



UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID

ESCUELA DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO

Máster Universitario en Ingeniería Aeronáutica

Diseño y Fabricación de un dron mediante impresión 3D.

Sergio Alvarez Fernández

Curso 2022-2023

Título: Diseño y Fabricación de un dron mediante impresión 3D

Autor: Sergio Alvarez Fernández

Tutor: Martin Caeiro

Titulación: Máster Universitario en Ingeniería Aeronáutica

Curso: 2º



RESUMEN

La finalidad de este proyecto es la de fabricar un dron desde la etapa de diseño hasta la realización de una prueba funcional, pasando por la caracterización y elección del material, fabricación de la estructura principal y el ensamble de los componentes. Para comenzar el diseño se partirá de la legislación vigente para enmarcar las restricciones que se deben tener para que el dron esté dentro de un marco operativo legal. La fabricación de la estructura principal se realizará mediante fabricación aditiva, más concretamente mediante impresión 3D. El resto de los componentes electrónicos (placas, cables, actuadores, antenas...) se aprovisionarán mediante proveedores externos. Dichos componentes se instalarán en la estructura una vez fabricada. La razón principal de realizar la fabricación mediante impresión 3D de la estructura es que es una forma de fabricación accesible, en la que se pueden utilizar materiales que ofrezcan una relación masa – resistencia óptima, esto es, dar la posibilidad de realizar una estructura lo suficientemente grande como para alojar todos los componentes necesarios y a la vez con una resistencia suficiente para aguantar sin llegar a la fractura. Para realizar el proyecto se hará uso del programa Solidworks, donde se hará del desarrollo del modelo.

Palabras clave: Impresión 3D, Dron, Solidworks, fabricación, masa – resistencia.

ABSTRACT

The purpose of this project is to manufacture a drone from the design stage to the performance of a functional test, going through the manufacture and optimization of the main structure and the assembly of the components. To begin the design, the current legislation will be used to establish the restrictions that must be taken into account for the drone to be within a legal operational framework. The manufacturing of the main structure will be carried out by additive manufacturing, more specifically by 3D printing. The rest of the electronic components (boards, harnesses, actuators, antennas...) will be supplied by external suppliers. These components will be installed in the structure once manufactured. The main reason for manufacturing the structure using 3D printing is that it's an accessible form of manufacturing, in which materials that offer an optimal mass – resistance ratio can be used, that is, giving the possibility of manufacturing a structure large enough to place all the necessary components and with an adequate resistance to avoid fracture. To perform the Project, Solidworks software will be used, where the model will be developed.

Key words: 3D Printing, Drone, Optimization, manufacturing, mass – resistance.

Agradecimientos

A mi tutor, por cada duda solventada hasta el último momento.

A Cristina y Antonino, por el apoyo incondicional.

A Luisa por todas las velas encendidas.

A Maria Luisa, Carlos y Pilar, por todos los ánimos.

A Adri y Jorge, por llegar conmigo hasta aquí.

A mi madre y Gerar, por todo.

Índice de contenidos

RESUMEN	5
ABSTRACT	5
Agradecimientos	6
Índice de contenidos	7
Índice de figuras	9
Chapter 1. INTRODUCCIÓN	13
1.1 Estructura	13
1.2 Objetivos	13
Chapter 2. ESTADO DEL ARTE	13
2.1 Marco Normativo	13
2.2 Dron.....	14
2.2.1 ¿Qué es un dron?	14
2.2.2 ¿Cómo funciona un dron?.....	15
2.2.3 Historia y desarrollo de los drones.....	15
2.2.4 Usos de los drones.	22
2.2.5 Tipos de Drones.....	28
2.3 Impresión 3D.....	29
2.3.1 ¿Qué es la impresión 3D?.....	29
2.3.2 ¿Cómo funciona?.....	29
2.3.3 Historia de las impresoras 3D.....	31
2.3.4 Usos de las impresoras 3D.	38
2.3.5 Tipos de Impresoras 3D.....	42
Chapter 3. DESARROLLO Y RESULTADOS	46
3.1 DISEÑO ELECTRÓNICO.....	46
3.1.1 COMPONENTES NECESARIOS.....	46
3.1.2 PLANO ELÉCTRICO	55
3.1.3 ENSAMBLAJE DE COMPONENTES	55
3.2 Diseño y Fabricación Estructural	64
3.2.1 ELECCIÓN DEL MATERIAL	64
3.2.2 DISEÑO E IMPRESIÓN DE LA ESTRUCTURA	89



Chapter 4.	INTEGRACIÓN	104
4.1	SOFTWARE DE VUELO	108
Chapter 5.	CONCLUSIONES	112
REFERENCIAS.....		113

Índice de figuras

ILUSTRACIÓN 1 - DRON TIPO QUADCÓPTERO.	14
ILUSTRACIÓN 2 - RPA.	14
ILUSTRACIÓN 3 - BOMBARDERO AÉREO DE CHARLES PERLEY.	15
ILUSTRACIÓN 4 - BOMBA VOLANTE HEWITT SPERRY.	16
ILUSTRACIÓN 5 - KETTERING TORPEDO AÉREO <<BUG>>.	16
ILUSTRACIÓN 6 - BLANCO AÉREO NO TRIPULADO QUEEN BEE.	17
ILUSTRACIÓN 7 - OQ TARGET.	17
ILUSTRACIÓN 8 - VERGELTUNGSWAFFE 1.	18
ILUSTRACIÓN 9 - BQ - 7.	18
ILUSTRACIÓN 10 - AQM-34 RYAN FIREBEE.	19
ILUSTRACIÓN 11 - D-21 SOBRE EL SR-71 BLACKBIRD.	19
ILUSTRACIÓN 12 - DRON SCOUT.	20
ILUSTRACIÓN 13 - DRON "PIONEER", EVOLUCIÓN DEL "SCOUT".	20
ILUSTRACIÓN 14 - MQ 1 "PREDATOR"	21
ILUSTRACIÓN 15 - MQ 9 "REAPER".	21
ILUSTRACIÓN 16 - GLOBAL HAWK.	22
ILUSTRACIÓN 17 - DRONES DE VIGILANCIA.	23
ILUSTRACIÓN 18 - DRON CON CÁMARA CINEMATOGRAFICA.	23
ILUSTRACIÓN 19 - DRON ROCIANDO PRODUCTOS EN EL CAMPO.	24
ILUSTRACIÓN 20 - DRON INSPECCIONANDO UN TÚNEL.	24
ILUSTRACIÓN 21 - DRON PARA USO DE OBRAS.	25
ILUSTRACIÓN 22 - DRONES APAGANDO UN INCENDIO DE UN EDIFICIO.	25
ILUSTRACIÓN 23 - DRONES DE REPARTO.	26
ILUSTRACIÓN 24 - DRONES REALIZANDO UN ESPECTÁCULO DE LUCES EN AÑO NUEVO.	26
ILUSTRACIÓN 25 - DRON RECREATIVO.	27
ILUSTRACIÓN 26 - DRON DE ALA ROTATORIA.	27
ILUSTRACIÓN 27 - DRON DE ALA FIJA.	28
ILUSTRACIÓN 28 – FIJACIÓN DE SNOWBOARD FABRICADA CON PIEZAS IMPRESAS EN 3D.	29
ILUSTRACIÓN 29 - IMPRESIÓN DE OBJETO MEDIANTE FDM.	29
ILUSTRACIÓN 30 - DISEÑO EN 3D PARA POSTERIOR IMPRESIÓN EN IMPRESORA SLA.	30
ILUSTRACIÓN 31 - IMPRESORA FDM.	30
ILUSTRACIÓN 32 - IMPRESORA SLA.	31
ILUSTRACIÓN 33 - TIMELINE DE HITOS DE LAS IMPRESORAS 3D.	32
ILUSTRACIÓN 34 - ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE LA ESTEREOLITOGRAFÍA.	32
ILUSTRACIÓN 35 - ANDAMIAJE DE VEJIGA IMPRESA EN 3D SIENDO SEMBRADO CON CÉLULAS MADRE.	33
ILUSTRACIÓN 36 - RIÑÓN IMPRESO MEDIANTE BIO-IMPRESORA.	33
ILUSTRACIÓN 37 - LOGO REPRAP.	34
ILUSTRACIÓN 38 - IMPRESORA REPRAP CAPAZ DE IMPRIMIR SUS PROPIAS PIEZAS.	34
ILUSTRACIÓN 39 - PIERNA IMPRESA EN 3D.	35
ILUSTRACIÓN 40 - VASOS SANGUÍNEOS CREADOS CON IMPRESORA 3D.	36
ILUSTRACIÓN 41 - PRIMER AVIÓN FABRICADO CON IMPRESORA 3D.	36
ILUSTRACIÓN 42 - URBEE, PRIMER COCHE CUYA CARROCERÍA ESTÁ COMPLETAMENTE FABRICADA CON IMPRESIÓN 3D.	37
ILUSTRACIÓN 43 – PRÓTESIS DE MANDÍBULA INFERIOR.	37
ILUSTRACIÓN 44 - PROTOTIPOS DE SILLINES DE BICICLETA FABRICADOS MEDIANTE IMPRESIÓN 3D.	38
ILUSTRACIÓN 45 - JARRÓN FABRICADO CON IMPRESIÓN 3D.	39

ILUSTRACIÓN 46 - COMPONENTE DE VEHÍCULO SUSTITUIDO POR UNO REALIZADO CON IMPRESIÓN 3D.	40
ILUSTRACIÓN 47 - HERRAMIENTAS Y QUINCALLERÍA FABRICADO CON IMPRESIÓN 3D.	40
ILUSTRACIÓN 48 - CRÁNEO DE DINOSAURIO COPIADO Y POSTERIORMENTE FABRICADO CON IMPRESIÓN 3D.	41
ILUSTRACIÓN 49 - ZAPATILLA DE LA MARCA ADIDAS FABRICADA CON IMPRESIÓN 3D.	41
ILUSTRACIÓN 50 - CORAZÓN HUMANO FABRICADO CON IMPRESIÓN 3D.	42
ILUSTRACIÓN 51 - PIEZA SIENDO IMPRESA MEDIANTE UNA IMPRESORA SLA.	43
ILUSTRACIÓN 52 - LIMPIEZA DE PIEZA DESPUÉS DE FABRICARSE EN IMPRESORA SLS.	44
ILUSTRACIÓN 53 - PIEZA FABRICADA EN IMPRESORA 3D DE INYECCIÓN.	44
ILUSTRACIÓN 54 - FABRICACIÓN DE FIGURA DE LA TORRE EIFFEL MEDIANTE IMPRESORA FDM.	45
ILUSTRACIÓN 55 - EMISORA BETA FPV LITE RADIO 2.	47
ILUSTRACIÓN 56 - RECEPTOR BETA FPV-RECEPTOR ELRS LITE.	47
ILUSTRACIÓN 57 - BLS ESC 4 EN 1.	48
ILUSTRACIÓN 58 - CONTROLADORA DE VUELO SPEEDYBEE F405 V3.	49
ILUSTRACIÓN 59 - VTX JHEMCU.	50
ILUSTRACIÓN 60 - TABLA DE ESTIMACIÓN DE PESOS.	51
ILUSTRACIÓN 61 - MOTORES BRUSHLESS DX2205 2300KV.	51
ILUSTRACIÓN 62 - ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS MOTORES BRUSHLESS DX2205 2300KV.	52
ILUSTRACIÓN 63 - BATERÍA SELECCIONADA.	53
ILUSTRACIÓN 64 - HÉLICES SELECCIONADAS.	54
ILUSTRACIÓN 65 - ESQUEMA ELÉCTRICO DEL DRON.	55
ILUSTRACIÓN 66 - CABLES DE BATERÍA Y CONDENSADOR SOLDADOS AL STACK DE PDB - ESC.	56
ILUSTRACIÓN 67 - ESQUEMA DE CONEXIÓN DE MOTORES Y CABLES DE BATERÍA AL STACK PDB - ESC.	56
ILUSTRACIÓN 68 - MONTAJE DE LOS MOTORES, EMPALME Y SOLDADURA AL STACK.	57
ILUSTRACIÓN 69 - ESQUEMA DE CONEXIÓN DE CÁMARA FPV A FC.	58
ILUSTRACIÓN 70 - CONEXIÓN REAL DE CÁMARA FPV A FC.	59
ILUSTRACIÓN 71 - ESPECIFICACIONES Y CONEXIONES DEL VTX.	60
ILUSTRACIÓN 72 - ESQUEMA DE CONEXIÓN DE TRANSMISOR VTX A FC.	60
ILUSTRACIÓN 73 - CONEXIÓN REAL DE TRANSMISOR VTX A FC.	61
ILUSTRACIÓN 74 - ESQUEMA DE CONEXIÓN DE RECEPTOR ELRS A FC.	62
ILUSTRACIÓN 75 - CONEXIÓN REAL DE RECEPTOR ELRS A FC.	63
ILUSTRACIÓN 76 - ESQUEMA DE INTERCONEXIÓN ENTRE STACK PDB/ESC - FC.	63
ILUSTRACIÓN 77 - IMAGEN REAL DE LA CONEXIÓN ENTRE STACK PDB/ESC Y CONTROLADORA DE VUELO.	64
ILUSTRACIÓN 78 - BOBINA PLA.	65
ILUSTRACIÓN 79 - PARÁMETROS DEL PLA.	66
ILUSTRACIÓN 80 - BOBINA DE PETG.	66
ILUSTRACIÓN 81 - PARÁMETROS DEL PETG.	67
ILUSTRACIÓN 82 - VISTAS DE LA PROBETA PARA EL ENSAYO DE TRACCIÓN.	67
ILUSTRACIÓN 83 - VISTA EN PERSPECTIVA DE LA PROBETA.	68
ILUSTRACIÓN 84 - IZQDA: PROBETA EN SENTIDO VERTICAL; DCHA: PROBETA EN SENTIDO HORIZONTAL.	68
ILUSTRACIÓN 85 - DIFERENTES CONFIGURACIONES DE RELLENO PARA CADA TIPO DE PROBETA.	69
ILUSTRACIÓN 86 - IMPRESIÓN 3D EN PETG DE LA PROBETA.	70
ILUSTRACIÓN 87 - PROBETA DE PETG CON 100% DE RELLENO.	70
ILUSTRACIÓN 88 - PROBETAS FABRICADAS EN PETG CON DIFERENTES RELLENOS.	71
ILUSTRACIÓN 89 - PROBETAS FABRICADAS EN PLA CON DIFERENTES RELLENOS.	71
ILUSTRACIÓN 90 - MÁQUINA UTILIZADA EN EL ENSAYO DE TRACCIÓN.	72
ILUSTRACIÓN 91 - SOFTWARE UTILIZADO EN EL ENSAYO.	73
ILUSTRACIÓN 92 - PROBETAS TRAS EL ENSAYO.	73
ILUSTRACIÓN 93 - DATOS RECOGIDOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN DE LAS PROBETAS DE PETG.	74
ILUSTRACIÓN 94 - DATOS RECOGIDOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN DE LAS PROBETAS DE PLA.	74

ILUSTRACIÓN 95 - RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS OBTENIDOS A PARTIR DE LOS RESULTADOS DEL PETG.....	75
ILUSTRACIÓN 96 - RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS OBTENIDOS A PARTIR DE LOS RESULTADOS DEL PLA.....	76
ILUSTRACIÓN 97 - CÁLCULO DE LOS VALORES MEDIOS PARA EL PETG.....	76
ILUSTRACIÓN 98 - CÁLCULO DE LOS VALORES MEDIOS PARA EL PLA.....	77
ILUSTRACIÓN 99 - ESPECIFICACIONES DE LOS MOTORES PARA CALCULO DE VELOCIDAD ANGULAR.....	82
ILUSTRACIÓN 100 - MOMENTOS DE INERCIA PARA UN RECTÁNGULO.....	84
ILUSTRACIÓN 101 - PROPIEDADES ASOCIADAS AL PLA PARA ANÁLISIS FEM.....	86
ILUSTRACIÓN 102 - DEFINICIÓN DE LAS PARTES FIJAS EN EL ANÁLISIS FEM.....	87
ILUSTRACIÓN 103 - FUERZAS Y TORSIÓN EJERCIDAS SOBRE EL BRAZO.....	87
ILUSTRACIÓN 104 - MALLADO DEL BRAZO EN SOLIDWORKS.....	88
ILUSTRACIÓN 105 - ESCALA DE LAS TENSIONES DE VON MISSES.....	88
ILUSTRACIÓN 106 - DISEÑO DE LA PLACA INFERIOR CON LOS ALOJAMIENTOS PARA LOS DIFERENTES COMPONENTES.....	90
ILUSTRACIÓN 107 - VISTAS ACOTADAS DE LA PLACA INFERIOR. FUENTE:.....	90
ILUSTRACIÓN 108 - COLOCACIÓN DE BASE SOBRE LA PLACA DE IMPRESIÓN.....	91
ILUSTRACIÓN 109 - SEGMENTACIÓN DE LA BASE EN ULTIMAKER CURA.....	91
ILUSTRACIÓN 110 - RELLENO DE LA BASE.....	92
ILUSTRACIÓN 111 - DISEÑO TOP COVER. FUENTE:.....	93
ILUSTRACIÓN 112 - COLOCACIÓN DE LA CUBIERTA SOBRE LA PLACA DE IMPRESIÓN.....	93
ILUSTRACIÓN 113 - SEGMENTACIÓN DE LA TAPA EN ULTIMAKER CURA.....	94
ILUSTRACIÓN 114 - ILUSTRACIÓN 109 - RELLENO DE LA TAPA.....	94
ILUSTRACIÓN 115 - DIMENSIONES DE LOS MOTORES ELEGIDOS.....	95
ILUSTRACIÓN 116 - VISTA EN PLANTA DEL BRAZO DISEÑADO.....	95
ILUSTRACIÓN 117 - - VISTA EN PERFIL DEL BRAZO DISEÑADO.....	96
ILUSTRACIÓN 118 - BRAZO LH BACK & RH FRONT.....	96
ILUSTRACIÓN 119 - BRAZO RH BACK & LH FRONT.....	97
ILUSTRACIÓN 120 - COLOCACIÓN DEL BRAZO EN LA PLACA DE IMPRESIÓN.....	97
ILUSTRACIÓN 121 - SEGMENTACIÓN DEL BRAZO EN ULTIMAKER CURA.....	98
ILUSTRACIÓN 122 - RELLENO DEL BRAZO.....	98
ILUSTRACIÓN 123 - DISEÑO DE LOS SOPORTES.....	99
ILUSTRACIÓN 124 - VISTAS ACOTADAS DE LOS SOPORTES DE LA CÁMARA FPV.....	99
ILUSTRACIÓN 125 - COLOCACIÓN LOS SOPORTES EN LA PLACA DE IMPRESIÓN.....	100
ILUSTRACIÓN 126 - SEGMENTACIÓN DE LOS SOPORTES REALIZADO EN ULTIMAKER CURA.....	100
ILUSTRACIÓN 127 - RELLENO DE LOS SOPORTES DE LA CÁMARA FPV.....	101
ILUSTRACIÓN 128 - DISEÑO DE ACCESORIO DUMMY Y SU TAPA.....	101
ILUSTRACIÓN 129 - PESTAÑAS DEL SISTEMA DE ANCLAJE A LA TAPA DEL DRON.....	102
ILUSTRACIÓN 130 - VISTAS ACOTADAS DEL ACCESORIO DUMMY.....	102
ILUSTRACIÓN 131 - COLOCACIÓN DEL ACCESORIO DUMMY Y LA TAPA EN LA PLACA DE IMPRESIÓN.....	103
ILUSTRACIÓN 132 - SEGMENTACIÓN DEL ADAPTADOR DUMMY Y LA TAPA REALIZADO EN ULTIMAKER CURA.....	103
ILUSTRACIÓN 133 - PIEZAS DEL DRON IMPRESAS EN PLA.....	104
ILUSTRACIÓN 134 - MONTAJE DEL RECEPTOR VTX Y DE LAS COLUMNAS.....	105
ILUSTRACIÓN 135 - MONTAJE DE LOS BRAZOS Y LAS PLACAS INFERIORES.....	105
ILUSTRACIÓN 136 - MONTAJE DE LOS MOTORES Y DEL STACK PDB/ESC - CONTROLADORA DE VUELO EN LA ESTRUCTURA.....	106
ILUSTRACIÓN 137 - MONTAJE DE CÁMARA FPV EN LOS SOPORTES E INSERCIÓN EN LOS ALOJAMIENTOS DE LA PLACA INFERIOR.....	106
ILUSTRACIÓN 138 - INTEGRACIÓN DE LAS PESTAÑAS EN LOS ALOJAMIENTOS Y TALADRO DE ANCLAJE.....	106
ILUSTRACIÓN 139 - FIJACIÓN FINAL DEL ADAPTADOR DUMMY CON TORNILLO EN EL TALADRO DEDICADO.....	107
ILUSTRACIÓN 140 - INTEGRACIÓN FINAL DEL DRON.....	107
ILUSTRACIÓN 141 - BETAFLIGHT. PANTALLA AJUSTE.....	108
ILUSTRACIÓN 142 - BETAFLIGH. PANTALLA PUERTOS.....	109



ILUSTRACIÓN 143 - BETAFLIGH. PANTALLA CONFIGURACIÓN.	109
ILUSTRACIÓN 144 - BETAFLIGH. PANTALLA RECEPTOR.	110
ILUSTRACIÓN 145 - BETAFLIGH. PANTALLA MODOS.	110
ILUSTRACIÓN 146 - BETAFLIGH. PANTALLA MOTORES.	111

Chapter 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Estructura

El proyecto constara de 3 bloques diferenciados:

- Diseño electrónico: En esta parte se describen los componentes necesarios, las características técnicas de los escogidos, el esquema de funcionamiento y el ensamblaje de los componentes.
- Diseño y fabricación estructural: Realización de la caracterización del material mediante ensayo de tracción, análisis de los resultados, estudio FEM de la estructura. Posteriormente se desarrollará el diseño y se fabricará mediante impresión 3D.
- Integración y software de vuelo: Será la parte en la que se detalle la integración de los componentes fabricados junto con los componentes electrónicos y su posterior configuración.

1.2 Objetivos

El proyecto aquí expuesto busca la fabricación de un dron mediante la utilización de la tecnología de impresión 3D partiendo del diseño y finalizando en una prueba funcional, todo esto bajo el marco legal que lo permita.

Otro objetivo que se busca es fabricar un dron con suficiente capacidad para poder desarrollar diferentes funciones, la principal, que sirva para un uso recreativo; para esto, será imprescindible el realizar un diseño eficiente y optimizado para alcanzar la polivalencia buscada.

El tipo de dron a fabricar será uno del tipo multi-rotor dado que la operatividad de este tipo de drones en cuanto a actuaciones permite desarrollar un número más amplio de funciones, lo cual es un punto a favor para la polivalencia que se está buscando.

Chapter 2. ESTADO DEL ARTE

2.1 Marco Normativo.

Para poder diseñar y construir un dron recreativo que pueda ser operativo legalmente, hay que englobarlo dentro del marco normativo existente en España.

Según la información que se puede encontrar en la página de AESA (Reglamento Delegado (UE) 2019/945 - norma aplicable al diseño y producción de UAS.), se puede englobar al dron dentro de la categoría de "Construcción privada", dado que cumple los siguientes requisitos:

- Será un UAS para uso propio.

- La fabricación se realizará completamente por el operador añadiendo piezas vendidas por separado.
- No será un dispositivo destinado a su comercialización.

Con esa categoría y teniendo en cuenta el ámbito operacional del uso que se le va a dar, se puede decir que se engloba dentro de la Subcategoría A3, dado que cumple los siguientes requisitos (Requisitos que exige el artículo 4 del Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 para las operaciones con UAS en categoría ‘abierta’):

- Se operará en una zona en la que no se pondrá en riesgo a ninguna de las personas participantes.
- Se operará a una distancia de seguridad mínima de 150m
- Estará englobado dentro de la categoría de “Construcción privada” y se cumple la condición MTOM < 25Kg.

2.2 Dron.

2.2.1 ¿Qué es un dron?



Ilustración 1 - Dron tipo Quadróptero.
Extraída de <https://www.locis.es/que-es-un-dron/>

Un dron es la forma más común de nombrar un UAV (Unmanned Aerial Vehicle) o vehículo aéreo no tripulado. Es un vehículo que no requiere de llevar tripulación a bordo y es capaz de tener una autonomía en cuanto al nivel de vuelo controlado y sostenido se refiere. Pueden controlarse de forma remota o de forma totalmente autónoma usando una programación mediante software y GPS. A los drones del primer tipo (los controlados de forma remota) se les conoce con el nombre de RPA (Remotely Piloted Aircraft), dejando fuera de esta clasificación al resto de drones que usan una programación para ser totalmente autónomos.



Ilustración 2 - RPA.
Extraído de <https://umilesgroup.com/que-es-un-dron-y-para-que-sirve/>

2.2.2 ¿Cómo funciona un dron?

Un dron opera gracias a un conjunto de motores eléctricos, que desplazan el dispositivo mediante un sistema de hélices. Esto le dota de gran estabilidad en las etapas de despegue, vuelo y aterrizaje. El dispositivo también cuenta con baterías, cuya autonomía depende considerablemente del tamaño y capacidad del dron.

2.2.3 Historia y desarrollo de los drones.

Los primeros intentos de drones los encontramos alrededor de 1863, donde Charles Perley, un inventor de New York, realizó la patente de un vehículo no tripulado para uso como bombardero. Se trataba de un globo aerostático que cargaba con explosivos y mediante un temporizador abría la compuerta de las bombas.

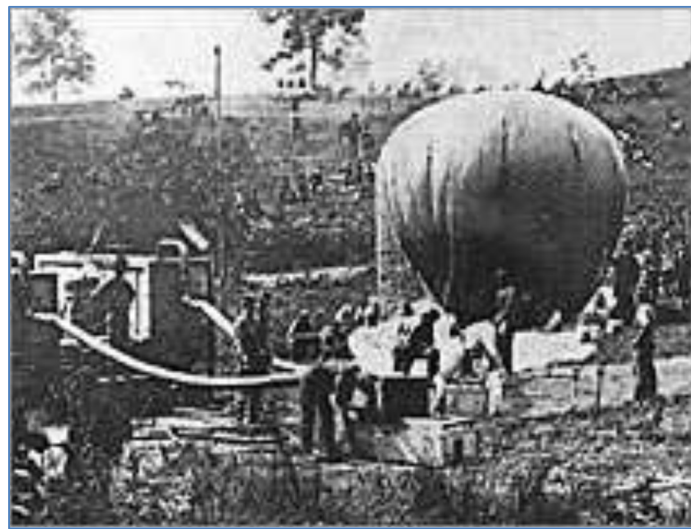


Ilustración 3 - Bombardero aéreo de Charles Perley.
Extraído de: https://www.pbs.org/wgbh/nova/spiesfly/uavs_01.html

Era un artilugio que, pese a lo primitivo que era, ya mostraba las primeras ideas del uso de aeronaves no tripuladas. Tampoco era muy preciso, dado que la dependencia de la dirección y velocidad del viento hacía que tuviera una variable aleatoria.

Otro de los atisbos de uso de aeronaves no tripuladas, se produjo en 1883. El británico Douglas Archibald, utilizó una cometa para tomar fotografías aéreas. Este experimento propició que algún militar le viera utilidad bélica tras su publicación en algunos periódicos.

William Eddy, cabo en la guerra hispanoamericana de 1898 usó cometas como la de Douglas Archibald para tomar cientos de fotografías. Hoy en día se consideran como las primeras fotografías aéreas de vigilancia de la historia.

En la primera guerra mundial Elmer Ambrose Sperry inventó el giroscopio, mecanismo el cual permitía mantener una aeronave en vuelo nivelado y estable. Utilizando este sistema de guiado, se desarrollaron aeronaves que eran capaces de volar una determinada distancia para posteriormente precipitarse hacia abajo, cargados con dinamita haciendo impacto en el objetivo.

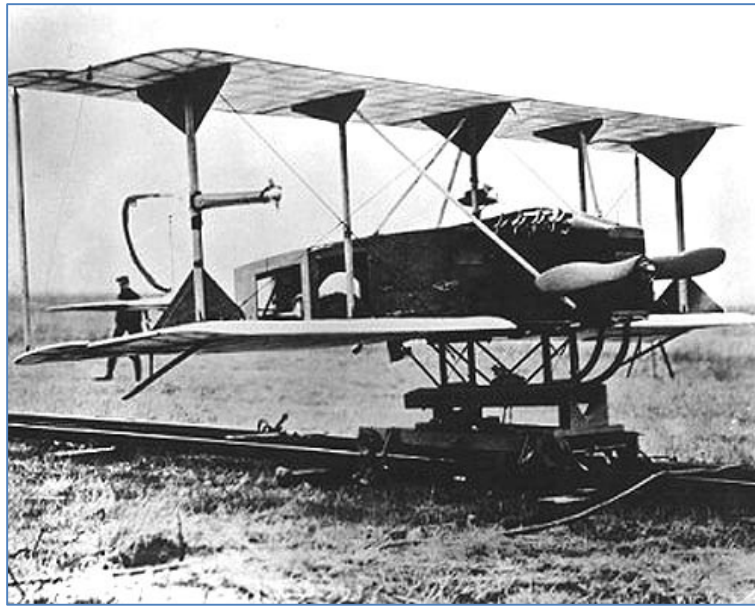


Ilustración 4 - Bomba volante Hewitt Sperry.
Extraída de: <http://eldrone.es/historia-de-los-drones/>

El éxito del Sperry hizo que se pusiera en marcha el Kettering Bug, una aeronave que era en esencia un torpedo aéreo guiado.



Ilustración 5 - Kettering torpedo aéreo <<Bug>>.
Extraído de: <https://athertonkd.substack.com/p/kettering-bugsnax>

A su vez, en Alemania, se estaba desarrollando un proyecto similar, el Siemens Torpedo Planeador, liderado por el Dr. Wilhelm von Siemens entre 1915 y 1918, era un torpedo que se lanzaba desde un zeppelin para posteriormente ser guiado mediante radio hacia su objetivo.

Estos artefactos fueron los precursores de los misiles de crucero de hoy en día.

Más adelante se desarrollaron los primeros blancos aéreos no tripulados. En esencia eran UAV's que servían para ser objetivos móviles para entrenamiento. Uno de los primeros fue el Queen Bee, cuyo primer vuelo data de 1935.



Ilustración 6 - Blanco aéreo no tripulado Queen Bee.
Extraída de: <https://dronewars.net/de-havilland-dh82b-queen-bee/>

En 1939 se crea en Los Ángeles Radioplane Company (la actual Northrop Grumman). El fundador, Reginald Denny junto a ingenieros de tecnología de radio de la compañía Lockheed, desarrollaron los OQ Targets, aeronaves grandes controladas de forma remota.



Ilustración 7 - OQ Target.
Extraída de: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1946_Radioplane_OQ-19D_Target_Drone_%2829328719207%29.jpg

En la Segunda Guerra Mundial, la Luftwaffe alemana desarrolla una de las armas más letales de la guerra, la Vergeltungswaffe 1 (traducida como “Arma de venganza”), más conocida como V-1.

Era una bomba que se lanzaba mediante una catapulta, y utilizando el guiado giroscópico y un pulsorreactor tenía un alcance hasta de 150 millas.



Ilustración 8 - Vergeltungswaffe 1.

Extraída de: https://es.wikipedia.org/wiki/Fieseler_Fi_103

La gran efectividad de estas armas, impulsó que los EEUU desarrollaran proyectos para fabricar aeronaves capaces de destruir los lugares de lanzamiento.

En 1944, se retrofitaron los PB4Y-1 y los B-17 (conocidos después como BQ-7) para que fuesen capaces de volar sin necesidad de tripulación. Las aeronaves despegaban con 2 pilotos, los cuáles establecían la altitud de 2000 pies y una vez alcanzada esa altitud, programaban la ruta de interceptación de los silos de lanzamiento de V-1 alemanes y posteriormente saltaban en paracaídas.



Ilustración 9 - BQ - 7.

Extraída de: <https://www.designation-systems.net/dusrm/app1/bq-7.html>

Los BQ-7 se utilizaron más adelante para sobrevolar Hiroshima y Nagasaki para recabar información acerca de la radiación de la zona tras el uso de las bombas atómicas.

Más adelante, en la guerra del Vietnam se comienzan a usar las aeronaves no tripuladas desarrolladas hasta ahora para vigilancia secreta. Se creó el Q-2C Firebee, posiblemente el

UAV más característico de esta guerra, propulsado a chorro, el cual estaba diseñado con un sistema de apantallamiento en el difusor que absorbía las señales del radar.



Ilustración 10 - AQM-34 Ryan Firebee.
Extraída de: <http://eldrone.es/historia-de-los-drones/>

La época de la guerra fría, generó la necesidad de desarrollar nuevos UAV de reconocimiento con capacidad de captar imágenes de mayor resolución y calidad, de mayor velocidad e invisibles al radar.

En este desarrollo destacó Lockheed, que desarrolló el D-21, la aeronave no tripulada más rápida hasta la fecha, que alcanzaba Mach 4. Con aspecto muy similar al SR-71, era lanzado desde éste.



Ilustración 11 - D-21 sobre el SR-71 Blackbird.
Extraída de: https://es.wikipedia.org/wiki/Lockheed_D-21

Pese a todo, esta increíble aeronave voló en 3 misiones sin éxito hasta que acabó estrellándose, parando así el programa de fabricación que estaba en marcha.

En los años 70 se construyó el “Scout”, un dron de motor de combustión interna por pistón fabricado en fibra de vidrio, lo cual hacía que el retorno de señal de radar que le pudiera captar se disipara.



Ilustración 12 - Dron Scout.

Extraído de: <https://www.israeli-weapons.com/weapons/aircraft/uav/scout/Scout.html>

Una evolución del Scout, es el Pioneer, el cual tiene la capacidad de que se impulsa mediante cohetes lo cual le permite ser lanzado desde tierra o desde un portaaviones. A su vez, se incrementaron las dimensiones en su diseño permitiendo llevar una carga de pago mayor.



Ilustración 13 - Dron "Pioneer", evolución del "Scout".

Extraído de: https://es.wikipedia.org/wiki/AAI_RQ-2_Pioneer#Especificaciones

Estos fueron los predecesores de los drones de combate que se conocen de la era más moderna, de los cuales, se podría decir que el pionero fue el denominado MQ-1 "Predator"; Desarrollado entre 1994 y 1995, era un dron de altitud media y largo alcance. Éste a mayores de como dron de reconocimiento, tenía capacidad ofensiva al poder ir dotado con 2 misiles.



Ilustración 14 - MQ 1 "Predator".

Extraída de: https://es.wikipedia.org/wiki/General_Atomics_MQ-1_Predator

La evolución del "Predator" fue el "Predator B", conocido técnicamente como MQ-9 "Reaper". La mejora principal de este dron es que tiene una mayor capacidad de carga de pago, lo que le permite ser más autónomo y más letal. Una de las características claras que les diferencia, es que se ha invertido sus superficies estabilizadoras, de Delta a V.



Ilustración 15 - MQ 9 "Reaper".

Extraída de: <https://www.epe.es/es/internacional/20230314/mq-9-reaper-dron-estadounidense-derribado-84648603>

Otro de los drones que destacan en la historia, es el “Global Hawk”, desarrollado por Northrop Grumman, hizo su primer vuelo en 1998. Este es el dron con mayores dimensiones que hay, teniendo una envergadura de 35m. Esto también le permite tener un techo operacional de 19000m y de tener actualmente el record de haber sido el primer dron en haber cruzado el océano pacífico sin escalas.



Ilustración 16 - Global Hawk.

Extraída de: <https://abcblogs.abc.es/tierra-mar-aire/espana/global-hawk-espana.html>

La historia de los drones hasta aquí está impregnada, al igual que muchos avances tecnológicos (como la aeronáutica y astronáutica o la energía nuclear), de ámbito bélico, pero por suerte, todos estos avances se reorientan a usos que mejora la vida del ser humano de forma notable, ayudando y supliendo en tareas que en ocasiones pueden poner en riesgo la integridad de las personas.

2.2.4 Usos de los drones.

Las aplicaciones que se les ha dado a los drones son múltiples. De hecho, hoy en día se siguen encontrando necesidades que pueden ser cubiertas por este tipo de tecnología.

Algunos de los usos que actualmente se les da a los drones de forma profesional son:

1. Seguridad:

Los drones son muy útiles al ser usados para control y monitorización de espacios aéreos. La versatilidad que tienen a la hora de ser transportados sumado a su autonomía de vuelo hace que se puedan usar para vigilancia y para exploración de zonas de difícil acceso para otros medios de transporte e incluso para el ser humano.



Ilustración 17 - Drones de vigilancia.
Extraída de <https://aerocamaras.es/actuacion-policia-drones/>

2. Cine y filmaciones:



Ilustración 18 - Dron con cámara cinematográfica.
Extraída de <https://www.globalmediterranea.es/drones-en-el-cine/>

Otro uso que tienen los drones en el ámbito cinematográfico y de filmaciones de videos para realizar tomas aéreas.

Esta es una gran utilidad muy ventajosa que ha supuesto un gran ahorro para muchas de las tomas aéreas que se realizan para videos y películas, donde antes era necesaria la movilización de uno o varios helicópteros con todo el gasto que ello supone (piloto cualificado, parte del mantenimiento de la aeronave, combustible, adaptación de la aeronave para llevar las cámaras cinematográficas,...).

Y es en este campo, donde ha evolucionado tanto que en la actualidad hay drones que poseen la función "Sígueme", en la que, por ejemplo, si alguien que se dedica a los deportes de riesgo como el snowboard o el ski, no requiere ni siquiera de otra persona que pilote el dron, si no

que activando dicha función, el dron automáticamente sigue a la persona mientras realiza sus trucos sobre la tabla.

3. **Agricultura:**

La agricultura es otro ámbito en el que los drones están suponiendo un gran avance, dado que la capacidad de automatización que tienen, junto a la capacidad de llevar grandes cargas, hace posible que sean capaces de usarse para fumigar o para regar cultivos. Esto agiliza procesos y optimiza recursos.



Ilustración 19 - Dron rociando productos en el campo.

Extraída de <https://www.areadron.com/estas-son-las-aplicaciones-de-los-drones-en-la-agricultura/#>

4. **Ingeniería civil:**

a. *Inspección de infraestructuras*

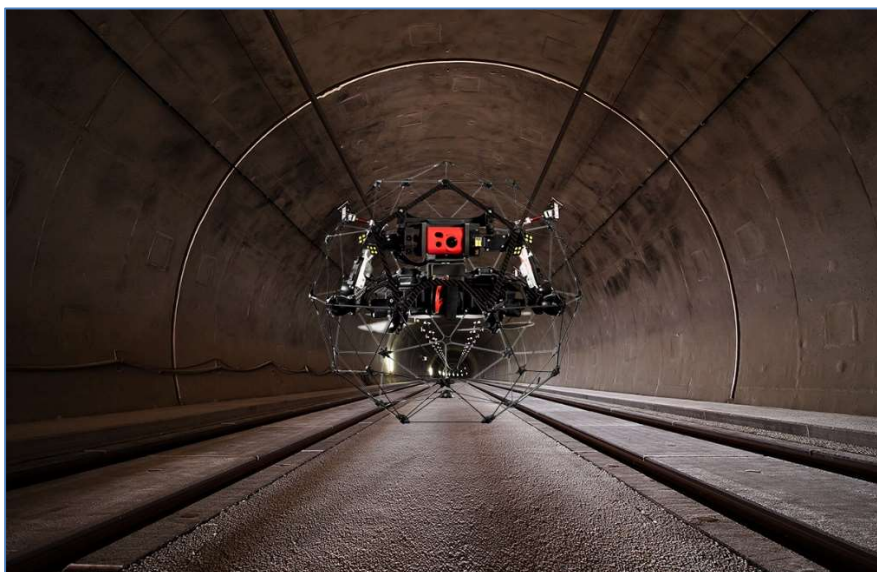


Ilustración 20 - Dron inspeccionando un túnel.

Extraída de <https://www.centinel360.com/inspeccion-infraestructuras-con-drones/>

Este es uno de los campos donde ya se emplea este tipo de tecnología. Dicho uso, supone un ahorro de costes fruto de la facilidad para acceder a una infraestructura en los 3 ejes. Además, supone una considerable reducción de riesgo para el personal que realiza las inspecciones.

b. Obras civiles



Ilustración 21 - Dron para uso de obras.

Extraída de <https://www.brujulaeconomica.com/el-uso-de-drones-en-el-sector-construccion/>

Equipando a los drones con cámaras de alta resolución y sensores con tecnología LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) hace posible que se puedan hacer modelos topográficos tridimensionales, lo que permite extrapolarlos a planos, calcular volúmenes de tierra, ver la evolución de las obras...

5. Control de incendios y catástrofes:



Ilustración 22 - Drones apagando un incendio de un edificio.

Extraída de <https://iiishops.tk/products.aspx?cname=drones+para+bomberos&cid=135>

Los drones ofrecen la ventaja de poder acceder para tomar datos en forma de monitorización infrarroja para obtener datos de zonas calientes o información importante a la hora de controlar incendios y de acceder a zonas afectadas por catástrofes naturales, todo ello sin poner en peligro al piloto.

6. Transporte de carga:

Otro de los usos que más resuenan y que van ganando mercado son los drones dedicados al transporte y entregas de mercancía. En España su actividad todavía no está regulada, pero ya hay países donde si que se usan para realizar entregas de forma rápida.



Ilustración 23 - Drones de reparto.

Extraída de <https://www.uol.com.br/tilt/noticias/redacao/2019/03/11/entrega-por-drones-parece-otimo-mas-voce-quer-um-exame-sobre-sua-cabeca.htm>

7. Entretenimiento



Ilustración 24 - Drones realizando un espectáculo de luces en año nuevo.

Extraída de <https://www.xataka.com/drones/esta-magia-detras-espectacular-coreografia-que-enjambre-2-000-drones-ilumino-noche-shanghai>

Otra aplicación que se está dando a los drones a día de hoy, es para el entretenimiento en forma de espectáculos de luces, en las que un enjambre de drones sincronizados entre sí cambian de posición de forma coordinada y usando sus luces crean figuras. Esto es un gran método para hacer promociones, celebraciones y espectáculos.

8. Uso recreativo.



Ilustración 25 - Dron recreativo.

Extraída de https://cronicaglobal.elespanol.com/creacion/vida-tecky/normas-pilotar-dron-uso-recreativo_217749_102.html

Como no, ya desde hace muchísimo tiempo, el uso principal que se daba a los drones es el uso recreativo. Muchas personas apasionadas de la aviación usan los drones a modo de divertimento para pasar el rato. Dichos vuelos, no están pensados para realizar una actividad en concreto.



Ilustración 26 - Dron de ala rotatoria.

Extraída de: <https://idc.apddrones.com/drones/drones-multirotor-vs-ala-fija/>

2.2.5 Tipos de Drones.

Podemos clasificar los tipos de drones en base a su estructura o forma. De esta forma podemos clasificarlos en 2 grupos:

- ✚ Ala fija
- ✚ Ala rotatoria.

2.2.5.1 *Ala fija.*

Son los que utilizan la aerodinámica para volar. Utilizan los mismos principios que los aviones convencionales, generando sustentación gracias a la forma y superficie de sus alas, las cuáles no varían su posición en ninguna fase de vuelo. La propia estructura es la que genera la fuerza sustentadora.

A causa de esto, un punto que los caracteriza y diferencia de los de ala rotatoria, es que necesitan el avance para poder volar, con lo cual no son capaces de permanecer estáticos en el aire.



Ilustración 27 - Dron de ala fija.

Extraída de: <https://topesdegama.com/listas/gadgets/drones-ala-fija>

2.2.5.2 *Ala rotatoria.*

También denominados multirrotores, logran la sustentación mediante hélices impulsadas por motores ubicados en cada uno de sus brazos.

Estos drones son muy estables y versátiles, gracias a que no requieren el avance para mantenerse en el aire. Por esto, hoy en día tienen innumerables usos y son los más abundantes en el mercado.

2.3 Impresión 3D.

2.3.1 ¿Qué es la impresión 3D?



Ilustración 28 – Fijación de snowboard fabricada con piezas impresas en 3D.
Extraída de <https://www.autodesk.es/solutions/3d-printing>

Es un conjunto de procesos que usan la tecnología de fabricación aditiva, mediante la cual, un objeto tridimensional se crea añadiendo capas sucesivas de material las cuáles corresponden a finas secciones transversales de dicho objeto.

2.3.2 ¿Cómo funciona?

Al contrario que otro tipo de tecnologías de fabricación, como son la fabricación sustractiva o la fabricación por inyección, la impresión 3D genera la pieza de la “nada” fabricándola de forma directa sobre una plataforma capa a capa.

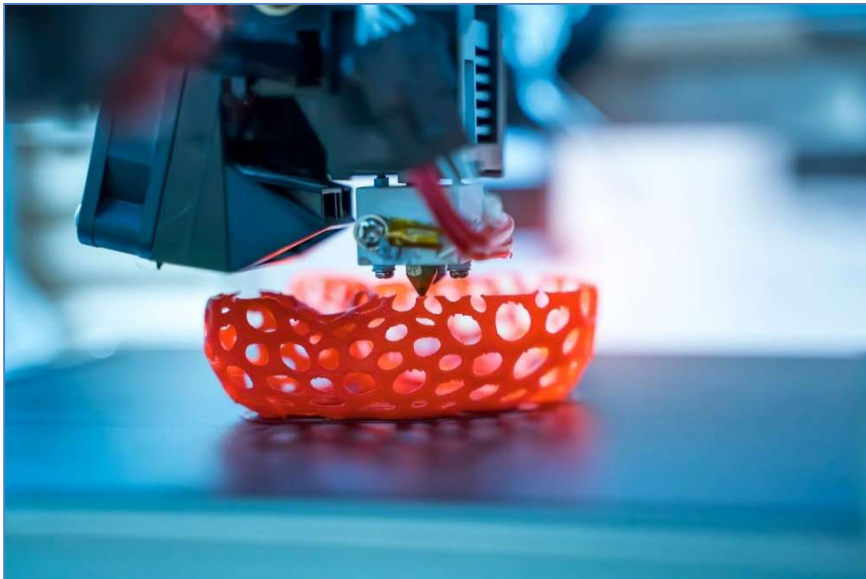


Ilustración 29 - Impresión de objeto mediante FDM.
Extraída de: <https://www.mecalux.es/blog/fabricacion-aditiva>

El primer paso es crear un modelo 3D digital de la pieza que se quiere fabricar. Este modelo será el plano. A continuación, mediante software, se corta dicho modelo digital en capas finas bidimensionales y se traduce a instrucciones en el lenguaje de código G, que es el que lee la máquina. La impresora finalmente ejecuta dichas instrucciones y el resultado final es el objeto fabricado.



Ilustración 30 - Diseño en 3D para posterior impresión en impresora SLA.

Extraído de: <https://www.xataka.com/perifericos/la-popularizacion-de-la-impresion-3d-llegara-en-2014-con-la-impresion-3d-laser>

Hasta este punto, el proceso es genérico para todas las impresoras 3D; A posteriori, la forma de realizar el objeto depende del tipo de impresora; Por ejemplo, las impresoras FDM (Fused Deposition Modeling) genera el objeto fundiendo pequeños filamentos de material y depositándolos en una plataforma a través de una boquilla de extrusión, por otro lado, las impresoras SLA (Estereolitografía) crean las capas solidificando una resina líquida fotopolimérica mediante un láser ultravioleta.



Ilustración 31 - Impresora FDM.

Extraída de: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Fast-printing-and-Multi-functional-FDM-62591465589.html>



Ilustración 32 - Impresora SLA.

Extraída de: <https://www.uam.es/uam/segainvex/noticias/impresora3d>

Un dato a tener en cuenta y posiblemente considerado una desventaja, es que la mayoría de las piezas fabricadas mediante impresión 3D, rara vez están finalizadas cuando terminan de imprimirse, si no que en la mayoría de los casos suelen requerir un post-procesado.

2.3.3 Historia de las impresoras 3D.

Remontándonos a 1976, con la invención de las impresoras de tinta, comienza la historia de las impresoras 3D, dado que éstas son sus predecesoras.

En Japón en 1981, Hideo Kodama, doctor en el Instituto Municipal de Investigación Industrial de Nagoya, realiza la primera patente de una impresora 3D, proyecto que posteriormente será abandonado a causa del presupuesto.

En esa misma década, en Francia, Alain Le Méhauté, Jean Claude André y Oliver de Witte, presentaron una solicitud de patente de la fabricación mediante la solidificación de resinas fotopoliméricas, las cuáles, mediante la luz ultravioleta se curaban. A causa de la insuficiencia de fondos, el proyecto también se canceló.

No fue hasta 1984, cuando Charles Hull, (cofundador de 3D Systems), inventa la estereolitografía. Proceso en el que, a partir de datos digitales, permite que se imprima un objeto tridimensional.

A partir de aquí, podemos resumir los hitos conseguidos:

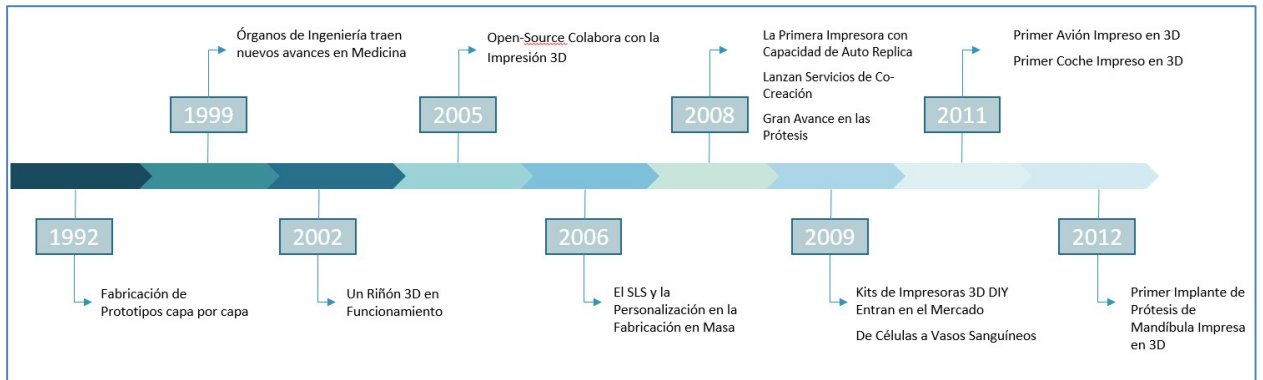


Ilustración 33 - Timeline de hitos de las impresoras 3D.
Desarrollo propio.

1992 – Fabricación de Prototipos capa por capa

3D Systems desarrolla la primera impresora 3D SLA. Su funcionamiento es que un haz de luz láser UV solidifica capa por capa una resina fotopolimérica. Esta impresora consiguió imprimir piezas de alta complejidad en una noche.

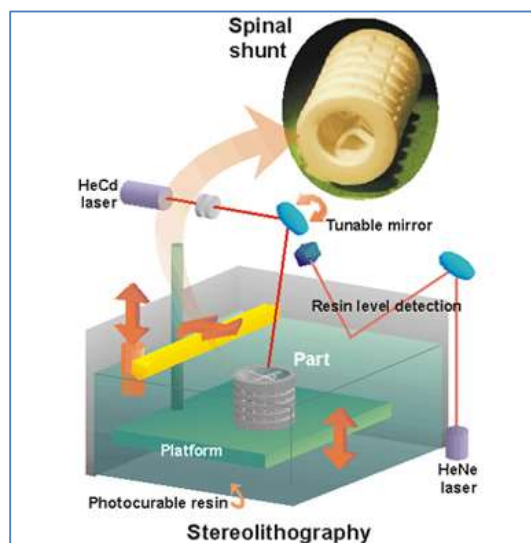


Ilustración 34 - Esquema de funcionamiento de la estereolitografía.
Extraída de: <https://www.impresoras3d.com/breve-historia-de-la-impresion-3d/>

1999 – Órganos de Ingeniería traen nuevos avances en Medicina

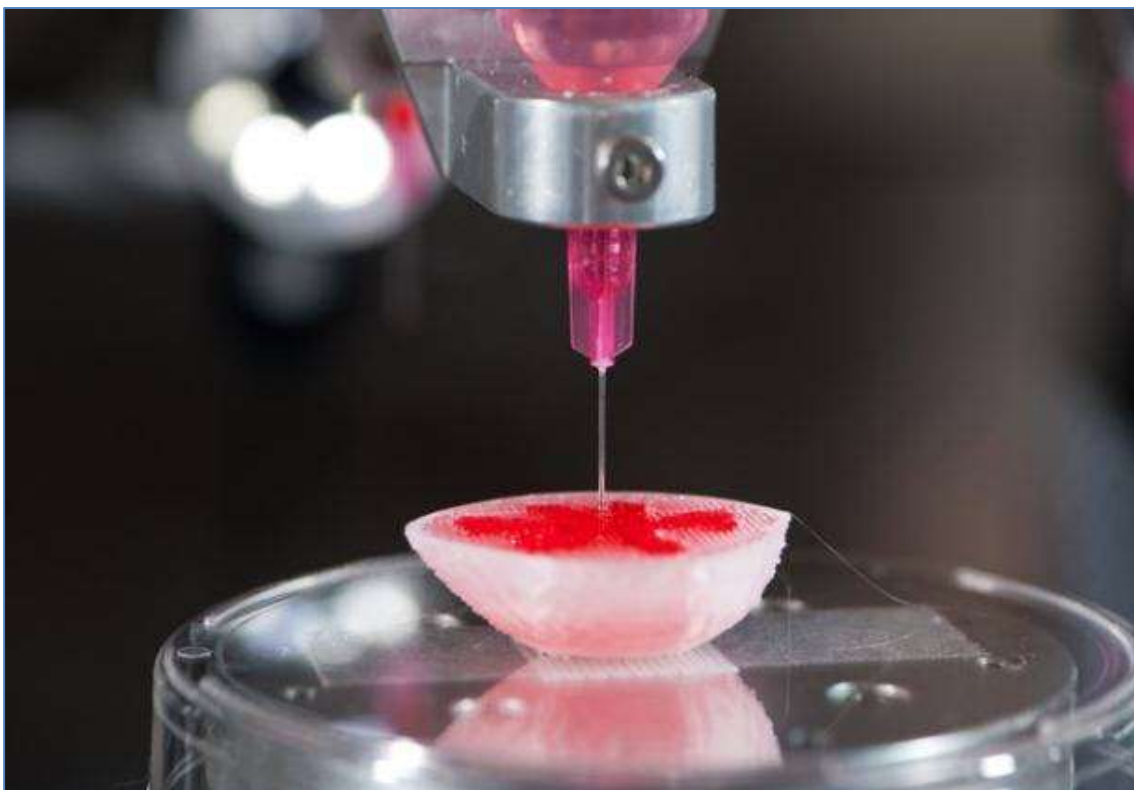
De 1999 data un aumento de vejiga urinaria gracias al uso de un recubrimiento sintético fabricado en laboratorio con sus propias células, lo cual hace exista muy poca probabilidad de rechazo de este. Este hito dio lugar al desarrollo de otros métodos para la impresión de órganos.



*Ilustración 35 - Andamiaje de vejiga impresa en 3D siendo sembrado con células madre.
Extraída de: <https://cnnespanol.cnn.com/2022/06/10/imprimir-organos-3d-acceso-trasplante-trax/>*

2002 – Un Riñón 3D en Funcionamiento

Se fabrica un riñón para un animal completamente funcional en miniatura. Este desarrollo impulsó el objetivo de realizar mediante impresión 3D la fabricación de órganos y tejidos.



*Ilustración 36 - Riñón impreso mediante bio-impresora.
Extraída de: <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Creacion-de-organos-artificiales-donde-estan-los-limites>*

2005 – Open-Source Colabora con la Impresión 3D

RepRap es fundado por Adrian Bowyer. Una iniciativa para la construcción de una impresora 3D, la cual pudiera imprimir sus propios componentes. Este proyecto tiene el objetivo de que se distribuya a todas las personas del mundo, lo que da la posibilidad de la creación diaria de productos por cuenta propia.



Ilustración 37 - Logo RepRap.
Extraída de: <https://reprap.org/wiki/Reachout>

2006 – El SLS y la Personalización en la Fabricación en Masa

Se ensambla la primera máquina viable que utiliza la tecnología de sinterización de láser selectivo, más conocida como SLS. El principio de funcionamiento de esta máquina es el de ir fundiendo materiales e ir creando la pieza en 3D. Gracias a este sistema, se comienzan a hacer piezas industriales, prótesis, ...

2008 – La Primera Impresora con Capacidad de Auto Replica

RepRap, fundado en 2005, lanza Darwin, una impresora 3D que tiene la capacidad de imprimir sus propias piezas, lo que permite generar más impresoras a partir de una o simplemente, la creación de sus propios repuestos.

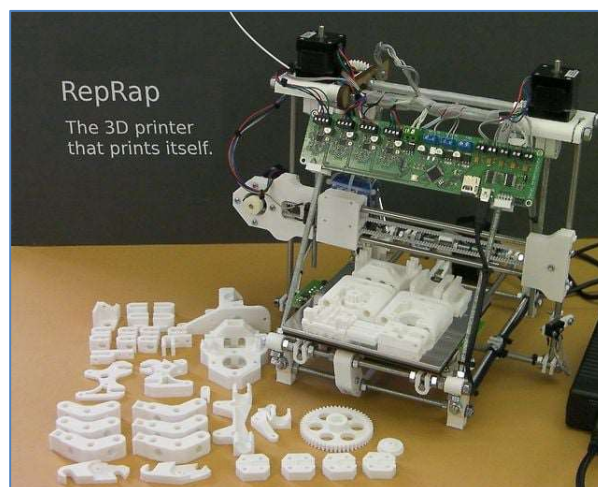


Ilustración 38 - Impresora RepRap capaz de imprimir sus propias piezas.
Extraída de: <https://reprap.org/wiki/RepRap/es>

2008 – Lanzan Servicios de Co-Creación

En ese mismo año, Shapeways crea un servicio de co-creación en una página web, lo que permite que la gente presente sus propios diseños como objetos físicos.

2008 – Gran Avance en las Prótesis

También de 2008, data uno de los mejores hitos de la impresión 3D. Se imprime la primera prótesis de una pierna completa utilizable y en una sola impresión, sin necesidad de montajes o ensambles. Esto hace que la industria de las prótesis tenga un gran auge.



Ilustración 39 - Pierna impresa en 3D.

Extraída de: <https://tresde.pe/impresion-3d-el-futuro-de-las-protesis/>

2009 – Kits de Impresoras 3D DIY Entran en el Mercado

Se comienza a comercializar kits de montaje para que los compradores fabriquen sus propios productos e impresoras.

2009 – De Células a Vasos Sanguíneos

Se imprime el primer vaso sanguíneo. Son los primeros usos de la bio-impresión. El encargado de hacerlo es el Dr. Gabor Forgacs.



Ilustración 40 - Vasos Sanguíneos creados con impresora 3D.

Extraída de: <https://impresiontresde.com/vasos-sanguineos-impresos-en-3d-con-un-equipo-comercial/>

2011 – Primer Avión Impreso en 3D

En 2011 se diseña y fabrica mediante impresión 3D, el primer avión no tripulado. La inversión para ello son unos 7000€ y el leadtime de fabricación es de 7 días. Gracias a este tipo de fabricación permite que las alas tengan una curva elíptica, lo que reduce el torbellino generado por la diferencia de presiones haciendo que disminuya la resistencia inducida.



Ilustración 41 - Primer avión fabricado con impresora 3D.

Extraída de: <https://www.neoteo.com/primer-avion-impreso-en-3d-remonta-vuelo/>

2011 – Primer Coche Impreso en 3D

Se presenta Urbee, prototipo de coche cuya carrocería es diseñada e impresa en 3D.



*Ilustración 42 - Urbee, primer coche cuya carrocería está completamente fabricada con impresión 3D.
Extraída de: <https://tecnomagazine.net/el-primer-coche-3d-impreso/>*

2012 – Primer Implante de Prótesis de Mandíbula Impresa en 3D

Se implanta exitosamente una prótesis de una mandíbula inferior fabricada por 3D a un paciente de 83 años.



*Ilustración 43 – Prótesis de mandíbula inferior.
Extraída de: <https://www.elperiodico.com/es/extra/20180418/mandibula-impresora-3d-6766294>*

2.3.4 Usos de las impresoras 3D.

Gracias a los avances en esta tecnología, los usos y aplicaciones que se le da a las impresoras 3D van incrementándose día a día, desde estar en una empresa puntera en desarrollo y fabricación aeroespacial a una casa para un uso doméstico, pasando por un hospital para la creación de implantes de huesos y tejidos.

1. Prototipado:

A lo largo de un proceso de desarrollo de un producto o un objeto, tener físicamente un prototipo real y funcional en apenas un día, permite que se pueda probar e interactuar de forma directa a como lo hará el producto final, pudiendo encontrar fallos, errores y limitaciones antes del lanzamiento a producción del producto. Esto permite que se pueda generar e iterar varias versiones del producto en cuestión de horas.



Ilustración 44 - Prototipos de sillines de bicicleta fabricados mediante impresión 3D.

Extraído de: <https://www.mastertec3d.es/blog/crea-prototipos-con-impresoras-3d-para-mejorar-tus-procesos-de-diseño/>

2. *Productos finales:*

La fabricación aditiva permite producir determinados componentes simples a baja escala reduciendo los costes y tiempos significativamente. Por ejemplo, a la hora de fabricar bisagras, bridas para rutado de cableado, conectores...

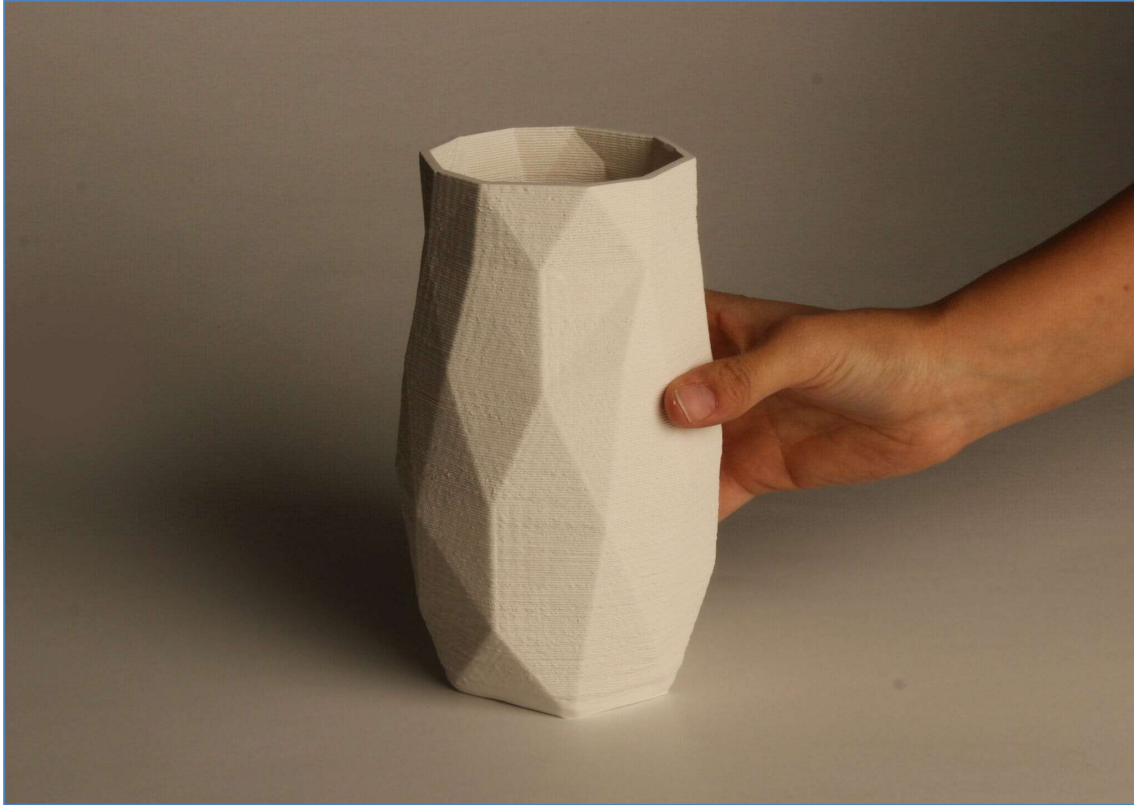


Ilustración 45 - Jarrón fabricado con impresión 3D.

Extraído de: <https://www.impresoras3d.com/imprimir-en-3d-10-tecnicas-y-habitos-que-necesitas-conocer/>

3. *Repuestos:*

Mediante la impresión 3D se puede desarrollar y fabricar componentes de repuesto a sustituir durante mantenimiento de máquinas, en líneas de producción o en casos donde el repuesto necesario es para una pieza obsoleta de la cual ya no existen unidades. También sirve para casos en los que no merezca la pena tener un stock de seguridad por las características del componente.

Gracias al avance en materiales que se pueden utilizar en este método de fabricación, se pueden llegar a obtener repuestos que cumplen mejor con el cometido que las piezas originales.



Ilustración 46 - Componente de vehículo sustituido por uno realizado con impresión 3D.

Extraído de: <https://12vpersonalcar.com/art/9145/impresion-3d-para-la-fabricacion-de-piezas-y-recambios>

4. Herramientas:

En la fabricación, desarrollo o mantenimiento de productos existen muchas ocasiones en las que las herramientas disponibles en el mercado no son compatibles con el producto que está ensamblando o reparando. Las plantillas y accesorios personalizados (jigs and fixtures) ayudan a los operadores a garantizar un trabajo preciso y repetible, por ejemplo, guiando una herramienta o sosteniendo un objeto en su lugar. En un entorno de producción acelerado, esta eficiencia puede marcar una gran diferencia en el resultado final de una empresa.



Ilustración 47 - Herramientas y quincallería fabricado con impresión 3D.

Extraído de: <https://tresde.pe/la-impresion-3d-aumenta-la-eficiencia-de-fabricacion-2/>

5. **Arqueología:**

En el campo de la paleontología, gracias a la impresión 3D, se pueden reproducir fósiles, antigüedades o diferentes objetos de especial valor. Mediante el escaneo, se pueden fabricar huesos de fósiles que permiten el conocer más sobre la fisiología y estructura de animales que vivieron hace millones de años.



Ilustración 48 - Cráneo de dinosaurio copiado y posteriormente fabricado con impresión 3D.
Extraído de: <https://www.impresoras3d.com/impresion-3d-craneo-dinosaurio-200-millones-anos/>

6. **Moda:**

El desarrollo de materiales utilizados para impresión 3D, ha permitido la incorporación de los mismos a productos de vestir de uso diario. Un ejemplo es el Filaflex. Actualmente hay un certamen llamado 3D Fashion Day.

A parte, el gran fabricante de zapatillas y ropa deportiva Adidas, ha sido la pionera en el desarrollo y utilización de esta técnica de fabricación en productos de vestir ya que en 2015 desarrolló el proyecto Adidas Futurecraft 3D con el que desarrollaban una media suela para el running que permite adaptarse a la amortiguación de cada pie. Además, esto conllevó una grandísima evolución en la optimización de la fabricación, reduciendo el tiempo de 90 a 20 minutos.



Ilustración 49 - Zapatilla de la marca Adidas fabricada con impresión 3D.
Extraída de: <https://www.gq.com.mx/moda/articulo/impresion-3d-en-la-moda-opcion-sostenible>

7. Medicina:

En la industria médica, la fabricación aditiva ha impactado de forma muy significativa. Ha permitido que sea viable la fabricación de numerosos objetos, desde unas piernas personalizadas hasta un modelo de corazón para ayuda de la docencia de futuros cirujanos.

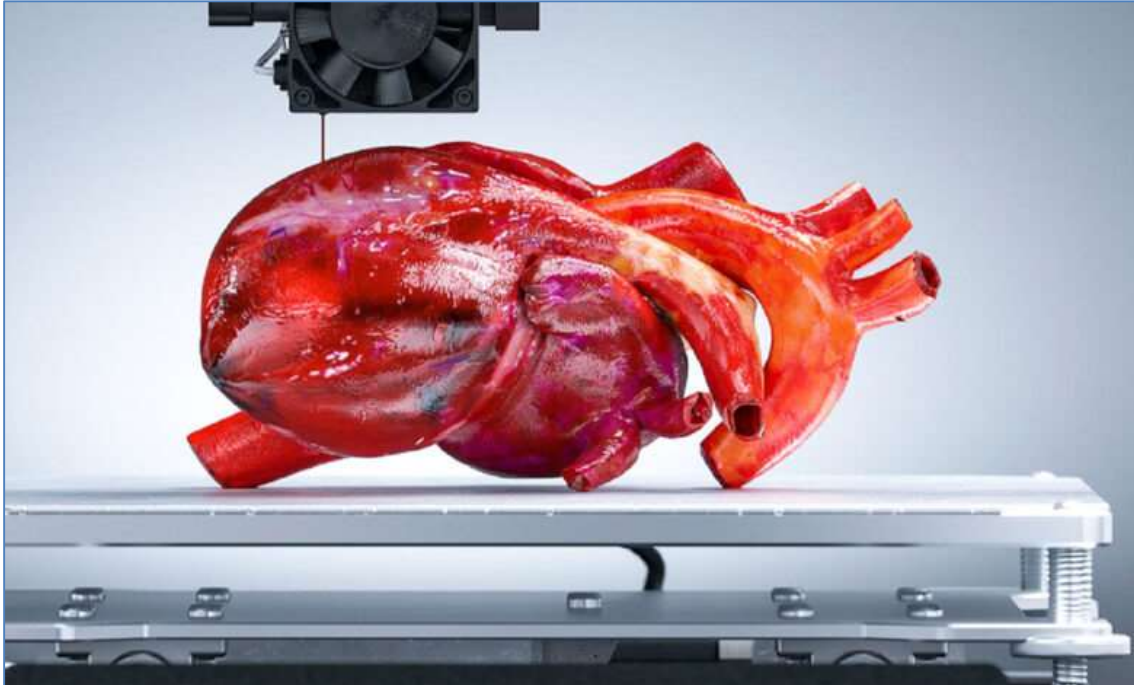


Ilustración 50 - Corazón humano fabricado con impresión 3D.

Extraído de: <https://www.ambienteplastico.com/impresion-3d-para-organos-humanos-el-futuro-de-la-medicina/>

2.3.5 Tipos de Impresoras 3D.

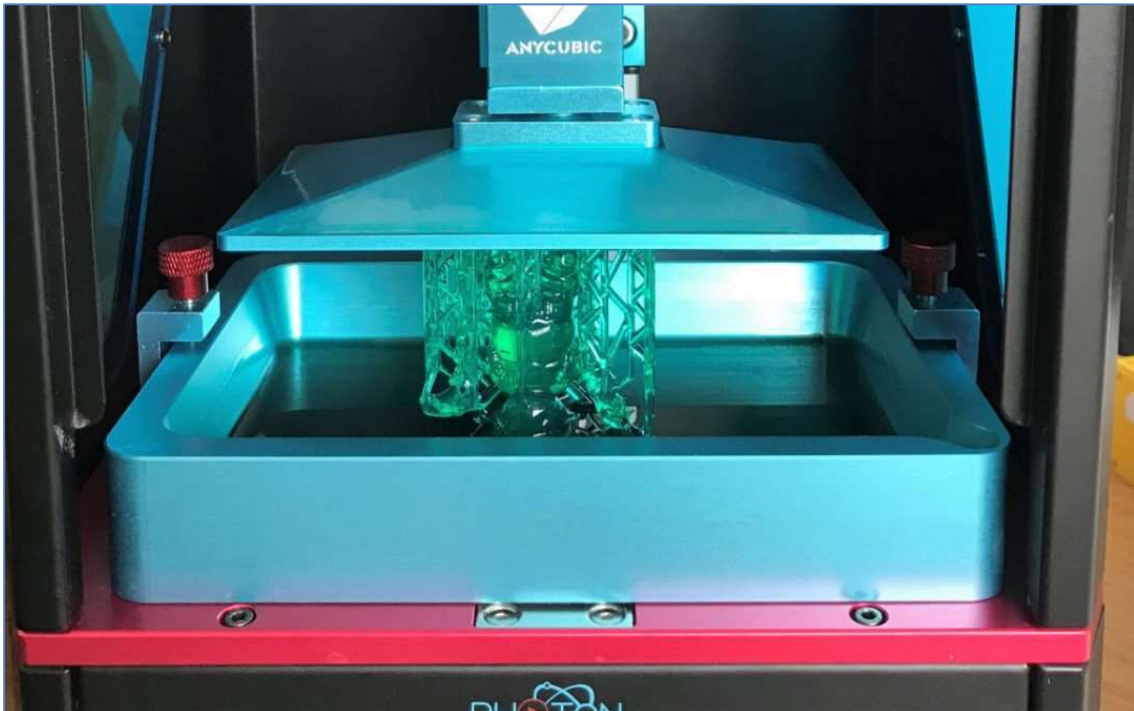
La clasificación de las diferentes impresoras 3D se suele hacer en función a la tecnología utilizada para la impresión. En base a esto, los tipos de impresora pueden ser:

- ✚ SLA o Estereolitografía.
- ✚ SLS o Sinterización Selectiva por Láser.
- ✚ Por inyección.
- ✚ FDM o Fused Deposition Modeling (Deposición de material fundido)

1. SLA o Impresoras 3D por Estereolitografía:

Consiste en aplicar luz ultravioleta en forma de haz a una resina líquida fotopolimérica. Dicha luz va solidificando la resina y va creando capa a capa del objeto. La base de la estructura va descendiendo, dejando que la luz incida sobre el nuevo baño para crear la siguiente capa, de forma consecutiva hasta la generación completa del objeto.

Con este tipo de impresoras se consiguen piezas de gran calidad, aunque con algo de desperdicio de material.



*Ilustración 51 - Pieza siendo impresa mediante una impresora SLA.
Extraída de: <https://tresde.pe/5-consejos-esenciales-para-la-impresion-sla-dlp/>*

2. SLS o Impresoras 3D de sinterización selectiva por láser:

Consiste en un sistema similar al SLA, dado que utiliza de igual forma un haz de luz láser, salvo que en este caso no incide sobre una resina fotopolimérica, si no que su función en el proceso es el de fundir un material en polvo. Esto permite utilizar un gran número de materiales como el nylon, el cristal, cerámica, poliestileno, ...

En este caso, todo el material que no se funde se almacena y posteriormente se reutiliza, con lo que la grandísima ventaja de este tipo de impresoras es que el desperdicio de material es nulo.



Ilustración 52 - Limpieza de pieza después de fabricarse en impresora SLS.
Extraída de: <https://formlabs.com/es/blog/que-es-sinterizado-selectivo-laser/>

3. Impresoras 3D por inyección:

Estas impresoras son lo más parecido a una impresora de papel convencional. La impresora va inyectando capas del material fotopolímero líquido las cuáles se van curando en la bandeja. A medida que se van inyectando las capas, la cama va descendiendo lo cual va generando el objeto.

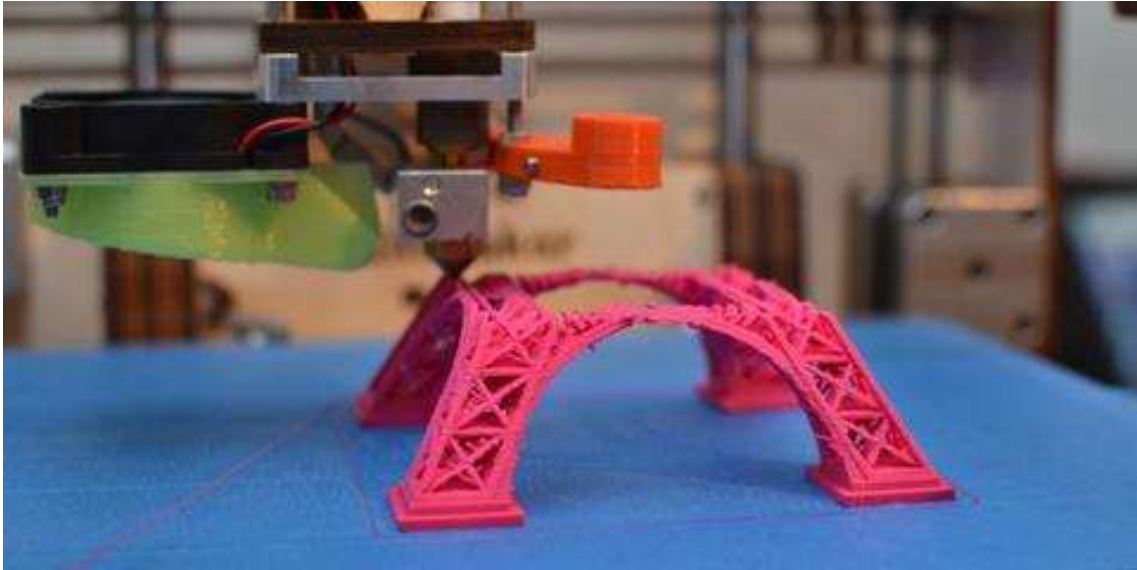


Ilustración 53 - Pieza fabricada en impresora 3D de inyección.
Extraída de: <https://www.impresoras3d.com/tipos-de-impresoras-3d/>

4. Impresoras 3D por deposición de material fundido (FDM):

A estas impresoras también se les conoce como FFF (Fused Filament Fabrication). Esta impresora básicamente deposita capa a capa polímero fundido sobre una base. El material (sólido al principio y almacenado en rollos) es fundido y expulsado por una boquilla en forma de hilos, los cuáles vuelven al estado sólido a medida que se van depositando en cada capa.

Este es el tipo de impresoras 3D que más abunda dado que su simplicidad permite que sea usado de forma doméstica más que a nivel profesional.



*Ilustración 54 - Fabricación de figura de la Torre Eiffel mediante impresora FDM.
Extraída de: <https://www.impresoras3d.com/tipos-de-impresoras-3d/>*

Chapter 3. DESARROLLO Y RESULTADOS

Para comenzar a desarrollar el dron se seguirán los siguientes pasos:

1. Se enumerarán los componentes necesarios para el funcionamiento del dron, para saber cuál es el peso estimado de la aviónica. También se estimará la posible carga de pago, que podrá estar compuesta por una placa de Arduino, por su versatilidad para diferentes usos, sensores o cámaras térmicas, así como una cámara de acción de alta resolución para su uso en grabación de video.
2. Habiendo enumerado los componentes necesarios y la carga de pago, se determinarán las dimensiones que requerirá el chasis del dron. Con dichas dimensiones y la densidad del material a utilizar, se obtendrá el peso estructural.
3. Teniendo el peso estructural y el peso de los componentes necesarios, habrá que iterar en las características de diferentes tipos de motor y batería para obtener la configuración óptima. Para ello será necesario saber la relación peso de motor / empuje en g. del mismo, lo cual, aportará una idea del tipo de batería que requiere, junto con su peso.
4. Una vez que se aglutina toda esta información, se procederá a realizar el diseño del chasis.

3.1 DISEÑO ELECTRÓNICO

3.1.1 COMPONENTES NECESARIOS

3.1.1.1 EMISORA

La emisora es el dispositivo interfaz entre el humano y el dron. En ella se comandan las acciones usando los componentes de esta, y ella envía dichas comandas a través de ondas de forma inalámbrica. Dichas ondas son captadas desde el dron por el receptor.

Dependiendo del tipo de receptor, será necesario que la emisora posea determinadas características de compatibilidad.

La emisora elegida para este proyecto es la BETAFPV LiteRadio 2. Se elije esta emisora por su compatibilidad con ELRS, por su ligereza y ergonomía y por su relación calidad – precio.



Ilustración 55 - Emisora BETA FPV LiteRadio 2.

Extraída de: <https://maxterdrone.com/es/emisoras/1949-betafpv-literadio-2-se-radio-transmitter-v2.html>

3.1.1.2 RECEPTOR

Es un componente electrónico encargado de recibir las órdenes en forma de ondas emitidas desde la emisora. Utiliza sus antenas para captar dichas ondas. Previamente, deben ser sincronizadas para que se cree el enlace entre ambos componentes. Una vez recibe las órdenes de la emisora, envía la información a la controladora de vuelo.

En la actualidad se usan diferentes tipos de protocolos en función de la emisora y receptor. En este caso se utilizará un receptor ELRS. Esta elección está fundamentada en que es open source, con lo cual los costes de los componentes son menores a otros y además las prestaciones de alcance son muy buenas.

El receptor seleccionado, en cuestión es el BETA FPV-receptor ELRS Lite de 2,4 GHz.

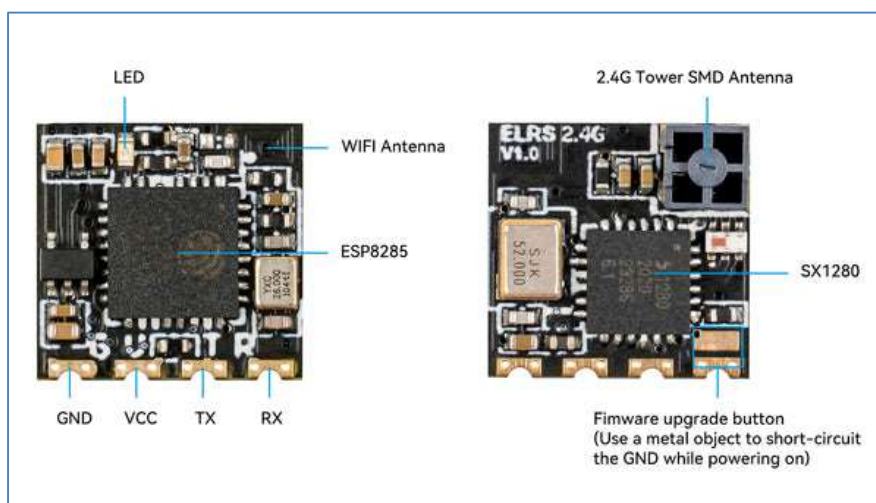


Ilustración 56 - Receptor BETA FPV-receptor ELRS Lite.

Extraído de: <https://www.ihobbies.es/elrs-lite-24ghz-antena-plana-receptor-betafpv-p-1-50-28431/>

3.1.1.3 ESC (ELECTRONIC SPEED CONTROLLER)

Los variadores de velocidad o ESC, son los encargados de modificar la velocidad de giro de los motores en función de la señal transmitida desde la emisora, recibida en la controladora de vuelo.

En el mercado se pueden encontrar fundamentalmente ESC individuales o stacks ESC múltiples. Cada uno tiene sus ventajas y desventajas, como por ejemplo que en los ESC individuales, si uno se daña, solo hay que sustituir ese, sin embargo, en el caso de un stack múltiple, si uno se daña hay que sustituir el stack entero. Por otro lado, los stacks tienen un montaje más simple, van concentrados en el centro del dron y por lo general suelen tener posibilidad de más funcionalidades.

En este caso, se ha optado por un stack 4 en 1 SpeedyBee de 50A. Se ha escogido dicho stack, por la capacidad de soportar un gran amperaje, lo cual le proporciona una versatilidad extra y además, en este caso por haberlo provisionado en un pack con la controladora de vuelo.

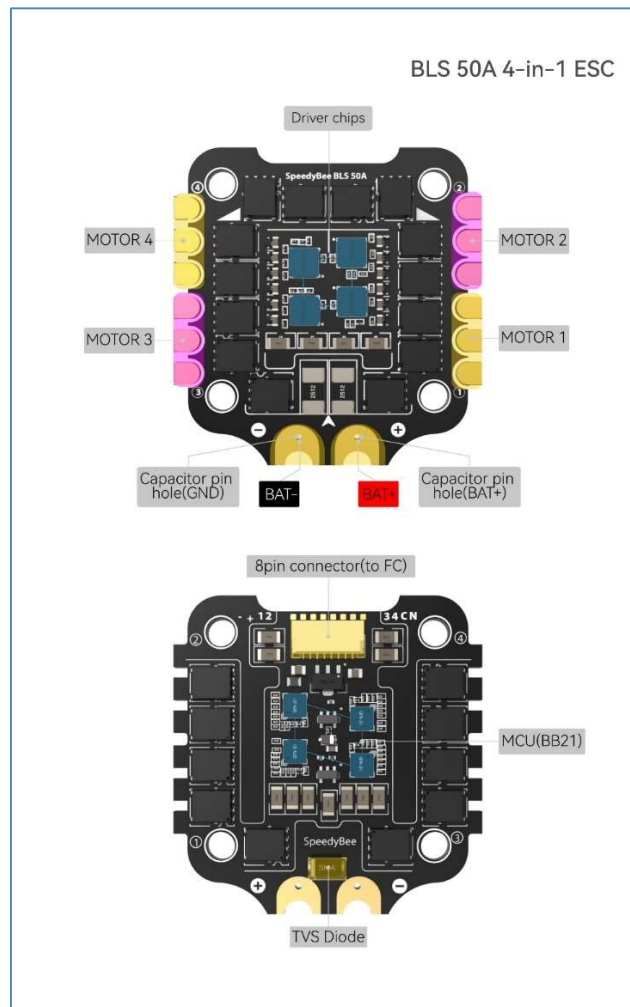


Ilustración 57 - BLS ESC 4 en 1.

Extraído de:

<https://es.aliexpress.com/item/1005005219022292.html?spm=a2q0o.cart.0.0.c2ae7a9d2fc2rp&mp=1&gatewayAdapt=glo2esp>

3.1.1.4 CONTROLADORA DE VUELO

La FC (siglas en inglés de Fly Controller) o controladora de vuelo, es la tarjeta encargada de recibir y transmitir las señales correspondientes para la gestión de los diferentes componentes electrónicos del vuelo (Impulso de los motores, distribución de la energía, actuación en base a la señal recibida, ...)

Para este proyecto la controladora de vuelo seleccionada es la SpeedyBee F405 V3. Se ha seleccionado dicha controladora por la capacidad de procesamiento que tiene (gama intermedia por debajo de su superior SpeedyBee F7) y a causa de venir en pack con el stack 4 en 1 ESC de 50A.

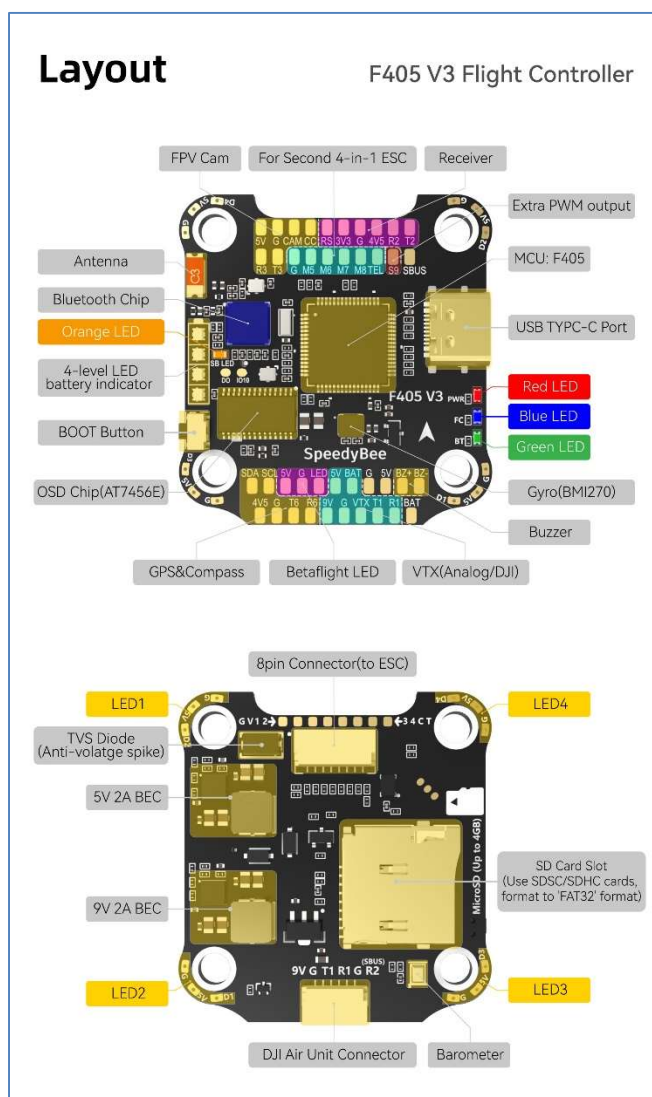


Ilustración 58 - Controladora de vuelo SpeedyBee F405 V3.

Extraída de:

<https://es.aliexpress.com/item/1005005219022292.html?spm=a2q0o.cart.0.0.c2ae7a9d2fC2rp&mp=1&gatewayAdapt=glo2esp>

3.1.1.5 TRANSMISOR DE VIDEO VTX

El transmisor de video o VTX es el encargado de transmitir el video captado por la cámara FPV y transmitirlo a las gafas FPV. Para ello usa una antena y alimentación suministrada por la FC.

Para este proyecto, el transmisor elegido es el JHEMCU-VTX20-600 por su relación de precio y el buen feedback general en el mercado.



Ilustración 59 - VTX JHEMCU.

Extraída de:

https://es.aliexpress.com/item/1005002260476408.html?spm=a2q0o.order_list.order_list_main.10.8f22194ddegcM&gatewayAdapt=glo2esp

Este VTX viene con una antena de una calidad cuestionable, por lo que lo recomendable es sustituirla por una antena tipo Lollipop y adaptarla al VTX a través de un pigtail.

Dado que para este proyecto no se van a utilizar las Gafas FPV, solo se realizará el montaje de la VTX sin la antena, de tal forma, que en caso de querer usarse, solo habrá que conectarlo.

3.1.1.6 MOTORES

Los motores son los encargados de convertir la energía eléctrica de la batería en energía cinética en forma de rotación de un eje, el cual, unido a las hélices hace que giren y produzcan sustentación.

Para este proyecto, dado que la intención es que la función del dron va a ser polivalente, éste debe ser dotado de suficiente capacidad como para poder volar con cargas de pago de diferentes pesos y dimensiones.

Se establece la siguiente tabla con la relación de estimación de peso por componente:

COMPONENTE	PESO ESTIMADO (g)
SpeedyBee F405 V3 FC + 50A ESC Stack	9,6
VTX	3
Receptor ELRS	0,47
Camara FPV	6
Hélices	20
Motores	112
Batería 4S 1300mah	160
Estructura + quincallería	300
TOTAL	611,07

Ilustración 60 - Tabla de estimación de pesos.
Fuente: Realización propia.

Así pues, se utilizarán motores con buena relación potencia peso. En este caso, 4 motores eléctricos Makerfire DX2205 de 2300KV Brushless.



Ilustración 61 - Motores Brushless DX2205 2300KV.

Extraído de: https://www.amazon.es/dp/B075731ZJM?psc=1&ref=ppx_yo2ov_dt_b_product_details

Viendo las especificaciones de dichos motores, se puede comprobar que efectivamente estos motores dotan al dron de capacidad suficiente para elevar entre 2,6 y 3,8kg.

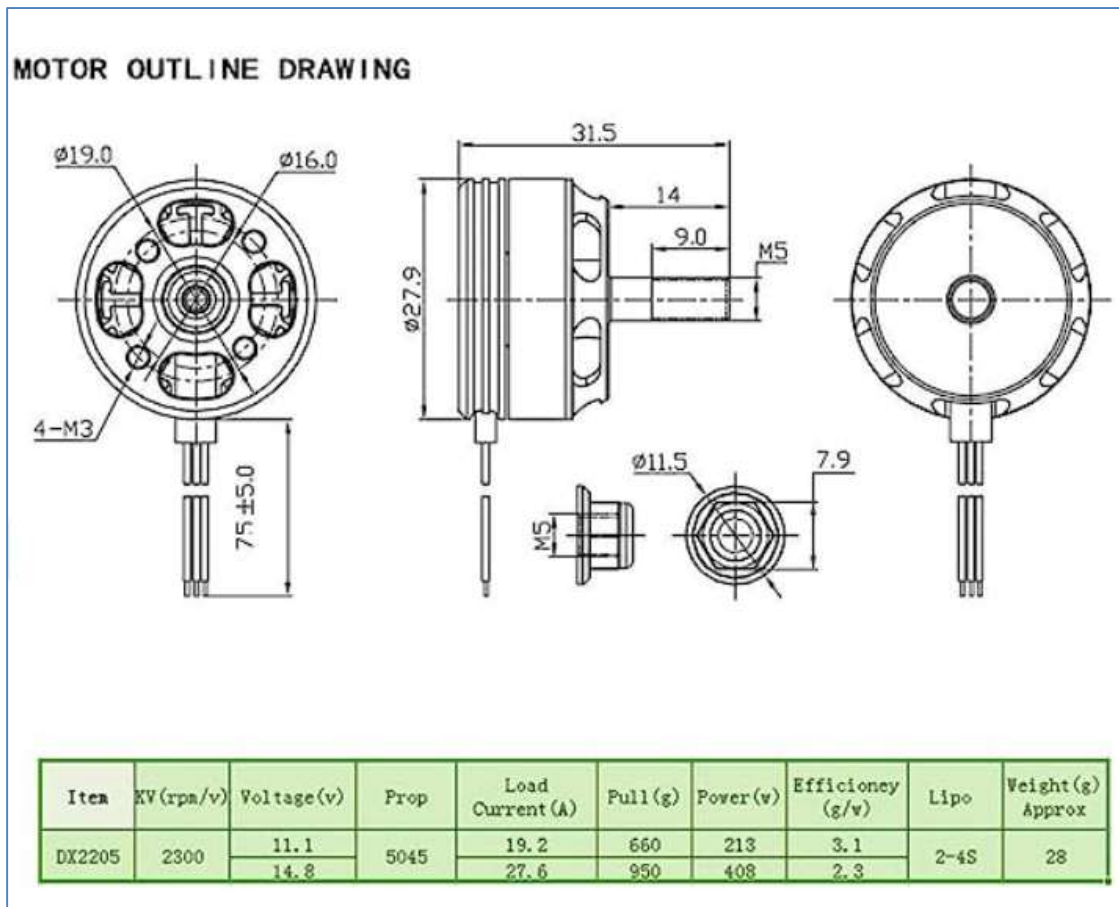


Ilustración 62 - Especificaciones técnicas de los motores brushless DX2205 2300KV.
Extraído de: https://www.amazon.es/dp/B075731ZJM?psc=1&ref=ppx_yo2ov_dt_b_product_details

3.1.1.7 BATERÍA

Por último, los sistemas del dron requieren alimentación energética. La encargada de proporcionar dicha energía es la batería.

Existen numerosos tipos de baterías, cada tipo con sus pros y sus contras, pero hoy en día las baterías con mejor rendimiento son las de polímero de Litio, más conocidas como Li-Po.

Estas baterías están compuestas por celdas en paralelo, lo cual incrementa su capacidad de carga. El funcionamiento de las mismas se fundamenta en la alternancia de electrones entre los electrodos mediante un material conductor.

La batería elegida es una Li-Po de 1300mAh 4S con 14,8V. Es una batería con 4 celdas y una tasa de descarga de entre 120C y 240C.

El conector de la batería es un XT60, conector standard que es perfecto para el cable de alimentación incluido con el stack de FC y ESC. A su vez, también incluye un cable de balanceo,

este cable, permite que el cargador pueda balancear la carga simultáneamente haciendo que cada una de las celdas de la batería se cargue a máxima capacidad y por ende, alargue su vida útil.

La batería elegida, tiene una capacidad justa para realizar la prueba de vuelo. En función de la misión a realizar con el dron, se puede utilizar una batería de mayor capacidad con conector XT60 y 4S (Limitación establecida por el fabricante de la FC).





*Ilustración 63 - Batería seleccionada.
Fuente: cámara propia.*

3.1.1.8 HELICES

Hoy en día en el mercado existen gran variedad de hélices en lo que se refiere a tamaño, número de palas y materiales de construcción. Las más comunes son las que están fabricadas de nylon o ABS, pero también podemos encontrar hélices de una calidad superior, hechas de fibra de carbono.

En general, lo óptimo es utilizar hélices de plástico, ya que son más baratas y la diferencia entre dichas hélices con las de fibra de carbono en relación durabilidad – precio compensa, dado que estos componentes son los que más tienden a romperse de todo el conjunto del dron.

La designación de las hélices suele venir descrita de dos formas en función del fabricante:

-  L x P x B
-  LLPP x B

Donde:

La longitud de la hélice (L) viene referida de punta a punta. A veces se denomina como diámetro a causa de la circunferencia que genera al girar. La unidad de medida de L es en pulgadas (1 pulgada = 2,54cm).

El paso de la pala (P) indica la inclinación de la hélice respecto a la horizontal.

La B, hace referencia al número total de palas de la hélice.

Así pues, una hélice con cualquiera de las siguientes dos designaciones:

5035x3
5x3,5x3

Indica que tiene 5" de longitud, 35º de inclinación y 3 palas.

A parte de esta designación, ocasionalmente también se puede encontrar más información, como el sentido de giro de la hélice o el tipo de punta de pala.

Dado que la hélice óptima viene de probar, se elige una hélice 5045x3 de plástico, dado que viene como recomendación al tipo de motor elegido.



Ilustración 64 - Hélices seleccionadas.

Funete: https://www.amazon.es/dp/B078K4ND63?ref=ppx_yo2ov_dt_b_product_details&th=1

3.1.2 PLANO ELÉCTRICO

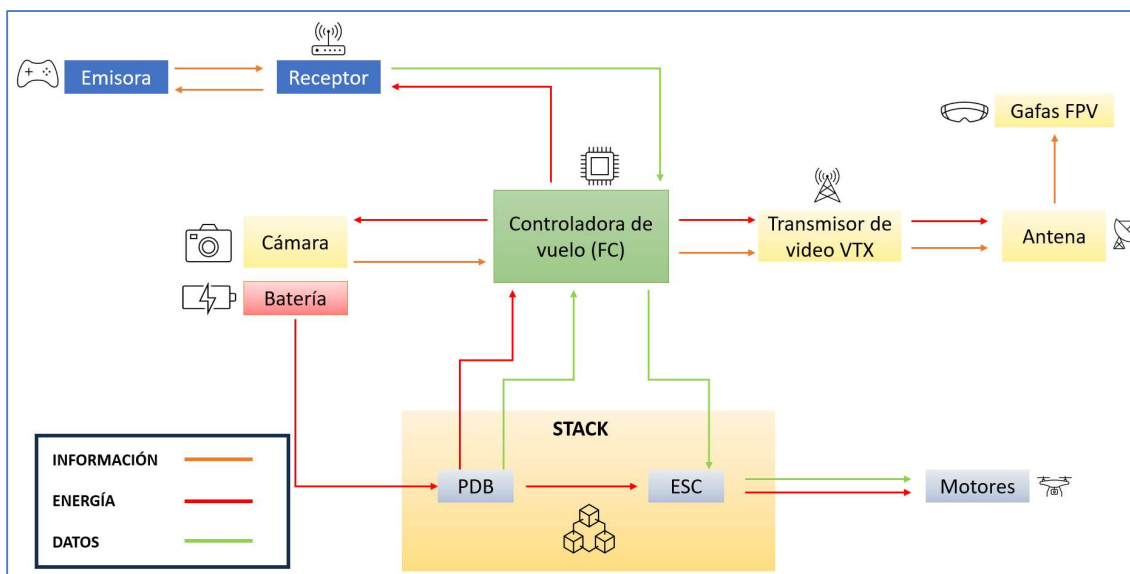


Ilustración 65 - Esquema eléctrico del dron.
Fuente: Realización propia.

La emisora es la encargada de enviar la señal al receptor del dron. A su vez, el receptor también envía información de vuelta a la emisora y además se encarga de transformar esa información en datos los cuáles son enviados a la controladora de vuelo. Ésta procesa los datos y envía los comandos necesarios a la PDB y a los ESC (que en el caso de este proyecto, se encuentran en un mismo stack). La batería, alimenta directamente a la PDB (Power Distribution Unit), la cual se encarga de distribuir la energía al resto de componentes en base a los datos adquiridos a través de la controladora de vuelo. Esto incluye a los ESC (Electronic Speed Controller), el cual es gestionado directamente por la controladora de vuelo, y regula el paso de corriente a los motores en base a los datos procesados por dicha controladora.

Transversalmente, está el sistema de video, el cual se compone por la cámara, que es la encargada de recoger en cada momento la imagen y enviarla al transmisor de video VTX pasando por la controladora de vuelo, la cual a su vez incluye información sobre el estado de los sistemas, en base a la configuración que se haya establecido previamente con el software. Toda esta información se envía al transmisor de video VTX, el cual mediante la antena la hace llegar a la pantalla de las gafas FPV (First Person View).

3.1.3 ENSAMBLAJE DE COMPONENTES

3.1.3.1 Cable batería – PDB

Se comienza ensamblando el cable dedicado a la conexión de la batería al stack de PDB-ESC, previo a este paso se suelda el condensador incluido en el pack para evitar sobretensiones en la placa.

Se presta especial atención a soldar el cable rojo en el positivo y el negro en el negativo, de manera que se evita futuros cortocircuitos:

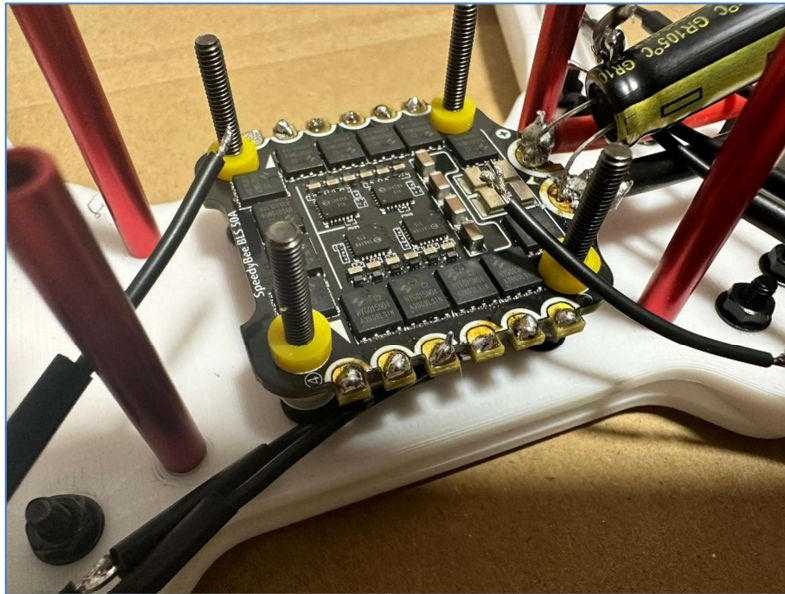


Ilustración 66 - Cables de batería y condensador soldados al stack de PDB - ESC.
Fuente: Fotografía propia.

También se realiza el pre-estañado de los pads donde irán soldados los cables de los motores.

3.1.3.2 Motores – ESC

Para el ensamble de los motores a la ESC, se realiza la soldadura de cada uno de los tres cables de cada uno de los motores a los pads dedicados para ello en la ESC según el siguiente esquema:

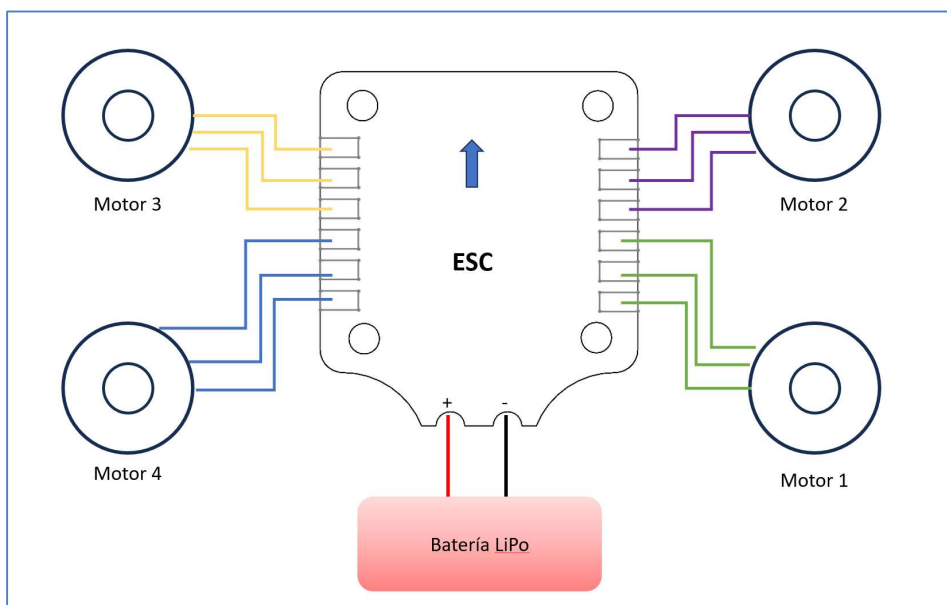


Ilustración 67 - Esquema de conexión de motores y Cables de batería al Stack PDB - ESC.
Fuente: Fotografía propia.

En el momento de soldar los motores al stack, se comprueba que los cables de serie de dichos motores son demasiado cortos para cubrir la distancia de la pata hasta el stack, por lo que se realiza un empalme con cable 22AWG con recubrimiento de silicona (tiene la capacidad de aguantar temperaturas de 200°C) y se cubre la parte del empalme con termo retráctil para proteger la zona (este paso se realiza más adelante después de testear las conexiones conectando la batería por si hubiera que reparar las soldaduras del empalme).



*Ilustración 68 - Montaje de los motores, empalme y soldadura al stack.
Fuente: Fotografía propia.*

3.1.3.3 Cámara – Controladora de Vuelo (FC)

Dentro de la controladora se encuentra un UART (conjunto de pads dedicados) para la cámara VTX. Este UART se compone de los siguientes puertos:

- **CC:** Por este puerto sale corriente de batería.
- **CAM:** Puerto de entrada de video.
- **G:** Puerto de entrada de tierra.
- **5V:** Puerto por el que sale corriente a 5V.

En este caso se conectan el cable de video, y el cable de tierra a sus respectivos pads, y la duda surge en si conectar el positivo al puerto CC o al 5V. Para el caso de la cámara, hay que asegurarse de que si ésta acepta el voltaje de la batería o no. Esto se ve en las especificaciones de la cámara. Si la batería desarrolla un voltaje de 14,8 V (4S) y la cámara no soporta dicho

voltaje, si el cable positivo se conecta al puerto CC de la controladora, la cámara se quema por sobretensión. Ante la duda, se decide conectar la cámara al puerto de 5V.

El montaje se realiza según el siguiente esquema:

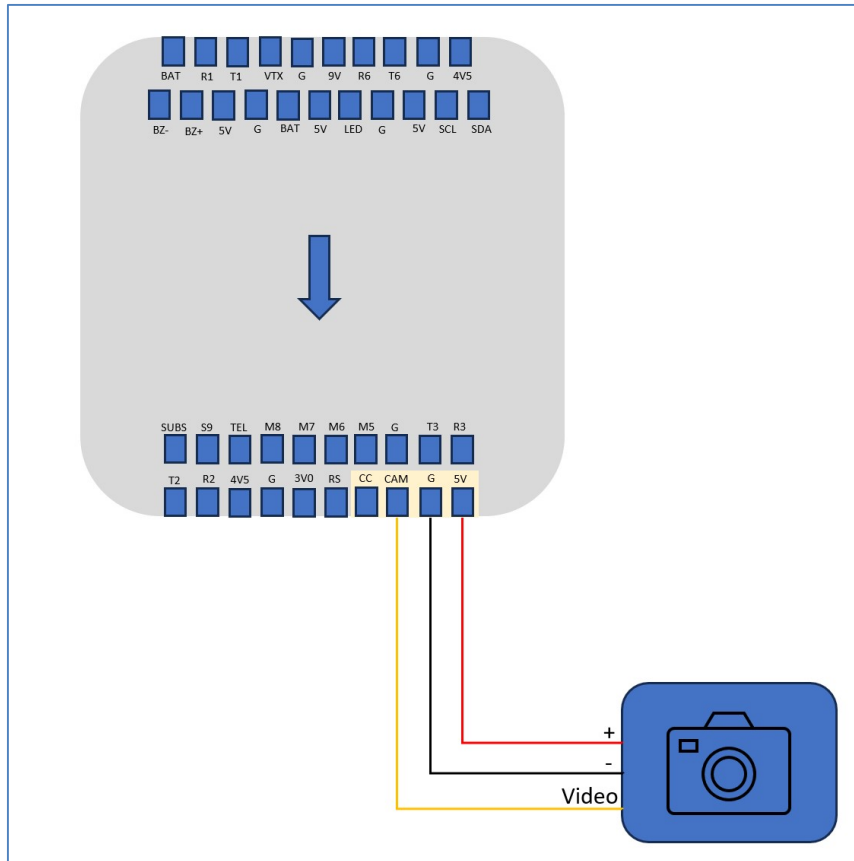


Ilustración 69 - Esquema de conexión de cámara FPV a FC.
Fuente: Realización propia.

El montaje queda realizado según la siguiente imagen:

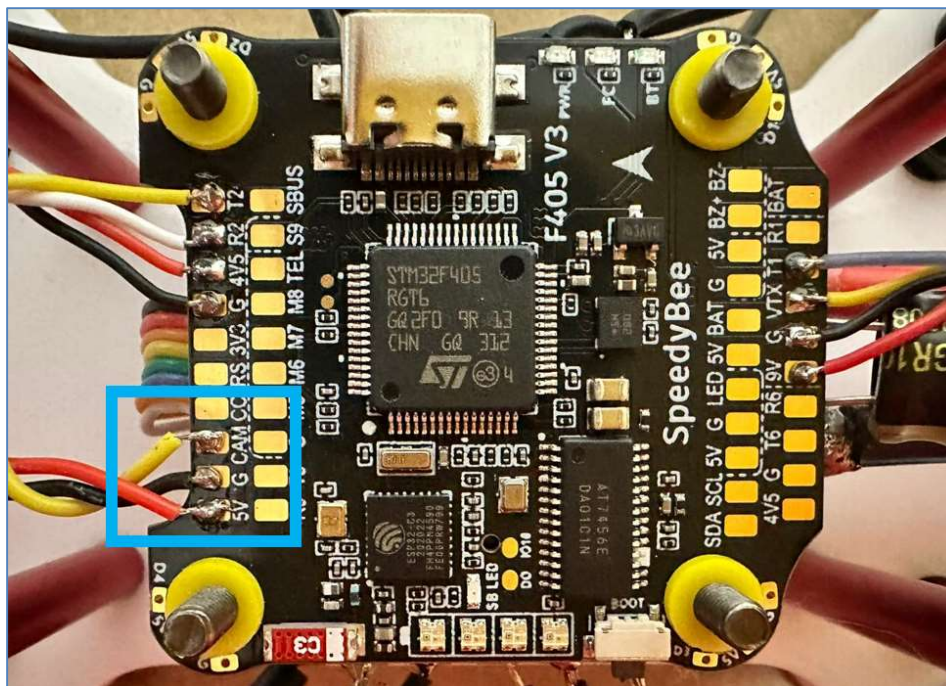


Ilustración 70 - Conexión real de cámara FPV a FC.
Fuente: Fotografía propia.

3.1.3.4 VTX – Controladora de Vuelo (FC)

En el VTX se incluye un mazo de cables con un conector. Dicho mazo de cables se conecta al transmisor y se pueden encontrar los siguientes cables (Identificados en el mismo transmisor):

IRC: es el cable para controlar el VTX desde el software de programación (Betaflight) o desde la emisora. Es un cable necesario.

DCIN: Cable de corriente entrante al VTX. Es un cable necesario. Dado que el VTX soporta voltajes de 2S – 6S, se utilizará este cable de alimentación en vez del de 5V, dado que el voltaje mínimo que necesita el VTX es 7,4V (2S)

GND: Cable de corriente negativo. Es necesario.

Video: La imagen captada por la cámara FPV pasa a la FC y de la FC al VTX por este cable. Luego, desde el VTX se emite por la antena a las gafas FPV. También es necesario.

GND: Cable de corriente negativo para la alimentación de 5V. Se utilizará el DCIN y su GND asociado, por lo tanto este cable no será necesario.

+5V: Cable de alimentación positiva de 5V. Por este puerto no se aporta voltaje suficiente para que funcione el VTX por lo que se utilizará el DCIN. Este cable no será necesario.

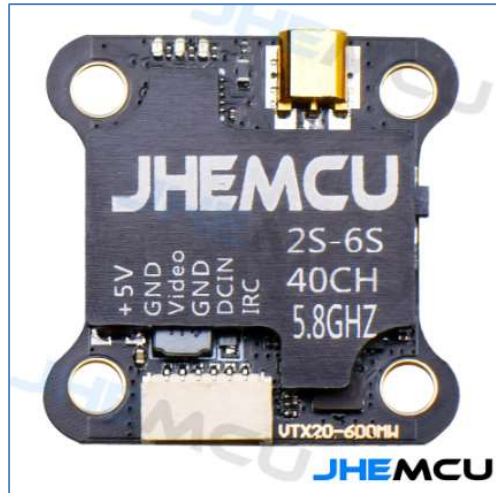


Ilustración 71 - Especificaciones y conexiones del VTX.

Extraído de:

https://es.aliexpress.com/item/1005002260476408.html?spm=a2q0o.order_list.order_list_main.10.8f22194ddegcM F&qatewayAdapt=ql02esp

Las conexiones se realizan siguiendo el siguiente esquema:

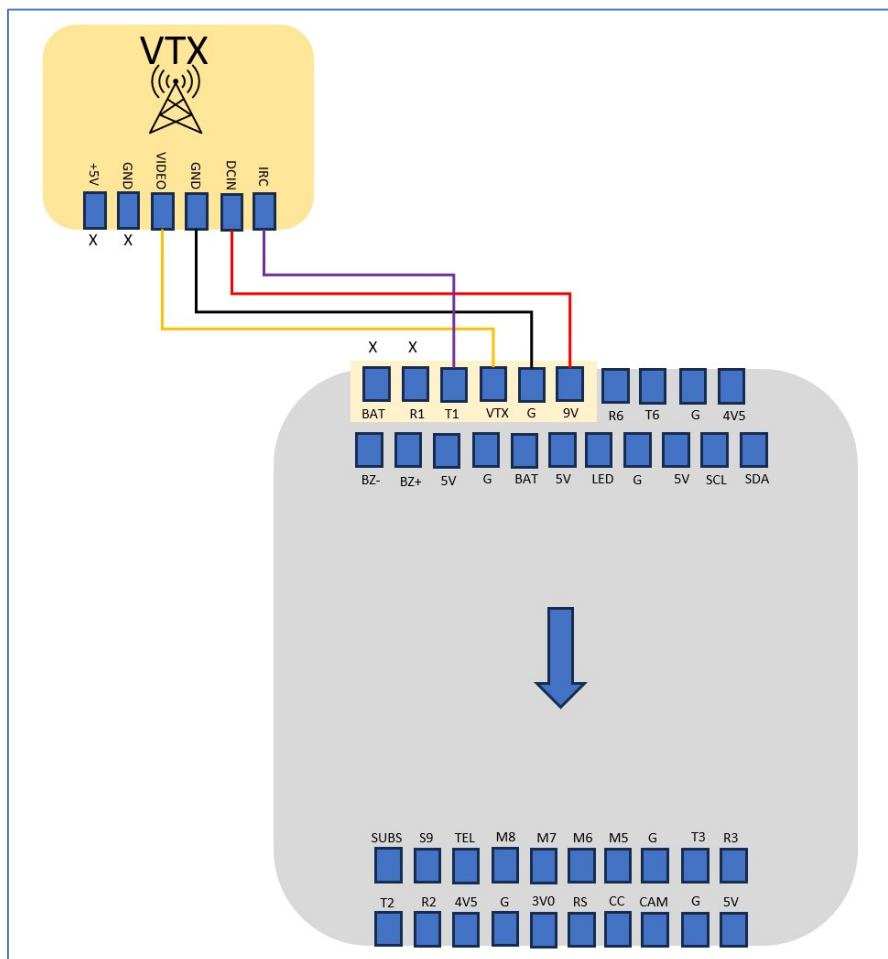


Ilustración 72 - Esquema de conexión de transmisor VTX a FC.
Fuente: Realización propia.

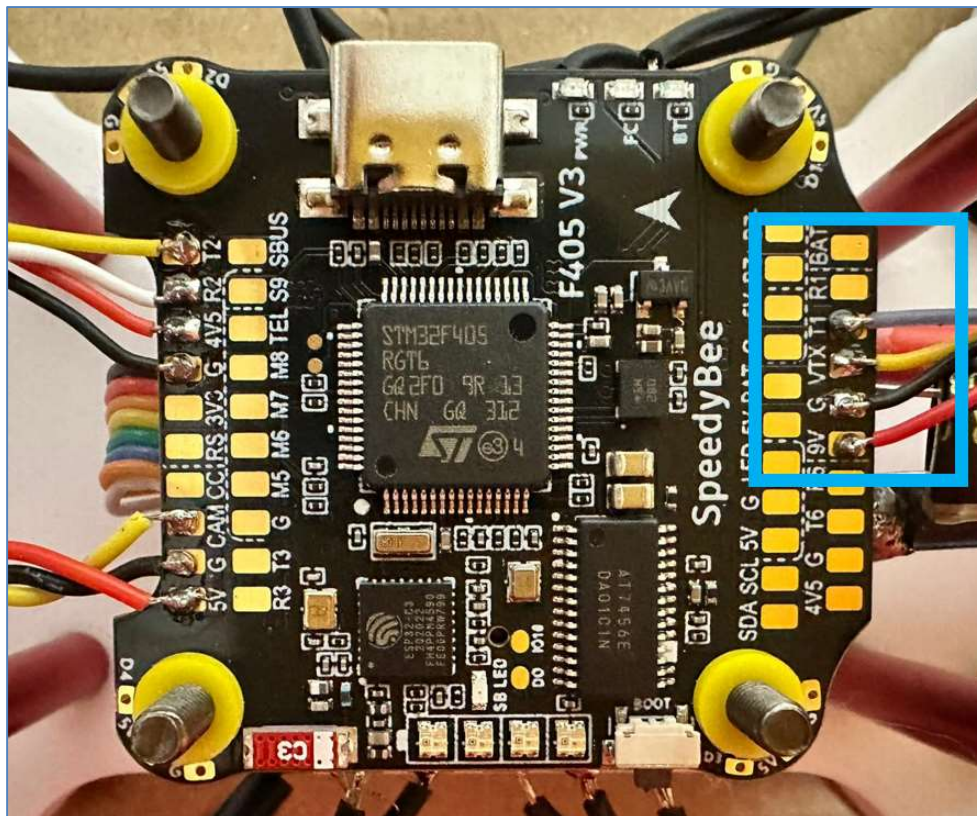


Ilustración 73 - Conexión real de transmisor VTX a FC.
Fuente: Fotografía propia.

3.1.3.5 Receptor ELRS – Controladora de Vuelo (FC)

El receptor ELRS tiene 4 puertos de conexión. V, R, T y GND :

- **V:** Es el puerto de alimentación positiva.
- **GND:** Es el puerto de alimentación negativa.
- **R:** Es el puerto de recepción de información de la FC, la cual se envía a la emisora. Se conectará a un puerto de transmisión de la FC.
- **T:** Es el puerto de transmisión de información recibida desde la emisora. Se conectará a un puerto de recepción de la FC.

Se realiza la conexión al UART 2 según el siguiente esquema:

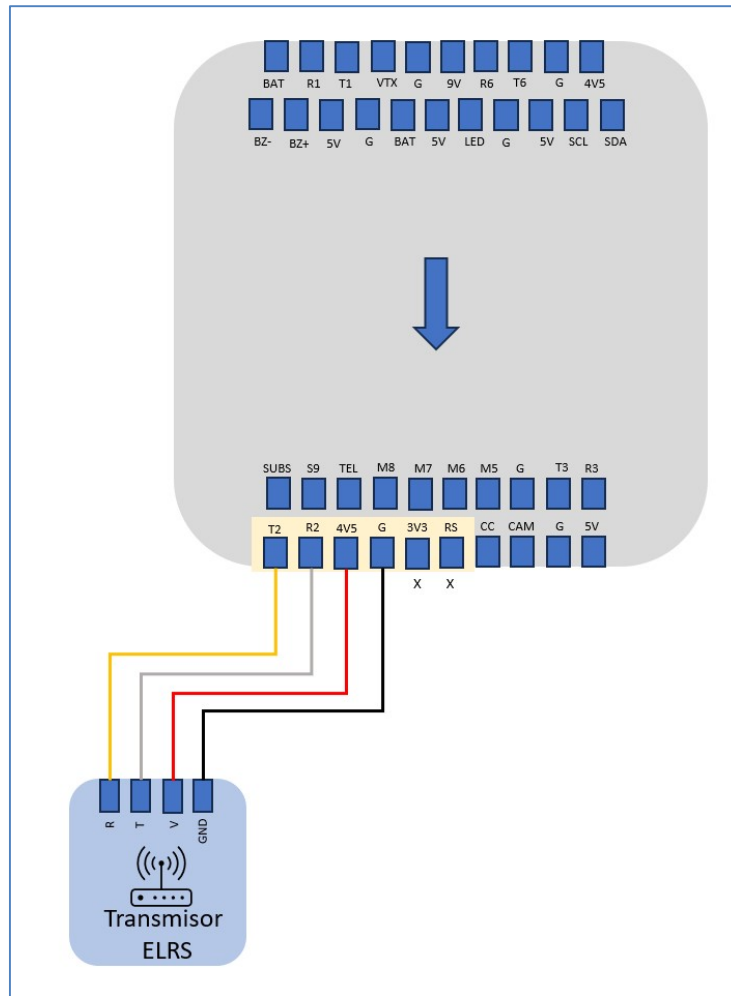


Ilustración 74 - Esquema de conexión de receptor ELRS a FC.
Fuente: Realización propia.

El cable de alimentación positiva se conecta al puerto 4V5 de la controladora. Dicho puerto está conectado con la toma de USB-C, lo cual implica que al conectar el ELRS a ese puerto, el receptor tendrá alimentación sin necesidad de una alimentación externa mediante batería LiPo. Esto es muy bueno para hacer la calibración sin necesidad de dicha alimentación externa.

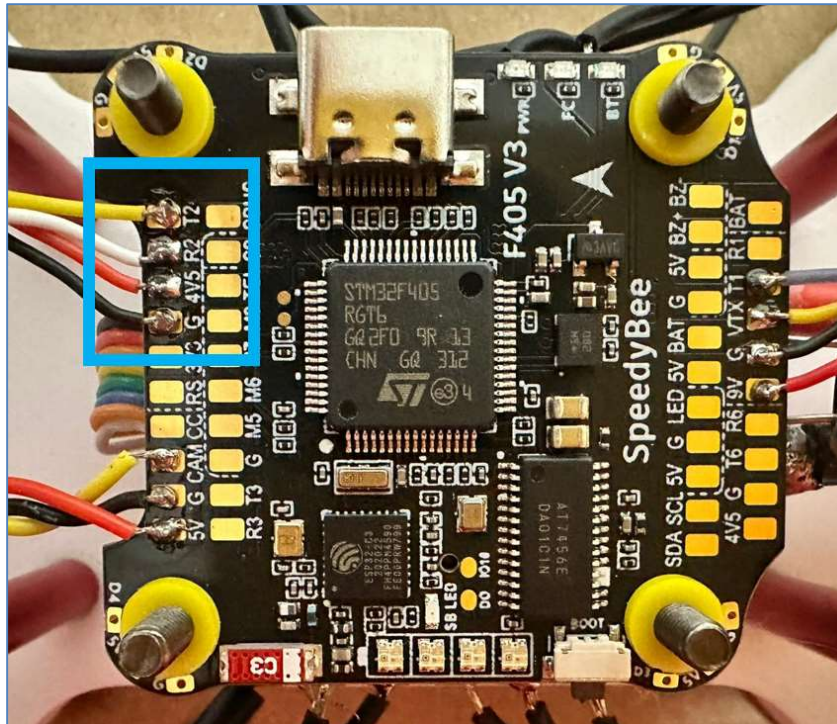


Ilustración 75 - Conexión real de receptor ELRS a FC.
Fuente: Fotografía propia.

3.1.3.6 STACK PDB/ESC – Controladora de Vuelo (FC)

La conexión entre el stack de la PDB/ESC y la controladora de vuelo (FC) se realiza utilizando el cable que ya viene incluido en el kit. Haciendo de esta conexión, la más simple de todo el ensamblaje.

Dicha conexión viene especificada en los datos técnicos del kit:

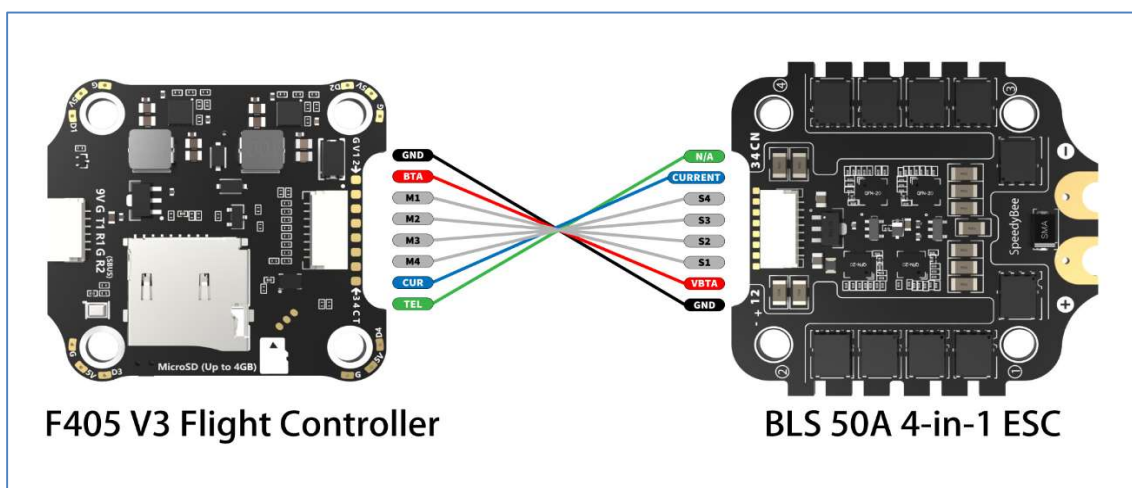
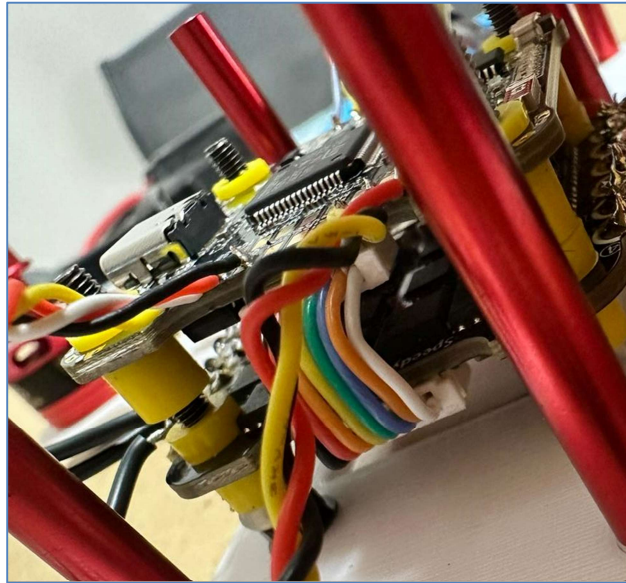


Ilustración 76 - Esquema de interconexión entre stack PDB/ESC - FC.

Extraído de:

https://es.aliexpress.com/item/1005005219022292.html?spm=a2q0o.order_list.order_list_main.20.8f22194ddegcM F&qatewayAdapt=qlo2esp



*Ilustración 77 - Imagen real de la conexión entre stack PDB/ESC y controladora de vuelo.
Fuente: Fotografía propia.*

3.2 Diseño y Fabricación Estructural

3.2.1 ELECCIÓN DEL MATERIAL

Para seleccionar el material óptimo, se realizará una caracterización de diferentes materiales. Para la impresora 3D de la que se dispone, se baraja la posibilidad de utilizar uno de los siguientes materiales:

-  PLA
-  PETG

Para la aplicación que se pretende realizar, se realizará el siguiente proceso:

1. Se diseñará una probeta según la norma UNE EN ISO 527 – 2 – 12 de plásticos para ensayos de tracción y posteriormente se imprimirán varias probetas de cada uno de los tipos de material que se pretende caracterizar. Dichas probetas serán fabricadas con diferentes porcentajes de relleno y con dos orientaciones diferentes, unas con la base en la cama de impresión (Horizontal) y otra de canto (Vertical).
2. Se realizará un ensayo de tracción de las probetas fabricadas según la norma UNE EN ISO 527 – 2 – 12. Y se recabarán los resultados.
3. Se analizarán los resultados obtenidos y se hará una comparativa con el fin de obtener el material óptimo para la aplicación que se pretende realizar.

4. En paralelo, se realizará un estudio de las cargas que deberá soportar el dron en el caso de operación más crítica posible y se comparará con los resultados obtenidos en el ensayo de tracción.
5. Para finalizar, se realizará un análisis estructural FEM sobre el diseño propio de los brazos del dron.

3.2.1.1 MATERIALES.

Para comenzar, se explicará un poco acerca de los 2 materiales candidatos para la fabricación del dron.

3.2.1.1.1 PLA (ácido poliáctico)

El material más utilizado en impresión 3D es el ácido poliáctico o PLA. Esto se debe a su coste, las propiedades y su facilidad de uso. Está fabricado con materiales obtenidos a partir de la caña de azúcar, almidón de maíz y de otros productos con alto contenido en almidón. Dada su composición, a 60°C es biodegradable. Su temperatura de transición vítrea oscila entre los 60 a los 65°C y la temperatura de fusión oscila alrededor de los 180°C. A causa de esto junto a la facilidad de adherencia entre capas y a sus propiedades mecánicas, hacen que sea un material muy versátil y válido para diversas aplicaciones.

Este material se está utilizando en aplicaciones dentro de la medicina (implantes en huesos o tejidos), envases (bandejas, bolsas y botellas) e industria textil (telas de tapicería o toldos).



Ilustración 78 - Bobina PLA.

Extraída de: https://www.amazon.es/dp/B0BQLTV28D?ref=ppx_yo2ov_dt_b_product_details&th=1

Parametros del producto			
Tipo de filamento	Ender-PLA Filament	Velocidad de impresión	40-80mm/s
Diámetro del filamento	1.75±0.02mm	Superficie de impresión	Plataforma de vidrio de carborundo, Plataforma PEI, Cinta crepé, Pegamento PVP
Temperatura de impresión	190-230°C	Característica	Bobinado limpio, sin obstrucciones, sin enredos, sin burbujas, sin deformaciones, buena compatibilidad
Peso neto del producto	1kg/2.2lb	Certificación	RoHS, REACH, MSDS

Ilustración 79 - Parámetros del PLA.

Extraído de: https://www.amazon.es/dp/B0BQLTV28D?ref=ppx_vo2ov_dt_b_product_details&th=1

3.2.1.1.2 PETG (PolyEthylen Terephthalato con glicol)

El PETG es un producto derivado de la combinación entre el PET (Polyethylen Terephthalato) y glicol. Esta combinación mejora considerablemente las propiedades del PET. Algunas de las mejoras que se obtienen es la ralentización de la cristalización debida a la aplicación de esfuerzos sobre el material, consecución de objetos más translúcidos , reducción del punto de fusión (aportando una mayor facilidad a la hora de extruir piezas y aportándoles mayor resistencia) y una mayor estabilidad térmica.

Su temperatura de fusión está en torno a 230 – 250°C. Su temperatura de transición vítrea oscila en los 85°C.



Ilustración 80 - Bobina de PETG.

Extraída de: https://www.amazon.es/dp/B07XRK9K7Q?psc=1&ref=ppx_vo2ov_dt_b_product_details

Value:

Filament diameter(mm)	1.75±0.03
N.W(kg)	1
Specific gravity (g/cm ³)	1.27
First layer print temperature(°C)	230
Recommend print temperature (°C)	220~235
Recommend print speed(mm/s)	30~60
Recommend heated bed(°C)	80~90
Heat deflection Temperature (0.45 MPa) (°C)	70
Moisture Absorption	Bad
Recommend storage temperature(°C)	0~32

Ilustración 81 - Parámetros del PETG.

Extraído de: https://www.amazon.es/dp/B07XRK9K7Q?psc=1&ref=ppx_yo2ov_dt_b_product_details

3.2.1.2 DISEÑO DE LA PROBETA.

Para realizar el ensayo de tracción, se realiza el diseño en SolidWorks de la probeta siguiendo la norma UNE EN ISO 527 – 2 – 12.

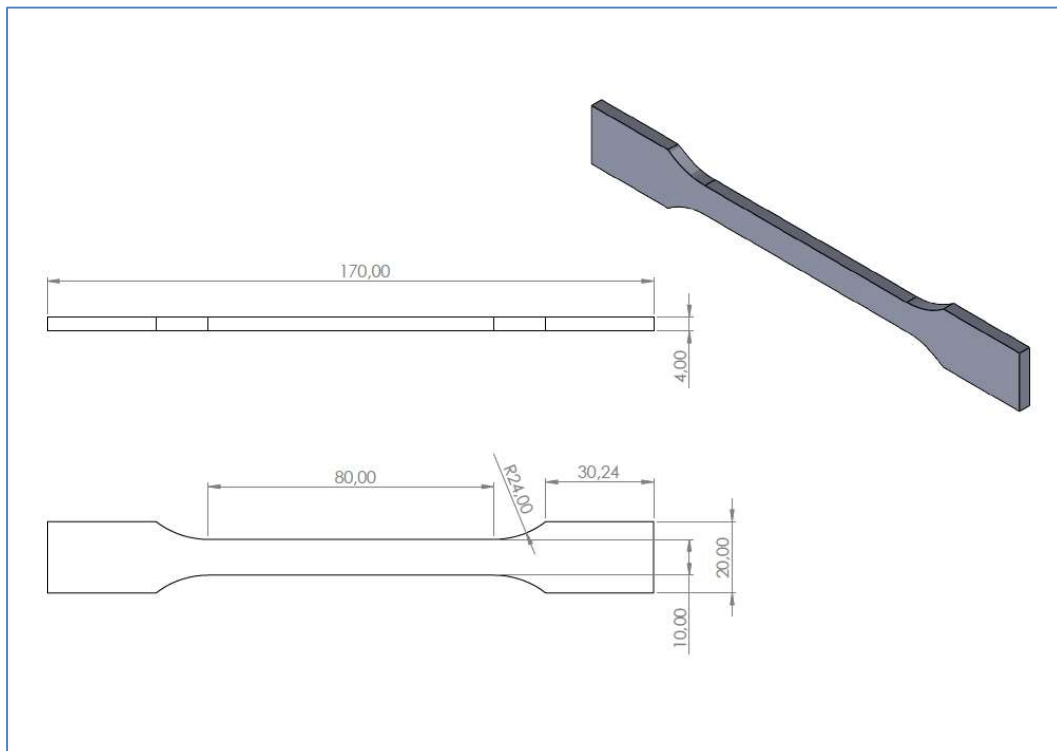
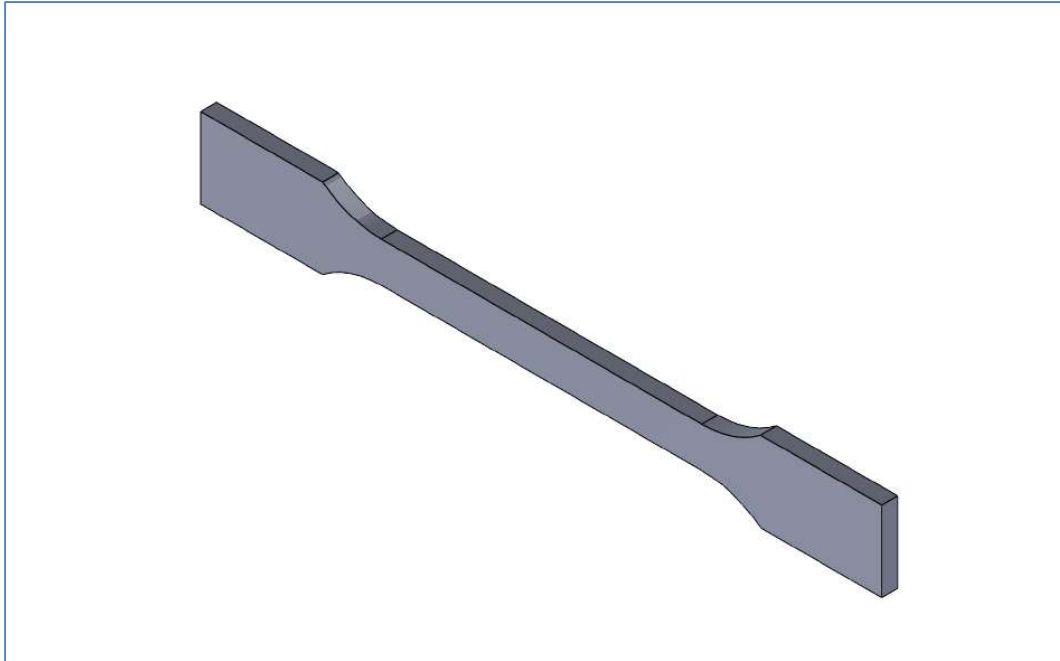


Ilustración 82 - Vistas de la probeta para el ensayo de tracción.
Fuente: Diseño propio a partir de norma UNE EN ISO 527 – 2 – 12.

El resultado tendrá el siguiente aspecto:

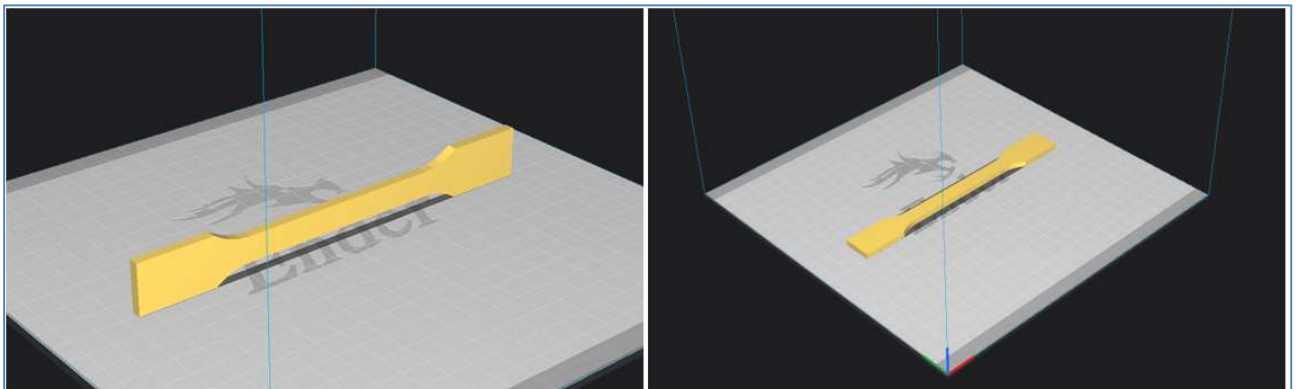


*Ilustración 83 - Vista en perspectiva de la probeta.
Fuente: Diseño propio a partir de norma UNE EN ISO 527 – 2 – 12.*

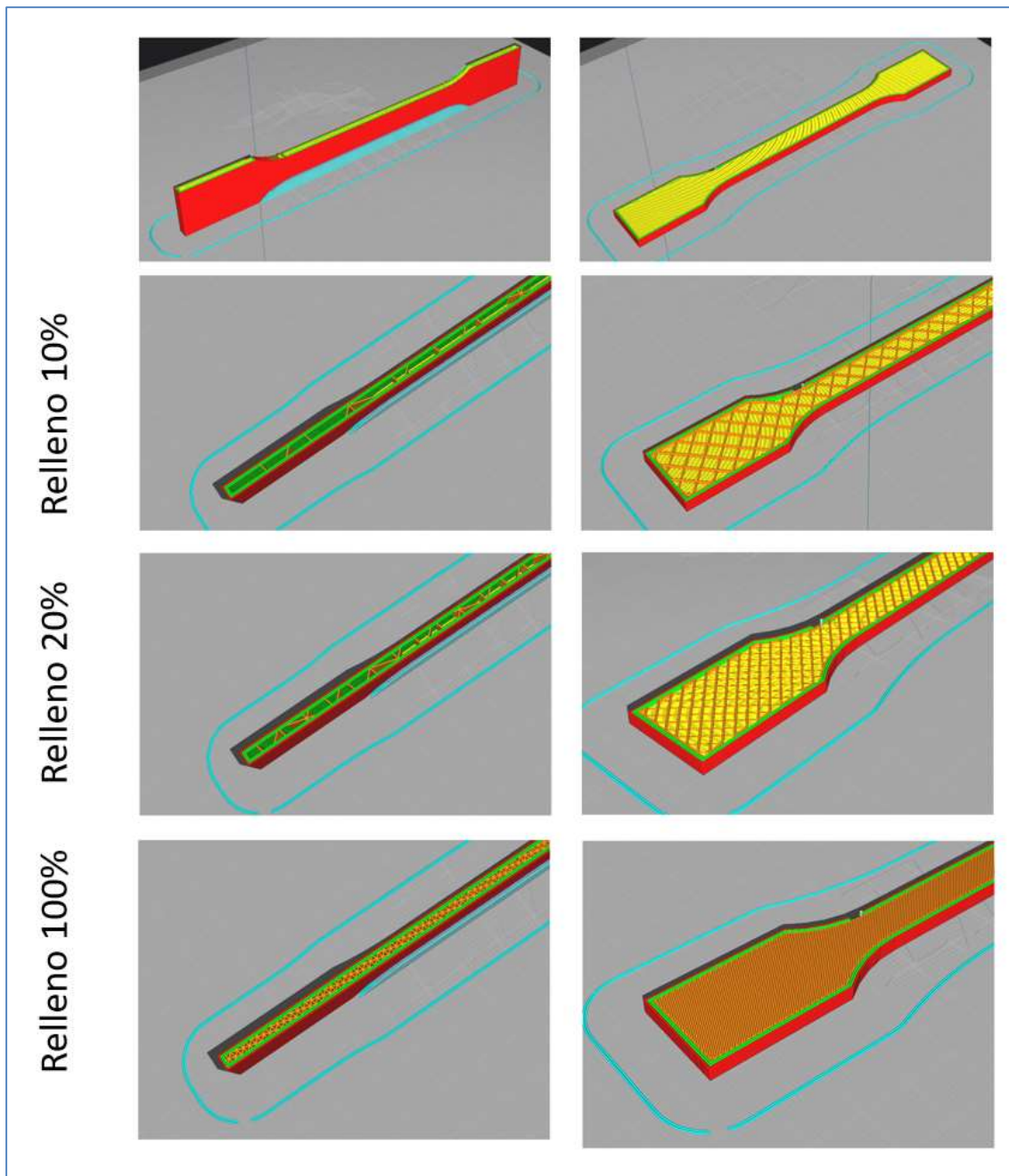
Una vez diseñada la probeta, se procede a realizar la impresión en 3D de ambos materiales. Dado que ambos materiales son plásticos, la norma que les aplica es la misma.

Para la correcta realización de la prueba, se decide imprimir varias probetas de cada uno de los materiales con variación en el relleno y el sentido de impresión (configurado con el programa UltiMaker Cura) para la caracterización.

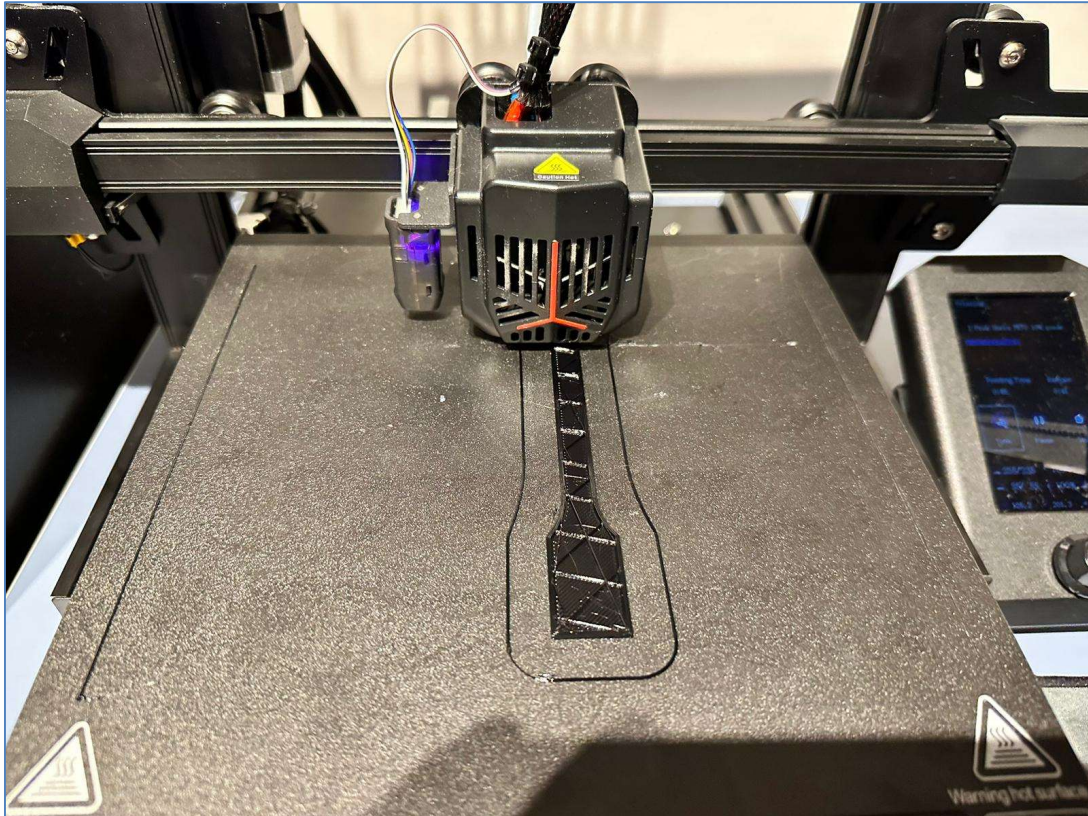
Por un lado se imprimen las probetas con la cara principal sobre la cama (sentido horizontal) con relleno del 10% , 20% y 100% y por otro lado se imprime el mismo número de probetas con la misma configuración de rellenos pero de canto sobre la cama (sentido vertical):



*Ilustración 84 - Izqda: probeta en sentido vertical; Dcha: probeta en sentido horizontal.
Fuente: Realización propia.*



*Ilustración 85 - Diferentes configuraciones de relleno para cada tipo de probeta.
Fuente: Realización propia.*



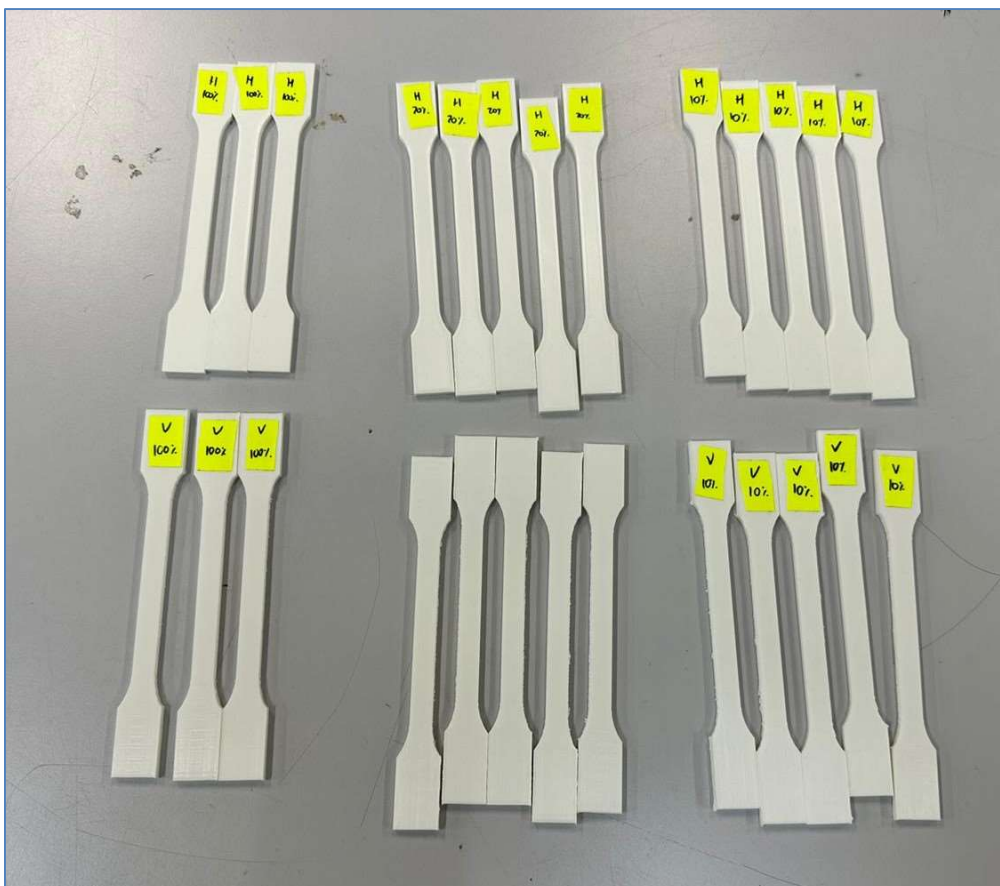
*Ilustración 86 - Impresión 3D en PETG de la probeta.
Fuente: Fotografía propia.*



*Ilustración 87 - Probeta de PETG con 100% de relleno.
Fuente: Fotografía propia.*



*Ilustración 88 - Probetas fabricadas en PETG con diferentes rellenos.
Fuente: Fotografía propia.*



*Ilustración 89 - Probetas fabricadas en PLA con diferentes rellenos.
Fuente: Fotografía propia*

3.2.1.3 ENSAYO DE TRACCIÓN.

El ensayo de tracción se realiza para comprobar el comportamiento del material cuando es sometido a fuerzas exteriores. De entre todos los tipos de ensayos mecánicos que se le pueden hacer a un material, este es el más fundamental, dado que aporta mucha información de las propiedades mecánicas del material, son simples y están estandarizados.

Este ensayo consiste en someter a una probeta de material a una fuerza de tracción que estiran dicha probeta hasta el punto de rotura mientras se toman datos de la deformación (elongación de la probeta) y de las fuerzas aplicadas en cada instante.

Para realizarlo, se utiliza una máquina de tracción, la cual consiste principalmente en una máquina con dos mordazas donde se sujeta las probetas y un mecanismo que comprime o separa las mordazas en el eje vertical (en función de si se quiere realizar un ensayo de tracción o un ensayo de compresión) y un ordenador con un software que recoge los datos y a la vez realiza una gráfica.



*Ilustración 90 - Máquina utilizada en el ensayo de tracción.
Fuente: Fotografía propia.*

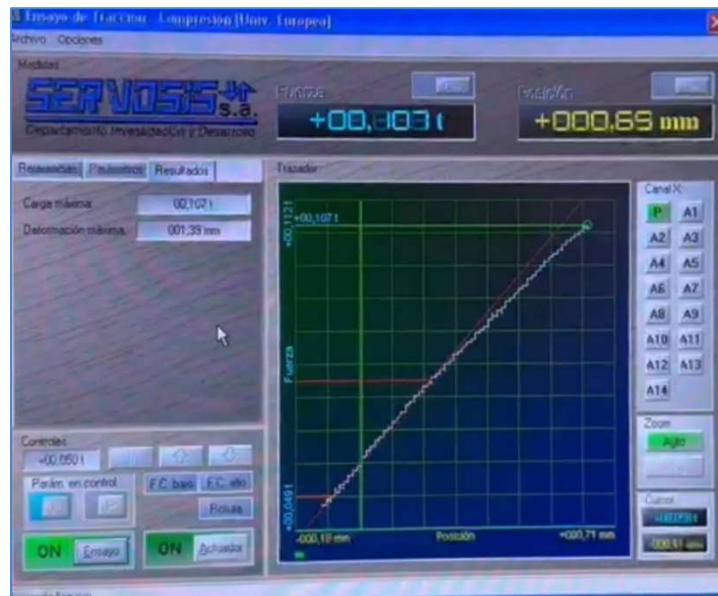


Ilustración 91 - Software utilizado en el ensayo.
Fuente: Fotografía propia.

Consideraciones del ensayo:

- ✚ No se dispone de extensómetro.
- ✚ Por motivos de planificación y disponibilidad del laboratorio, no se dispone del tiempo suficiente para realizar ensayo a todas las probetas.
- ✚ Se han fabricado las probetas en dos sentidos: con la cara sobre la cama de impresión (Probetas Horizontales) y de canto (Probetas Verticales).
- ✚ Se observa que las probetas fabricadas de forma vertical sufren delaminación al ir a colocarlas en las mordazas haciendo que se rompan e invalidando el ensayo.
- ✚ colocarlas en las mordazas haciendo que se rompan e invalidando el ensayo.

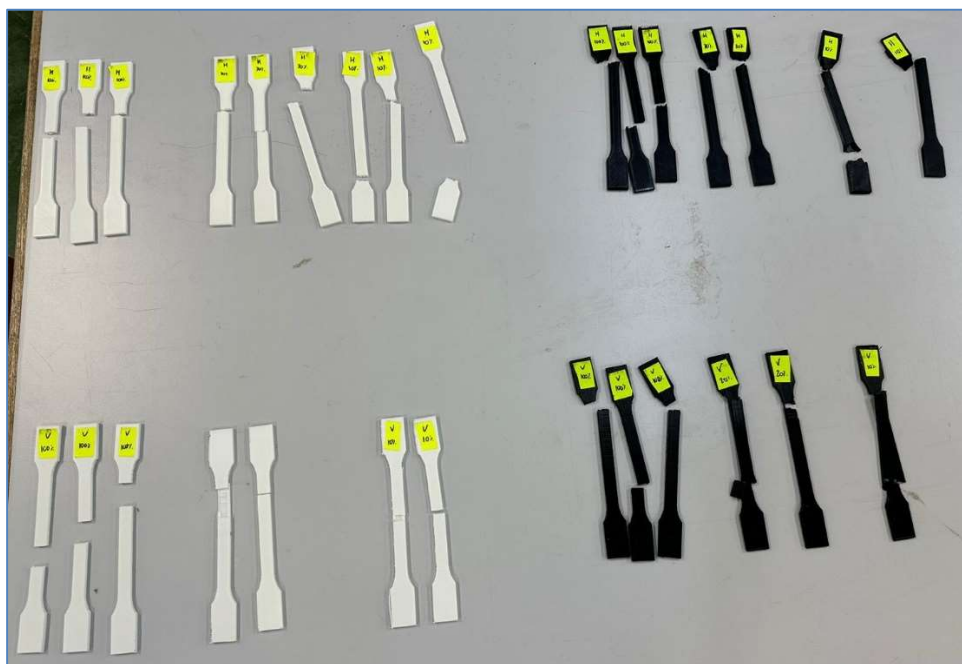


Ilustración 92 - Probetas tras el ensayo.
Fuente: Fotografía propia.

3.2.1.4 RESULTADOS Y ELECCIÓN DEL MATERIAL.

Tras la realización del ensayo, se obtienen los siguientes resultados:

PETG		Fmax (Ton)	Fmax (N)	Deformación (mm)	F1 (Ton)	F1 (N)	L1 (mm)	F2 (Ton)	F2 (N)	L2 (mm)
PROBETA 1	Probeta Vertical R 10%	0,059	578,2	1,57	0,018	176,4	0,51	0,054	529,2	1,45
	Probeta Horizontal R 10%	0,79	7742	2,78	0,007	68,6	0,29	0,062	607,6	1,93
	Probeta Vertical R 20%	0,044	431,2	1,32	0,007	68,6	0,05	0,039	382,2	0,95
	Probeta Horizontal R 20%	0,078	764,4	3,41	0,007	68,6	0,08	0,067	656,6	2,08
	Probeta Vertical R 100%	0,076	744,8	2,01	0,012	117,6	0,23	0,62	6076	1,62
	Probeta Horizontal R 100%	0,107	1048,6	2,94	0,02	196	0,13	0,085	833	1,61
PROBETA 2	Probeta Vertical R 10%									
	Probeta Horizontal R 10%	0,059	578,2	2,49	0,013	127,4	0,48	0,54	5292	1,99
	Probeta Vertical R 20%	0,095	931	2,77	0,004	39,2	0,2	0,075	735	2,09
	Probeta Horizontal R 20%	0,067	656,6	2,47	0,009	88,2	0,24	0,051	499,8	1,65
	Probeta Vertical R 100%	0,149	1460,2	3,23	0,009	88,2	0,18	0,126	1234,8	2,48
	Probeta Horizontal R 100%	0,129	1264,2	3,52	0,017	166,6	0,43	0,112	1097,6	2,76
PROBETA 3	Probeta Vertical R 10%									
	Probeta Horizontal R 10%									
	Probeta Vertical R 20%									
	Probeta Horizontal R 20%									
	Probeta Vertical R 100%	0,126	1234,8	2,8	0,013	127,4	0,27	0,095	931	1,87
	Probeta Horizontal R 100%	0,136	1332,8	3,66	0,012	117,6	0,32	0,103	1009,4	2,25

Ilustración 93 - Datos recogidos del ensayo de tracción de las probetas de PETG.

Fuente: Realización propia.

PLA		Fmax (Ton)	Fmax (N)	Deformación (mm)	F1 (Ton)	F1 (N)	L1 (mm)	F2 (Ton)	F2 (N)	L2 (mm)
PROBETA 1	Probeta Vertical R 10%	0,103	1009,4	2,05	0,075	735	0,04	0,098	960,4	0,39
	Probeta Horizontal R 10%	0,15	1470	3,42	0,019	186,2	0,06	0,107	1048,6	1,48
	Probeta Vertical R 20%	0,112	1097,6	2,03	0,057	558,6	0,05	0,104	1019,2	0,57
	Probeta Horizontal R 20%	0,155	1519	3,25	0,016	156,8	0,21	0,116	1136,8	1,86
	Probeta Vertical R 100%	0,14	1372	2,67	0,014	137,2	0,42	0,112	1097,6	1,98
	Probeta Horizontal R 100%	0,168	1646,4	3,83	0,02	196	0,07	0,129	1264,2	1,83
PROBETA 2	Probeta Vertical R 10%	0,113	1107,4	3,5	0,012	117,6	0,29	0,085	833	1,84
	Probeta Horizontal R 10%	0,118	1156,4	2,54	0,019	186,2	0,4	0,098	960,4	1,72
	Probeta Vertical R 20%	0,167	1636,6	3,91	0,023	225,4	0,22	0,141	1381,8	2,58
	Probeta Horizontal R 20%	0,129	1264,2	2,69	0,019	186,2	0,31	0,106	1038,8	1,78
	Probeta Vertical R 100%	0,177	1734,6	3,21	0,038	372,4	0,5	0,16	1568	2,55
	Probeta Horizontal R 100%	0,128	1254,4	2,55	0,01	98	0,6	0,11	1078	1,77
PROBETA 3	Probeta Vertical R 10%									
	Probeta Horizontal R 10%	0,157	1538,6	3,06	0,019	186,2	0,26	0,12	1176	1,93
	Probeta Vertical R 20%									
	Probeta Horizontal R 20%	0,167	1636,6	3,36	0,029	284,2	0,05	0,132	1293,6	1,77
	Probeta Vertical R 100%									
	Probeta Horizontal R 100%	0,151	1479,8	3,1	0,021	205,8	0,29	0,125	1225	2,04
PROBETA 4	Probeta Vertical R 10%									
	Probeta Horizontal R 10%									
	Probeta Vertical R 20%									
	Probeta Horizontal R 20%									
	Probeta Vertical R 100%									
	Probeta Horizontal R 100%	0,165	1617	3,06	0,023	225,4	0,24	0,125	1225	1,84

Ilustración 94 - Datos recogidos del ensayo de tracción de las probetas de PLA.

Fuente: Realización propia.

Con estos datos se procede a calcular para ambos materiales:

- Deformación unitaria longitudinal

$$\varepsilon_L = \frac{(L' - L)}{L}$$

- Deformación unitaria transversal

$$\varepsilon_T = \frac{(D' - D)}{D}$$

- Resistencia a la tracción

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

- Módulo de Poisson.

$$\nu = -\frac{\varepsilon_T}{\varepsilon_L}$$

- Módulo Elástico.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/S}{\Delta L/L}$$

- Resistencia Última

$$\sigma = \frac{F_{max}}{A_0}$$

PETG		Deformación unitaria longitudinal $\varepsilon_L = (L_2 - L_0) / L_0$	Deformación unitaria transversal $\varepsilon_T = (D' - D) / D$	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN ($r = F/A_0$) [Mpa]	MODULO DE POISSON $\nu = -\varepsilon_T / \varepsilon_L$	MODULO ELÁSTICO [N]	RESISTENCIA ÚLTIMA ($r = F_{max}/A_0$) [Mpa]
PROBETA 1	Probeta Vertical R 10%	0,018	-0,0067	13,23	0,37	729,931	14,455
	Probeta Horizontal R 10%	0,024	-0,0089	15,19	0,37	629,637	193,55
	Probeta Vertical R 20%	0,012	-0,0044	9,555	0,37	804,632	10,78
	Probeta Horizontal R 20%	0,026	-0,0096	16,415	0,37	631,346	19,11
	Probeta Vertical R 100%	0,020	-0,0075	151,9	0,37	7501,235	18,62
	Probeta Horizontal R 100%	0,020	-0,0074	20,825	0,37	1034,783	26,215
PROBETA 2	Probeta Vertical R 10%						
	Probeta Horizontal R 10%	0,025	-0,0092	132,3	0,37	5318,593	14,455
	Probeta Vertical R 20%	0,026	-0,0097	18,375	0,37	703,349	23,275
	Probeta Horizontal R 20%	0,021	-0,0076	12,495	0,37	605,818	16,415
	Probeta Vertical R 100%	0,031	-0,0115	30,87	0,37	995,806	36,505
	Probeta Horizontal R 100%	0,035	-0,0128	27,44	0,37	795,362	31,605
PROBETA 3	Probeta Vertical R 10%						
	Probeta Horizontal R 10%						
	Probeta Vertical R 20%						
	Probeta Horizontal R 20%						
	Probeta Vertical R 100%	0,023	-0,0086	23,275	0,37	995,722	30,87
	Probeta Horizontal R 100%	0,028	-0,0104	25,235	0,37	897,244	33,32

Ilustración 95 - Resultados de los cálculos obtenidos a partir de los resultados del PETG.
Fuente: Realización propia.



PLA		Deformación unitaria longitudinal $\epsilon_L = (L_2 - L_0) / L_0$	Deformación unitaria transversal $\epsilon_T = (D' - D) / D$	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN ($r = F/A_0$) [Mpa]	MODULO DE POISSON $\nu = -\epsilon_T / \epsilon_L$	MODULO ELÁSTICO [N]	RESISTENCIA ÚLTIMA ($r = F_{max}/A_0$) [Mpa]
PROBETA 1	Probeta Vertical R 10%	0,0049	-0,0019	24,01	0,39	4925,128	25,24
	Probeta Horizontal R 10%	0,0185	-0,0072	26,22	0,39	1417,027	36,75
	Probeta Vertical R 20%	0,0071	-0,0028	25,48	0,39	3576,140	27,44
	Probeta Horizontal R 20%	0,0233	-0,0091	28,42	0,39	1222,366	37,98
	Probeta Vertical R 100%	0,0248	-0,0097	27,44	0,39	1108,687	34,30
	Probeta Horizontal R 100%	0,0229	-0,0089	31,61	0,39	1381,639	41,16
PROBETA 2	Probeta Vertical R 10%	0,0230	-0,0090	20,83	0,39	905,435	27,69
	Probeta Horizontal R 10%	0,0215	-0,0084	24,01	0,39	1116,744	28,91
	Probeta Vertical R 20%	0,0323	-0,0126	34,55	0,39	1071,163	40,92
	Probeta Horizontal R 20%	0,0223	-0,0087	25,97	0,39	1167,191	31,61
	Probeta Vertical R 100%	0,0319	-0,0124	39,20	0,39	1229,804	43,37
	Probeta Horizontal R 100%	0,0221	-0,0086	26,95	0,39	1218,079	31,36
PROBETA 3	Probeta Vertical R 10%						
	Probeta Horizontal R 10%	0,0241	-0,0094	29,40	0,39	1218,653	38,47
	Probeta Vertical R 20%						
	Probeta Horizontal R 20%	0,0221	-0,0086	32,34	0,39	1461,695	40,92
	Probeta Vertical R 100%						
	Probeta Horizontal R 100%	0,0255	-0,0095	30,63	0,39	1200,980	37,00
PROBETA 4	Probeta Vertical R 10%						
	Probeta Horizontal R 10%						
	Probeta Vertical R 20%						
	Probeta Horizontal R 20%						
	Probeta Vertical R 100%						
	Probeta Horizontal R 100%	0,0230	-0,0090	30,63	0,39	1331,522	40,43

Ilustración 96 - Resultados de los cálculos obtenidos a partir de los resultados del PLA.
Fuente: Realización propia.

Nota: Dado que no se disponía de extensómetro, se ha buscado el valor del módulo de Poisson en internet de cada uno de los materiales y a partir de ahí se ha estimado la deformación unitaria transversal.

Calculando los valores medios de cada tipo de probeta (Vertical 10%, 20%, 100% y Horizontal 10%, 20%, 100%) se obtienen los siguientes resultados:

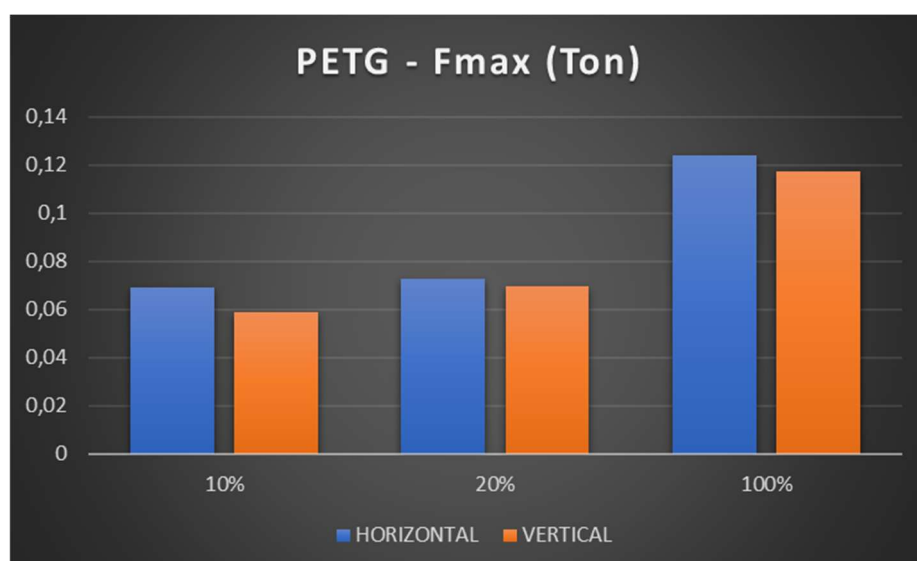
TIPO DE PROBETA PETG	RELLENO	Fmax (Ton)	Deformación (mm)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN ($r = F/A_0$) [Mpa]	MODULO DE POISSON $\nu = -\epsilon_T / \epsilon_L$	MODULO ELÁSTICO [N]	RESISTENCIA ÚLTIMA ($r = F_{max}/A_0$) [Mpa]
HORIZONTAL	10%	0,079	2,78	15,19	0,37	629,637	19,355
HORIZONTAL	10%	0,059	2,49	132,3	0,37	5318,593	14,455
HORIZONTAL	10%						
VALOR MEDIO HORIZ	10%	0,069	2,64	73,745	0,37	2974,115	16,905
HORIZONTAL	20%	0,078	3,41	16,415	0,37	631,346	19,11
HORIZONTAL	20%	0,067	2,47	12,495	0,37	605,818	16,415
HORIZONTAL	20%						
VALOR MEDIO HORIZ	20%	0,0725	2,94	14,455	0,37	618,582	17,7625
HORIZONTAL	100%	0,107	2,94	20,825	0,37	1034,783	26,215
HORIZONTAL	100%	0,129	3,52	27,44	0,37	795,362	31,605
HORIZONTAL	100%	0,136	3,66	25,235	0,37	897,244	33,32
VALOR MEDIO HORIZ	100%	0,124	3,37	24,50	0,37	909,130	30,380
VERTICAL	10%	0,059	1,57	13,23	0,37	729,931	14,455
VERTICAL	10%						
VERTICAL	10%						
VALOR MEDIO VERT	10%	0,059	1,57	13,230	0,37	729,931	14,455
VERTICAL	20%	0,044	1,32	9,555	0,37	804,632	10,78
VERTICAL	20%	0,095	2,77	18,375	0,37	703,349	23,275
VERTICAL	20%						
VALOR MEDIO VERT	20%	0,0695	2,0450	13,965	0,37	753,990	17,028
VERTICAL	100%	0,076	2,01	151,9	0,37	7501,235	18,62
VERTICAL	100%	0,149	3,23	30,87	0,37	995,806	36,505
VERTICAL	100%	0,126	2,8	23,275	0,37	995,722	30,87
VALOR MEDIO VERT	100%	0,117	2,68	68,682	0,37	3164,254	28,665

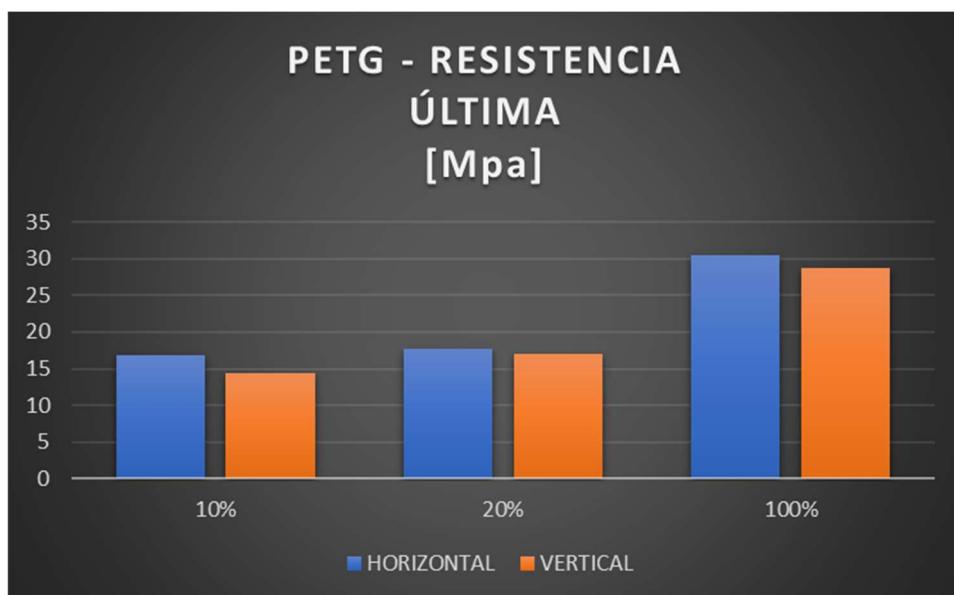
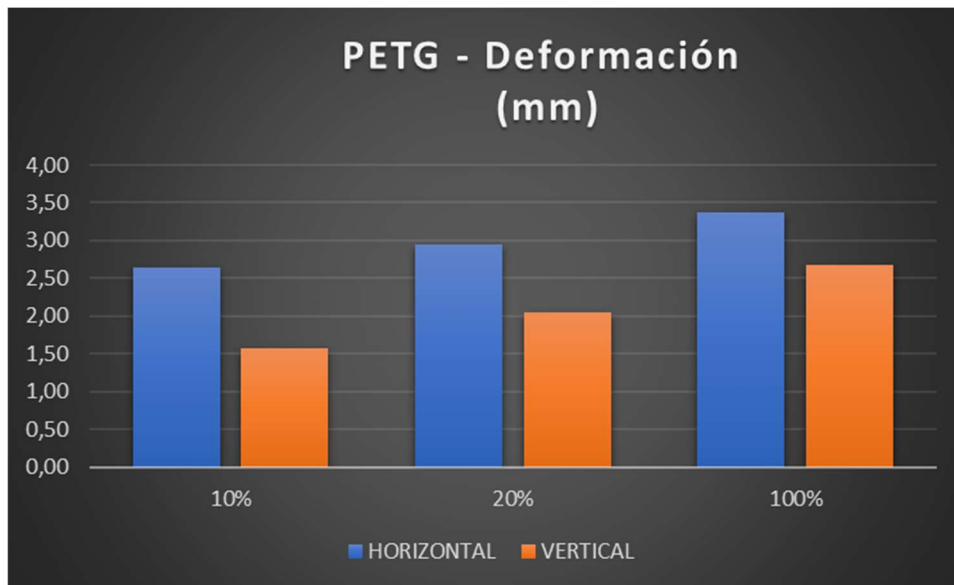
Ilustración 97 - Cálculo de los valores medios para el PETG.
Fuente: Realización propia.

TIPO DE PROBETA PLA	RELLENO	Fmax (Ton)	Deformación (mm)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (r = F/A0) [Mpa]	MODULO DE POISSON $\nu = -\epsilon T / \epsilon L$	MODULO ELÁSTICO [N]	RESISTENCIA ÚLTIMA (r = Fmax/A0) [Mpa]
HORIZONTAL	10%	0,15	3,42	26,22	0,39	1417,027	36,75
HORIZONTAL	10%	0,118	2,54	24,01	0,39	1116,744	28,91
HORIZONTAL	10%	0,157	3,06	29,40	0,39	1218,653	38,47
HORIZONTAL	10%						
VALOR MEDIO HORIZ	10%	0,142	3,01	26,542	0,39	1250,808	34,708
HORIZONTAL	20%	0,155	3,25	28,42	0,39	1222,366	37,98
HORIZONTAL	20%	0,129	2,69	25,97	0,39	1167,191	31,61
HORIZONTAL	20%	0,167	3,36	32,34	0,39	1461,695	40,92
HORIZONTAL	20%						
VALOR MEDIO HORIZ	20%	0,150	3,10	28,910	0,39	1283,751	36,832
HORIZONTAL	100%	0,168	3,83	31,61	0,39	1381,639	41,16
HORIZONTAL	100%	0,128	2,55	26,95	0,39	1218,079	31,36
HORIZONTAL	100%	0,151	3,1	30,63	0,39	1200,980	37,00
HORIZONTAL	100%	0,165	3,06	30,63	0,39	1331,522	40,43
VALOR MEDIO HORIZ	100%	0,153	3,14	29,951	0,39	1283,055	37,485
VERTICAL	10%	0,103	2,05	24,01	0,39	4925,128	25,24
VERTICAL	10%	0,113	3,5	20,83	0,39	905,435	27,69
VERTICAL	10%						
VERTICAL	10%						
VALOR MEDIO VERT	10%	0,108	2,78	22,418	0,39	2915,281	26,460
VERTICAL	20%	0,112	2,03	25,48	0,39	3576,140	27,44
VERTICAL	20%	0,167	3,91	34,55	0,39	1071,163	40,92
VERTICAL	20%						
VERTICAL	20%						
VALOR MEDIO VERT	20%	0,140	2,970	30,013	0,390	2323,652	34,178
VERTICAL	100%	0,14	2,67	27,44	0,39	1108,687	34,30
VERTICAL	100%	0,177	3,21	39,20	0,39	1229,804	43,37
VERTICAL	100%						
VERTICAL	100%						
VALOR MEDIO VERT	100%	0,159	2,940	33,320	0,390	1169,245	38,833

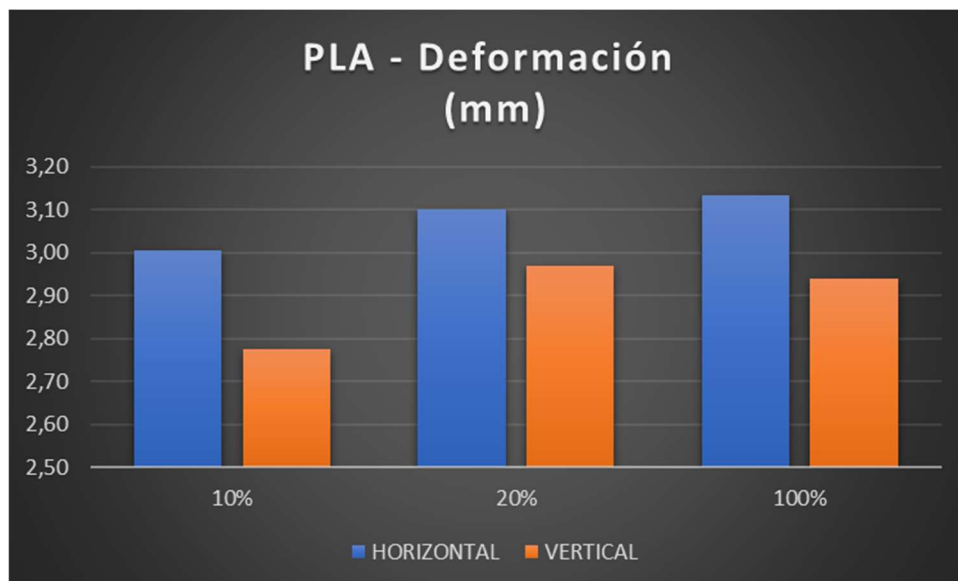
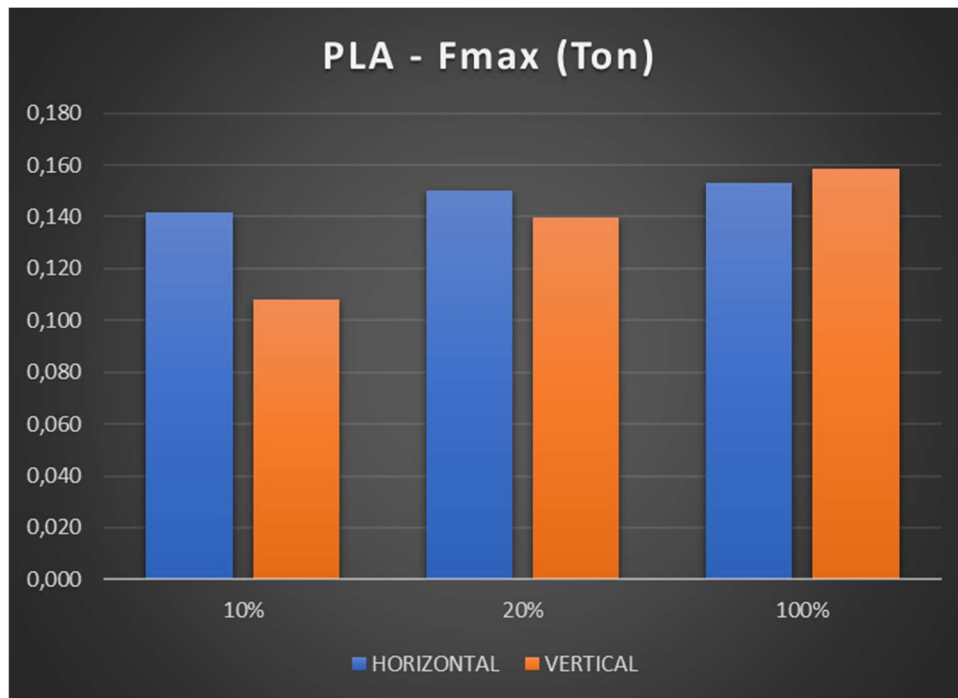
Ilustración 98 - Cálculo de los valores medios para el PLA.
Fuente: Realización propia.

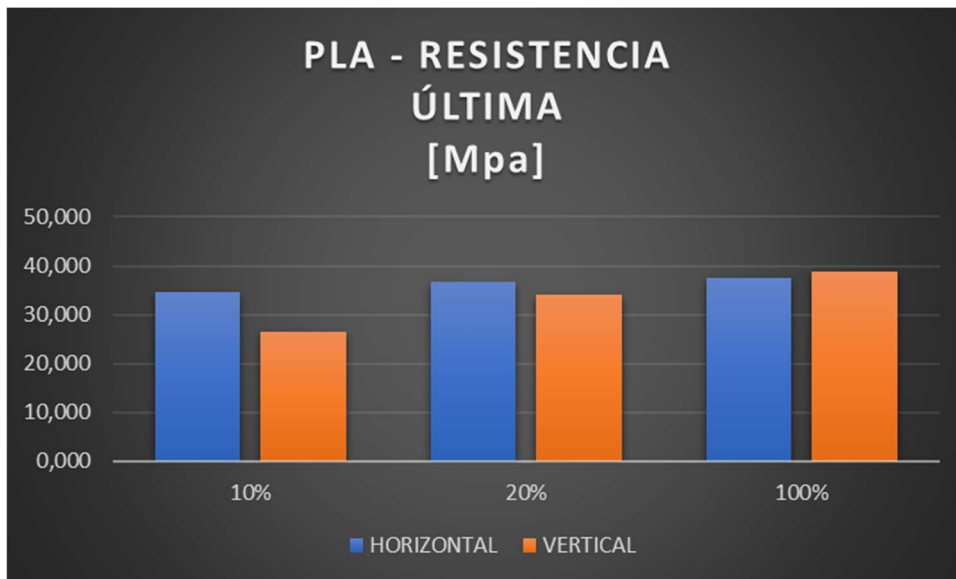
De los cuáles, se pueden tabular los valores para realizar comparativas; Primero por cada tipo de material, si la impresión óptima es la horizontal o la vertical y con qué porcentaje de relleno:





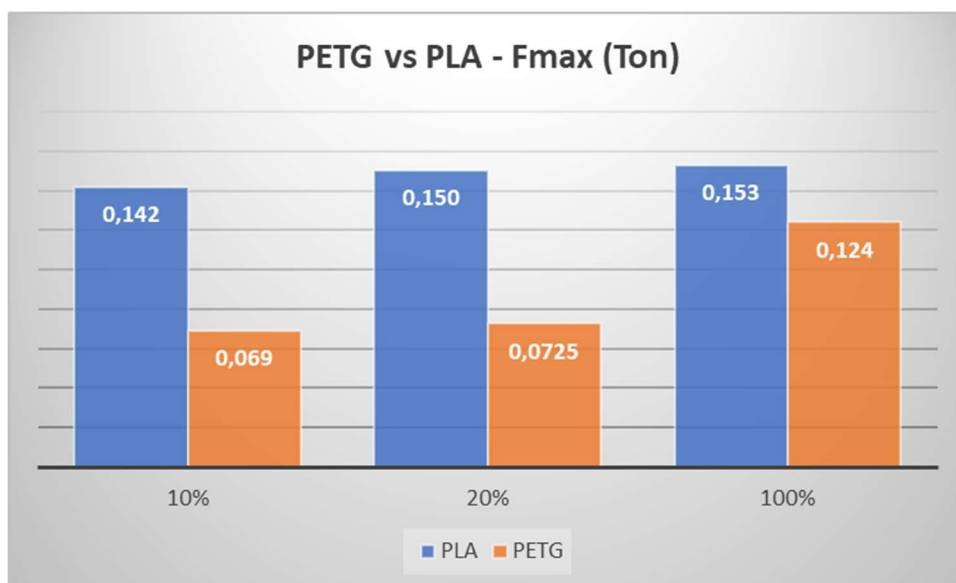
Para el PETG se concluye que teniendo en cuenta la F_{max} , la deformación hasta rotura y la resistencia última, que el modo óptimo para realizar la impresión es con la base pegada a la cama (Impresión horizontal).

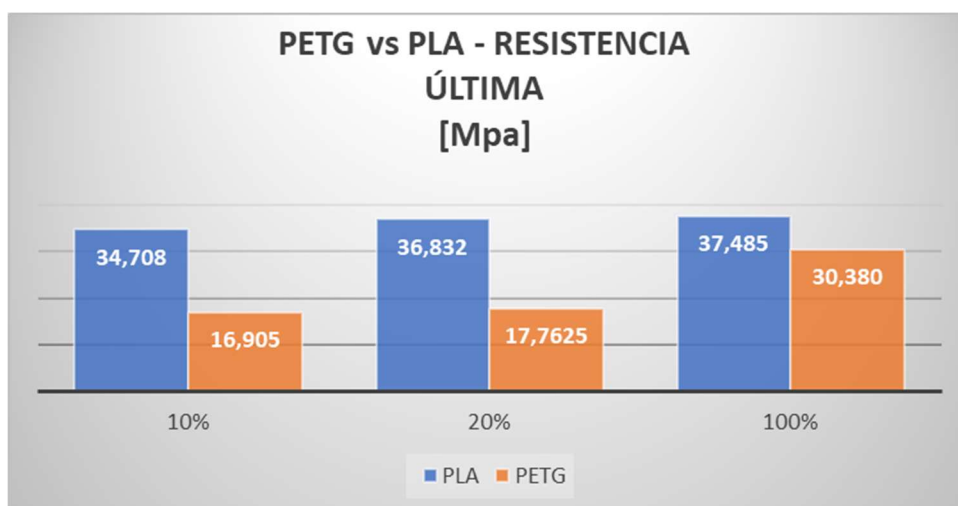
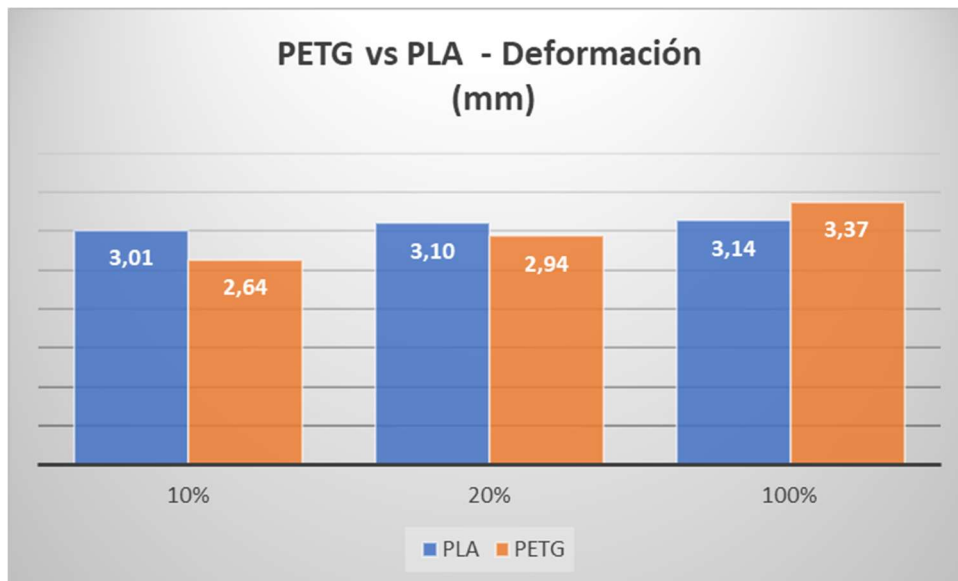




Analizando los resultados para el PLA, se concluye lo mismo que para el PETG.

Tras concluir que la forma óptima de imprimir es de forma horizontal, se analizan los mismos parámetros del PLA frente al PETG, obteniendo los siguientes resultados:





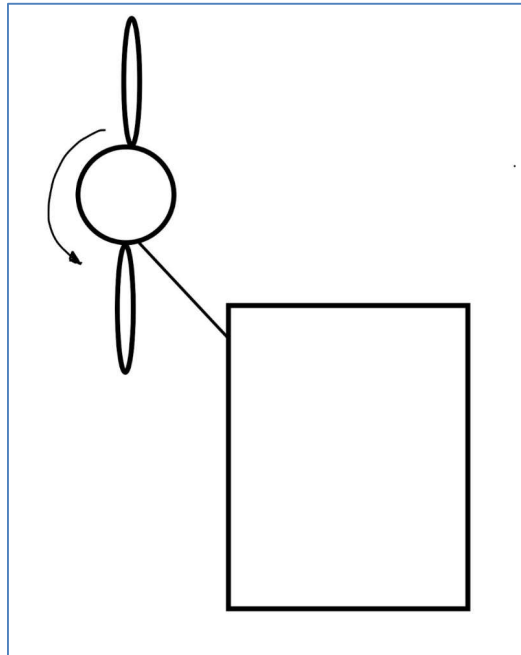
De estos resultados se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- En general para los parámetros comparados, el PLA obtiene mejores resultados salvo en la deformación con un 100% de relleno.
- Pese a que el PLA tiene una resistencia mayor, se puede observar que proporcionalmente el PETG tiene una mayor capacidad de deformación, dado que el ratio F_{max} – Deformación es favorable para el PETG frente al PLA, aunque por contrapunto, el hecho de que se deforme más con unas fuerzas menores, para el fin de este proyecto, es más una contra que un beneficio, dado que interesa tener deformación mínima a mayor resistencia, aparte de que se evita la posibilidad de que se produzcan vibraciones y por ende, un vuelo más inestable.
- También cabe tener en cuenta que la propia fabricación de las probetas tiene influencia en los resultados.

3.2.1.5 ESTUDIO DE CARGAS.

Hay que calcular manualmente las fuerzas que van a influenciar al dron en el peor de los casos, para comprobar mediante fórmulas si el material aguantará la tensión producida en dicho caso; Estas son:

Un par de giro sobre el eje Z:



El torque del motor eléctrico está relacionado con numerosas variables, siendo la más importante la corriente.

El torque del motor eléctrico será igual a la corriente por el coeficiente de torque del motor:

$$\text{Torque} = K_t \times \text{Corriente}$$

Se asume que:

$$K_t = 1/KV$$

El valor de los KV suele venir dado en rpm/v, pero para usarlo en esta fórmula, se requiere en SI (rad/s)/v.

El valor de KV es proporcionado por las especificaciones de los motores:

Item	KV(rpm/v)	Voltage(v)	Prop	Load Current (A)	Pull (g)	Power(w)	Efficiency (g/v)	Lipo	Weight(g) Approx
DX2205	2300	11.1	5045	19.2	660	213	3.1	2-4S	28
		14.8		27.6	950	408	2.3		

Ilustración 99 - Especificaciones de los motores para calculo de velocidad angular.

Extraído de: https://www.amazon.es/dp/B075731ZJM?psc=1&ref=ppx_yo2ov_dt_b_product_details

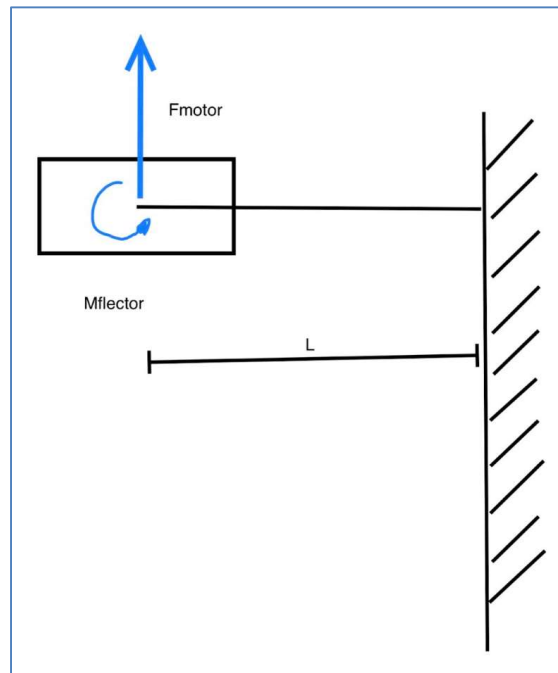
$$\frac{2300 \times 2\pi}{60} = 240,9 \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right) / V$$

Teniendo en cuenta que la corriente proporcionada para los 14,8V que proporciona la batería 4S es de 27,6A, se procede a despejar el valor del torque del motor eléctrico:

$$\text{Torque} = K_t \times \text{Corriente} = 1/240,9 \times 27,6A = 0,11457Nm$$

El dron a su vez se ve influenciado también por la fuerza del motor y por el momento flector que se produce.

La fuerza vertical del motor en el escenario más crítico es aquel en el que el dron parte desde el aire en caída libre, se le aplica el 100% de empuje en la palanca de gases por lo que hace que el dron decelere la caída y posteriormente remonte el vuelo. La fuerza en este caso es la masa que puede empujar el motor (con la batería 4S es 950g. según las especificaciones técnicas del motor) por 2 veces la aceleración de la gravedad.



Por lo tanto, la fuerza del motor en el caso que se describe sería:

$$F_{motor} = 0,95kg \times 2 \times g = 18,620N$$

En cuanto al momento flector, será la resultante de la fuerza que genera el motor por la distancia a la que se encuentra del encastre (es decir, la longitud del brazo). En este caso el valor del brazo es de 7cm = 0,07m. Así pues, el momento flector será:

$$M_F = F_{motor} \times L_{brazo} = 18,620N \times 0,07m = 1,3034Nm$$

Habiendo calculado estos datos, se procede a calcular la tensión producida sobre el material en el caso más crítico descrito. Dicho valor se cotejará con los valores obtenidos en el ensayo de tracción para comprobar si la estructura es capaz de resistir o no. Si el valor calculado es menor al obtenido en la prueba, el brazo estructuralmente aguantará.

La tensión viene definida por:

$$\sigma = \frac{M_F \times y}{I_z}$$

Donde:

- σ : Tensión de tracción o compresión.
- M_F : Momento flector.
- y : distancia entre la fibra neutra o centro de gravedad al punto de cálculo de la tensión.
- I_z : momento de inercia respecto al eje Z, de la sección de la viga o elemento.

La tensión máxima se encontrará en $y=y_{max}$, con lo que la fórmula resultará ser:

$$\sigma_{max} = \frac{M_F \times y_{max}}{I_z}$$

Todos los datos de la expresión de la tensión máxima han sido calculados previamente o son conocidos salvo el momento de inercia.

Se puede asemejar la sección del brazo del dron a un rectángulo, por lo que se puede aplicar el momento de inercia para un rectángulo:

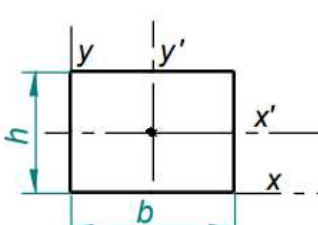
Momentos de inercia de formas geométricas comunes.		
RECTANGULO		$I_{x'} = \frac{1}{12} \cdot bh^3$ $I_{y'} = \frac{1}{12} \cdot b^3h$ $I_x = \frac{1}{3} \cdot bh^3$ $I_y = \frac{1}{3} \cdot b^3h$ $I_0 = \frac{1}{12} \cdot bh \cdot (b^2 + h^2)$

Ilustración 100 - Momentos de Inercia para un rectángulo.

Extraído de:

https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/DFM/DPM/DPM04/es_DFM_DPM04_Contenidos/website_44_clculo_de_la_tension_mxima.html

Para el caso que se presenta, el eje Z coincide con el valor de I en y'; es decir:

$$I_y = \frac{1}{12} \times b^3 \times h$$

Teniendo en cuenta la geometría del brazo se tiene que:

- b = 0,035m
- h = 0,004m

Así pues, el momento de Inercia será:

$$I_y = \frac{1}{12} \times b^3 \times h = \frac{1}{12} \times (0,035m)^3 \times 0,004m = 1,429 \times 10^{-8}m^4$$

Con este dato se completa la ecuación de la tensión máxima:

$$\sigma_{max} = \frac{M_F \times y_{max}}{I_z} = \frac{1,3034Nm \times 0,07m}{1,429 \times 10^{-8}m^4} = 6384000Pa = 6,384MPa$$

Comparando la tensión máxima a soportar en el caso crítico planteado con los resultados obtenidos en el ensayo de tracción, se concluye que la estructura fabricada en cualquiera de las configuraciones planteadas soportará dicha tensión.

3.2.1.6 ANALISIS ESTRUCTURAL FEM

Se realiza en SolidWorks el análisis FEM. Para ello se tienen las siguientes consideraciones:

- El estudio se realiza sobre los brazos, dado que el encastre se considera un empotramiento.
- En la definición del material, es conocido que el PLA es un material anisótropo (el comportamiento de este depende de las direcciones de las fibras) sin embargo, se realiza el análisis con el PLA como isotrópico para la simplificar el cálculo.

Se establece las siguientes propiedades al material:



Propiedades de material

No se pueden editar los materiales en la biblioteca predeterminada. Para editar un material, cópielo primero a una biblioteca personalizada.

Tipo de modelo: Guardar tipo de modelo en la biblioteca

Unidades:

Categoría:

Nombre:

Criterio de fallos predeterminado:

Descripción:

Origen:

Sostenibilidad:

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2000000000	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.394	N/D
Módulo cortante	318900000	N/m ²
Densidad de masa	1240	kg/m ³
Límite de tracción	30000000	N/m ²
Límite de compresión		N/m ²
Límite elástico	63500000	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica		/K
Conductividad térmica	0.2256	W/(m·K)

Ilustración 101 - Propiedades asociadas al PLA para análisis FEM.
Fuente: Realización Propia.

Para la realización del análisis, se comienza indicando sobre el diseño del brazo las partes fijas; en este caso el encastre del brazo, el cual funciona como un empotramiento:

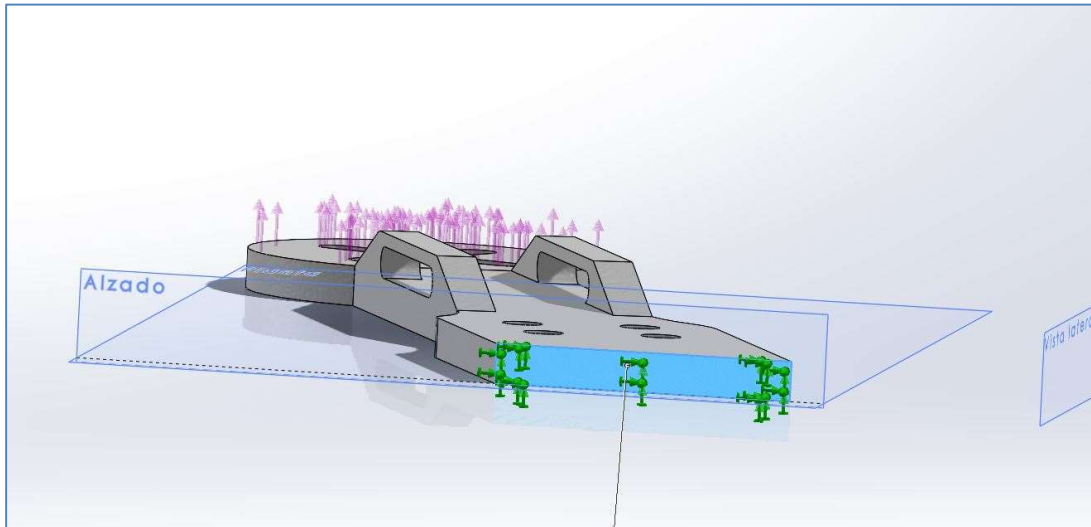


Ilustración 102 - Definición de las partes fijas en el análisis FEM.
Fuente: Realización propia.

El siguiente paso es indicar las fuerzas que actúan sobre la estructura; En el caso que se presenta son dos, analizadas anteriormente:

- Fuerza producida por el motor con valor de 18,62N.
- Par de fuerzas generadas por el giro del motor con valor de 0,11Nm

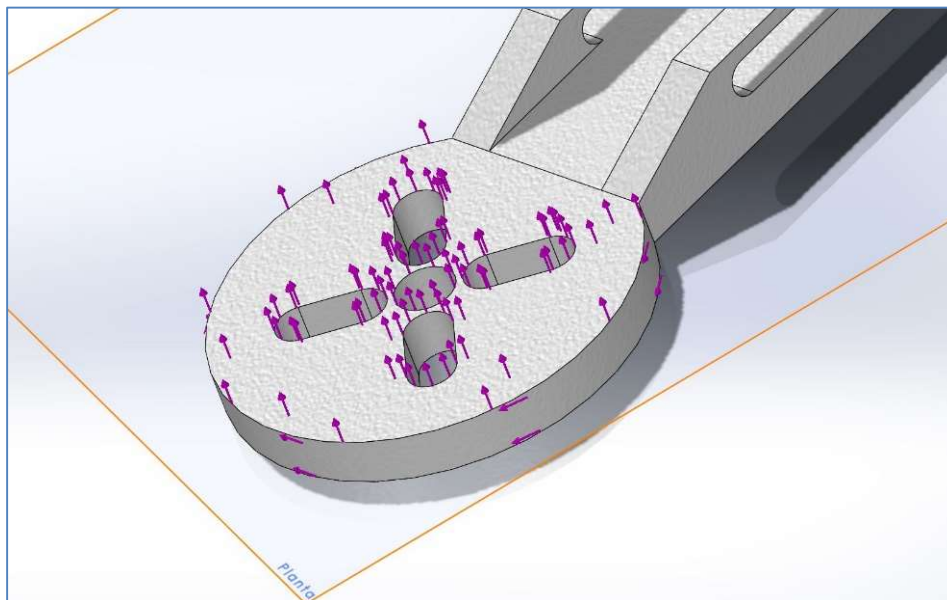


Ilustración 103 - Fuerzas y torsión ejercidas sobre el brazo.
Fuente: Realización propia.

A continuación, se procede a hacer el mallado para realizar los puntos nodales, que serán sobre los que el programa realice el estudio.

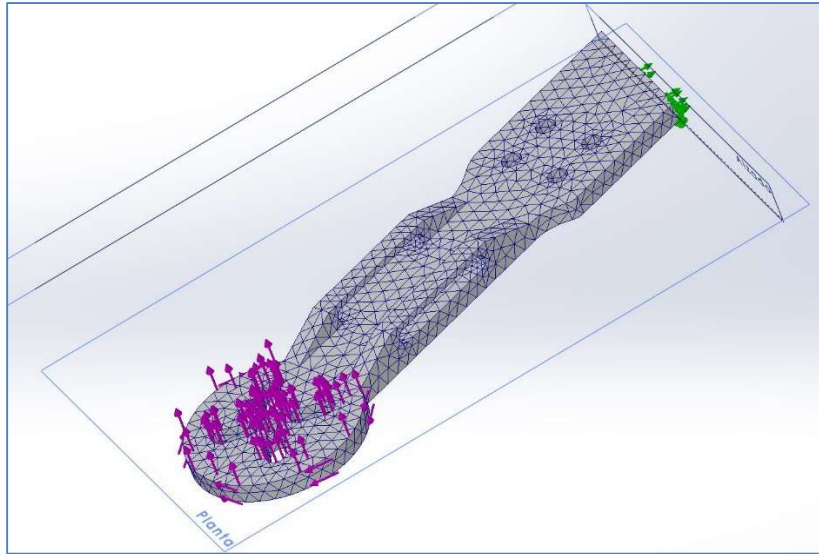


Ilustración 104 - Mallado del brazo en SolidWorks.
Fuente: Realización propia.

Por último, se realiza la simulación y se extraen las tensiones de Von Mises:

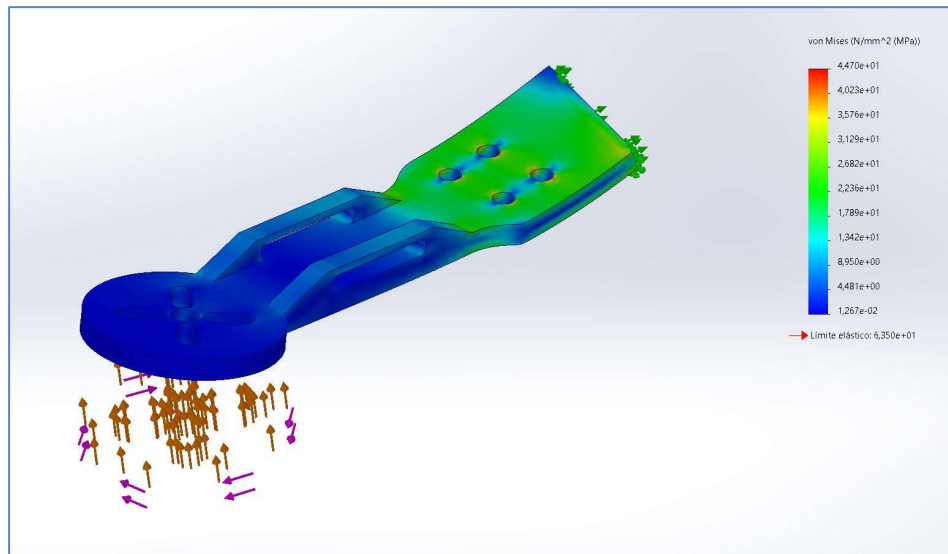


Ilustración 105 - Escala de las tensiones de Von Mises.
Fuente: Realización propia.

Comparando los resultados obtenidos junto con los del cálculo manual, se concluye que:

- Los puntos de mayor tensión son los taladros, y serán los puntos críticos donde se acumulará la mayor parte de la fatiga estructural. A la larga puede ser un problema.
- Comparando los resultados del cálculo manual, la configuración óptima es la de fabricar los brazos con PLA al 100% de relleno, dado que aporta una resistencia





máxima de 37,48 MPa, lo cual, hace que toda la estructura esté dentro de rango y pueda soportar los esfuerzos producidos en el caso más crítico.

3.2.2 DISEÑO E IMPRESIÓN DE LA ESTRUCTURA

Para el diseño de las diferentes partes de la estructura, se comienza estableciendo las restricciones marcadas por los propios componentes necesarios para el funcionamiento del dron.

3.2.2.1 *Placa inferior*

El diseño de la placa inferior viene restringido por las dimensiones de:

-  Separación de los brazos.
-  Alojamiento para el transmisor VTX.
-  Alojamiento para los soportes de la cámara FPV.
-  Alojamiento para el stack de PDB/ESC – Controladora de vuelo.

Para que el dron tenga una buena estabilidad en vuelo, se decide realizar un diseño de brazos separados. Los brazos se ensamblan a la estructura mediante 4 tornillos cada uno.

Para el alojamiento del transmisor VTX se realizan 4 taladros en la estructura, dado que el transmisor VTX desemboca en una antena que irá en la parte de detrás, es en esa posición donde se colocan. Cabe destacar que, para evitar un posible descuadre, dos de los taladros se hacen con una forma alargada.

Dado que la cámara FPV tiene que ir en la parte delantera del dron, se realizan unos alojamientos donde posteriormente irán encajados dos soportes que harán un sándwich con la cámara.

Finalmente, dado que es en el stack de PDB/ESC – Controladora de vuelo donde van todos los componentes conectados, y que es el conjunto de componentes con mayor peso, deben ir en la parte central. Para ello se dispone de 4 orificios colocados según las dimensiones del stack facilitadas en las especificaciones técnicas del fabricante donde van insertados los tornillos que harán las funciones de soportes.

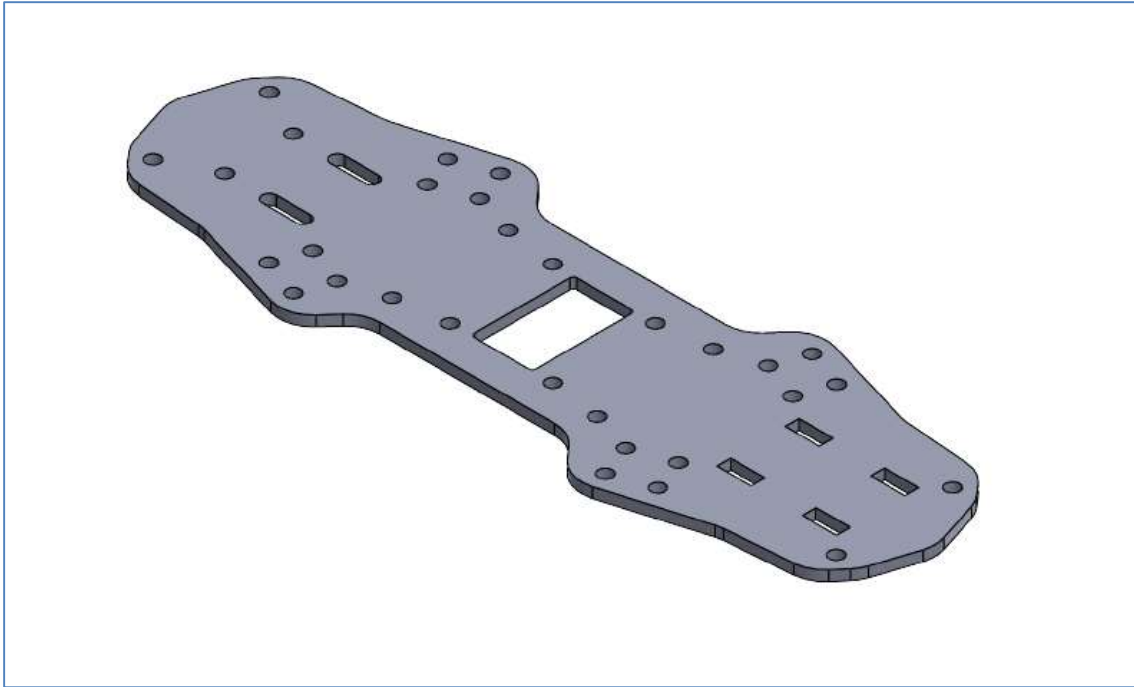


Ilustración 106 - Diseño de la placa inferior con los alojamientos para los diferentes componentes.
Fuente: Realización propia.

Para dotar la base de mayor resistencia, se imprimen 2 placas inferiores que harán las veces de sándwich a los brazos. De esta forma se consigue una base más sólida con un incremento de peso mínimo.

Por último, se hacen los taladros para las torretas estructurales que unirán la base con la placa superior.

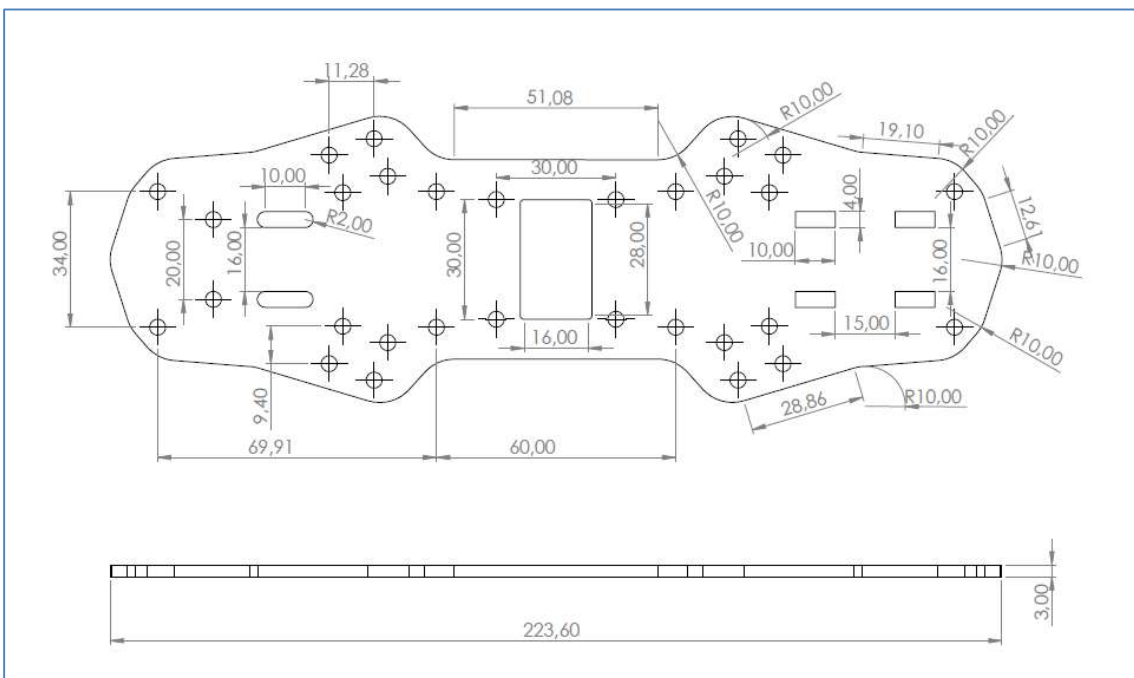
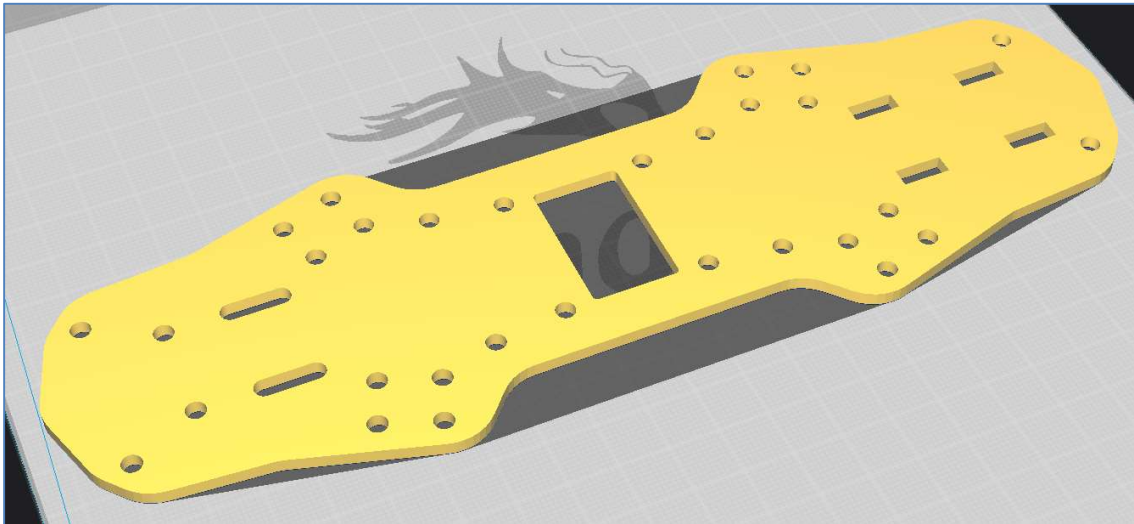


Ilustración 107 - Vistas acotadas de la placa inferior. Fuente: Realización propia.

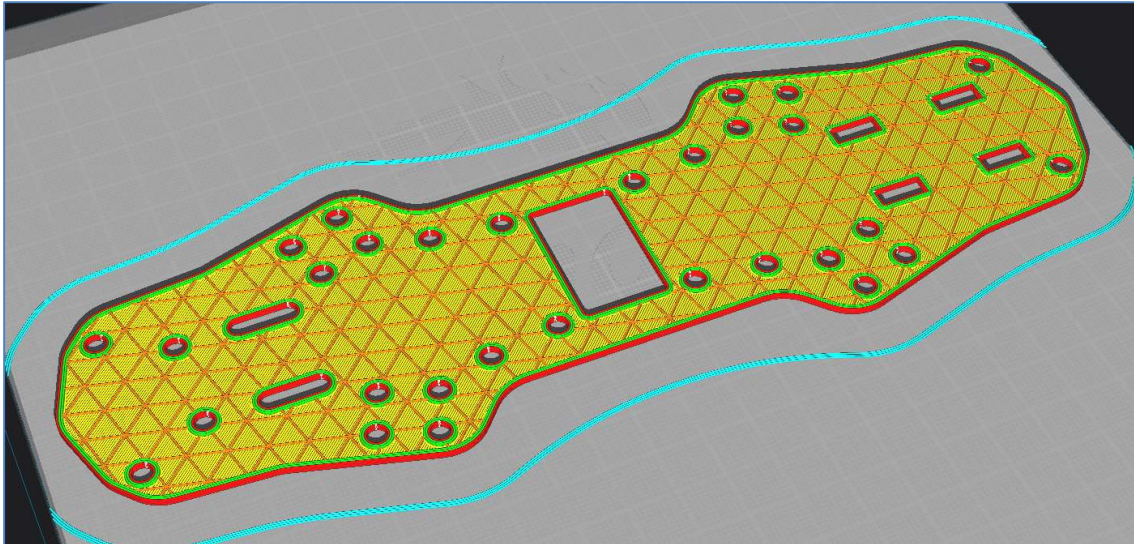
Para su fabricación, se coloca horizontalmente sobre la placa de impresión y dado el diseño, no requiere de soportes.



*Ilustración 108 - Colocación de base sobre la placa de impresión.
Fuente: Realización propia.*



*Ilustración 109 - Segmentación de la base en Ultimaker Cura.
Fuente: Realización propia.*



*Ilustración 110 - Relleno de la base.
Fuente: Realización propia.*

3.2.2.2 Placa Superior

Para el diseño de la placa superior del dron, se considera:

- ✚ Alojamiento para los soportes de la cámara FPV.
- ✚ Ranuras para las cintas de velcro para la sujeción de la batería.
- ✚ Ranura para conducir el cable de alimentación del dron.
- ✚ Anclajes para el adaptador dummy de la cámara.

Los alojamientos para los soportes de la cámara FPV se emplazan en la parte delantera del dron, al igual que en la placa inferior.

Se colocan las ranuras para las sujeciones de la batería en el centro del dron, dado que, en el conjunto global, lo más pesado será la batería. De esta forma se consigue una mayor estabilidad, juntando la masa en el centro.

Se realiza también una ranura por la que conducir el cable de alimentación del dron a la batería.

Por último, dado que no se ha definido una función específica para el dron, se diseña un sistema de anclajes compuesto de 3 alojamientos móviles mas uno fijo, para colocar fácilmente e intercambiar soportes para las distintas cargas de pago que pueda portar.

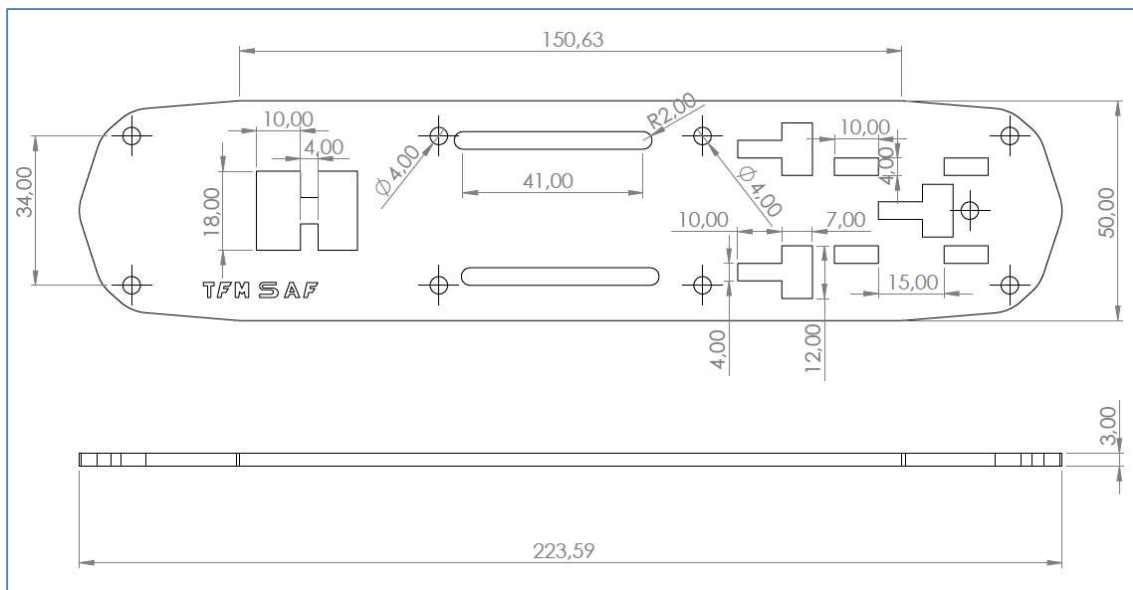


Ilustración 111 - Diseño Top Cover. Fuente:
Realización propia.

Su fabricación es totalmente análoga a la de la placa inferior; Colocada horizontalmente sobre la placa de impresión:

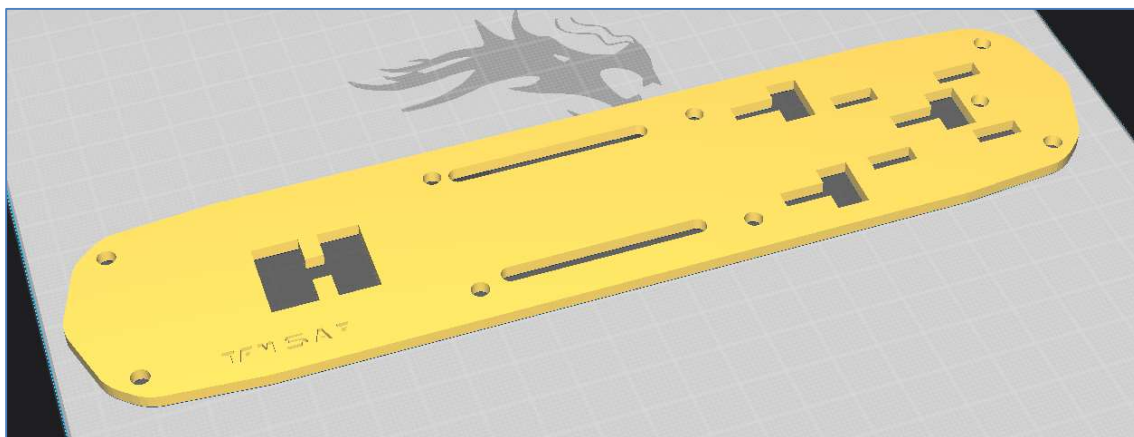


Ilustración 112 - Colocación de la cubierta sobre la placa de impresión.
Fuente: Realización propia.

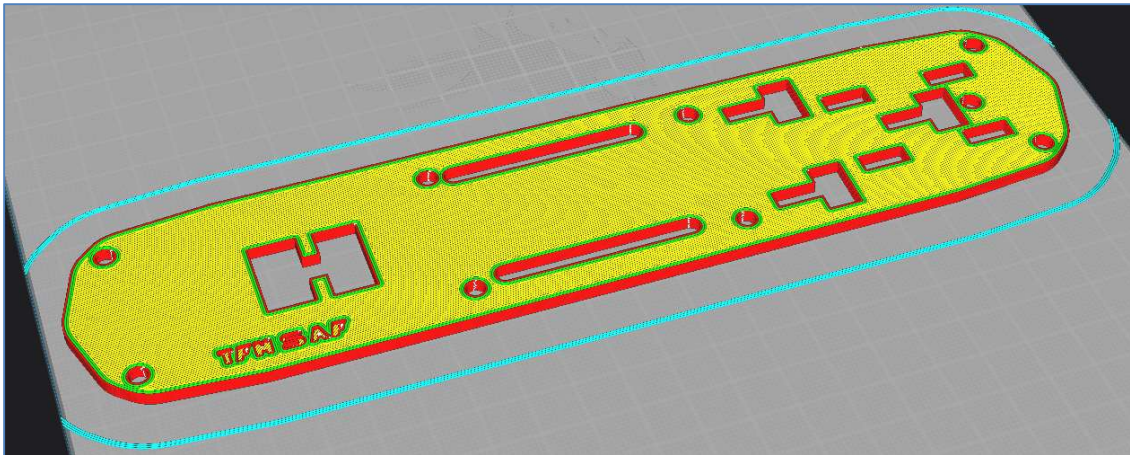


Ilustración 113 - Segmentación de la tapa en Ultimaker Cura.
Fuente: Realización propia

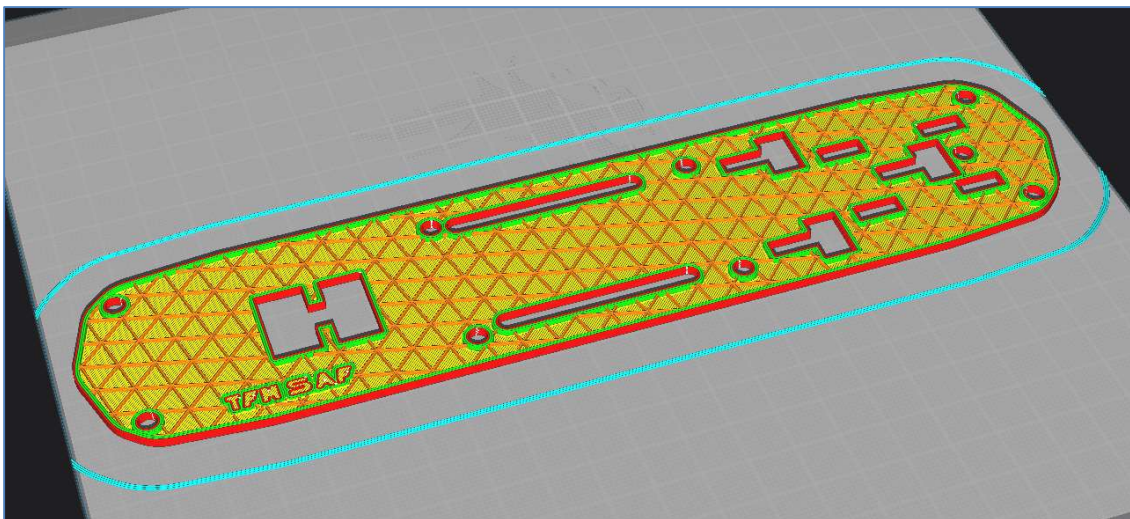


Ilustración 114 - Ilustración 109 - Relleno de la tapa.
Fuente: Realización propia.

3.2.2.3 Brazos

El diseño de las patas se puede dividir en 3 puntos principales:

- ✚ Cuna de los motores.
- ✚ Longitud de las patas.
- ✚ Encastre de los brazos a la estructura.

Las dimensiones de la cuna de los motores vienen restringidas por el diámetro de los motores, así como por la métrica de los tornillos de anclaje. Dichas dimensiones vienen indicadas en las especificaciones técnicas del fabricante:

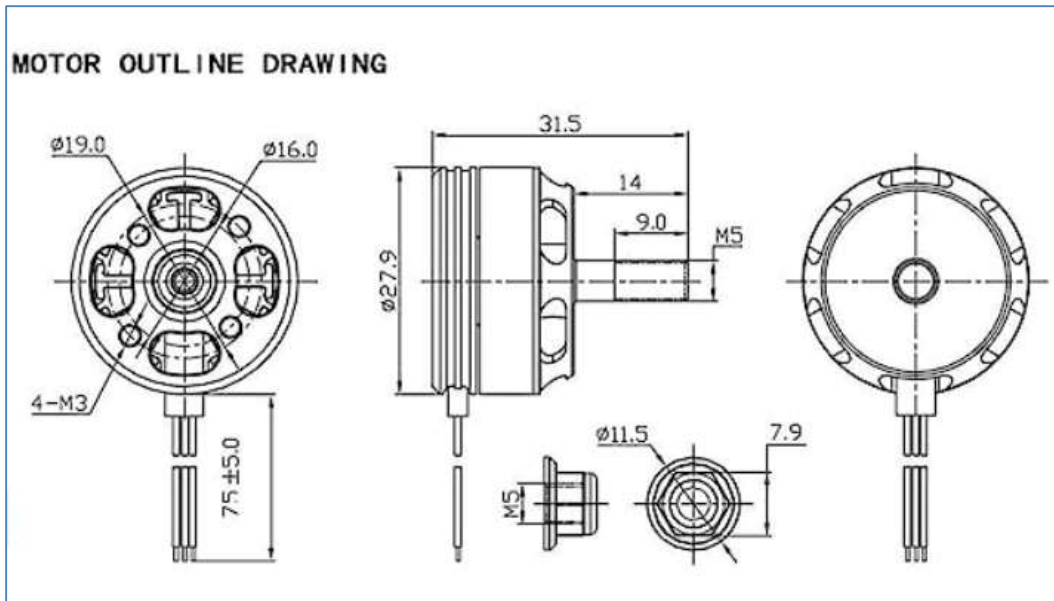


Ilustración 115 - Dimensiones de los motores elegidos.

Extraída de: https://www.amazon.es/dp/B075731ZJM?psc=1&ref=ppx_yo2ov_dt_b_product_details

En cuanto a la longitud de las patas, se tiene en cuenta a priori para una hélice de 5 pulgadas, pero dado que el objetivo del proyecto es diseñar un dron polivalente, se guarda un margen para instalar unas hélices de hasta 7 pulgadas.

Dentro del diseño, se hacen dos nervios a los lados que cumplen 2 funciones:

- Aplicar rigidez al brazo.
- Hacer de guía para los cables de los motores, quedando éstos resguardados.

Para el encastre de los brazos a la estructura se realiza un diseño con un bisel con el que cada pata, se ve compensada con su compañera. A parte se hacen 4 taladros de anclaje a la baseplate.

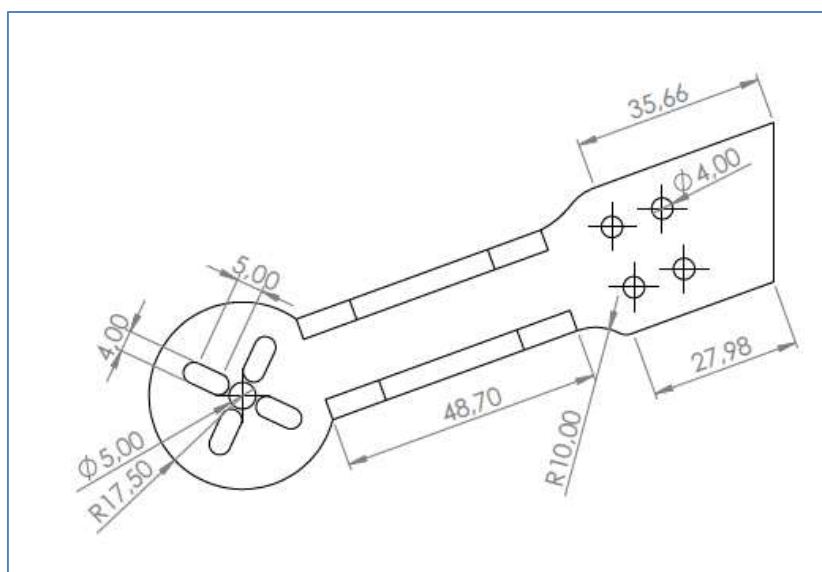


Ilustración 116 - Vista en planta del brazo diseñado.

Fuente: Realización propia.

Al brazo se le aplica un espesor de 4mm de base, 4,5mm con los nervios:

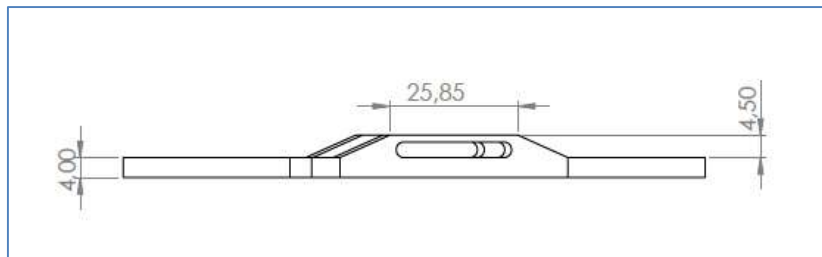


Ilustración 117 - - Vista en perfil del brazo diseñado.
Fuente: Realización propia

El diseño que se realiza brinda la posibilidad de que un brazo pueda ir en dos posiciones en el dron. Así pues, se tienen dos configuraciones de brazo:

- LH FRONT & RH BACK
- LH BACK & RH FRONT

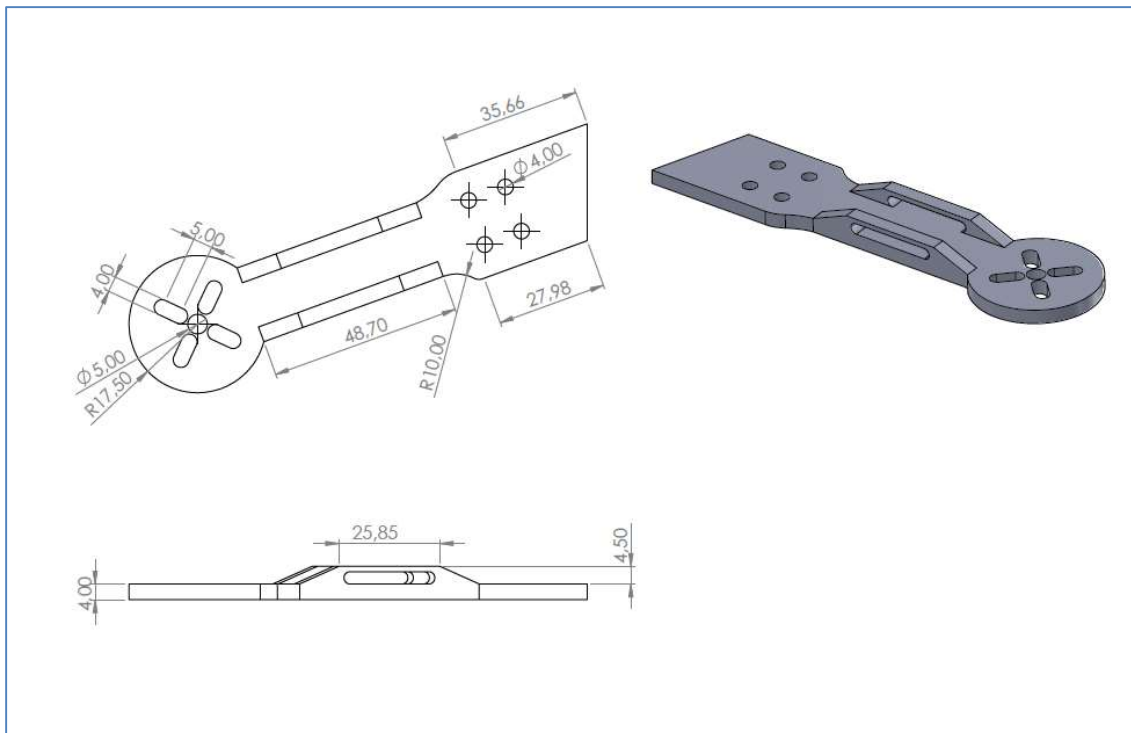


Ilustración 118 - Brazo LH BACK & RH FRONT.
Fuente: Realización propia.

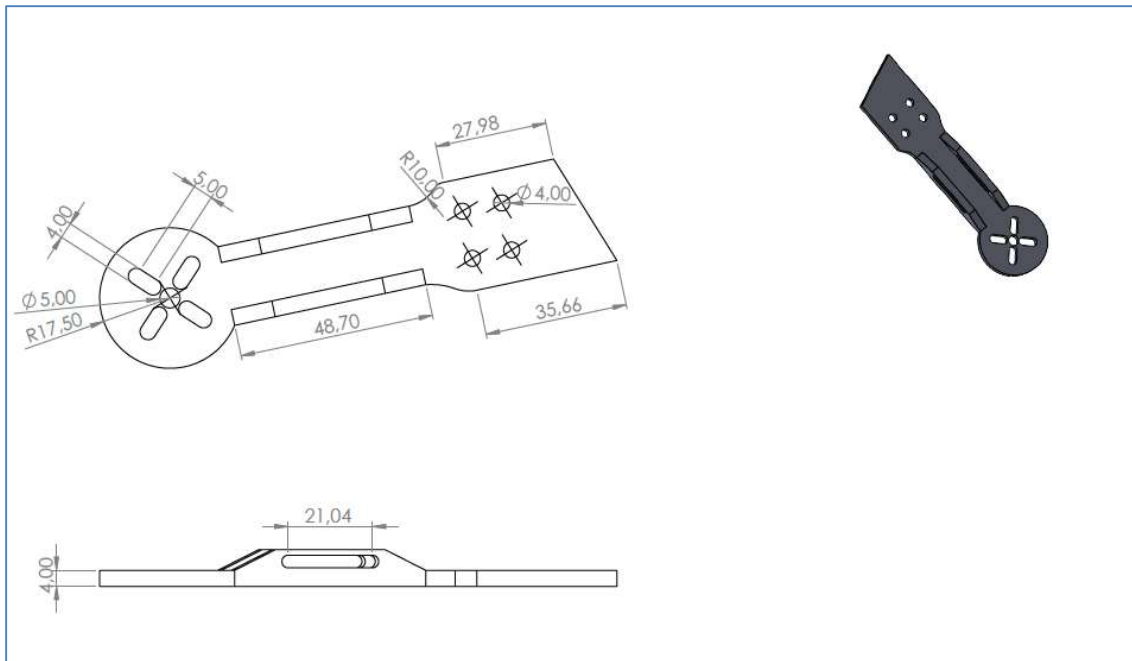


Ilustración 119 - Brazo RH BACK & LH FRONT.
Fuente: Realización propia.

La impresión de los brazos se realiza con la mayor superficie en la placa de impresión. De esta forma se facilita la impresión disminuyendo los soportes necesarios.

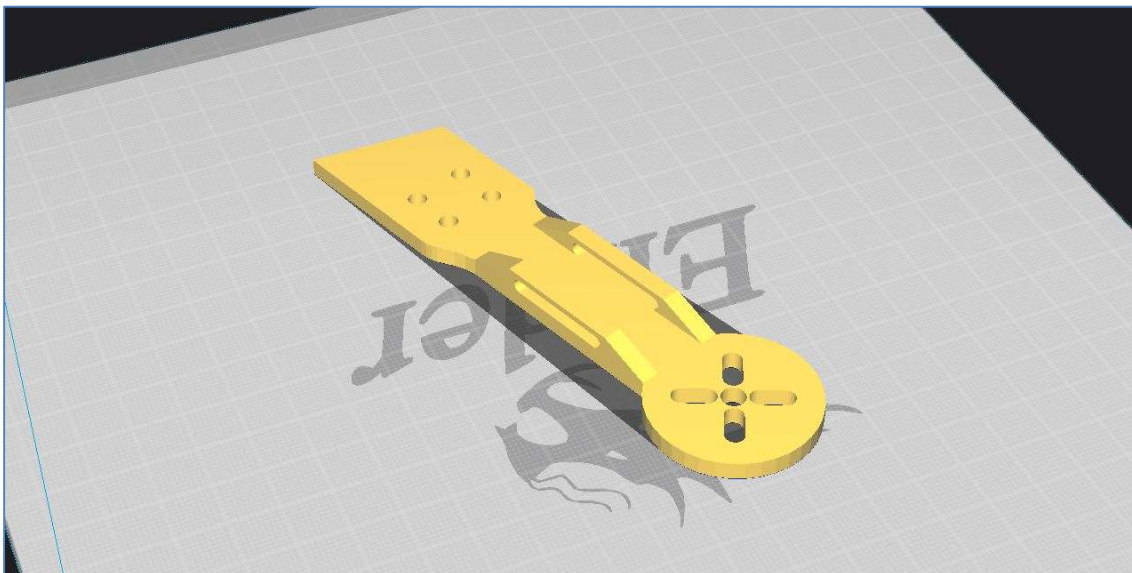
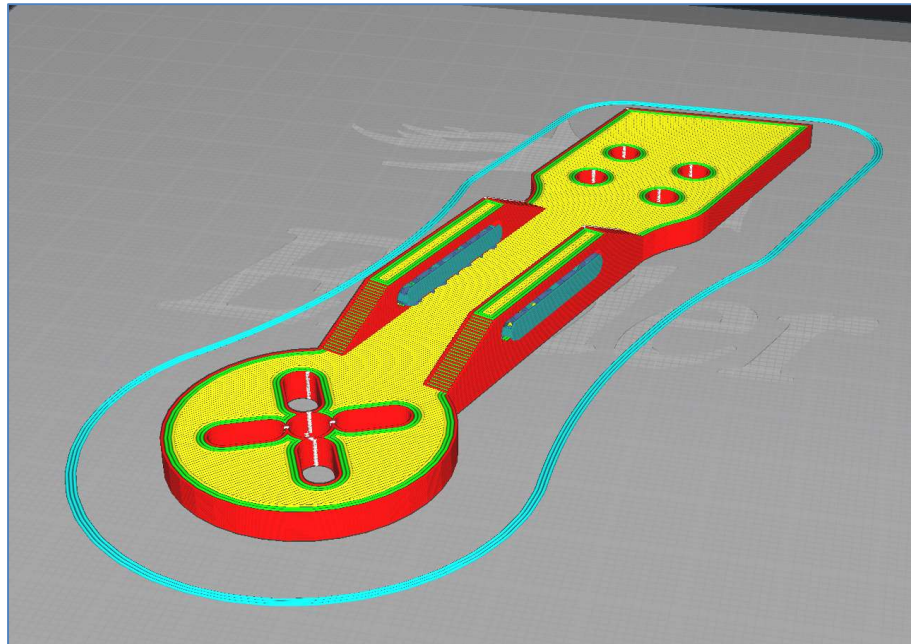
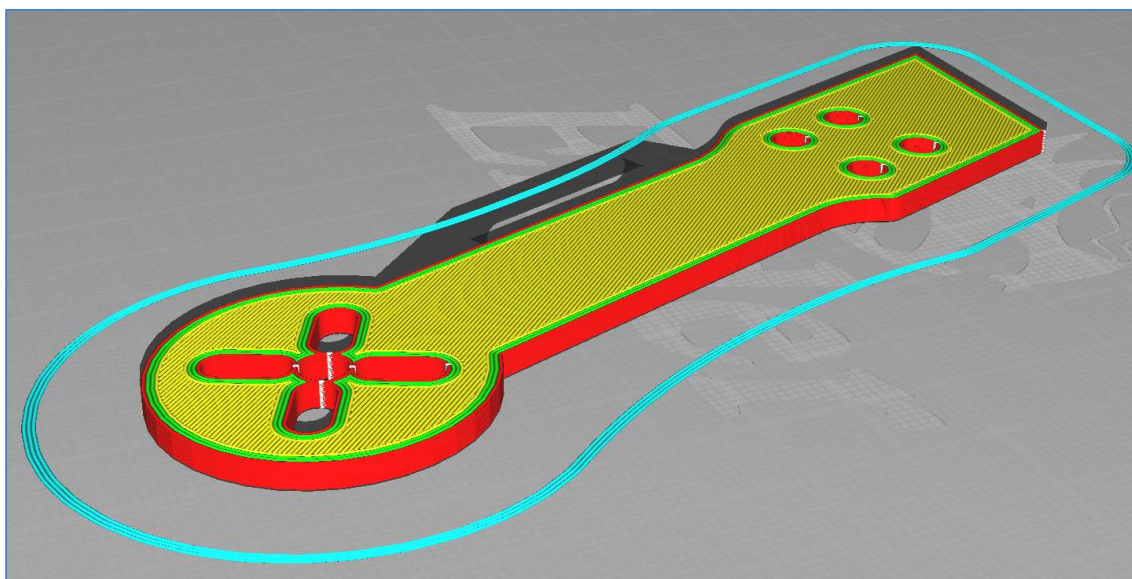


Ilustración 120 - Colocación del brazo en la placa de impresión.
Fuente: Realización propia.



*Ilustración 121 - Segmentación del brazo en Ultimaker Cura.
Fuente: Realización propia.*



*Ilustración 122 - Relleno del brazo.
Fuente: Realización propia.*

3.2.2.4 Soportes cámara FPV

Para colocar la cámara FPV, se realizan dos soportes los cuales van sujetos mediante 4 alojamientos en la base y la tapa. Dichos soportes tienen a su vez un rebaje para fijar mejor la cámara, pero dejando que se pueda ajustar. A su vez la cámara va sujeta a dichos soportes mediante 2 tornillos pasantes por un agujero.

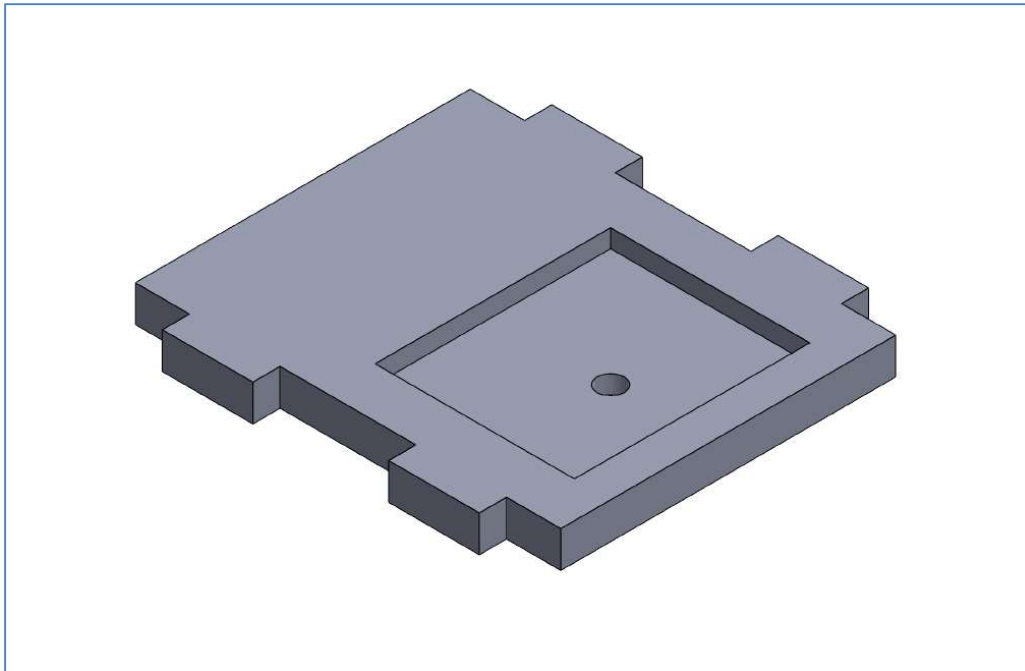


Ilustración 123 - Diseño de los soportes.
Fuente: Realización propia.

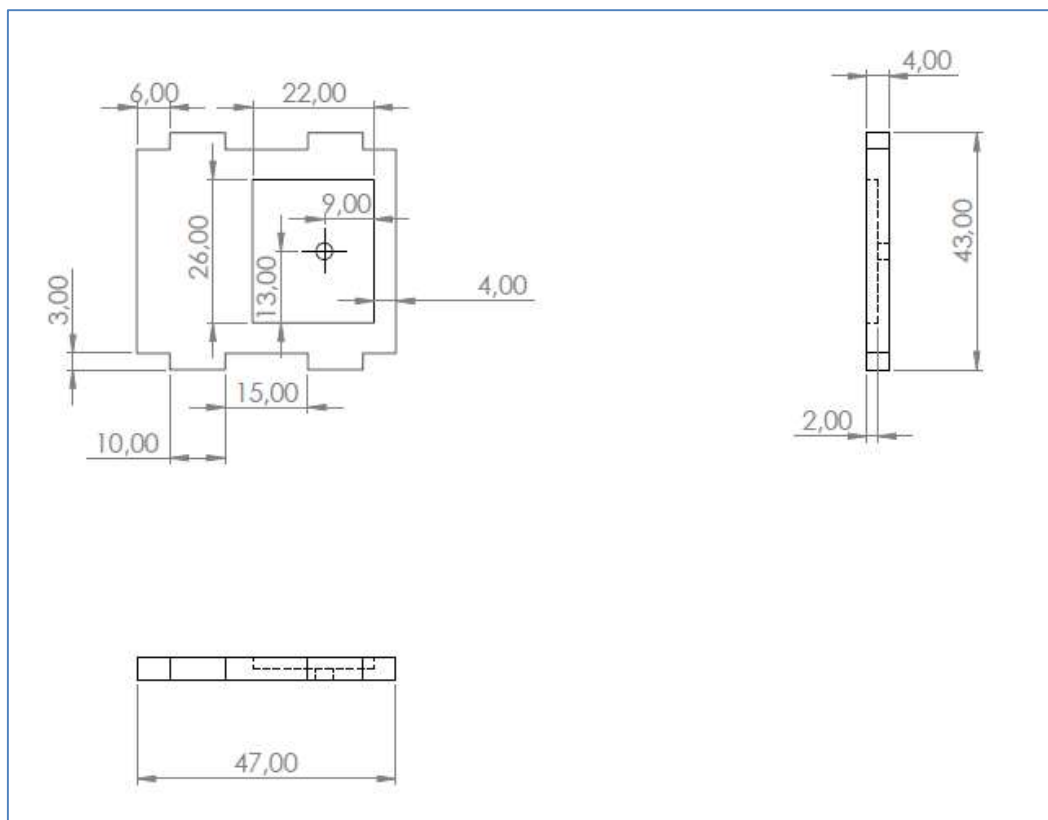
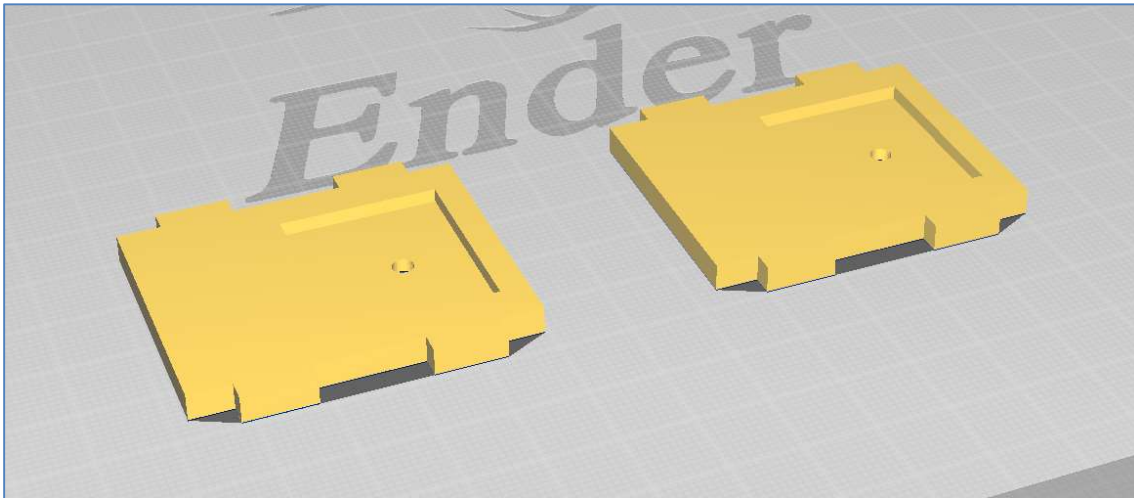
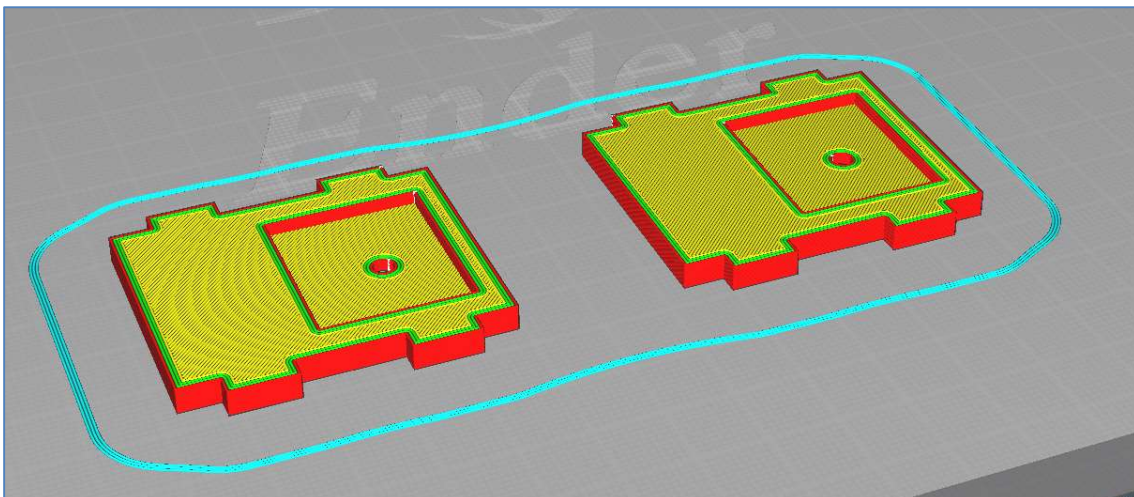


Ilustración 124 - Vistas acotadas de los soportes de la cámara FPV.
Fuente: Realización propia.

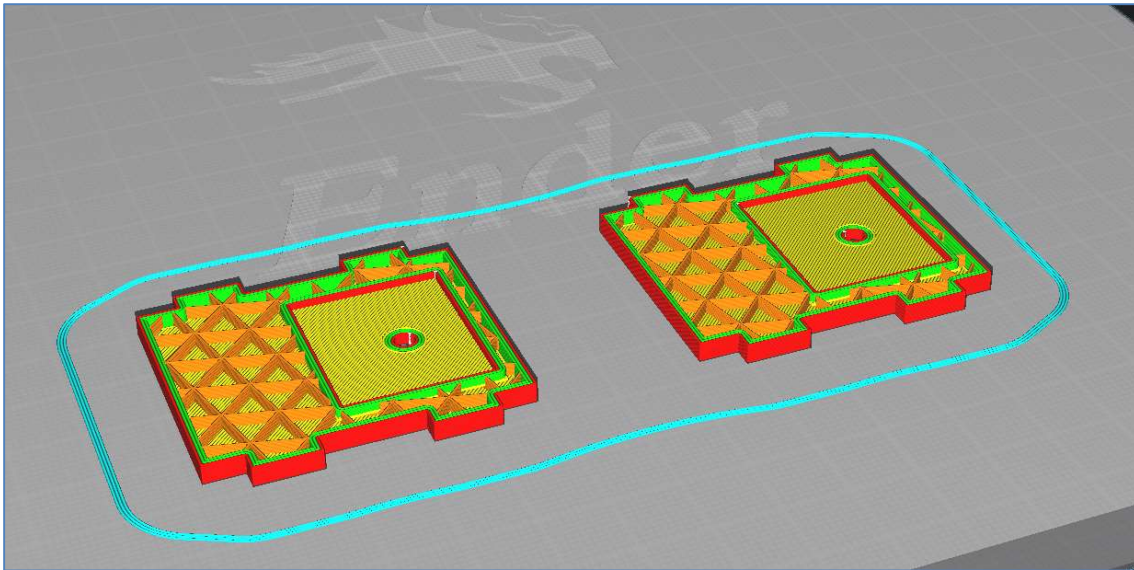
Para la fabricación de los soportes, se configura la pieza de tal forma que ésta se asienta sobre la cama de impresión, dejando los rebajes en la parte superior. De esta forma, no es necesaria la generación de soportes.



*Ilustración 125 - Colocación los soportes en la placa de impresión.
Fuente: Realización propia.*



*Ilustración 126 - Segmentación de los soportes realizado en Ultimaker Cura.
Fuente: Realización propia.*

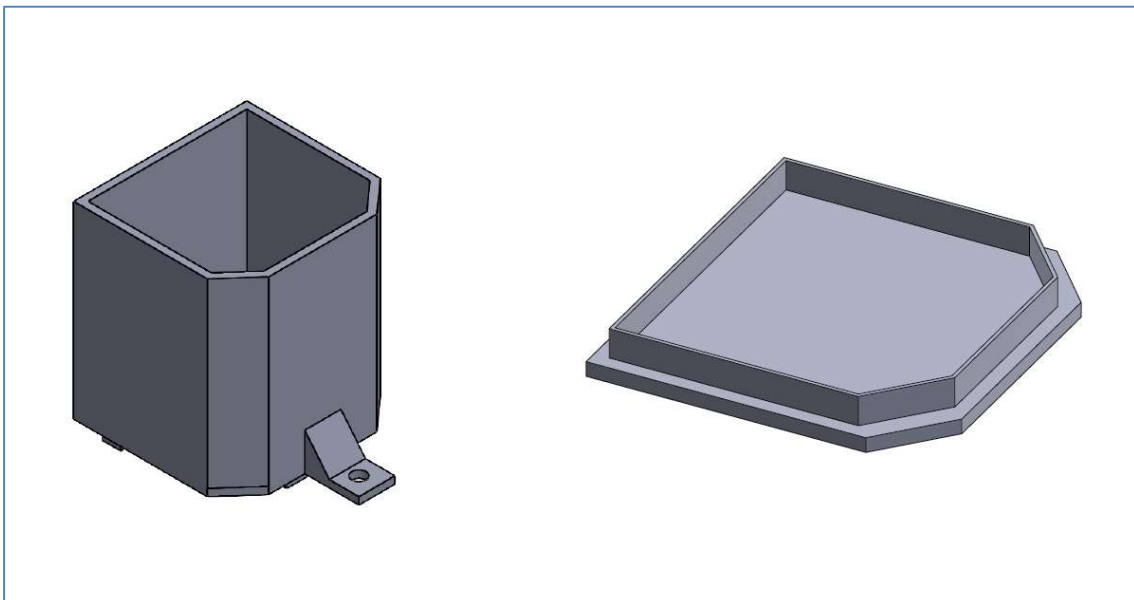


*Ilustración 127 - Relleno de los soportes de la cámara FPV.
Fuente: Realización propia.*

3.2.2.5 Accesorio Dummy

Con el objetivo de probar y simular el sistema de anclaje del adaptador de la cámara al dron por la tapa, se diseña un accesorio dummy que imita las dimensiones del soporte para la cámara que se pretenda instalar.

Se diseña con forma hueca y una tapa para introducir peso y de esta forma crear más similitud entre el dummy y el soporte que se quiera instalar.



*Ilustración 128 - Diseño de accesorio Dummy y su tapa.
Fuente: Realización propia.*

El dummy además, está fabricado con el mismo sistema de anclaje que se pretende implementar para los diferentes soportes. Este sistema consiste en 3 pestañas correderas que se insertan en la tapa en unos alojamientos creados para tal fin, y se fija mediante la instalación de un tornillo en un taladro diseñado para ello.

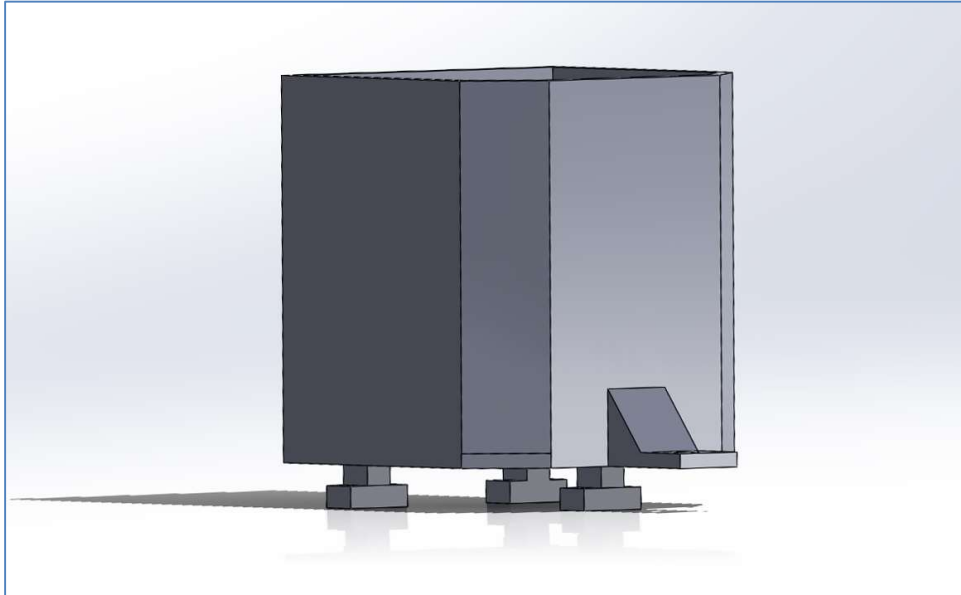


Ilustración 129 - Pestañas del sistema de anclaje a la tapa del dron.
Fuente: Realización propia.

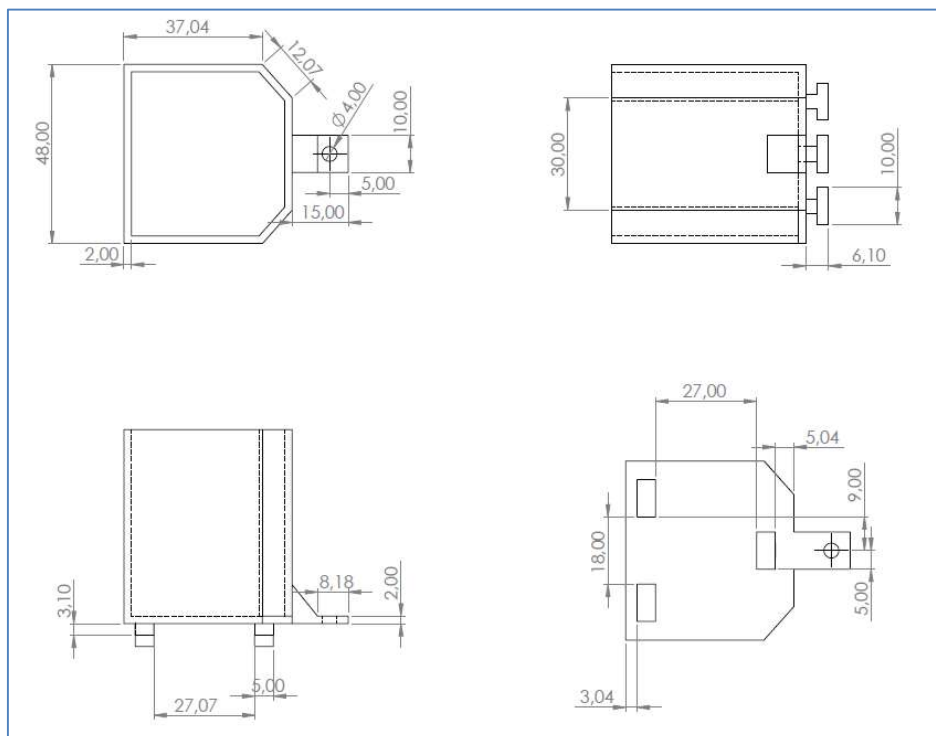
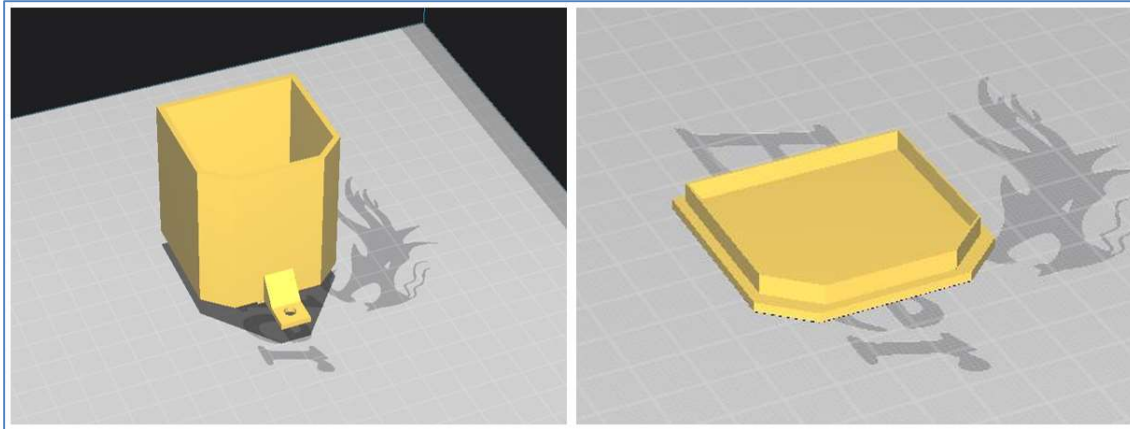
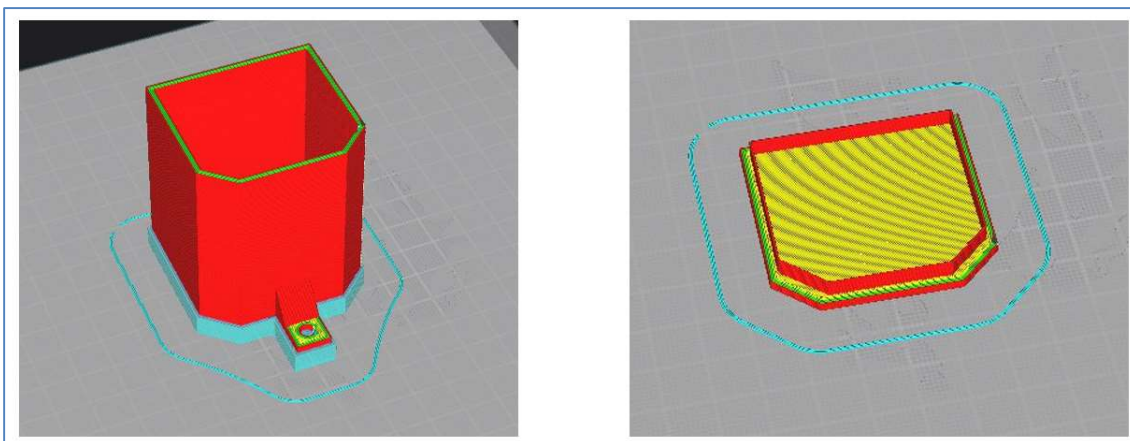


Ilustración 130 - Vistas acotadas del accesorio Dummy.
Fuente: Realización propia.

La fabricación de este elemento se realiza colocando las pestañas sobre la cama de impresión. Para realizar dicha impresión, se requiere de soportes en la parte inferior como se muestra en la imagen:



*Ilustración 131 - Colocación del accesorio Dummy y la tapa en la placa de impresión.
Fuente: Realización propia.*

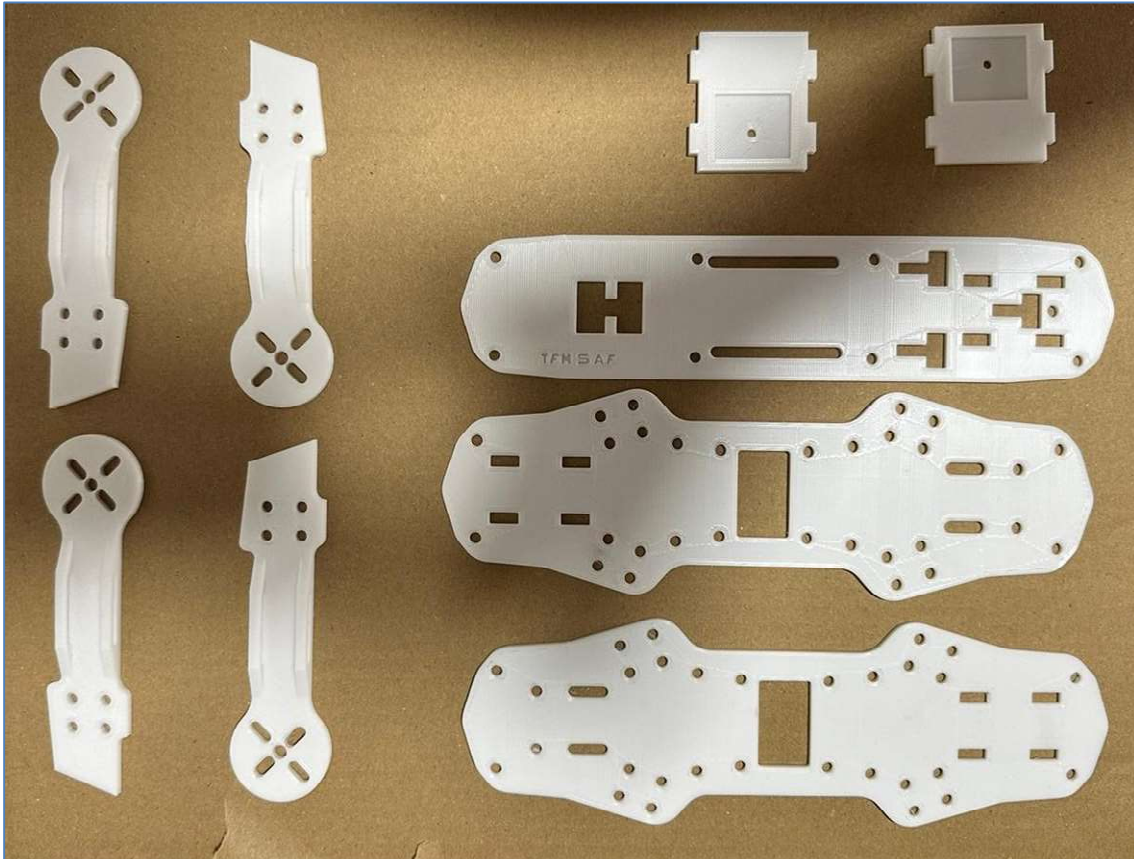


*Ilustración 132 - Segmentación del adaptador Dummy y la tapa realizado en Ultimaker Cura.
Fuente: Realización propia*

Tras la fabricación, se requiere un pequeño retrabajo para eliminar el soporte con mucha precisión, dado que no se incluyó una tolerancia muy amplia lo que hace que las pestañas no se desplacen con facilidad en los alojamientos.

Chapter 4. INTEGRACIÓN

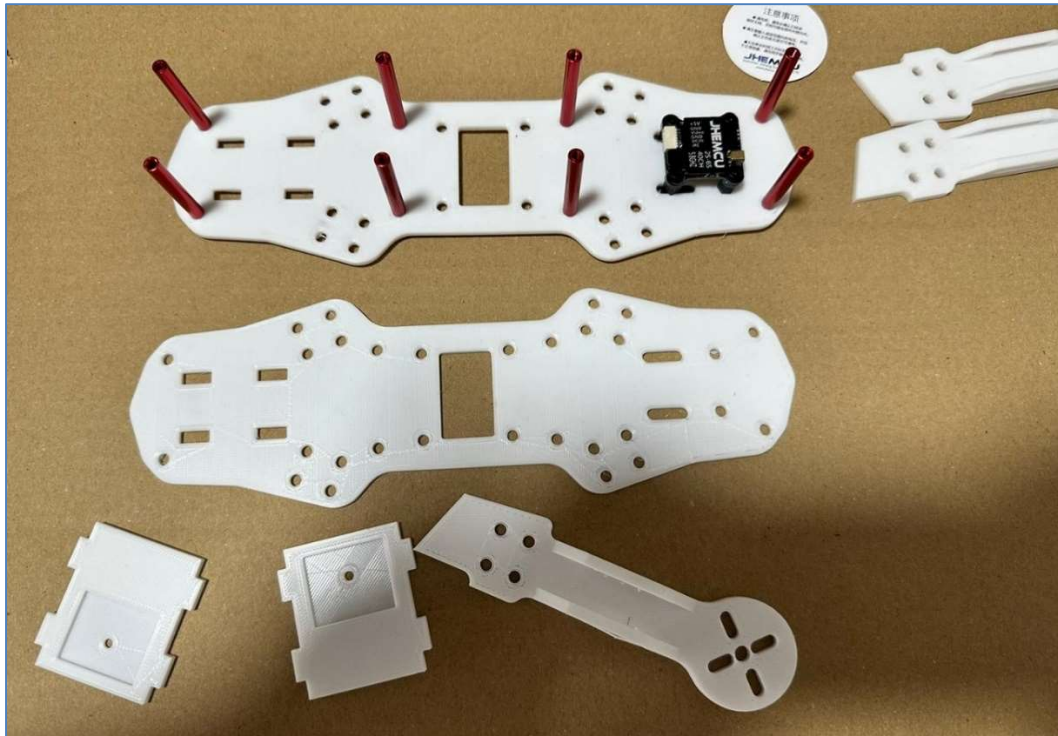
Una vez impresas las piezas, se procede a realizar el ensamblaje de las piezas.



*Ilustración 133 - Piezas del dron impresas en PLA.
Fuente: Fotografía propia.*

A continuación, se detalla el ensamblaje completo del dron en cuanto a la parte mecánica se refiere, dado que la parte electrónica ya se trató en el apartado 3.1.3 “ENSAMBLAJE DE COMPONENTES” del presente documento.

Se comienza montando en la primera placa inferior las columnas, así como el receptor VTX y los tornillos de sujeción del stack de PDB/ESC – Controladora de vuelo:



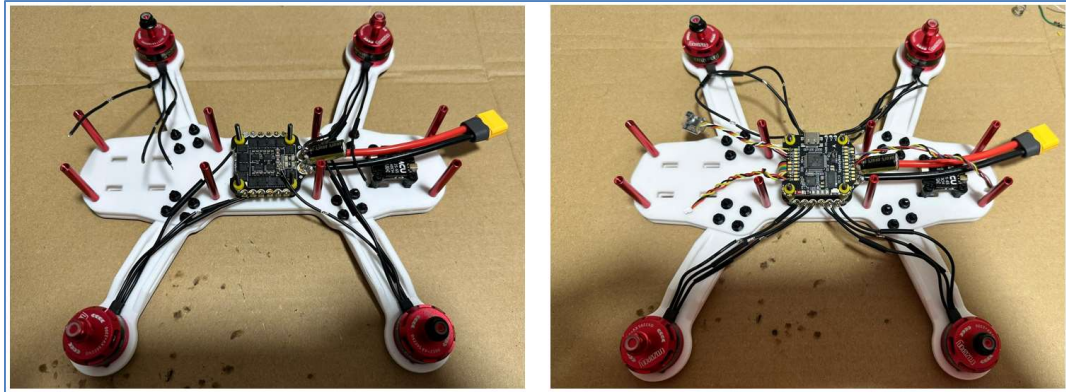
*Ilustración 134 - Montaje del receptor VTX y de las columnas.
Fuente: Fotografía propia.*

A continuación, se procede a ensamblar los brazos y la segunda placa inferior, de manera que los brazos quedan entre ambas placas inferiores.



*Ilustración 135 - Montaje de los brazos y las placas inferiores.
Fuente: Fotografía propia.*

El siguiente paso en el ensamblaje del dron, es colocar los motores y el stack de PDB/ESC – Controladora de vuelo.



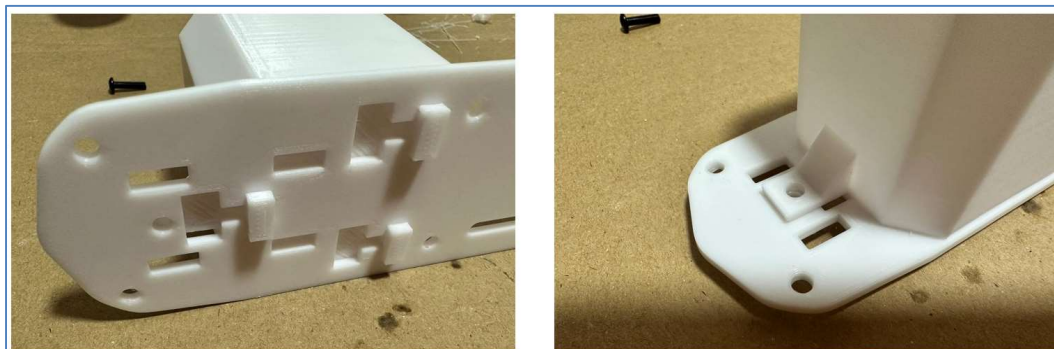
*Ilustración 136 - Montaje de los motores y del stack PDB/ESC - Controladora de vuelo en la estructura.
Fuente: Fotografías propias.*

Una vez montada la mayoría de la electrónica, se procede a montar la cámara FPV en los soportes y posteriormente se colocan en sus alojamientos dentro de la placa inferior



*Ilustración 137 - Montaje de cámara FPV en los soportes e inserción en los alojamientos de la placa inferior.
Fuente: Fotografías propias.*

El siguiente paso, previo al montaje final, es montar el accesorio dummy en la placa superior utilizando las pestañas, los alojamientos y el taladro de anclaje:



*Ilustración 138 - Integración de las pestañas en los alojamientos y taladro de anclaje.
Fuente: Fotografía propia.*



*Ilustración 139 - Fijación final del adaptador dummy con tornillo en el taladro dedicado.
Fuente: Fotografía propia.*

La integración del dron finaliza colocando la tapa superior. Para ello hay que alinearla con las torretas y los alojamientos con las pestañas de los soportes de la cámara FPV.



*Ilustración 140 - Integración final del dron.
Fuente: Fotografía propia.*

4.1 SOFTWARE DE VUELO

Tras ensamblar el dron tanto electrónica como estructuralmente, hay que configurarlo para que vuele correctamente. Para esto, se utilizará el software “Betaflight”. La razón principal de uso de dicho software es que es de código libre, gratuito y existe una gran cantidad de soporte en la red para comenzar a usarlo.

Es importante antes de comenzar con la configuración del dron, a parte de instalar el programa, descargar los últimos drivers necesarios, los cuáles vienen indicados en el propio programa.

Una vez hecho esto, se ha de conectar el dron al ordenador mediante cable USB-C.

Habiendo conectado el dron al ordenador, se comienza a configurar utilizando las pestañas que hay a la izquierda del programa.

En la primera opción “Ajuste”, se realiza la calibración del acelerómetro, colocando el dron sobre una superficie plana y pulsando el botón “Calibrar acelerómetro”:

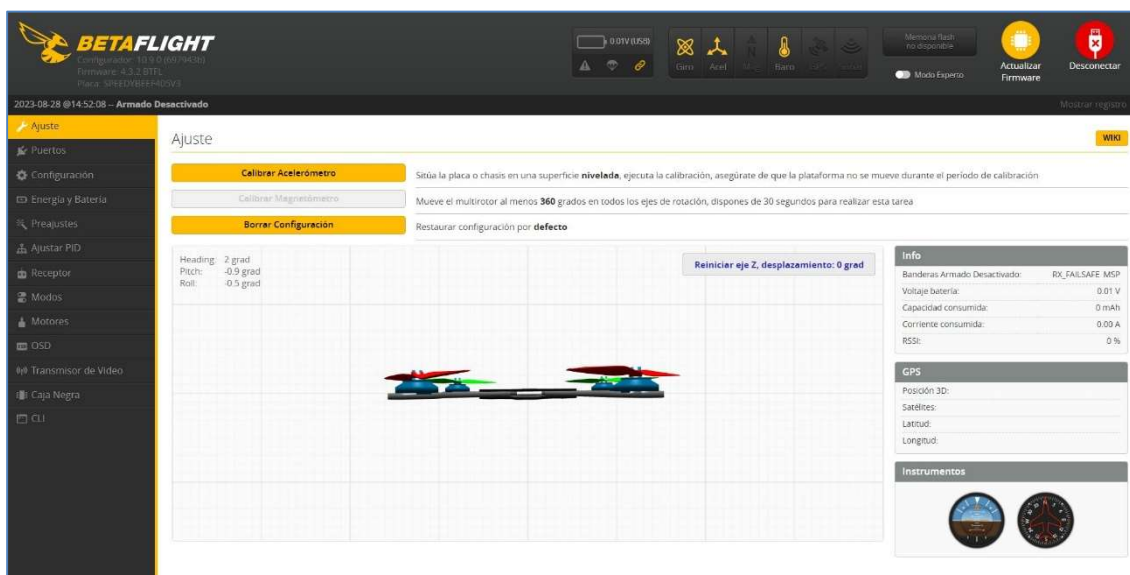


Ilustración 141 - Betaflight. Pantalla Ajuste.
Fuente: Realización propia.

Al calibrar el acelerómetro, si se coge el dron con la mano y se mueve, en la pantalla se moverá en tiempo real. Un punto importante en esta pantalla es comprobar que la orientación de la pantalla corresponde con la del dron.

Se continúa la configuración con la pestaña “Puertos”, en la que se configurarán los puertos de la controladora de vuelo. En esta ventana se configura el receptor ELRS, que se encuentra en el UART 2 y también se configuraría el receptor de video VTX. Dado que no se dispone de gafas FPV (aunque se haya realizado la instalación del receptor para un futuro uso), se deja sin activar. Para un uso futuro, se tendría que configurar en el UART 1, marcando en el desplegable de la columna “periféricos” la opción “VTX (IRC Tramp)”.

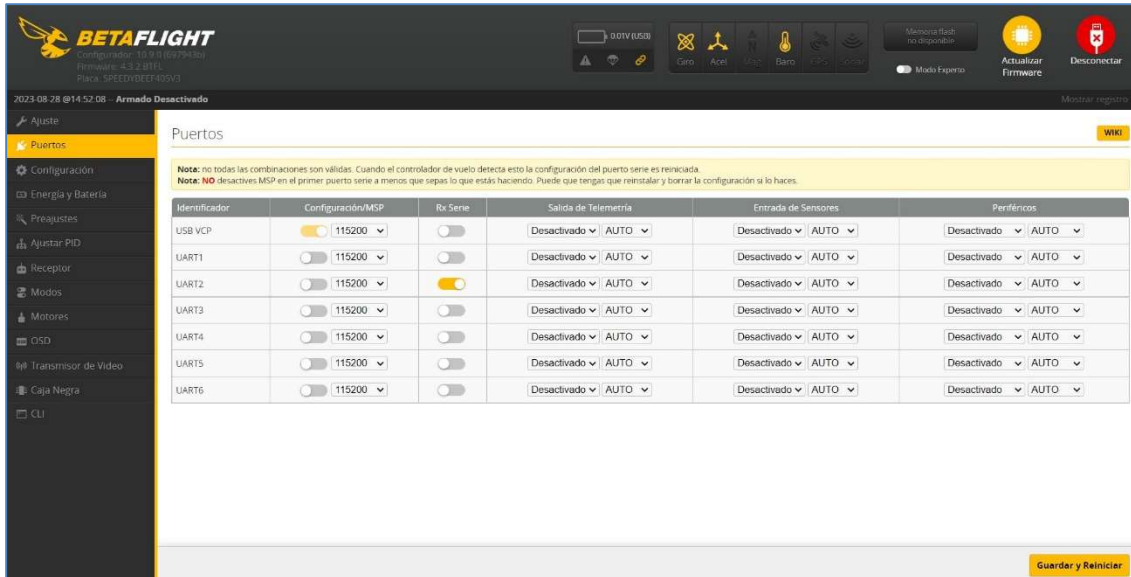


Ilustración 142 - Betaflight. Pantalla Puertos.
Fuente: Realización propia.

A continuación, se pasa a la pestaña “Configuración”. En dicha pestaña se deja la configuración como está y a mayores se activan las pestañas “RX_LOST” y “RX_SET”.

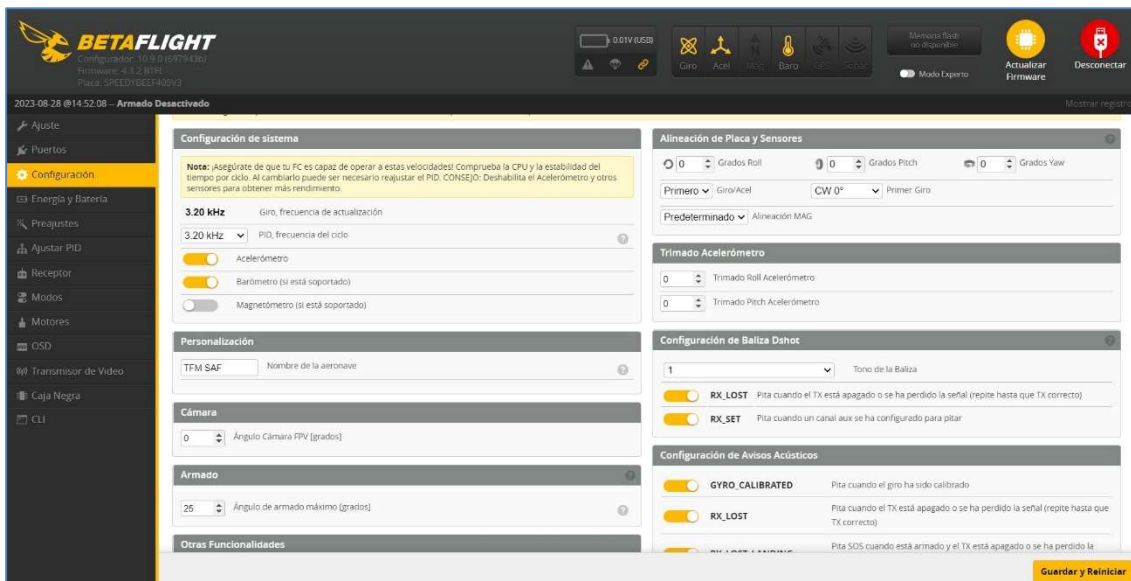


Ilustración 143 - Betaflight. Pantalla Configuración.
Fuente: Realización propia.

En la pantalla “Receptor” se configurará la emisora para que se entienda con el dron. En esta configuración se marca en la parte de receptor “Serie (a través de UART)” y el protocolo CRSF (Asociado al ELRS).

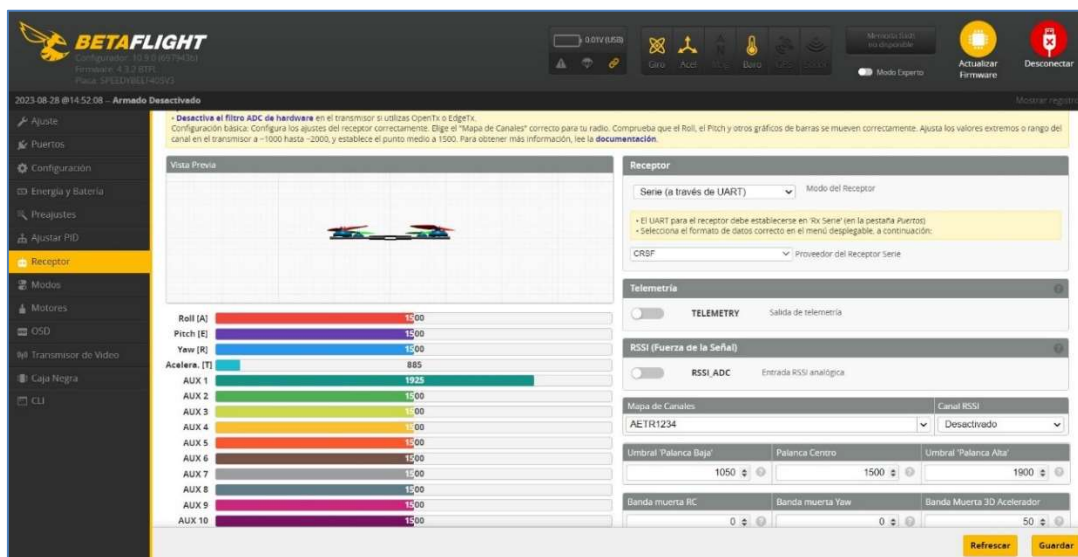




Ilustración 144 - Betaflight. Pantalla Receptor.
Fuente: Realización propia.

Para el siguiente paso, siguiendo en la misma ventana “Receptor”, se procede a bindear la emisora con el dron. A partir de aquí, si se actúa sobre los mandos de la emisora, se verá la respuesta en tiempo real en la pantalla.

Se continúa con la pestaña “Modos”, donde se configurarán dos:

-  ARM: Configura el botón de la emisora para armar el dron.
-  BEEPER: Configura un botón de la emisora para que el dron emita un pitido cuando se pulse.

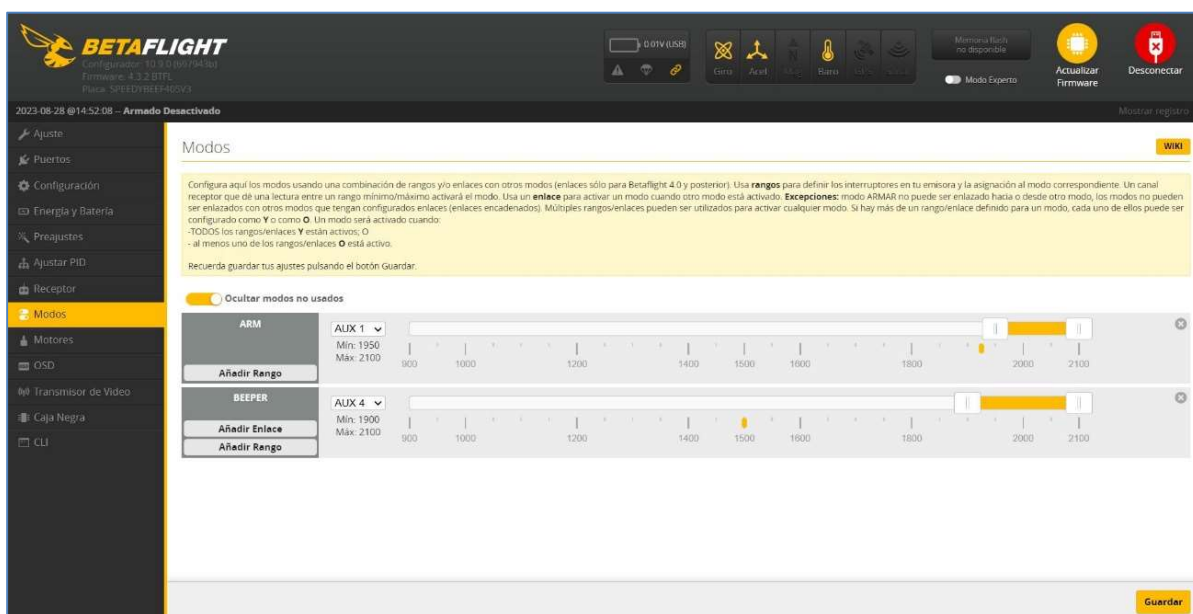


Ilustración 145 - Betaflight. Pantalla Modos.
Fuente: Realización propia.

Por último, se configura los motores usando la pestaña dedicada a ello. Importante en este paso quitar las hélices por precaución.

En esta pestaña se comprueba que los motores giran correctamente y por ende, que están bien conectados.

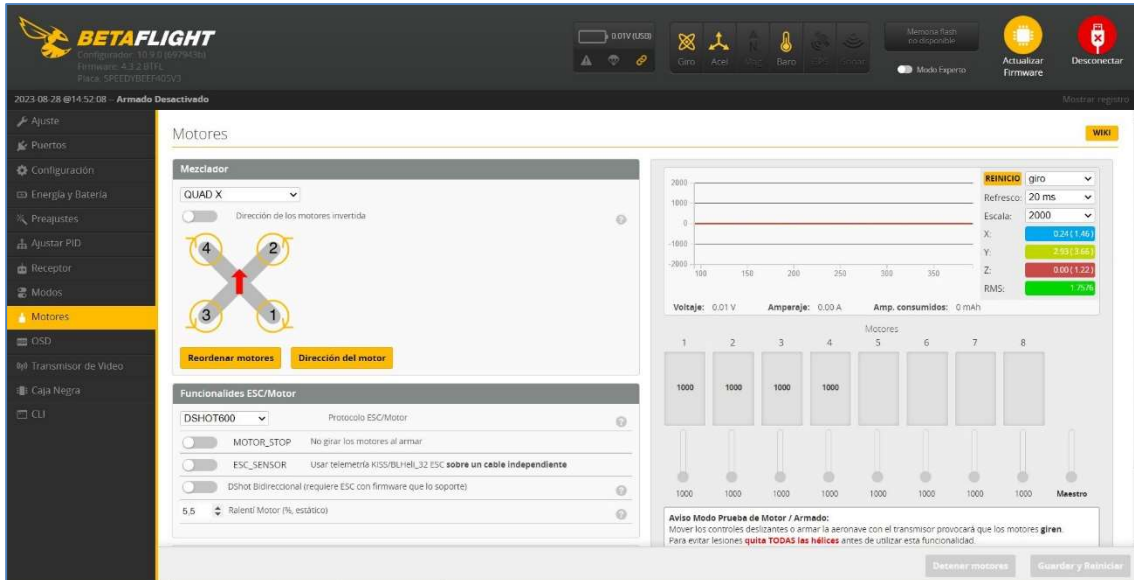


Ilustración 146 - Betaflight. Pantalla Motores.
Fuente: Realización propia.

Chapter 5. CONCLUSIONES

En base a los objetivos establecidos y a los resultados obtenidos, se concluye que:

- ✓ *Fabricar el dron mediante impresión 3D.* Se ha logrado realizar todo el proceso desde la caracterización y elección del material, hasta el ensamble final pasando por el diseño y fabricación en PLA mediante impresora 3D. Todo esto, manteniendo los márgenes permitidos según la legislación aplicable presentada.
- ✓ *Dron polivalente.* Tanto la elección de los materiales, el diseño de su estructura y los componentes que conforman el dron, ofrecen unos márgenes que dotan al dron con capacidad para llevar diferentes cargas de pago y realizar diferentes funciones, dentro del marco normativo y con seguridad.
- ✓ *Dron multi-rotor.* Todos los procesos seguidos a lo largo de este proyecto desembocan en un dron multi-rotor capaz de realizar todo lo anteriormente mentado con 4 motores.

REFERENCIAS

- [1] Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems (Regulations (EU) 2019/149 and 2019/945) – Revisión de Septiembre 2022: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/easy-access-rules/easy-access-rules-unmanned-aircraft-systems-regulations-eu>
- [2] Reglamento de ejecución (UE) 2019/947 de la Comisión de 24 de Mayo de 2019 relativo a las normas y los procedimientos aplicables a la utilización de aeronaves no tripuladas: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32019R0947>
- [3] Ferrovial - Que es y para qué sirven los drones y usos en el ámbito civil: <https://www.ferrovial.com/es-es/innovacion/tecnologias/drones/>
- [4] Locis SIGTECH - ¿Qué es un dron? <https://www.locis.es/que-es-un-dron/>
- [5] Umiles - ¿qué es un dron?: <https://umilesgroup.com/que-es-un-dron-y-para-que-sirve/>
- [6] ABAX - La historia de la impresora 3D: los orígenes de las primeras máquinas: <https://abax3dtech.com/2020/07/24/historia-de-la-impresora-3d/>
- [7] AULA 21 - Cómo funciona la impresión 3D: <https://www.cursosaula21.com/que-es-la-impresion-3d/>
- [8] AUTODESK - ¿Qué es la impresión 3D?: <https://www.autodesk.es/solutions/3d-printing>
- [9] WIKIPEDIA – Usos de las impresoras 3D: https://es.wikipedia.org/wiki/Impresi%C3%B3n_3D#Aplicaciones
- [10] IMPRESORAS3D.COM - Tipos de impresoras 3D: <https://www.impresoras3d.com/tipos-de-impresoras-3d/>
- [11] MOXÍGENO.COM – ADIDAS FUTURECRAFT 3D: <https://moxigeno.com/2015/10/08/adidas-shoes-futurecraft-3d-impresion-zapatillas-adidas-personalizadas-en-tiempo-real/>
- [12] UMILES - TIPOS DE DRONES: <https://umilesgroup.com/tipos-de-drones/>
- [13] ELDRONE.ES – Historia de los drones: <http://eldrone.es/historia-de-los-drones/>
- [14] IMPRESORAS3D.COM – Breve historia de las impresoras 3d: <https://www.impresoras3d.com/breve-historia-de-la-impresion-3d/>
- [15] DESIGNACIÓN HÉLICES: <https://accesoriosdrone.com/componentes-para-tu-drone/helices/>
- [16] Ensayo de tracción: <https://www.areatecnologia.com/materiales/ensayo-de-traccion.html>



[17] Resistencia de materiales:

https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/DFM/DPM/DPM04/es_DFM_DPM04_Contenidos/website_44_clculo_de_la_tensin_mxima.html

[18] How to Calculate Electric Motor Torque 2023:

<https://www.tytorobotics.com/blogs/articles/how-to-calculate-electric-motor-torque>