (Espressif, 2023).

Mientras tanto, Kicad 7.0 fue instalado por motivos de compatibilidad con las bibliotecas de huellas del ESP-32 requeridas, no funcionales con la versión de dicho software que disponíamos anteriormente (5.1.10).

Abajo se indica una lista de imágenes de la progresión del diseño esquemático a lo largo de la evolución del proyecto, indicándose en cada imagen la fecha y los cambios realizados (explicados en secciones posteriores), hasta llegar al diseño definitivo. Nos basamos en la estructura eléctrica del proyecto padre GhiFi inicial, del que obtuvimos los valores de resistencias de pull-up necesarias de 4k7 (recomendadas para los sensores de temperatura y humedad Sensirion, que ya utilizamos más tarde (Sensirion, 2022)) y del valor mínimo del condensador de 125 µF (“tras consultar el manual técnico y el datasheet del ESP32, calculamos suponiendo que a los 100 ms queremos que el voltaje esté por encima del mínimo de 1.8V y 0.5A (Espressif, 2022), en nuestro caso 2V y 0.5A” (Carrasco, Parla, Riñón, & Serrano, upm365.sharepoint.com, 2022), aunque nosotros utilizamos 220):

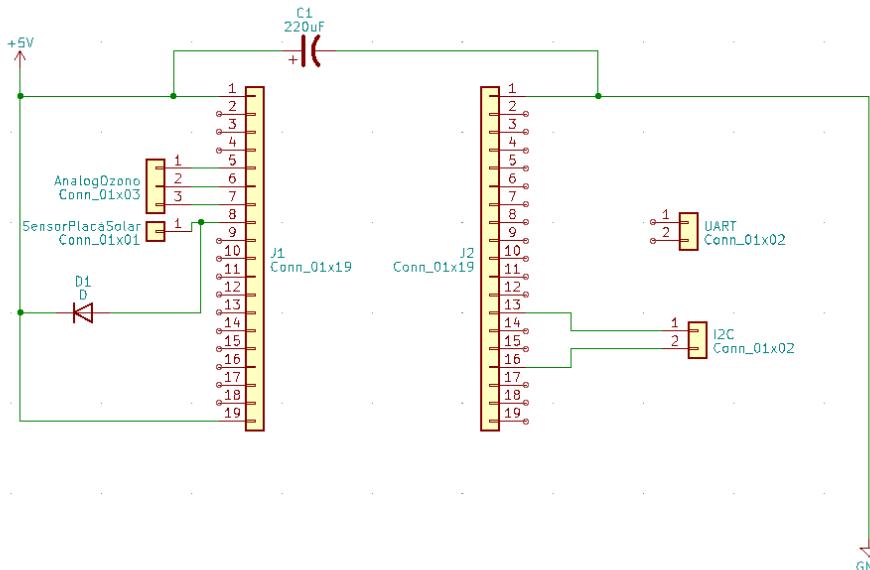


Figura 12: Esquemático incompleto inicial de la placa de circuitería (elaboración propia).

Proyecto Aspiradora de Ozono

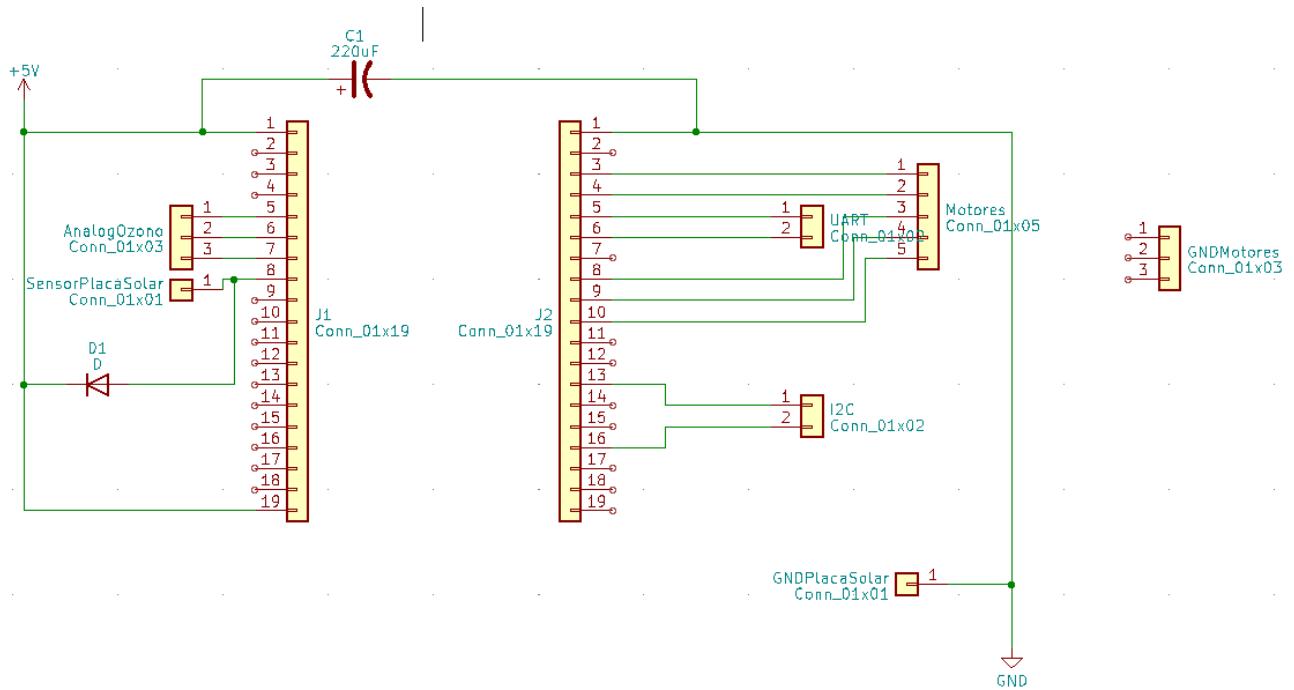


Figura 13: Esquemático menos incompleto de la placa de circuitería, 15 Febrero 2023 (elaboración propia).

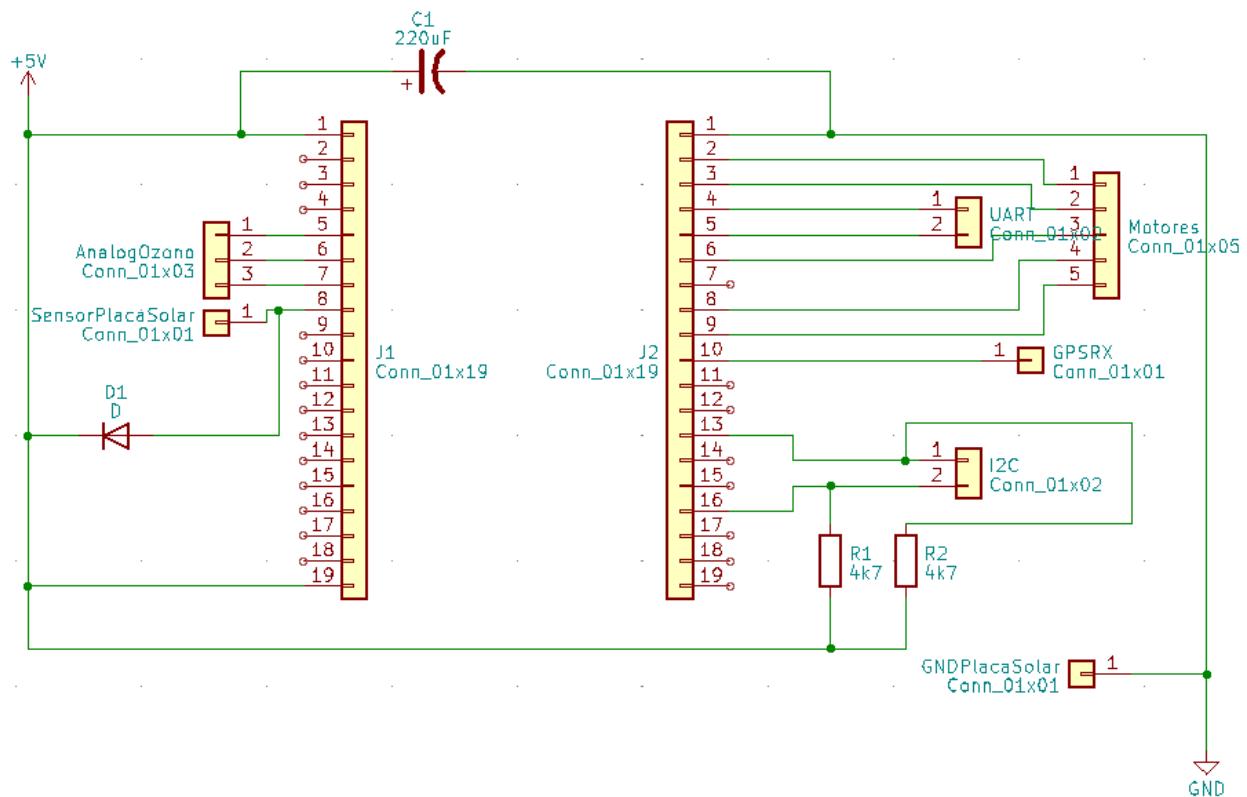


Figura 14: Esquemático más completo, incluyendo resistencias I2C de pull-up 4k7, 22 Febrero 2023 (elaboración propia).

AspiradO₃

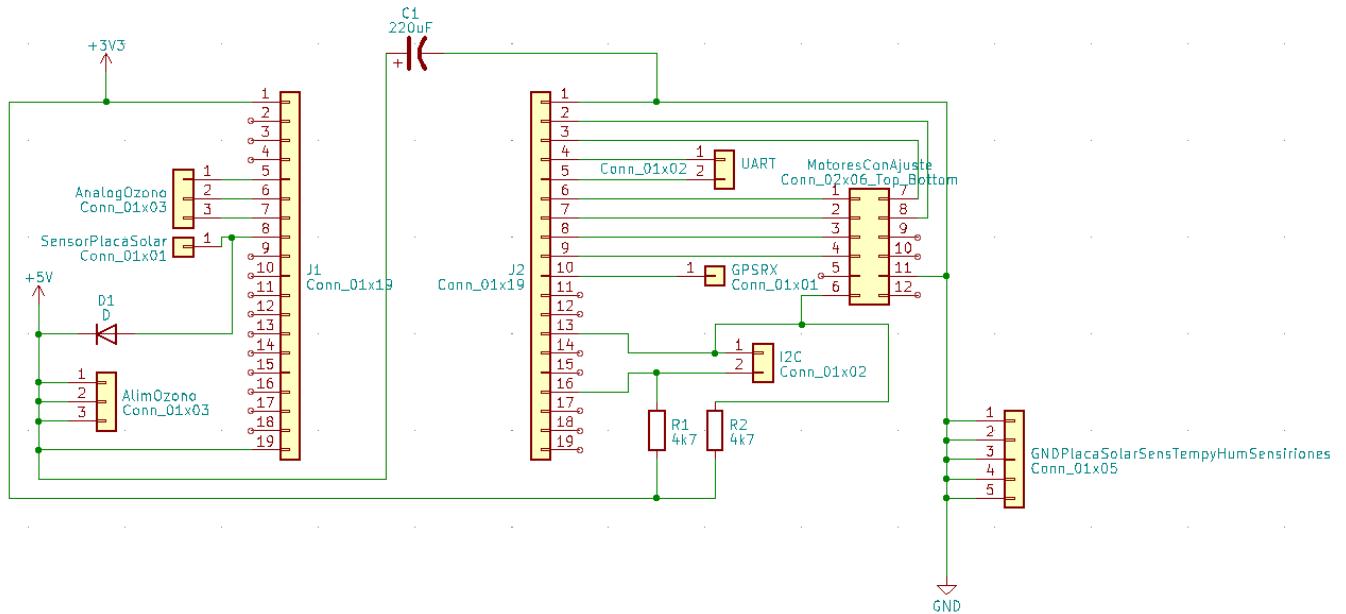


Figura 15: Esquemático 1 Marzo 2023, inclusión de pines de alimentación para sensores y actuadores (elaboración propia).

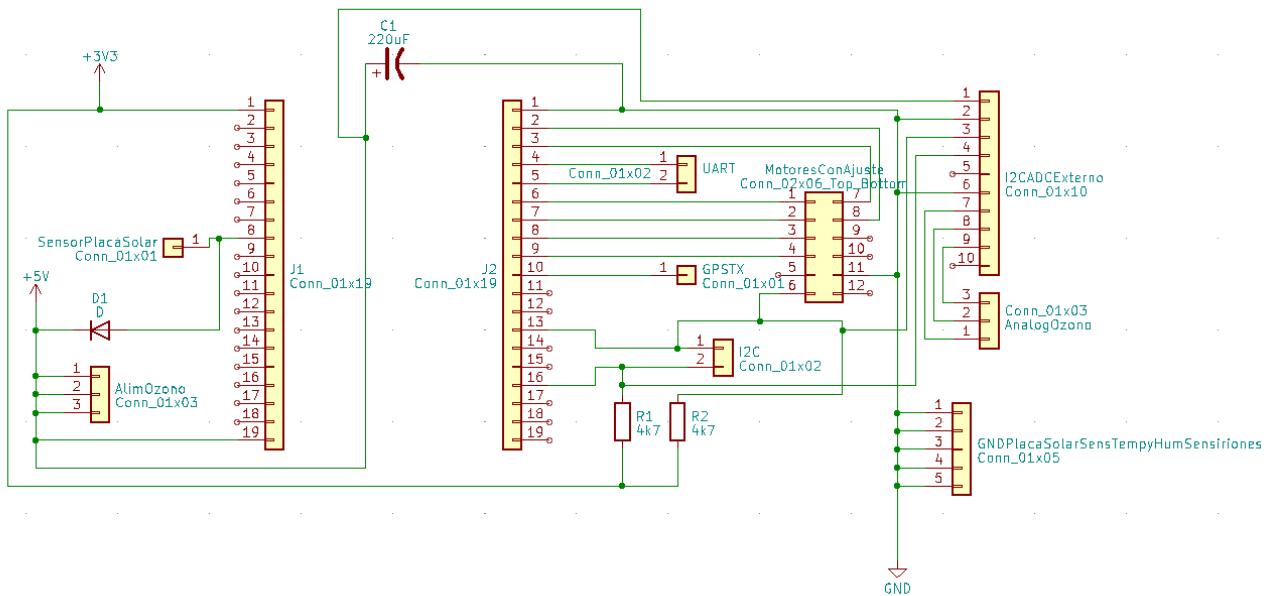


Figura 16: Esquemático 8 Marzo 2023, reemplazo de la mayor parte de pines ADC por un I2C ADC, y cambio de pin GPS RX a TX (elaboración propia).

Proyecto Aspiradora de Ozono

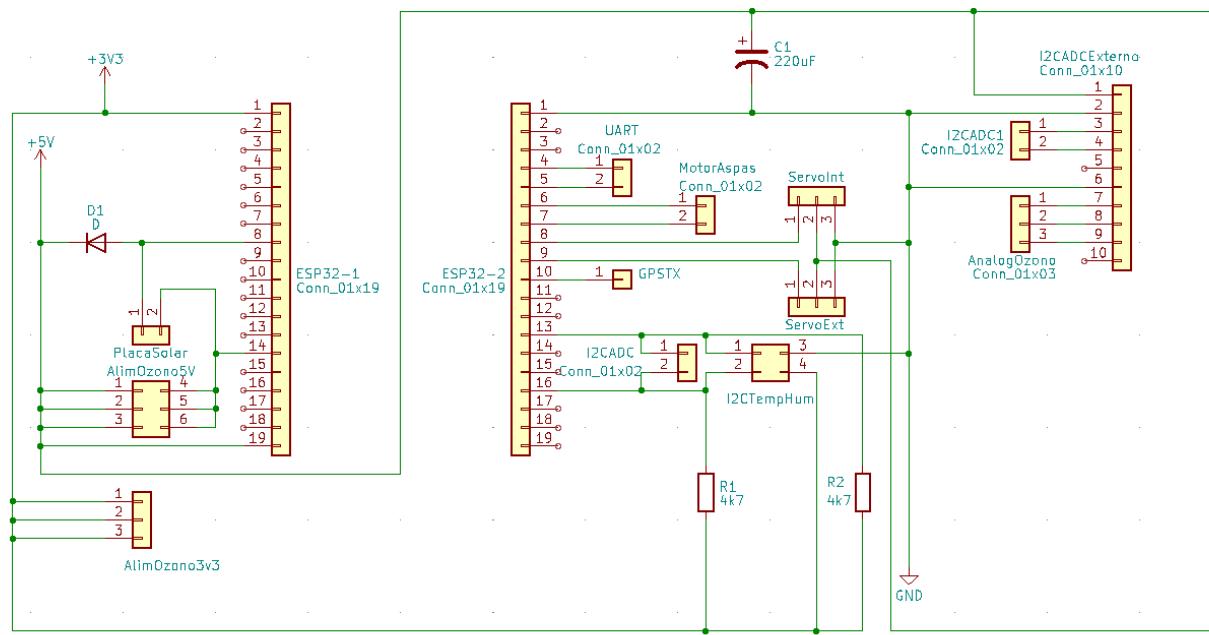


Figura 17: Esquemático 9 Marzo 2023, reemplazo pines de motores DC convencionales de babor y estribor por dos servos y reorganización (elaboración propia).

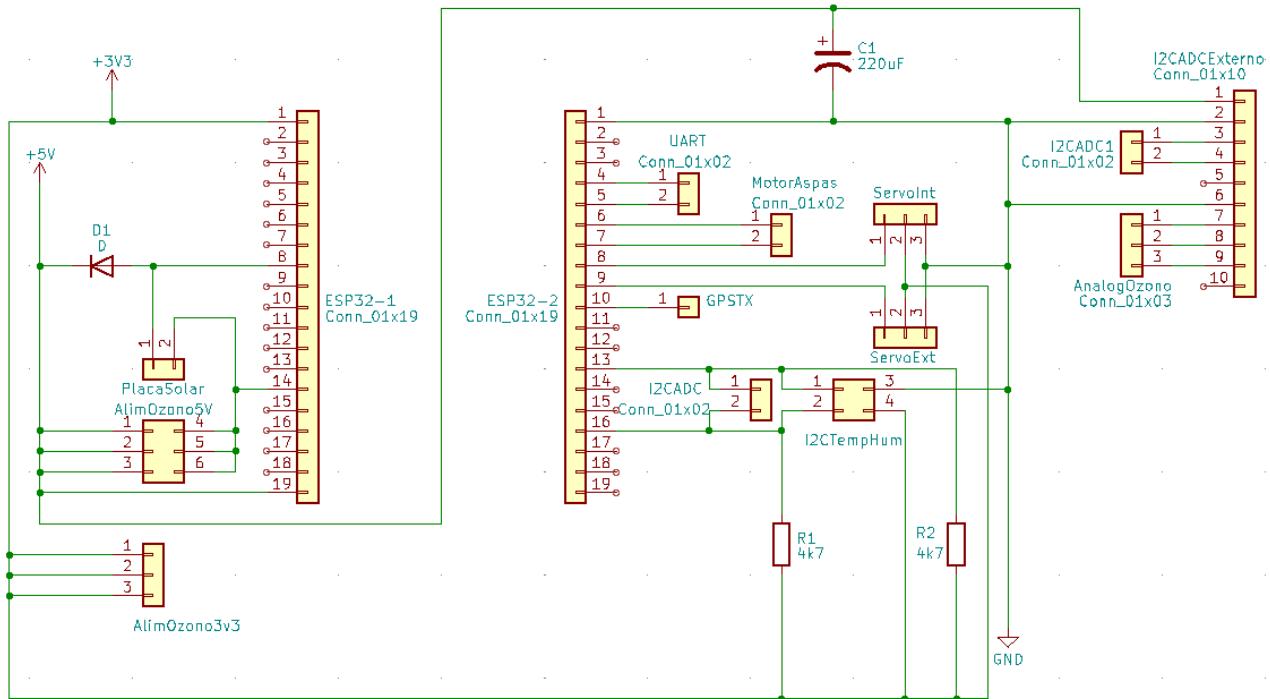


Figura 18: Esquemático 14 Marzo 2023, pasamos el voltaje de los servomotores a 3v3, luego se revirtió (elaboración propia).

AspiradO₃

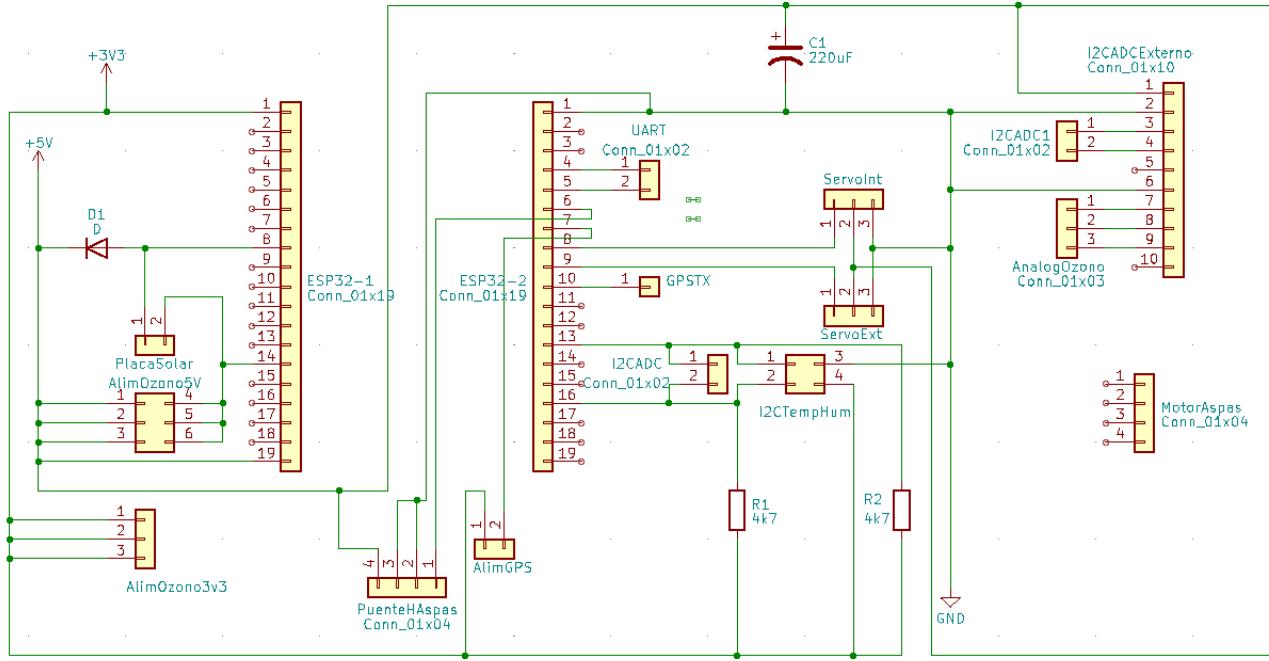


Figura 19: Esquemático 15 Marzo 2023, nótese la inclusión del puente H así como ajustes para que el GPS tenga la alimentación separada todo lo posible del ruido de los motores (elaboración propia).

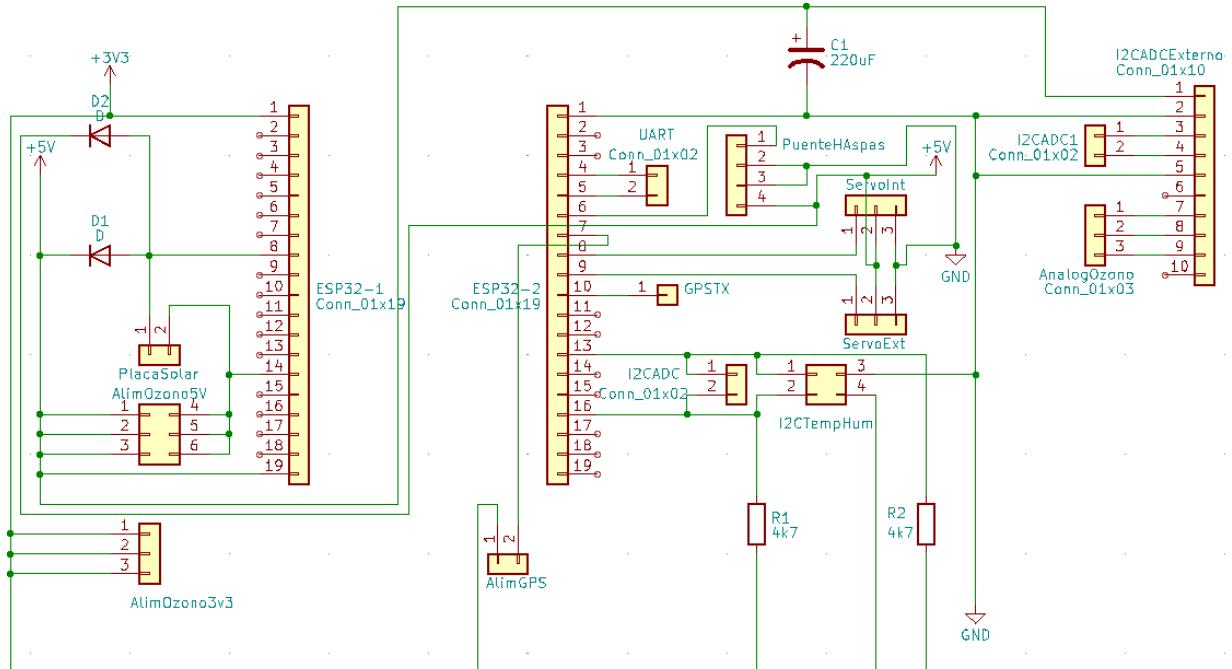


Figura 20: Esquemático 22 Marzo 2023, nótese la separación de la alimentación de los motores y servos para reducir el ruido introducido en los sensores y la corrección del pin ADDR del ADC externo de 6 a 5 (elaboración propia).

Proyecto Aspiradora de Ozono

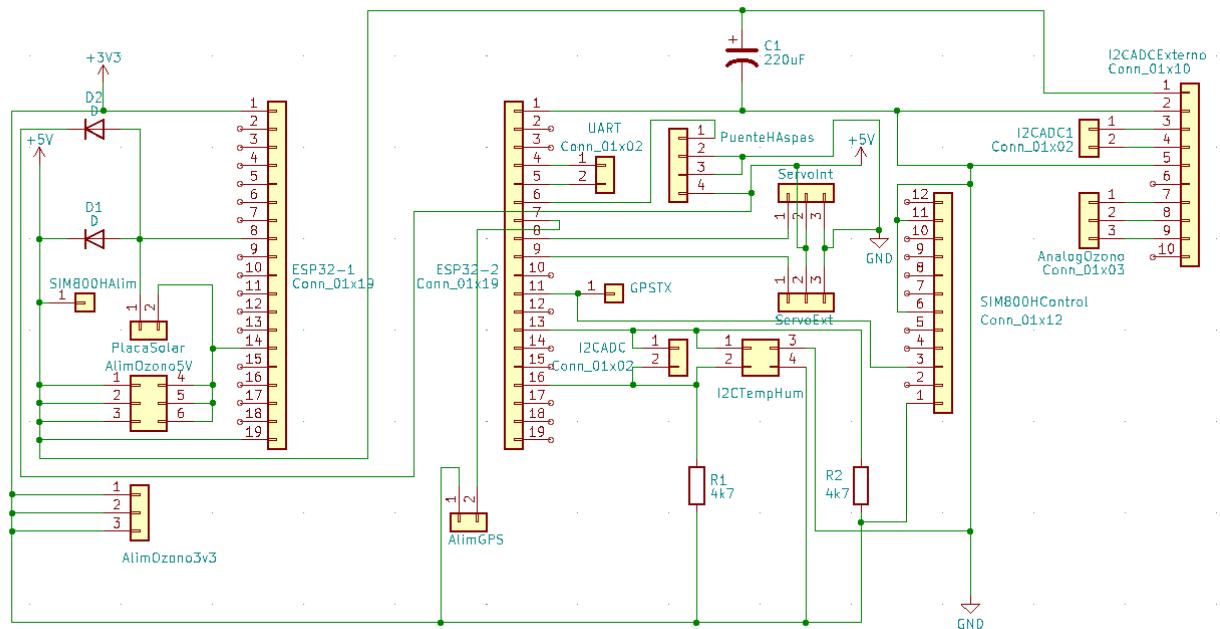


Figura 21: Esquemático 18 Abril 2023, tentativamente completado, en el que se incorporan los pines necesarios para la SIM800H (elaboración propia).

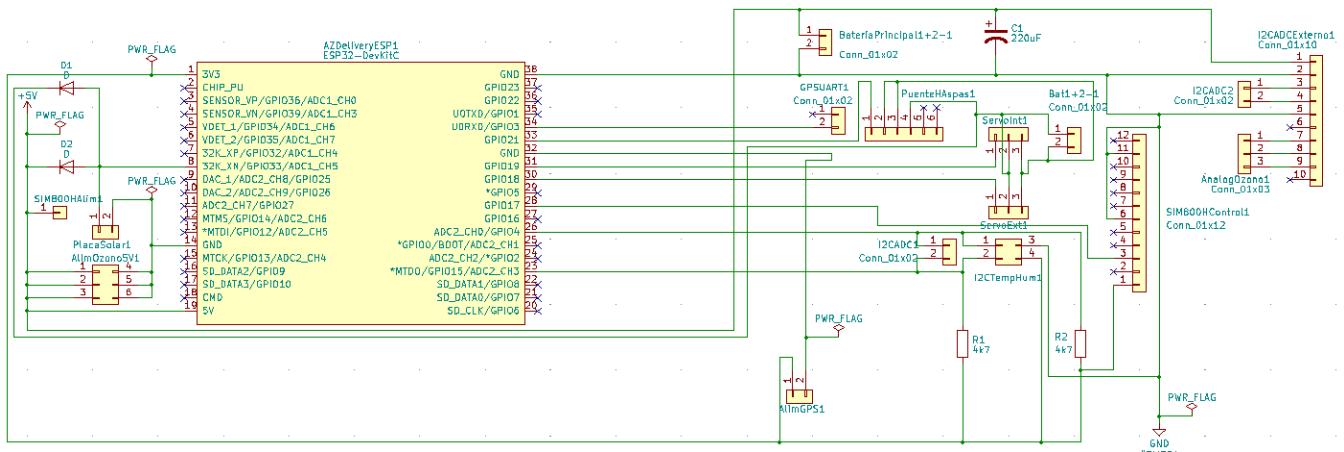


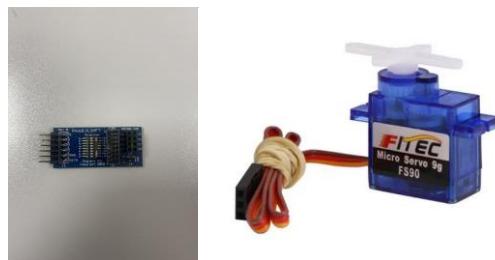
Figura 22: Esquemático 4 Mayo 2023, en el que se reemplaza el simulacro de ESP32 por un esquemático apropiado de huellas de librería (gracias a Iván Coca), se eliminan unos pin de alimentación innecesarios y se indica espacio del puente H disponible (elaboración propia).

6. Construcción y Pruebas:

Como se mencionó en los hitos, primero se procedió a programar el código de los motores, de forma incremental. Para ello comenzamos basándonos en un proyecto anterior de generadores y filtración hidráulica “GhyFi” en el que todos los miembros del equipo nos dimos permiso para utilizar fragmentos de código (Carrasco, Parla, Riñón, & Serrano, <https://upm365.sharepoint.com>, 2023), y almacenando el código en un repositorio de GitHub. Si ocurrían contratiempos que no se pudieran resolver pronto, se procedía a tratar de avanzar mientras tanto en los otros componentes.

6.1 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 3v3 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 lo era, probablemente por una falta de amperaje (ver Prueba motor aspas I). Tras utilizar un módulo Logic Level shifter, 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 realmente necesitábamos era un puente en H o un transistor. En nuestro caso para el motor de las aspas probamos inicialmente un transistor C945, al que al introducirle el 3v3 de la alimentación funcionaba, pero no al introducirle el pin, que al revisar con multímetro tenía 3v3 también, pero una vez conectado a la base caía a 0.8V. Posteriormente lo reemplazamos por un Transistor Bipolar de potencia 2n3055 y de tal forma que cuando estuviera a 3.3V girara y cuando estuviera a 0V dejase de girar, pero seguía sin responder a los GPIO (Prueba motor aspas II y Prueba de servos III). Al final nos decidimos por utilizar el puente H por simplicidad eso funcionó en las pruebas unitarias (Prueba motor aspas IV), aunque creemos haber llegado al máximo voltaje que la ESP-32 podía proporcionar por sí sola para todos los dispositivos, ya que en cuanto probamos 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 5V independiente adicional para mantener todo el circuito en las pruebas de autonomía.

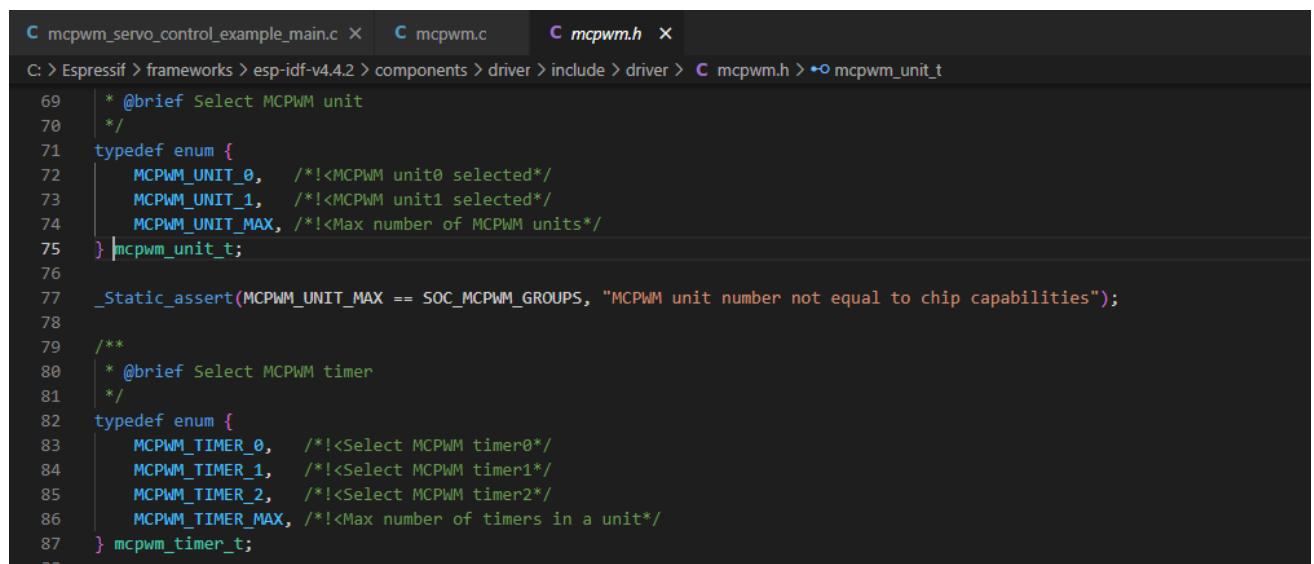


Figuras 23 y 24: Diligent Mod LVLHFP (foto de elaboración propia) y servomotores SG90 (RS-online, 2023).

Debido a todos los problemas que nos dio el motor de corriente continua para las aspas, decidimos que para los timones en los que la precisión importa más que la velocidad nos resultaría mucho más fácil el uso de servomotores. Y efectivamente, la implementación y pruebas de un servomotor SG90 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 25). También observamos que a pesar de sus datasheets, pueden funcionar incluso con los 3.3V 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 habíamos decidido comprar un servomotor que tolerase esos rangos o trucar uno de los SG90 para dichos rangos, pero según el co-tutor ese truque puede complicarse, 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 de 180 grados de amplitud 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 dato en la hoja de datos), por lo que procedimos a utilizar 2 SG90 no trucadas para el prototipo.

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 3v3 mencionados anteriormente (Prueba de servos IV) lo que se resolvió igualmente al conectarlos a 5V independientemente de la parte del circuito 3v3, y otro motivo por el que en el diseño final decidimos incluir la batería secundaria de 5V dedicada solo a los servos y el motor, con el consiguiente aumento de peso y volumen requerido.



```

C: mcpwm_servo_control_example_main.c × C: mcpwm.c × C: mcpwm.h ×
C: > Espressif > frameworks > esp-idf-v4.4.2 > components > driver > include > driver > C: mcpwm.h > +o mcpwm_unit_t
69  * @brief Select MCPWM unit
70  */
71  typedef enum {
72      MCPWM_UNIT_0, /*!<MCPWM unit0 selected*/
73      MCPWM_UNIT_1, /*!<MCPWM unit1 selected*/
74      MCPWM_UNIT_MAX, /*!<Max number of MCPWM units*/
75  } mcpwm_unit_t;
76
77  _Static_assert(MCPWM_UNIT_MAX == SOC_MCPWM_GROUPS, "MCPWM unit number not equal to chip capabilities");
78
79 /**
80  * @brief Select MCPWM timer
81  */
82  typedef enum {
83      MCPWM_TIMER_0, /*!<Select MCPWM timer0*/
84      MCPWM_TIMER_1, /*!<Select MCPWM timer1*/
85      MCPWM_TIMER_2, /*!<Select MCPWM timer2*/
86      MCPWM_TIMER_MAX, /*!<Max number of timers in a unit*/
87  } mcpwm_timer_t;
88

```

Figura 25: Captura de pantalla del código de mcpwm.h (elaboración propia).

6.2 Sensores

El segundo hito en el que comenzamos 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). Para ello se utilizaron las siguientes fórmulas basadas en los niveles de sensibilidad indicados en su respectiva hoja de datos (Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., 2014):

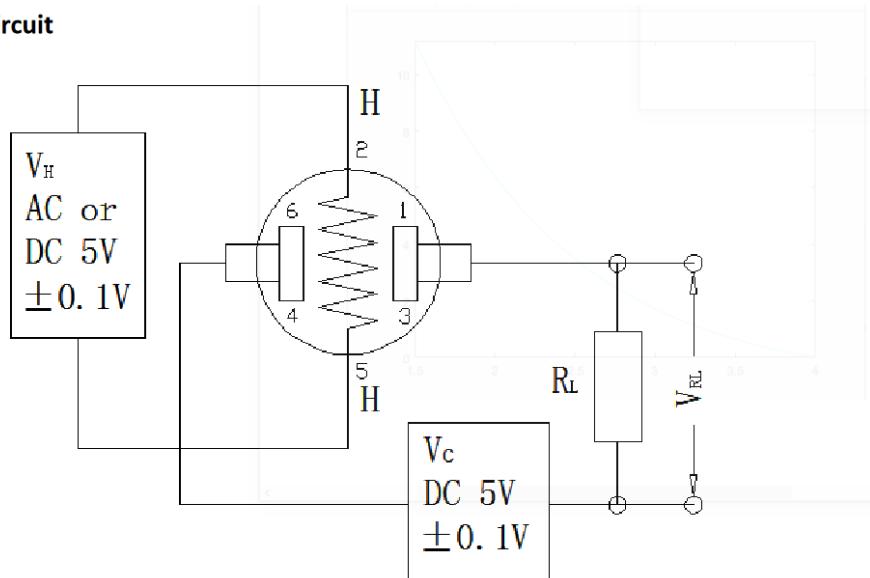
Basic Circuit**Fig2. MQ131 Test Circuit**

Figura 26: Circuito base de pruebas del sensor (Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., 2014).

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 , deducimos 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) sabemos que según los diagramas de la hoja de datos (aunque algunos están un poco borrosos), F se reduce aproximadamente 0.013 por cada grado centígrado "T" adicional (despreciamos 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°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 RL, hemos concluido que el nivel de ozono base (en p.p.m.) depende aproximadamente de esta fórmula frente a temperatura y humedad constantes en condiciones ideales (con Vlectura en mV):

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

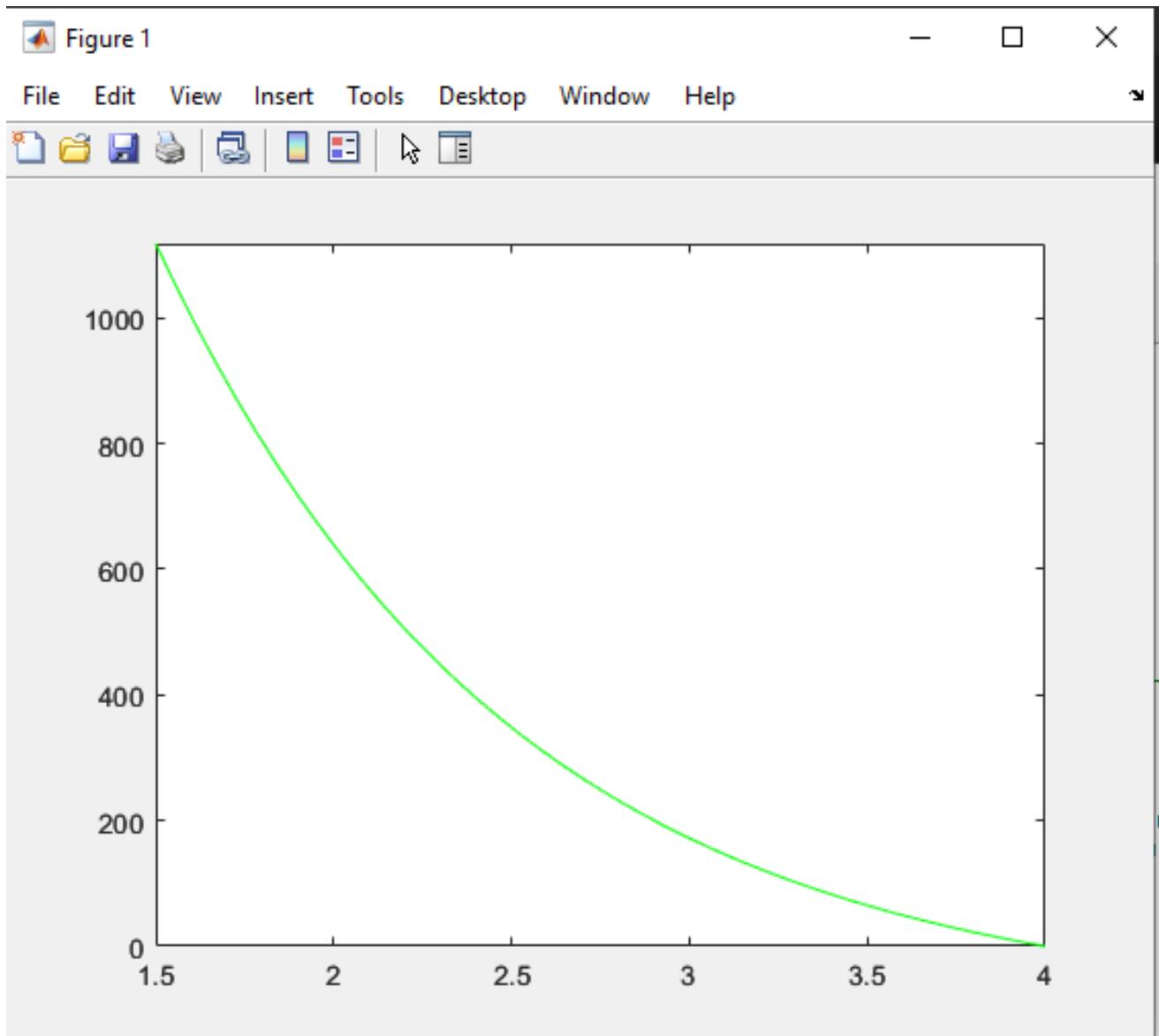


Figura 27: Captura de Matlab de la función (1) aproximación de la función real del datasheet, tras ejecutar `>> h = @(c) 100 * (exp(-c +4)-1); fplot (h, [1.5 4], 'g');` (elaboración propia).

También sabemos 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 $R_L = 1M\Omega$, entonces podemos extraer que en dichas condiciones:

$$V_{lectura} = 2.5 = \frac{R_L}{R_L + R_S} * 5 \Rightarrow \frac{R_L}{R_L + R_S} = 0.5 \Rightarrow R_S == R_L = 1M\Omega \text{ a } 200 \text{ ppm} \quad (4a)$$

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

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

Por lo tanto, con estos conocimientos podemos simplemente usar (1b) para despejar ($F * R_s$), 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 $1M\Omega$ sino que es una resistencia variable de 100Ω - $10.1k\Omega$ ajustable a los valores que queramos como output (MikroElektronika, 2023), por lo que se debe tener en cuenta en (3), ya que si aplicamos (1) con el valor máximo de resistencia los rangos de voltajes nos 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.

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

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

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

La humedad y temperatura obtenidas por el Sensirion de I2C se ajustaron según las fórmulas del datasheet (ver Figura 28).

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 °C & °F):

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

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

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 28: Captura de la sección “Conversion of Signal Output” del sensor I2C de Sensirion (Sensirion, 2023).

Una vez esto quedó programado, y dado que los sensores pedidos no habían llegado aún, procedimos 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 vió 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 vídeo 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 conectamos los sensores a una pata GND menos utilizada los resultados (visibles en la Figura 29) ya se mostraban correctamente (mostrando que el problema parecía provenir de interferencias por una mala conexión).

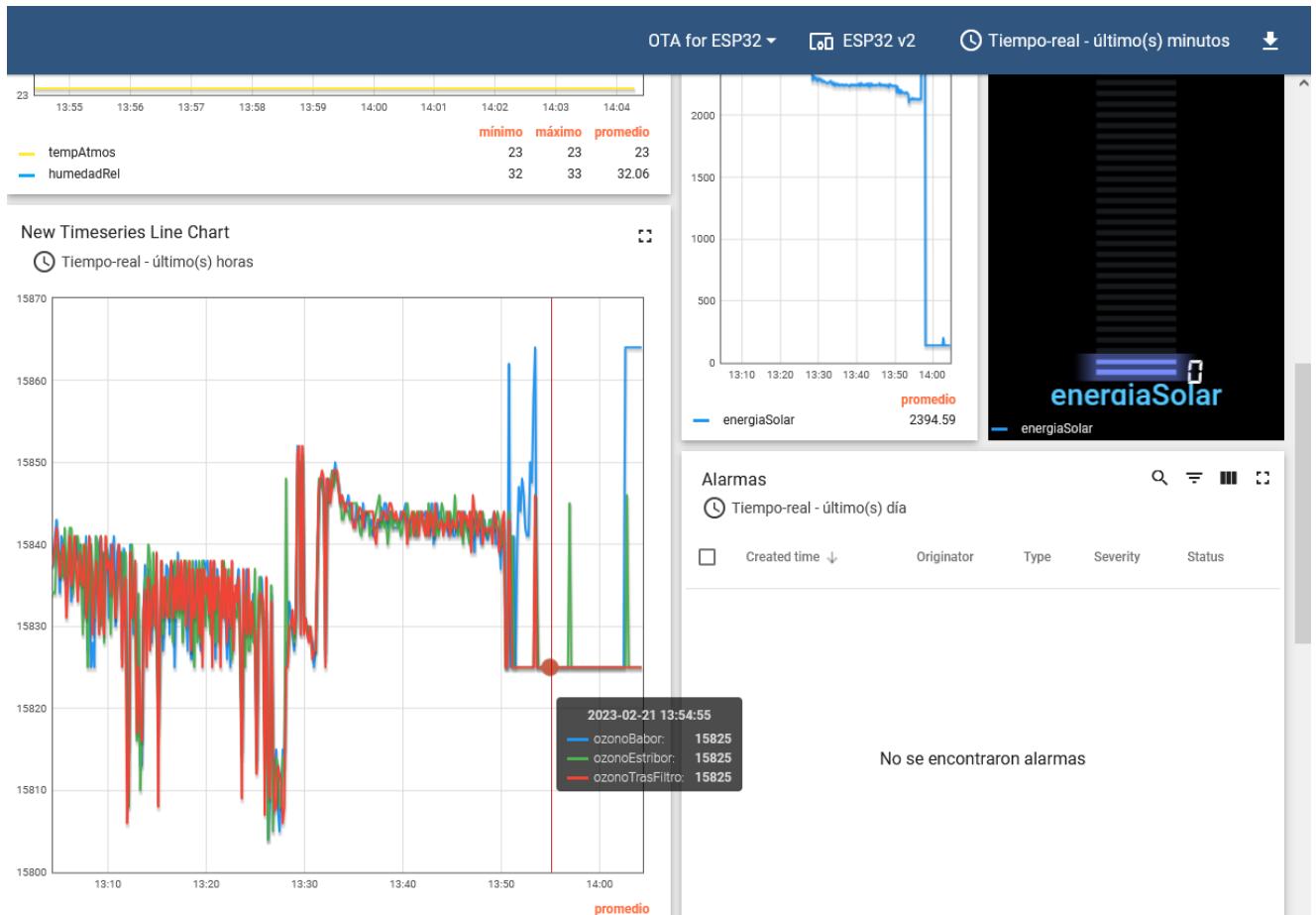


Figura 29: Captura del Thingsboard cuando se utilizaba el ADC interno del ESP32– en el área de Sensores ADC de ozono y de energía solar se pueden evidenciar tres áreas: la primera en la que había una mala conexión, la segunda cuando se arregló dicha conexión y se vio como la de energía solar solo afectaba a una de ellas por un sampling algo rápido, y la tercera cuando se alimentó una de esas entradas de ozono con una lectura de otro potenciómetro (elaboración propia).

En cuanto llegaron los sensores de ozono, procedimos a realizar el montaje, teniendo que cambiar los jumpers para que comunicaran los valores al pin AN, viendo si resultaba exitoso. Encontramos un problema de factor humano, debido a que el pulso de mi mano no es muy bueno, casi ocasionando daños al sensor del primer módulo, por lo que pasamos a esperar ayuda del co-tutor o el técnico de laboratorio para desoldar y resoldar el jumper, y nos movimos a la fase de probar el Thingsboard (ver 6.4 IoT).



Figura 30: Módulo MikroE ozone 2 (MikroE, 2023).

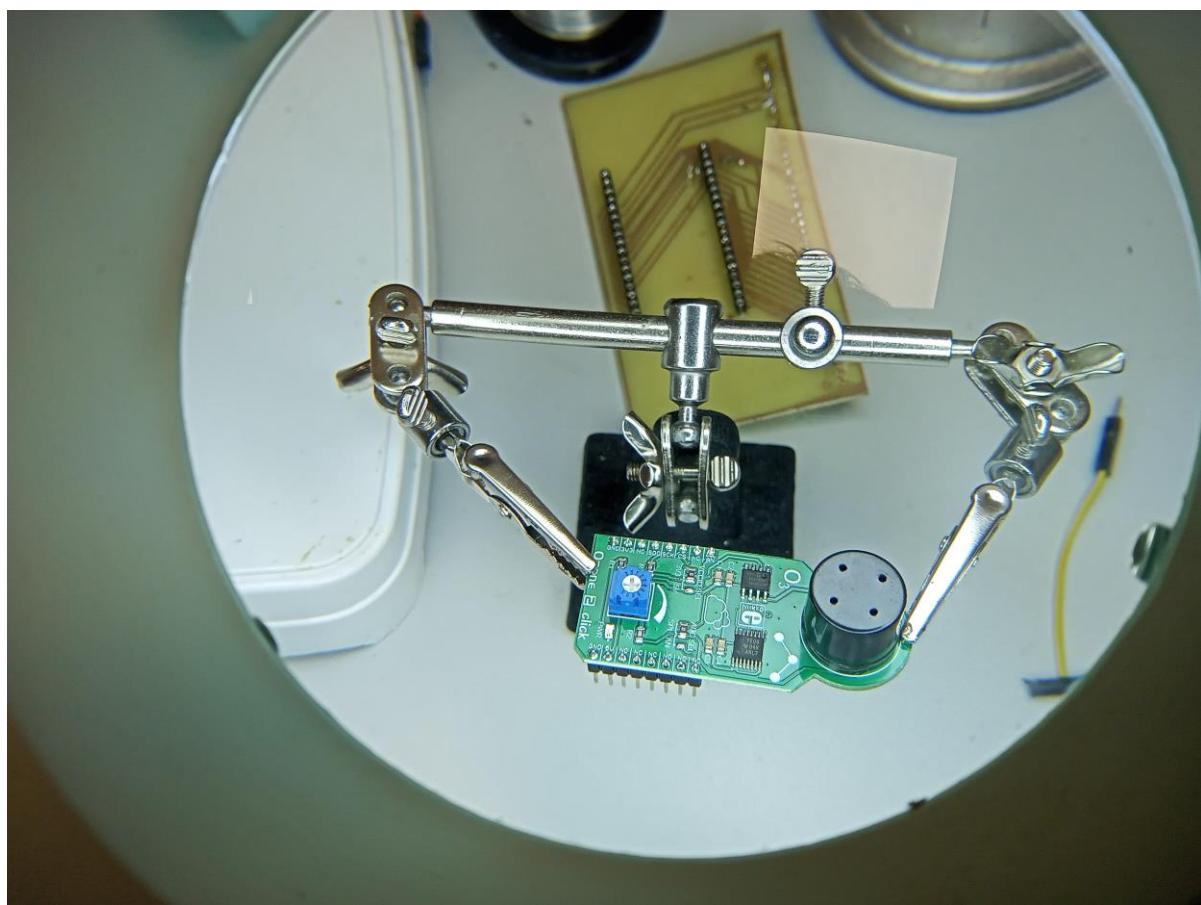


Figura 31: Módulo MikroE ozone 2 preparado para cambiarse su jumper de salida analógica de SPI a AN (elaboración propia).

Tras comprobar el funcionamiento de la recepción a Thingsboard y la correcta soldadura del jumper del sensor de ozono, procedimos a conectarlo al sistema, utilizando una batería de 5V 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 nuestra variante con el sensor de bakelite 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) nuestro 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 5V concentraciones inferiores a 120 ppb no se podían captar a menos que se emplease un circuito que convirtiera la señal de 5V

a 3V3, 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 nos 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. Inicialmente la placa de Microchip MCP3424-EV fue la mejor candidata (Microchip, 2023), pero posteriormente fue rechazada por un precio elevado por 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 buscamos opciones baratas de hole-through, como el sensor ADS1015 de Adafruit, 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, encontramos dos incidencias durante la instalación: el primero era que no daba las lecturas con valores similares a lo obtenido por el multímetro, que descubrimos fue por error nuestro al no haber alimentado el módulo con el Vdd adecuado (lo habíamos alimentado accidentalmente a 3.3V en vez de 5V); mientras que el segundo era 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 voltios 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 5V, sino de algo más de 4V, y que el ruido de los motores (específicamente, el de corriente continua) se podía colar e interferir con el sensor electroquímico de ozono (Prueba sensor ozono 2), probablemente debidos a tener un gran número de sensores y componentes que necesitan de gran corriente y voltaje y que se generase un acoplamiento de impedancia común adicional; por lo que comenzamos a probar con baterías de 5V conectadas exclusivamente a los sensores de ozono y el ADC I2C y utilizar una entrada con mayor amperaje.

Sin embargo, antes de poder llegar a eso nuestros sensores de ozono dejaron de funcionar adecuadamente. Tras una semana entera 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), sospechamos parte de ello se debía una mala alimentación, derivación o pin suelto con algún ruido, ya que una vez el pin GND nos saltó 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 darnos resultados similares, concluimos que una parte del problema se debía a la falta de precisión de las resistencias variables de tipo potenciómetro, por lo que ajustamos el código 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 asegurarnos de reducir las derivaciones y hacerlo más fácil de entender, pasamos el prototipo a un formato de cables cortados cercanos a la protoboard.

También decidimos 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, probamos 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 nuestras lecturas dependientes de iniciar la calibración en un entorno controlado y alargaría el tiempo requerido para iniciar el viaje de nuestro 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 mantenía los valores de lectura estables y razonables, aunque con 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 íbamos saltando del progreso de un hito a otro y que para calibrar correctamente los sensores debíamos 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, procedimos a desconectar 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 de calibración que reducían su sensibilidad tras un tiempo (Prueba sensor ozono 6), aunque afortunadamente para nuestro sistema de navegación lo que importa es la diferencia entre valores, que sí se registraba.

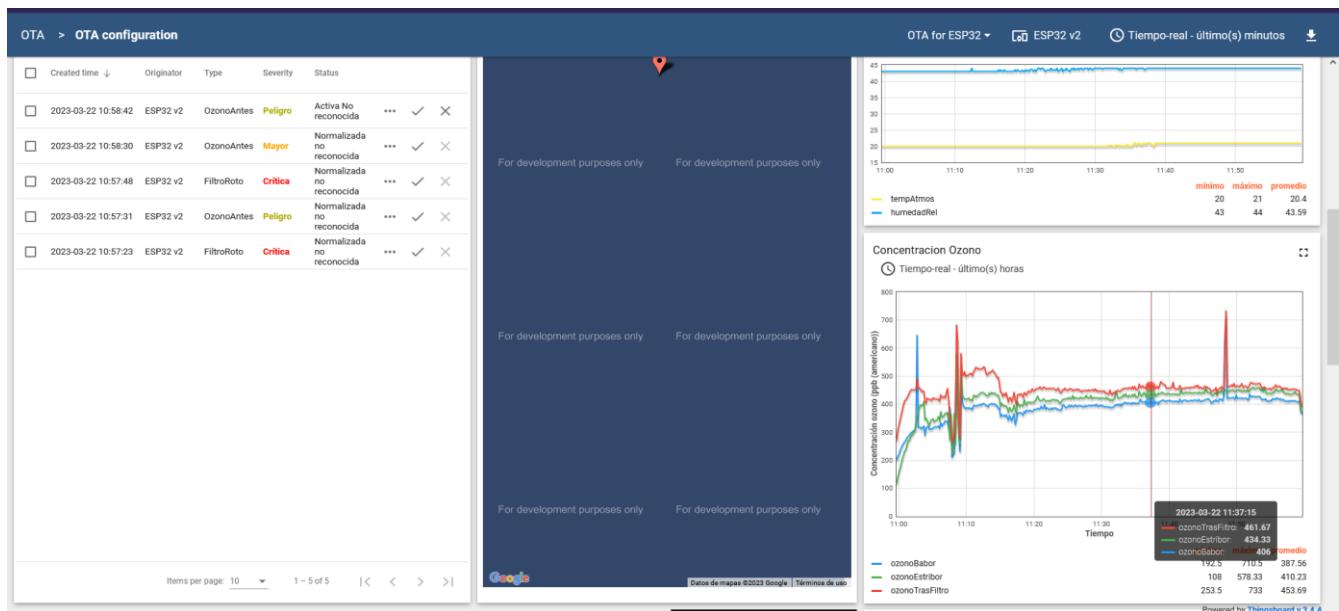


Figura 32: Lecturas ozono en Thingsboard durante 1 hora cuando los servos, el motor de DC y sensores de ozono comparten alimentación. Nótese fase inicial de warm-up cuando los valores van subiendo de manera notable, y que cuando los servomotores empiezan a girar afectan las lecturas creando picos mientras están activos, con el motor DC causando además un desajuste durante los siguientes minutos (elaboración propia).

Proyecto Aspiradora de Ozono

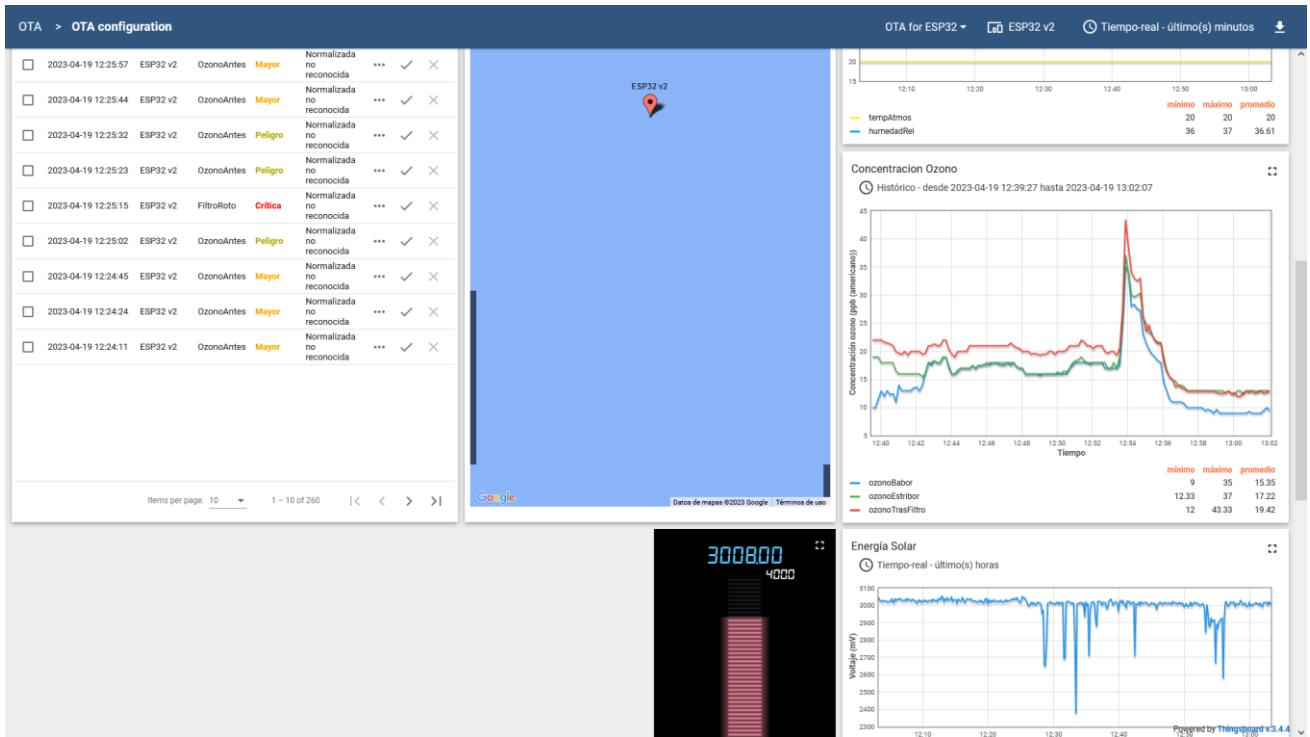


Figura 33: Lecturas ozono en Thingsboard durante la prueba de sensores de ozono número 6. La calibración de lecturas se completó en 12:42:32 (dejando a posta el sensor de ozono tras filtro con valores de lectura algo más elevados), se activó el generador de ozono en 12:50:10, y se arrimó el generador a los sensores en 12:53:12. Ozono Estribor era el más cercano al generador de ozono. (elaboración propia).

6.3 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 utilizaba el módulo UART como emisor y receptor de información. Para comunicarse con el periférico GPS inicialmente se eligió el módulo UART0 con el pin RX 2, que en la ESP-32 es el pin GPIO 5, y para ayudarnos en la implementación se importó inicialmente la biblioteca nmea_parser.h, de código abierto y bajo licencia Apache 2.0.

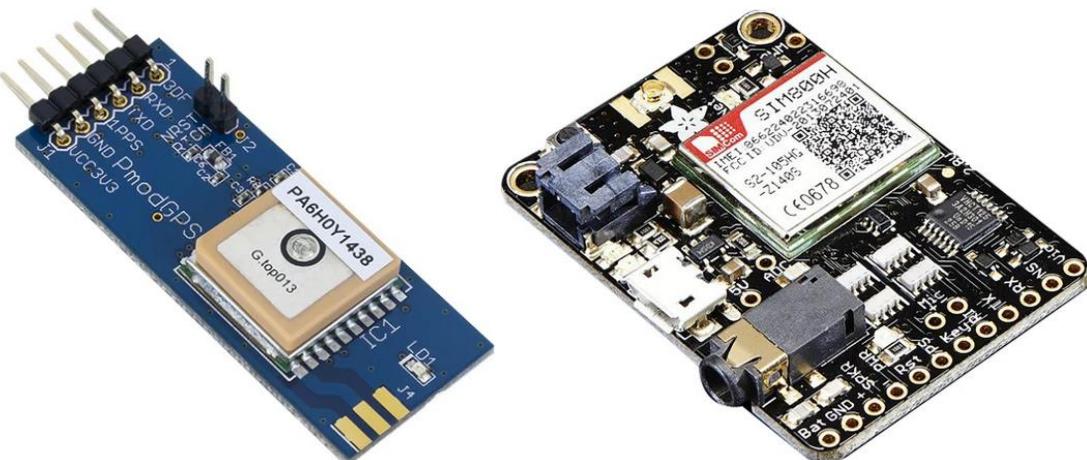
Al realizar las pruebas, se vio que se iniciaba correctamente el NMEA parser, pero el GPS se quedaba buscando satélites incluso en exteriores. Esto se debe a la necesidad de descargarse la información de las Efemérides, que puede llevar hasta 15 minutos. Esta información se guarda en la memoria no volátil normalmente, pero según el manual de uso del módulo Pmod, 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 tuviésemos que seguir la normativa para tratamiento de residuos de pilas para otro componente adicional, lo cual prácticamente compensaría cualquier beneficio que pudiera dar.

Posteriormente tuvimos 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 pedimos ayuda de otros compañeros que habían trabajado con el mismo módulo anteriormente, ofreciéndonos un programa de código abierto (Ver Anexo I, Link de repositorio de compañeros con mismo módulo GPS), que luego modificamos junto a una sección del nmea_parser para que realizara la misma tarea que la suya pero utilizarla 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 decidimos aplicar su versión de la tarea con una alteración de su parser de minmea, con aspectos de inicialización del nmea_parser que arrojaban lecturas más 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 con el resto de los componentes hasta obtener una versión plenamente funcional del GPS, concluyéndose que parte de los problemas de conectividad 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)).

Más tarde tratamos de reducir en número de pines pero nos descubrimos 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 (ver 6.4 IoT).



```

C 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.
14
15 #pragma once

```

Figuras 34, 35 y 36: Módulos Diligent Pmod GPS y SIM800H (RS-online, 2023) (RS-online, 2023), y captura de la sección de licencia de la biblioteca nmea_parser.h (captura de elaboración propia).

También se estudió el uso del GSM para comunicaciones. Consideramos 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 intermedia 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 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.

Para ello pedimos un módulo SIM800H FONA y lo instalamos en la protoboard para realizar pruebas. Para comunicarse con el periférico SIM800H y su GSM nos basamos en 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 pudimos comprobar que el módulo efectivamente se encendía e iba buscando redes disponibles (ver Pruebas SIM800H I), pero no parecía avanzar más, así que procedimos a realizar una prueba incremental de las instrucciones del sistema, modificando ligeramente el rx_task para que nos devolviese las tramas recibidas de cualquier tipo y además conectara temporalmente nuestro TX de la GSM.

En la primera prueba pudimos observar que una posible errata fue el no introducir el comando AT seguido de “\r\n”, 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 procedimos a realizar la prueba de señales [Pruebas SIM800H III] , la cual nos devolvía 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, probamos la conectividad de la SIM, para lo cual pedimos la CCID de ésta y su estado de registro por comandos. Esto nos arrojaba su CCID específica, demostrando que estaba correctamente conectado al módulo, pero también nos iba indicando que no estaba registrado a ninguna red. Una vez registrada a Lowi sufrimos otra incidencia de alimentación (cuando todavía estábamos 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 concluimos se debía 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 5V 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 a costa de un mayor peso y tener que asegurarse que cumpla las normativas de baterías de polímero de litio.

Sin embargo, al tratar de enviar un mensaje SMS nos saltó ERROR sin indicar su naturaleza, supusimos que era de la configuración del prefijo, lo cual no afectaría a la conexión a internet – y podernos conectar a vodafone y obtener una IP diferente cada vez que pedíamos una sugería esto. Por ello procedimos 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 procedimos a utilizar HTTP, aunque también resultó infructuoso, y luego concluimos en [Pruebas SIM800H V] tras hacer un simple GET a una página http que debía haber un error subyacente.

Tras una hora de investigación, descubrimos que el 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 resuelto, empleando el último método, ya fuimos capaces de enviar datos de prueba al Thingsboard, por separado y finalmente en conjunto (Pruebas SIM800H VI y Pruebas SIM800H VII).

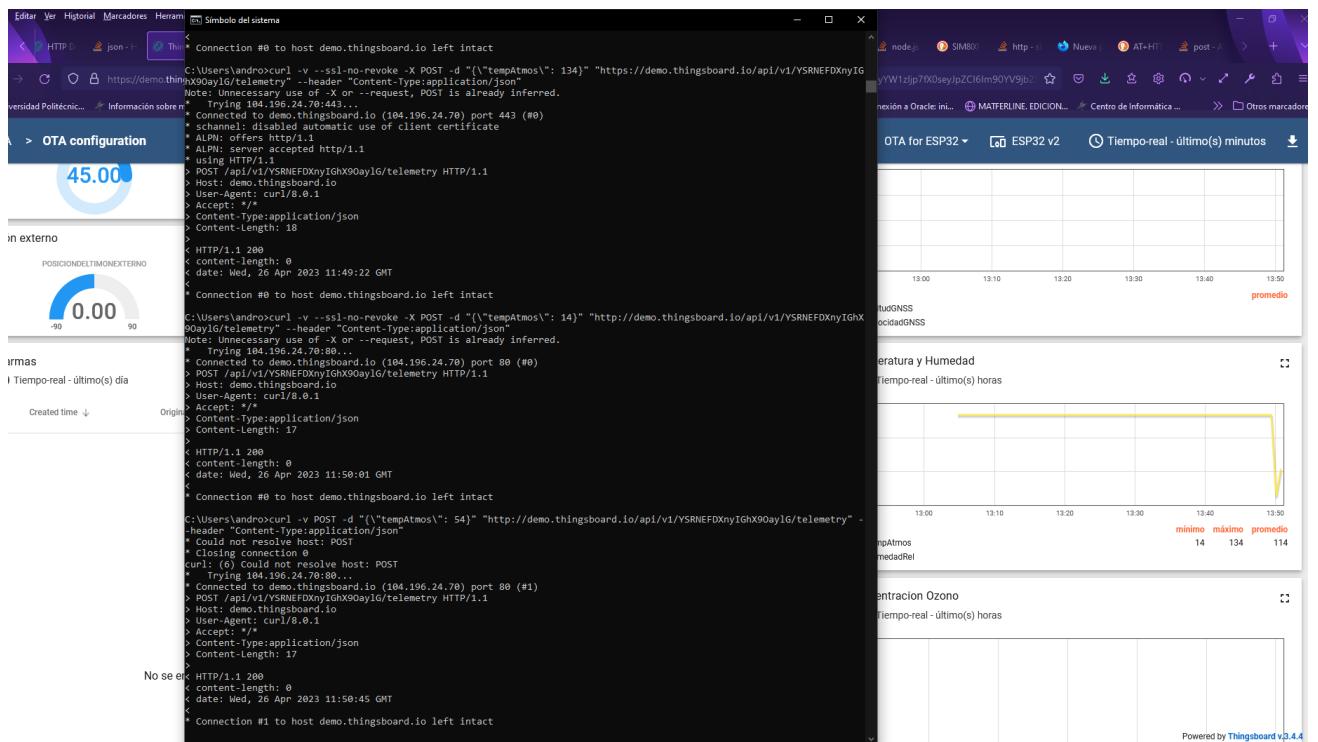


Figura 37: Instrucciones mediante curl que nos permiten enviar telemetría al Thingsboard (captura de elaboración propia).

Más tarde vimos que el SIM800H también soporta comunicación GPS, y decidimos investigar 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 descubrimos que el que utilizábamos se había dejado de producir (Diligent, 2023).

Antes de pasar a la versión impresa, decidimos realizar dos pruebas adicionales de autonomía: en la primera tratamos de ejecutar este mismo programa de prueba pero solo alimentado de las baterías. La primera vez no

podía 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 cargamos ambas baterías, logramos en [Prueba Autonomía baterías I] que el GSM pudiera comunicarse con las órdenes dadas.

La segunda prueba consistía en una optimización, en la que el sistema GSM se quedaba a la espera de que el sistema Wi-Fi considerara la conexión rota (y por ende, se desconectara del Wi-Fi). Se vió en [Prueba optimización GSM] como bajo escrutino de nuestra UART funcionaba.

Finalmente, relativo a ambos módulos GPS y GSM, se realizaron diversas pruebas una vez la PCB estuvo disponible tras reemplazarse el módulo SIM800H por otro mismo módulo nuevo (ver 6.5 PCB por las causas relativas al reemplazo del módulo GSM por otro SIM800H), en las que vimos 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)).

6.4 IoT

La plataforma IoT utilizada para el control del firmware fue Thingsboard. Allí fueron establecidos un conjunto de reglas para alarmas que se irían desarrollando posteriormente y se comunicarían con un servicio de Telegram unidireccionalmente, 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)). También nos ayudó a detectar un par de erratas en la fórmula de corrección de niveles de ozono, en la que no pusimos el voltaje de referencia en mV y se nos olvidó un símbolo menos.



Figura 38: Captura del panel de Thingsboard cuando los sensores de ozono y GPS aún no estaban conectados y se usaba el ADC interno del ESP32 (captura de elaboración propia).

Posteriormente se utilizó el Thingsboard para verificar funcionamiento de diversos módulos, entre ellos el GPS, y se incluyeron alarmas en la cadena de reglas que enviaban alertas a un 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).



Figura 39 y Figura 40: Capturas de pantalla del móvil recibiendo una alerta informativa de nivel solar bajo y alerta de nivel roto (capturas de elaboración propia).

Proyecto Aspiradora de Ozono

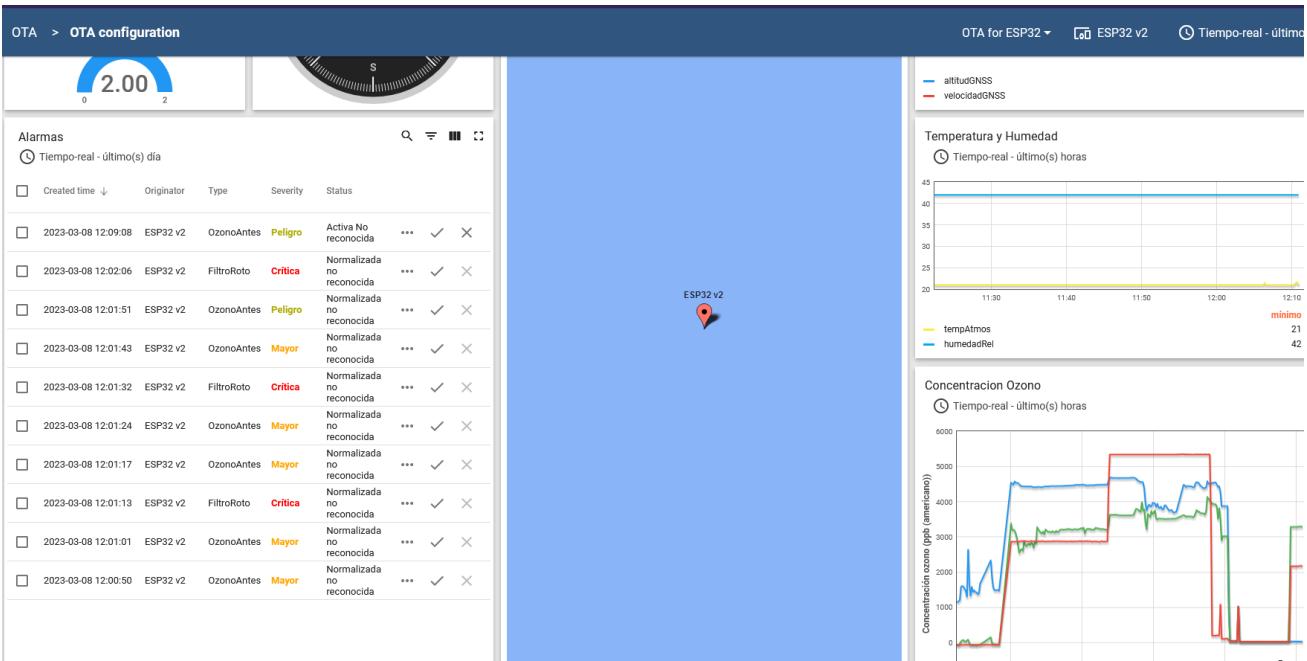


Figura 41: Captura de pantalla del Thingsboard con otras alertas y nuevo formato de posición de widgets a medida que íbamos conectando los Sensores al ADC I2C (captura de elaboración propia).

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 de nuestro Github (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 Alarms de Thingsboard sobre Wi-Fi”).

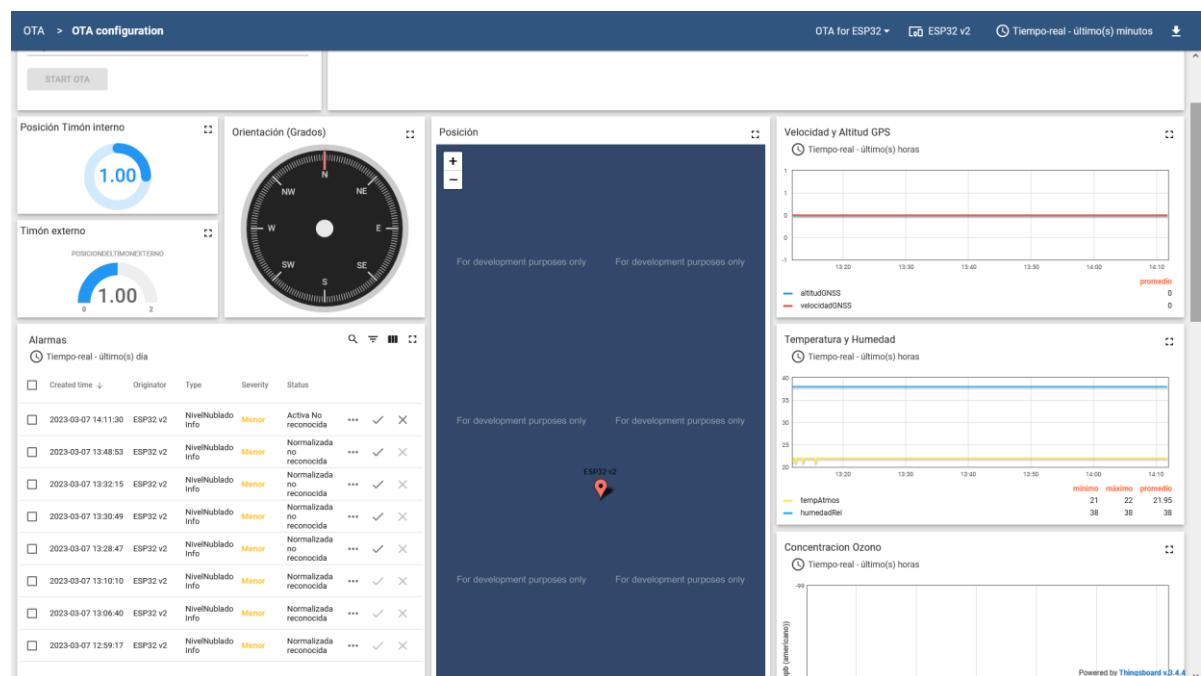


Figura 42: Captura de pantalla del Thingsboard justo tras enviar el firmware y número de versión, se ve como recibe alertas pero no sale error/alerta de la OTA (captura de elaboración propia).

6.5 PCB

Tras el refinamiento del esquemático y comprobación del funcionamiento de los módulos, el PCB 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 que estábamos usando. Ajustamos las configuraciones del ancho de pista y vía para ajustarse a las indicadas que podía soportar nuestro sistema de impresión de la placa. Decidimos inicialmente que Signal y Power tuvieran el mismo grosor, debido al gran grosor que requería para nuestra impresión manual. También nos restringimos tentativamente a una placa de 6x6 cm. Nótese que, por simplicidad, utilizamos pines también en vez de zócalos, ya que en la PCB el agujero es el mismo. Solo si nos vieramos forzados a pedir la placa enteramente soldada a un tercero tendríamos que alterarlo adecuadamente.

Sin embargo, tuvimos que realizar un cambio en el esquemático debido a que por restricciones del KiCad 7.0 no se disponía de algunos de las huellas de los conectores 2x02 y 2x03 2.54 mm adecuados. Como este cambio no era realmente una alteración del diseño sino un ajuste para que se mostrara correctamente, no se incluyó en la sección anterior de refinamiento del diseño.

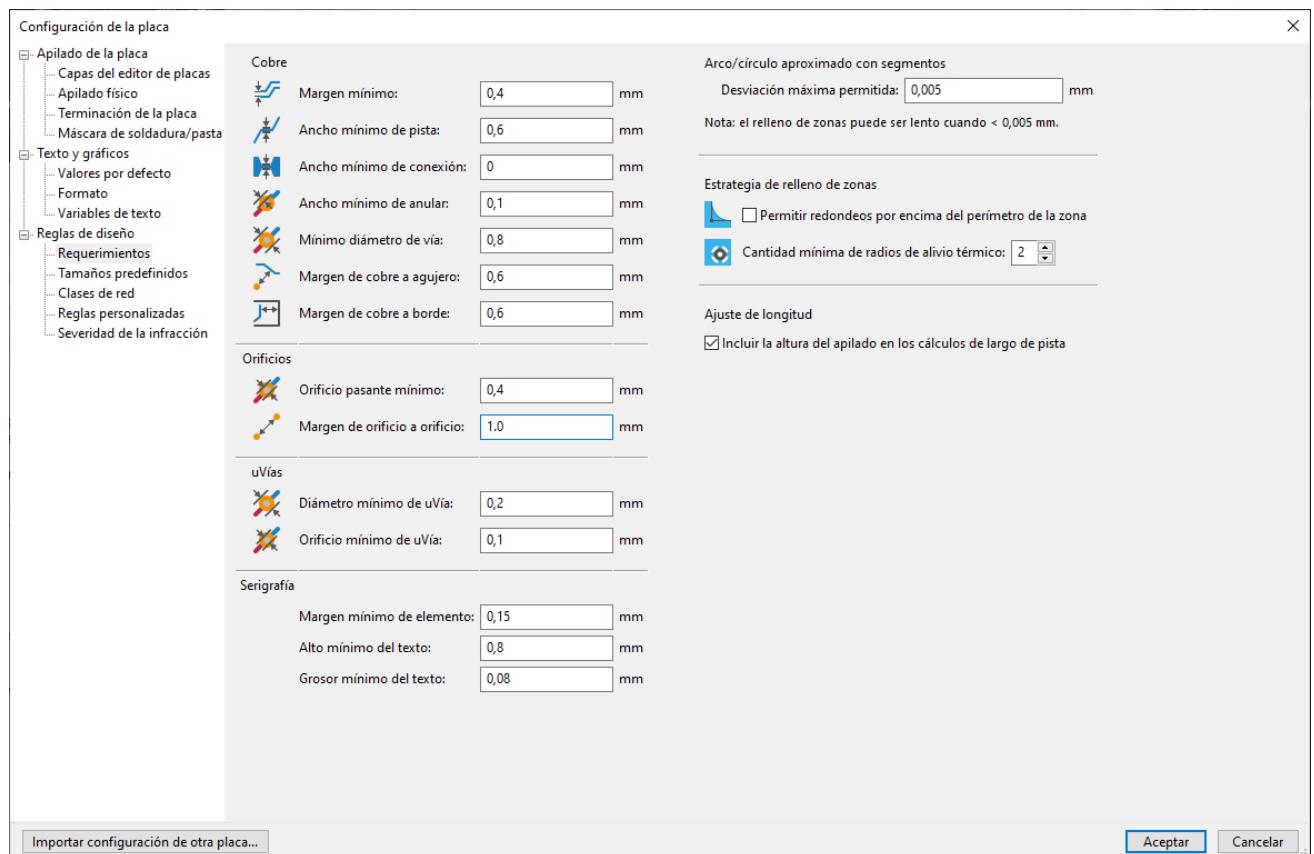


Figura 43: Captura de pantalla de los requerimientos ajustados para mayor seguridad durante la impresión (elaboración propia).

Proyecto Aspiradora de Ozono

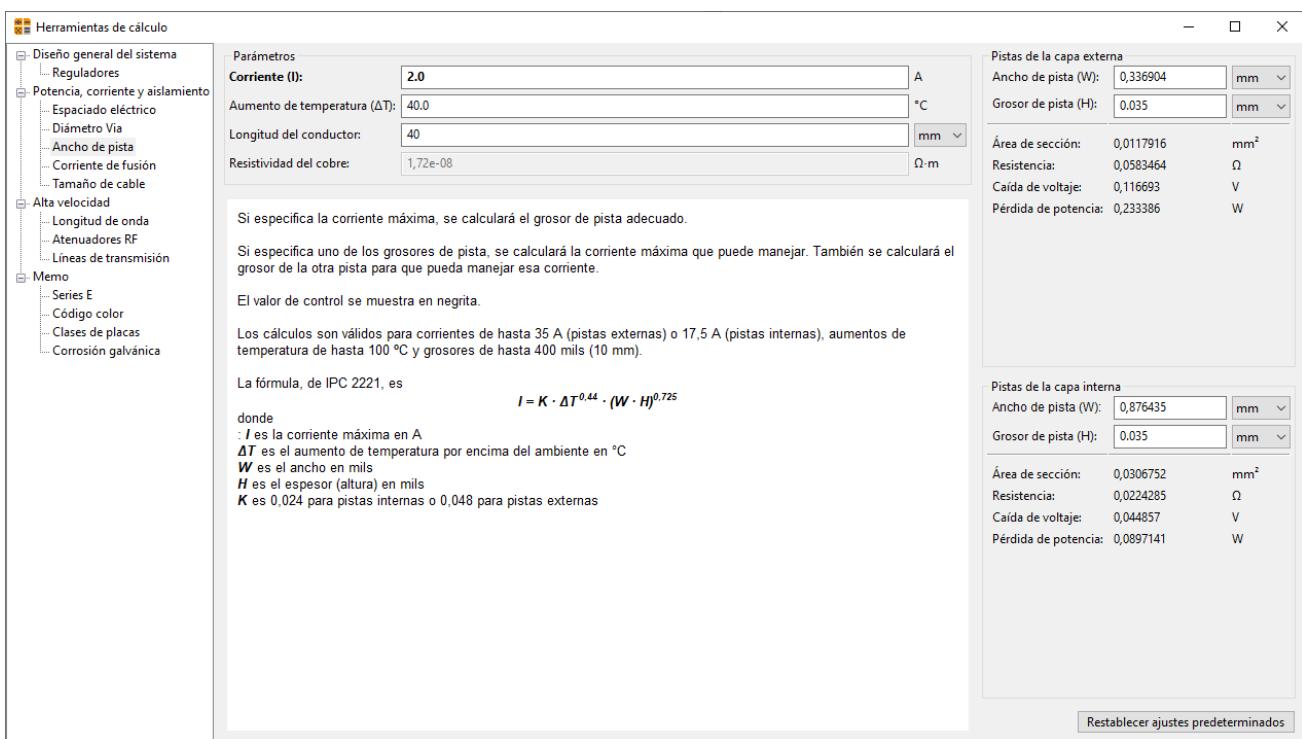


Figura 44: Captura de pantalla de la calculadora de KiCad 7.0 del grosor mínimo de pista según parámetros de variación de temperatura de 40 grados y alimentación de corriente de 2.0 A (elaboración propia).

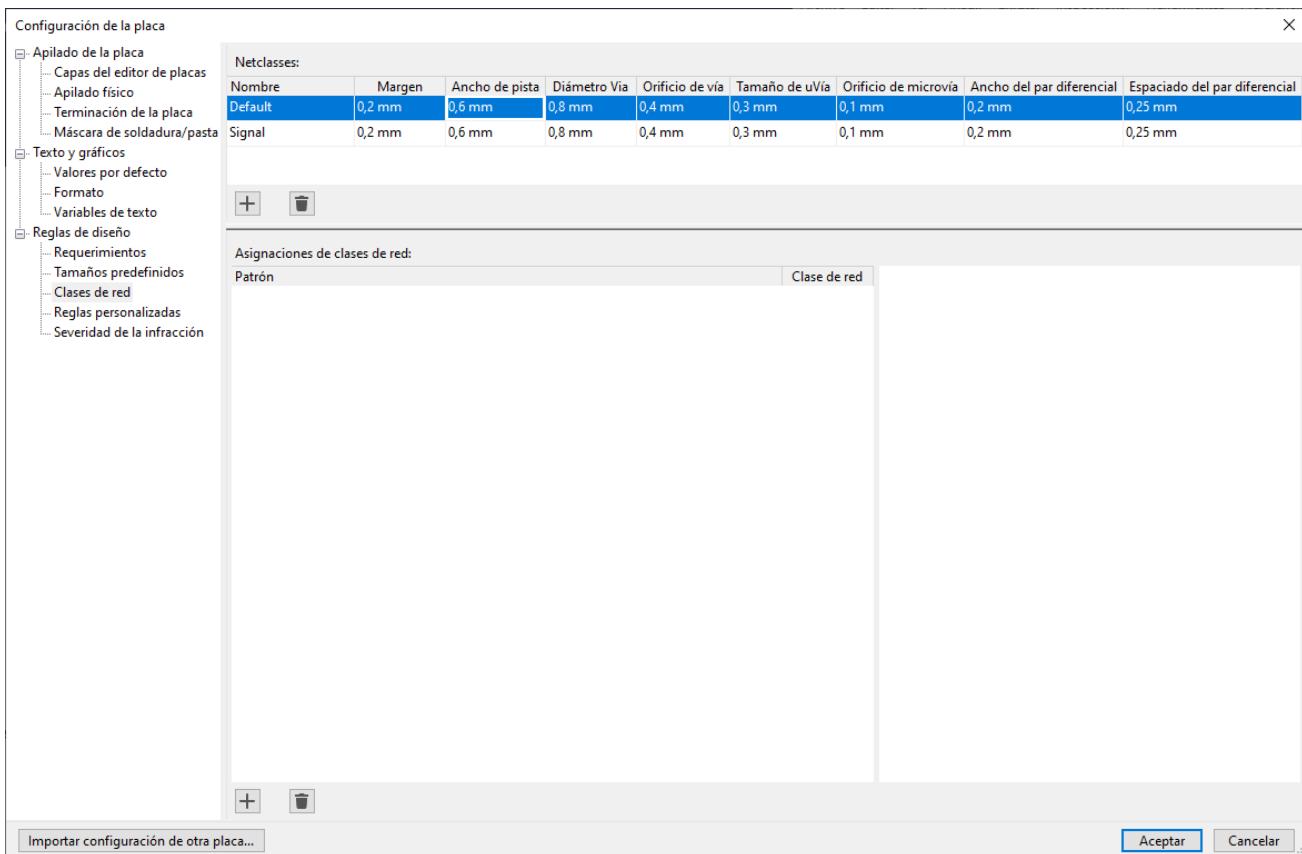
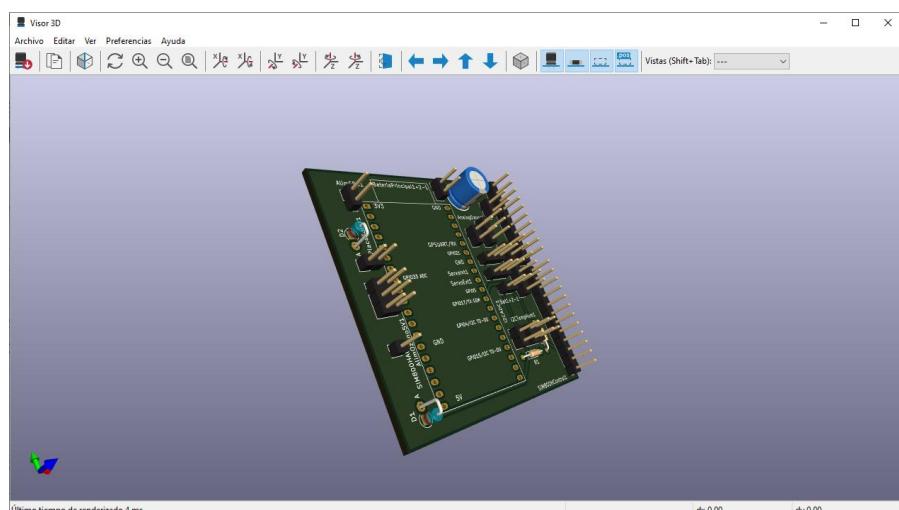
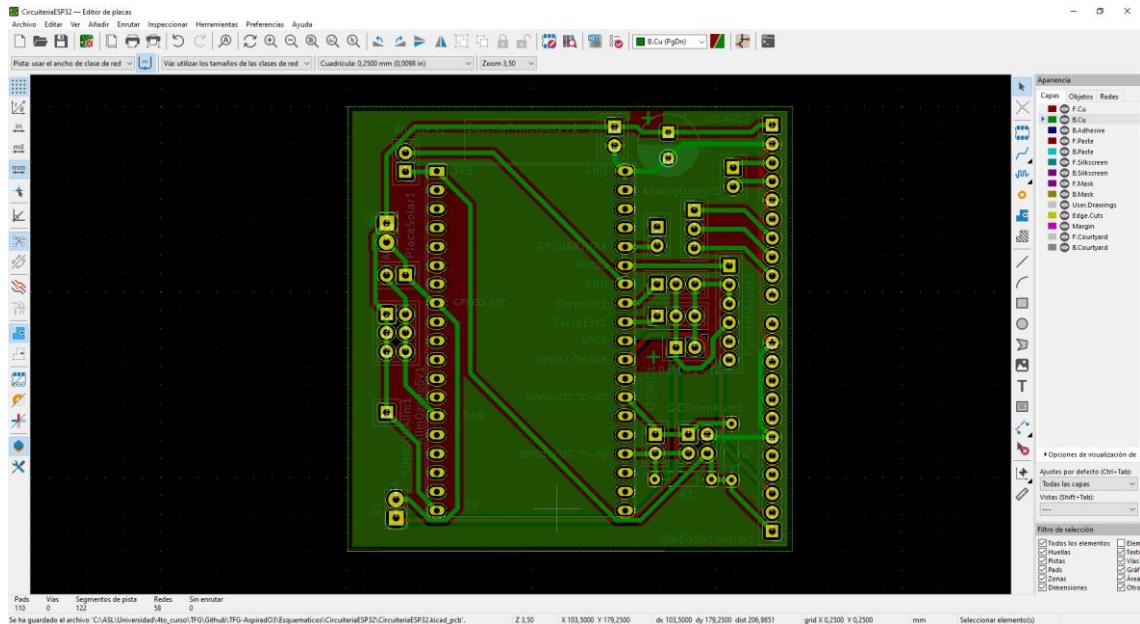
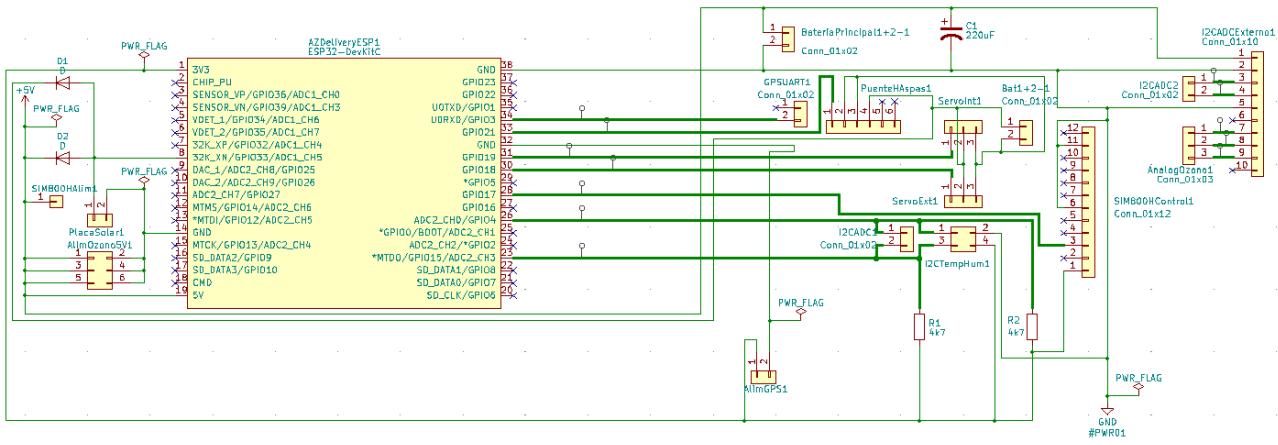
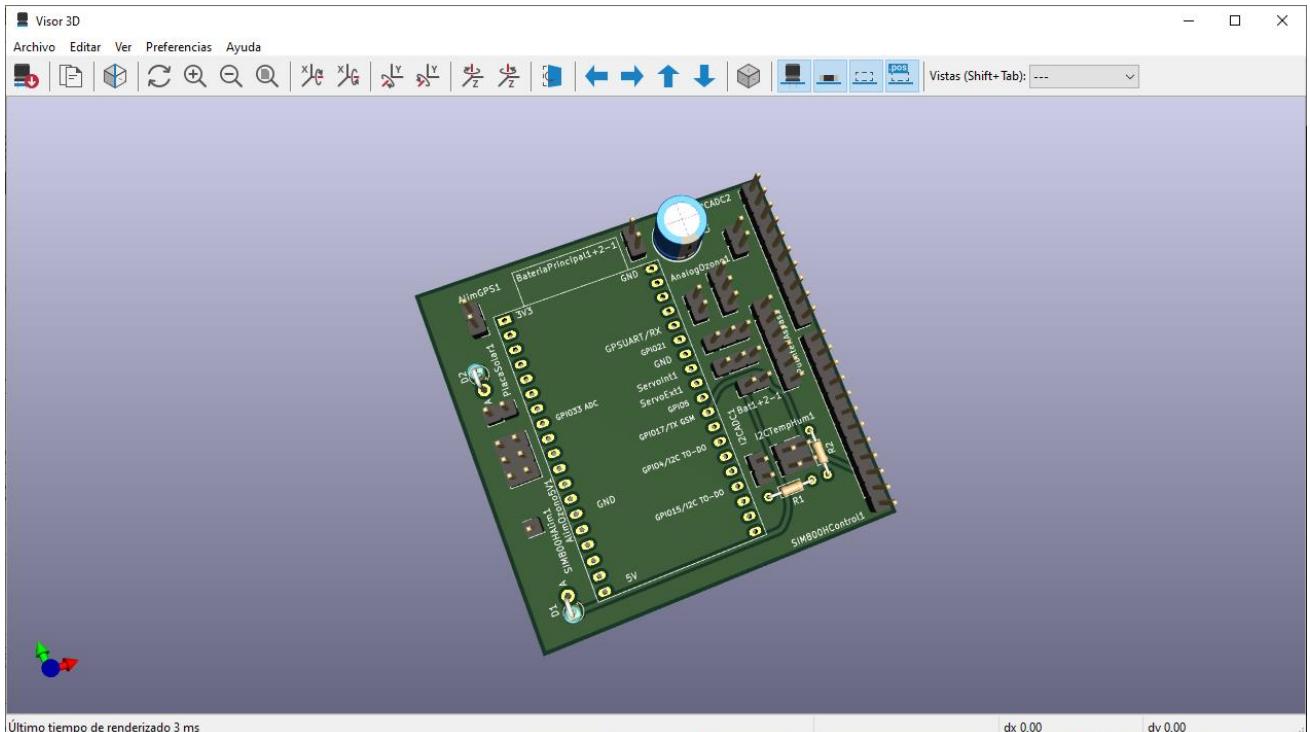
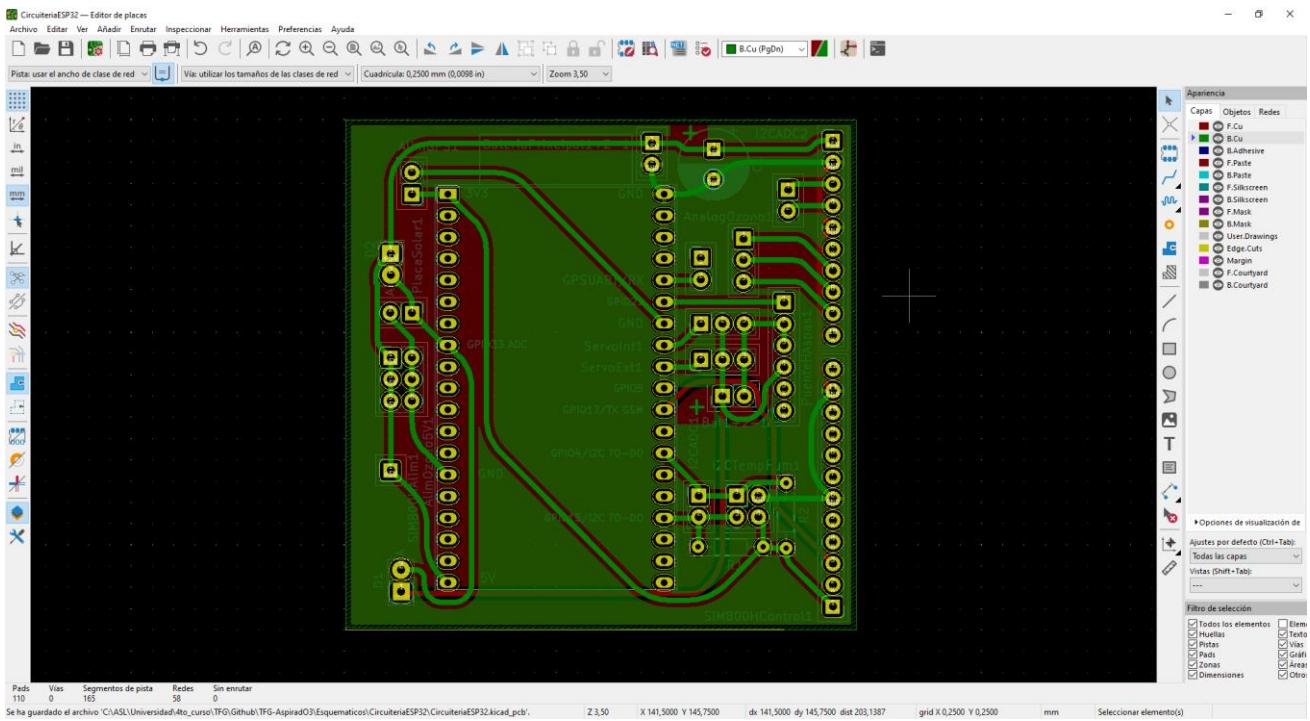


Figura 45: Captura de pantalla de la configuración de la Netlist Signal para nuestro proyecto (elaboración propia).



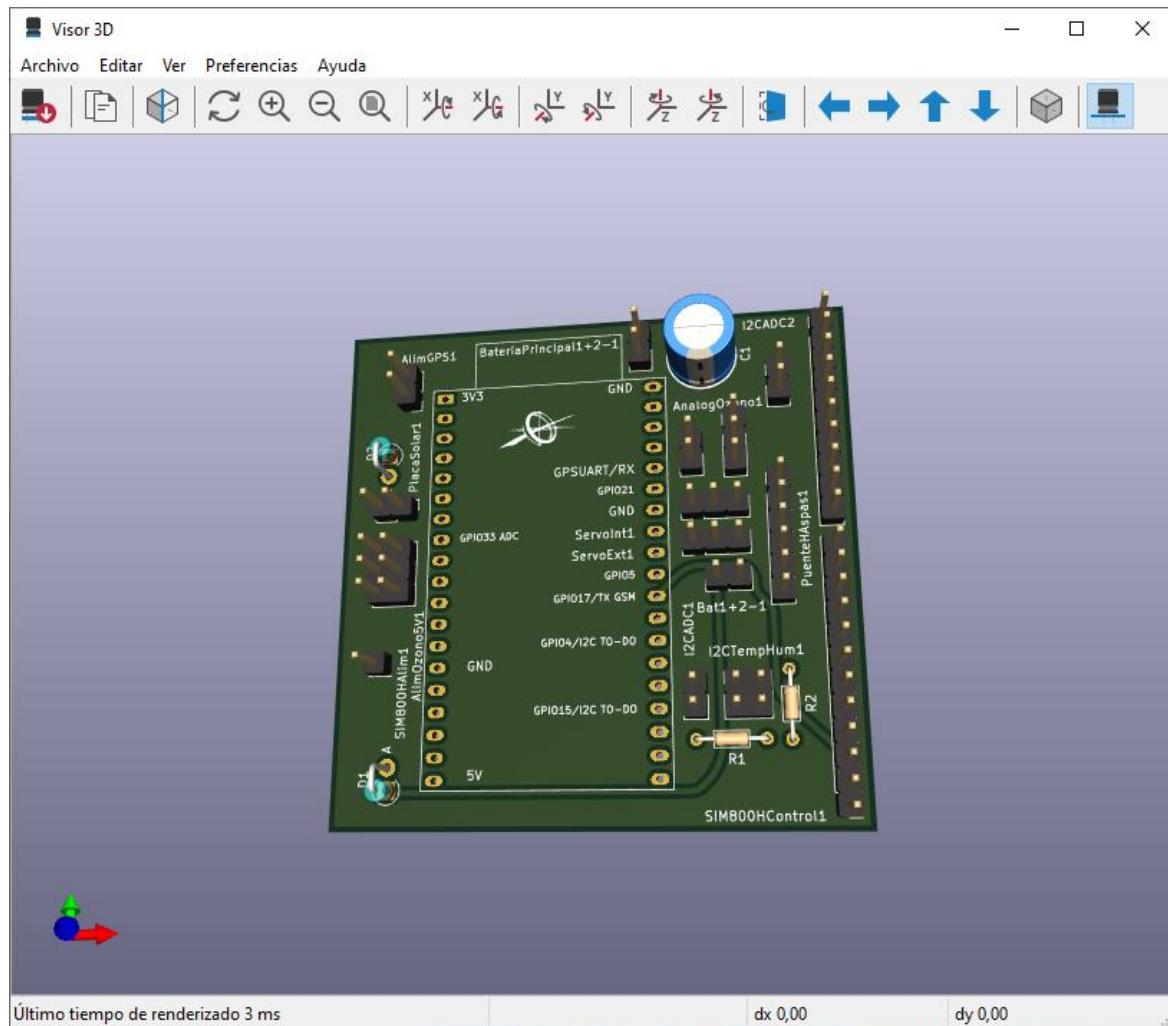
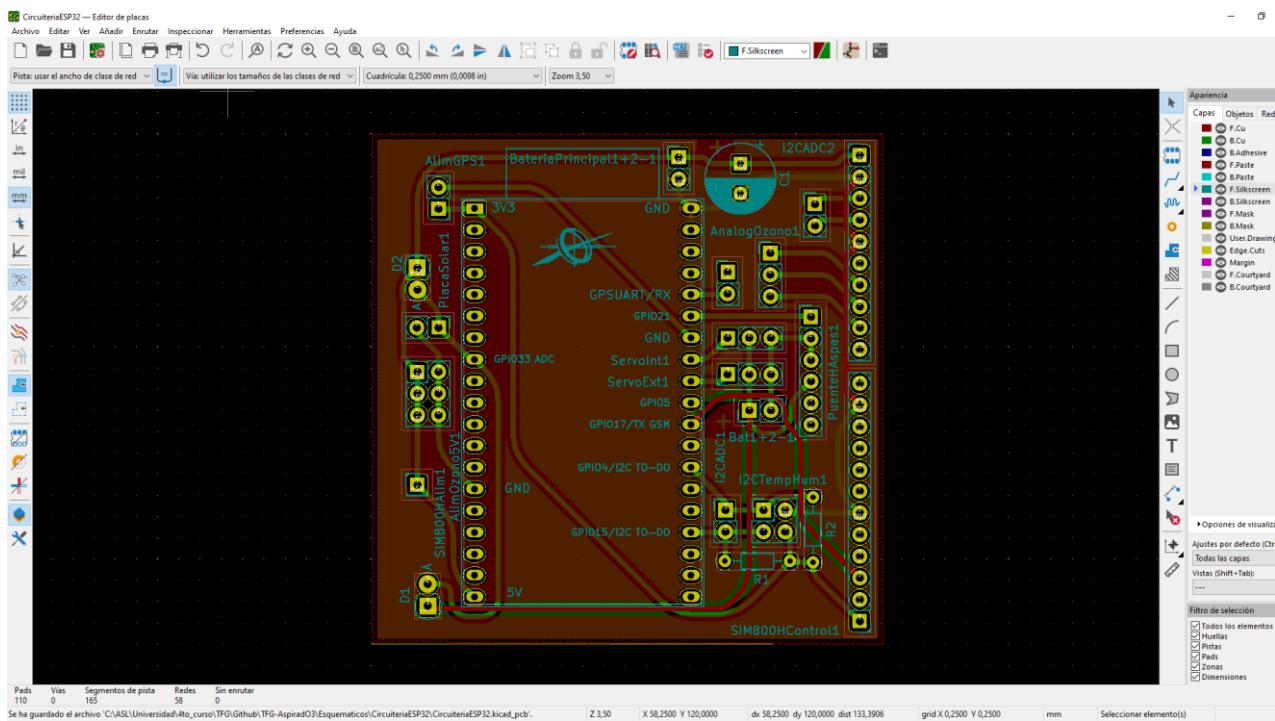
Figuras 46, 47 y 48: Esquemático 8 Mayo 2023, en el que se reemplaza los conector 2x0X por su versión odd-even; PCB 8 Mayo 2023, a la espera de más restricciones por fabricación (elaboración propia).

Proyecto Aspiradora de Ozono



Figuras 49 y 50: PCB 9 Mayo 2023, reducidas posibles inducciones (elaboración propia).

AspiradO₃



Figuras 51 y 52: PCB 10 Mayo 2023, añadido logo oculto (elaboración propia).

Proyecto Aspiradora de Ozono

Al consultar cuál método sería mejor para imprimir esta placa, Norberto nos indicó que nuestros laboratorios no admiten 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 nos instó a pedir que la impresión fuera 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 más barata. Nos registramos en su página web con nuestro usuario y ajustamos los parámetros para tener una placa azul pedida por el tutor.



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.pcbway.com/>

Empresa muy recomendable "cara":

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

Figura 53: Mensaje de Norberto, a 12 Mayo 2023 (captura de pantalla de elaboración propia).

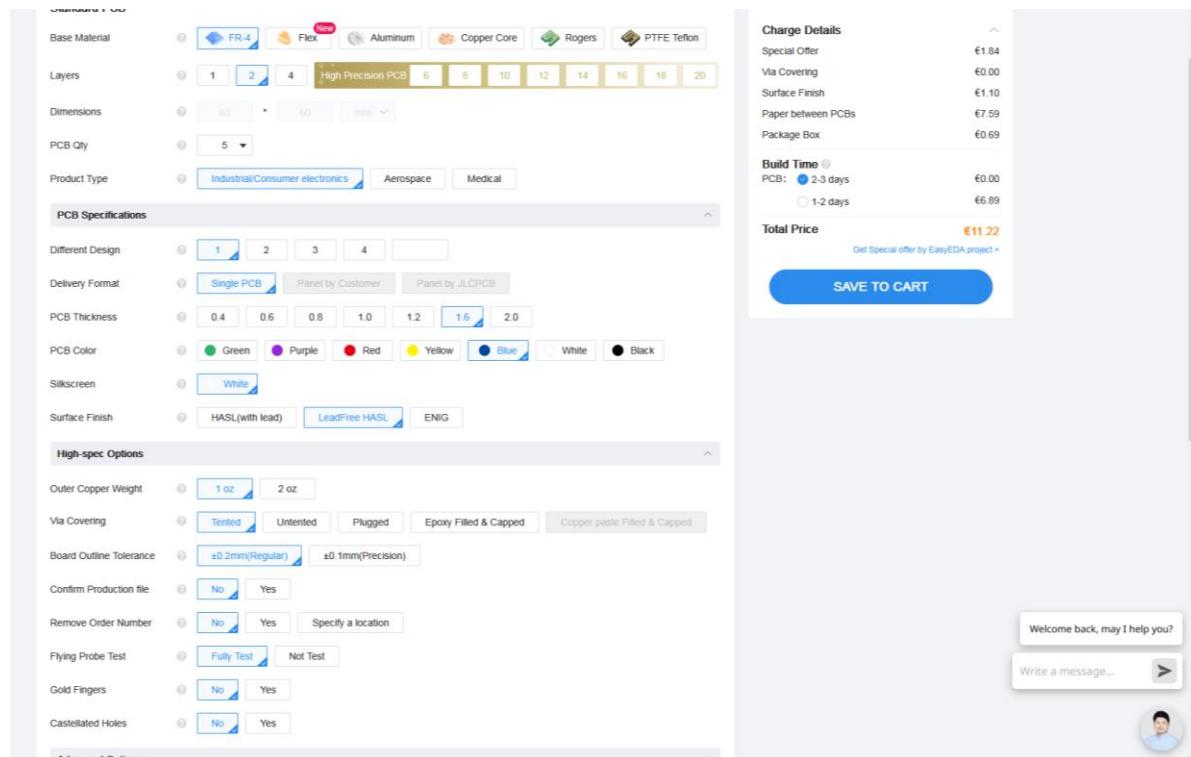


Figura 54: Captura de pantalla del pedido y su coste de llegada, a 12 de Mayo de 2023 (captura de pantalla de elaboración propia).

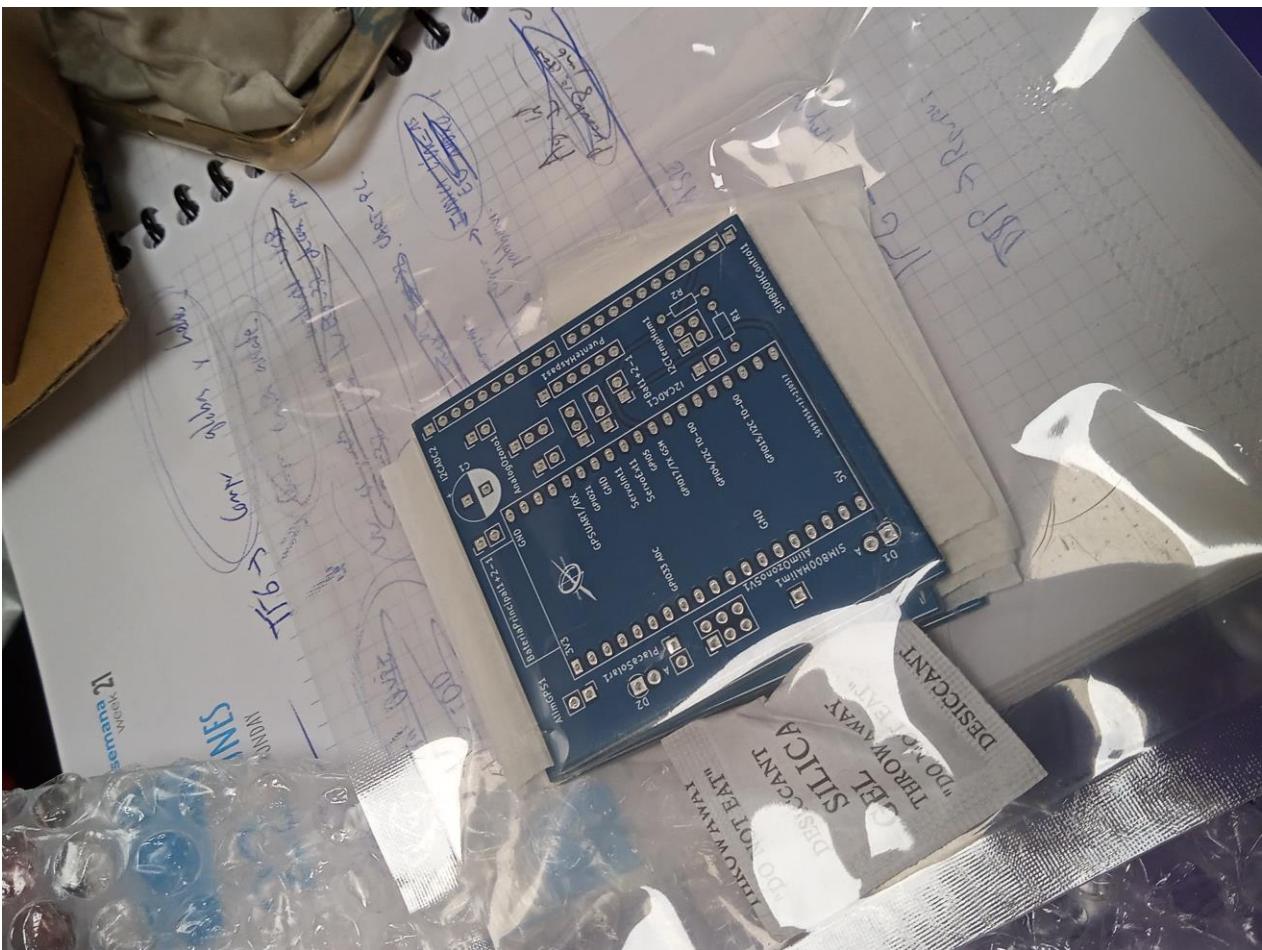


Figura 55: Las PCB llegaron el 25 de Mayo de 2023, arriba se ve el paquete de PCBs, aún sin soldar (captura de elaboración propia).

Cuando llegaron las placas y procedimos a soldar, descubrimos que la huella del ESP-32, aunque muy similar, no era 100% fiable comparada con el ESP-32 de Az-Delivery que utilizamos, 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), e hicimos que el cable hacia la batería principal se conectara desde abajo y no desde arriba. Además, vimos que el SIM800h tenía una pequeña unidad que sobresalía un poco, por lo que lo ajustamos en consecuencia. Las baterías VARTA se ajustaban con cable micro-USB, por lo que se buscaron componentes de dicho tipo inicialmente; aunque posteriormente debido a que Alberto sugirió una alimentación diferente con baterías de petaca de litio alternativa de 7.4V (es.rs-online.com, 2023) se postergó la finalización de las conexiones a la PCB hasta que se tuvieran las baterías adecuadas.

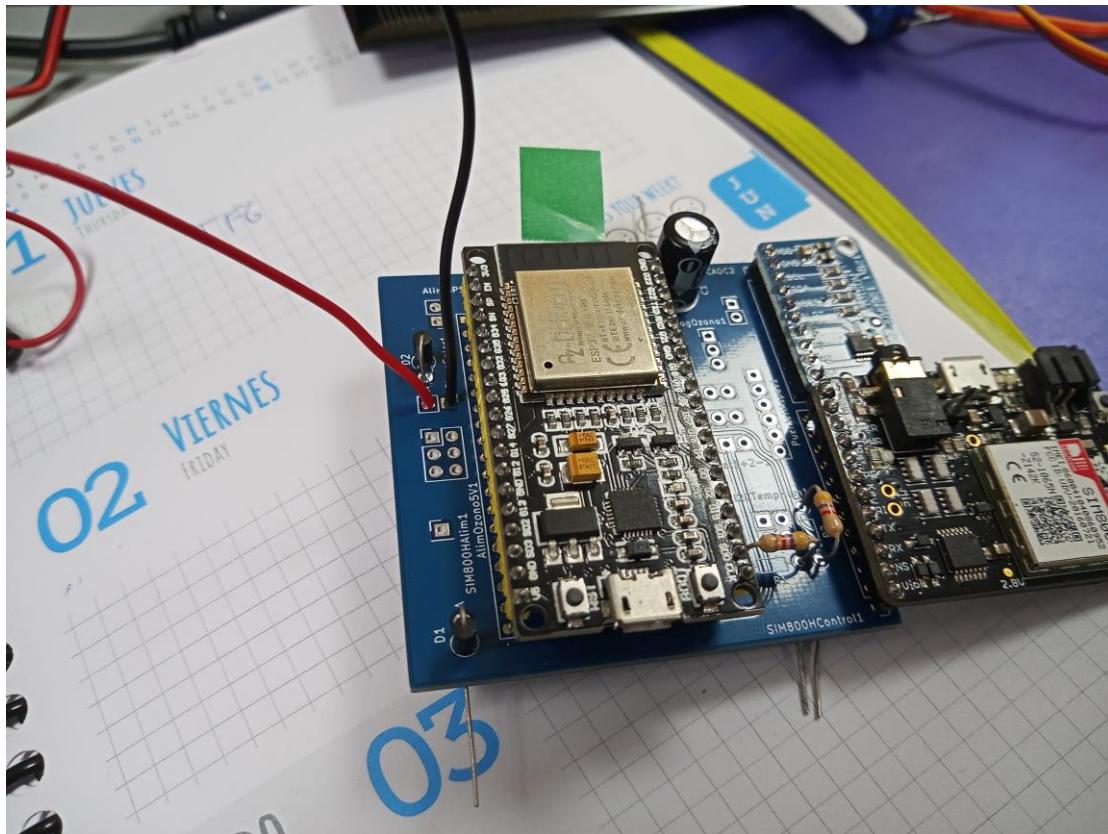


Figura 56: Vista de como quedarían algunos de los componentes, a 30 de Mayo de 2023, aún sin soldar. Los cables rojo y negro en este caso son los de la placa solar (captura de elaboración propia).

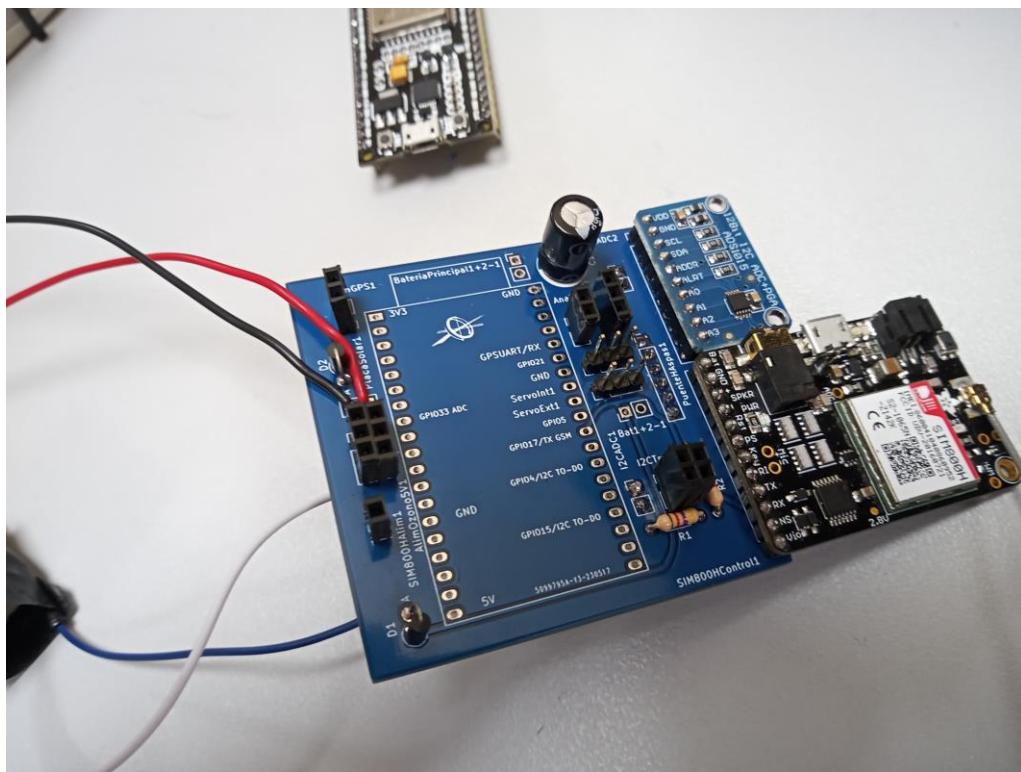


Figura 57: Estado de desarrollo de la PCB, a 6 de Junio de 2023, a la espera de la batería alternativa (captura de elaboración propia).

Cuando por fin obtuvimos la nueva batería y circuitos, procedimos a completar la PCB el 15 de Junio de 2023 – realizamos 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. Sin embargo, tuvimos un contratiempo debido a que accidentalmente una de las nuevas baterías dañó el módulo SIM800H, por lo que hubo que pedir otra. 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].

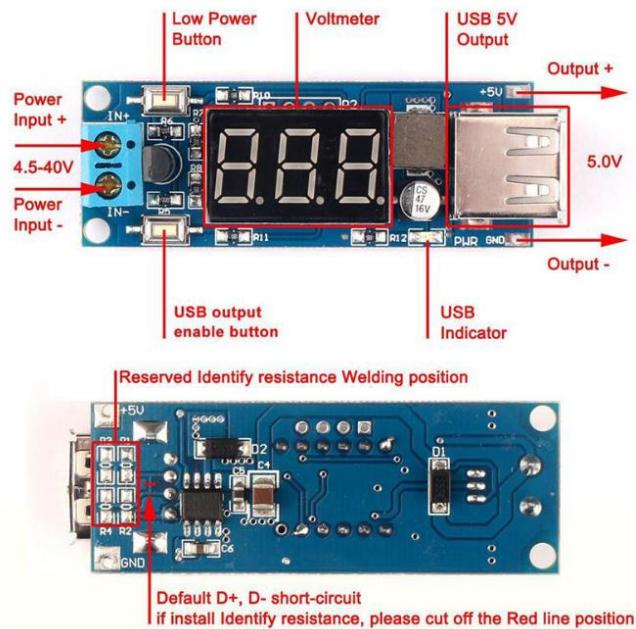


Figura 58: Adaptador de voltaje y corriente: 5-50V IN , 5V 2A OUT, con protección de sobrecorriente e inversión de polaridad (Future Electronics, 2023).

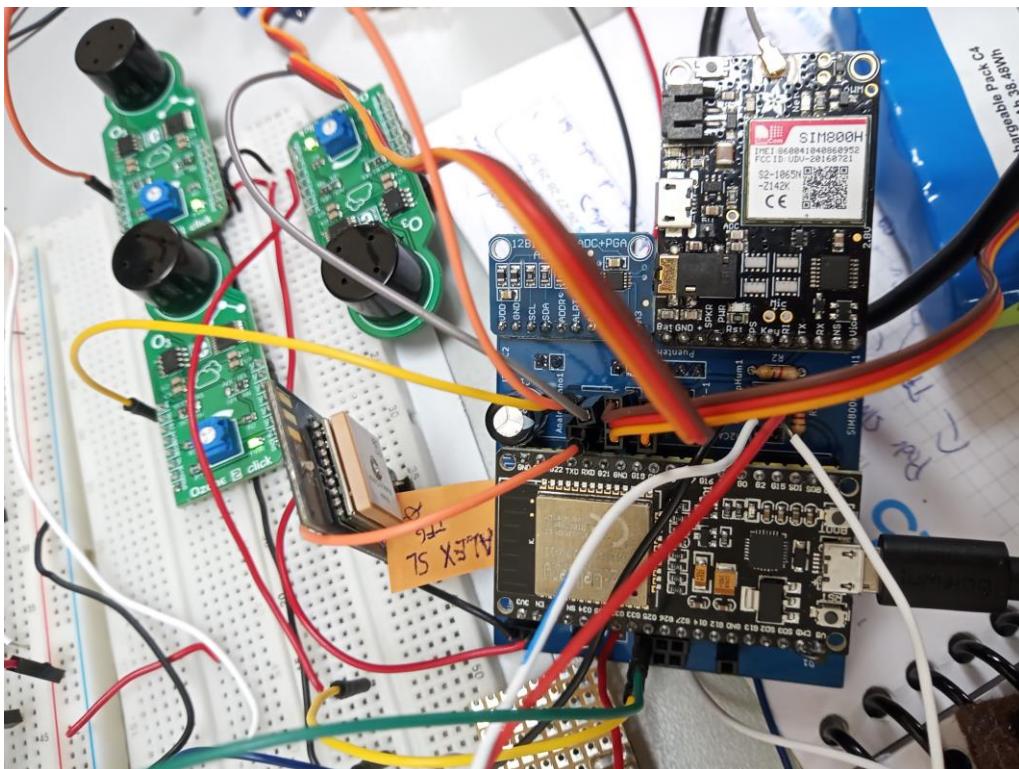


Figura 59: PCB completa, a 16 de Junio de 2023, con la mayoría de componentes conectados (captura de elaboración propia).

Cuando llegó la SIM800H de repuesto el 22 de Junio de 2023, vimos que la desinstalación y reinstalación de componentes de la PCB tal y como habíamos soldado era complicada, especialmente para lo que es un prototipo, por lo que aprovechamos la reinstalación de la SIM800H para conectarla con zócalo-pin en vez de directamente soldada. Uno de los problemas que encontramos más tarde fue que debido a los intentos previos de desinstalación y reinstalación accidentalmente habíamos alterado 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 un pin de salida para un led Network State externo y nos bastó con puentear el zócalo 2 y el 3 y cortar el pin 2.

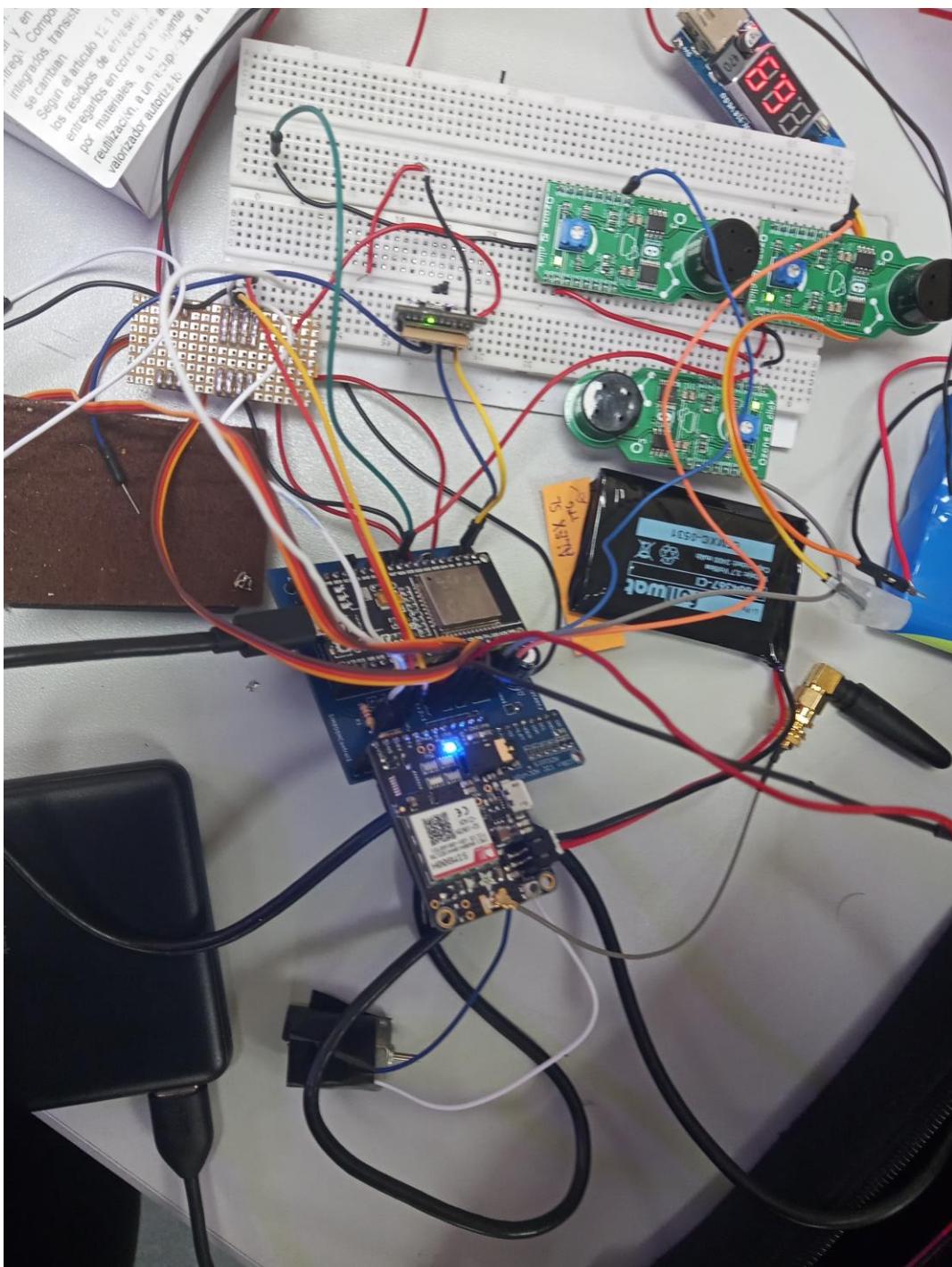


Figura 60: PCB completa, a 23 de Junio de 2023, con forma más modular y funcionando con todos los componentes (captura de elaboración propia).

6.6 Impresión del chasis

El modelo del chasis fue 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 nos permitió imprimir las aspas.

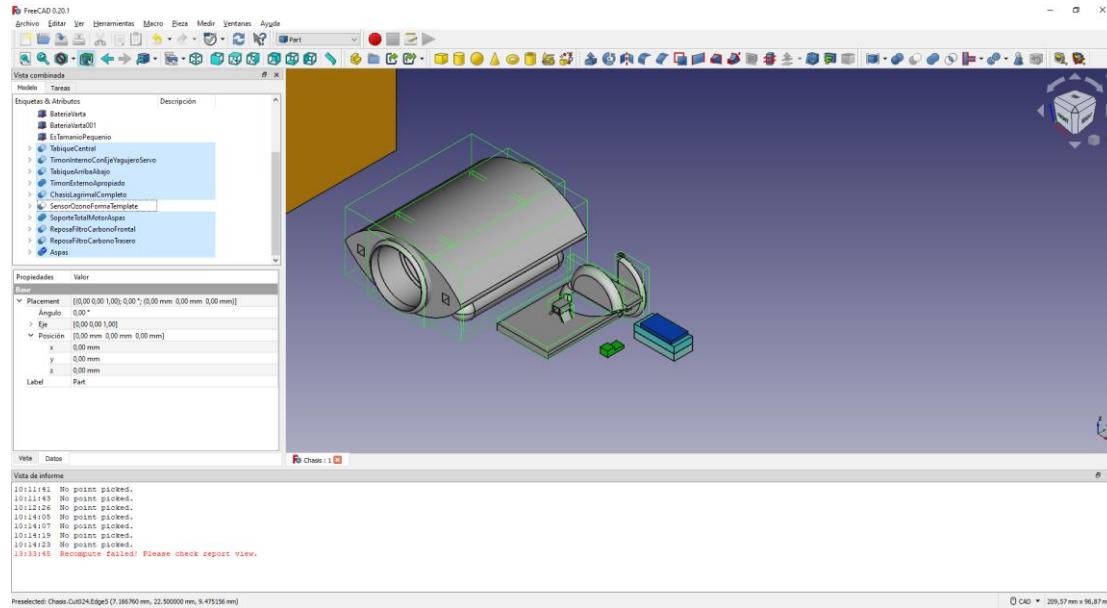


Figura 61: modelo del chasis en FreeCAD a 16 de Mayo de 2023, escala 1:10 (elaboración propia). Se han dejado algunos tabiques por fuera para permitir introducir los timones más tarde. En colores, simulación de espacio ocupado por sensores de ozono (verde), la placa más el SIM800H, el ADC Adafruit y el puente H (azul marino) y dos de las baterías Varta (cian celeste). El cubo naranja es para tomar de referencia de tamaño máximo permitido por legislación.

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 tuvimos que recortar el chasis en 5 partes para permitir una impresión ajustada a las dimensiones máximas.

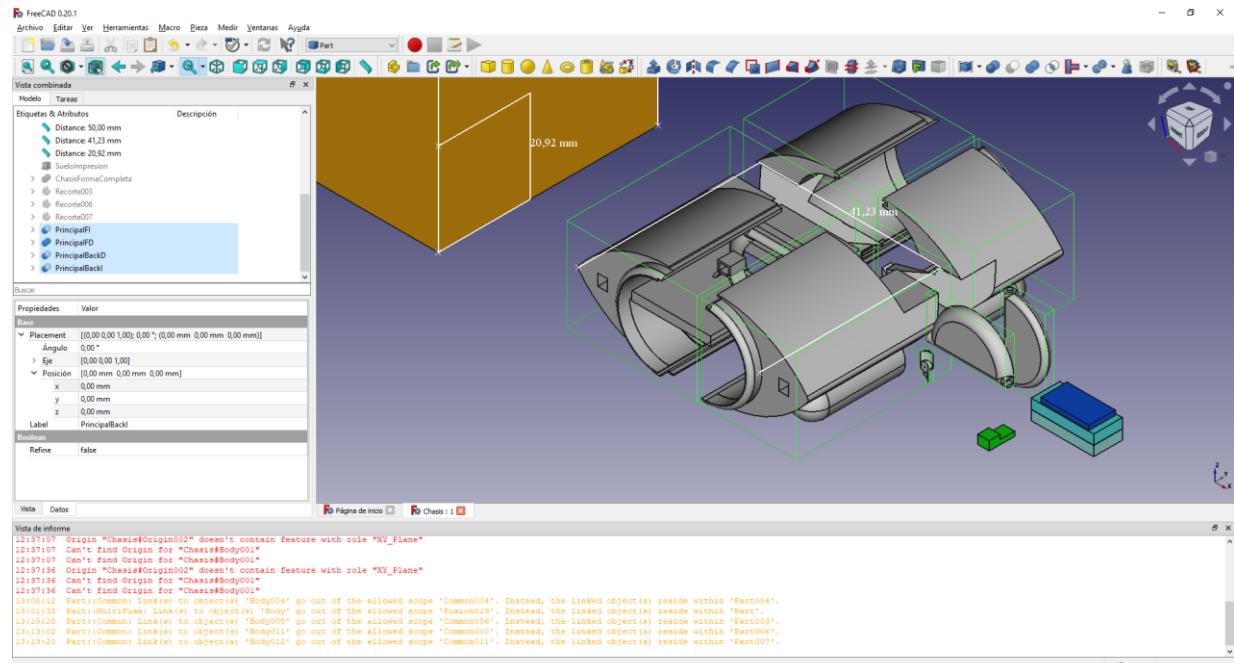


Figura 62: modelo del chasis en FreeCAD a 17 de Mayo de 2023, escala 1:10 (elaboración propia). El recorte del chasis principal ha permitido introducir otros componentes en su interior.

Proyecto Aspiradora de Ozono

Luego en Ultimaker cada parte se re-escaló a tamaño real, se ajustaron a nuestro perfil de impresión (ver apartado 7, sección “Ultimaker Cura”) y se exportaron las partes como gcode. Cabe mencionar que por su tamaño la impresión costaría al menos una semana, por lo que Héctor recomendó que para las partes más complicadas se iniciase a comienzo de ésta.



Figuras 63 64, 65 y 66: de izquierda a derecha y de arriba abajo; primera, segunda, tercera y cuarta parte del modelo de impresión del chasis a 18 de mayo de 2023, escala 1:1 (elaboración propia).

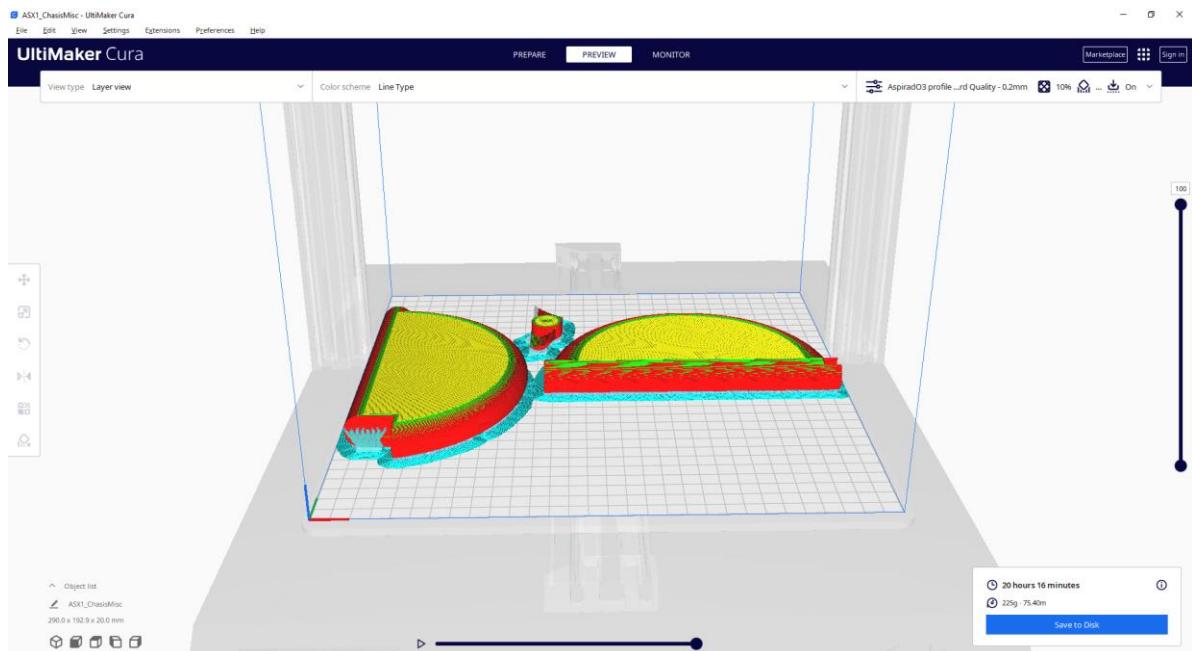


Figura 67: quinta parte del modelo de impresión del chasis a 18 de mayo de 2023, escala 1:1 (elaboración propia).

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 nos permiten encajar las piezas. Nuestra impresora tenía algunas diferencias así que tuvimos que editar el .gcode manualmente para que permitiera autonivelación de la cama (línea M420 S1, que luego se añadió a las configuraciones de la máquina). Pare 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, por lo que se corrigió la estructura para soportar eso.

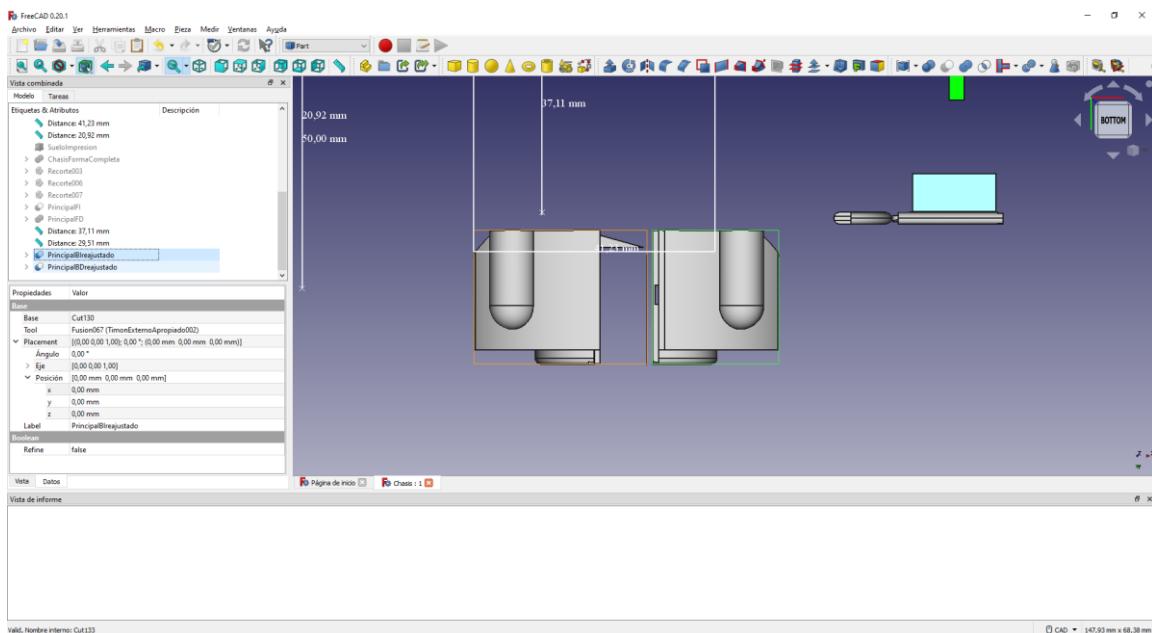
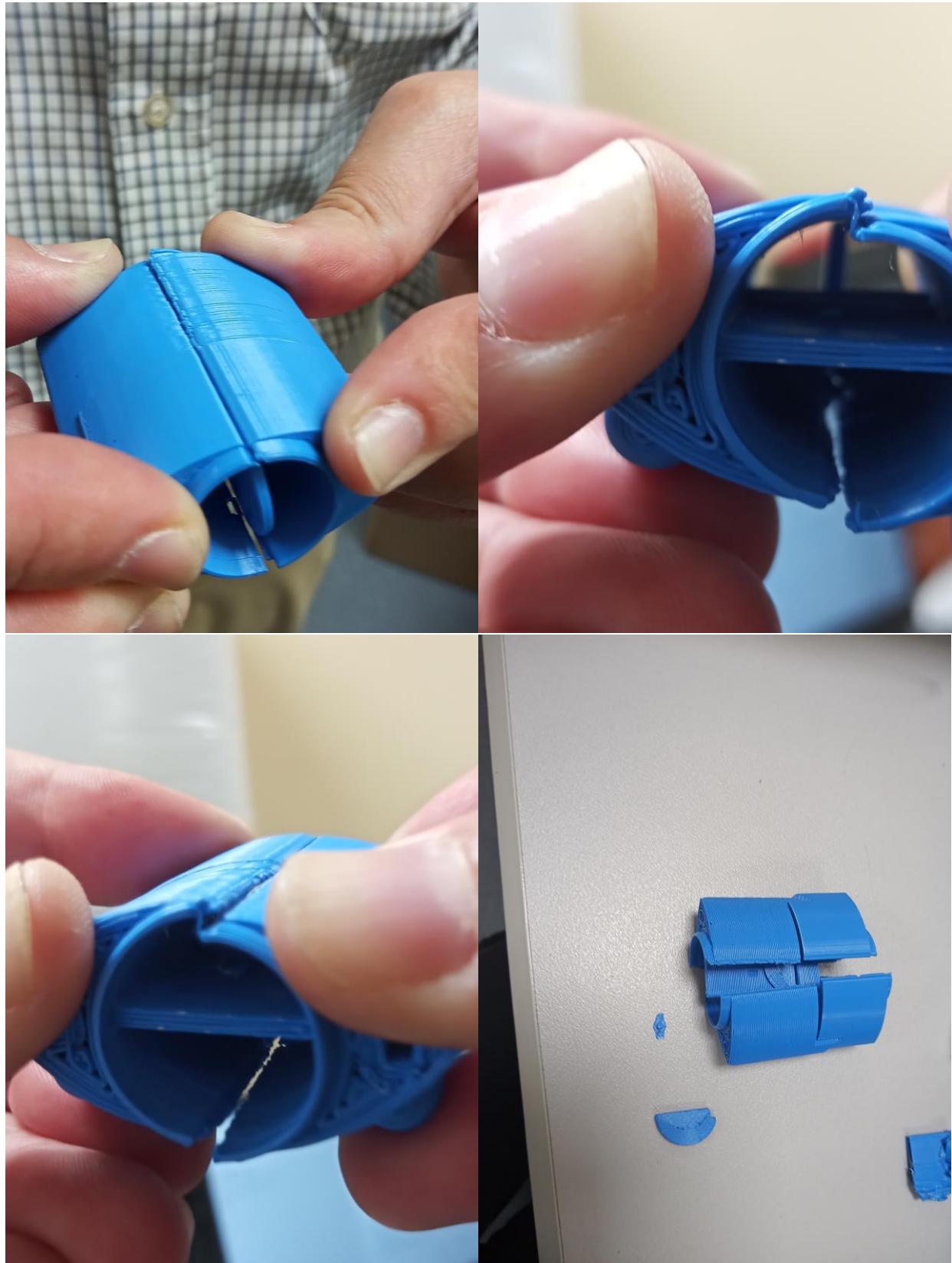


Figura 68: modelo de las piezas primera y segunda reajustadas del chasis en FreeCAD a 24 de Mayo de 2023, escala 1:10 (elaboración propia), el agujero de pase del motor estaba en un lugar incorrecto.

```
*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
```

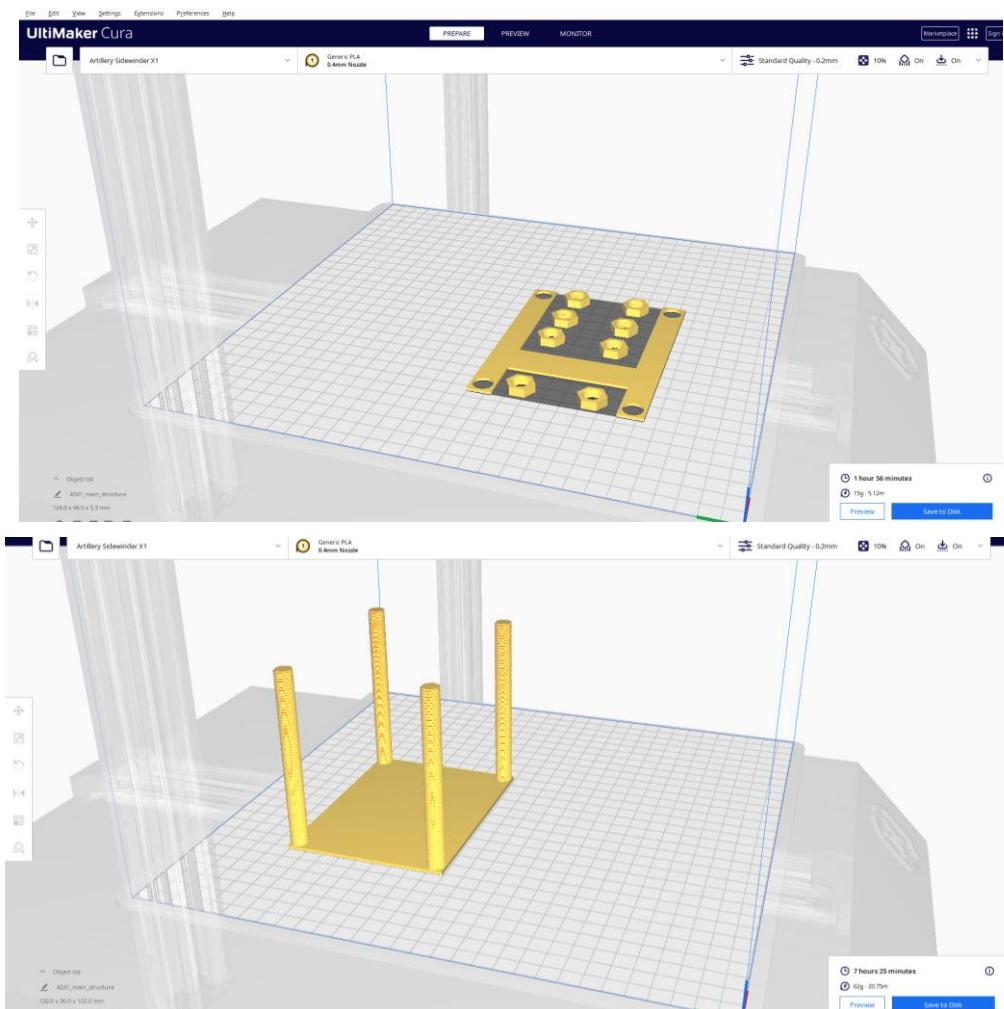
Figura 69: línea a añadir a los gcode, tras la línea G28 (elaboración propia).



Figuras 70, 71, 72, y 73: imágenes de la primera versión del chasis final impreso a escala 1:10, trasero, frontal, de medio lado y medio abierto con la miniaspa y timón externo al lado (elaboración propia).

Sin embargo, como la impresión a escala 1:1 de este modelo habría costado un gran tiempo, además de pesar unos 6 kilogramos 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 una batería LiPo alternativa de 7.4V (es.rs-online.com, 2023) con uno o dos reguladores de 5V, no solo porque las baterías adecuadas no estaban disponible en aquel momento, pero para reducir aún más las dimensiones y peso de la carga útil y el chasis, y por lo tanto del globo, aunque por tal y como estaba diseñada la PCB podría suponer perder la habilidad de cargar 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 batería de 5V mientras que el resto del circuito utilizaba baterías de litio de 3.7V (SIM800H) o la batería de 7.4V con regulador de 5V. Estos dos componentes los recibimos el 14 de junio de 2023, cuando finalmente Alberto pudo comenzar a ajustar el diseño a las dimensiones de los componentes obtenidos.

La impresión a escala 1:1 del soporte refinado de Alberto comenzó el 5 de julio de 2023. 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 fue 84 g, mientras que el chasis suponía 3,104 kilos, por lo que se realizaron posteriores reducciones de peso hasta ~2,5 kg, importante para la decisión de materiales para el globo. Sin embargo el 14-9 el tutor pidió al co-tutor un nuevo chasis simplificado para tener terminado en unas dos semanas.



Figuras 74 y 75: soporte diseñado por Alberto, en Ultimaker Cura. 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 29-10-2023 (9+3g) (capturas de elaboración propia).

Proyecto Aspiradora de Ozono

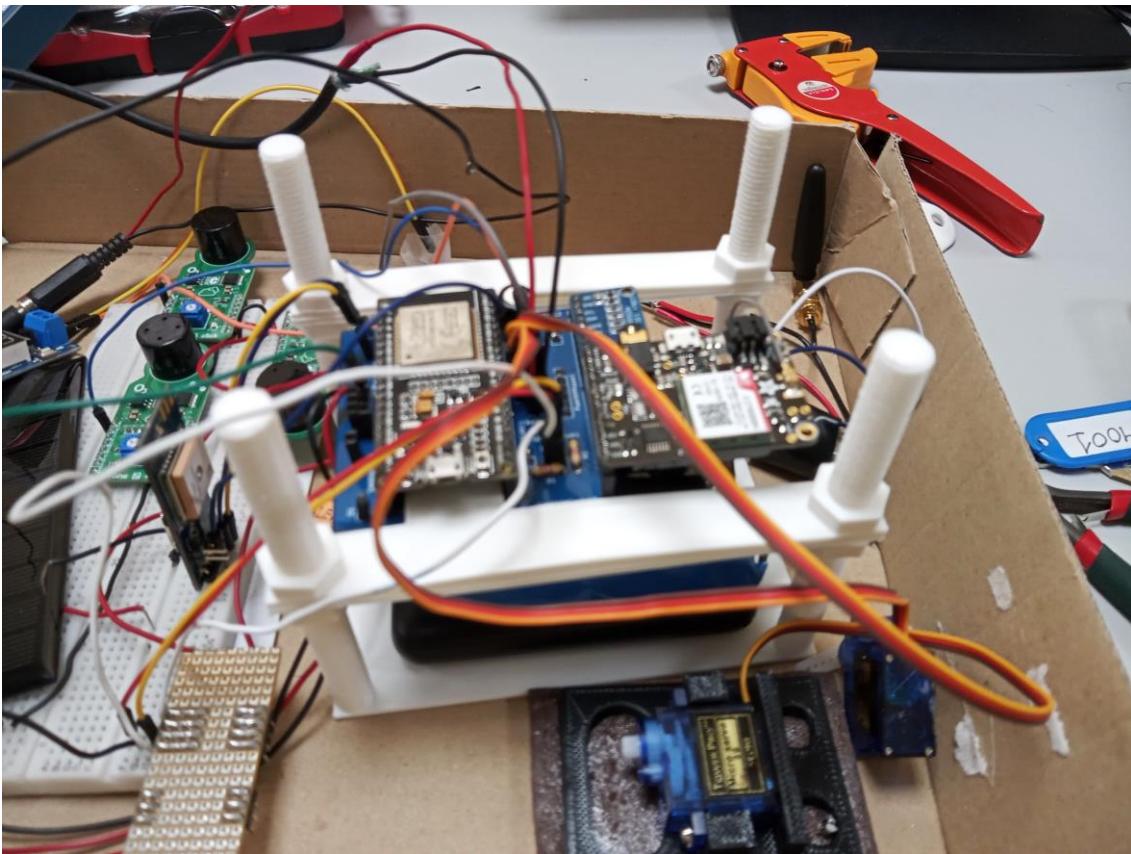
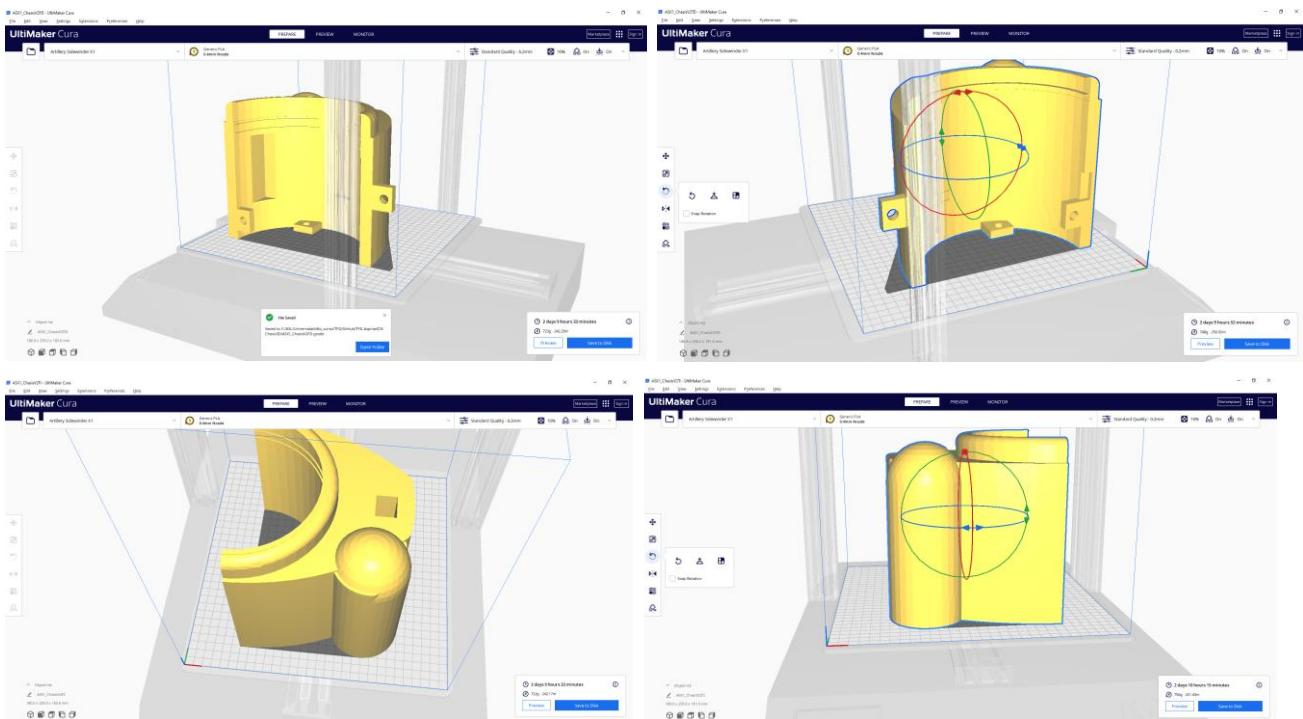
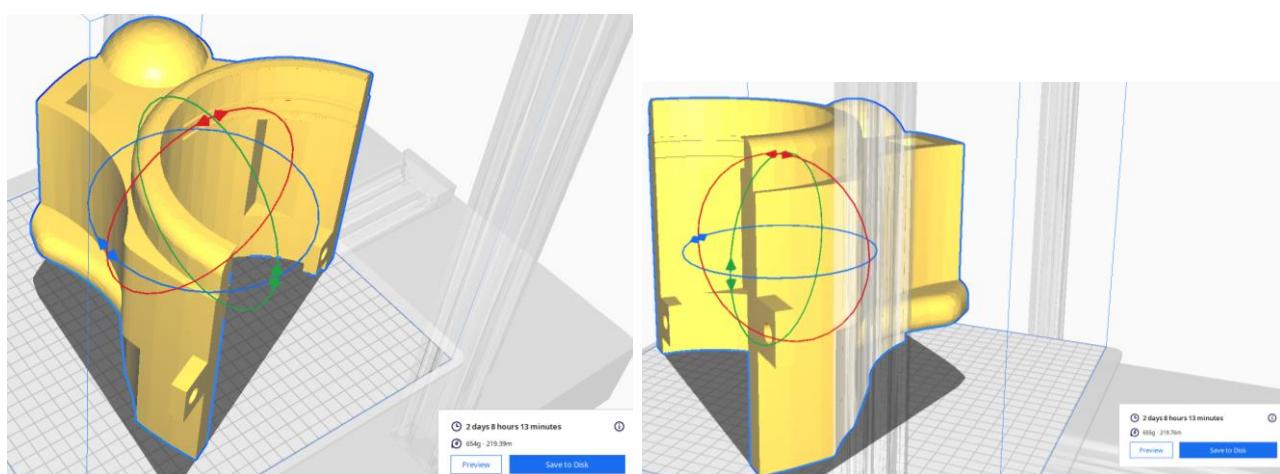
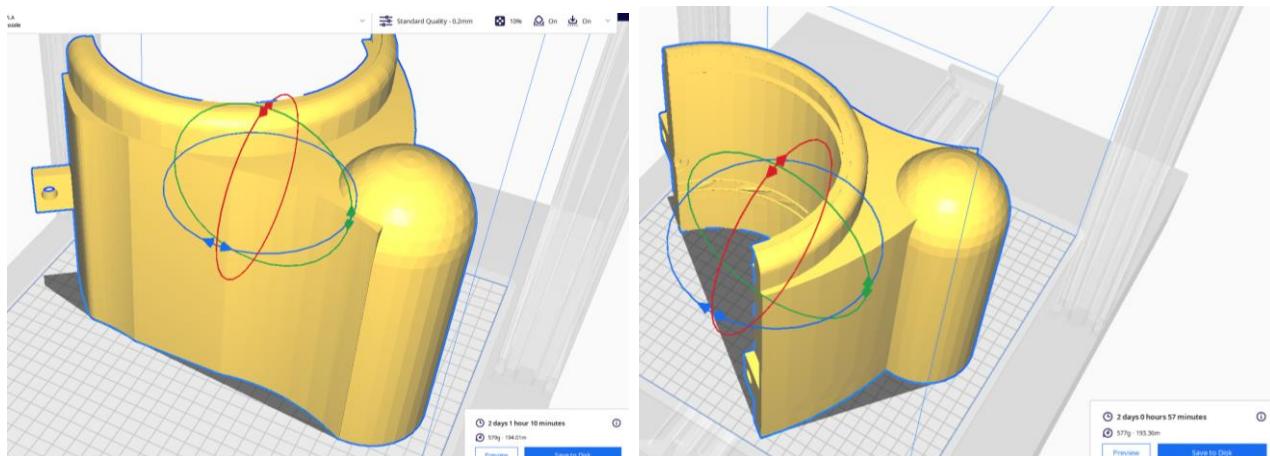
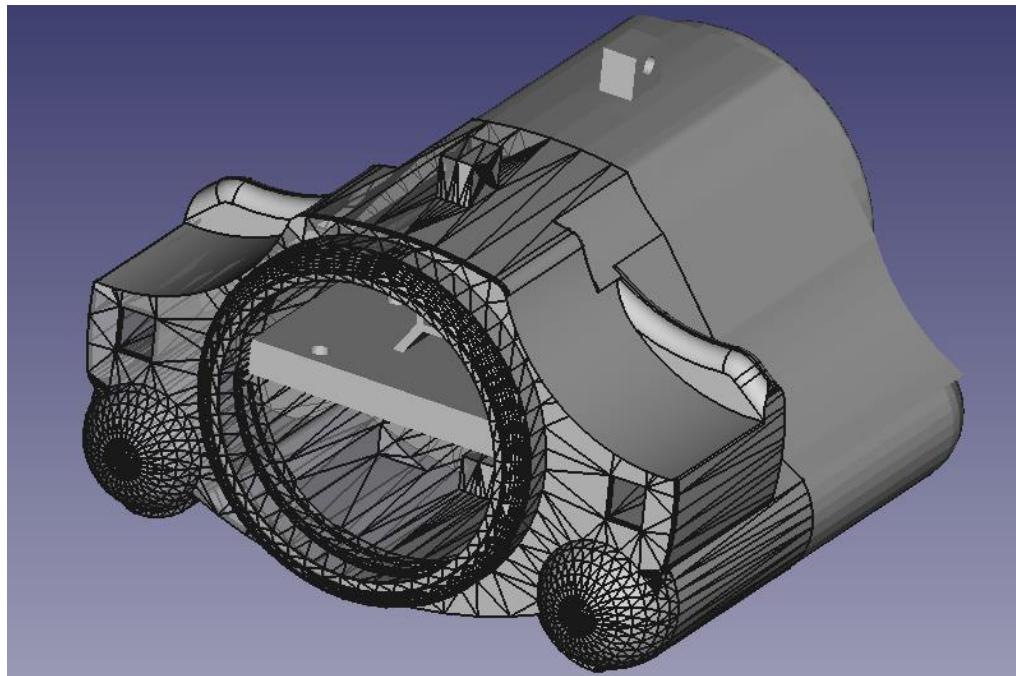


Figura 76: PCB con el soporte diseñado por Alberto (captura de elaboración propia).

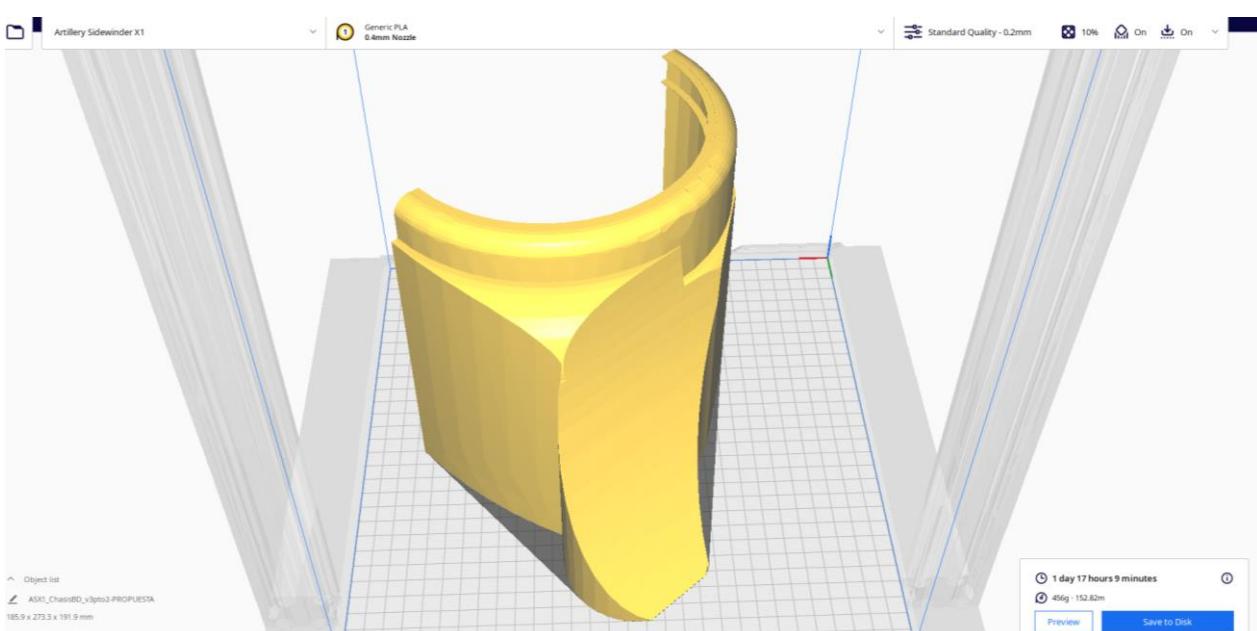
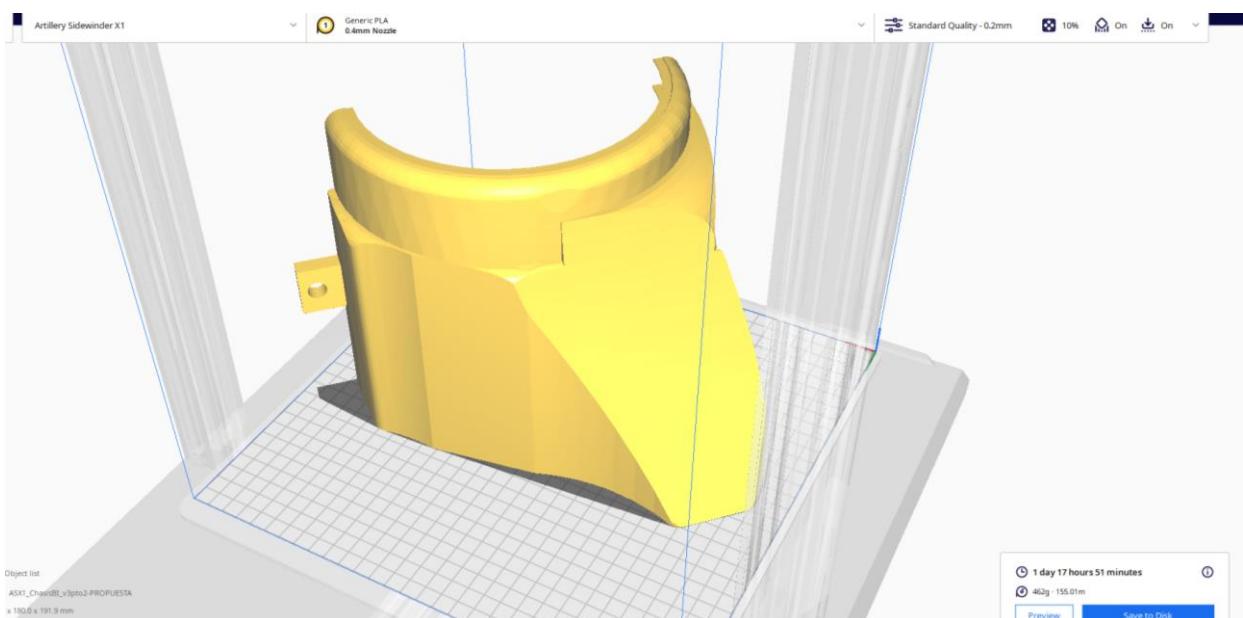
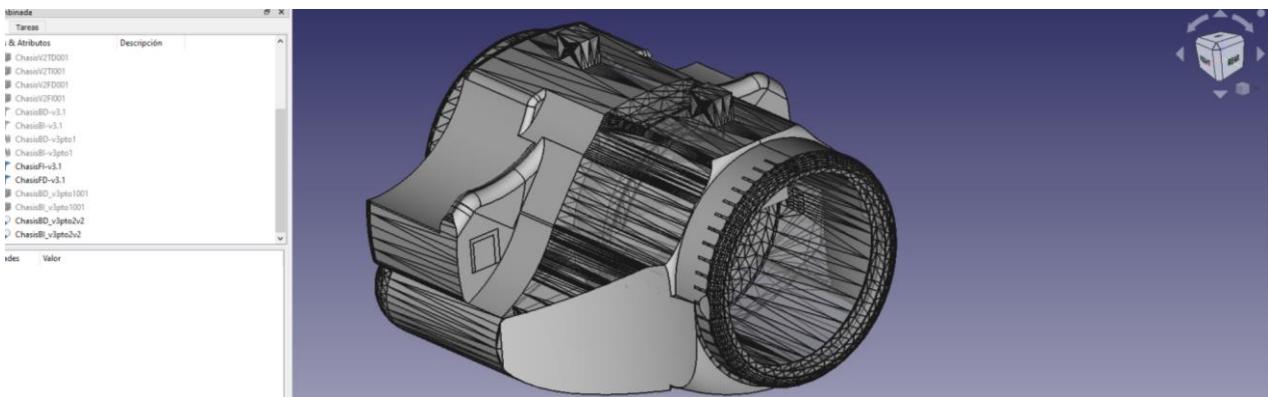


Figuras 77, 78, 79 y 80: antiguas partes del modelo del chasis a 25 de Julio de 2023 (elaboración propia)



Figuras 81, 82, 83, 84 y 85: ajustes del chasis a 14 de Septiembre de 2023. Peso junto a soporte de 2,71 kg (elaboración propia)

Proyecto Aspiradora de Ozono



Figuras 86, 87 y 88: ajustes del chasis a 19 de Septiembre de 2023. El recorte de la parte trasera supuso una reducción de peso junto a soporte a 2,56 kg (elaboración propia)

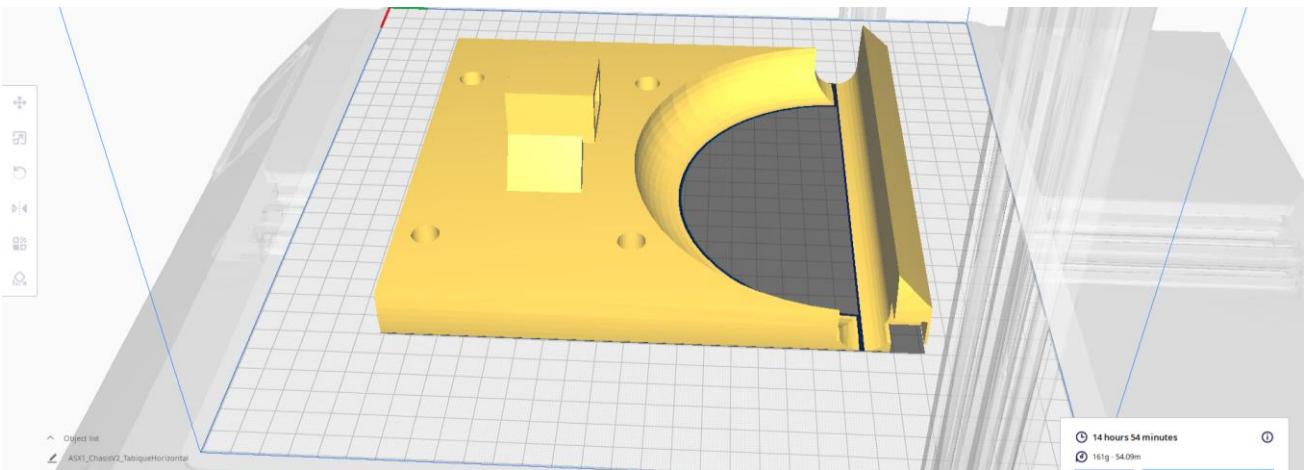


Figura 89: tabique del modelo del chasis a 25 de Julio de 2023, se mantuvo en versiones posteriores hasta la versión de Alberto (elaboración propia)

El 2 de octubre de 2023 finalmente se tuvo 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 permitir que los sensores de bakelite puedan asomarse al exterior sin comprometer la diferencia de ozono entre el exterior y 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); 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 será externo (de tal forma que actúen como alerones protuberantes desde el interior al exterior). Posteriormente a este modelo se le engarzarán dos "hebillas" atornillados que servirán tanto de soporte para la sujeción del globo, como para el tren de aterrizaje. Para que el tribunal pudiera ver los timones, se optó no imprimir la tapa trasera.

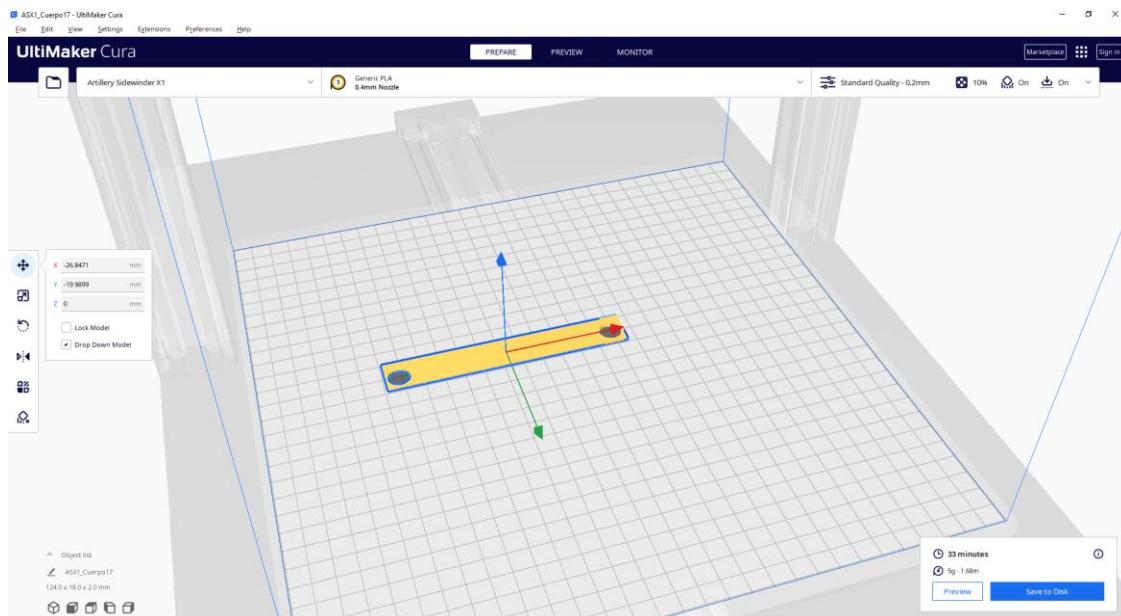
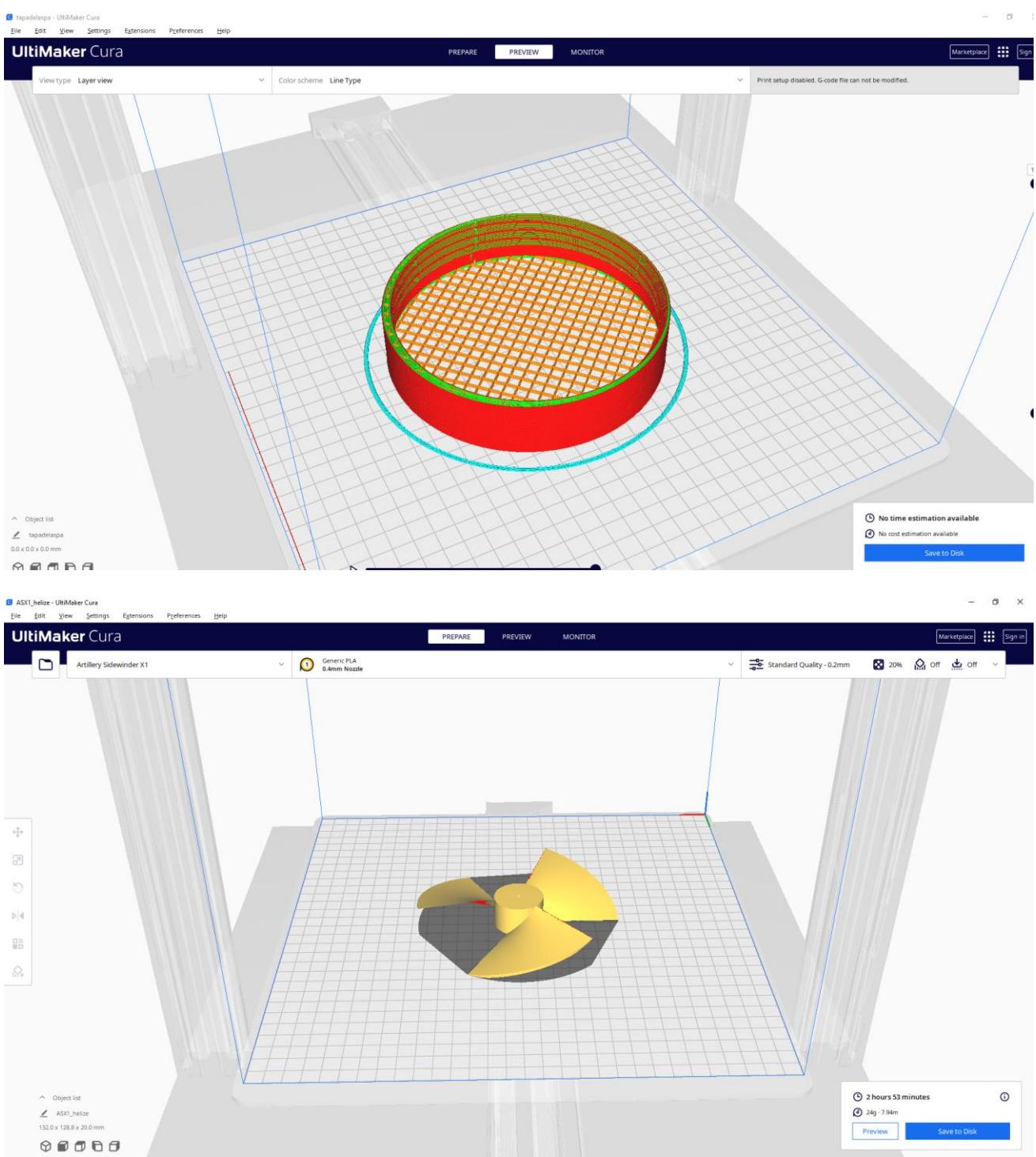


Figura 90: extensión del soporte a 2 de Octubre de 2023, por Alberto. Se imprimió 2 veces (captura de elaboración propia)

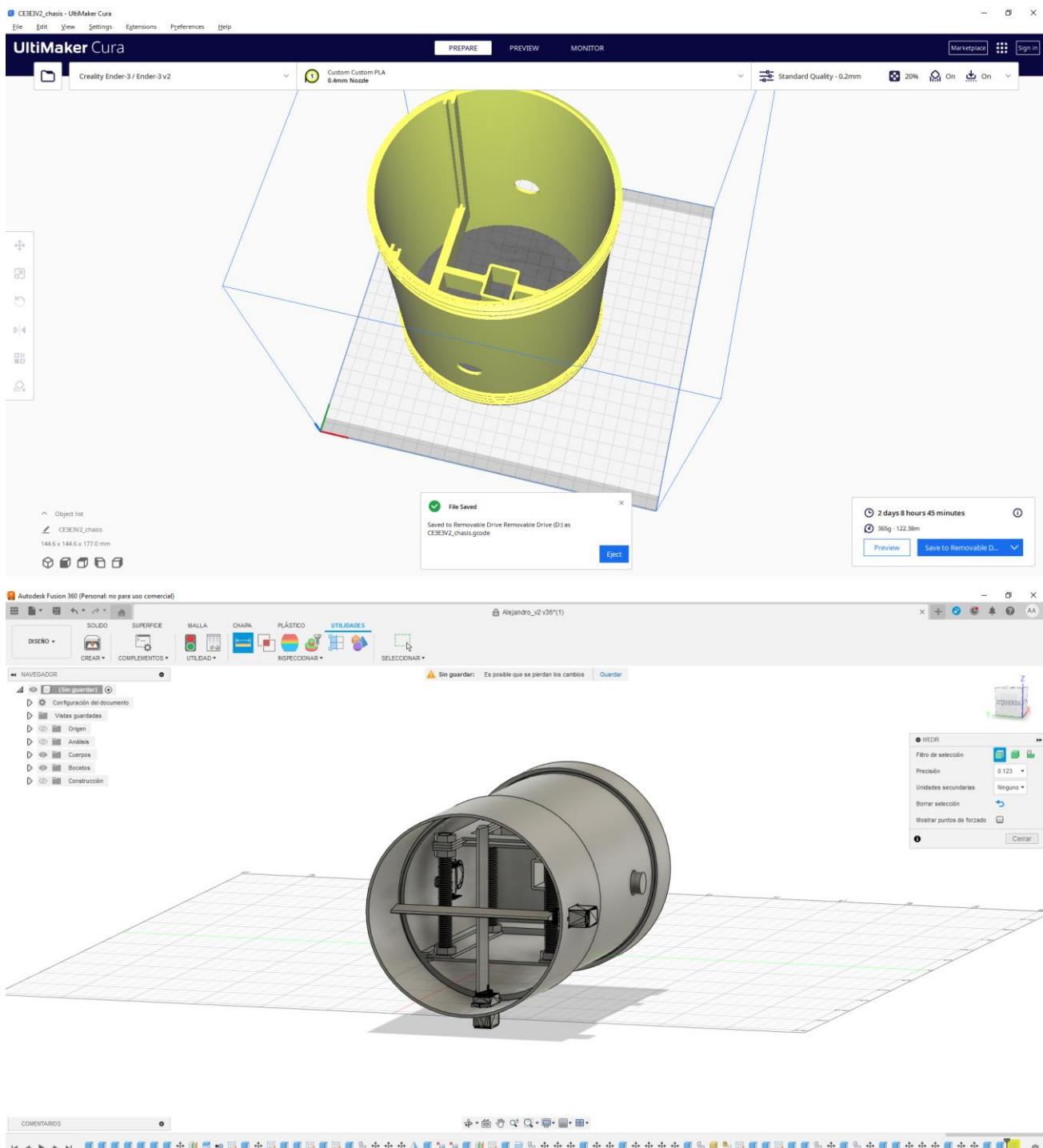
Proyecto Aspiradora de Ozono



Figuras 91 y 92: tapa con rosca delantera, y aspas, a 2 y 3 de Octubre de 2023, refinadas por Alberto (captura de elaboración propia)

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 un poco más serios pero que consideramos aceptables a menos que en el modelo final causaran vibraciones, aunque podrían haber sido indicios de que nuestra impresora Sidewinder había comenzado a averiarse.

Finalmente, 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) tratamos de imprimir de nuevo, pero esta tenía un extrusor defectuoso y la PLA inundó el cableado (ver 3.1 Desviación del Plan de Realización) y el 21 de Noviembre de 2023 se propuso que por todos los retrasos acarreados se pudiera excepcionalmente presentar el TFG sin el prototipo completo.



Figuras 93 y 94: resto del chasis planificado y refinado para imprimirse originalmente hasta las averías con las impresoras 3D, a 15 de Noviembre de 2023 (captura de elaboración propia)

El globo idealmente sería de polietileno como los globos meteorológicos, pero investigamos y vimos que hay pocas compañías aéreas que proporcionan globos aéreos personalizados, ninguna en España (ver dos primeras figuras de la sección 9), por lo que consideramos la utilización en el prototipo de globos náuticos inflables para cable (NauticEXPO, 2023). Finalmente, y por sugerencia del tutor, se recomendó el uso de globos de polietileno baratos similares a los de las fiestas, con una cantidad 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).

6.7 Sistema de control

Dado el retraso en el desarrollo del chasis y de los hitos en general por no disponer de los materiales disponibles, decidimos comenzar a realizar el sistema de control de la aspiradora antes de finalizar los hitos. Para ello creamos un sistema retroalimentado que tuviese en cuenta las lecturas de ozono a babor y estribor, así como la velocidad GPS y el estado anterior del timón externo. Cuando consultamos a un experto en el tema, Norberto Cañas de la Paz, 2023, sobre como expandir y ajustar dicho sistema, nos dijo 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), se esperó a tener el sistema completo.

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.

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

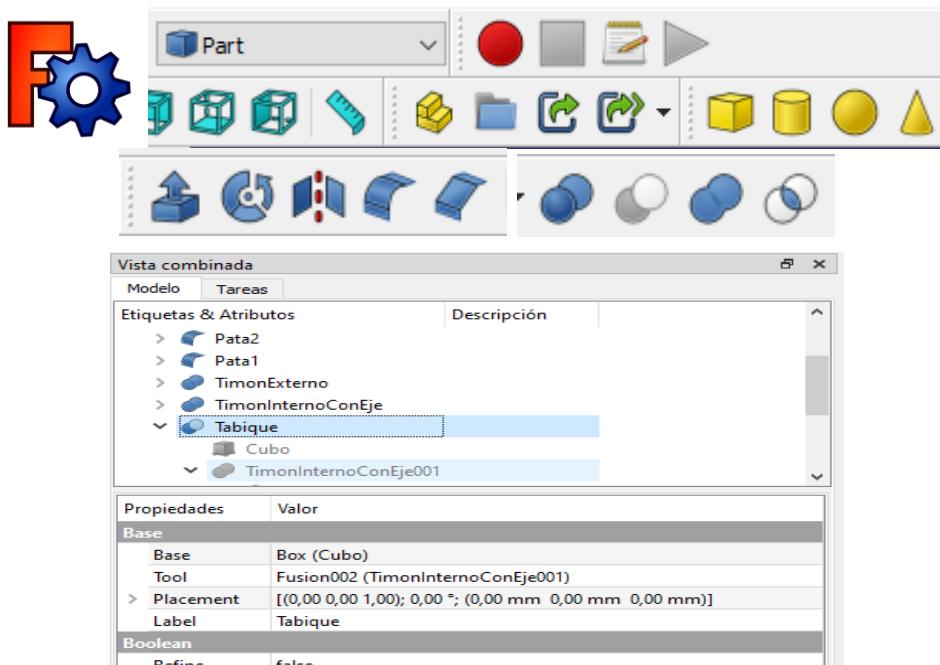
7. Herramientas Software utilizadas:

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

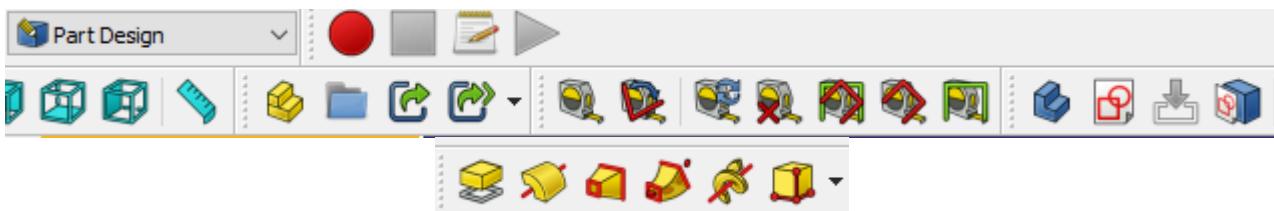
FreeCad

Freecad es una herramienta libre 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, 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.



Figuras 95, 96, 97, 98 y 99, de izquierda a derecha y de arriba abajo: ícono del FreeCAD (Bejant, 2023), algunas de las operaciones básicas de creación y medición de objetos, más herramientas de edición de objetos y sketches, operaciones booleanas, panel de vista combinada.



Figuras 100 y 101: panel del PartDesign – 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 (capturas de elaboración propia).

Github/Git

Git 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 tienen con ella. Aunque tiene diversos comandos y se puede ejecutar por GUI, los únicos de uso común que nos interesan 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 sobreesciban 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.
- `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. Para salir, presiona la letra q.
- `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) 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>”.

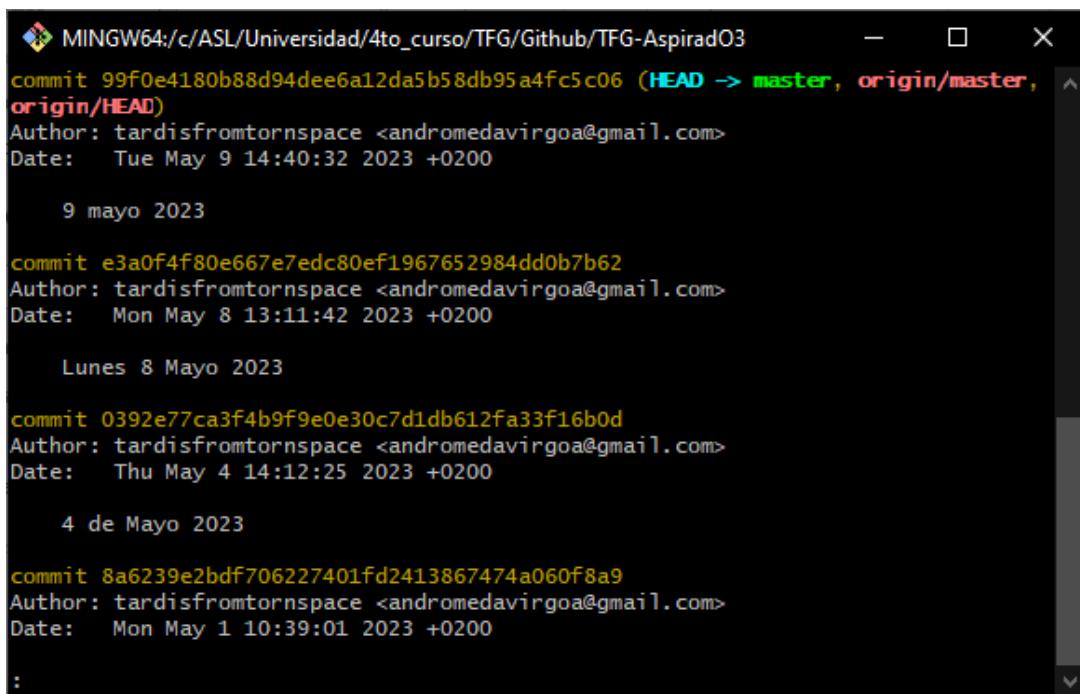
Proyecto Aspiradora de Ozono

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 tus cambios a un commit.

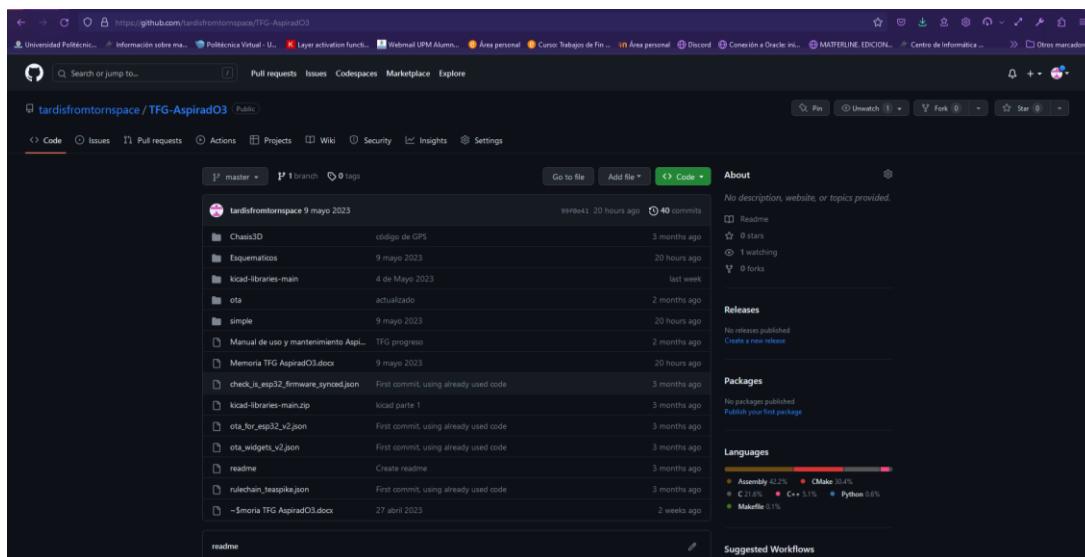


Figuras 102 y 103: Uno de los múltiples iconos de la plataforma git ([Git, 2022](#)) e icono GitLFS ([Git LFS, 2023](#)).



Este es un terminal de línea de comandos en modo MINGW64. Se muestra la ejecución de varios commits en el repositorio 'TGF-AspiradO3'. Los commits están ordenados por fecha de más reciente a más antigua:

- 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
- commit 0392e77ca3f4b9f9e0e30c7d1db612fa33f16b0d
Author: tardisfromtornspace <andromedavirgoa@gmail.com>
Date: Thu May 4 14:12:25 2023 +0200
4 de Mayo 2023
- commit 8a6239e2bdf706227401fd2413867474a060f8a9
Author: tardisfromtornspace <andromedavirgoa@gmail.com>
Date: Mon May 1 10:39:01 2023 +0200



Esta captura de pantalla muestra la interfaz de usuario de Github desktop para el repositorio 'TGF-AspiradO3'. La sección 'Commits' muestra los mismos commits que se visualizaron en el terminal, ordenados por fecha. A la derecha, se detallan las estadísticas del repositorio:

- Readme**: 0 stars, 1 watching, 0 forks.
- Releases**: No releases published. Create a new release.
- Packages**: No packages published. Publish your first package.
- Languages**: Assembly 42.2%, C 38.4%, C 3.1%, C++ 5.3%, Python 0.6%, Makefile 0.1%.

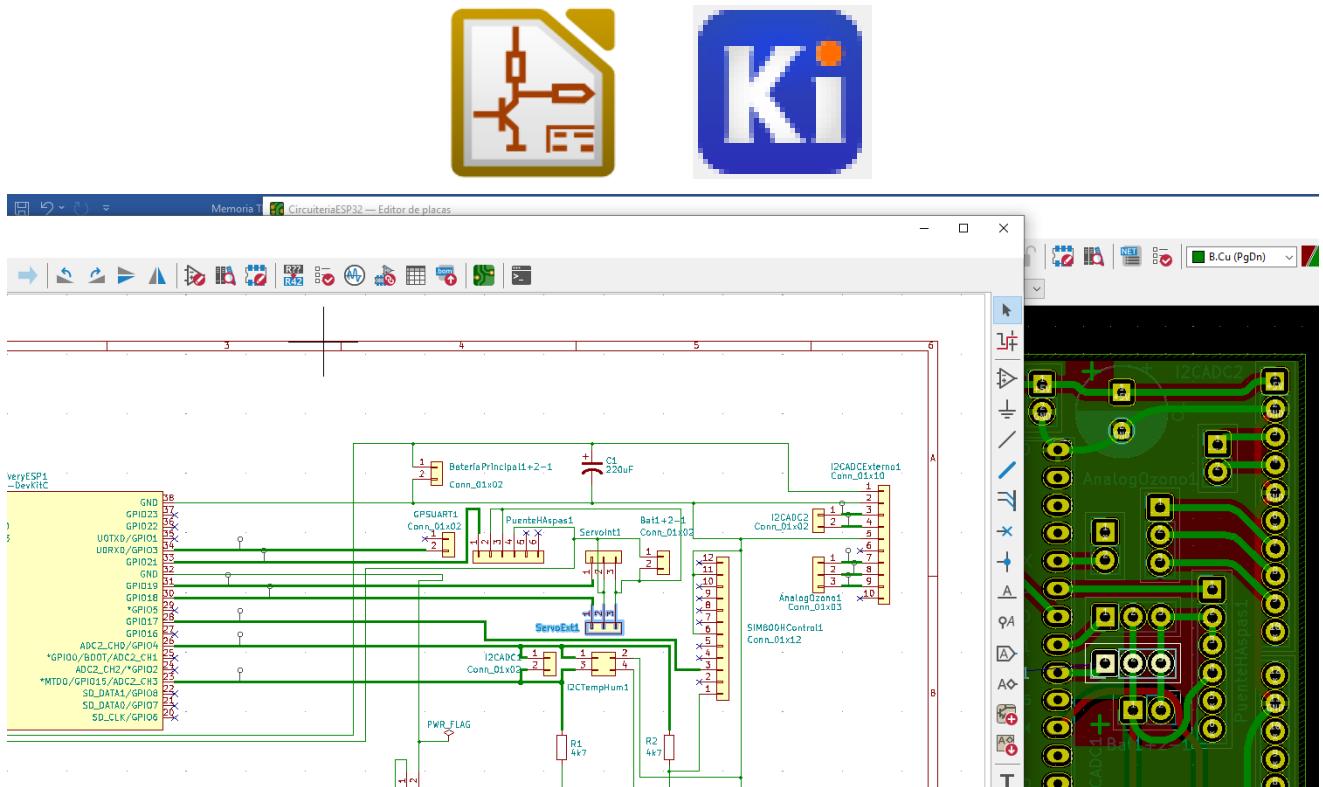
Figuras 104 y 105: Git Bash y Github desktop (capturas de elaboración propia).

Kicad

Kicad es un conjunto de herramientas de software libre para el diseño electrónico. 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 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, 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, 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 (7.0).



Figuras 106, 107 y 108: Icono de Kicad 5.0 (izquierda, [\(Kicad EDA, 2023\)](#)) vs Kicad 7.0 (derecha, captura de elaboración propia). Ejemplo de la funcionalidad de reflejo esquemático-PCB (elaboración propia).

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 nuestro caso importaremos el archivo .stl generado por el FreeCad y lo convertiremos 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 necesario configurar cuál vamos a utilizar. La primera vez preguntará si es de Ultimaker o no, para luego llevarte a un menú dónde se dará la opción de conectarse por red a la impresora o si en cambio emplear métodos más tradicionales. En nuestro caso optamos por seleccionar una Artillery Sidewinder X1, puesto que era la más parecida a la Artillery Sidewinder X2 (con el mismo formato de impresión) que es la impresora de mayores dimensiones de la que disponemos; sin conexión a red.

Tras ello ajustamos el extrusor y las dimensiones de la impresora acorde a la X2, que en este caso coincidían con la X1; y nos creamos 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 nuestros objetos que sea fácil de recortar más tarde. Posteriormente ajustamos estos valores para la impresora Ender-3 de reemplazo.



Figura 109: Icono del Ultimaker Cura (Ultimaker, 2023).

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 X0 Y0 Z0 F1000 ; move to origin 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

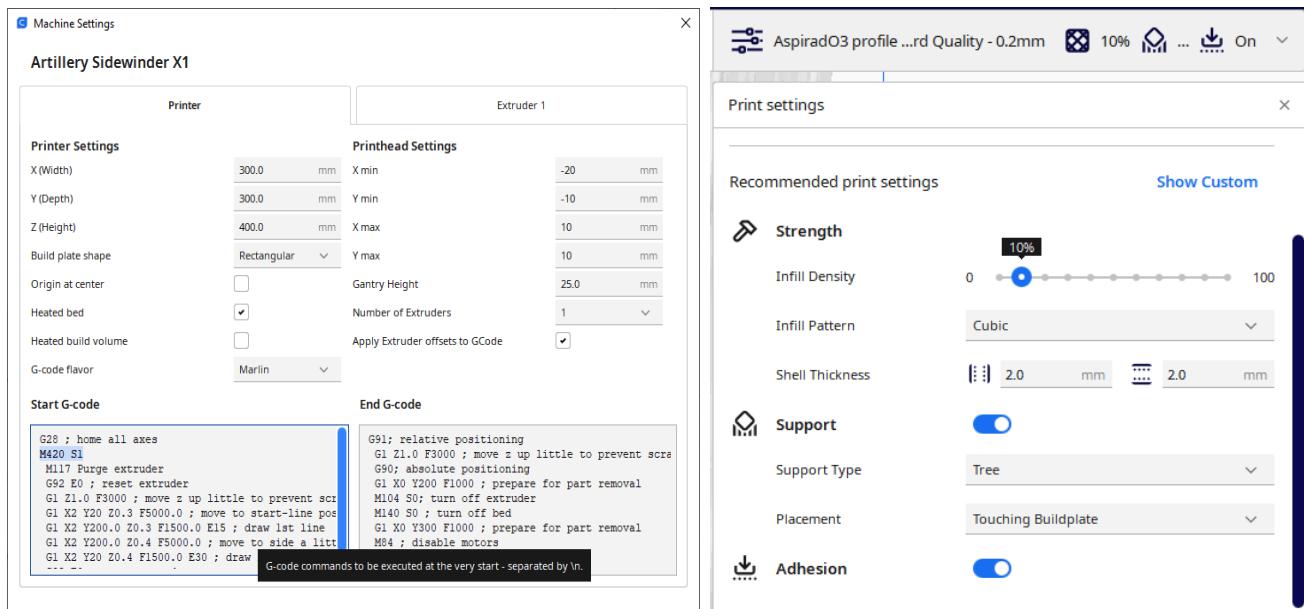
Artillery Sidewinder X1

Printer		Extruder 1	
Nozzle Settings			
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 110 y 111: configuración para nuestra impresora 3D Artillery Sidewinder (capturas de elaboración propia).

AspiradO₃



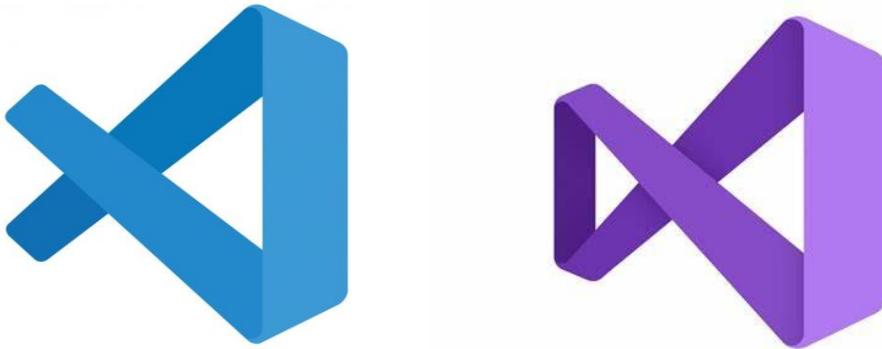
Figuras 112 y 113: configuración de la impresora y la impresión para el proyecto 3D, alterándose el .gcode inicial para que la Artillery Sidewinder autonivele la cama – algo no aplicable a la Ender (capturas de elaboración propia).

Figuras 114, 115 y 116: configuración para nuestra impresora 3D Ender-3 de Creality (capturas de elaboración propia).

Visual Studio Code

Visual Studio Code es una herramienta de texto enriquecido de uso extendido para edición de código “redefinida y optimizada para construcción y debugging de aplicaciones modernas de web y cloud” (Visual Studio Code, 2023). En nuestro caso solo la hemos utilizado 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 nuestro 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, un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un icono similar.



Figuras 117 y 118: Icono de Visual Studio Code, izquierda ([Microsoft, 2023](#)) y Visual Studio, derecha ([Microsoft, 2023](#)).

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 figura de abajo, 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 y puerto ya están configuradas, se pueden ejecutar las tres a la vez con el botón de la llama.

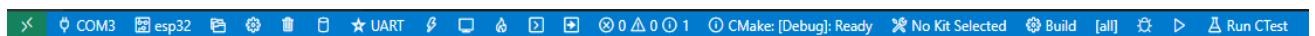


Figura 119: Captura de la barra de herramientas inferior de Visual Studio Code (captura de elaboración propia).

8. 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 de vez en cuando se consultaron métodos de otras plataformas, como Arduino, para entender el funcionamiento de los módulos, y una vez se pidió ayuda a un compañero que utilizaba el mismo módulo GPS (ver la sección de agradecimientos, ciruu).

Aparte de las librerías de esp-32 nativas, se utilizaron las bibliotecas de minmea.h y nmea_parser, para el GPS usado anteriormente. Por como realizamos la comunicación I2C y utilizábamos un display i2c para asegurarnos que se suministraba suficiente corriente eléctrica al dispositivo, también empleamos 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 que se refinará más tarde.

```
#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"

// Del LED y motores
#include <stdio.h>
#include "driver/gpio.h"
#include "led_strip.h"
#include "sdkconfig.h"

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

/* Del reseteo de fábrica y ota */
#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"

#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 GPS */
#include "nmea_parser.h"

// Para mensajes genéricos
#include <string.h>
#include <math.h>

// Para Telegram
/*
```

```
#include <stdlib.h>
#include <sys/time.h>
#include "lwip/apps/sntp.h"

#include "sh2lib.h"
*/

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

// Para display
// #include "ssd1306.h"
//#include "font8x8_basic.h"

/* Para motores */
#include "driver/mcpwm.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 compartido: los resultados se hallaban compartidos en un Sharepoint perteneciente al antiguo grupo SBC22M01 (del que el autor de la obra es responsable) puesto que múltiples alumnos habíamos colaborado en el proyecto predecesor de dicho grupo (llamado “GhiFi”) y al menos dos grupos querían expandir y ajustar el programa para sus propios TFG, por lo que por acuerdo entre todos se decidió dejar este proyecto en una subcarpeta “AspiradO3”, para futuras consultas; aunque al final no se haya llegado a utilizar para este propósito. 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 guardaron 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 nos imprima la placa.
- Kicad-libraries-main: incluye las huellas personalizadas del ESP32.
- ota: SW que utilizamos como ota. Este código no tiene ningún cambio con respecto al del proyecto GhiFi, y como es muy similar al del ejemplo del Tutorial del Thingsboard (excepto en dos switches de mqtt donde faltaban unas opciones) solo se mencionará que 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 wifi una comunicación http para descargar el nuevo firmware.
- Un readme que resume el objetivo 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 nuestra 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->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, el voltaje solar o los semáforos; para debug (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 hacía 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:** simplificamos el uso del único módulo ADC que podemos tener disponible a la vez que el wifi, 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 nos 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. Prácticamente sin cambios desde la versión inicial.
- **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

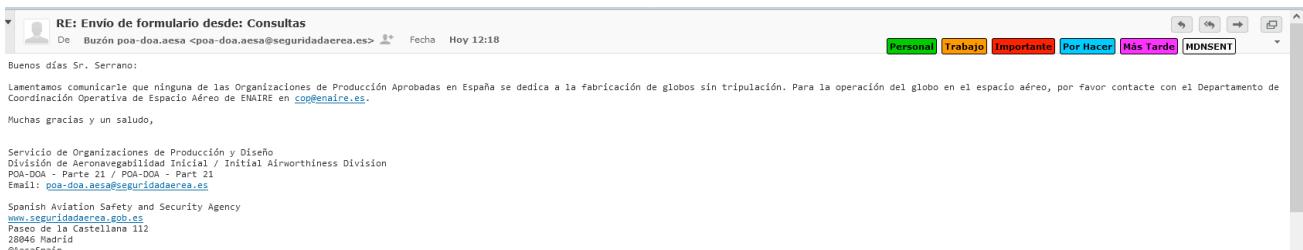
- levantar de nuevo el semáforo más tarde y el programa principal enviar sus datos.
- **Sección de motores:** su papel es iniciar la configuración del motor mediante un simple GPIO conectado a un puente H y de los dos servos mediante señales PWM ajustadas para permitir una amplitud total de 180 (para 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

9. 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 nuestro progreso y distribución de nuestro proyecto, que podría arriesgar a ser derribado. Por lo tanto, sería absolutamente necesario que se tuviera permiso del órgano competente para permitir el vuelo del dron, 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 120), nuestra 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 se indica que se nos 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 deberemos coordinarnos 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 que se dediquen a la producción de globos aéreos no tripulados, como se puede ver en la figura 121. 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.





Figuras 120 y 121: Mensajes del Servicio de Aviación General (capturas de elaboración propia).

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-pájaros 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, debemos 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 asumiremos los estándares ISO y recomendaremos el filamento de plástico PLA que es uno de los menos tóxicos, en un ambiente ventilado y que pueda tratar esos humos (ISO, 2014) (IMPRESORAS 3D, 2023) (3D Town, 2021), aunque existan terceros que decidan utilizar otros filamentos, de los que no nos responsabilizamos.

El uso de placas solares, aunque generan resinas epoxi tóxicas durante su fabricación, posteriormente nos 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), poseer paneles solares supiores a 50 cm (Dirección General de Calidad y Control Ambiental, Ministerio para la Transición ecológica y el reto demográfico, 2022).

Las baterías empleadas de Varta son un Powerbank de tipo 57960 y fullwat, ambas de polímero de litio, que posee mejor capacidad de almacenamiento energético y menor pérdida de carga y efecto memoria que nuestra otra opción, las baterías recargables de Níquel e hidruro metálico (NiMh) (Unwin, 2019), lo cual para el uso continuo al que las vamos a someter 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 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 se nos considere productores de pilas al incluir baterías a nuestro 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 nuestro dispositivo en el marco 160213*-61 como producto peligrosos 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 estamos sometidos 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 sensativos 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, restringirnos 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 sometidos 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 nos depriva de éste, por no mencionar que el helio es algo caro. 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 nos 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 tendríamos que asegurarnos de que el chasis no corriera riesgo de derretirse en contacto con dicha resistencia. El uso de hidrógeno quedaría descartado por su inflamabilidad y su uso tras este aviso por parte de terceros quedaría totalmente eximido de nuestra responsabilidad.

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, 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, tenemos la fortuna de que realmente no tenemos ningún dato recabado que no queramos ocultar, los datos de monitorización se planean hacer públicos a través del link del Thingsboard, y Thingsboard 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 trataría de negociarlo para que cualquiera que vaya 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 un bien podría recaer en el programador (si es un error en el programa o 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 deberíamos asegurarnos 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 nuestro; o viceversa, en cuyo caso se vuelve vital que nuestros productos posean una característica destacable superior a ellos, como podría ser un menor coste, mejor conexión o funciones añadidas, como las indicadas en el siguiente apartado de planes futuros.

Conclusiones y planes futuros

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 el progreso en fases avanzadas del desarrollo. Por no mencionar que, si 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 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

(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 mencionado inicialmente de transportar el ozono troposférico 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.

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-suyo-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>
- 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/>
- 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>
- 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%2Epdf&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*. Obtenido de <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](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). *ondorchem.com*. Obtenido de ondorchem.com: <https://ondorchem.com/es/denox-recovery>
- CSIC. (29 de 5 de 2023). *www.madrimasd.org*. Obtenido de [www.madrimasd.org: https://www.madrimasd.org/identifican-nuevos-mecanismos-quimicos-que-obstaculizan-recuperacion-capa-ozono](https://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). *dililent.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>

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](http://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](http://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](http://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](http://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](http://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](http://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](http://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](http://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/](http://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-costa-rica-por-el-incidente-de-globo-cientifico/](http://www.abc.com.py/internacionales/2023/02/06/china-da-explicaciones-a-costa-rica-por-el-incidente-de-globo-cientifico/)

elDiario.es. (1 de 10 de 2022). www.eldiario.es. Obtenido de www.eldiario.es: [https://www.eldiario.es/madrid/somos/consejos-precauciones-contaminacion-ozono-troposferico-madrid_1_9170774.html](http://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](http://es.rs-online.com/web/p/baterias-recargables/1449412)

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](http://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](http://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/espressif/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 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>. Obtenido de <https://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>. Obtenido de <https://github.com>:
<https://github.com/git-lfs>

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](http://www.20minutos.es). Obtenido de [https://www.20minutos.es](http://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>

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>

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

MikroElekronika. (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>

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/>

pcbartists. (13 de 2 de 2023). *pcbartists.com*. Obtenido de pcbartists.com: <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

Renesas. (30 de 6 de 2021). *docs.rs-online.com*. Obtenido de docs.rs-online.com: <https://docs.rs-online.com/6a69/A70000008632711.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>

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>

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>

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>

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>

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>

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>

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

Sensirion. (16 de 2 de 2023). *sensirion.com*. Obtenido de sensirion.com: <https://sensirion.com/products/catalog/SHT85/>

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://reference.arduino.cc:](https://reference.arduino.cc/) <https://reference.arduino.cc/reference/en/libraries/mq131-gas-sensor/>

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://www.upm.es/sfs/Rectorado/Legislacion%20y%20Normativa/Normativa/Normativa%20de%20Investigacion/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. Obtenido de download.mikroe.com: <https://download.mikroe.com/documents/datasheets/mq131-datasheet-low.pdf>

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 por ayudarme a encontrar y pagar por algunos componentes en Mouser, JLCPCB y Electrónica Embajadores.

Anexos

Anexo I - Repositorio Github y otros links the 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#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 reseteo de la ota presionando un botón): <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.c#L738>
- Link del Sharepoint del TFG: <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 .3mf del soporte (nuevos de Alberto y modificados por Alejandro):
 - https://upm365.sharepoint.com/:u/s/SBC22M01/EV27STqJzIFErwACqH-cQB_BM6mqwPsitXsfnmJ6mjQ?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/EZX_IqYHGpBrhEsiVnHGqcBaQmEF53s9i6pHtEtp4q-PA?e=5kV6pt
 - https://upm365.sharepoint.com/:u/s/SBC22M01/ESVDxjpe0O50g6_n9Hz_u68BROuU5iWZBt3JBopKQ55rsw?e=3oO5B8
 - Link de los gcode (antiguos): https://upm365.sharepoint.com/:u/s/SBC22M01/ETQEnv_gNJjj3yKztC6noBObFZhP3-Cm8xOrdsb4ZZZw?e=htiEKJ
- Enlace de la ota usado para bajarse el firmware: http://raw.githubusercontent.com/tardisfromtornspace/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=W3siaWQiOjkZWZhdWx0liwicGFyYW1zIjp7fX0seyJpZCI6Im90YV9jb25maWd1cmF0aW9uliwicGFyYW1zIjp7ImVudGl0eUlkljp7ImIkIjoInjAyODRIYTA5NTUxMi0xMWVklWI4MjctYzliZTc2YzZmNWQ3liwiZW50aXR5VHlwZSI6IkRFVklDRSJ9LCJlbnRpdHIOYW1lIjoiRVNQMzIgdjlilCJlbnRpdHlMYWJlbCI6IkVTUDMyIHYYIn19XQ%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://jlcpcb.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 4: 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	“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 2030
OTA	Over-The-Air, actualización de firmware “en el aire”
PLA	Poli-lactic acid (Ácido poliláctico)
ppm, p.p.m.	Partes Por Millón

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	Globos 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**Tabla 5: Anexos de pruebas (Elaboración propia).**

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_8m96WC4BW5a0OvGUDXVPaLVSyUgr2Q?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/EchpMuFqnDJJvvFRgBgqy5ABPL0mkR-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/EUICUVu5dp_pAllOeiaZpH3QBuHTFYTm1G883F_9Xci8mBw?e=tIshYt
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-Ot8BpTLEs0i40z5081jErqcbcrg?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_kHkNltujBq6vZRWAsBwj318vWfs4MTtEVD--f15Q?e=U62mbe
Pruebas del Thingsboard (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
Pruebas de conectividad del GPS incrementales II (módulo GPS y wi-fi conectados)	01/03/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EdTzNpPxxGICtm-wqxJYdrQBJTiohS8NYDveL8zpzbzpjA?e=Mua87o

Pruebas de conectividad del GPS incrementales III (GPS, wifi e I2C)	01/03/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EbXrJlqM3XpOhjevlyR6_7QByT-n6hDuVtP1BkveuSzAIA?e=I7cRS6
Pruebas de conectividad del GPS incrementales IV (GPS, WiFi, I2C y 1 sensor de ozono)	01/03/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EO2M1wmgOHdDhxVWR3gNo8cBqvEahjOgMhxzzGMigbnbQ?e=uqw3AV
Pruebas de conectividad del GPS incrementales V (GPS, WiFi, I2C, 1 sensor de ozono, condensador)	01/03/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EUCYI_aAjkxOqefxrWtCCfMBVrRPFNMzLjJniQBDvJxCQg?e=nXoRB5
Pruebas SIM800H I	18/04/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/ET6kc83eiEJDhlFup-Z_m18BIScgRAVCd140U6LwkadqxQ?e=1J2w1o
Pruebas SIM800H II	20/04/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EaccMcDxdNPrF57dBZnAq8B5SII_DD7xZ7Poy1PIPnEqg?e=ilaRFL
Pruebas SIM800H III	20/04/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EZ4FRKHn4GdEhvuQrYYGfcgBDmPA5k6CFQRI2Qz8Lx9BMg?e=xJaRQq
Pruebas SIM800H IV	25/04/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EckrS6Lt3EZBsWAn_J3mTIBOPdgpBftevLZUCPUQCiDTg?e=GPwvy4
Pruebas SIM800H V	26/04/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/ERC3vsxKuERNhm9CQTBCvh8BIwQH7OMR9cGC_oAnAU-UKQ?e=fFI5tl
Pruebas SIM800H VI	27/04/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/ESe-dLHQnRLmzYgk3I30o0BbKCVJKWSruSlhBOWERV-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/EWz1I1NXzWRCKLkxPOdN1ZIBWa4KCWCE9CDU7dcz6qRYxQ?e=Jrxog
Prueba motor aspas I	23/02/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/ETIkQ2WgZfdEo08NaAGgYAIBsqFUGX9HBQKrTAm4XO57yg?e=LaIUFR
Prueba motor aspas II	02/03/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EdRMvL5iyIFOlo4_xncbhYwBN00vuRyEdEpWdL5HCQyh9Q?e=TneXOW
Prueba motor aspas III	02/03/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/ERMWlo7xB2RlI4MOxzlwDicByyWmwVpnbfZPHKDNIplwZg?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/Eaxr2HVy3I5Dnj3af4tvu9UBCkUxtZ8gvI3jAIQ6j6NM0Q?e=ccHeGE
Prueba de servos I	09/03/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/Eup3yck9EDFEG_2dQQ4-OJUBZ2aOWajd53XeBiPeHsEDoA?e=667GTZ
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/EajREUKLIGBikVgp5GbNExkBzav2zTSr6t68h7vCLveyw?e=3amdwi
Prueba de servos IV	14/03/2023	https://upm365.sharepoint.com/:v/s/SBC22M01/EWdj9hvP71FnFMrTKv-FKABjHJxZuf8rhAWYCRS1KERsA?e=H1frB6
Prueba de OTA y Alarmas de Thingsboard 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/Ef8BylEen4xFqVwLUA5pLAGBafRVZqUwbNvX0ifS2xaoyg?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.

Una de las pruebas conllevaba imprimir 5 rectángulos de 2 capas para probar que la nivelación manual había funcionado.

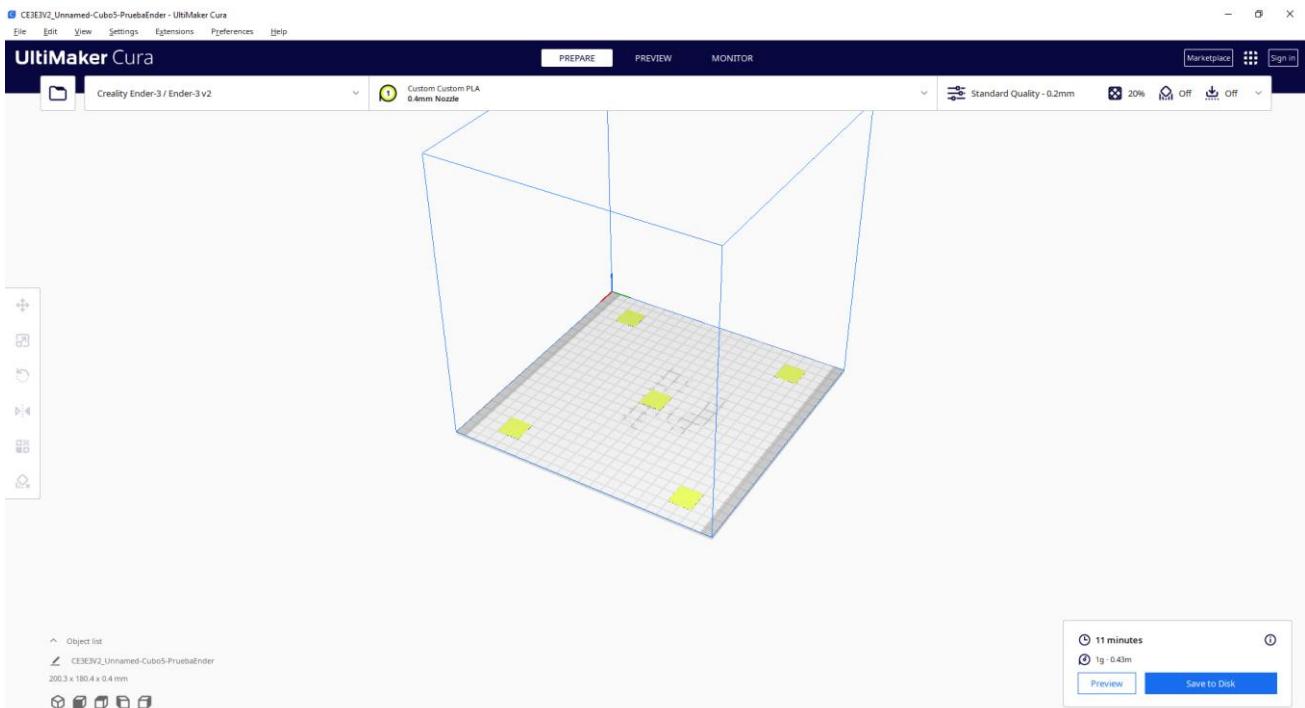


Figura 122: Pieza CE3E3V2_Unnamed-Cubo5-PruebaEnder (captura de elaboración propia).

Tabla 6: Tabla de pruebas de la Ender-3 (Elaboración propia).

Hito	Información
1^a 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.

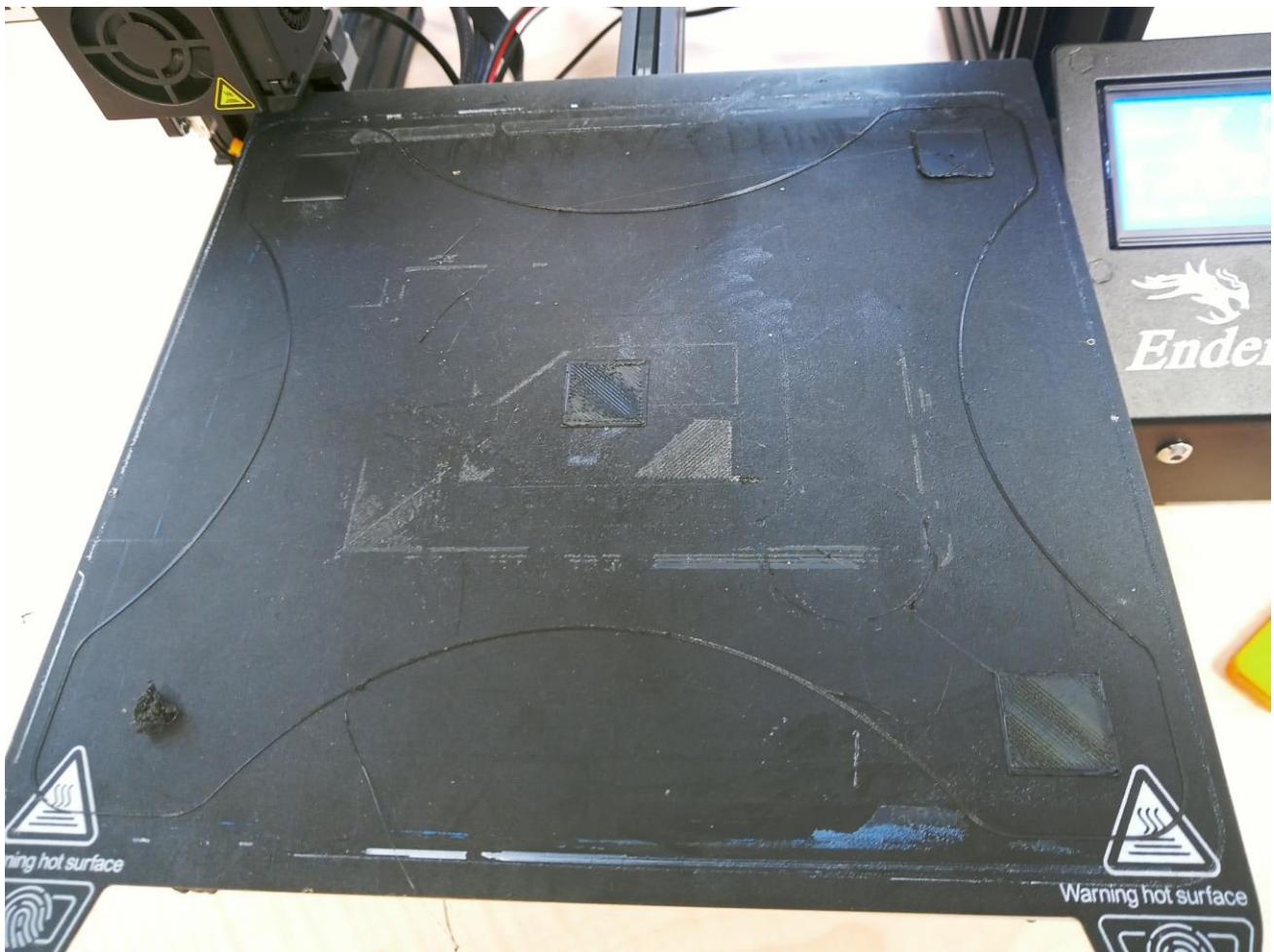


Figura 123: Una de las Pieza CE3E3V2_Unnamed-Cubo5-PruebaEnder impresa durante el plan de pruebas, con la desnivelación de la zona frontal presente y evidencia de infra-extrusión en la pieza central cuando se dejaba de presionar el filamento (captura de elaboración propia).

Versión: 24/11/2023