

**Fabricación De Un Drone Mediante La Manufactura Aditiva Como
Herramienta Didáctica De Aprendizaje
(Práctica Internacional)**

Maira Alejandra Mosquera Silva

Trabajo Final presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniero Industrial

Universidad Antonio Nariño

Facultad Ingeniería

Programa Ingeniería Industrial

Villavicencio - Meta

Julio 2020.

Nota De Aceptación

Maira Alejandra Mosquera Silva.

Comité Trabajo de Grado

Jurado

Jurado

Dedicatoria

Dedico este gran triunfo primeramente a Dios quien en su misericordia dispuso del tiempo y dinero para la culminación de este proyecto. También a quien creyó en mí alentando a seguir adelante, por su esfuerzo y apoyo cuando más necesitaba mi madre hermosa. Mis hermanos por apoyarme económicamente.

Este triunfo no es solo de mi parte, sino a todos aquellos que hicieron posible la realización de este intercambio para la culminación de la carrera.

Siendo este proyecto el ejemplo del resultado de mucho sacrificio y perseverancia, los cuales aprendí, durante la estancia en México.

Agradecimiento

Con el más profundo y sincero agradecimiento primeramente a Dios por permitirme tener y disfrutar de mi familia, por apoyarme en cada decisión y proyecto. Gracias a la vida porque cada día me demuestra lo hermosa que es, y lo justa que llega a ser. Gracias a mi familia por creer en mí y permitirme cumplir con excelencia el desarrollo de esta tesis.

A todo el personal de la Universidad Antonio Nariño como a la Ing. Nancy E. Saray Muñoz y el Tecnológico Superior de Poza Rica como a la Lic. Eréndira Segoviano, quienes me transmitieron el conocimiento y apoyo para llevar adelante este proyecto.

Agradezco a todos mis amigos de Colombia como en México que me acogieron con cariño abriendo no solo la puerta de su casa sino también su corazón y su confianza.

Resumen

En la actualidad, la ingeniería de diseño y la tecnología mecatrónica avanzan a pasos agigantados en diferentes países buscando también una minimización de costo asequible al público en general. El diseño en 3D y la impresión, abren una nueva era en diferentes ramas de la investigación en ingeniería (por ejemplo, el arte con la elaboración de esculturas, en medicina con su fabricación en prótesis, manufactura con la construcción de piezas para maquinaria, etc...), La creación de prototipos, permite tener al alcance un sin número de posibilidades en la creación, innovación y planificación de diseños y prototipos 3D.

Este proyecto hace extensivo el uso de las herramientas que brinda la tecnología 3D, para apoyar el desarrollo de un proceso que genere un producto tecnológico e innovador, como lo es un drone con funciones de publicidad.

Para ello consideramos seguir tres pasos importantes;

1.- el diseño

2.- impresión 3D

3.- Ensamble del software y hardware con el chasis y la cubierta

Estos pasos seguirán un esquema estructural progresivo, mediante el planteamiento inicial de un diseño con la finalidad de tener un desempeño aceptable durante el vuelo.

Abstract

At present, design engineering and mechatronic technology are advancing by leaps and bounds in different countries also seeking a cost minimization accessible to the general public. 3D design and printing opens a new era in different branches of engineering research (for example, art with the making of sculptures, medicine with its manufacture in prosthetics, manufacturing with the construction of parts for machinery, etc.), Prototyping, allows you to have the scope of a number of possibilities in the creation, innovation and planning of 3D designs and prototypes.

This project makes extensive use of the tools provided by 3D technology, to support the development of a process that generates a technological and innovative product, such as a drone with advertising functions.

For this we consider following three important steps;

- 1.- the design
- 2.- 3D printing
- 3.- Software and hardware assembly with the chassis and cover

These steps will follow a progressive structural scheme, through the initial approach of a design in order to have an acceptable performance during the flight.

Tabla de Contenidos

Introducción.....	16
Capítulo 1.....	17
Problema De Investigación.....	17
Descripción	17
Planteamiento.....	19
Justificación	20
Alcance	21
Capítulo 2.....	23
Objetivos.....	23
Objetivo General:.....	23
Objetivos Específicos:	23
Capítulo 3.....	24
Marco De Referencia.....	24
Antecedentes	24
Artículos Científicos.....	24
Marco Teórico:	33
Drone.	33
Evolución En La Historia.	34

Metodología De Vuelo.....	36
Cinemática, Dinámica, Aerodinámica Del Drone Y Cálculo De Peso Y Empuje. .	40
Definiciones y Componentes.....	44
Impresión 3d.....	53
Tipos de material de extrusión en impresión 3D.....	54
Descripción Del Software De Diseño.....	59
Teoría De Construcción De Un Drone.....	60
Marco conceptual.....	63
Drone.....	63
Filamento 3D.....	63
Impresora 3D.....	63
Impresión 3D.....	63
Esc.....	63
Fpv.....	63
Gimbal.....	64
Giroscopio.....	64
LiPo Batería.....	64
Osd.....	64
Pdb.....	64
Pid.....	64

R/C.....	64
RF.....	64
TX.....	64
Marco Geográfico:.....	65
Marco Legal:.....	66
Capítulo 4.....	70
Diseño Metodológico.....	70
Tipo De Investigación:.....	70
Etapas De La Metodología.	71
Etapa 1. Determinar las características y funcionalidades del drone.....	73
Diagnóstico Del Proyecto.	73
Diseños y Características del Drone.	80
Diseños Conceptuales.	80
Análisis De Soluciones.	81
Cronograma de actividades.....	84
Elección y Justificación del Multirrotor.....	84
Metodología De Vuelo Escogida.	85
Diseño Preliminar Y Planos.....	85
Planimetría del Drone.	88
Etapa 2. Parámetros Adecuados De Impresión 3d Para La Elaboración del Drone	89

Fabricación De Las Piezas En Impresión 3d	89
Software de impresión	90
Elementos impresos en 3D.	93
Ejemplo de piezas impresas en 3d.	97
Elementos Electrónicos A Emplearse.....	98
Estimación de Resultados Configuración E-calc.....	102
Etapas 3. Ensamble y Manual Operativo.	104
Estimación del peso del dron e	107
Programación.....	108
Manual operativo o de procedimientos.....	110
Análisis Y Resultados Obtenidos	110
Fichas Técnicas Del Dron e Actual Y El Propuesto.....	110
Medición Y Control De Fallos (Gráficas de control DOE factorial).....	111
Análisis Y Resultados Obtenidos (Resultados de pruebas de vuelo)	117
Referencias	125

Lista De Tablas

Tabla 1 Compuestos de un Drone	44
Tabla 2 Número De Celdas En Batería Lipo	49
Tabla 3 Especificaciones del PLA	55
Tabla 4 Especificaciones del ABS	56
Tabla 5 Especificaciones del PET	56
Tabla 6 Especificaciones de PETG.....	57
Tabla 7 Especificaciones del NYLON	58
Tabla 8 Especificaciones de Fibra de Carbono	59
Tabla 9 Regulación de Drones en Colombia	69
Tabla 10 Voz del Diseño, Proceso y Cliente.....	83
Tabla 11 Componentes en 3d.....	87
Tabla 12 Diseño de piezas del drone	88
Tabla 13 Parámetros de impresión del ABS.....	94
Tabla 14 Parámetros de impresión del PLA.....	96
Tabla 15 Piezas impresas en 3d	97
Tabla 16 Componentes comerciales del drone.....	101
Tabla 17 Proceso de ensamble del drone	107
Tabla 18 Peso del drone	108
Tabla 19 Variables de entrada	112
Tabla 20 Interacciones Relacionada con cada Factor.....	112
Tabla 21 Prueba de Hipótesis	113

Lista De Ilustraciones

Ilustración 1 Abeja macho	34
Ilustración 2 Drone Tricoptero	37
Ilustración 3 Diagrama De Configuración De Tricóptero	37
Ilustración 4 Ejemplo drone + Ó H.....	38
Ilustración 5 Configuración 1 Y 2 + Ó H	38
Ilustración 6 Ejemplo hexacóptero	38
Ilustración 7 Diagrama de configuración Hexacóptero	38
Ilustración 8 Ejemplo Hexacóptero	39
Ilustración 9 Diagrama De Configuración Hexacóptero	39
Ilustración 10 Ejemplo Octocopteros	39
Ilustración 11 Diagrama De Configuración En + ó X	39
Ilustración 12 Diagrama De Rotación Ortogonales.....	40
Ilustración 13 Diagrama De Rotación Ortogonales.....	42
Ilustración 14 Controladora de Vuelo Pixhawk 2.4.8 de 32 bit.....	45
Ilustración 15 Variador 30 a 2s - 3s.....	46
Ilustración 16 Motor brushless Rs 2212 a 920Kv.....	47
Ilustración 17 propelas tripala, y bipala.....	48
Ilustración 18 Equilibrador Magnético	48
Ilustración 19 LIPO con Capacidades de 5000mAh.....	49
Ilustración 20 Módulo de Potencia Compatible con Pixhawk.....	50
Ilustración 21 Módulo de GPS NEO 6 M	51
Ilustración 22 Control de 12 Canales	51
Ilustración 23 Gimbal Estabilizador Estático	52

Ilustración 24 Cámara Go pro Eken 4K.....	52
Ilustración 25 Anatomía de impresora 3d.....	53
Ilustración 26 Ciclo de vida de un producto impreso en 3D	54
Ilustración 27 Software de diseño Solidworks	60
Ilustración 28 Conexión ESC con Batería	62
Ilustración 29 Conexiones Eléctricas de la Pixhawk.....	62
Ilustración 30 Instituto Tecnológico de Poza Rica	65
Ilustración 31 Universidad Antonio Nariño.....	66
Ilustración 32 Metodología de Estudio	71
Ilustración 33 Diagrama de flujo actual (1) VS propuesto (2).	75
Ilustración 34 Drones del laboratorio de mecatrónica.....	76
Ilustración 35 Drone racer en vuelo y drone de 4 y 6 brazos.	76
Ilustración 36 Diagrama de Ishikawa	77
Ilustración 37 Diagrama de Bloques del Drone.....	78
Ilustración 38 Propuestas Correctoras	79
Ilustración 39 VSM del drone.....	80
Ilustración 40 Diseños de drones más destacados en el mercado.....	81
Ilustración 41 Estructura del Drone	84
Ilustración 42 Diagrama de vuelo del cuadroptor.....	85
Ilustración 43 Diseño Preliminar	86
Ilustración 44 Diseño de Brazo del Motor.....	90
Ilustración 45 Guardar Archivo en STL.	90
Ilustración 46 Archivo STL en Cura.....	91
Ilustración 47 Generalidades en flashprint.	91

Ilustración 48 Perímetro en flashprint.	92
Ilustración 49 Relleno en flashprint.....	92
Ilustración 50 Soportes en flashprint	92
Ilustración 51 Proceso de Elaboración Brazo del Drone en ABS.....	95
Ilustración 52 Planos manufacturados en baquelita.....	98
Ilustración 53 Configuración del Drone	102
Ilustración 54 Resultados de la simulación.....	103
Ilustración 55 Estimación De Resultados	104
Ilustración 56 Configuración mission planer.....	109
Ilustración 57 Configuración del cuadroptor	109
Ilustración 58 Calibración de la radio.....	110
Ilustración 59 Configuración del compás.	110
Ilustración 60 Resumen del diseño experimental.	114
Ilustración 61 Gráfica normal de efectos estandarizados	114
Ilustración 62 Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.....	115
Ilustración 63 Graficas de residuos para tiempo de vuelo	116
Ilustración 64 Respuesta Óptima de drone	117
Ilustración 65 Estimación del alcance con fuerte viento.	120
Ilustración 66 Estimación del alcance con fuerte viento.....	120

Lista De Anexos

Anexo A. Estudio de drones de video y fotografía en el mercado.	128
Anexo B. Elección del Hardware	129
Anexo c. Análisis modal de fallos y efectos	130
Anexo D. Estudio de mercado controladoras de vuelo.....	131
Anexo E. Diagrama de Gantt.....	132
Anexo F. Planimetría de los Componentes del drone.....	133
Anexo G. Manual operativo o de procedimientos.	134
Anexo H. Ficha tecnica de drone TEC y UAN.....	135
Anexo I. Presupuesto del drone	136

Introducción

La impresión 3D es la innovación que actualmente abre camino a un sin número de proyectos de investigación y prototipos. Su aplicación es primordial en el desarrollo del presente trabajo de grado “fabricación de un drone mediante la manufactura aditiva como herramienta didáctica de aprendizaje”, siendo este el primero en desarrollarse por la universidad Antonio Nariño sede Villavicencio, pero que a su vez aplica en el uso de una innovación actual el drone. Estas dos tecnologías modernas se unen en el proyecto para asentar y documentar una idea inicial respecto al uso de la impresión 3D, como del ensamble y configuración de un drone.

Por medio de este documento se recupera el paso a paso del proceso. Iniciando desde el diseño del AUV, la impresión posterior a cada diseño, los ensambles de las respectivas piezas y por último la configuración necesaria para un vuelo óptimo del drone.

No obstante se incluye un manual operativo para el uso adecuado del drone y una comparación de las fichas técnicas del drone actual del Instituto Tecnológico Superior De Poza Rica y el propuesto por la Universidad Antonio Nariño.

Capítulo 1

Problema De Investigación

Descripción

Colombia es un país en busca del desarrollo el cual es caracterizado por su amplia Amazonía- Orinoquía. Esta hace parte de la reserva verde más grande de latino América y pulmón del mundo. Que cuenta con biodiversidad variada, desde desiertos hasta flora silvestre exótica. En la capital nace la Universidad Antonio Nariño el 07 de marzo de 1976 en las instalaciones de la Escuela de Medicina de la Universidad Javeriana, ubicadas en la Calle 20 Sur No. 13 –61 de la ciudad de Bogotá. En 1997 la sede Sur de la Universidad Antonio Nariño, se inauguró oficialmente, tras haber sido aprobados los programas con su correspondiente infraestructura física y académica. De tal modo, las clases iniciaron el 2 de febrero de 1978. Por no haber un centro educativo en este sector, y a la falta de política de cobertura para la creación de universidades estatales y programas de pregrado.

En los años 90', la UAN se concentra a las exigencias del país con programas como: Ingeniería Biomédica, Optometría, Terapias Psicosociales, Psicología, Odontología, Medicina, Medicina Veterinaria, Comercio Internacional, Economía, Derecho, Arquitectura, Hotelería y Turismo Ecológico, Ingeniería del Desarrollo Ambiental. Reconociendo su presencia nacional en 32 sedes educativas.

En la ciudad de Villavicencio en el anillo llanero, el departamento del Meta, la sede de la Universidad Antonio Nariño se destaca por dirigir la educación superior en este campo cultural. Siendo, una institución de educación superior de carácter privado del orden nacional. Fundada en el año 1994 con la finalidad de ser un actor activo en la formación del

talento humano. Esta sede queda ubicada vía puerto López en el kilómetro 1 en la vereda la Cecilia. Su infraestructura fue conformada por una clínica odontológica, 7 laboratorios de diferentes modalidades, salas de sistemas, auditorios, enfermería y cafetería. También, un edificio de 5 pisos, con un auditorio, laboratorio industrial y de impresoras 3d, laboratorio electromecánico, biblioteca, la administración y 24 aulas de clase. Igualmente, la zona recreativa como gimnasio, piscina y campo deportivo para basquetbol y microfútbol. Esta sede tiene todas estas aportaciones para formar profesionales idóneos, competitivos y con pensamiento autónomo.

La universidad presta diferentes servicios académicos de pregrado como lo son; administración de empresas, contaduría pública, comercio internacional, psicología, arquitectura y odontología. En ingenierías electrónica e industrial. En la modalidad a distancia Psicología, tecnología gestión de las operaciones industriales y tecnología de mantenimiento electromecánico industrial.

Hasta ahora la sede hace presencia competitiva con universidades vecinas como universidad Santo Tomás, universidad de los llanos, universidad cooperativa, e institutos, como fortalecimiento ante la competitividad presentada en la región el Programa de Ingeniería Industrial ha adquirido la Fábrica Didáctica. Con el fin de que los estudiantes puedan tener un acercamiento más real al manejo de máquinas simples, mecanismos meta line, neumática, maquinas CNC y la impresora 3 D. Es con esta herramienta y con el fin de fortalecer el desarrollo de un producto, se presenta la necesidad de generar proyectos donde se visualice el fortalecimiento y uso de la impresión 3D, lo cual hace necesario que a su vez de capacitar al personal en el manejo de esta herramienta de apoyo como apoyo para el desarrollo de diferentes proyectos de innovación. Al contar con herramientas estratégicas

de apoyo y formar al personal en el manejo de estas herramientas va fortalecer los resultados de aprendizaje para el manejo de la impresión 3D, no solo en el diseño de prototipos sino también en el diseño de drones.

Planteamiento

Respecto al avance de la tecnología y el desarrollo de nuevos sistemas de impresión 3D, se destaca la elaboración de piezas, en extrusión por “Hobby Printers”, con diferentes tipos de materiales implicados; PLA (Poliácido láctico), ABS (Acroilonitrilo Butadieno Estireno), CLG (Cerámica láser Gelificante), Policarbonato, etc. Aspecto que puede aprovechar la Universidad Antonio Nariño - Sede Villavicencio, y que puede incorporar en la fábrica didáctica, el cual servirá de plataforma de avance no solo en proyecto de este tipo sino también para el diseño de prototipos, actualmente el área asignada está bien distribuida, pero es necesario la asignación de un personal de apoyo que permita fortalecer el desarrollo de proyectos de investigación, mejora e innovación de piezas, productos, prototipos, etc, manufacturados por este tipo de impresión. Otro aspecto importante es aprovechar las experiencias que se tienen con el desarrollo de prácticas internacionales enfocadas en esta área ya que por medio de esta vinculación internacional se busca elaborar un proyecto de investigación en la sede principal del Instituto Tecnológico Superior de Poza Rica (ITSPR), ubicada en el estado de Veracruz, México. Que contribuya con el fortalecimiento del área de impresión 3D, con el fin de emplear un producto actual en desarrollo como lo es el diseño de ensamble y cubierta de drones. En el ITSPR, y con el apoyo de la administración como del equipo en el laboratorio de electromecánica, para contribuir con la ejecución y cumplimiento en esta investigación. Quien estará dirigiendo el proyecto en estructura el ING. Cristóbal Antonio Hernández Juárez y en Ensamble del

Drone el Alumno Pastor Ruiz con el acompañamiento del ING. Emmanuel Jara. (Equipo de Laboratorio del ITSPR).

Justificación

La impresión 3D en esta década ha tenido gran auge, estando al alcance de muchos en calidad y economía. Esta ciencia abrió camino al prototipo 3D en cualquier parte del mundo, disponiendo de una herramienta básica pero tan completa. Actualmente, es utilizada en las industrias a gran escala y con materiales resistentes, teniendo control desde el diseño hasta el ensamble de la pieza o producto a manufacturar. (Leon & Torres, 2013).

De acuerdo al autor, (Olivera, 2015) Define las impresoras 3D como más rápidas, más baratas y más fáciles de usar que otras tecnologías de fabricación por adición, aunque como cualquier proceso industrial, estarán sometidas a un compromiso entre su precio de adquisición y la tolerancia en las medidas de los objetos producidos.

Al realizar el proyecto no solo se va a obtener la adquisición de conocimientos (científico, procedimental y en sistemas), los cuales van a contribuir a una solución factible a la problemática actual que es aprovechar esa herramienta como apoyo para el desarrollo y diseño de productos, aplicando para ello de forma detallada el diseño, proceso y ensamble del drone con la utilización principal de la herramienta en innovación, mejoramiento y avance en la impresión 3D. El Drone a realizar es de tipo FPV (First Person View) con video 4K, pero que a su vez, puede ser empleado para diferentes ramas, esto además permitirá fortalecer aún más los conocimientos adquiridos al desarrollo educativo de la comunidad estudiantil en la Universidad Antonio Nariño sede Villavicencio. Al culminar el proyecto de investigación en el Instituto Tecnológico Superior de Poza Rica (ITSPR), se proyecta brindar enseñanza en el laboratorio de máquinas para el manejo de impresión 3D,

enfocado a las nuevas generación que ingresan a la sede como a semestres antiguos interesados, el cual no será solo uno, sino el primero en sembrar la semilla para el desarrollo de proyectos futuros, en esta línea de investigación. Aportando a la formación de profesionales competentes e ingresando a una nueva rama de la tecnología teórica práctica. De acá se parte para plantear la siguiente pregunta:

¿Cómo mejorar el proceso de aprendizaje en los estudiantes de ingeniería Industrial de la universidad Antonio Nariño sede Villavicencio a través de la utilización de la impresión 3D como recurso educativo en el aprendizaje basado en proyectos?

Alcance

En primer lugar se indaga en el estado del arte respecto a la implementación de drones en el campo de video y fotografía. Junto a esto un análisis de la normatividad vigente en Colombia. Igualmente, se define el proyecto por el diseño y construcción del cuadroptor programable. Se hará el respectivo uso de materiales comprados desde tiendas y otros contruidos de manera autónoma. El autor (Eliot, 2017) aconseja “Hacer una estimación de los pesos del equipo, con el fin de elegir un motor lo suficientemente potente para levantar todo el equipo y así saber el peso aproximado de todos los componentes”. Cada uno de los materiales requiere de un estudio de peso, propiedades, costos y resistencia pues no todos los materiales tienen la misma tolerancia y punto de quiebre.

El diseño conceptual se lleva a cabo con la observación de diferentes drones en el mercado y prototipos existentes, como también la característica principal de uso publicitario. Datos recopilados por medio de un estudio de mercado, seguido a esto se hace un estudio de los diferentes componentes electrónicos que se requieren tales como ESC o variadores, motores, controladora, control y receptor, baterías entre otros.

De ahí se tiene en cuenta la interacción de la programación interna del ordenador con la controladora de vuelo a elegir. Con ellos se transmiten al multicoptero las instrucciones que se desean. Esto con el propósito de conectar la controladora de vuelo, programando instrucciones correspondientes en la tarjeta micro SD del ordenador. A esto se añade una simulación del PID interno, debido a que en función del peso del drone, gimbal y cámara instaladas se ajustarán estas variables de una manera diferente.

Capítulo 2

Objetivos

Objetivo General:

Diseño y fabricación de un drone mediante la manufactura aditiva como herramienta didáctica de aprendizaje para la Universidad Antonio Nariño.

Objetivos Específicos:

- ✓ Determinar las características y funcionalidades del drone.
- ✓ Establecer los parámetros adecuados de impresión en 3D para la elaboración del Drone.
- ✓ Ensamblar el Drone y realizar manual operativo del mismo

Capítulo 3

Marco De Referencia

Antecedentes

A continuación se redactan diferentes autores que aportan al estudio de esta investigación sobre el *“Uso De Impresora 3D Como Herramienta Didáctica Para El Diseño y Fabricación De Un Drone”*.

Artículos Científicos.

El autor (Velapatiño, 2015) fábrica **“Aeronave de cuatro motores – drones USMP”** en clase I -150 Kg hasta 600 Kg de masa. En el montaje del dron usan una controladora naza 4.0 de código cerrado. Está programado para aterrizar y retornar al punto de despegue inicial. La metodología aplicada es experimental con una configuración “X” de dos pares de hélices (1,3) y (2,4) que giran en direcciones opuestas. Con el fin de transportar una carga útil de hasta 500 gr (teniendo la capacidad de cámara de video y fotografía, caja de productos o medicina de 150 mm * 100 mm), orientado al suministro y transferencia de nuevas tecnologías en AUV, como proyecto de investigación para la universidad. Los resultados obtenidos son la presentación de un prototipo que realiza vuelos autónomos con sistemas inteligentes de última generación.

Según (Quispe, 2012) **“El Análisis de GSD para la generación de cartografía usa la tecnología drone, huaca de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos”** el objetivo de esta metodología experimental es analizar la relación entre la altura de vuelo y la identificación de objetos orientado a la cartografía. Para cumplir con ello es necesario el correcto uso profesional del dron, tipo de sensores, el GPS y el sistema de comunicación

del dron piloto. La metodología implementada es experimental con la identificación del lugar de estudio por medio de 4 vuelos programados para obtener las coordenadas y fotografías del terreno. Las ortofotos obtenidas por el Phantom 2 v2 con cámara go pro Hero 4. Los resultados obtenidos es que se debe utilizar en el quadcopter una cámara con estabilización las cuales indican imágenes con GSD de 7.5 cm son adecuadas para escalas de 1:500 y 15 cm para escala 1: 1000.

Citando a (León, Montalvo & Alarcón, 2016) argumenta **“La determinación del coeficiente del cultivo y parámetros biométricos basados en imágenes captadas con dron, lisímetros de drenaje y métodos indirectos para el cultivo de papa solanum spp”** el objetivo de esta investigación es la utilización del dron para el cultivo de papa. La metodología utilizada es exploratoria en la programación de un dron que por medio de parámetros especificados realiza el sobre vuelo por el área presentada el 17 de marzo de 2015. Con las estaciones meteorológicas ubicadas en el terreno a 490 metros de distancia. La recolección de los datos dados por la evapotranspiración a través del balance hídrico. Las imágenes obtenidas por el dron con una cámara canon SX260 HS con intervalo en la secuencia de fotos. Las conclusiones obtenidas son el logro de la relación entre el Kc y el índice de área foliar estimados con las imágenes capturadas con drones, y la curva vegetativa obtuvo 0.55, 0.61, 0.69 y 0.50 encontrados respectivamente en cada etapa.

Como plantea (Ospina, Vásquez & Ayala, 2020) **“La validación de un algoritmo de procesamiento de imágenes Red Green Blue (RGB), para la estimación de proteína cruda en gramíneas y la tecnología de espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS)”** esta investigación es orientada a la toma de imágenes por medio de un dron con cámara RGB para un análisis red, Green, blue con el software Taurus webs. La metodología de

investigación es de correlación, se comparan las mediciones obtenidas de 1%PC para calcular el algoritmo frente a una referente (NIRS). Realizaron 42 resultados con 4 investigadores y se corrieron las correlaciones en endall, Spearman y la prueba de Kruskal Wallis en un software. En las conclusiones se obtiene una alta correlación del resultado de la comprobación de entre el resultado de proteína cruda y el algoritmo con imágenes RGB dadas con el dron.

A juicio de (Lorenzo, Fernández & Prieto, 2017) postula la **“Geomorfometría y cálculo de erosión hídrica en diferentes litologías a través de fotogrametría digital con drones”** esta investigación busca poner a prueba la fotogrametría digital con dron, para conocer el modelado erosivo del paisaje por medio de un análisis geomorfométricos, la metodología utilizada es cuantitativa de tipo experimental, muestra el levantamiento de fotogramétrico con un dron MDS de resolución de 10 cm con la herramienta Watershed en Global Mapper 16, analizados por litología en parcelas de 50 * 50 metros en la zona de vegetación. Estas fotografías tomadas a través del phantom 3 una quad que tiene las especificaciones apropiadas para la medición y toma de datos. Las conclusiones obtenidas son que las imágenes aéreas de alta resolución obtenidas desde drones o UAV y la fotogrametría digital son herramientas útiles para el análisis morfométrico del relieve a gran detalle y el modelado del paisaje a través de la erosión.

Como refiere (Gonzalo, 2018) analizando **“El papel que juega el dron en la actualidad como vigilancia securitaria”** la metodología es cualitativa de tipo descriptiva, muestra los drones como una combinación de lo nuevo y lo viejo. Una vigilancia aérea y un sistema de matar con capacidades anteriormente no ofrecidas. La conclusión de esta es el énfasis tecno-científico de la guerra quirúrgica de precisión o jurídico debatiendo los

ataques de drones como parte del marco normativo vigente. Esto hace que se tengan una pantalla despejada de espacios para batallas e impactos de misiles.”

Como dice (Pérez, Benítez & Díaz, 2017) enfatizado en el **“Sistema De Georeferenciado De Imágenes Con Drones”** como objetivo de esta investigación, desarrolla un sistema que permita la generación de rutas de vuelo para un drone, GPS y toma de fotografías. La metodología usada es un estudio experimental, utiliza el sistema GIS (hexacóptero), el ensamble de un prototipo multirrotor, con un sistema embebido para la adquisición de fotografías aéreas y posicionamiento global. Y la herramienta utilizada es el software para la generación de imágenes georreferenciadas y archivos KML. En los resultados obtienen el montaje de un hexacóptero, con gimbal 3d, cámara Hero 3, GPS L80, y telemetría de 950 MHz. Concluyendo que los drones son un gran avance tecnológico y una herramienta potencial con aplicaciones importantes en diferentes áreas.

Como señala (Ruiz, 2018) **“El uso de drones en España: el ámbito espacial de la ley penal”**, este artículo analiza los aspectos presentados por los drones en la sociedad considerando consecuencias penales que el uso de estos artilugios puede provocar. La metodología empleada es cualitativa descriptiva, argumenta por diferentes autores el uso indebido de los drones por parte de la sociedad. No ignorando el tráfico de drogas por medio de esta tecnología. Refutando la penalidad del uso de los drones. Las conclusiones son respecto a la reglamentación de su uso, no debería verse como una óptica de derecho humano o derecho de la guerra sino por áreas jurídicas que deben ser reguladas como el derecho civil.

Considera (Villamizar, 2015) **“Los drones: ¿hacia una guerra sin regulación jurídica internacional?”**, el objetivo de este artículo es refutar el uso de los drones en operaciones

militares como un arma. El tipo de metodología es explicativa considerando que el uso de los drones debería prohibirse totalmente por los efectos nocivos que presenta. Muestran los aportes de diferentes autores como los posibles temores sobre el uso no pacífico en exteriores de esta tecnología. La conclusión de esta es el reporte del 2004 y 2014 sólo para el caso de Pakistán han pasado 386 ataques de drones por parte de la CIA.

Desde el punto de vista de (Pacheco, 2017) declara **“Los drones en espacios urbanos: como caso de estudio en parques, jardines y patrimonio edificado de Cuenca”** este artículo es orientado a la toma de fotografías para obtener productos cartográficos con un vehículo aéreo no tripulado en su aplicación permitirá evaluar daños posibles con el paso del tiempo. Monitoreo del espacio de parque y jardines de la ciudad de Cuenca. Utiliza una metodología de tipo experimental utilizando un dron como medio de toma fotográfica con fijación del GPS, por medio del RGB en coordenadas x, y, z, y un modelo 3D se conoce el cambio y degradación de las áreas verdes o espacios urbanos como también el cambio de infraestructuras de la ciudad. En conclusión los drones permiten tener información geográfica en menor tiempo para el monitoreo de áreas específicas con alta temporalidad.

Artículo de Investigación.

A juicio de (Pacheco, 2016) plantea **“El diseño y fabricación de un Drone”**, el objetivo de la investigación experimental es orientada al diseño aerodinámico y montaje del dron, esto por medio de herramientas de diseño computarizadas, empleando un diseño detallado de las piezas, la disposición de los componentes en la estructura que lo conforman, la planimetría y los diseños 3D de partes a imprimir. La metodología empleada en la investigación es de tipo experimental, utilizando una controladora naza de código cerrado

para el control de la aeronave. Los resultados han sido satisfactorios, no presenta irregularidades en el vuelo a condiciones ambientales normales.

Teniendo en cuenta a (Lopez, Ortiz & Florez, 2015) empleando **“El diseño de una aplicación Android para controlar a distancia un drone destinado a seguridad”**, el objetivo es la creación de una aplicación para controlar remotamente un drone vía wifi. El tipo de investigación es experimental, desarrollando una aplicación en c++ para celulares Android, con una interacción vía bluetooth con el aparato. Esta operación de emisor el celular y receptor el drone pretende ubicarse en uno de los métodos de interacción portátil, segura y fácil de usar. Los resultados obtenidos son aceptables respecto al objetivo de la investigación aunque responde correctamente el drone no se puede utilizar a una distancia mayor de 100 metros.

Según (Díaz, 2015) **“Los drones y su aplicación en materia de seguridad y salud en el trabajo”** Esta investigación está orientada a la utilización de un vehículo aéreo no tripulado en materia de seguridad y salud en el trabajo, una de las aplicaciones que tiene el drone. El tipo de investigación es prospectivo por lo que busca tener una acción continua en seguimiento de manera preventiva para identificar, evaluar y corregir los riesgos que no se han evitado con anterioridad. Los resultados obtenidos en el caso de estudio son muy buenos, valorando los riesgos en trabajos en altura como el más susceptible para la utilización del drone.

Citando a (Flores, Vilchez & Campos, 2018) incluyendo **“El proyecto empresarial al servicio de fotografía con drone”**. En la gran acogida de los drones en actividades como fotografía y filmación. Su investigación es la presentación de un plan de negocios basado en los servicios de filmación de videos corporativos con drone en Lima. Entrevistan a 4

empresas respecto a la utilización del dron en sus empresas con resultados mínimos, debido al valor agregado de estos.

Los autores (Acurio, Shui & su- Mui, 2019) proponen **“El proyecto Inspector Drone”**, esta investigación expone el caso de la empresa de energía eléctrica renovable, en la eliminación de riesgos de seguridad en sus trabajadores y la búsqueda de la eficiencia operativa. En su metodología de tipo descriptiva analizan e inspeccionan el proceso de líneas de transmisión para la programación de mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo. Muestran una relación costo beneficio de emplear los drones DJI phantom en las líneas de transmisión para mostrar las problemáticas que se presentan. Ante el alcance de la empresa a nivel mundial tiene la capacidad de optar por la implementación de un plan de líneas de transmisión con drones.

Enfatizan (Onofre, Velarde & Gómez, 2017) en el desarrollo de **“Proyecto empresarial Agro-drone”** en la utilización de diferentes máquinas revolucionarias en el sector agrícola, surge la tendencia de los últimos tiempos en el boom de los drones. La metodología de su investigación es descriptiva cualitativa, usa encuestas como herramienta de recolección de información, tiene un enfoque en el servicio de asesoramiento gratuito y permanente para agricultores a cargo de emplear esta tecnología en sus siembras. Desarrolla todo un plan de negocios con análisis interno, externo, FODA, misión, visión, objetivos de la empresa. Los resultados de investigación son que el 67% de agricultores en lima usa herramientas tradicionales y el 33% tiene mayor interés en la agricultura industrializada para una mayor producción. Siendo que el 60% de los entrevistados creen en la intervención de los drones para la agricultura.

La investigación de (Menchola, Gutiérrez & Cáceres, 2019) respecto al **“Comportamiento flocado para coordinar enjambres de drones para la búsqueda de objetivos”**, busca proponer un algoritmo para establecer el comportamiento coordinado de un enjambre de drones por medio de algoritmo de flocking behavior, PSO y colonia de hormigas. Los resultados al establecer un comportamiento coordinado y autónomo para cada dron que conforma el enjambre de drones, son las tres reglas que conforman el comportamiento flocado y boids los cuales dan soporte para establecer este comportamiento en un enjambre de drones para realizar diversas tareas o misiones, en este caso la búsqueda de objetivos.

Como dice (Martínez, 2019) argumentando el **“Análisis y diseño de un sistema de control para la estabilidad de vuelo de un dron cuadrimotor aplicado a la topografía”**, la intervención de esta investigación es de un sistema de estabilidad en los drones durante el vuelo para la topografía. La metodología explicativa empleada se enfoca en una verificación del sistema de control para la estabilidad por medio de software multiwii, para determinar el costo beneficio de aplicar esta tecnología moderna respecto a la clásica. Los resultados de la velocidad de seguimiento de la trayectoria planeada del sistema, está relacionada con los polos del mismo, donde es evidente la modificación de la masa, y una modificación de parámetros del controlador que intervienen con los polos del sistema.

Teniendo en cuenta a (Eliot, 2016) describiendo el **“Cómo construir su propio dron”**, El propósito de este artículo es mostrar el paso a paso en la construcción de drones, de ala fija, cuadricóptero, racer, video y fotografía. La metodología explicativa reintegra los elementos y componentes utilizados para los drones, con sus características y los montajes

y cuidados correspondientes. Los resultados son la construcción de estos tres drones con los componentes necesarios y datos requeridos para su vuelo.

Los autores (Sendere & Gómez, 2019) **“Impacto del uso de drones para fumigación de cultivos de arándanos en el departamento de La Libertad – Perú”** esta investigación utiliza describe el impacto los drones de fumigación para los cultivos. Aplica una metodología de tipo exploratoria con el propósito es identificar, analizar y explicar la factibilidad del uso de drones en campos de cultivos de arándanos. Existen cámaras multiespectrales y multi demográficas montadas en estos dispositivos, las cuales permiten analizar la incidencia de los rayos solares en el terreno de cultivo. Esto para determinar qué parte del terreno está más húmeda o seca, o si el cultivo es maduro o joven, e identifica niveles de clorofila y nitratos. Resultados obtenidos no es factible efectuar trabajos de fumigación con drones en los cultivos de uva, porque ellos utilizan una malla para evitar que las aves las coman pero también influyen en el acercamiento y tomas fotográficos de los drones.

De acuerdo a (Richard, 2019) **“Optimización, proceso de cartografía con tecnología drones en la compañía minera Barrick Misquichilca S.A”** en los proyectos mineros se realiza cartografía, que permita tener una concepción de la morfología del terreno. El impacto de los drones en el área minera y reducción de costos. Es una investigación no experimental, descriptiva de corte transversal. Obteniendo un plan de vuelo definido por el drone para un levantamiento topográfico respectivamente al ángulo de la cámara. Las conclusiones obtenidas son para tener una cartografía con AUV, se debe tener en cuenta el clima, temperatura y el viento.

Marco Teórico:

El marco teórico del proyecto contiene la información básica necesaria para conocer y llevar a cabo la elaboración y ensamble del drone, su evolución, herramientas industriales necesarias y los pasos que conforman el proceso, a su vez la forma de evaluación del desempeño estadístico del drone.

Con el marco teórico damos solución a las siguientes inquietudes:

- ✓ ¿Qué es un drone?
- ✓ ¿Evolución del drone en la historia?
- ✓ ¿Metodología de vuelo?
- ✓ ¿Cálculos de peso, Cinemática y dinámica de los drones?
- ✓ ¿Definiciones y componentes del drone?
- ✓ Impresión 3D
- ✓ ¿Tipos de material de extrusión en impresión 3d?
- ✓ ¿Descripción del software de diseño?
- ✓ ¿Teoría de la construcción del drone?
- ✓ ¿Análisis estadístico de indicadores claves de desempeño?

Drone.

La palabra «*drone*» original del inglés etimológicamente se refiere a la abeja macho (*male bee*), al igual a su característico zumbido. La palabra «*dron*» del inglés «*drone*» se asemeja a una «aeronave no tripulada» o **UAV** (*Unmanned Aerial Vehicle*). Lo cual identifica que el manejo de la misma se hace a distancia o de forma remota.



Ilustración 1Abeja macho Fuente: Victordlegado.com

Un gran ejemplo del alcance de esta tecnología se identifica en la revista *popular science*, argumentando que los drones, tal como se llaman las naves manejadas por radio control tienen muchas aplicaciones, civiles y militares. Algún día guiarán desde naves nodrizas enormes flotas de larga distancia y transportarán cargas a través de continentes y océanos (science, 1946).

Evolución En La Historia.

En el año 1849, el ejército austriaco utilizó 200 globos aerostáticos no tripulados que se cargaron de bombas sobre la ciudad italiana de Venecia, lo que se considera como uno de los primeros antecedentes del uso de aeronaves no tripuladas.

Al final del siglo XIX, en 1898, Nikola Tesla demostró por primera vez el mando a distancia o radio control de un vehículo en un estanque en el Madison Square Garden de Nueva York, donde controlaba a distancia un barco con una señal de radio, siendo la primera aplicación de ondas de radio en la historia y la cuna de la robótica moderna. Así también, Elmer Ambrose Sperry, desarrolló una plataforma de aeronaves sin piloto con un dispositivo para lanzar torpedos con una catapulta.

En el año de 1917, La Operación Anvil, para identificar bunkers alemanes, usó bombarderos re-adaptados para tolerar una capacidad doble con explosivo, guiados por control remoto para estrellarse con los nazis en Alemania y partes de Francia controladas por Hitler.

Por otra parte, El Ruston Proctor Aerial Target se convirtió en el primer avión sin piloto de la historia, e incluso abrió la puerta a proyectos similares, como el asombroso Kettering Bug, y allanó el camino para los drones militares de hoy en día. En el año de 1946 el modelo Q-2, fue el más importante, convirtiéndose en el padre de una clase de aviones «diana» construidos por la Compañía Aeronáutica Ryan.

En el año de 1951, El Firebee se probó por primera vez en la base aérea de Holloman. Este modelo podía mantenerse en vuelo durante dos horas y fue capaz de alcanzar alturas de hasta 60.000 pies. En mayo del año de 1964, EE.UU comenzó a considerar el envío de aviones no tripulados para reemplazar sus U-2 en misiones de espionaje sobre Cuba. En el año de 1980, en Afganistán, la CIA usó por primera vez el dron Predator para eliminar un objetivo de inteligencia, cuyo objetivo en cuestión era Osama Bin Laden.

La CIA el 11 de septiembre del 2001, comenzó a volar drones armados sobre Afganistán como parte de su guerra contra los talibanes. En el año 2006 fue reconocido el potencial de los drones no militares y la FAA emitió los primeros permisos comerciales de drones, los cuales eliminaron algunas de las limitaciones impuestas a los aviones no tripulados de pasajeros que volaban con fines recreativos.

En el año 2010 la compañía francesa Parrot lanzó su Parrot AR Drone, el primer dron listo para volar que se puede controlar completamente a través de Wi-Fi, usando un

teléfono inteligente. El avión no tripulado tuvo un éxito casi inmediato, tanto críticamente como comercialmente, recibiendo el premio CES Innovations 2010 para Electronic Gaming Hardware y vendiendo más de medio millón de unidades. El AR Drone 2.0 de la compañía mejoró aún más la fórmula con un sistema de pilotaje que facilita a los recién llegados el pick-up-play. Uno de los mejores fabricantes de drones en el mercado, el Phantom 4 de DJI, introdujo la visión inteligente de una computadora y la tecnología de aprendizaje automático.

Metodología De Vuelo.

Los drones se dividen generalmente por su clasificación o tamaño. La configuración se puede dividir en dos tipos: de ala fija, como los aviones tradicionales donde la elevación se produce moviendo las alas hacia delante a través del aire; y de ala giratoria donde los rotores giran para proporcionar la elevación. (Eliot, 2017).

La metodología de vuelo (Ruiperez, 2016) la define como la forma en la cual se diseña y configura el drone respecto a la necesidad requerida o al objetivo de la investigación. La configuración de los drones según el mismo autor la específica de la siguiente manera:

Tricoptero.

Hace alusión al tipo de drone que emplea solo 3 motores brushless, variadores y hélices, siendo este el mínimo de configuraciones en emplearse (ilustración 2). El modo de vuelo de los tricópteros se consigue con el giro de dos motores a dirección de las manecillas del reloj y un motor opuesto. Ellos tienen una configuración similar a los de ala fija, pues dirigen un servomotor que controla el mecanismo de giro haciendo posible el equilibrio. Y el servomotor situado en el motor de cola permite la rotación sobre el propio eje del dron (ilustración 3).



Ilustración 2 Drone Tricóptero Fuente: Mercado libre

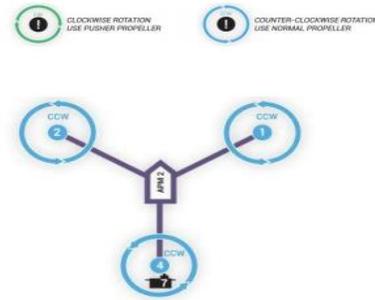


Ilustración 3 Diagrama De Configuración De Tricóptero Fuente: Ruiperez

*Color verde= CW apriete de la tuerca en manecilla del reloj y color azul= CCW en contra.

Cuadróptero.

Los drones más utilizados en la actualidad por su equilibrio, empuje y desempeño generado se pueden observar en la ilustración 4. La configuración más utilizada entre los multirrotores, siendo de 4 brazos, 4 variadores y 4 hélices. Los brazos pueden ser ubicados en X los cuales se encuentran separados a 45° en dirección a uno de los brazos ó la forma + - H los cuales se encuentran separados a 90° en direcciones opuestas. En este tipo de drones dos hélices giran en sentido del reloj y 2 en contra a las manecillas (ilustración 5).



Ilustración 4 Ejemplo drone + Ó H Fuente: Mercado libre

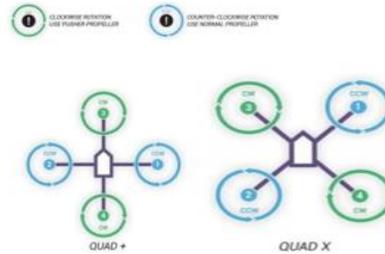


Ilustración 5 Configuración 1 Y 2 + Ó H Fuente: Ruiperez

*Color verde= CW apriete de la tuerca en manecilla del reloj y color azul= CCW en contra.

Hexacóptero.

El término “hexa” se refiere a seis, por lo cual define el multi rotor con 6 motores, estos son de dos tipos, el tipo Y (ilustración 6), la configuración empleada dispone de tres brazos y seis motores ubicados verticalmente en el extremo superior e inferior del brazo (ilustración 7), pero la configuración + ó H (ilustración 8) tiene una configuración que dispone de 6 brazos cuyos motores están ubicados verticalmente en el extremo superior de cada brazo (ilustración 9).



Ilustración 6 Ejemplo hexacóptero Fuente: Mercado Libre

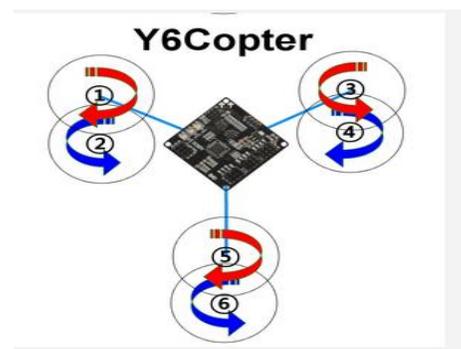


Ilustración 7 Diagrama de configuración Hexacóptero Fuente: Eliot, 2017



Ilustración 8 Ejemplo Hexacóptero Fuente: Gómez, 2016

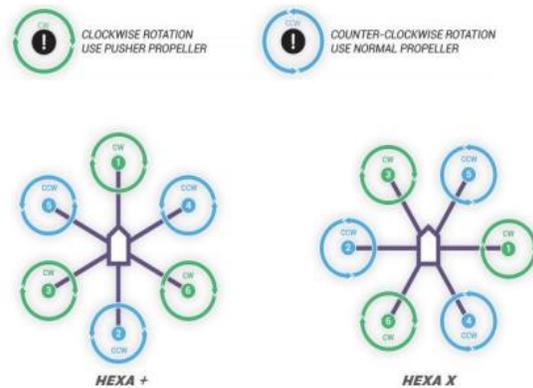


Ilustración 9 Diagrama De Configuración Hexacóptero Fuente: Ruiperez

*Color verde= CW apriete de la tuerca en manecilla del reloj y color azul= CCW en contra.

Octocopteros.

Estos drones al igual que los hexacopteros siguen la misma dinámica con 8 motores así como de componentes (ilustración 10). Hace referencia al prefijo “octo” al número 8 por lo que hace alusión a 8 brazos, estos generan mayor potencia y gran capacidad. La configuración empleada es X o H, teniendo la masa en el centro del drone, de allí desprenden sus brazos a 45° (ilustración 11).



Ilustración 10 Ejemplo Octocopteros Fuente: Mecado Libre

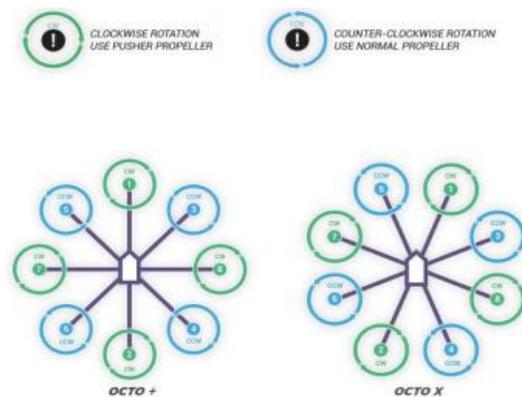


Ilustración 11 Diagrama De Configuración En + ó X Fuente: Ruiperez

*Color verde= CW apriete de la tuerca en manecilla del reloj y color azul= CCW en contra.

Cinemática, Dinámica Y Aerodinámica Del Drone Y Cálculo De Peso Y Empuje.

Cinemática y Dinámica.

El autor (Distral, 2017) define el cálculo que corresponde a la cinemática y la dinámica del drone, con el uso en aeronáutica llamado Tait-Bryan para los ángulos de giros “Yaw, Pitch y Roll”. Mientras que (Llamas, 2020) aclara, que la orientación se representa como tres rotaciones ortogonales en torno al eje X (roll), Y (pitch), y Z (yaw).

Los ángulos de Tait-Bryan son una variación de los ángulos de Euler, introducidos por el matemático Leonhard Euler durante su estudio sobre la mecánica del sólido rígido. De esta manera se identifica la orientación respecto a un sistema (X,Y,Z) de la ilustración 12.

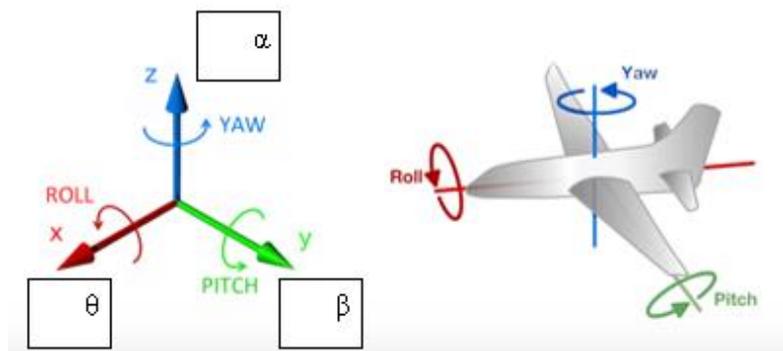


Ilustración 12 Diagrama De Rotación Ortogonales Fuente: Ruiperez

La matriz de rotación que indica los movimientos del Yaw, Roll y Pitch es:

$$R = R_Z * R_Y * R_X = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix}$$

Para ángulos más pequeños se usa $\sin \alpha = \alpha$ y $\cos \alpha = 1$; quedando de la siguiente manera:

$$R = \begin{pmatrix} 1 & -\alpha & \beta \\ \alpha & 1 & -\theta \\ -\beta & \theta & 1 \end{pmatrix}$$

Aerodinámica.

Otro factor que influye en el cálculo es la aerodinámica, en ella se emplean fórmulas de empuje y momentos de arrastre producidos por las hélices. (Distral, 2017)

$$\text{Fuerza de empuje: } F_{emp} = C_{emp} * \rho * D^4 * \omega^2$$

Siendo,

F_{emp} : Fuerza de empuje

C_{emp} : Coeficiente de empuje

ρ : Densidad del aire

D : Diámetro de las hélices

ω : Velocidad angular de las hélices

$$\text{Momento torsor: } M_{Torsor} = \frac{C_p * \rho * D^5 * \omega^2}{2 * \pi}$$

Donde,

M_{Torsor} : Momento torsor

C_p : Coeficiente de potencia

ρ : Densidad del aire

D : Diámetro de las hélices

ω : Velocidad angular de las hélices.

Modelo Dinámico.

La dinámica de un multirotor se basa en las ecuaciones $J * \ddot{q} = M_T$. De esta forma tenemos que; $\ddot{q} = J^{-1} M_T$. La inversa de la matriz en función de una orientación geométrica y momento a cada eje.

$$\ddot{q} = \begin{pmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{\beta} \\ \ddot{\alpha} \end{pmatrix} \text{ y } M_T = \begin{pmatrix} \tau_\theta \\ \tau_\beta \\ \tau_\alpha \end{pmatrix}$$

Un cuadricóptero simétrico con tensor de inercia:

$$R = \begin{pmatrix} I_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & I_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & I_{zz} \end{pmatrix}$$

La matriz J quedaría;

$$J = R^t * I * R$$

La inversa quedaría así según (Distral, 2017);

$$J = \begin{pmatrix} \frac{1}{I_{xx}} & \frac{I_{zz}^2 - I_{yy}I_{zz}}{I_{xx}I_{yy}I_{zz}} \alpha & \frac{I_{yy}I_{zz} - I_{xx}I_{yy}}{I_{xx}I_{yy}I_{zz}} \beta \\ \frac{I_{zz}^2 - I_{yy}I_{zz}}{I_{xx}I_{yy}I_{zz}} \alpha & \frac{1}{I_{yy}} & \frac{I_{xx}I_{yy} - I_{xx}I_{zz}}{I_{xx}I_{yy}I_{zz}} \theta \\ \frac{I_{yy}I_{zz} - I_{xx}I_{yy}}{I_{xx}I_{yy}I_{zz}} \beta & \frac{I_{xx}I_{yy} - I_{xx}I_{zz}}{I_{xx}I_{yy}I_{zz}} \theta & \frac{1}{I_{zz}} \end{pmatrix}$$

En representación de los vectores de tensión en función de fuerzas de empuje y momentos torsores de hélices se tiene en la ilustración 13.

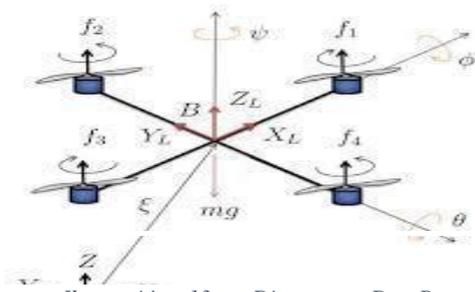


Ilustración 13 Diagrama De Rotación Ortogonales Fuente: Dronelay.com

Peso.

En primer lugar, se fija el peso del dron total, para ello es gran ejemplo hacer una lista de los componentes utilizados con sus respectivos pesos haciendo la acumulación de los mismos y de esta manera determinar su peso final. De acuerdo al peso se estima el tipo de motor brushless a utilizar que permita ejercer el empuje necesario para la elevación del dron.

Estimación de pesos de dron publicitario por (Eliot, 2017);

Sistema piloto automático: 140 gr

Cámara deportiva: 67 gr

Marco del cuadricóptero: 800 gr

4 * motores/helices/Esc: 450 gr

Batería 5000 mAh: 500 gr

Empuje.

El autor (Ruiperez, 2016) precisa, conocer el peso del dron y el cálculo del motor adecuado que eleve el multirrotor sin utilizar su potencia máxima, ya que esto implica una disminución en el tiempo de vuelo. Para ello se utilizan diferente software, que permitirán obtener un estimado del peso del cuadroptor para determinar la capacidad (Kv) que han de tener los motores.

Definiciones y Componentes.

Posteriormente procederemos a explicar los componentes básicos imprescindibles del dron. Las características y especificaciones de los componentes se reflejan en el anexo A estudio de drones de video y fotografía en el mercado.

Los drones presentan una interacción entre compuestos mecánicos y electrónicos los cuales permiten el funcionamiento principal del dron: elevación, estabilidad y maniobra. En la tabla compuestos de un dron se muestran las dos clases mecánica y eléctrica en el armado del multirrotor. A continuación se definirán los componentes detallados en la tabla según características representadas en el libro como construir el dron por (Eliot, 2017).

Los compuestos mecánicos	Los compuestos eléctricos
Estructura	Control electrónico de velocidad
Hélice	Batería
Motores	Control remoto
Cámara	Kit de Placa controladora
	Gimbal

Tabla 1 Compuestos de un Dron Fuente: (Ruiperez, 2016).

Controladora De Vuelo.

Las controladoras de vuelo o flight son el componente principal de un dron, se comporta literalmente como el cerebro del dron y es el responsable de que todo funcione correctamente, gracias a su potente procesador es posible el funcionamiento de todo el conjunto. (Véase ilustración 14)

Es el encargado de gestionar la potencia asignada a cada rotor para conseguir los movimientos del dron para que tenga estabilidad. Esto ocurre debido a modelos matemáticos que han sido codificados para todo tipo de drones. No se hará énfasis en el modelado matemático del dron ya que no es tema de profundización en el que ahondar. Por lo cual, se ha optado por adquirir una controladora de vuelo y así adquirir la posibilidad de un vuelo estático a partir de un sintonizado de variables y PID.

Por lo general las controladoras de vuelo cuentan con:

- ✓ Acelerómetro para poder medir la propia «inercia» de los movimientos.
- ✓ Giróscopo para poder medir la velocidad angular de los cambios de posición.
- ✓ Magnetómetro utilizado como una brújula que permite saber en todo momento la dirección a la que apunta el dron.
- ✓ Sensor barométrico empleado para conocer con una precisión asombrosa la altura real de vuelo.
- ✓ GPS para poder conocer las coordenadas exactas en el espacio del dron (incluida la altura) y poder desplazarse de forma autónoma.
- ✓ Un procesador lo suficientemente potente como para realizar las máximas lecturas y operaciones por segundo en base a todos los datos que recibe (que no son pocos).



Ilustración 14 Controladora de Vuelo Pixhawk 2.4.8 de 32 bit Fuente: Aliexpress

Armazón o Cuerpo.

Es una estructura rígida la cual le da forma y solidez al drone. Esto sostendrá toda la instalación de los elementos por lo cual deberá ser ligera. Según el tipo de cuerpo se tiene una idea del peso y el diseño que tendrá. El armazón tiene que soportar el peso del gimbal, cámara, motores, ESC, controladora, receptor, etc.

En este proyecto abarca el diseño propuesto para el drone, el cual será impreso en 3D con la interacción de un material plástico en extrusión.

ESC o Variadores.

Los variadores permiten convertir la corriente continua de la batería con una tensión «constante» a una fuente de tensión variable y de sentido reversible por cada polo del motor. El dispositivo electrónico responsable de realizar dicha conversión es el llamado controlador de motor, controlador de velocidad de motor o simplemente ESC (de sus siglas en inglés Electronic Speed Controller), (ilustración 15). La característica importante en conocer de un ESC es su amperaje máximo y su tensión de entrada máxima.

Para multirrotores los amperajes normales van desde los 25 a los 40 amperios, los valores más habituales son ESCs que permiten baterías de 4S como máximo. En la ilustración 13 muestra un ejemplo de variador.

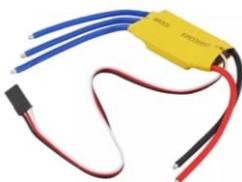


Ilustración 15 Variador 30 a 2s - 3s Fuente: MercadoLibre

Motores.

Los motores que se utilizan son los brushless o sin escobillas. Ellos son los encargados de transmitir la energía necesaria a las hélices o propelas para sustentar el cuadroptor. La tensión máxima de entrada viene determinada por la batería. La velocidad o «Kv» es la velocidad a la que consiguen girar dada una tensión, esta mide en 1000 Rev/Voltio. Ellos son los que proporcionan el empuje necesario para que el drone pueda elevarse. Y su amperaje máximo viene relacionado con la potencia máxima que desarrolla. Un ejemplo del motor está en la ilustración 16.



Ilustración 16 Motor brushless Rs 2212 a 920Kv Fuente: MercadoLibre

Hélices o Propelas.

La hélice es la que genera impulso mediante su giro moviendo el aire a la vez. Siendo mayor el aire, consigue mover la hélice con mayor empuje. El tamaño y grado de inclinación de las hélices vienen determinados por 2 números. El tamaño de la hélice se mide de punta a punta. Hay que tener en cuenta los diferentes tipos de hélices; las acabadas en punta, son hélices más eficientes en relación consumo-empuje. Estas nos proporcionan un mayor tiempo de vuelo pero con menos “punch”. Las de tipo Bullnose son poco eficientes pero consiguen un mayor empuje y sus consumos son elevados. Esto es debido a que tienen una mayor superficie que las acabadas en punta. Por último, las Híbridas se

encuentran entre medias de las dos anteriores, consiguiendo un buen equilibrio entre consumo y empuje.

Otro factor que interfiere es el tipo de material que aporta diferentes propiedades, las hélices más pequeñas paran y aceleran más rápidamente que las hélices grandes, al igual en términos generales podemos decir que a mayor número de palas mayor superficie de área y por lo tanto mayor empuje. Por otro lado, a mayor número de palas mayores consumos de corriente. En el sentido de las hélices se tiene CW y las CCW. La designación hace referencia al sentido de giro en el que la hélice estará moviéndose, siendo las CW para sentido horario y las CCW para sentido anti horario. Un ejemplo de propelas está en la ilustración 17.



Ilustración 17 propelas tripala, y bipala Fuente: FPVMax

También, cabe resaltar el control de errores de fábrica por algunos miligramos más que otra pala, para ello se utiliza un equilibrador magnético de hélices. Véase ilustración 18.



Ilustración 18 Equilibrador Magnético Fuente: Mercado libre

Batería.

Las baterías utilizadas para los drones son las LIPO o de polímero de litio (ilustración 19), estas se diferencian porque están separadas por celdas con un máximo de voltaje por celda, tienen una entrada para balancear y un puerto principal en salida del voltaje. Estas pueden ser 2s, 3s, 4s. La letra «S» indica las celdas en serie, sabiendo que cada celda tiene una tensión nominal de 3.7v, como lo especifica la tabla 2.

Número de celdas	Tensión (V)
1	3.7
2	7.4
3	11.1
4	14.8

Tabla 2 Relación De Función Al Número De Celdas En Batería Lipo Fuente: (Eliot, 2017).

Para saber el tipo de batería a utilizar se necesita la interacción de factores como el peso de la propia aeronave, la eficiencia de los motores y hélices, ESCs, etc.



Ilustración 19 Tipos de Baterías LIPO con Capacidades de 5000mAh Fuente: Ruiperez.

Módulo De Potencia.

El módulo de potencia tiene como función principal suministrar una tensión estable de 5V y una corriente de 2.2 A (ilustración 20). Esto se conecta a la batería para regular la entrada de voltaje de manera constante a la controladora. También, alerta a la controladora de vuelo el estado actual de la batería siendo monitorizado su uso.



Ilustración 20 Módulo de Potencia Compatible con Pixhawk Fuente: Ploug Online

Módulo GPS.

El módulo GPS se conecta con los satélites disponibles e intercambiar la información, el sistema GPS provee información de navegación: latitud, longitud, velocidad, rumbo, tiempo, etc. Esa información recibida es procesada como cálculos matemáticos por la controladora de vuelo. Esto con el fin de saber la ubicación del drone y su estabilidad en un punto fijo como se muestra en la ilustración 21. Se debe tener en cuenta que la elección del modelo sea compatible con la controladora elegida y que sea económico.

Para evitar que la señal del módulo GPS y la telemetría hagan interferencia se le añade un soporte vertical al drone para que el módulo GPS permanezca fijo y un poco alejado del drone. Esto incide en el peso total del drone lo cual se suma como factor de vuelo.



Ilustración 21 Módulo de GPS NEO 6 M Fuente: electrónica y tecnología

Emisor Y Receptor.

Un radio transmisor de RC (TX) es un dispositivo que permite al piloto controlar el aparato por medio de ondas de radio. La señal es recibida por un receptor de radio (RX) situado en el aparato que está conectado al controlador de vuelo FC. El número de canales determina cuantas acciones individuales pueden ser controladas en el aparato. Estos coordinan el alabeo, guiñada, acelerador y el cabeceo. (Ilustración 22)

Los controles que se suelen usar en los drones son los mayores a 6 canales, utilizando el modo dos de configuración porque el movimiento del mando de la mano derecha imita al del cuadricóptero. Tiene el acelerador en el mando izquierdo y el control en el derecho. El mando derecho se auto centra en los dos ejes, mientras que el izquierdo sólo se auto centra en el eje horizontal (la guiñada) mientras que mantiene su posición en el eje vertical (el acelerador) para permitir la aceleración constante. La frecuencia más popular en radiocontrol es 2.4 GHz. Los receptores de radio deben ser compatibles con el control a utilizar para que la telemetría sea recibida.



Ilustración 22 Control de 12 Canales Fuente: (Mercado libre)

Gimbal.

El gimbal es el elemento que se encarga de estabilizar la cámara de la aeronave, permitiendo realizar toma aérea muy estable. Por lo general, son monturas que utilizan motores sin escobillas o brushless como la de nuestro dron, y pueden estabilizar la cámara respecto a dos o tres ejes (ilustración 23). Se distingue por la interacción de la montura o plataforma donde se coloca la cámara, tiene incorporado el IMU el cual indica al controlador la posición de la montura que mantiene la cámara, de esta manera se emite la información que el controlador necesita.



Ilustración 23 Gimbal Estabilizador Estático Fuente: (Mercado libre)

Cámara Deportiva.

Este elemento permite tener una mejor visualización aérea del lugar de ubicación del dron, toma fotos y videos con una resolución ajustada a la cámara deportiva, las características son full HD o 4k, esto de acuerdo a la cámara que conecte al gimbal del dron.(ilustración 24)



Ilustración 24 Cámara Go pro Eken 4K Fuente: (Mercado libre)

Impresión 3d.

La impresión 3D, también llamada manufactura por adición, es un conjunto de procesos que producen objetos a través de la adición de material en capas que corresponden a las sucesivas secciones transversales de un modelo 3D. Los plásticos y las aleaciones de metal son los materiales más usados para impresión 3D, pero se puede utilizar casi cualquier cosa, desde hormigón hasta tejido vivo. (Autodesk, 2020).

La impresora 3d puede imprimir en múltiples materiales y con mayor precisión, un ejemplo de la anatomía de una impresora es la ilustración 25, que representa cada parte de la impresora el material requerido o filamento, la tracción que este conlleva, un bloque de sostén y calentamiento del filamento, y una boquilla al cual se le añade una resistencia y un termistor. En el proceso de fabricación de objetos se utiliza una cama base para extrusión del diseño. Contemplando el factor ambiente para una correcta impresión 3d.



Ilustración 25 Anatomía de impresora 3d Fuente:(Ender, 2018)

El ciclo de vida del producto impreso se muestra en la ilustración 26, la cual ilustra los pasos para comprender cada uno de los subtemas que se tratan en el proyecto.

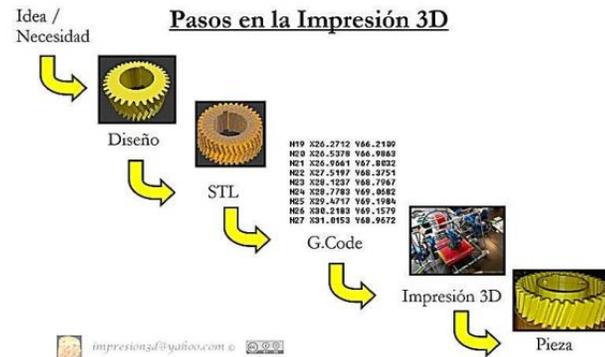


Ilustración 26 Ciclo de vida de un producto impreso en 3D Fuente: (Rodríguez, 2018)

Tipos de material de extrusión en impresión 3D

En cuanto a la impresión 3D como se especifica en uno de los objetivos del proyecto, se pretende diseñar la estructura del drone o frame con una especie de material de extrusión que se ajuste a las necesidades del multirroto. Cabe aclarar que existen diferentes materiales de extrusión con características variantes en resistencia, coste, peso, y demás, por ello se busca la mejor opción a emplear en el frame.

En las especificaciones dadas por (Gómez, 2016) en su libro impresión 3d define las características de los filamentos que suelen emplearse, los materiales empleados son los siguientes:

Pla (Poliácido Láctico).

Es un material biodegradable. Especificaciones en tabla 3.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Fácil impresión - No necesita cama caliente - Muy estable 	<ul style="list-style-type: none"> - Poca resistencia térmica (endeble +60°C) - Material más frágil que otros (poca resistencia)

<ul style="list-style-type: none"> - Procede de materia orgánica del maíz - Se obtiene de recursos renovables - Material reciclable 	<ul style="list-style-type: none"> - Sensible a la humedad (conservado al vacío)
Consejos de impresión	
<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura de extracción: aproximadamente 198°C - Piezas pequeñas y finas utilizar ventiladores de capa - Usar adhesivo en la capa para evitar que la pieza se despegue de la base - Para filamentos de colores oscuros aumentar 3°C ó 5°C respecto a la temperatura óptima. 	

Tabla 3 Especificaciones del PLA Fuente: Maira M.

Abs (Acrílico Butadieno Estireno).

Es un material plástico que procede del petróleo. Especificaciones en tabla 4.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Muy estable a altas temperaturas (80°C – 90°C) - Conserva tenacidad a temperatura (-40°C a 90°C) - Alta capacidad de mecanizado - Resistente a ataques químicos - Resistente a impactos 	<ul style="list-style-type: none"> - Es necesaria cierta experiencia en impresión 3d. - Dificultad de impresión media “dependiendo del objeto que se trate”. - Contracción entre capas más rápida que el PLA, pudiendo resquebrajarse la pieza si las condiciones del entorno son demasiado frías. - Puede producirse el efecto Warping fácilmente.
Consejos de impresión	
<ul style="list-style-type: none"> - Establecer una temperatura de extrusor de (235 °C). - Establecer una temperatura de cama de 60 °C (piezas pequeñas) y de 80 °C (piezas grandes). - Prohibido utilizar ventiladores de capa. - La impresión se aconseja hacerse en ambientes calefactados o que la propia impresora 3d sea con cerramiento hermético “mejora de pieza y acabados”. - La impresión debe de hacerse en zonas bien ventiladas (desprende gases nocivos para la salud). 	

- Para filamentos con colores oscuros, aumentar la temperatura 3°C ó 5°C respecto de la temperatura óptima.

Tabla 4 Especificaciones del ABS Fuente: Maira M.

Pet (Tereftalato De Polietileno).

Es un material de uso alimenticio. Especificación en la tabla 5.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Presenta alta transparencia, incluso siendo el filamento de color. - Alta resistencia al desgaste y corrosión. - Buena resistencia química y térmica. - Resistente a impactos. - Es impermeable. - Resiste a esfuerzos permanentes (flexibilidad). - Baja absorción de humedad. - En el uso doméstico, permite “cocción en microondas”. - Alta capacidad de mecanizado. - Resistente a ácidos, bases y grasas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Levemente tóxico. - No es biodegradable. - Se vuelve endeble a partir de 70 °C aproximadamente.
Consejos de impresión	
<ul style="list-style-type: none"> - Rango de temperatura de impresión: (215 – 250) °C. - Temperatura óptima de impresión: 235 °C. - Para imprimir objetos de uso doméstico, usar filamentos con “certificado de uso”. - No necesita cama caliente. - Para filamentos con colores oscuros, aumentar la temperatura 3 °C ó 5 °C respecto a la temperatura óptima. 	

Tabla 5 Especificaciones del PET Fuente: Maira M.

Petg (Tereftalato De Polietileno Glicol).

Es una modificación del PET. Se le añade Glicol conseguirlo. Especificación en tabla 6.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Mayor durabilidad y dureza - Excelente adhesión entre capa - Más flexible o tolerancia a la torsión que otros filamentos más rígidos como el ABS - No sufre Warping - No emite olores durante la impresión - Ofrece mayor transparencia que otros filamentos. Es la mejor opción para impresiones 3D en las que se busca transparencia o translucidez. - Es fácil de imprimir - Buena resistencia a impactos - Buena estabilidad térmica. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se reblandece a partir de 80°C - Es más denso, lo que no complica la impresión, pero suelta más hilo en la extrusión, a no ser que se configure correctamente - Si usas ventilador de capa al máximo, puede que no se adhieren bien las capas. - Se recomienda el uso de adhesivos
Consejos de impresión	
<ul style="list-style-type: none"> - Requiere cama caliente, 65°C aproximadamente. - Realiza la impresión a una temperatura de 220 – 250 °C (dependiendo del fabricante) - Reduce el flow al 80 – 90% - Activa el ventilador de capa a revoluciones baja-media 	

Tabla 6 Especificaciones de PETG Fuente: Maira M.

Nylon.

Es un polímero que contiene enlaces de tipo amida, lo que se conoce como poliamidas.

Especificación en tabla 7.

Ventajas	Desventajas
----------	-------------

<ul style="list-style-type: none"> - Calidad de la impresión: con un acabado suave. - Presenta una muy buena adherencia de capa. - Muy resistente. - Tiene un coeficiente de fricción bajo, es decir, se puede utilizar para impresiones de engranajes, o piezas que giran alrededor de un eje. 	<ul style="list-style-type: none"> - Absorbe la humedad con mucha facilidad. - Los cambios bruscos de temperatura durante la impresión pueden causar deformación en el material. - Puede ocurrir Warping, por lo que se recomienda ayuda en la adhesión.
<p>Consejos de impresión</p>	
<ul style="list-style-type: none"> - Imprime a unos 240-260 °C - Necesita cama caliente, a alta temperatura, en torno a los 80° C - Se usa adhesivo como Dimafix para evitar el warping o secadoras de filamento para evitar la absorción de humedad durante la impresión y su posterior almacenamiento. Además, con estas secadoras, podrás precalentar el filamento durante la impresión lo que ayudará a una mejor adhesión y mayor resistencia de la pieza. - No necesita ventilador de capa. 	

Tabla 7 Especificaciones del NYLON Fuente: Maira M.

Fibra de Carbono.

Material resistente y ultra ligero. Especificaciones en tabla 8.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Ofrece una gran resistencia mecánica y gran ligereza. - Gran adhesión y un gran refuerzo entre capas por las fibras que contiene. - Buen aislante térmico. - Material muy estable a altas temperaturas. - Fácil de imprimir. 	<ul style="list-style-type: none"> - Temperaturas de impresión elevadas. - Material muy abrasivo “cuidado con los extrusores”.

<ul style="list-style-type: none"> - Grandes acabados con aspecto fibroso. - Gran resistencia al impacto. 	
Consejos de impresión	
<ul style="list-style-type: none"> - No necesita cama caliente. - Usar boquillas extrusor de acero inoxidable y no las convencionales (latón), pues terminan por sufrir abrasión debido a las fibras del material. Además, se recomienda que los orificios de salida de las boquillas sean igual o superiores a 0,4 mm. - Rango de temperatura de impresión: (230 – 265) °C. 	

Tabla 8 Especificaciones de Fibra de Carbono Fuente: Maira M.

Descripción Del Software De Diseño.

El software utilizado para respaldar el proyecto es solidworks, debido a su amplia gama de herramientas para el diseño y la estructura es muy útil. SOLIDWORKS es un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora) para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. El software ofrece un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del producto. Sus productos ofrecen la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño. (Solidbi, 2020)

Según (Solidworks, 2011) las características en las cinco líneas diferentes que tiene son:

- ✓ Herramientas de diseño para crear modelos y ensamblajes
- ✓ Herramientas de diseño para la fabricación mecánica, que automatiza documentos de inspección y genera documentación sin planos 2D.

- ✓ Herramientas de simulación para evaluar el diseño y garantizar que es el mejor posible
- ✓ Herramientas que evalúan el impacto medioambiental del diseño durante su ciclo de vida.
- ✓ Herramientas que utilizan los datos de CAD en 3D para simplificar el modo en que las empresas crean, conservan y utilizan contenidos para la comunicación técnica.

Un ejemplo de la interfaz de solidworks está en la siguiente ilustración.

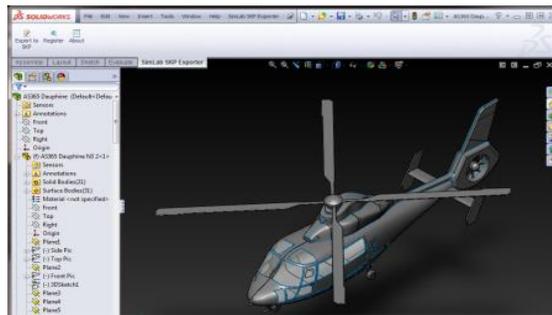


Ilustración 27 Software de diseño Solidworks Fuente: Solidwork

Teoría De Construcción De Un Drone.

En este inciso se explica el proceso, las operaciones que la componen y las intervenciones que se necesitan para construir el drone. Los pasos descritos son extraídos del libro como construir un drone por (Eliot, 2017).

Requisitos de Diseño.

Para diseñar un prototipo hay requisitos necesarios a tener en cuenta para conseguir un diseño óptimo y competitivo en el mercado.

Los requisitos a tener en cuenta al momento de diseñar un drone es la capacidad de **ser autónomo**. Esa autonomía es dada por medio de una controladora la cual es programada

para realizar diferentes movimientos u órdenes para hacer que el multicoptero las lleve a cabo.

Una característica importante de la competencia en el mercado es **el tiempo de vuelo**. El tiempo que un drone puede estar suspendido en el aire está entre 8 - 25 minutos, esto varía de acuerdo a la capacidad de los motores, si son utilizados al 100% o al 60%, de acuerdo al esfuerzo de estos se ve considerablemente afectando el tiempo de vuelo, puesto que generan el empuje necesario para ser elevado el drone. A esto, también se suma la variable **peso** que influye siendo carga al cual se somete el multicoptero. Como todos los motores tienen un límite en potencia, se debe contemplar en su diseño disminuir al máximo el peso total del drone, por lo cual necesitará de materiales más costosos.

Por último un factor determinante que va de la mano con el peso es **la resistencia mecánica y la fatiga** de los materiales, Según (Ruiz, 2002) la resistencia mecánica de un material se reduce cuando sobre él actúan cargas cíclicas o fluctuantes, de manera que transcurrido un número determinado de ciclos de actuación de la carga, la pieza puede sufrir una rotura.

El número de ciclos necesarios para generar la rotura de la pieza dependerá de diversos factores, entre los cuales están la amplitud de la carga aplicada, la presencia de entallas, de pequeñas grietas, micro fisuras e irregularidades, también puede fallar por el agotamiento por fatiga, el material falla sin que su nivel interno de tensiones haya llegado a los valores críticos correspondientes a los originados por esfuerzos de tipo estáticos. (Torres, 2013)
Teniendo en cuenta estas referencias, se entiende que existen materiales de bajo costo y con características que no cumplen los requisitos. Por lo cual muchos de esos materiales no

servirían debido a la resistencia mecánica y la fatiga del mismo. La especificación de los materiales se encuentra en el anexo B. Elección del Hardware.

Diseño Electrónico.

Las conexiones para la configuración de la Pixhawk se muestran en la ilustración 28. Las conexiones de la batería hasta la controladora son; la batería Lipo se conecta al módulo de poder y alimenta a los ESC o controladores de velocidad por medio de un circuito en serie a cada ESC, estos se conectan con el respectivo motor brushless referente a cada brazo del drone. Si se quiere un giro contrario solamente se invierte dos de los tres cables del ESC. Los cables de señal de cada ESC se conectan en los canales de entrada de la controladora. El receptor está conectado a la controladora de vuelo Pixhawk, también suele conectarse a un PPM encoder.

A la controladora de vuelo Pixhawk se conecta en entrada “input” el cable de señal del módulo de poder y el cable de señal del gps. Pero las salidas de la controladora “output”, se conectan directamente el buzzer, el gps, el switch, la telemetría, conversores análogos, USB, receptor, cámara. Por último, la señal que se registra desde el transmisor o radiotransmisor como lo muestra la ilustración 29.

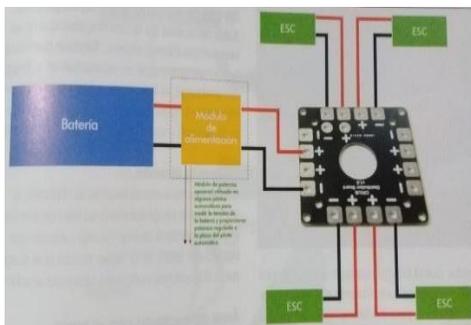


Ilustración 28 Conexión ESC con Batería Fuente: Ruiperez

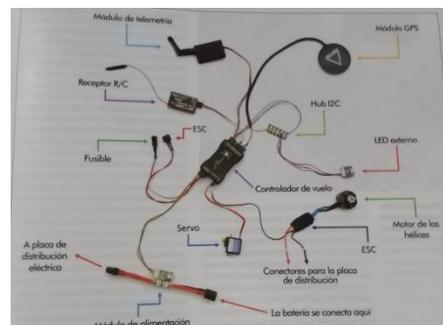


Ilustración 29 Conexiones Eléctricas de la Pixhawk Fuente: Ruiperez

Marco conceptual

Drone.

Los drones o RPAS vehículos aéreos no tripulados se caracterizan por ser capaces de volar de forma totalmente autónoma desde el despegue hasta el aterrizaje. (Eliot, 2017)

Filamento 3D.

Es la materia prima que necesitan las impresoras 3D con tecnología FFF (Fabricación con Filamento Fundido) o FDM (Modelado Deposition Fundida) para funcionar. (Leon & Torres, 2013)

Impresora 3D.

Es una máquina capaz de realizar réplicas de diseños en 3D, creando piezas o maquetas volumétricas a partir de un diseño hecho por ordenador. (Gómez, 2016)

Impresión 3D.

Es una tecnología de fabricación por adición donde un objeto tridimensional es creado mediante la superposición de capas sucesivas de material. (Leon & Torres, 2013)

Esc.

Controlador electrónico de velocidad. (Eliot, 2017)

Fpv.

Vista en primera persona. (Eliot, 2017)

Gimbal.

Montura de cámara que emplea motores para permanecer en la misma posición con relación al suelo, independientemente de los movimientos del aparato. ((AAAE), 2018)

Giroscopio.

Dispositivo que mide la orientación. Utilizado por el controlador de vuelo para nivelar el aparato. ((AAAE), 2018)

LiPo Batería.

Batería de Polímero de litio. (Eliot, 2017)

Osd.

Visualización en pantalla. (Eliot, 2017)

Pdb.

Placa de distribución de energía. (Eliot, 2017)

Pid.

Proporcional integral derivativo. (Eliot, 2017)

R/C.

Radiocontrol. (Eliot, 2017)

RF.

Radiofrecuencia. (Eliot, 2017)

TX.

Transmisor. (Eliot, 2017)

Marco Geográfico:

Para llevar a cabo la elaboración de este proyecto de investigación, se tiene como referencia el marco geográfico como se observa en la ilustración 30 las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior De Poza Rica (ITSPR), lugar donde darán apoyo y seguimiento a la construcción del drone.



Ilustración 30 Instituto Tecnológico Superior de Poza Rica Fuente: Google Maps, 2020

El Instituto Tecnológico Superior sede Poza Rica, se encuentra ubicada en la calle Luis Donaldo Colosio s/n, Ejido Arroyo del Maíz, Poza Rica de Hidalgo, localizado al norte del estado mexicano de Veracruz, al oriente de la República Mexicana, el principal núcleo urbano de la zona norte de la entidad. Cuenta con una población de 200.119 habitantes en el 2012, presentando clima cálido con temperaturas de 24 °C con lluvias en verano y otoño. (Palacio Municipal, 2020)

La segunda parte del proyecto referente al uso y aplicación del drone se hará el seguimiento en las instalaciones de la Universidad Antonio Nariño sede Villavicencio.

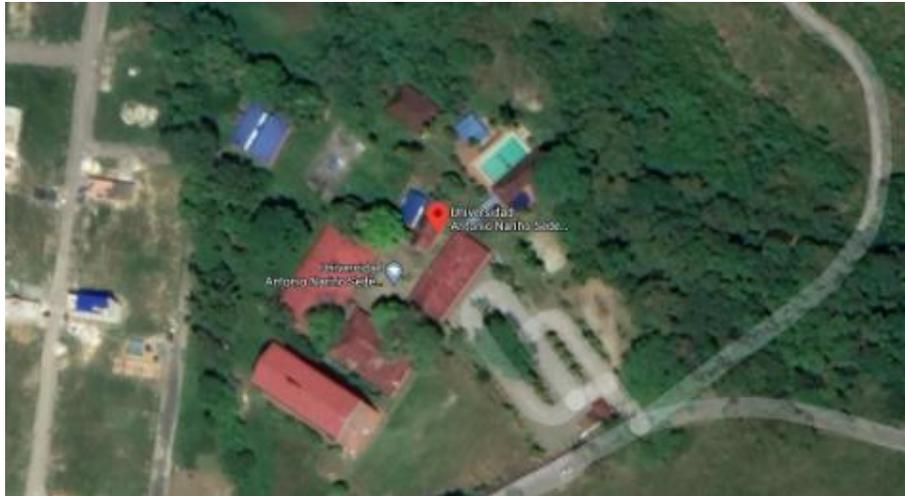


Ilustración 31 Universidad Antonio Nariño Sede Villavicencio Fuente: Google Maps, 2020

La Universidad Antonio Nariño sede Villavicencio, se encuentra ubicada en el kilómetro 1 vía Puerto López en la vereda La Cecilia, como se evidencia en la ilustración 31, siendo Villavicencio la ciudad capital del departamento del Meta. Está ubicada en el piedemonte de la cordillera oriental, al noroccidente del departamento del Meta, en el margen izquierdo del río Guatiquía, con una población de 407.977 habitantes en 2010. (Villavicencio, 2020)

Marco Legal:

Al ser un tema de especial actualidad, existen hoy en día pocos marcos legales que marquen claramente las condiciones de uso de los drones en la región. (Balestreni, 2015)

Dentro del marco legal colombiano en la tabla 9 se encuentra la resolución actual con la que se rige los drones. (Resolución, 2018)

<p>Resolución 4201 de 2018</p>	<p>Aeronáutica Civil de Colombia</p>	<p>Art 1</p>	<p>Define los requisitos de los drones por categorías;</p> <p>Clase A 250 gr y hasta 25 kg (abierta):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Vuelos lejos de cualquier zona urbana 2.No volar cerca o sobre personas 3. Vuelos diurnos 4. Solo en espacio aéreo G 5. Lejos de aeropuertos y helicópteros 6. solo trabajos de captura de imágenes 7. Vuelos hasta 123 metros. 8. No vuelos autónomos 9. 500 metros horizontales <p>Clase B (regulada) 25 kg y hasta 150 kg</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Vuelos en ciudades 2. Vuelo fines de aspersión o fumigación 3. 750 metros horizontales 4. Transporte de insectos 5. Operaciones autónomas 6. Trabajos distintos solicitar autorización
--	--	--------------	--

			<p>7. Operaciones SAR</p> <p>Clase C (certificada- RPAS) superior a 150 kg.</p> <p>-sobrevuelas internacionales y aquellos que presten servicios de transporte</p> <p>Incluyendo la Guía de contenido del manual de operaciones y mantenimiento (M/OM) UAS.</p>
--	--	--	---

Tabla 9 Regulación de Drones en Colombia Fuente: Resolución 4201 de 2018.

Capítulo 4

Diseño Metodológico

Tipo De Investigación:

Menciona (Tomala, 2016) en una de las clasificaciones representando una intervención por parte del investigador como tipo experimental, prospectivo, longitudinal, analítico y de nivel investigativo “explicativo” (causa-efecto); además de ser “controlados”.

El proyecto se enfoca en ser una investigación de carácter experimental, es prospectivo porque se manipulan las variables de estudio y realiza la respectiva planeación, se harán dos mediciones antes y después de la intervención definido como longitudinal, estas dos mediciones se comparan a través de un análisis. También, es de nivel investigativo por los resultados obtenidos en la segunda medición, por ello es “Explicativo”. Cabe agregar que es un estudio de causa – efecto además de ser controlado.

Para una correcta elaboración del proyecto, en su metodología se hará el uso correspondiente de herramientas industriales, tales como: diagrama de Ishikawa, estudio de mercado, normas de diseño, normas de impresión 3d, teoría de construcción de un dron por (Eliot, 2017), calculadora ecalc, análisis modal de fallas y efectos, por último el diseño de experimentos como el DOE factorial. La interacción de cada una de ellas permite la culminación del proyecto bajo una estructura con un estudio antes y después los cuales se analizan para llevar a cabo una comparación, y así obtener los resultados finales afines con los objetivos del proyecto.

Etapas De La Metodología.

Los pasos empleados para la realización del proyecto de investigación se muestran en la ilustración 32, donde se detalla el desarrollo de cada uno de ellos de forma específica a continuación:

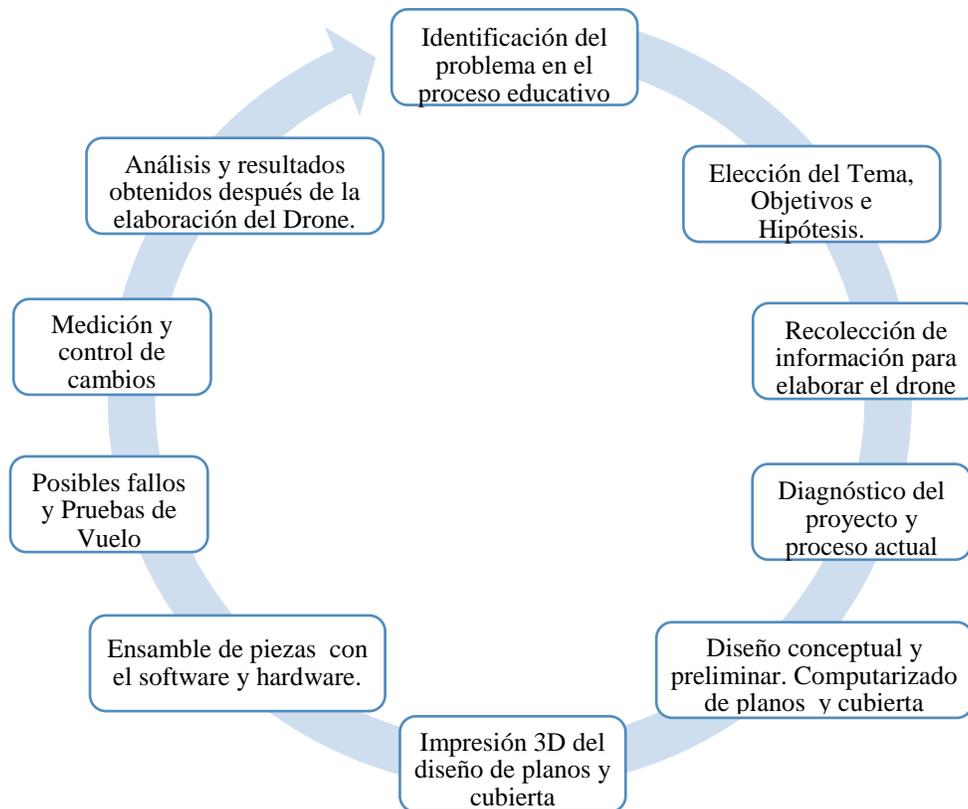


Ilustración 32 Metodología de Estudio Fuente: Maira M.

Diseño Conceptual Y Computarizado.

Durante esta actividad se establece los parámetros de dibujo y diseño que se tendrán en cuenta durante la computarización en el software, éste pretende una idea clara y concisa del diseño escogido para la manufactura del mismo.

Diseño Preliminar.

De acuerdo a cada uno de los diseños prediseñados en el software, se elige finalmente el Drone a escoger por las características específicas necesarias del proyecto. Con esto se quiere tener una conceptualización esquemática del drone, de tal forma que sea fácil de comprender a simple vista.

Impresión 3D Del Diseño Computarizado.

Después de tener el diseño preliminar computarizado, se requiere la impresión de cada una de estas piezas diseñadas, para esto se requiere de la ayuda de la impresora 3D, la cual permitirá por medio de la obstrucción de filamento ABS, la manufactura de cada una de sus partes.

Ensamble Del Drone.

Este necesita la obtención del software y hardware de vuelo, para el debido ensamble de las partes específicas del drone. Para el fin del proyecto se hace necesaria la interacción de cada una de estas partes que permitirán que el drone, se eleve y cumpla la función específica de publicidad.

Pruebas De Vuelo.

Estas son el resultado de uno de los objetivos del proyecto, hacer que el dron vuele y sea estable. Seguidamente al correcto funcionamiento de esta se procederá al ensamble y uso del gimbal y su respectiva cámara.

Resultados Obtenidos.

Con los resultados obtenidos de los pasos anteriores se establecerán una serie de resultados de las pruebas de vuelo realizadas, con el fin de modificar y corregir fallas durante el vuelo.

Instrumentos Empleados.

Estos son los requisitos que el drone en su obligación necesita para que el proyecto sea culminado. Con la conjunta interacción de estos se logrará el objetivo principal como fin de la investigación.

Etapa 1. Determinar las características y funcionalidades del drone

Diagnóstico Del Proyecto.

Se presenta la necesidad de realizar el diseño en solidworks y prototipos por medio de la impresión 3D. A través de diferentes elementos empleados de acuerdo al uso que va a tener la pieza. Para contribuir con el conocimiento y habilidades en el diseño con solidworks, además del control y manejo de la impresora 3D para la culminación del proyecto. En este caso la elaboración de un drone impreso por filamentos PLA y ABS de extrusión dando a entender el alcance de esta gran herramienta.

Proceso Actual o Recorrido Inicial.

La controladora que actualmente tienen los AUV del tecnológico, están ensamblados por la DJI NAZA, es un cerebro de mandos para multicopteros. Incluye, giroscopio, acelerómetro y barómetro en un solo módulo. Tiene D-Bus y soporte de actualización de firmware. Además de ser de código cerrado.

Para la elaboración del dron, los pasos a efectuarse se muestran en la ilustración 33, estos especifican el proceso actual para el armado del Dron. Desde la compra de los materiales necesarios, como la programación que debe realizarse para el vuelo.

Adicionalmente una comparación con el proceso propuesto, el cual inicia desde un diseño conceptual, la fabricación por adición y finaliza en las pruebas de vuelo.

Recordando el cumplimiento de uno de los objetivos, realizar un dron con impresión 3D, con alto rendimiento y bajo coste. Por lo cual se añaden al proceso actual el diseño teórico y el diseño preliminar, utilizando la herramienta de diseño computarizado solidworks. Lo cual hace que sea un diseño más personalizado.

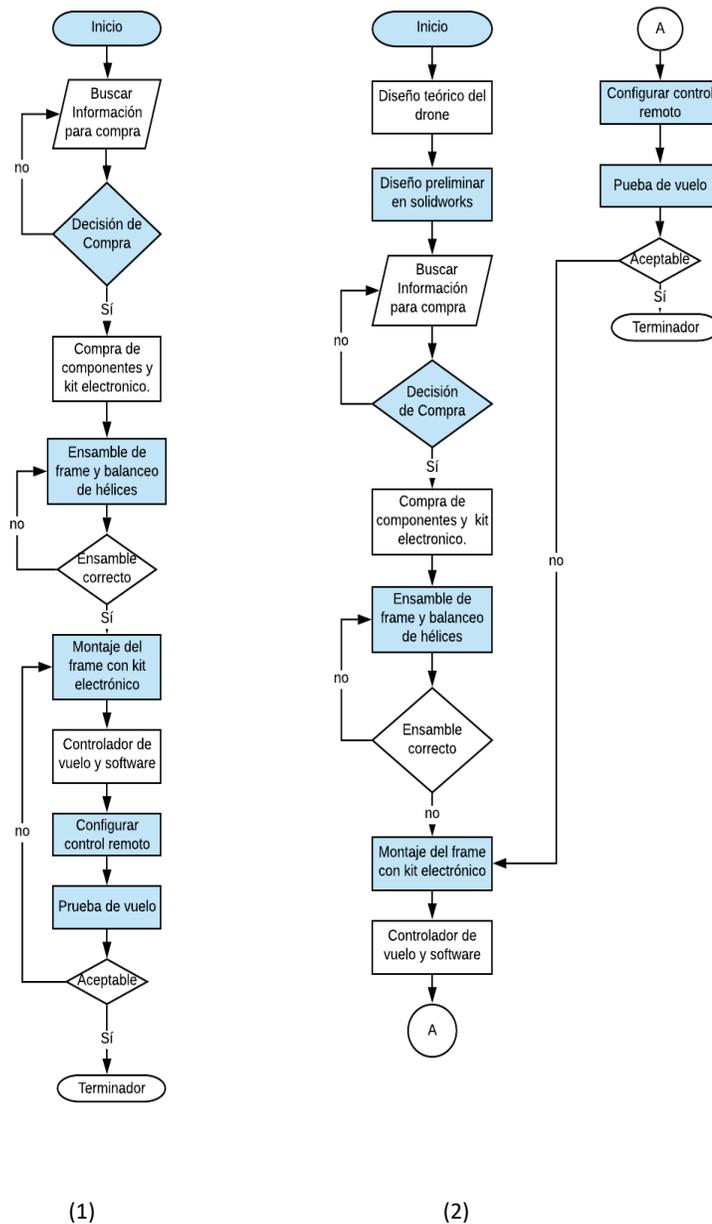


Ilustración 33 Diagrama de flujo del Proceso actual (1) VS Proceso del propuesto (2) Fuente: Maira M.

En la ilustración 34 se muestran los diferentes drones que se encuentran en el laboratorio de electromecánica, drones de carrera o racer, drone de agricultura y drone detector de gases. En la ilustración 35, se muestra un ejemplo de un drone racer en vuelo y los drones de 4 brazos o cuadricóptero y 6 brazos o hexacóptero.

Actualmente el tecnológico no cuenta con un drone orientado al área de publicidad, por lo cual, el desarrollo de este proyecto es el primero en énfasis en la captura de videos y fotos.



Ilustración 34 Drones del laboratorio de mecatrónica Fuente: Maira M.



Ilustración 35 Drone racer en vuelo y drone de 4 y 6 brazos Fuente: Maira M.

Diagrama De Ishikawa.

Las posibles causas que influyen por factores son, en personal; falta de experiencia, ausencia del personal, imparcialidad en el trabajo y las distracciones. En el software y

equipo; el vencimiento de licencia de solidworks, desconfiguración de la computadora y el fallo eléctrico en el equipo. Para los materiales; no obtención del material, material incompleto, inapropiado, pesado y flexible. También para el método, el desconocimiento de herramientas, métodos inapropiados a la temática, falta de control de tiempo y la incorrecta aplicación del mismo. (Ilustración 36)

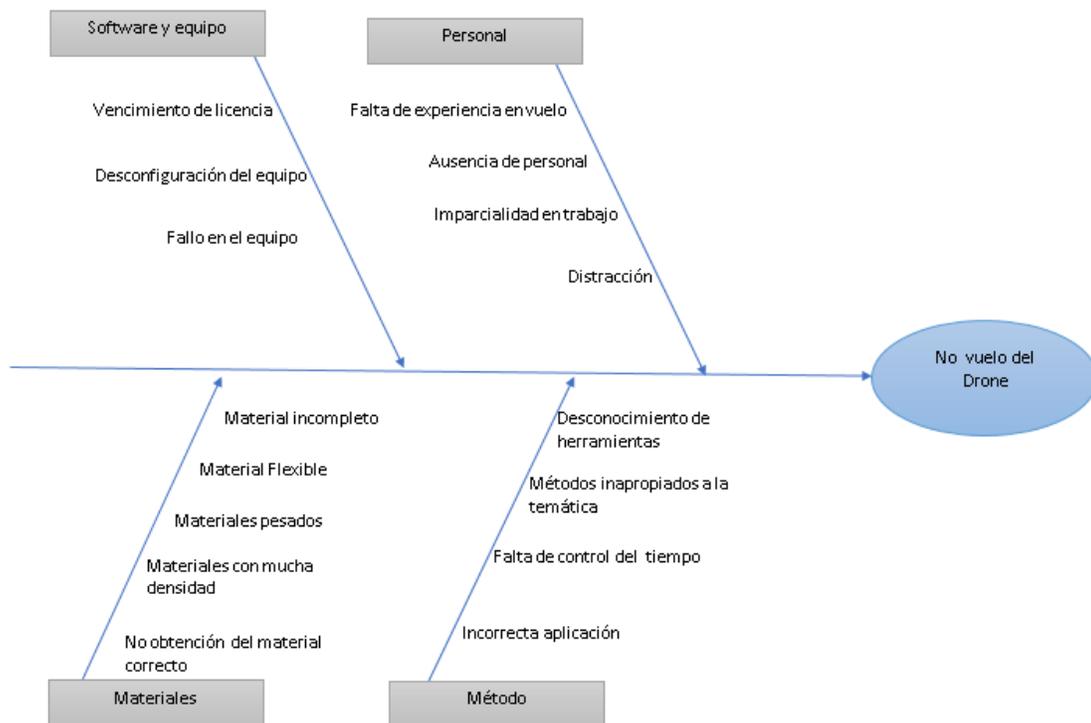


Ilustración 36 Diagrama de Ishikawa Fuente: Maira M

Diagrama De Bloques.

En el diagrama de bloques se muestra los diferentes pasos que se realizan para la construcción del dron. En la fila 1 se identifican los procesos; primeramente el diseño, luego la impresión, posterior el ensamble eléctrico y mecánico para finalizar con las pruebas de vuelo.

Pero cada una de estos procesos tiene una serie de causas y efectos que podría llegar a presentarse para el impedimento del objetivo. Como lo muestra la ilustración 37, diagrama de bloques del dron.

	Diseño	Impresión	Ensamble eléctrico y mecánico	Prueba de Vuelo
Fallas y efectos	<ul style="list-style-type: none"> Las piezas no corresponden a la medida Piezas se encuentran dañadas No son del material especificado Que el solidworks falle 	<ul style="list-style-type: none"> La Impresión Falle Piezas en mal estado Material erróneo Que el programa falle Las piezas no se impriman bien 	<ul style="list-style-type: none"> Las piezas no son puestas de la manera correcta Dañar los motores Dañar las piezas El material no encaja Material muy pesado 	<ul style="list-style-type: none"> Que el dron pese No cumpla con el tiempo de vuelo Se dañe al momento de hacer la prueba El control de mando no esté bien configurado El sistema no funcione No vuele

Ilustración 37 Diagrama de Bloques del Dron Fuente: Maira M

Análisis Modal De Fallas Y Efectos

Los fallos principales efectuados en la elaboración del dron comprobados en el laboratorio de electromecánica se muestran en la tabla de análisis modal de fallos y efectos anexo C. Los resultados principales son las acciones correctoras propuestas para la prevención de fallos identificados como; los fallos potenciales resultantes en ruptura del dron, compra de material con defectos, caída del dron, no se puede patentar o hacer pruebas de diseño y la fundición.

Para cada uno de ellos se tiene la propuesta correctora como se muestra en la tabla 10 propuestas correctoras.

Fallos	Propuestas Correctoras
Ruptura del drone	Practicar en vuelo virtual
Compra de material con defectos	Comprar a proveedores confiables,
Caída del drone	Revisión anticipada del lugar a vuelo, cargar batería.
No se puede patentar o hacer pruebas de desempeño	Actualizar el diseño, especificaciones y prueba de desempeño del dispositivo en Dropbox
Fundición	Cambio de materiales

Ilustración 38 Propuestas Correctoras Fuente: Maira M

Mapa De Valor.

En el diagrama de valor del proyecto se orienta al tiempo de ejecución y pasos en el proceso en desarrollo para culminar con prueba de vuelo y empaque. Esto con el fin de ilustrar los movimientos que deberán eliminarse para tener menor costo en la realización del drone. Véase ilustración 38 VSM del drone. Para iniciar con el proceso el encargado en producción realiza la orden de los diferentes materiales a conseguir para la construcción, el deber de buscar proveedores confiables para tener la materia prima en el tiempo indicado. A su vez, el encargado en producción supervisa los procesos de diseño, impresión 3D, ensamble, prueba de vuelo y empaque. Esto con los tiempos estimados a cada proceso con el fin de tener un producto que cumpla con las expectativas del cliente.

En el diseño se estima un tiempo de 40 días, en la impresión un tiempo de 15 días, el ensamble del dron en 4 días, la configuración y pruebas de vuelo en 7 días y la realización de un empaque 4 días. Esto con un tiempo de 60 días en ejecución de todo el proyecto.

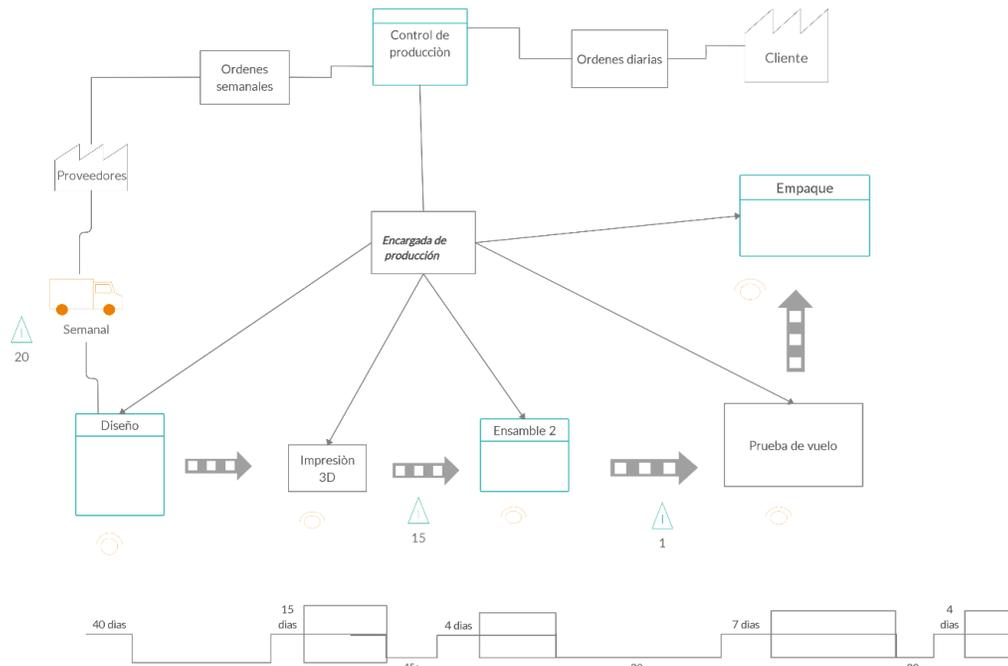


Ilustración 39 VSM del dron Fuente: Maira M.

Diseños y Características del Dron.

Diseños Conceptuales.

Los diseños conceptuales que preceden a la investigación en el mercado, con la característica de ser drones con capacidad de tomar video con calidad de imagen 4K. El objetivo del estudio de drones de video y fotografía en el mercado, es generar una serie de soluciones alternativas con objeto de identificar la más adecuada. Por medio de estas imágenes se pretende generar una idea, externalización y síntesis de la elección del multirrotor. Véase anexo A, Estudio de drones video y fotografía en el mercado.

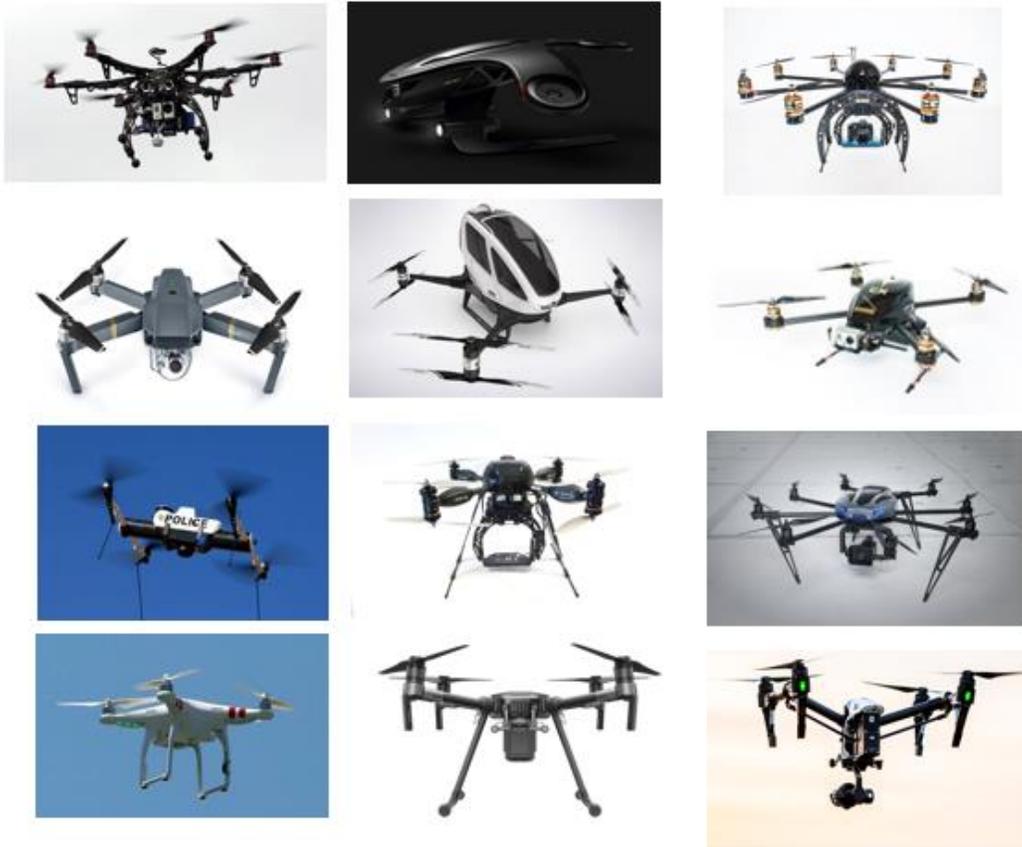


Ilustración 40 Diseños de drones más destacados en el mercado Fuente: Maira M

La ilustración anterior registra los diseños más destacados en el mercado de drones de video y fotografía.

Análisis De Soluciones.

Teniendo en cuenta los requisitos mencionados en el capítulo anterior se procede a analizar las diferentes soluciones a la hora de diseñar el drone, por medio del anexo A estudio de drones video y fotografía en el mercado, el anexo D estudio de mercado controladora de vuelo, se obtienen diferentes alternativas, las cuales se evalúan para escoger el diseño más apropiado.

En la tabla 11, alternativas de diseño se encuentra claramente la voz del diseño, la voz del proceso y la voz del cliente. Respectivamente, se tiene una comparación entre dos

modelos actuales y dos modelos propuestos, haciendo un paralelo entre la voz del diseño; que hace la interacción entre tipo de motor, número de brazos, longitud del brazo, grosor del brazo, el diámetro de la base, la relación entre longitud del brazo y el diámetro de la base, el tipo de material del frame, el tiempo de ensamble y el costo de los componentes. Con el fin de desarrollar un producto con altos estándares.

También, la voz del proceso se estima variables como tiempo de vuelo, cobertura, altura, estabilidad, el tipo de controladora de vuelo y el tiempo de configuración requerido por cada uno de los modelos antes mencionados.

Para concluir la voz del cliente, el cual es uno de los fines principales en el cliente final. Este se reduce a dos características específicas, la primera el tiempo de vuelo y la segunda el diseño o modelo del dron, al interactuar con estas características principales se pretende satisfacer la necesidad del cliente, motivo por el cual se desarrollan los productos.

VOZ DEL DISEÑO																
desempeño																
	Dia	P o i t l o	Tipo de batería (mAh)	Tipo de motor	N° brazo	Long. brazo	Grosor brazo (cm)	diametro base (cm)	Diametro de basa para motor (cm)	relación longitud/grosor del brazo	Tren de aterrisaje grosor (cm)	Peso	Tipo de material fran	Tiempo de ensamble frane & circuito	Costo	
Inicial	Modelo 1	1	A d r n i a	5200	A2212 13T / 1000 k	4	20	1,2	10	4	30	1	2,5 Kg<X	brazos: ABS base: baquelita	10 horas	7500
		2		5200												
		3		5200												
	Modelo 2	1		BR2212 920Kv	6	20	1,2	10	4	30	1	2,5 Kg<X	brazos: ABS base: baquelita	1 Dia	8000	
		2														5200
		3														5200
Propue stos	Versión 1	1	M a i r a	5200	BR2212 920Kv	4	18	1,3	10	4	17	1	2 Kg< X	brazos: ABS base: baquelita	10 Hora	7500
		2		5200												
		3		5200												
	Versión 2	1		BR2212 920Kv	3	15	Diametro 2,0	10	3	20	1	2 Kg< X	Base: ABS Brazos: Fri. Carbono	8 Hora	6000	
		2														5200
		3														5200

VOZ DEL Proceso															
Condiciones ambientales					DESEMPEÑO										
	Dia	Velocidad del viento	Humedad ambiental	Temperatura ambiente	Tiempo de vuelo	Cobertura km2	Altura	Estabilidad	Controladora	Tiempo de programación	Tiempo de configuración				
Inicial	Modelo 1	1	3° escala	---	---	15 - 20 min	1 km	500 m	si	Naza	0 horas	2 - 3 horas			
		2													
		3													
	Modelo 2	1				3° escala	---	---	15 - 20 min	1 km	500 m	si	Naza	0 horas	2 - 3 horas
		2													
		3													
Propue stos	Versión 1	1	3° escala	---	---	15 - 20 min	1 km	500 m	si	Ardupilot	1 día	1 día			
		2													
		3													
	Versión 2	1				3° escala	---	---	15 - 20 min	1 km	500 m	si	Ardupilot	1 día	1 día
		2													
		3													

VOZ del cliente	
Tiempo de vuelo	MODELO
17	1
15	1
15	1
15	2
18	2
15	2
19	3
14	3
10	3
13	4
10	4
24	4

Tabla 10 Voz del Diseño, Proceso y Cliente Fuente: Maira M.

Cronograma de actividades.

Para el desarrollo de las actividades se tiene una proyección de 10 meses para culminar el proyecto. Véase Anexo E.

Elección y Justificación del Multirotor.

Al realizar el análisis de los diferentes drones que hay en el mercado y sus características, teniendo en cuenta los requisitos del diseño establecidos en el proyecto, y acorde a las necesidades que se quieren satisfacer, se decide por la siguiente estructura:

El diseño propuesto es la aplicación de un cuadricóptero, la figura más utilizada en drones debido a su capacidad de estabilidad, tiene la sincronización más sencilla y soporta mayor peso para añadirle un gimbal estático (con capacidad de añadir un gimbal 2D), agregando el ángulo de alcance por la cámara a bordo. También, entre los drones de publicidad se encuentra entre los semi profesionales con un costo medio y con más opciones en adaptarse en diferentes áreas no solo en publicidad, por lo tanto es la más usada en el mercado incluyendo el gremio de fotografía.

Diseño Estructural.

Diseño estructural del frame o chasis del drone realizado en solidworks ilustrado en la siguiente imagen.

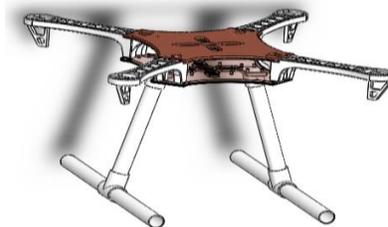


Ilustración 41 Estructura del Drone Fuente: Maira M

Metodología De Vuelo Escogida.

La metodología de vuelo del cuadroptor como se mencionó en el marco teórico, se caracteriza por tener 4 brazos, 4 motores y 4 variadores. La forma elegida es quad X, para una mejor distribución para el gimbal como las hélices. No obstante, los dos motores ubicados en los brazos en forma opuesta del multirotor deben girar en sentido horario (CW) y los dos motores restantes giran en sentido anti horario (CCW). Esta metodología proporciona mayor estabilidad para la obtención de video. Con estas especificaciones se identifica la ilustración 42.

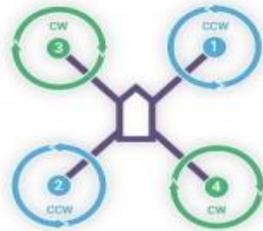


Ilustración 42 Diagrama de vuelo del cuadroptor Fuente: Ruiperez

Diseño Preliminar Y Planos.

Diseño Preliminar.

Es un multi rotor diseñado para el montaje de un gimbal estático, se identifica la característica de un centro de masa amplio para el correcto ensamble del gimbal 2D para futuros proyectos, a su vez una buena capacidad de soporte en el tren de aterrizaje, que permite una mejor visibilidad por parte de la cámara con un ángulo de 170° (ojo de pescado), obteniendo así una mejor claridad en el video y la fotografía. (Ilustración 43)

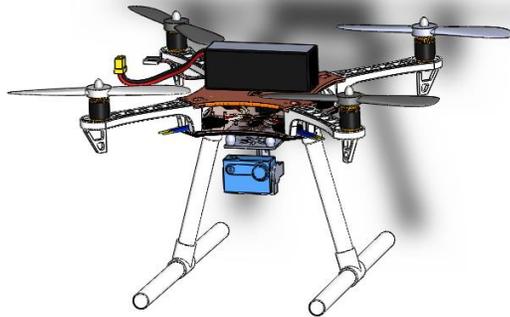


Ilustración 43 Diseño Preliminar Fuente: Maira M

Para obtener el diseño preliminar es necesario hacer uso de solidworks para ilustrar el diseño 3d y 2d.

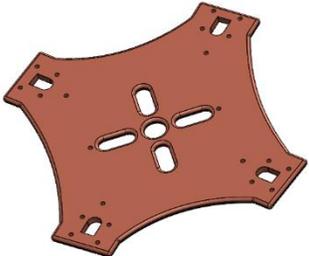
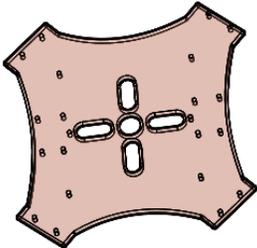
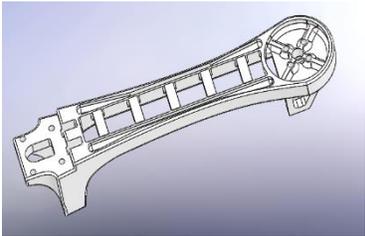
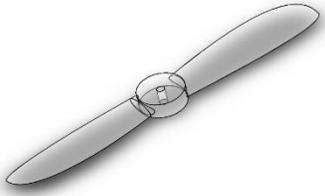
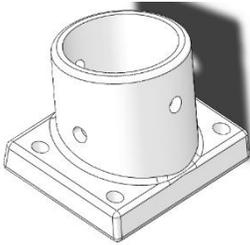
Se desarrollan las piezas del drone base superior, inferior, brazos del drone entre otros, para la correspondiente impresión 3d. También se diseñan los diferentes componentes electrónicos que se sitúan en el chasis del drone, y de esta manera saber su ubicación correspondiente a la pieza. (Tabla 11)

Nombre de la Pieza	Relación Subconjunto
Base Superior	Brazos x4 Base inferior x1
Base Inferior	Brazos x4 Base superior x1
Brazo del Drone x4	Motores x1 Hélices x1

	Esc	x1
Tren de Aterrizaje	x2	
	Base Inferior	x1
	Unión tren aterrizaje	x1
	Unión T de aterrizaje	x1
Gimbal	Base Inferior	x1
Cámara	Gimbal	x1

Tabla 11 Componentes en 3d Fuente: Maira M.

Con el uso del software solidworks se han diseñado las siguientes piezas del drone que han de ser ensambladas, se encuentra en detalle en la tabla 12.

Diseño de Piezas Del Drone		
1. Base superior 	2. Base inferior 	3. Brazo del drone 
4. Hélice 	5. Tren de aterrizaje 	6. Unión placa de aterrizaje 

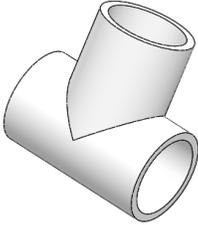
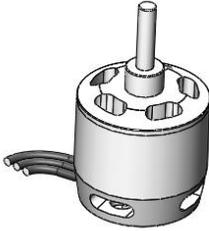
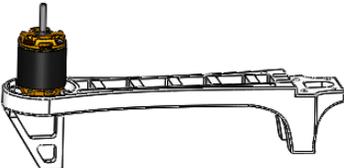
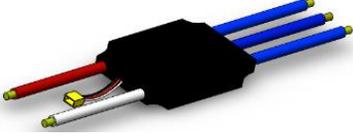
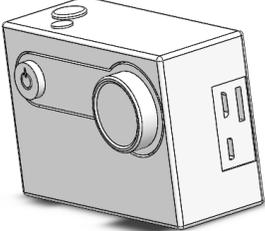
<p>7. Unión T tren de aterrizaje</p> 	<p>8. Motor brushless</p> 	<p>9. Gimbal Estático</p> 
<p>10. Ubicación de los Brazos</p> 	<p>11. ESC Variador de Velocidad</p> 	<p>12. Cámara deportiva</p> 

Tabla 12 Diseño de piezas del drone Fuente: Maira M

Planimetría del Drone.

A continuación se detalla la planimetría de las diferentes piezas del drone. Esto, por lo que se requiere precisión para un correcto ensamble, por lo cual se especifican las medidas de cada pieza y así disminuir el margen de error, de tal manera que se tenga mayor control en la manufactura de adición.

Al realizar el diseño y los planos en solidworks, se tiene el beneficio de hacer una simulación al ensamble de cada pieza y su relación con los demás componentes. Es posible tener mayor control y manipular la variable de impresión.

Los planos de especie a tratar son: base superior, base inferior, brazo del dron, hélice, motor, unión placa de aterrizaje, unión T tren de aterrizaje, copa de hélice, tren de aterrizaje, gimbal estático, cámara Eken, batería Lipo y ESC. También, se ha determinado los Planos de subconjunto, estos son brazo, motor y Conjunto estructura. Anexo F

Etapas 2. Parámetros Adecuados De Impresión 3d Para La Elaboración del Dron

Fabricación De Las Piezas En Impresión 3d

Para el proceso de impresión 3d se ha requerido el uso de la “flashforge creator pro” impresora que recoge varias etapas.

Diseño 3d de las piezas

La primera etapa para el diseño de las partes, consiste de un modelado 3d de las piezas a través de un programa de diseño, estos modelos son diseñados y acotados con el programa solidworks. Para su fabricación, deben ser guardados en un formato STL y ser reconocidos por la impresora 3d por un g-code.

En la ilustración 44 se muestra el diseño final del brazo del dron, con vista isométrica y forma de encaje para el motor, incluyendo corte de ensamble con base superior y soporte con base inferior.

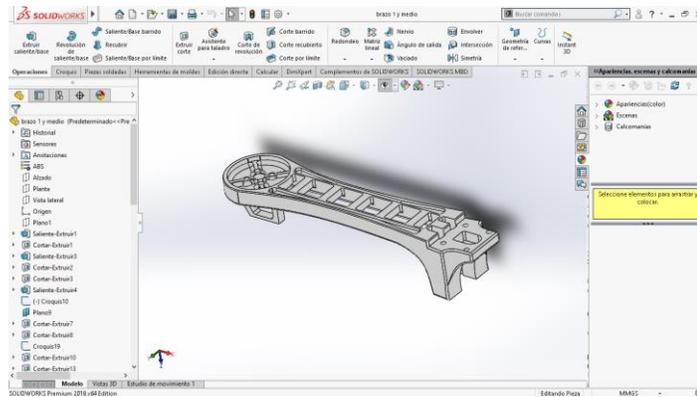


Ilustración 44 Diseño de Brazo del Motor Fuente: Maira M.

La ilustración 45 identifica cómo guardar un archivo en STL, la forma adecuada de hacerlo es desde el programa de solidworks, accediendo a las pestaña guardar como, seguidamente se busca el formato de archivo que se requiere en este caso es STL (*.stl).

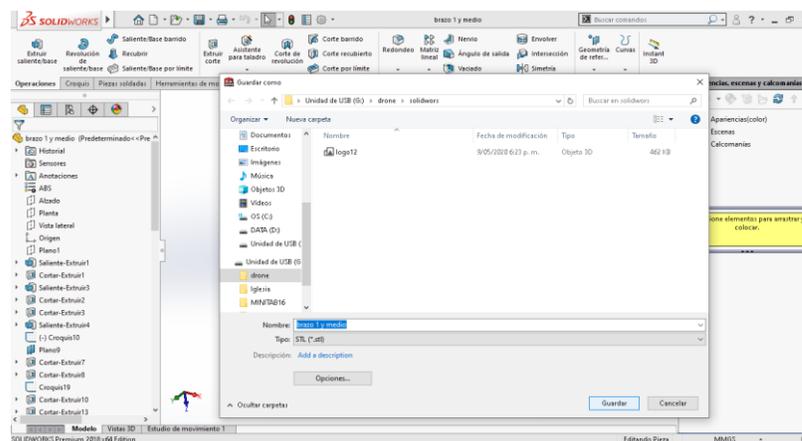


Ilustración 45 Guardar Archivo en STL Fuente: Maira M.

Software de impresión

Se realiza la selección del modelo de impresora y se procede a abrir el documento STL en flashprint para establecer las medidas de impresión respecto a la capacidad de la cama de la impresora, debido a que las piezas no pueden superar el tamaño de la cama de impresión. (Ilustración 46)

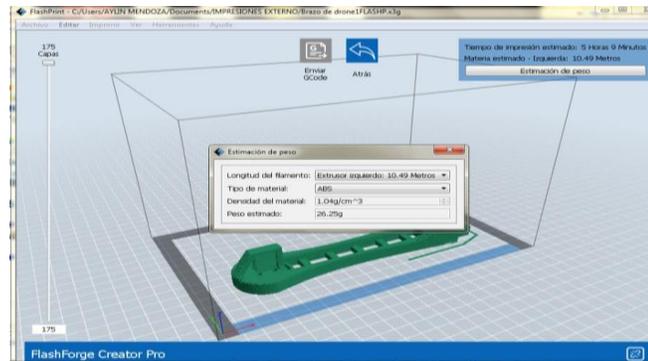


Ilustración 46 Archivo STL en Cura Fuente: Maira M.

También se definen las características de impresión, en este caso los brazos del dron en ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), se ubican la pieza en el rango de impresión y se determina los siguientes puntos; generalidad; altura de capa, temperatura de extrusión y velocidad de impresión (ilustración 47). En el perímetro; grosor y velocidad exterior (ilustración 48). En relleno; capas sólidas y velocidad del sólido (ilustración 49). Soportes; dendrítico o lineal (ilustración 50).

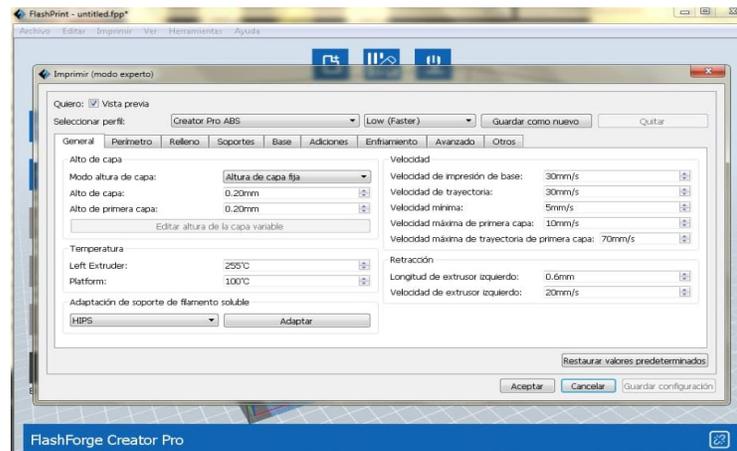


Ilustración 47 Generalidades en flashprint Fuente: Maira M.

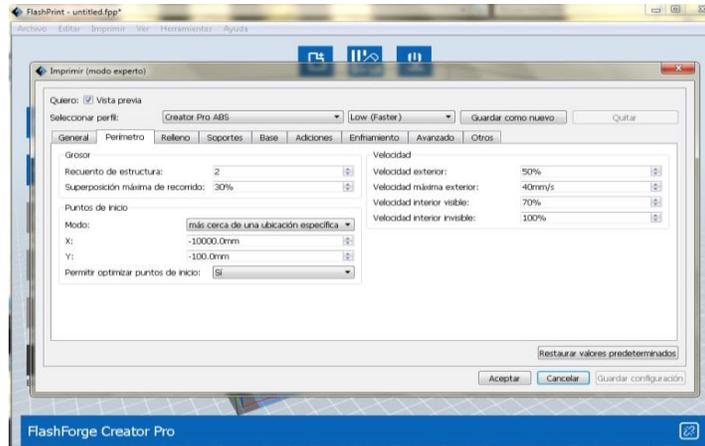


Ilustración 48 Perímetro en flashprint Fuente: Maira M.

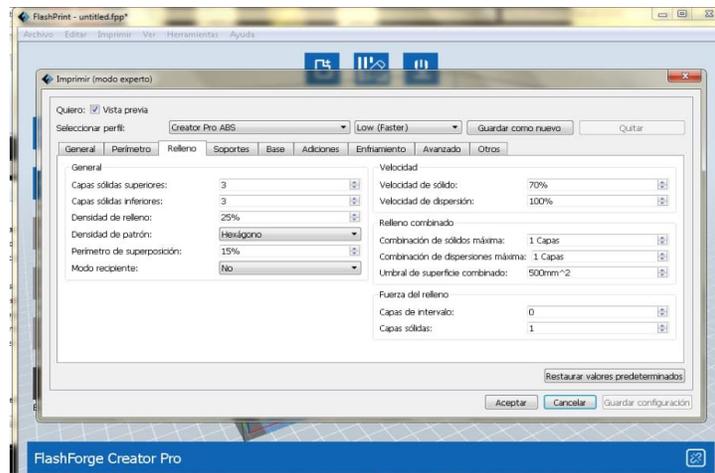


Ilustración 49 Relleno en flashprint Fuente: Maira M.

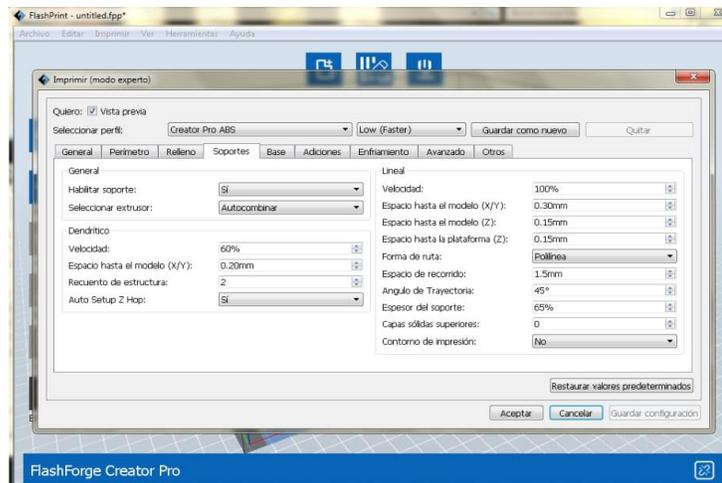


Ilustración 50 Soportes en flashprint Fuente: Maira M

Elementos impresos en 3D.

En primer lugar se imprimen los brazos del drone con el uso de la impresora flashforge creator pro, realizando las configuraciones de las piezas en el programa flashprint. Los parámetros que se presentaron del filamento ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), expuestos en la tabla 13. Estos datos son los utilizados en el prototipo que no presentó ruptura seguido a la impresión.

Parámetros	
1. General	
Capas sólidas de superficies	Altura de capa fija
Altura de capa	0.20 mm
Altura de primera capa	0.20mm
Temperatura	
Extrusor derecho	255 °C
plataforma/cama	100 °C
Adaptación de soporte de filamento soluble	Adaptar
2. Perímetro	
Grosor	
Recuento de Estructura	
Superposición máxima de recorrido	30%
puntos de inicio	
Modo	Más cerca de una ubicación específica
X	-10000 mm
Y	-100 mm
Permitir optimizar puntos de inicio	si
Velocidad	
Velocidad exterior	50%
Velocidad máxima exterior	40mm/s
Velocidad interior visible	70%
Velocidad interior invisible	100%
3. Relleno	
General	
Capas sólidas superiores	3
Capas sólidas inferiores	3
Densidad de relleno	25%
Densidad de patrón	Hexágono
Perímetro de superposición	15%

Velocidad	
Velocidad de solido	70%
Velocidad de dispersión	100%
Relleno Combinado	
Combinación de Sólidos máxima	1 capa
Combinación de dispersiones máxima	1 capa
Umbral de superficie combinado	500mm2
fuerza de relleno	
Capas de intervalo	0
Capas sólidos	1
4. Soportes	
General	
Habilitar soporte	si
seleccionar extrusor	Auto cambiar
Dendrítico	
Velocidad	60%
Espacio hasta el modelo	0,20mm
Recuento de estructura	2
Auto Set up Z Hop	si
Lineal	
Velocidad	100%
Espacio hasta el modelo x/y	0,30mm
Espacio hasta el modelo z	0,15mm
Espacio hasta la plataforma Z	015mm
Forma de ruta	Polilínea
Espacio de recorrido	1,5mm
Angulo de trayectoria	45°
Espesor del soporte	65%

Tabla 13 Parámetros de impresión del ABS. Fuente: Maira M.

Brazos del Drone en ABS

Luego de pasar el g- Code a la impresora a través de una SD con los parámetros mencionados, la máquina da lectura de los mismos y se inicia el proceso de fabricación aditiva capa por capa. Los resultados obtenidos se recopilan en la ilustración 52.

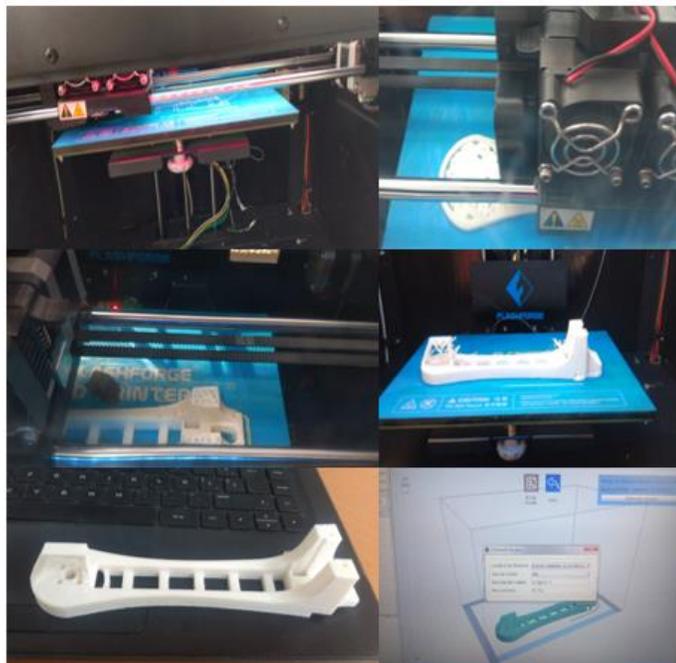


Ilustración 51 Proceso de Elaboración Brazo del Drone en ABS Fuente: Maira M.

Parámetros del PLA

Realizando los mismos pasos se imprimen las piezas en PLA (ácido poliláctico), éstas hacen parte del tren de aterrizaje. Los parámetros utilizados se detallan en la tabla 14.

Parámetros	
1. General	
Capas sólidas de superficies	Altura de capa fija
Altura de capa	0.20 mm
Altura de primera capa	0.20mm
Temperatura	
Extrusor derecho	220 °C
plataforma/cama	90 °C
Adaptación de soporte de filamento soluble	Adaptar
2. Perímetro	
Grosor	
Recuento de Estructura	
Superposición máxima de recorrido	30%
Velocidad	
Velocidad exterior	50%
Velocidad máxima exterior	40mm/s

Velocidad interior visible	70%
Velocidad interior invisible	100%
3. Relleno	
General	
Capas sólidas superiores	3
Capas sólidas inferiores	3
Densidad de relleno	100%
Densidad de patrón	Hexágono
Perímetro de superposición	15%
Velocidad	
Velocidad de solido	70%
Velocidad de dispersión	100%
Relleno Combinado	
Combinación de Sólidos máxima	1 capa
Combinación de dispersiones máxima	1 capa
Umbral de superficie combinado	500mm ²
fuerza de relleno	
Capas de intervalo	0
Capas sólidos	1
4. Soportes	
General	
Habilitar soporte	Si
seleccionar extrusor	Auto cambiar
Dendrítico	
Velocidad	60%
Espacio hasta el modelo	0,20mm
Recuento de estructura	2
Auto Set up Z Hop	Si
Lineal	
Velocidad	100%
Espacio hasta el modelo x/y	0,30mm
Espacio hasta el modelo z	0,15mm
Espacio hasta la plataforma Z	015mm
Forma de ruta	Polilínea
Espacio de recorrido	1,5mm
Angulo de trayectoria	45°
Espesor del soporte	60%

Tabla 14 Parámetros de impresión del PLA. Fuente: Maira M.

Las diferencias de impresión más relevantes entre cada material es primero la temperatura de impresión y segundo la densidad de la pieza, pues la altura de capa en ambos filamentos es de 0.2mm la capa inicial y las posteriores.

Ejemplo de piezas impresas en 3d.

Se prosigue a ilustrar el resultado obtenido de las piezas manufacturadas en el laboratorio de impresión 3D y el número de unidades por pieza, detalladas en la tabla 15.

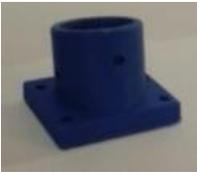
Nombre de Pieza	Pieza	Material	Unidades por pieza
Brazo de Drone		ABS	4
Unión placa tren de aterrizaje		PLA	6
Unión T tren de aterrizaje		PLA	4
Tubo tren de aterrizaje		PLA	5

Tabla 15 Piezas impresas en 3d Fuente: Maira M

Base superior e inferior

Estas piezas son diseñadas en un material en aleación de cobre (baquelita), el cual es un aislante de corriente. Debido a la falta de una CNC para realizar los cortes precisos en las placas, se ha utilizado la herramienta moto tool para realizar la forma necesaria para el ensamble con las demás piezas. Resultados de la base superior e inferior en la siguiente ilustración.

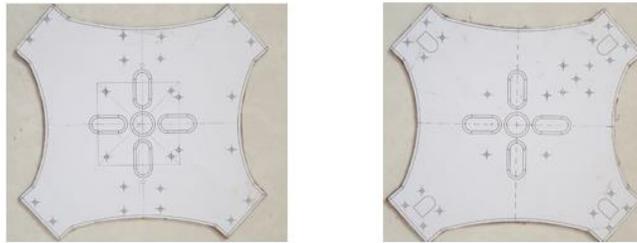


Ilustración 52 Planos manufacturados en baquelita Fuente: Maira M.

Elementos Electrónicos A Emplearse.

En primer lugar se busca la información en fuentes confiables de las diferentes partes del drone y así hacer la compra respectiva. Se compra el kit de Pixhawk, el cual está compuesto por la controladora, radiofrecuencia, ESC, uniones de cables, telemetría, giroscopio, (véase anexo D Estudio de mercado controladoras de vuelo). En el proceso de ensamble, se une todo el frame con el kit de electrónica y de esta manera hacer el respectivo montaje, la conexión del circuito en serie de la controladora con los ESC, estos con los motores y también las propelas. La radiofrecuencia también se conecta a la controladora.

Al haber realizado la unión de cada una de las piezas, se acude al programa “openpilot”, este permite modificar y configurar el dron para reconocer el software con el hardware y proseguir a las pruebas de vuelo.

Elementos Comerciales.

Estos componentes que se representan en la tabla 16 (Componentes comerciales del dron) son los elementos comerciales que contribuyen con la realización del dron, estos con una serie de características estructurales, materiales y técnicas para el cumplimiento del proyecto.

Elemento	Especificaciones	Elemento	Especificaciones
	Marca: Cámara Eken H9r Línea: Action Cam Modelo: Sport Xtreme	Filamento Abs Xpectro 3d 1.75mm 1kg 	Marca: XPECTRO 3D Modelo: ABS Peso: 1 kg Diámetro del filamento: 1.75 mm Largo 330 m
Gimbal Sysma X8hg 	Nombre de la marca: Sysma Nombre del artículo: Marco de cámara Gimbal	Rollo Filamento Pla, Alta Resistencia 1.75mm Azul P/imp 3d 	Marca: Creality Modelo: PLA1.75MM-AZUL Peso: 1 kg Diámetro del filamento: 1.75 mm Largo 340 m Material PLA

<p>Accesorios</p> <p>pixhawk Gps Pm</p> <p>Telemetria Kit</p> <p>Completo</p> 	<p>GPS NEO-7M con brújula y Shell x1</p> <p>Telemetría con shell transmisor y receptor x1</p> <p>APM actual y el módulo de alimentación de tensión con BEC x1</p> <p>GPS soporte plegable Negro x1</p>	<p>Propelas fibra de carbono</p> 	<p>Propelas De Fibra De Carbono 10x4.5</p> <p>Drone</p> <p>Marca</p> <p>Talos Electronics</p> <p>Modelo</p> <p>Brushless</p> <p>Color</p> <p>Negro</p>
<p>4X Racerstar</p> <p>RS30A V2 30A</p> <p>Blheli_S ESC OPTO</p> <p>2-4S Soporta</p> <p>Oneshot42 Multishot</p>	<p>Nombre de la marca: Racerstar</p> <p>Nombre del artículo: Nuevo beheli_S 30A Esc</p>	<p>Kit Soldar</p> 	<p>Kit Para Soldar, Cautín C/base, Multímetro, Extractor</p>

<p>16.5 Dshot600</p> 			
<p>Motor Brushless</p> <p>920kv Drone 4s F450</p> <p>S500 Fpv Cw Ccw</p> 	<p>Marca</p> <p>readytosky</p> <p>Modelo</p> <p>920kv</p>		<p>Cargador Bateria</p> <p>Lipo Imax B6 80w +</p> <p>Multicarga + Lipo</p> <p>Tester</p>
<p>Radiocontrol</p> <p>flysky fs i6s</p> 	<p>Flysky FS-i6S</p> <p>2.4G 10CH AFHDS</p> <p>2A Transmisor con</p> <p>FS-iA6B Receptor</p>	<p>Bateria De Lipo</p> <p>Litio De 11.1v</p> <p>2200mah 3 Celdas</p> <p>Con Xt60</p> 	<p>Marca</p> <p>MV</p> <p>ELECTRONICA</p> <p>Modelo</p> <p>5000 MAH</p>

Tabla 16 Componentes comerciales del drone Fuente: Maira M.

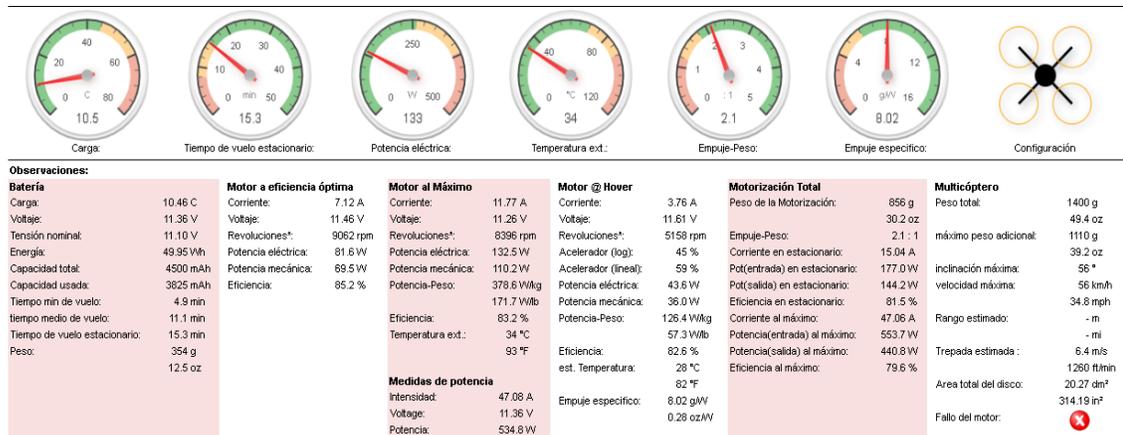


Ilustración 54 Resultados de la simulación Fuente: XcopterCalc

Una carga de 10.46C y voltaje de 11.36 V, un motor a eficiencia óptima corriente 7.12 A y un máximo de motor de 8396 rpm a 34°C, un empuje de 2.1 y una eficiencia al máximo de 79.6% con relación a las características del multicóptero con peso de 1400g máximo adicional de peso de 1110 g inclinación máxima de 56°, velocidad máxima de 56 Km/h, trepada estimada de 6.4 m/s sin fallo en el motor se tiene un tiempo de vuelo de 15 minutos el cual cumple la meta del proyecto.

En la ilustración 56 se tiene un ejemplo de las características del funcionamiento del dron, dadas las especificaciones anteriores.

Se tiene la potencia máxima con un comportamiento creciente, la eficiencia aumenta proporcionalmente hasta encontrar el equilibrio en 12 minutos y una temperatura de carcasa de motor aproximadamente estable. (Ilustración 57)

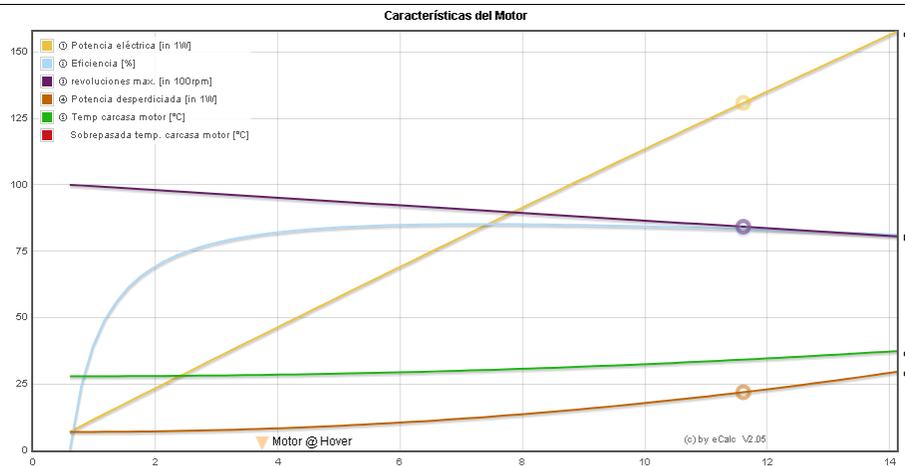


Ilustración 55 Estimación De Resultados Fuente: XcopterCalc

Etapa 3. Ensamble y Manual Operativo.

En esta etapa se recopila información sobre la unión de las diferentes piezas en forma manual para el ensamble del drone.

Primeramente se ensambla el frame del drone, para ello es necesario que las piezas pasen un lijado en los extremos y dentro de las piezas para unirlos. También, las respectivas tuercas y tornillos que serán empleadas. Proseguir con los siguientes pasos:

1. Realizar las ranuras en las placas superior e inferior para las uniones con las diferentes piezas del drone.
2. Utilizar fijadores de roscas para asegurar el drone esto debido a las vibraciones.
3. Montaje de los motores en los diferentes brazos del drone y revisar la orientación de cada motor.
4. Soldar los ESC a la placa PDB, el cual distribuye la corriente a los cuatro variadores.
5. Ensamblar la PDB en la placa inferior del drone. Y soldar el módulo de alimentación a la placa de distribución de energía para alimentar los ESC.

6. Conectar cada motor con los ESC a través de los conectores de banana. Cuando son demasiado largos los cables, se debe hacer un corte para que quede a la medida. Si se realiza una extensión con los cables asegurarse de estar bien soldados y comprobar la unión antes de volar. Cabe recordar que antes de soldar los cables debe asegurarse del consumo de corriente que requiere, es importante aclarar que al alargar los cables necesita ser del mismo calibre.
7. Ensamblar el tren de aterrizaje con la placa inferior del dron. Insertar ranura en la placa inferior para el correcto ensamble con la pila Lipo y la cámara deportiva.
8. Atornillar el soporte anti vibraciones en la placa superior del dron. Luego realizar el montaje de la controladora de vuelo en el soporte.
9. Conectar los ESC al piloto automático de la controladora de vuelo, ubicado por la parte superior. El piloto automático S1 se conecta al motor delantero- derecho, el S2 al trasero – izquierdo y así con los demás. Asegurarse de conectar bien los ESC o el dron no funcionará.
10. Conectar el interruptor de seguridad, este desactiva la salida del motor, lo cual evita que los motores se enciendan accidentalmente.
11. Conectar el resto del equipo del piloto automático, como el kit de telemetría, módulo de gps y el receptor R/C.
12. Conectar las hélices o propelas en los motores del dron.
13. Asegurarse que el centro de gravedad está en el centro del cuadricóptero, es importante conocer que el dron vuelo para seguir añadiendo equipo al dron ya sea fpv.

14. Después que todo este montado en el cuadricóptero se necesita configurar el software del piloto automático, configurar los ESC y los motores para determinar el sentido de giro en “X”. Calibrar sensores y radio R/C. Anexo a esto la afinación del PID para un mejor rendimiento.

Un ejemplo del ensamble del drone se encuentra en la tabla 17.

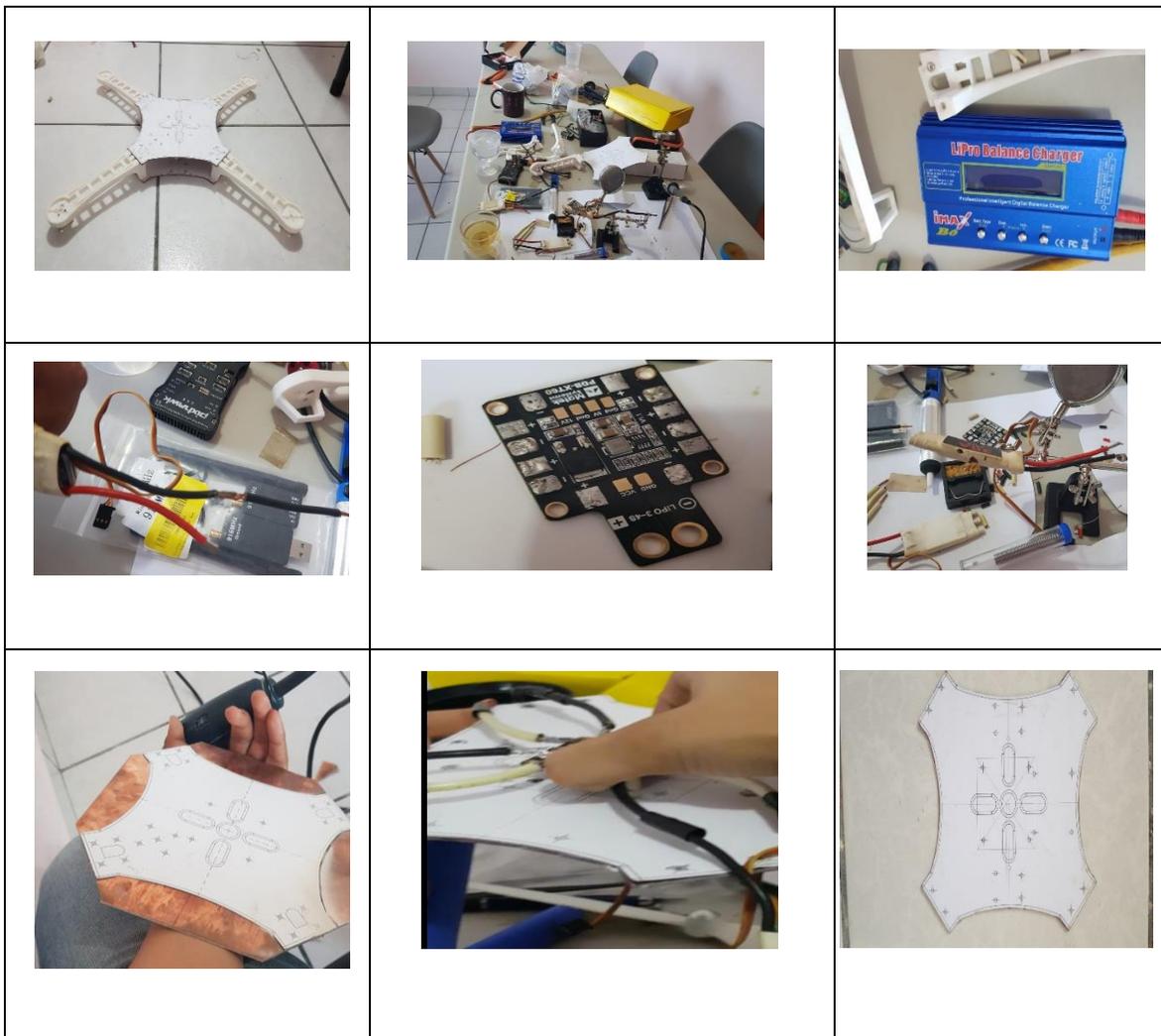




Tabla 17 Proceso de ensamble del drone Fuente: Maira M.

Estimación del peso del drone

Retomando la información detallada en el marco teórico, el peso es una variable primordial en el drone para la obtención de un tiempo de vuelo aceptable. En el prototipo que se realiza se tiene una estimación de peso como los detallados en la tabla 18.

Nombre de la pieza	Peso en gramos
Frame	300 g
Pila Lipo 3S	140 g
Motores	240g
Electrónico	100g
Cámara	64g
Total	850

Tabla 18 Peso del drone Fuente: Maira M.

Programación

En esta apartado se define el proceso de configuración, aquí se descarga el software misión planer de openpilot para configurarlo en la laptop. Seguidamente se configura la controladora de vuelo, se conecta el cable usb al ordenador para ser detectado y así poner el firmware en la controladora. Seguido se busca el puerto de la controladora en el software (ilustración 58), luego se busca en intial setap, se instala el firmware y elige la versión cuadricóptero, esto permitirá que inicie su descarga.

Ahora se determina el layout en el drone, para ello es necesario dirigirse a wizard y seleccionar la forma cuadricóptero en ilustración 59. Seguido a esto, se debe poner el drone en una posición de equilibrio para calibrar el acelerómetro y se inicia el diagnostico, luego se pone el drone en posición derecha, seguido la forma izquierda, después la posterior, la parte frontal, encima y por último la posición correcta del tren de aterrizaje. También, se modifica el módulo de poder para tener control respecto a los amperios que pasan en el momento del vuelo. Para ello se debe especificar el tipo de sensor y el tipo de batería que tiene.

Este programa es muy completo por lo cual también incluye la calibración de la radio R/C con el roll, yaw y el pitch. Con esto se calibra el radio dependiendo del modo de vuelo que se prefiera ilustración 60. Esto permite que la emisora este calibrada con el dron. Por último se verifica la brújula y el compás ilustración 61.

Opcionalmente se puede agregar el failsafe options, se configura como otra opción, si el dron sale de la frecuencia inicia un vuelo automático, un regreso al punto inicial o un aterrizaje del dron. El geofence esto tiene como referencia poner en una jaula virtual al dron, así ya quedaría totalmente configurado. Con esto ya se puede hacer una prueba de vuelo.



Ilustración 56 Configuración mission planner Fuente: Maira M.



Ilustración 57 Configuración del cuadroptor Fuente: Maira M.

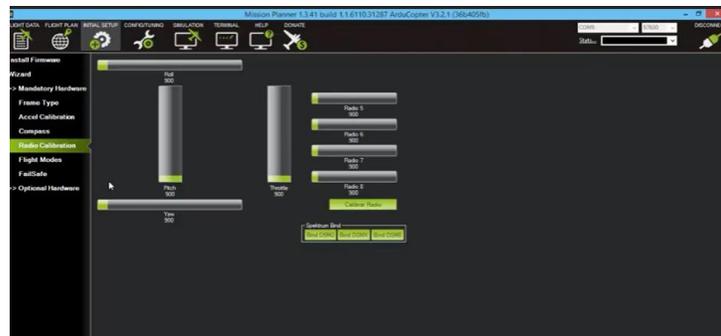


Ilustración 58 Calibración de la radio Fuente: Maira M.

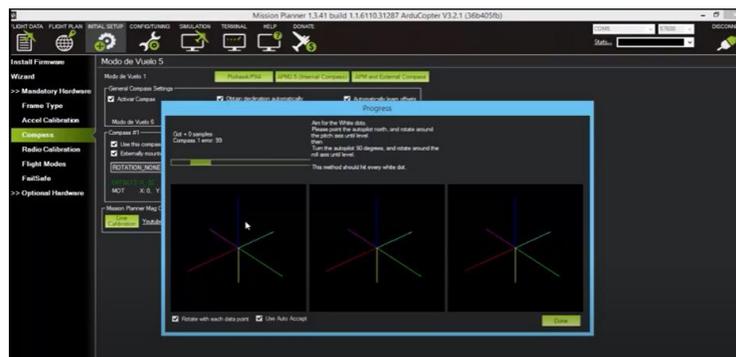


Ilustración 59 Configuración del compás Fuente: Maira M.

Manual operativo o de procedimientos

En este documento se tiene un listado de las actividades que se deben tener en cuenta en anticipación para volar el dron sin inconvenientes. Preparándolo para un vuelo óptimo, se encuentra en el anexo G.

Análisis Y Resultados Obtenidos

Fichas Técnicas Del Dron Actual Y El Propuesto

Haciendo referencia a la metodología empleada se tiene una comparación entre los dos drones. El AUV que actualmente se encuentra en el Instituto Tecnológico Superior de Poza Rica y el vehículo aéreo propuesto en anexo H.

Capacidad y potencial en el dron actual, este tiene:

- ✓ Capacidad de empuje menor debido a los motores usados.
- ✓ No soporta carga útil externa.
- ✓ Capacidad para adaptar cámara 4K.
- ✓ Puede adaptarse el FPV.
- ✓ Pila Lipo de mayor peso.
- ✓ Tiempo de vuelo de 10 min.

Entre las mejoras encontradas en el dron propuesto se tiene:

- ✓ Compatible con Android.
- ✓ Telemetría de 915 MHz.
- ✓ Agilidad en respuesta del dron.
- ✓ La capacidad de adatar un gimbal 2D.
- ✓ Adaptación de cámara 4K.
- ✓ Adaptación a FPV.
- ✓ Capacidad de respuesta rápida.
- ✓ Código abierto, esto permite implementar el feeling me.
- ✓ Capacidad de adaptar mayor carga y empuje en motores, y así tener mayor tiempo de vuelo.
- ✓ Tiempo de vuelo de prox.12 min.

Medición Y Control De Fallos (Gráficas de control DOE factorial)

El diseño de experimentos (DOE) ayuda a establecer, analizar el grado de importancia de los componentes de entrada (factores) sobre una variable de salida (respuesta) o desempeño resultante. Estos experimentos consisten en una serie de corridas, o pruebas, en

las que se realizan cambios controlados en las variables de entrada. En cada corrida se recolectan datos (minitab, 2018). El DOE se utiliza para identificar las condiciones del proceso y los componentes del producto que son críticas a la calidad, para eventualmente una combinación de factores y configuración del modelo del drone. Luego determinar la configuración de factores que optimiza los resultados de acuerdo al uso pretendido.

El siguiente experimento busca detectar la combinación que se acerque al óptimo de factores para la construcción del drone. Teniendo en cuenta una tensión de entrada fija de 11.1 V. La Y deseada es obtener un tiempo de vuelo aceptable, Para esta tesis se han detectado variables de entrada x dos niveles, como lo muestra la tabla 19.

Factores	Nivel 1	Nivel 2
A. Frame	Tricoptero	Cuadricóptero
B. Peso	1,8 Kg	2Kg
C. Empuje	690 g	810 g
D. Corriente	6 A	8 A
E. Potencia	66 W	88 W
F. Aceleración	43 %	58%

Tabla 19 Variables de entrada Fuente: Maira M.

	A	B	C	D	E	F
A	X	√	√	√	√	√
B		X	√	√	√	√
C			X	√	√	√
D				X	√	√
E					X	√
F						X

Tabla 20 Interacciones Relacionada con cada Factor Fuente: Maira M.

La tabla 20 muestra las interacciones relacionadas con cada factor, las 15 interacciones que se realizan y respecto a esta interacción exhaustiva y robusta se presentan los resultados a través de gráficas estadísticas para facilitar la visualización y análisis.

Prueba de hipótesis.

Con esta se busca determinar los factores principales que más influyen en el dron e identificar ¿cuál de ellas es más significativas? Una claridad de ello se muestra en la tabla 20.

Prueba de Hipótesis	
A	Factor A no es significativo se acepta hipótesis nula pues no hay cambio
	Factor A es significativo se rechaza la hipótesis nula pues si hay cambio
B	Factor B no es significativo se acepta hipótesis nula pues no hay cambio
	Factor B es significativo se rechaza la hipótesis nula pues si hay cambio
C	Factor C no es significativo se acepta hipótesis nula pues no hay cambio
	Factor C es significativo se rechaza la hipótesis nula pues si hay cambio
D	Factor D no es significativo se acepta hipótesis nula pues no hay cambio
	Factor D es significativo se rechaza la hipótesis nula pues si hay cambio
E	Factor E no es significativo se acepta hipótesis nula pues no hay cambio
	Factor E es significativo se rechaza la hipótesis nula pues si hay cambio
F	Factor F no es significativo se acepta hipótesis nula pues no hay cambio
	Factor F es significativo se rechaza la hipótesis nula pues si hay cambio

Tabla 21 Prueba de Hipótesis Fuente: Maira M.

Presentan el resumen del diseño con las corridas realizadas en este caso 6 factores a dos niveles equivalentes a 62 con dos replicas para mayor precisión son 128 corridas (ilustración

60). El resumen del modelo define el ajuste del modelo a los datos; la variación resultante que hay entre los factores es una desviación estándar de $S = 1.27475$, con una dispersión del R -cuad. = 79.11%, datos ajustados de 58.55% y un porcentaje de predicción de 16.44%.

Resumen del diseño

Factores: 6 Diseño de la base: 6; 64
 Corridas: 128 Réplicas: 2
 Bloques: 1 Puntos centrales (total): 0

Resumen del modelo

S	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1,27475	79,11%	58,55%
		16,44%

Ilustración 60 Resumen del diseño experimental Fuente: Maira M.

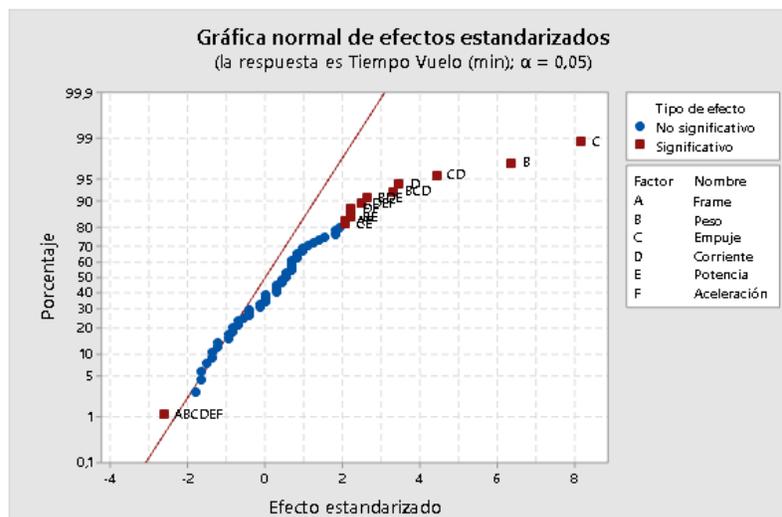


Ilustración 61 Gráfica normal de efectos estandarizados Fuente: Maira M.

La ilustración 61 muestra cómo los datos se comportan respecto a una distribución normal con un intervalo de confianza del 95% y de significancia de 5%. Los factores a evaluarse son A frame, B peso, C empuje, D corriente, E potencia y F aceleración. Como se puede identificar en la gráfica normal de efectos estandarizados son 13 los factores principales e interacciones que el DOE define como importantes o significativos. Estos se especifican por un cuadrado de color rojo y los menos significativos se muestran como un

punto de color azul. Los datos muestran en un gráfico de Pareto, con una línea roja como punto de corte entre los significativos y no significativos. El orden de importancia se evalúa en orden decreciente iniciando con el factor “C”, como el más significativo.

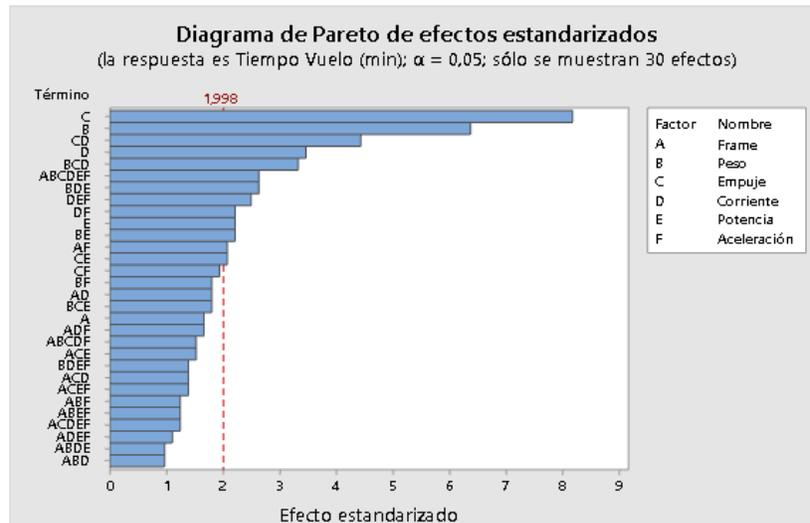


Ilustración 62 Diagrama de Pareto de efectos estandarizados. Fuente: Maira M.

Los efectos que tienen mayor impacto en el tiempo de vuelo según ilustración 62 diagrama de parteo de efectos estandarizados son; empuje, peso, y la interacción empuje corriente. Estos son los impactos más significativos en la variable de respuesta, siendo la combinación entre peso, empuje y corriente, potencia y aceleración. Teniendo en cuenta que el factor empuje es el más relevante con un efecto estandarizado de 8, seguido del peso del dron con un efecto estandarizado de 6.5 y la relación empuje corriente con un efecto estandarizado de 4.5.

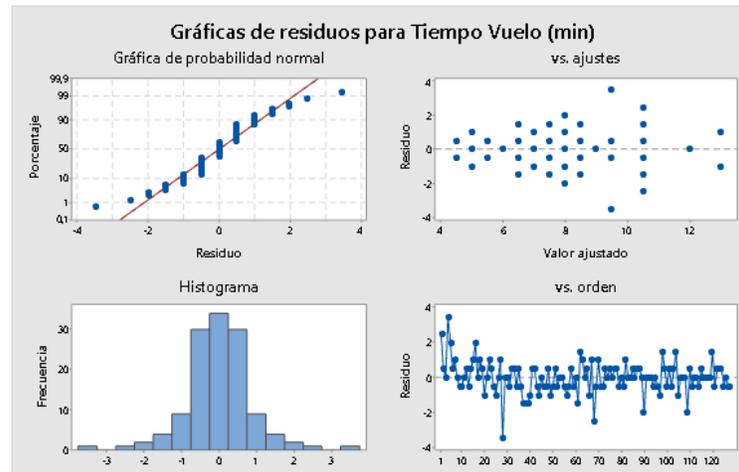


Ilustración 63 Gráficas de residuos para tiempo de vuelo Fuente: Maira M

Para identificar el comportamiento de los datos en forma general se analizan las gráficas de residuos para tiempo de vuelo, según se muestra en la ilustración 63, la gráfica normal identifica cuan dispersos se encuentran los datos y la posible correlación que hay entre ellos aproximadamente de un 9%.

Para una respuesta más precisa se realiza una optimización a los factores de entrada y su relación con la variable tiempo de vuelo. En este caso el parámetro principal es el máximo tiempo de vuelo en la predicción de respuesta múltiple por minitab (diseño factorial DOE). Esto se consigue con un proceso de programación lineal para encontrar la mejor combinación en los factores relevantes de entrada maximizando el tiempo de vuelo resultante.

De esta forma se ha detectado con un grado de confianza del 95% aquellos factores relevantes para el modelo de estudio del drone, que se ha producido y ensamblado para realizar esta investigación.

Abriendo la puerta para mejoras o diseños posteriores, así como proyectos de investigación que motivaron esta colaboración internacional.

Predicción de respuesta múltiple

Variable	Valor de configuración
Peso	1,8
Frame	cuadricóptero
Empuje	810
Corriente	8
Potencia	88
Aceleración	58

Respuesta	EE de		
	Ajuste	ajuste	IC de 95%
Tiempo Vuelo (min)	13,000	0,901	(11,199; 14,801)



Ilustración 64 Respuesta Óptima de dron Fuente: Maira M.

Hasta este punto tal como se muestra en la ilustración 64, ya se tiene la fórmula y valores con intervalo de confianza de predicción del dron estudiado y el diseño planteado en 3D según predicción de respuesta múltiple. Ahora, se puede concluir la mejor combinación y más óptima del experimento, la cual se consigue con un peso de 1.8 Kg, el frame de cuadricóptero, empuje de 810 g, corriente de 8.0 A, potencia de 88 W y una aceleración de 58%. De esta manera, el valor “Y” esperado de 13 min de vuelo indica que si el dron cumple con estos parámetros se podría alcanzar su número máximo, siendo importante recordar que este experimento se estima para una batería Lipo de 3s con capacidad de 11.1 Voltios.

Análisis Y Resultados Obtenidos (Resultados de pruebas de vuelo)

En este apartado se relaciona el tiempo de vuelo del dron con los componentes establecidos en el capítulo anterior. Esto teniendo en cuenta los parámetros establecido a través del DOE factorial como respuesta óptima. Para la evaluación del cuadroptor se

utilizó la calculadora e-calc para multirrotores, siendo los resultados obtenidos los detallados en la imagen 65.

El peso del frame del drone son 900g con motorización incluida, una batería lipo 3S de 5000 mAh con un 80% de descarga, son 3.7 voltios por celda equivalentes a 11.1 voltios en total con un peso de 140g. Los variadores empleados son de 30 A, y un peso de 40g, a diferencia de los motores empleados, son los readytosky 2212 – 920 Kv. También incluye hélices Dji Phantom 2 con diámetro 240mm y un paso de 127mm.

Con la interacción de los componentes anteriores se tiene un tiempo de vuelo de 13.9 minutos aproximadamente, para ello se necesitó una carga de 12.7 C, corriente de 15 A, y la relación peso empuje 2.9 y un empuje específico de 7.57 g/w. (ilustración 66)



Version Demo Limitada
Contratar la version completa por solo \$0.99



Contratar la version completa por solo \$0.99

Login:
 Recordar - ¿olvidaste la contraseña?

datos sin garantía de precisión: +/-15% xcopter**Calc** - Calculador de Multicópteros News | Toolbox | Easy View | Help | Tutorial | Language: español

General	Peso del modelo: <input type="text" value="900"/> g con Motorización <input type="button" value="▼"/> <input type="text" value="31.7"/> oz	Nº de rotores: <input type="text" value="4"/> <input type="button" value="simple"/> <input type="button" value="▼"/>	Tamaño del armazon: <input type="text" value="400"/> mm <input type="text" value="15.75"/> inch	Limitad de inclinación de la FCU: <input type="text" value="sin límite"/> <input type="button" value="▼"/>	Altura del campo: <input type="text" value="500"/> m ASL <input type="text" value="1640"/> ft ASL	Temp. aire: <input type="text" value="25"/> °C <input type="text" value="77"/> °F	Presion (QNH): <input type="text" value="1013"/> hPa <input type="text" value="29.91"/> inHg	
Celdas batería	Tipo (Cont. / max. C) - nivel de carga: <input type="text" value="LiPo 5000mAh - 80/120"/> - <input type="text" value="media"/> <input type="button" value="▼"/>	Configuración: <input type="text" value="3"/> S <input type="text" value="1"/> P	Capacidad por celda: <input type="text" value="5000"/> mAh <input type="text" value="5000"/> mAh total	descarga max.: <input type="text" value="80%"/> <input type="button" value="▼"/>	Resistencia: <input type="text" value="0.0022"/> Ohm	Voltaje: <input type="text" value="3.7"/> V	capacidad C de descarga: <input type="text" value="85"/> C continua <input type="text" value="120"/> C de pico	Peso: <input type="text" value="140"/> g <input type="text" value="4.9"/> oz
Variador	Tipo: <input type="text" value="max 30A"/> <input type="button" value="▼"/>	Corriente: <input type="text" value="30"/> A cont. <input type="text" value="30"/> A max.	Resistencia: <input type="text" value="0.008"/> Ohm	Peso: <input type="text" value="40"/> g <input type="text" value="1.4"/> oz	Accesorios		Consumo de corriente: <input type="text" value="4"/> A	Peso: <input type="text" value="200"/> g <input type="text" value="7.1"/> oz
Motor	Fabricante - Tipo (kv) - refrigeración: <input type="text" value="Team Hunter RC"/> - <input type="text" value="Squid 2212M-920KV (920)"/> <input type="button" value="▼"/> <input type="text" value="buena"/> <input type="button" value="buscando..."/> <input type="button" value="Asistente KV hélice"/>	KV (w/o torque): <input type="text" value="920"/> rpm/V	Corriente sin hélice: <input type="text" value="0.5"/> A @ <input type="text" value="10"/> V	Límite (hasta 15s): <input type="text" value="15"/> <input type="text" value="A"/> <input type="button" value="▼"/>	Resistencia: <input type="text" value="0.152"/> Ohm	Longitud caja: <input type="text" value="27"/> mm <input type="text" value="1.06"/> inch	nº Polos mag.: <input type="text" value="14"/>	Peso: <input type="text" value="60"/> g <input type="text" value="2.1"/> oz
Hélice	Tipo de hélice: <input type="text" value="DJI"/> <input type="button" value="▼"/> - <input type="text" value="0°"/> <input type="button" value="▼"/>	Diámetro: <input type="text" value="9.45"/> inch <input type="text" value="240"/> mm	Peso: <input type="text" value="5"/> inch <input type="text" value="127"/> mm	número de palas: <input type="text" value="4"/>	Const. de Potencia/Empuje: <input type="text" value="1.10"/> / <input type="text" value="1.0"/>	Gear Ratio: <input type="text" value="1"/> : <input type="text" value="1"/>	<input type="button" value="Calcular"/>	

Ilustración 65 Especificaciones de elementos empleados Fuente: Maira M.

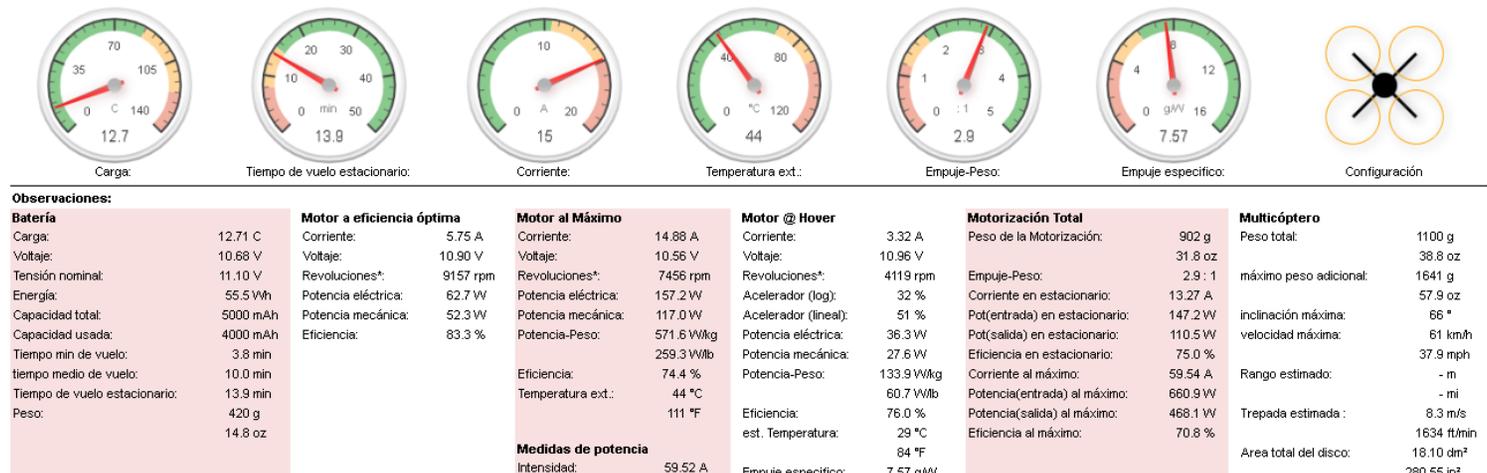


Ilustración 66 Resultados del comportamiento del drone Fuente: Maira M.

La grafica resultante en la ilustración 67, muestra un aproximado del tiempo de vuelo en condiciones climáticas variantes, en este caso fuertes vientos en el tiempo de vuelo reduciéndolo a 10 minutos aproximadamente. La línea de amarillo claro expresa el tiempo de vuelo sin arrastres, la línea naranja el rango máximo en tiempo de vuelo que puede alcanzar , la línea de color azul oscuro es el mínimo en tiempo de vuelo con arrastre y el color azul cielo el mínimo en tiempo estimado con arrastre. También, altera su tiempo de vuelo el viento, como se muestra en el intervalo de 35 km/h y 40 Km/h.

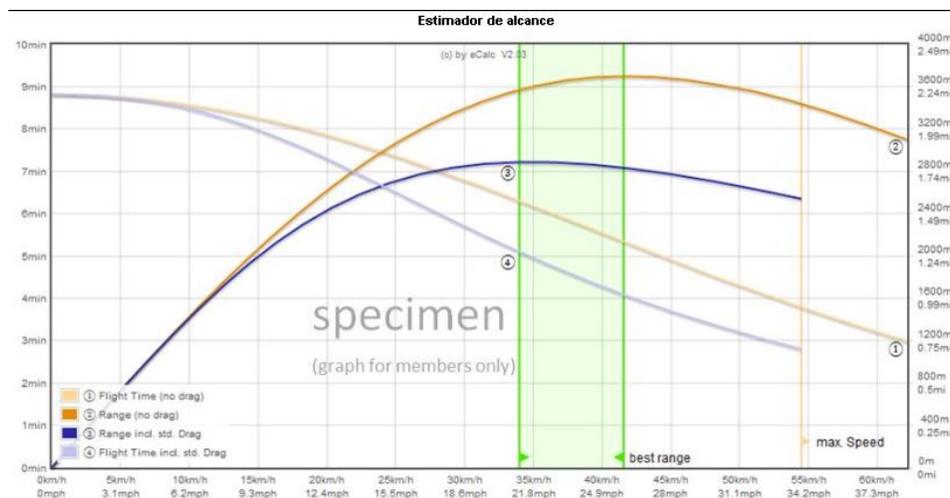


Ilustración 65 Estimación del alcance con fuerte viento Fuente: Maira M.

Análisis de Resultados del Diseño de Experimentos con el Modelo

La implementación de un diseño de experimentos ha permitido a la investigación conocer la interacción óptima en los factores de entrada los cuales al ser manipulados determinan un resultado. Es decir, la variable tiempo de vuelo depende directamente de la interacción entre los factores peso, empuje, corriente, frame, potencia y aceleración.

La mejor respuesta obtenida por medio del diseño de experimentos fue 12 ± 2 minutos de vuelo, controlando las siguientes variables de entrada; peso de 1.8 ± 3 Kg, el frame de

cuadricóptero, empuje de 810 ± 10 g, corriente de 8.0 ± 1 A, potencia de 88 ± 5 W y una aceleración entre 58% y 63%.

Este resultado del diseño de experimentos presentó una estimación del tiempo de vuelo en la prueba piloto. Siguiendo las características principales tenidas en cuenta para la construcción y ensamble del dron se ha generado una respuesta de vuelo de 11 minutos, con una pila lipo 3S.

Presupuesto

En este apartado se tiene el resumen de los costos de todas las partes del dron, teniendo como presupuesto final sin FPV o vista en primera persona \$2.385.653 pesos, estos precios fueron alterados debido a la pandemia, hizo que los materiales necesarios para la implementación del proyecto aumentaran su precio ya que las comprar sería online desde diferentes estados de México por lo que al ser productos exportados aumentan su precio. Una desventaja de la pandemia fue el cerrar fronteras para el envío de productos, en este caso la compra de cada elemento electrónico se reducía al 30% comprando en china y pagando su envío.

Una propuesta para recuperar inversión, es por la compra del paquete de 1 kilo de cada filamento el PLA por \$ 216.000 pesos colombianos (1150 MXN) y el ABS por \$126.000 pesos colombianos (700 MXN), porque estaba en descuento en mercado libre, uno de los materiales principales pero más caros. Se propone vender el filamento restante para recuperar parte de la inversión. Pues el medio kilo de cada filamento esta entre 80.000 pesos colombianos (450 MXN) y 140.000 mil pesos colombianos (770 MXN). (Anexo I)

Capítulo 6

Conclusiones

El proyecto inició con el diseño en solidworks para posteriormente una impresión 3D, la configuración escogida es cuadricóptero con un peso de 1,5 kg, un tiempo de ensamble de 18 horas (seis horas diarias), un tiempo de vuelo con un intervalo entre 10 y 15 minutos, una altura máxima de 1 km incorporando FPV, se le añade una controladora Pixhawk 2.4.8 siendo está muy estable.

Los parámetros establecidos para las piezas en impresas 3D, fueron resultados satisfactorios siendo las cuatro piezas en ABS (brazos del drone) y las demás en PLA (tren de aterrizaje), también se diseñaron dos piezas en baquelita (base superior e inferior), esto con el propósito de hacer más firme el drone, respecto a los diferentes elementos que se deben ensamblar. Todos los pasos empleados con un proceso creativo, elaborando los diseños de los planos en solidworks los cuales permitieron tener piezas sólidas, rígidas y precisas en la impresora flashforge creator pro con la interacción del software flashprint.

De acuerdo a un nivel de confianza del 95% se aceptan las hipótesis B peso, C empuje y D corriente, las que más intervienen en el experimento. Teniendo como resultado del DOE factorial respecto a los factores de entrada más influyentes en el drone, consiguiendo un peso de 1.8 Kg, el frame de cuadricóptero, empuje de 810 g, corriente de 8.0 A, potencia de 88 W y una aceleración de 58%. De esta manera, se tuvo un tiempo de vuelo de aproximadamente 10 a 13 min anexando una pila Lipo 3s de 11.1 voltios.

El proyecto concluye con un manual de operaciones el cual identifica el paso a paso al momento de pilotar el drone.

Los resultados obtenidos son gratificantes con el modelo del drone, este graba en 4k, full HD y se puede predestinar una ruta desde el mission planer para que sea imitada, lo primordial es el uso pretendido como lo es el enfoque en el área educativa.

Para la realización de este proyecto se requirió un presupuesto de 2.200.000 mil pesos colombiano (12000 MXN), esto debido al Covid -19, presente pandemia que generó contratiempo durante los meses de marzo en adelante influyendo directamente en el costo de transporte de los dispositivos requeridos para la culminación del drone.

Capítulo 7

Recomendaciones

En la elaboración del proyecto se presentaron diferentes contratiempos, se recomienda usar un filamento de impresión como el ABS, el cual es más fuerte y soporta el peso de los diferentes elementos electrónicos que se instalaran en la estructura del drone.

De igual manera la controladora de vuelo Pixhawk 2.4.8 tuvo un desempeño aceptable, comprendiendo a suspensión equilibrada y una respuesta rápida respecto al radio control r/c del drone.

Para un vuelo preciso es recomendable adaptar un sistema FPV o vista en primera persona, lo cual permita volar en rango más distantes esto es alrededor de 1km.

En el momento del ensamble del drone es necesario usar tornillos de un milímetro de diámetro menor que el agujero diseñado en solidworks, esto quiere decir si el diseño en solidworks tiene 3 milímetros de diámetro se debe comprar tornillos de 2 milímetros, de esta manera tener una holgura y estos puedan encajar. También, antes de cada vuelo se deben calibrar los motores del drone para saber la respuesta del mismo ante la señal emitida por el transmisor.

Por último, este proyecto se realiza con el propósito de abrir un nuevo enfoque en el área de investigación y emplear una base tecnológica e implementarse, optimizarse o continuarse u otra colaboración o continuación en Colombia así como en México.

Referencias

- (AAAE), a. d. (2018). *"Por la cual incorporan a la norma RAO 91 de los Regimientos Aeronáuticos de. República Colombiana.*
- Autodesk. (2020). *Software de impresión autodesk.* Obtenido de <https://www.autodesk.mx/solutions/3d-printing>
- Balestreni, M. G. (2015). *De ficción a realidad: drones y seguridad ciudadana en América Latina I.* Bogotá: Ciencia y poder aéreo.
- Distral, N. J. (octubre de 2017). Diseño de un dron programable. *Diseño de un dron programable con ardupilot.* Cantabria, Santander, España.
- Eliot, A. (2017). Como construir un dron. En A. Eliot, *Como construir su propio dron* (pág. 156). Marcombo }.
- Ender, 2. (2018). *adslzone.net.* Obtenido de <https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/impresion-3d/>
- Española, R. e. (s.f.). Diccionario de la lengua española.
- fernandez, J. C. (15 de 02 de 2009). *Indicadores.* Obtenido de <https://es.slideshare.net/jcfdezmxmanag/que-es-el-bsc-1032043>
- Gómez, G. S. (2016). *Impresión 3d.* Barcelona: Marcombo Barcelona.
- Kerzner, H. (2013). Project management: A systems approach to planning, scheduling, and controlling. En H. Kerzner, *Project management: A systems approach to planning,*

- scheduling, and controlling (11th ed.)*. Wiley. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Lluvia_de_ideas
- Leon, E., & Torrez, J. (5 de agosto de 2013). Diseño de un prototipo de impresora 3d que aplica la técnica de prototipado. Duitama, Boyacá, Colombia.
- Llamas, L. (29 de 04 de 2020). *ingeniería informática y diseño*. Obtenido de <https://www.luisllamas.es/medir-la-inclinacion-imu-arduino-filtro-complementario/>
- Mercado libre. (s.f.). *mercadolibre.com*. Obtenido de mercadolibre.com.mx
- Norton, R. K.–D. (2008). *Pensemos*. Obtenido de <https://pensemos.com/que-es-un-mapa-estrategico-y-para-que-sirve/>
- Ogata, K. (2003). *Ingeniería de control moderna*. Madrid: pearson educación, s.a.
- Olivera, J. E. (2015). “Diseño y construcción de una mano. En J. E. Olivera.
- Palacio Municipal, G. p. (2020). *Gobierno poza rica*. Obtenido de <https://www.gobiernodepozarica.gob.mx/>
- Resolución, f. A. (27 de diciembre de 2018). *APD profesionales de drones*. Obtenido de <https://apd.org/wp-content/uploads/2019/10/RESL.-N%C2%B0-04201-DIC-27-de-2018-Normatividad-Vigente.pdf>
- Rodriguez, F. D. (ENERO de 2018). *Nornas para dibujo técnico*. Obtenido de http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m9/IMPRESION%203D_UNA%20INTRODUCCION.pdf
- Ruiperez, M. P. (2016). Diseño y fabricación de un dron. España.

Ruiz, M. C. (2002). Mecánica de estructuras. En E. B. Díaz, *Mecánica de estructuras* (pág. 315). UPC.

science, p. (25 de Agosto de 1946). acmplean. Obtenido de acmplean:

<http://acmplean.com/actualidad/los-mapas-de-valor-para-que-sirven-y-como-se-realizan/>

Solidbi. (2020). *solidworks*. Obtenido de <https://solid-bi.es/solidworks/>

Solidworks. (2011). *guia introductoria a solidworks*. Obtenido de

https://www.solidworks.com/sw/docs/instructor_WB_2011_ESP.pdf

Tomala, O. (2016). *Metodología de la Investigación*. Obtenido de

<https://sites.google.com/site/misitioweboswaldotomala2016/tipos-de-investigacion>

Torres, L. J. (octubre de 2013). *Diseño de un prototipo de impresora 3d que aplica la técnica de prototipado*. Obtenido de

https://www.researchgate.net/publication/323667923_Disenio_De_Un_Prototipo_De_Impresora_3d_Que_Aplica_La_Tecnica_De_Prototipado_Rapido_Modelado_Por_Deposicion_Fundida

Villavicencio. (2020). *Alcaldia de villavicencio*. Obtenido de

<http://www.villavicencio.gov.co/Paginas/default.aspx>

Wildenrad, A. (2019 de marzo de 2019). *Lucidchart*. Obtenido de Lucidchart:

https://www.lucidchart.com/pages/es/que-son-los-mapas-de-flujo-de-valor#section_5.

Anexo A.

ESTUDIO DE DRONES DE VIDEO Y FOTOGRAFÍA EN EL MERCADO.

TIPOS DE DRONES

 <p>Drone con sensor de imagen giratorio X8PRO – Blanco Precio: \$1.656.000</p>	 <p>Yuneec Precio: \$2.115.000</p>	 <p>Binden MEW4-1 con cámara Full HD Precio:\$ 1.079.820</p>
 <p>DJI Spark Precio: \$2.752.000</p>	 <p>Holy Stone Precio: \$1.300.000</p>	 <p>H920 Tornado Yuneec Para Grabación Profesional Precio: \$17.820.000</p>
 <p>Phantom 3 Professional 4k Precio: \$4.680.000</p>	 <p>3dr Solo Drone Profesional Precio: \$2.790.000</p>	 <p>Inspire 2 Sin Cámara Precio:\$ 15.926.000</p>
<p>Walkera - Drone Race</p>		<p>Precio:\$ 719.820</p>

Anexo B.

ELECCIÓN DEL HARDWARE

Elemento	Especificaciones
	<p> Marca: Cámara Eken H9r Línea: Action Cam Modelo: Sport Xtreme Usos recomendados: Para deportes extremos Tipo de resolución: 4K 3D: No 360 grados: No Formato de grabación de video :VCD Resolución fotográfica : 12 Mpx Zoom digital 1x Estabilizador de imagen No Peso 100 g Tipos de almacenamiento miniSD Conexiones USB Duración de la batería 1 h </p>
	<p> Gimbal Sysma X8hg Nombre de la marca: Sysma Nombre del artículo: Marco de cámara Gimbal Gimbal estático para drones de video, pieza de repuesto para cuadricóptero Sysma X8HC X8HW X8HG </p>
	<p> Accesorios pixhawk Gps Pm Telemetria Kit Completo GPS NEO-7M con brújula y Shell x1. Telemetría con shell transmisor y receptor x1. APM actual y el módulo de alimentación de tensión con BEC x1. GPS soporte plegable Negro x1. Fuente de alimentación de respaldo integrada y controlador de respaldo de fallo, el controlador principal se puede cambiar de forma segura al control de respaldo; -Proporcionar entrada de energía redundante y función de transferencia de fallas; 14 * PWM/salida del actuador; Interfaz de Bus (SPI puede I2C UART); proporciona modo automático y manual; Color Lámpara LED; Interfaz Multi zumbador de tonos; Micro SD para grabar datos de vuelo; la placa se integra con PX4FMU + PX4IO Pixhawk es con nuevo chip de 32 bits y tecnología de sensor. Procesador: Procesador. 32 bit 2M memoria flash STM32F427 Cortex M4, con unidad de procesamiento de punto flotante de hardware. Frecuencia principal: 256K, 168MHZ RAM 32 bit STM32F103 de co procesador Sensor: Giroscopio digital de 16 bits L3GD20 3 ejes </p>
	<p> Dshot600 Marca: Racerstar Nombre del artículo: Nuevo beheli_S 30ª Esc 4X Racerstar RS30A V2 30A Blheli_S ESC OPTO 2-4S Soporta Oneshot42 Multishot 16.5 Modelo: RS30A V2 Voltaje de entrada: 2-4S Con.current: 30A Corriente de pico (10s): 35A Bec: No Programación: Sí Peso neto: 6.26g. Tamaño: 28 * 13mm </p>
	<p> Motor Brushless 920kv Drone 4s F450 S500 Fpv Cw Ccw Marca readytosky Modelo 920kv tipo: 22*12 KV: 920 rpm/v voltaje: DC 7-12 V peso: 60g Para multirotores de hasta 2kg (4 motores) </p>

	<p>Radiocontrol flysky fs i6s Flysky FS-i6S 2.4G 10CH AFHDS 2A Transmisor con FS-iA6B Receptor El transmisor FS-i6S y el receptor FS-iA6B constituyen un RC sistema computarizado proporcional digital de 10 Canales de 2,4 GHz AFHDS. Este sistema soporta quadcopter. El AFHDS 2A (Automático Sistema Digital del Salto de Frecuencia de Segunda Generación) Marca: Flysky Nombre del artículo: FS-i6S con receptor FS- iA6B</p>
	<p>Bateria De Lipo Litio De 11.1v 2200mah 3 Celdas Con Xt60 Marca: MV ELECTRONICA Modelo: 2200 MAH Turniying 5.0</p>
	<p>Cargador Bateria Lipo Imax B6 80w + Multicarga + Lipo Tester Medidor de voltaje Buzzer Centro de carga Lipo balance charge</p>
	<p>Kit Para Soldar, Cautín C/base, Multímetro, Extractor Kit con todo para soldaduras eléctricas: 1 x multímetro digital 2 x alambre para soldar (estaño), crema soldadura 1 x extractor de soldadura, 1 x pelacables, 1 x pinza punta fina, 1 x destornillador con 7 puntas, 1x cautín con temperatura regulable, entrada americana (para México) 2 x puntas para soldadura, 1 x esponja, 1 x soporte para cautín, 1 x estuche</p>
	<p>Propelas fibra de carbono 10x4.5 Drone Marca Talos Electronics Modelo Brushless Color Negro Material: Fibra de carbono Tamaño: 10 x 4,5 Diámetro del eje: 6,0 mm; espesor del centro: 9.7 mm Distancia entre ejes recomendada: 550 mm - 700 mm motor recomendado: 800KV - 1100KV Dimensiones: 270 x 7 x 2 mm Peso: 29.5 g</p>
	<p>Filamento Abs Xpectro 3d 1.75mm 1kg Marca: XPECTRO 3D Modelo: ABS Peso: 1 kg Diámetro del filamento: 1.75 mm Largo 330 m El Material ABS (Acrlonitrilo Butadieno Estireno) es un plástico muy resistente al impacto. Utilizado en partes mecánicas, funcionales y otros usos tanto industriales como domésticos.</p>
	<p>Rollo Filamento Pla, Alta Resistencia 1.75mm Azul P/imp 3d Marca: CREALITY Modelo: PLA1.75MM-AZUL Peso: 1 kg Diámetro del filamento: 1.75 mm Largo 340 m Material PLA CREALITY 3D ST-PLA, es un filamento termoplástico biodegradable fácil de extruir, altamente versátil, no genera olor y no es tóxico. Una boquilla tapada o una baja extrusión son problemas comunes que representan costos de reimpresión y tiempo, además de dejar residuos dentro del hotend de tu impresora.</p>

Anexo C.
ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS

Análisis modal de fallos y efectos

Proceso	Modo de falla potencial	Efectos de la falla potencial	Efecto	Causa/Mecanismo De La Falla Potencial	Ocurrencia	Controles Actuales Del Proceso Para Detección	Probabilidad	Acciones Recomendadas	Acciones tomadas	Efecto	Ocurrencia	Probabilidad	NPR	
Prueba de vuelo	Caída del dron	Ruptura del dron	7	Piloto no autorizado	6	Plan de vuelo	3	Practicar en vuelo virtual	Nuevos Materiales	7	6	3	126	
		Compra de material	8	Batería no cargada	6	Carga de batería	3	Comprar a proveedores confiables, cargar Lipo completamente	Nivelar carga de Lipo	8	6	3	144	
		Re trabajo	8	Electromagnetismo	6	Campo eléctrico	2	No volar el dron cerca de cables de alta tensión	Vuelo en campos abiertos	8	6	2	96	
		Manipular dron sin permiso	3	Falta lugar para guardar dron	5	Autorización para el vuelo	3	El vuelo se hará con piloto calificado	Piloto calificado	3	5	3	45	
	Puntos de sobrecalentamiento	Caída del dron	7	Falta mejorar el diseño	6	Utilización de software de diseño	3	Revisión anticipada del lugar a vuelo	Calibración de piezas	7	6	3	126	
		Fundición	6	Silicón o cian acrilato	4	Eliminar silicón y cian acrilato	3	Comprar termómetro		6	4	3	72	
Búsqueda	Lista de material	No se puede dar seguimiento ni rastreabilidad	2	No se realiza requisición	4	Requisición	8	Llenar la requisición		2	4	8	64	
			3	Caso omiso de la bitácora	4	Bitácora	6	Llenar la bitácora y ser revisada por el líder operativo		3	4	6	72	
			3	No se actualiza el modelo de negocios	4	Modelo de negocios actualizado	8	Poner en marcha plan de contabilidad		3	4	8	96	
		2	No se puede obtener el precio por unidad de producción	2	No se elabora la lista de material ni la requisición	3	Modelo de negocios actualizado	6	Implementar SAE	se busca materiales y se compran	2	3	6	36
		2	No hay evidencia de las actividades realizadas	2	No se documenta, revisa o autoriza	2	Bitácora	3	Actualizar periódicamente el inventario		2	2	3	12

Proceso	Modo de falla potencial	Efectos de la falla potencial	Efecto	Causa/Mecanismo De La Falla Potencial	Ocurrencia	Controles Actuales Del Proceso Para Detección	Probabilidad	Acciones Recomendadas	Acciones tomadas	Efecto	Ocurrencia	Probabilidad	NPR
Obtención de Material	Tomar del inventario sin documentar	No se actualiza el inventario	3	No se realiza requisición	3	Requisición y vales de inventario	5	Actualizar periódicamente el inventario		3	3	5	45
		No cuadra contablemente	2	No se documenta, revisa o autoriza	3	Requisición, vales de inventario y bitácora	7	Implementar SAE		2	3	7	42
		No hay rastreabilidad	3		5		5		Recibo de compra	3	5	5	75
		No se pueden rastrear las mermas	3		4		6			3	6	6	108
		No se puede calcular el precio unitario	3		Caso omiso a encargada del inventario		3		6	Generar evidencia documentada y cargar en Dropbox		3	3
Documentación del Proyecto	No documentar	No se puede administrar las operaciones	3	No se genera evidencia documentada	5	Realizar trabajo escrito	3	El líder realizará Diagrama de Gantt que será verificado por Ingeniería Industrial y Gestión	artículo del drone	3	5	3	45
		Se duplican los esfuerzos documentales	4	Los líderes de proyecto no hacen bien las asignaciones	5	Evaluar los compañeros de trabajo	5			4	5	5	100
		Las fallas o aciertos no se detectan a tiempo	4	Los líderes no dan seguimiento al plan, la ejecución y revisión	5	Cumplir responsabilidades de parte del equipo	6	Actualizar el AMEF		4	5	6	120
		No hay evidencia de lo realizado	4	Caso omiso a los lineamientos de documentación	5	Dropbox	5	Cargar información entregable en Droobox		4	5	5	100
	Definición de objetivos	Cada quien hace lo que quiere sin responsabilidad	5	No hay priorización de los proyectos, responsables ni tiempos de entrega	4	Cronograma	2	Actualización del Organigrama del Plan de Negocios	Definición de objetivos	5	4	2	40
		No permite establecer los entregables o evidencia	5	No hay revisión de actividades, tiempos, costos ni entregables	5	Seguimiento por tutor	2			5	5	2	50
		La documentación no está sincronizada con la documentación	5	No se sigue el plan, no se verifican los entregables	4	Seguimiento con tutor	2			5	4	2	40

Proceso	Modo de falla potencial	Efectos de la falla potencial	Efecto	Causa/Mecanismo De La Falla Potencial	Ocurrencia	Controles Actuales Del Proceso Para Detección	Probabilidad	Acciones Recomendadas	Acciones tomadas	Efecto	Ocurrencia	Probabilidad	NPR
Diseño	No hay diseño	No se documentan las hipótesis	4	No se documentan	5	Realizar respaldo con documento escrito	3	Actualizar el diseño y especificaciones del dispositivo en Dropbox	diseños actuales en venta	4	5	3	60
	Falta de plano de diseño	No se pueden determinar la actividad inventiva	4	No se realiza la documentación de la actividad inventiva	4	Realizar respaldo del documento	3	Actualizar la patente según observaciones		4	4	3	48
		No se puede patentar o hacer pruebas de desempeño	6	Trabajar sobre la marcha con feeling solamente	5	Diseño industrial	6	Actualizarle diseño, especificaciones y prueba de desempeño del dispositivo en Dropbox		6	5	6	180
		No se puede establecer el desempeño esperado	5	No se documenta	5	Documentar trabajo forma escrita	2	Actualización de las patentes, diseños y especificaciones, plan de negocios, Gantt, Dropbox, SAE, checklist y presupuesto proforma	no se diseñan las piezas del drone	5	5	2	50
		No hay evidencia para patentes	6		4		3			6	4	3	72
		No hay evidencia para presentar en convocatorias	6		3		2			6	3	2	36
		No hay evidencia del desempeño esperado	5		4		2			5	4	2	40
		No se justifica la inversión ni hay retorno	6		No hay producto terminado ni documentación de respaldo		4			Plan de diseño previo a las operaciones	3	6	4

Proceso	Modo de falla potencial	Efectos de la falla potencial	Efecto	Causa/Mecanismo De La Falla Potencial	Ocurrencia	Controles Actuales Del Proceso Para Detección	Probabilidad	Acciones Recomendadas	Acciones tomadas	Efecto	Ocurrencia	Probabilidad	NPR
Ensamble	Desorden	Se pierde tiempo buscando	4	No se siguen las 9's	2	Implementar 5S	2	Actualizar las 9's y el inventario	Limpieza normal del laboratorio	4	2	2	16
		No permite la comunicación efectiva	4	Falta de comunicación asertiva y oportuna	2	Limpieza del lugar	2	Actualizar las 9's y el inventario		4	2	2	16
		Nacimiento de fallas	5	Falta de cultura	5	5s, 5 porqué, AMEF	2	Actualizar el Dropbox		5	5	2	50
	Saltos en línea de producción	Se evita la documentación y de desempeño	5	No se documenta	3	Realizar 5s	2	Actualización del AMEF, Gantt y mermas	No se atiende la dirección	5	3	2	30
		Pérdida de tiempo y retrasos	5	Caso omiso al mapa de valor y a los responsables de las operaciones	3	VSM	2	Actualización del Gantt y Dropbox		5	3	2	30
	Definición de responsabilidades	No hay responsabilidad formalizada	4	Los líderes de proyecto no hacen bien las asignaciones	3	Responsabilidades de grupo	2	Actualización del Gantt vs SAE	Delegar las responsabilidades	4	3	2	24
		las bitácoras sirven para registro histórico	4	Falta de cultura	3	Descripción de puestos	2	Actualización del Gantt, Dropbox y SAE		4	3	2	24
	Falta de material	No se puede avanzar	6	Material no se compra o llega a tiempo	6	Comprar en línea	1	Actualizar el Gantt	reordenan materiales para compra	6	6	1	36
		no se priorizan acciones ni presupuestos ni hay fechas de entrega	6	No hay lista de material de referencia, se pide material no adecuado	4	Lista de material	2	Actualizar la lista de material, Gantt y SAE		6	4	2	48
	No llega material a tiempo	Retrasos en la entrega, bajo desempeño	5	Tiempos de entrega diferentes a lo planeado	4	Proveedores confiables	2	Trabajar solo con proveedores confiables		5	4	2	40

Proceso	Modo de falla potencial	Efectos de la falla potencial	Efecto	Causa/Mecanismo De La Falla Potencial	Ocurrencia	Controles Actuales Del Proceso Para Detección	Probabilidad	Acciones Recomendadas	Acciones tomadas	Efecto	Ocurrencia	Probabilidad	NPR
Ensamble	Cancelaciones de entrega	Retraso del proyecto	6	Falta de compromiso y responsabilidad	8	Personal calificado y comprometido	1	Actualizar el Gantt, Dropbox, Checklist y SAE	supervisión por parte del jefe de laboratorio	6	8	1	48
	No hay supervisión	No hay detección de fallas o aciertos	5	El líder no supervisa o detecta la falla o aciertos	4	Responsabilidades y funciones del líder	6			5	4	6	120
		No hay evidencia de cumplimiento	5	El líder no supervisa que los entregables se generen a tiempo	4		2			5	4	2	40
		Retraso del proyecto	5	La planeación o ejecución no cumple tiempos, costos u objetivos planteados	3	Personal calificado y comprometido	2			5	3	2	30
	No hay producto terminado	No hay calidad en el proceso	6	No se sigue el plan de negocios en tiempo y forma	6	Plan de negocios y proforma	2	Actualizar el Plan de Negocios, Gantt, Dropbox, checklist y presupuesto proforma	no se ha optado por un gimbal	6	6	2	72
	Falta colocar la cámara correcta de forma adecuada	La resolución no es suficiente para los objetivos	6	El desempeño de la cámara no es suficiente	4	Revisión de cámara	3	Guía de uso de la cámara		6	4	3	72
		No se pueden hacer pruebas de desempeño	5	No se realizan pruebas de desempeño	4	Devolución de cámara	2			5	4	2	40
		No se puede calcular el costo unitario	5	No hay evidencia en bitácoras, vales, requisiciones, etc.	5	Ficha técnica de cámara	2			5	5	2	50
		No hay evidencia ni hipótesis de trabajo	6	Sobrecalentamiento diferente aleación y silicón	5	Mejores aleaciones o diseños, no usar silicón	2	Realización de un plan de acción	6	5	2	60	

Proceso	Modo de falla potencial	Efectos de la falla potencial	Efecto	Causa/Mecanismo De La Falla Potencial	Ocurrencia	Controles Actuales Del Proceso Para Detección	Probabilidad	Acciones Recomendadas	Acciones tomadas	Efecto	Ocurrencia	Probabilidad	NPR
Configuración	Tarjeta de vuelo	El desempeño es insuficiente	6	La tarjeta de vuelo o la programación no es adecuada	5	Cambio de controladora de vuelo	3	Revisar guía de configuración	Asesorarse de la compra	6	5	3	90
		La comunicación es inadecuada	6	Falta mejorar la programación o ensamble	5	Ajustar ensamble	4	Reestructurar el drone		6	5	4	120
		Fundición	6	Sobrecalentamiento diferente aleación y silicón	7	Mejores aleaciones o diseños, no usar silicón	3	Cambio de materiales		6	7	3	126

Anexo D.

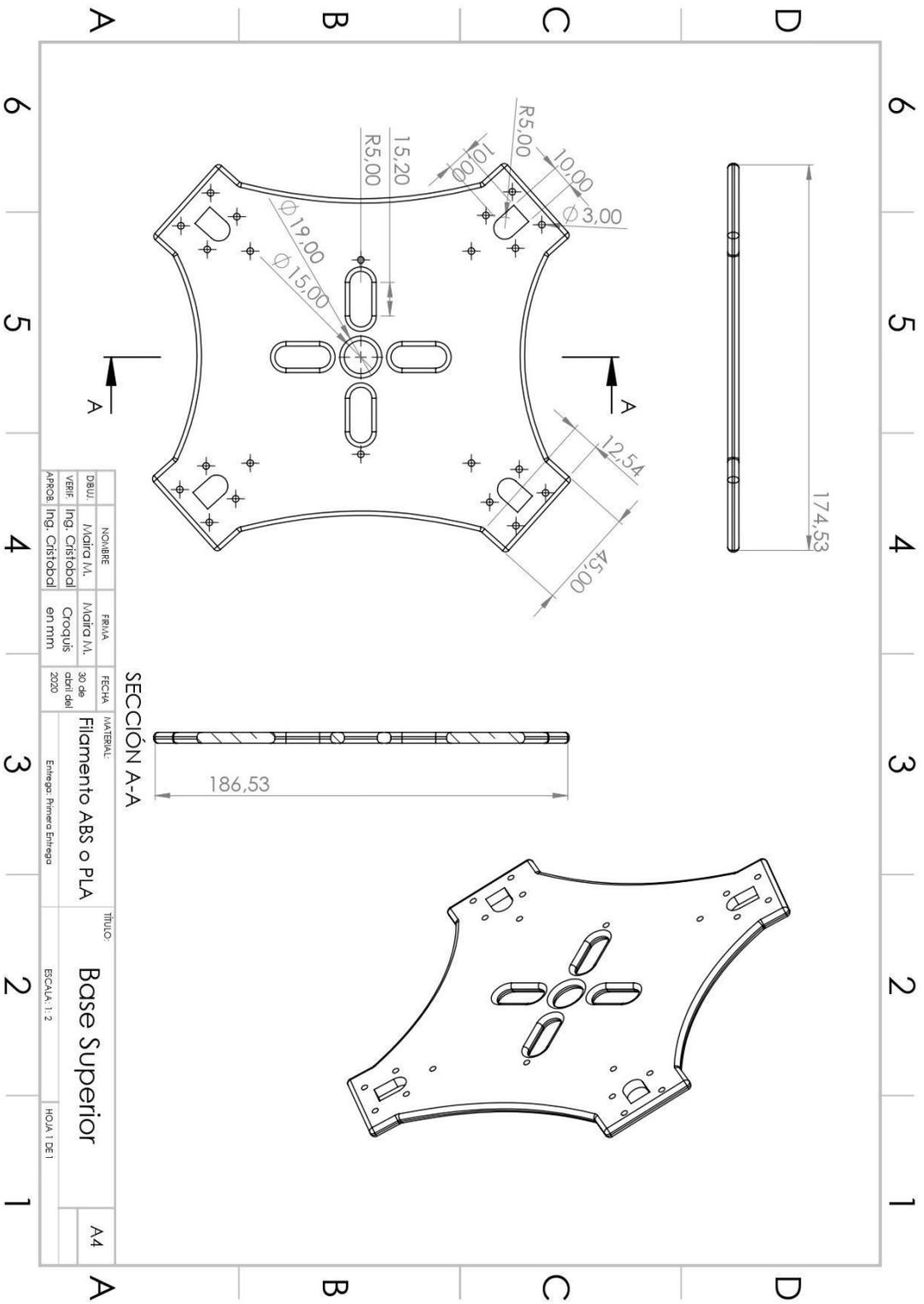
ESTUDIO DE MERCADO CONTROLADORAS DE VUELO

Controladora	Características	Precio
 <p data-bbox="175 512 396 546">Omnibus F7 Nxt</p>	<p data-bbox="516 268 1242 554"> Dos giroscopios a bordo: MPU6000 para muestreo de hasta 8 khz e ICM20608 para muestreo de hasta 32 khz Orificios de montaje de 30,5x30,5mm Compatible con 3-6 S Lipo Construido en 5 V 1A BEC salida (Buck) Construido en 8 V 1A BEC con salida de filtro LC para la cámara y VTX (Buck) Controles STM32 chip OSD sobre SPI en modo DMA (Betaflight OSD) </p>	<p data-bbox="1274 407 1388 436">\$323.460</p>
 <p data-bbox="175 814 396 848">Naza M Lite Dji</p>	<p data-bbox="516 581 1242 903"> Marca Naze Modelo M Lite Alcance máximo 500 m Frecuencia 24 GHz Cantidad de canales 8 Tipo de alimentación Pila Todo-en-Uno Diseño 1 unids DJI NAZA-M Lite MC 1 unids DJI NAZA-M Lite LED 1 unids DJI NAZA-M Lite PMU 1 unids M8N GPS PARA NAZA 1 unids GPS sostenedor del soporte </p>	<p data-bbox="1274 730 1388 760">\$801.000</p>
 <p data-bbox="175 1117 444 1150">Ardupilot APM 2.8</p>	<p data-bbox="516 919 1242 1096"> Dimensiones: 84 x 45 x 14 mm Peso: 34 g Dimensiones: 10.5 cm x 14.5cm x 1.4cm Peso del paquete: 47g Contenido: 1 Controlador de vuelo Ardupilot APM 2.8 </p>	<p data-bbox="1274 1054 1388 1083">\$337.320</p>
 <p data-bbox="175 1428 431 1461">Pixhawk Px4 2.4.8</p>	<p data-bbox="516 1213 1242 1604"> microprocesador 1. 32 MB de memoria Flash STM32F427 corteza M4, la unidad de procesamiento de hardware de punto flotante 2. Frecuencia: 168MHZ, 256K de memoria RAM 3,32 STM32F103 coprocesador de copia de seguridad Sensor Giroscopio digital de 1.L3GD20 3-eje 16 2. LSM303D acelerómetro de 3 ejes 14 / magnetómetro MPU6000 6-eje acelerómetro / magnetómetro </p>	<p data-bbox="1274 1394 1388 1423">\$857.340</p>

Anexo E.
DIAGRAMA DE GANTT

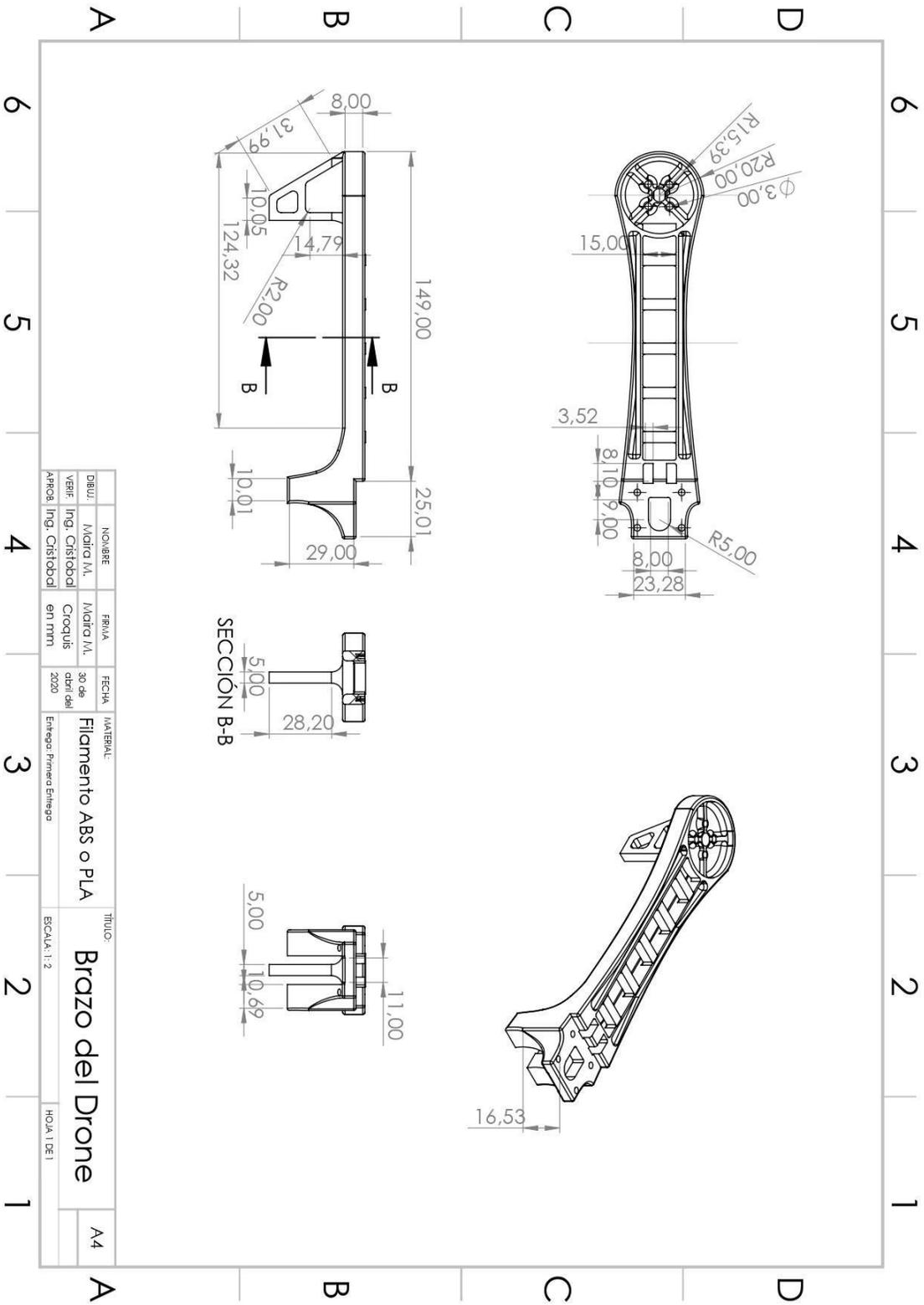
Anexo F.
PLANIMETRÍA DE LOS COMPONENTES DEL DRONE

✓ Base superior

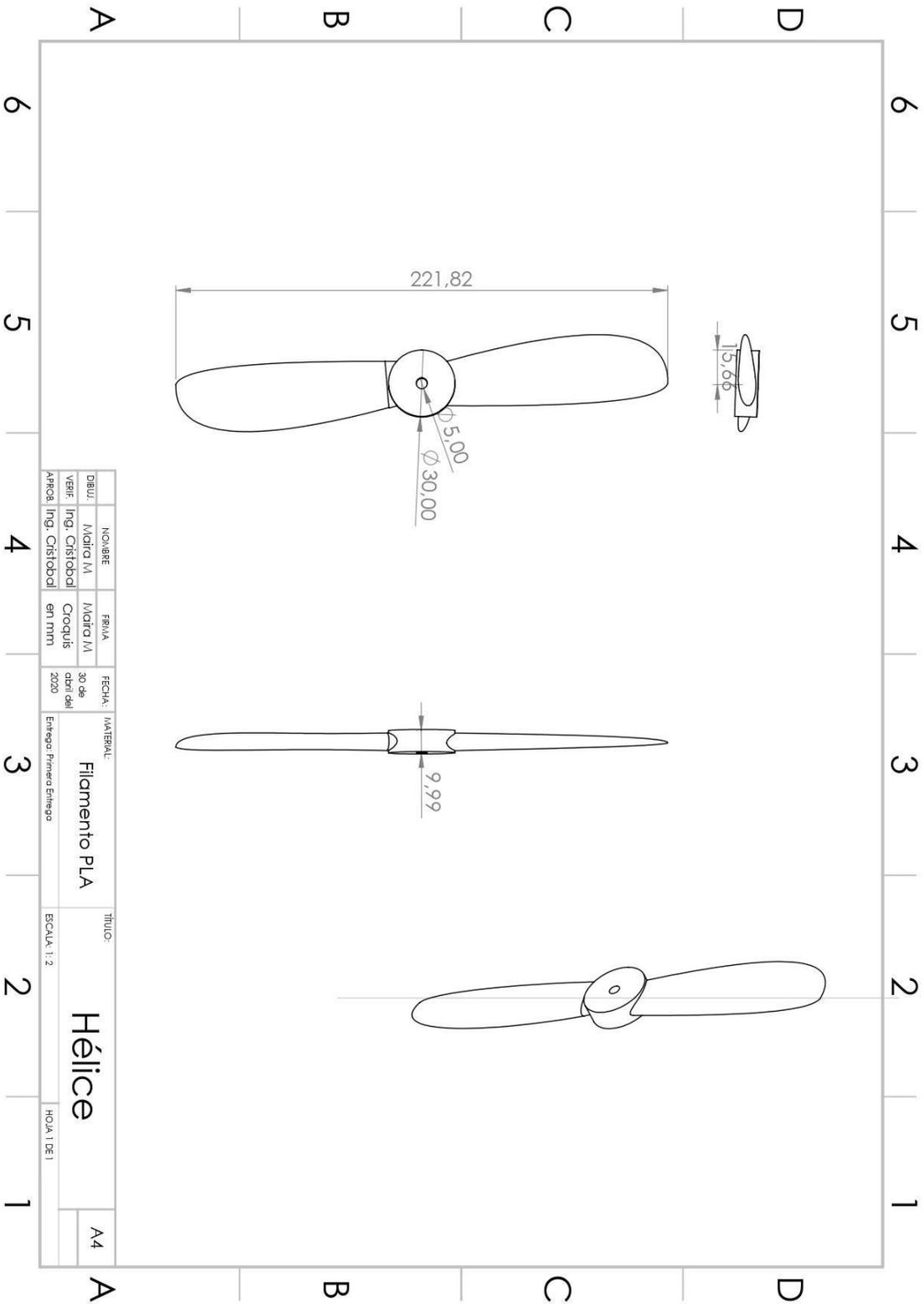


NO.	NOMBRE	FOLIA	FECHA	MATERIAL	TITULO	ESCALA	HOLA
1	Matriza I.V.	Matriza I.V.	30 de abril del 2020	Filamento ABS o PLA	Base Superior	1:2	A4
2	VERIF: Ing. Cristóbal	Croquis					
3	APROB: Ing. Cristóbal	en mm		Entrega: Primera Entrega			

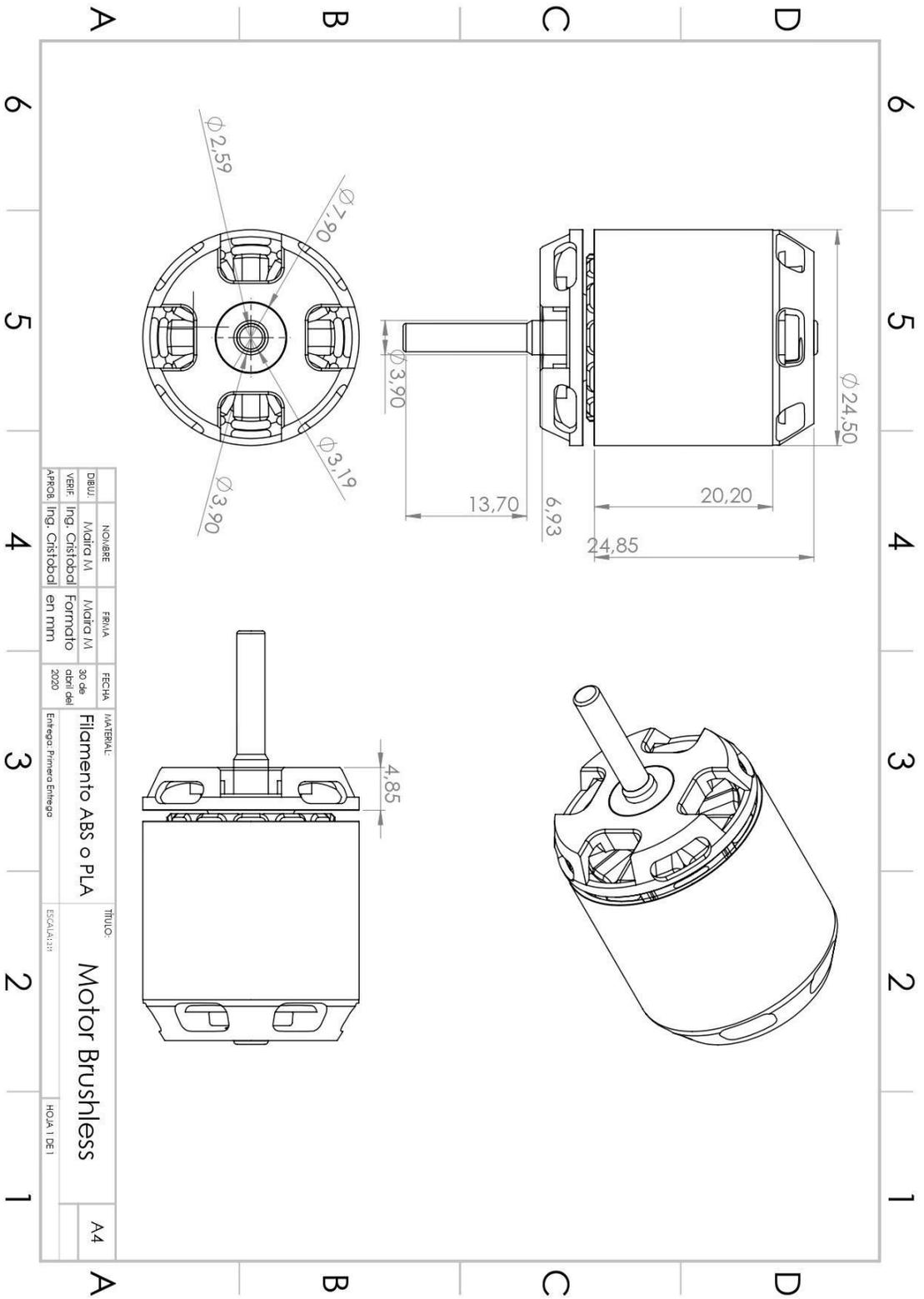
✓ Brazo del drone



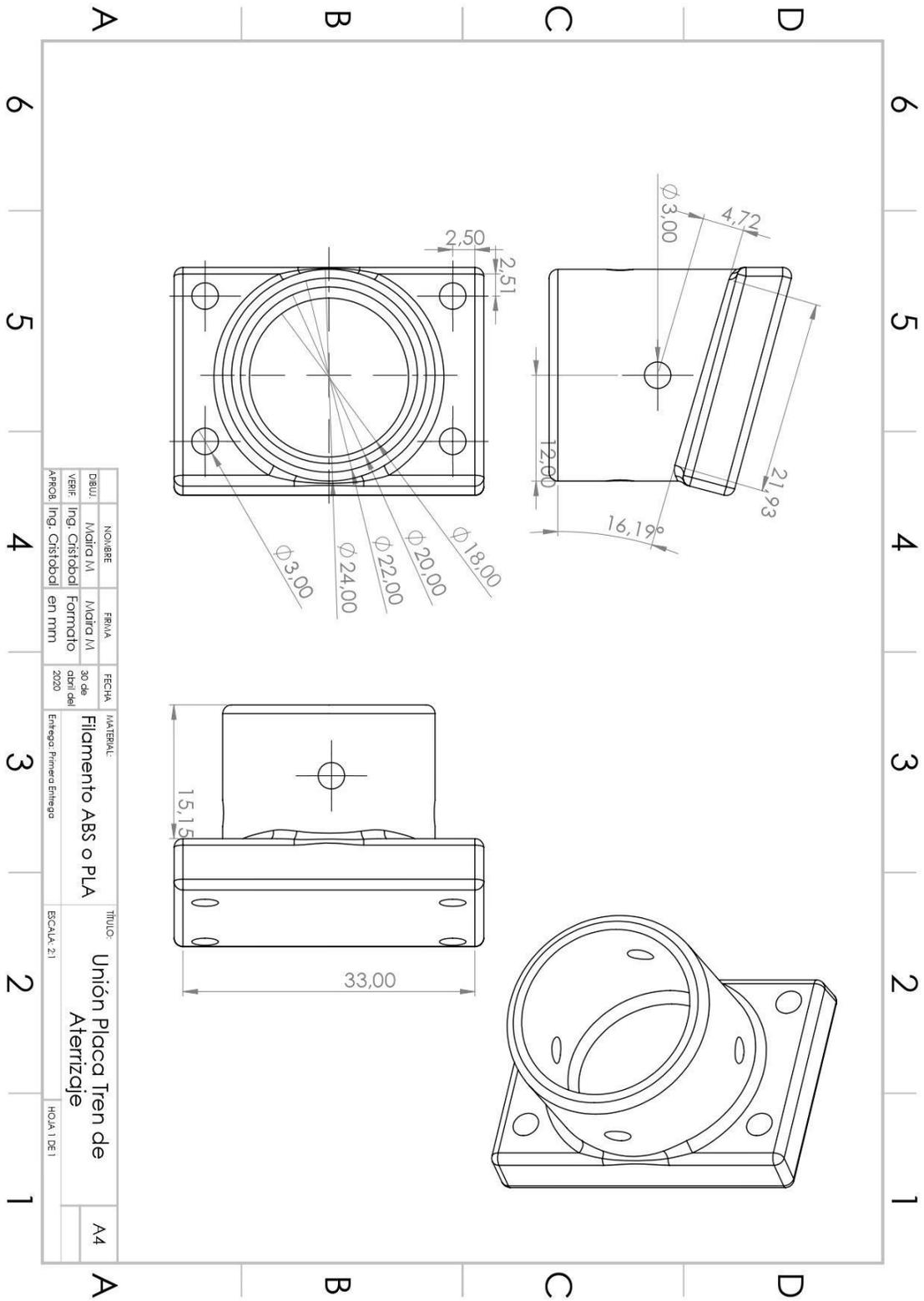
✓ Hélice



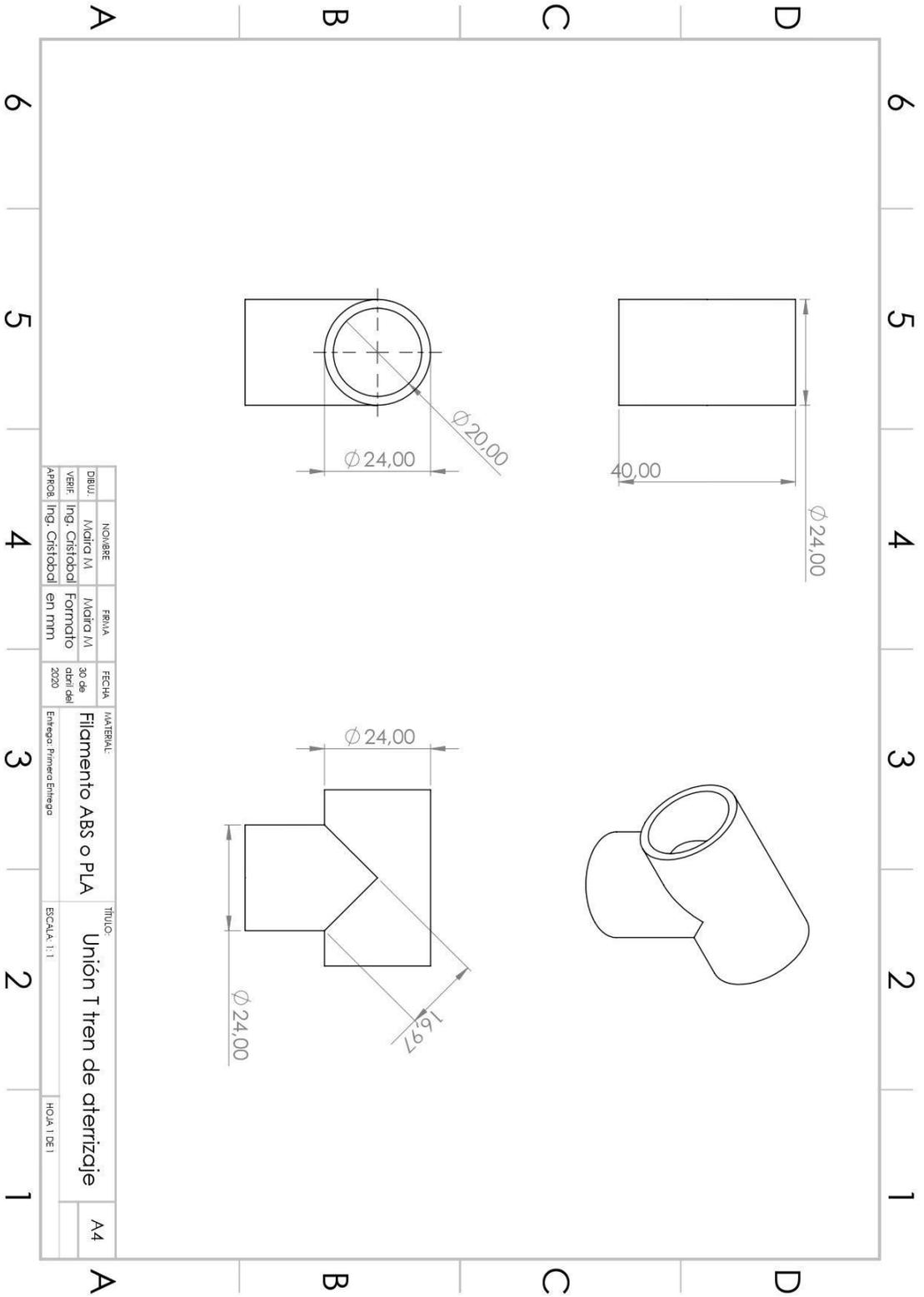
✓ Motor



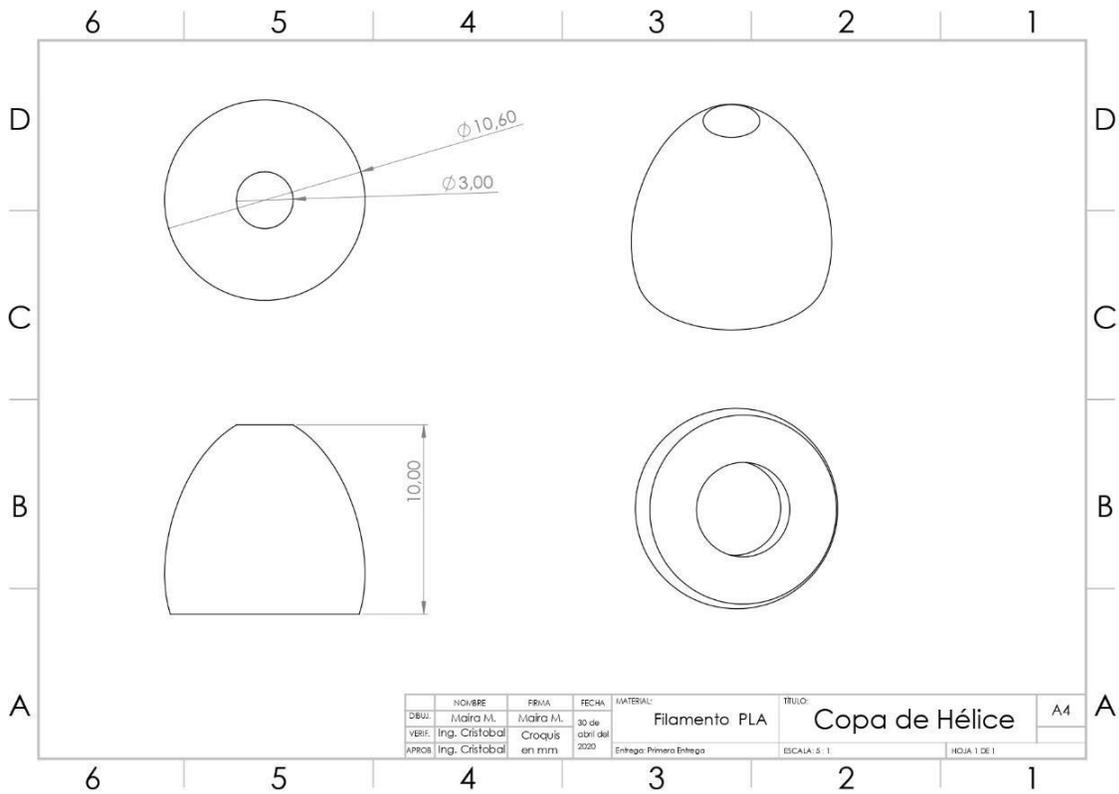
✓ Unión placa tren de aterrizaje



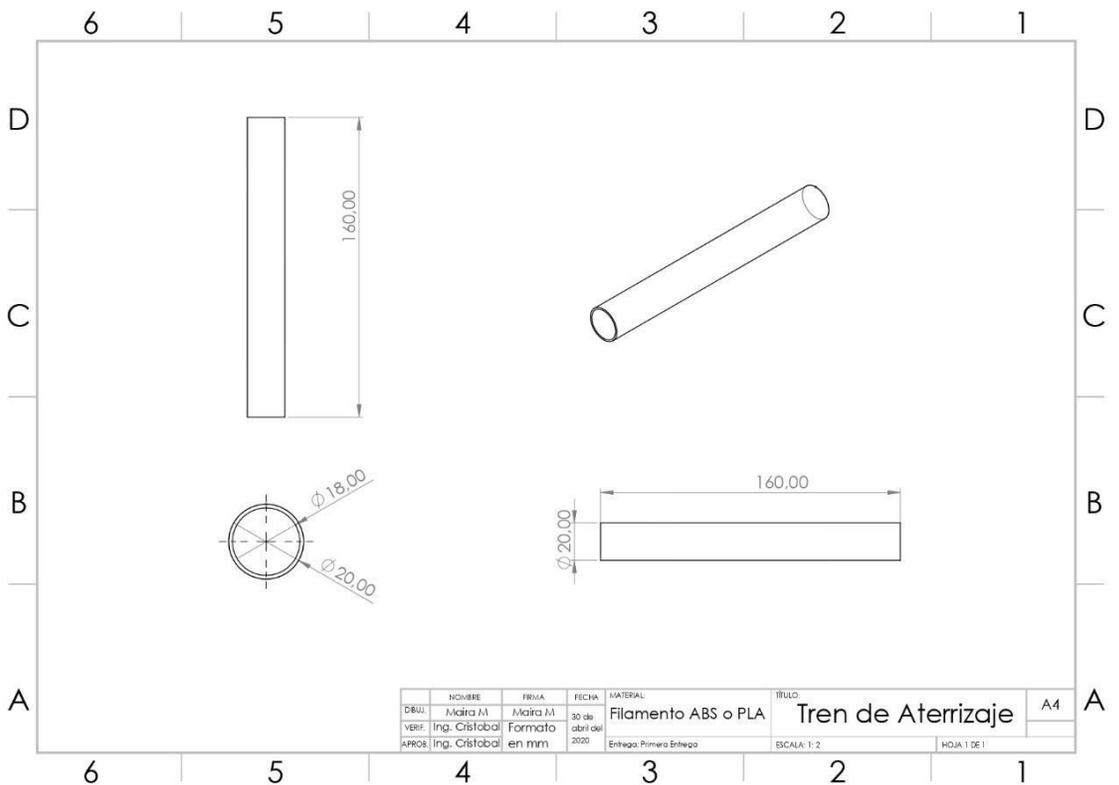
✓ Unión T tren de aterrizaje



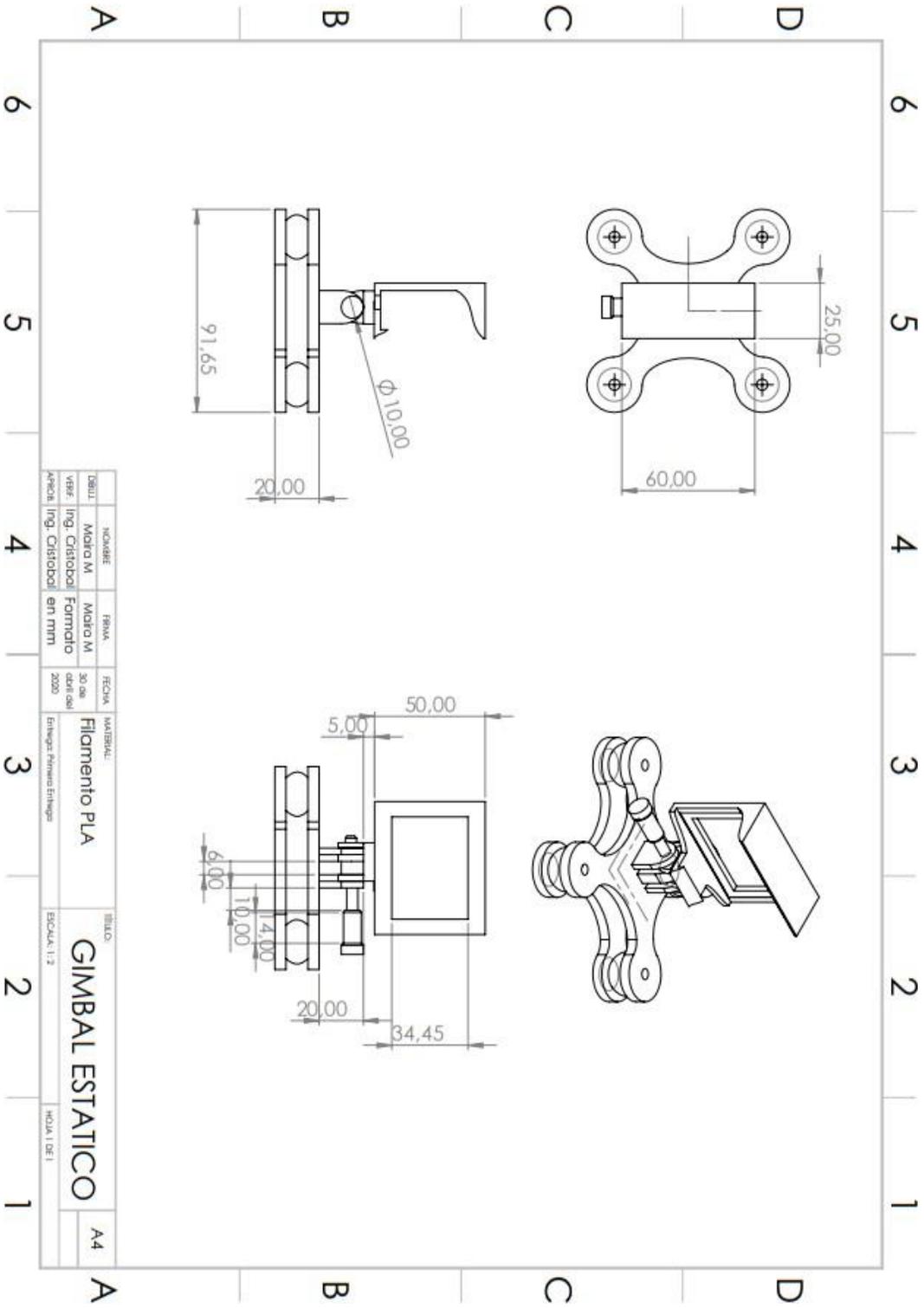
✓ Copa de hélice



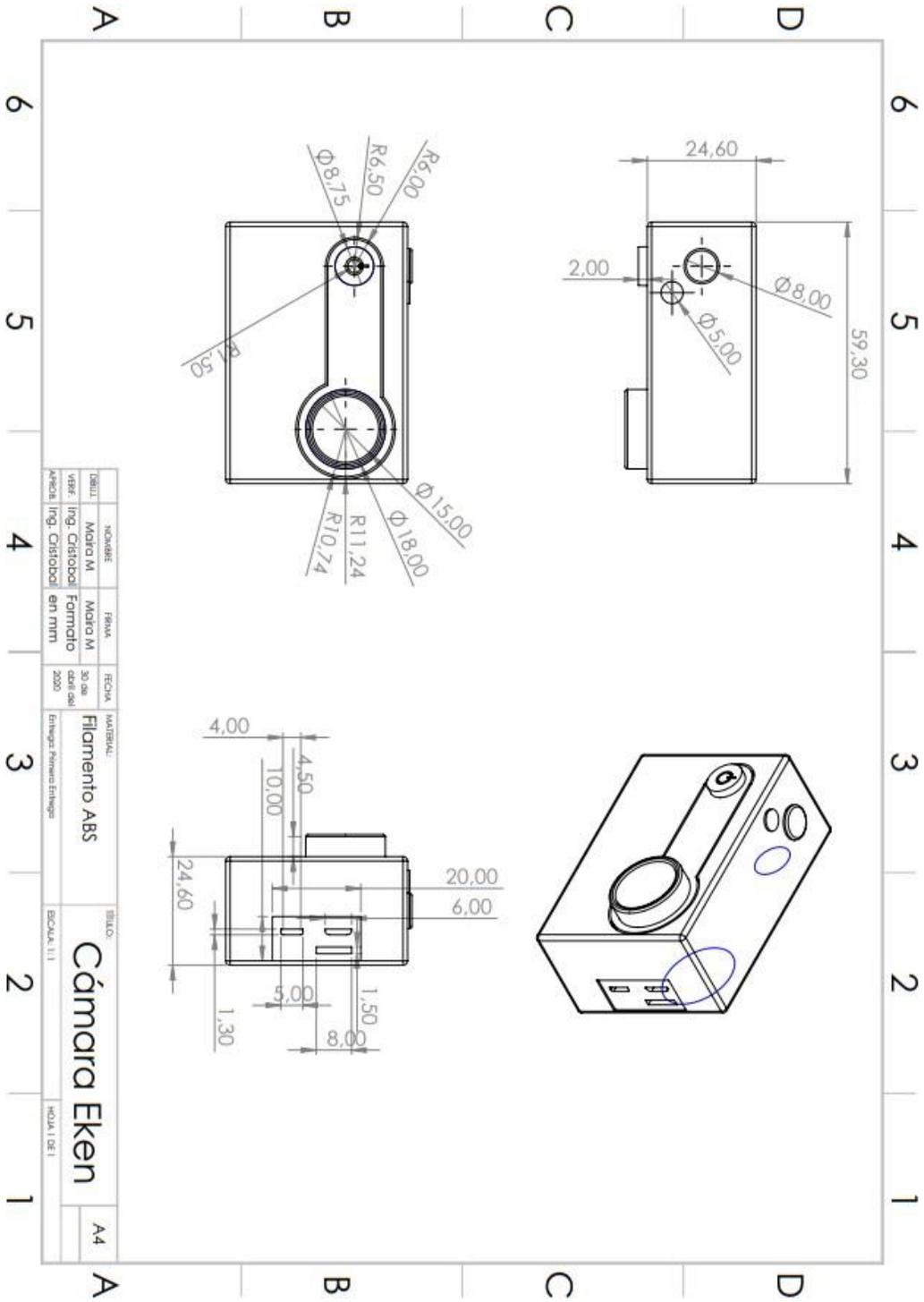
✓ Tren de aterrizaje



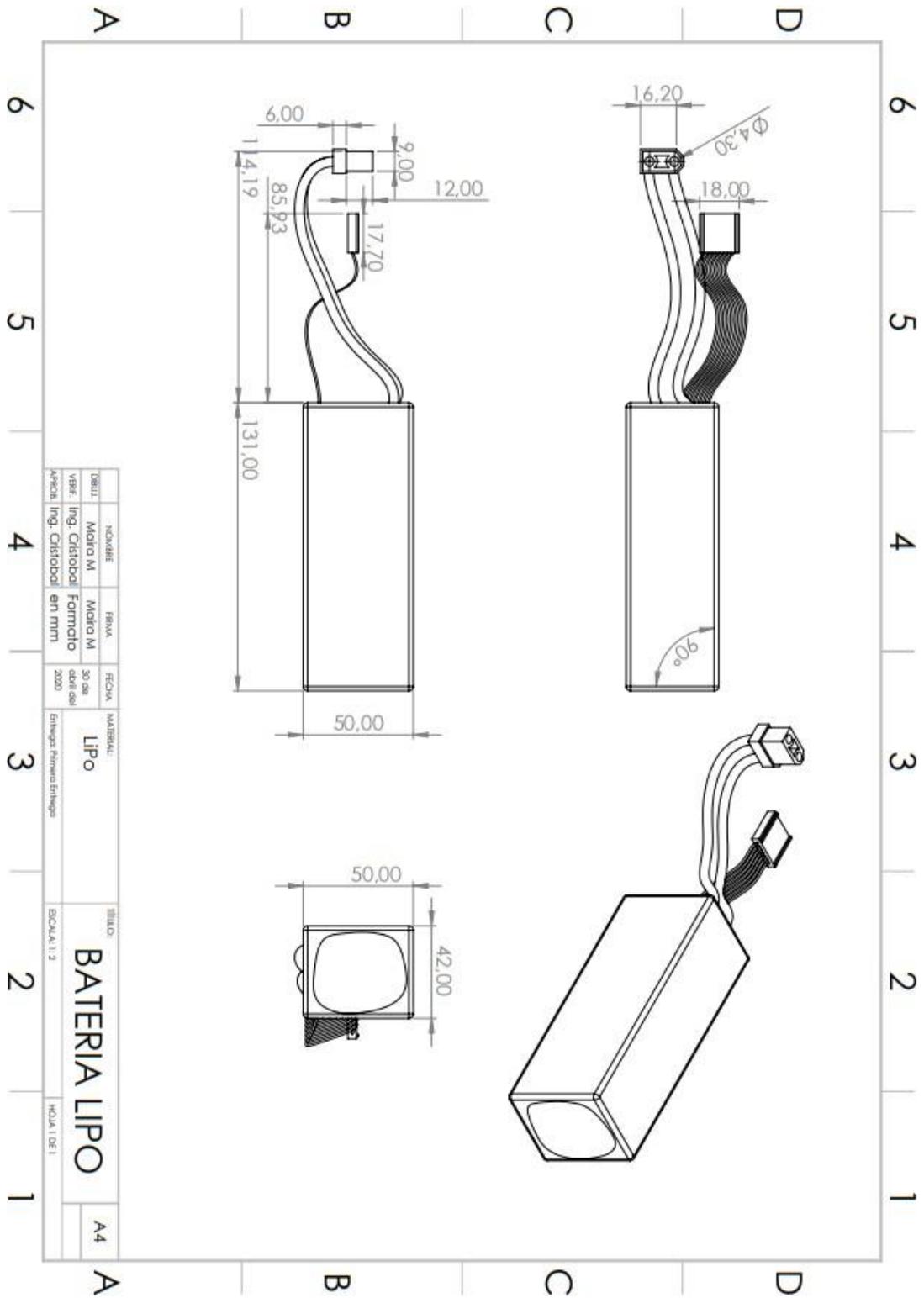
✓ Gimbal estático



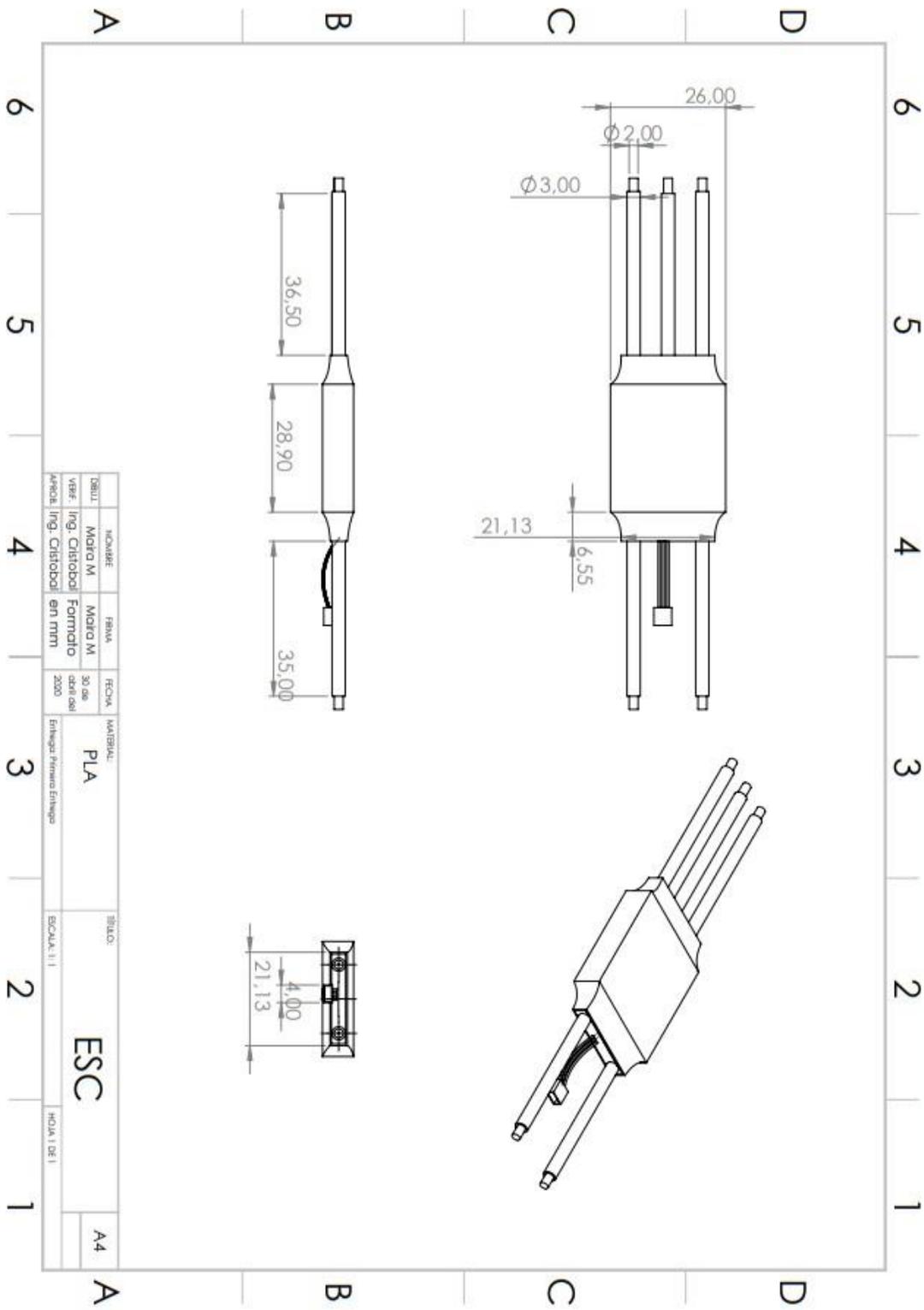
✓ Cámara



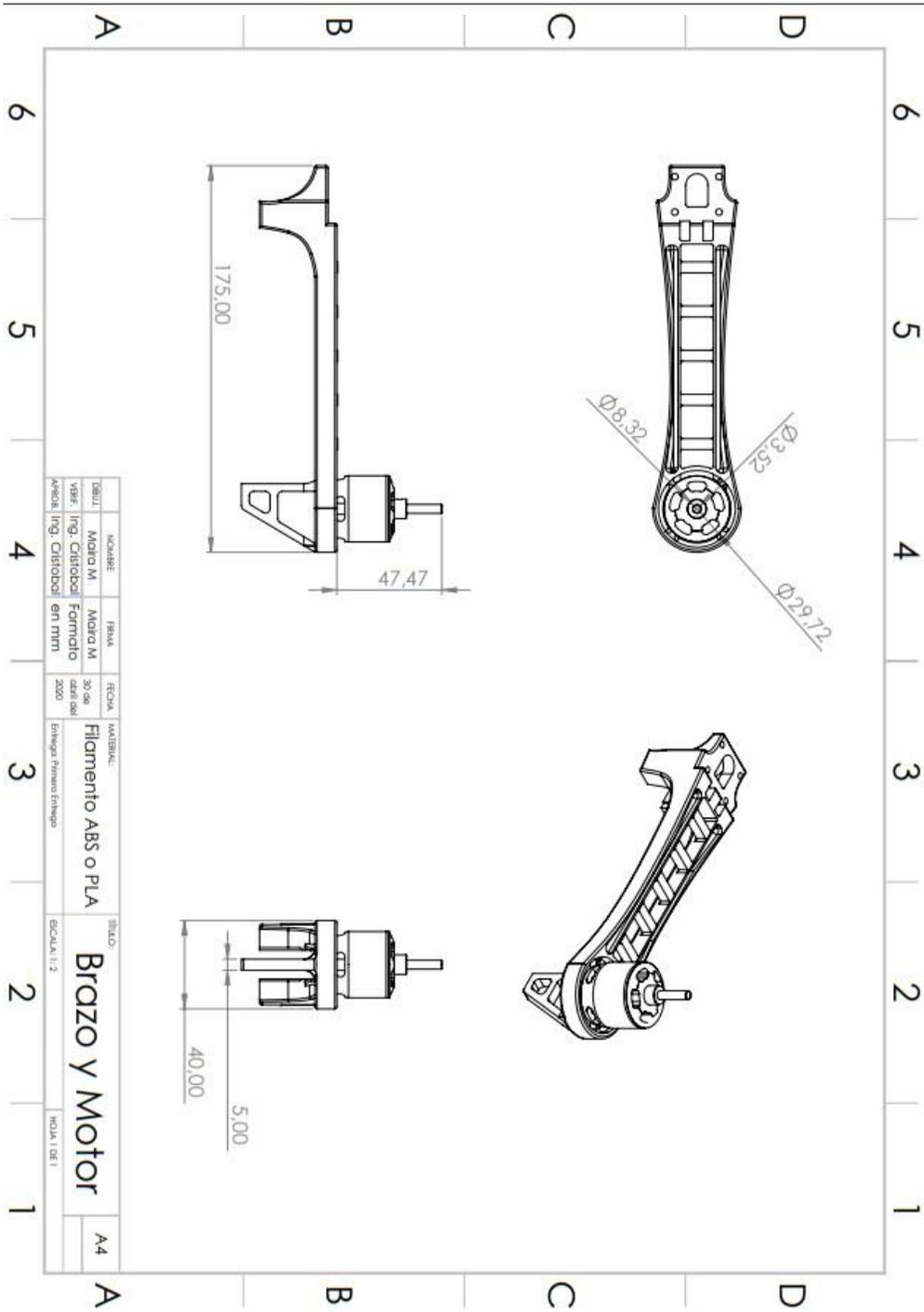
✓ Bateria Lipo



✓ ESC o Variadores de velocidad

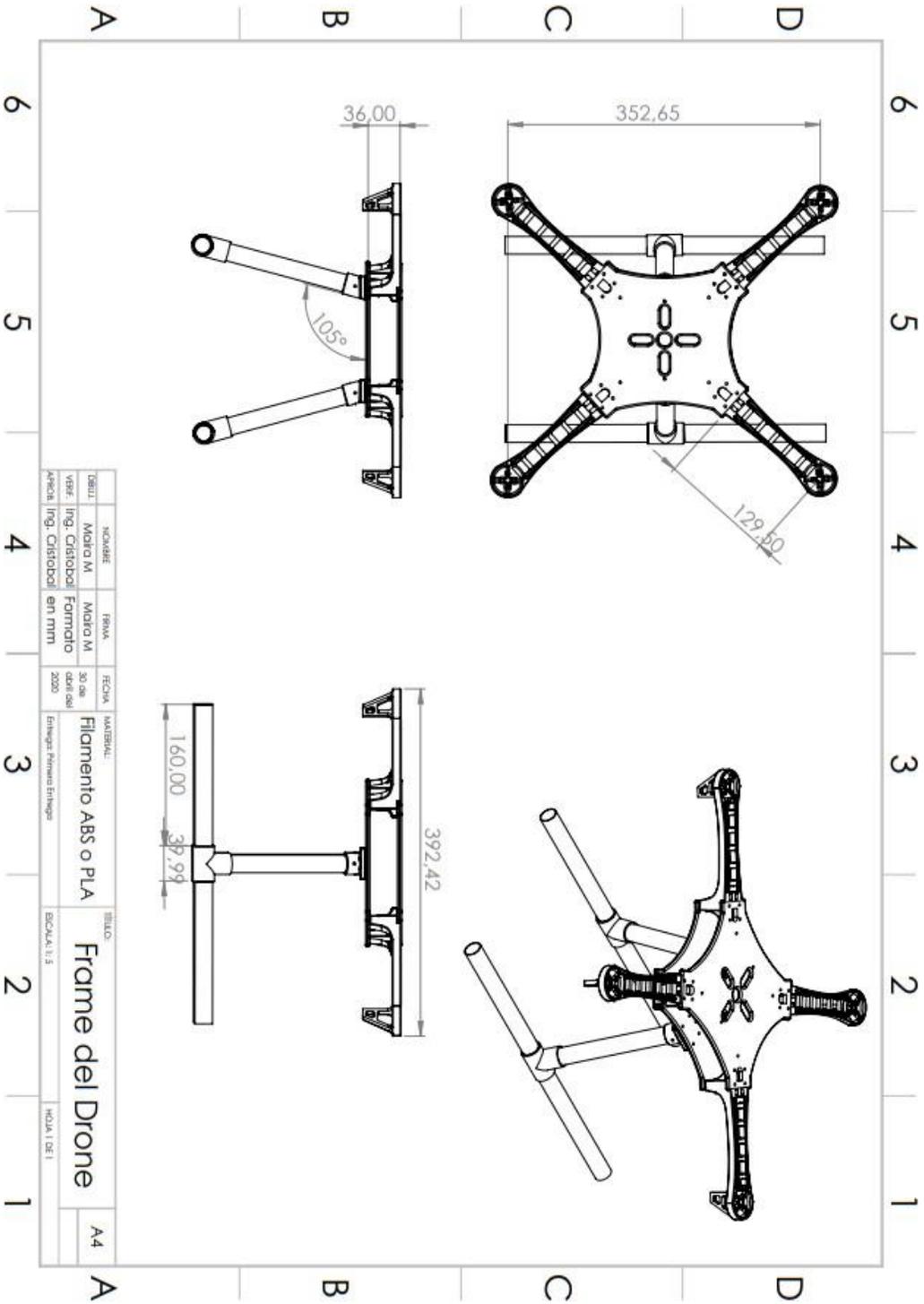


✓ Brazo y Motor



TÍTULO		NOMBRE		FECHA		MATERIAL		SERIE	
Brazo y Motor		Miguel M. Formido		30/09/2020		Filamento ABS o PLA		A4	
VER: Inq. Cristóbal		Miguel M. Formido		2020		Enhepar Formido Enhepar		ESCALA 1:2	
MATERIA: Inq. Cristóbal		en mm						HOJA 1 DE 1	

✓ Plano Conjunto estructura



Anexo G.
MANUAL OPERATIVO O DE PROCEDIMIENTOS.

UAN- 01	MANUAL OPERATIVO PARA EL USO DEL DRONE	
Versión: 01		
Elaborado:09/10/2020		
Página: 1 de 11		

MANUAL OPERATIVO PARA EL USO DEL DRONE

ELABORACIÓN	REVISIÓN	APROBACIÓN
Maira Alejandra Mosquera Alumna ING Industrial	Ing. Nancy Esperanza Saray Asesor Proyecto Grado	Ing. Nancy E. Saray Asesor Proyecto Grado

UAN- 01	MANUAL OPERATIVO PARA EL USO DEL DRONE	
Versión: 01		
Elaborado:09/10/2020		
Página: 2 de 11		

PRESENTACIÓN

En el presente documento se incluye un manual de operaciones de los procesos implicados en el procedimiento de uso del drone, con el fin de facilitar su buen uso y evitar daños del drone, por lo cual se presenta la siguiente guía donde se establece la forma más concreta para utilizar el drone.

UAN- 01	MANUAL OPERATIVO PARA EL USO DEL DRONE	
Versión: 01		
Elaborado:09/10/2020		
Página: 3 de 11		

CONTENIDO

MANUAL OPERATIVO PARA EL 1

USO DEL DRONE..... 1

PRESENTACIÓN:.....

OBJETIVO:..... 3

ALCANCE:..... 3

RESPONSABLES:..... 3

Ingeniero A Cargo Del AUV 3

Piloto 3

Materiales requeridos:..... 3

MARCO NORMATIVO 5

Diagrama de flujo..... 5

Glosario 7

Esc...... 7

LiPo Batería. 7

Osd. 7

Pdb. 7

Pid...... 7

R/C...... 7

RF...... 7

TX...... 7

Referencias..... 8

UAN- 01	MANUAL OPERATIVO PARA EL USO DEL DRONE	
Versión: 01		
Elaborado:09/10/2020		
Página: 4 de 11		

OBJETIVO:

Realizar el manual de procedimientos con la intención de establecer una guía diseñada para un vuelo óptimo del dron, y así brindar orientación en el modo de uso del AUV al operador.

ALCANCE:

Este procedimiento inicia con la interacción de las actividades a desarrollar con los responsables del AUV y termina con un diagrama de flujo, el cual resume gráficamente los pasos a efectuarse en el uso del dron.

RESPONSABLES:

Ingeniero A Cargo Del AUV

- a) Definir, asignar y autorizar el uso del dron.
- b) Verificar el estado de los componentes del dron.
- c) Recibir y guardar los elementos del dron en un lugar seguro.

Piloto

- a) Aplicar sus habilidades en un simulador de vuelo para adquirir conocimiento práctico ante un vuelo real.
- b) Realizar diagnostico al dron antes de cada uso.
- C) Balancear pila Lipo y propelas para guardarlo adecuadamente.
- d) Comprobar configuración en software ardupilot para la Pixhawk.

Materiales requeridos:

Batería Lipo

Balaceador de propelas

Multímetro

Pixhawk

UAN- 01	MANUAL OPERATIVO PARA EL USO DEL DRONE	
Versión: 01		
Elaborado:09/10/2020		
Página: 5 de 11		

Software ardupilot

Brocha

Responsable	Actividad	Aplicación
Piloto	Practicar en simuladores de vuelo	Software liftoff
	Limpiar el drone en su interior	Utilizar brocha para limpiar
	Realizar diagnóstico al drone del estado de sus piezas.	Observar cambios o ruptura de piezas
	Medir corriente eléctrica y continuidad eléctrica en el drone.	Utilizar multímetro
	Cargar y balancear la batería Lipo 3S para cada uso.	Cargador batería Lipo
	Configurar los ESC por medio de sonido de alerta	Usar radio control
	Verificar la respuesta del drone ante el radio R/C.	
	Realizar vuelo del drone.	

MARCO NORMATIVO

Resolución 1297 del 2010

Expedida por desarrollo de ambiente, vivienda y desarrollo territorial; Identifica el ciclo de depuración de las baterías Lipo (polímero de litio).

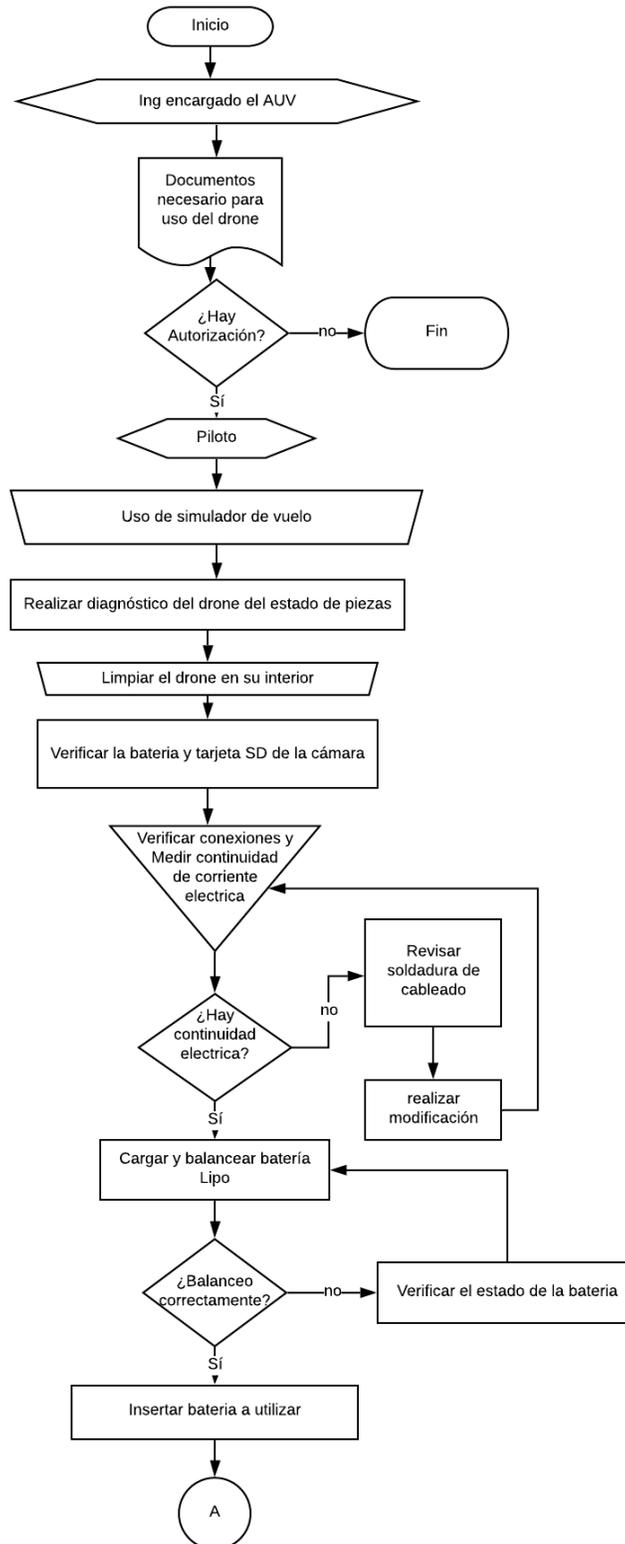
Resolución 4201 de 2018

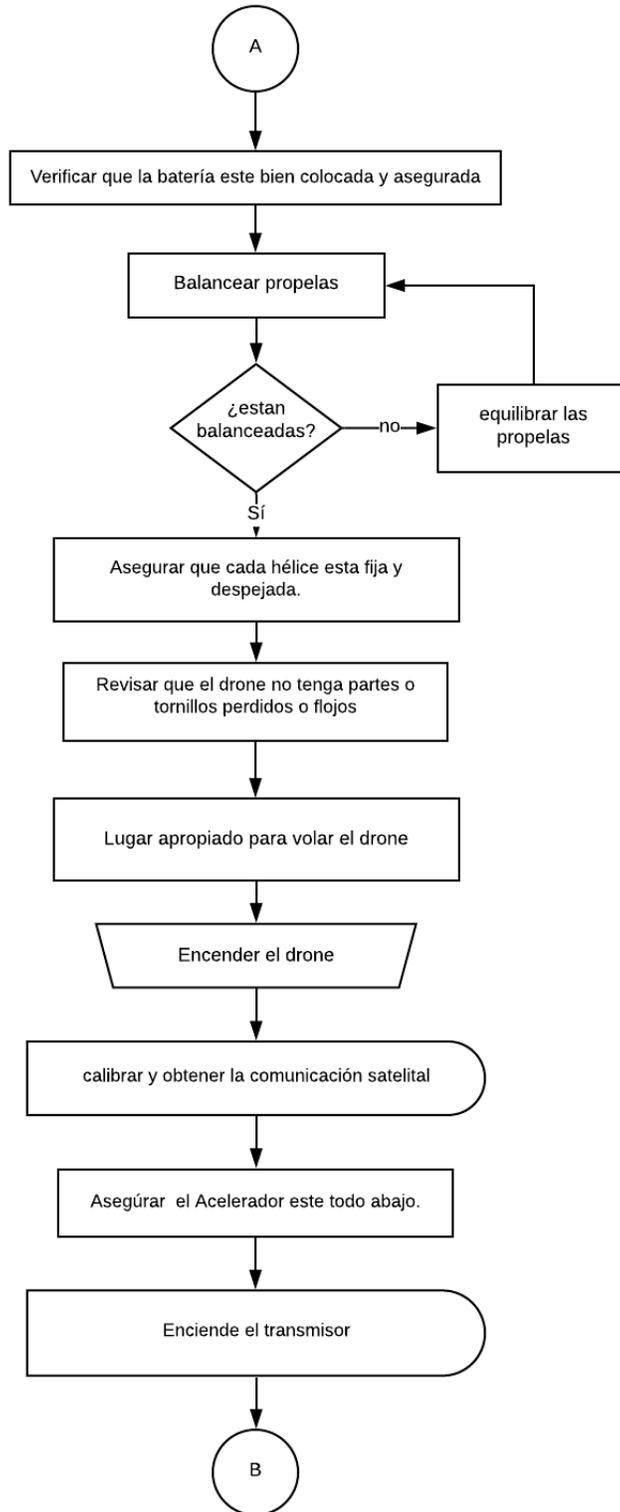
Expedida por aeronáutica civil de Colombia; define los requisitos de los drones por categorías; -Clase A 250 gr y hasta 25 kg (abierta)

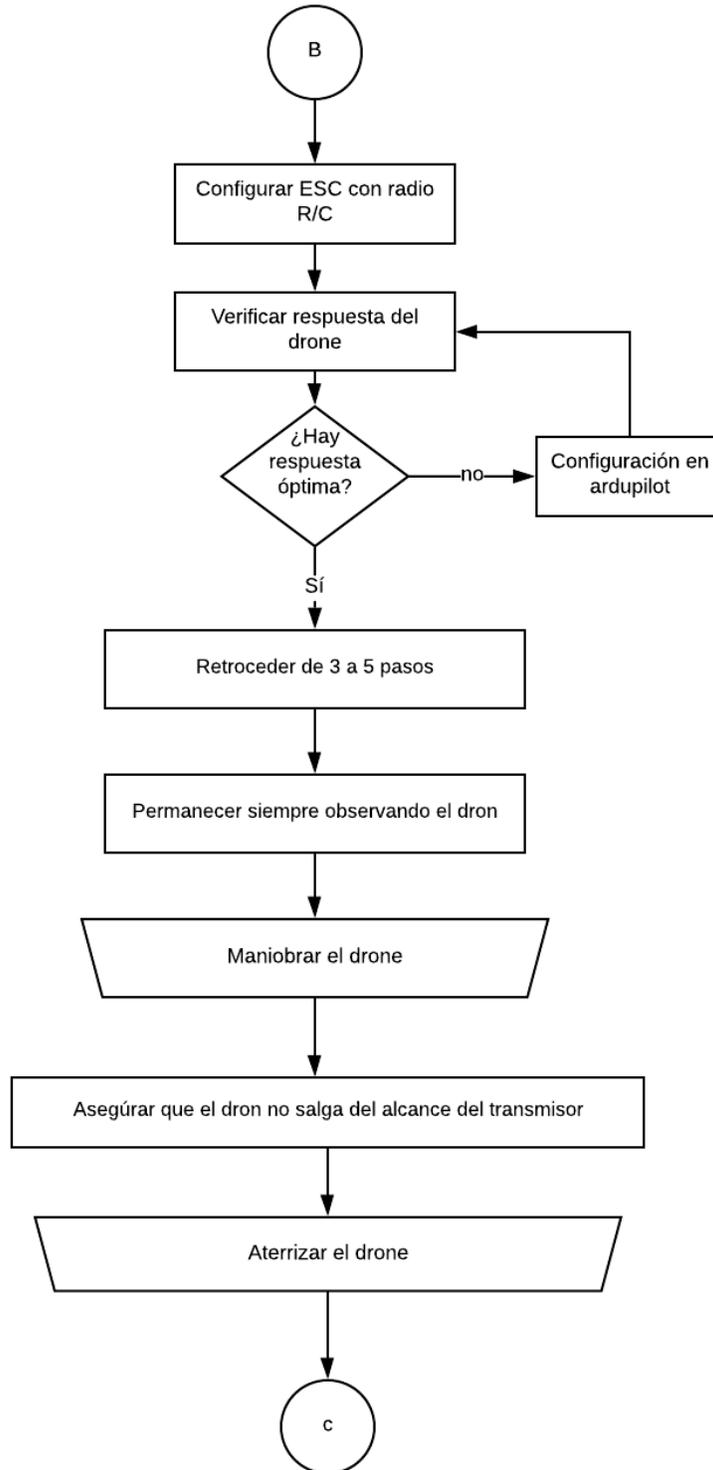
- Clase B (regulada) 25 kg y hasta 150 kg

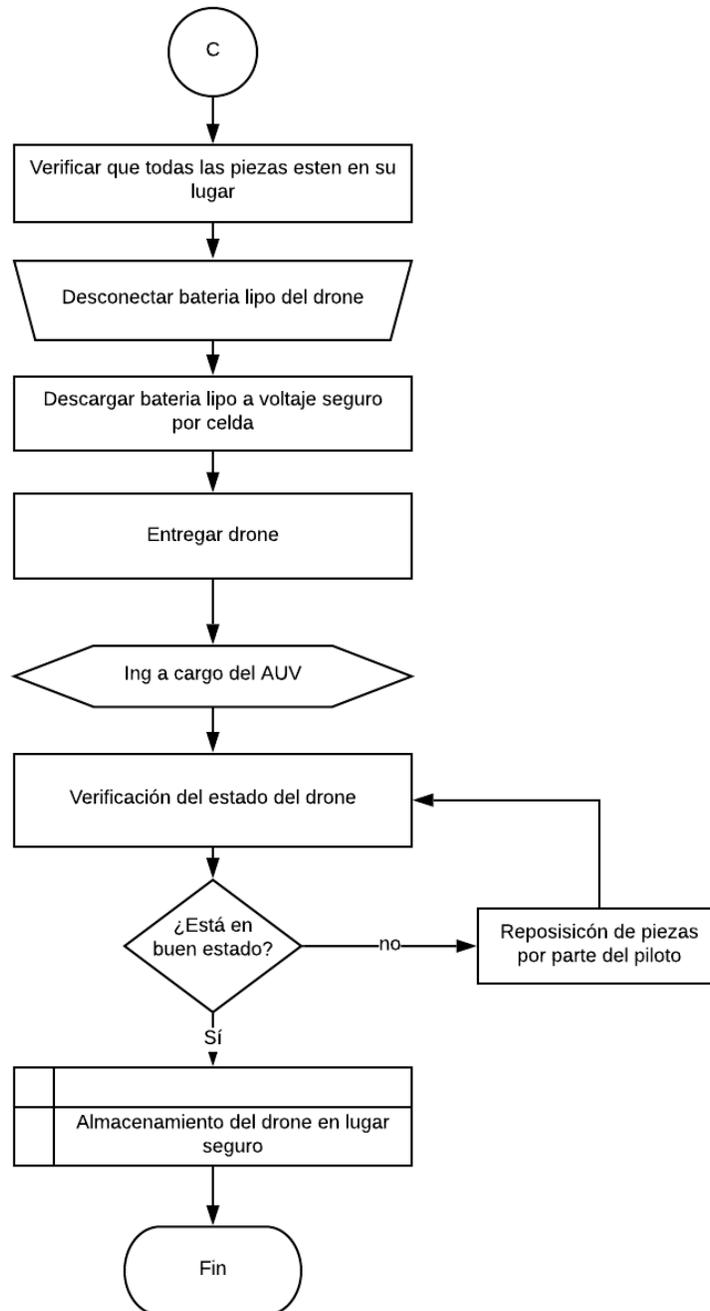
-Clase C (certificada- RPAS) superior a 150 kg.

DIAGRAMA DE FLUJO









UAN- 01	MANUAL OPERATIVO PARA EL USO DEL DRONE	
Versión: 01		
Elaborado:09/10/2020		
Página: 10 de 11		

GLOSARIO

Esc.

Controlador electrónico de velocidad. (Eliot, 2017)

LiPo Batería.

Batería de Polímero de litio. (Eliot, 2017)

Osd.

Visualización en pantalla. (Eliot, 2017)

Pdb.

Placa de distribución de energía. (Eliot, 2017)

Pid.

Proporcional integral derivativo. (Eliot, 2017)

R/C.

Radiocontrol. (Eliot, 2017)

RF.

Radiofrecuencia. (Eliot, 2017)

TX.

Transmisor. (Eliot, 2017)

UAN- 01	MANUAL OPERATIVO PARA EL USO DEL DRONE	
Versión: 01		
Elaborado:09/10/2020		
Página: 11 de 11		

REFERENCIAS

Distral, N. J. (octubre de 2017). DISEÑO DE UN DRONE PROGRAMABLE. *DISEÑO DE UN DRONE PROGRAMABLE CON ARDUPILOT*. Cantabria, Santander, España.

Rodriguez, F. D. (ENERO de 2018). *NORNAS PARA DIBUJO TÉCNICO*. Obtenido de http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m9/IMPRESION%203D_UNA%20INTRODUCCION.pdf

Ruiperez, M. P. (2016). DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN DRON. *DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN DRON*. España.

Anexo H.
FICHAS TÉCNICAS DE DRONES



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE POZA RICA

FICHA TÉCNICA DE ESPECIFICACIONES

NOMBRE DEL ELEMENTO: Drone

CODIGO: 001

HOJA No.

1

DE

APLICACIONES:

Generar actividades en proyectos de investigación para desarrollo de drone con cámara ultra rojo.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

Estructura

Distancia entre Ejes Diagonales	495 mm
Dimensiones de la Aeronave	363 mmx 150mmx363mm (Hélices, brazos del armazón y montura GPS desplegados)

Rendimiento

Cantidad de Baterías de Vuelo Inteligente	1
Peso (con una batería nanotech4s)	8Kg
Precisión en Vuelo Estacionario (Modo-P, con GPS)	Vertical: ± 0.8 m , Horizontal: $1.8 \pm$ m
Velocidad Angular Máx.	Inclinación (Giro vertical): 250 °/s, Giro horizontal: 100°/s
Ángulo Máx. de Inclinación	20°



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE POZA RICA

FICHA TÉCNICA DE ESPECIFICACIONES

NOMBRE DEL ELEMENTO: Drone

CODIGO: 001

HOJA No.

2

DE

APLICACIONES:

Generar actividades en proyectos de investigación para desarrollo de drone con cámara ultra rojo.

Velocidad Máx. de Ascenso	4 m/s
Velocidad Máx. de Descenso	3 m/s
Resistencia al Viento Máx.	10 m/s
Altitud Máx. de Vuelo sobre el nivel del mar	2500 m
Velocidad Máx.	15 m/s (sin viento)

Control Remoto

Frecuencia de Funcionamiento	450 MHz
Distancia Máx. de Transmisión (sin obstáculos, libre de interferencias)	Según normas FCC: 4 km (3.1 millas)
Puerto de Salida de Vídeo	MICRO SD



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE POZA RICA

FICHA TÉCNICA DE ESPECIFICACIONES

NOMBRE DEL ELEMENTO: Drone

CODIGO: 001

HOJA No.

3

DE

APLICACIONES:

Generar actividades en proyectos de investigación para desarrollo de drone con cámara ultra rojo.

Soporte del Dispositivo Móvil	Compatible con Android implementando el ROTG01
Potencia de Salida	8W
Temperatura de Funcionamiento	13° to 100° F
Temperatura de Almacenaje	Menos de 3 meses: de -20° a 45° C Más de 3 meses: de 22° a 28° C
Temperatura de Carga	de 0° a 40° C

Batería

Modelo	Turnigy
Capacidad	5500 mAh
Voltaje	22.2V
Tipo	Lipo 5S
Energía	99Wh
Peso Neto	500 g
Temperatura de Funcionamiento	de -10° a 40° C
Temperatura de Almacenaje	Menos de 3 meses: de -20° a 45° C
Temperatura de Carga	de 0° a 40° C



UNIVERSIDAD ANTONIO NARIO SEDE - VILLAVICENCIO

FICHA TECNICA DE ESPECIFICACIONES

NOMBRE DEL ELEMENTO: DRONE

CODIGO: 001

HOJA No.

1

DE

APLICACIONES:

Generar actividades en proyectos de investigación para desarrollo de drone con enfoque en el video y la fotografía.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

Estructura

Distancia entre Ejes Diagonales	495 mm
Dimensiones de la Aeronave	353 mmx 200mmx393mm (Hélices, brazos del armazón y montura GPS desplegados)
Capacidad	Gimbal 2D FPV

Rendimiento

Cantidad de Baterías de Vuelo Inteligente	1
Peso (con una batería turnigy 3s)	Kg
Precisión en Vuelo Estacionario (Modo-P, con GPS)	Vertical: ± 0.8 m , Horizontal: $1.8 \pm$ m
Velocidad Angular Máx.	Inclinación (Giro vertical): 250 °/s, Giro horizontal: 100°/s
Ángulo Máx. de Inclinación	20°
Código	Abierto



UNIVERSIDAD ANTONIO NARIO SEDE - VILLAVICENCIO

FICHA TECNICA DE ESPECIFICACIONES

NOMBRE DEL ELEMENTO: DRONE

CODIGO: 001

HOJA No.

2

DE

APLICACIONES:

Generar actividades en proyectos de investigación para desarrollo de drone con enfoque en el video y la fotografía.

Velocidad Máx. de Ascenso	4 m/s
Velocidad Máx. de Descenso	3 m/s
Resistencia al Viento Máx.	10 m/s
Altitud Máx. de Vuelo sobre el nivel del mar	2500 m
Velocidad Máx.	15 m/s (sin viento)

Control Remoto

Frecuencia de Funcionamiento	915 MHz
Distancia Máx. de Transmisión (sin obstáculos, libre de interferencias)	Según normas FCC: 5 km (3.1 millas)
Puerto de Salida de Vídeo	MICRO SD



UNIVERSIDAD ANTONIO NARIO SEDE - VILLAVICENCIO

FICHA TECNICA DE ESPECIFICACIONES

NOMBRE DEL ELEMENTO: DRONE

CODIGO: 001

HOJA No.

3

DE

APLICACIONES:

Generar actividades en proyectos de investigación para desarrollo de drone con enfoque en el video y la fotografía.

Soporte del Dispositivo Móvil	Compatible con Android implementando el ROTG01
Potencia de Salida	8W
Temperatura de Funcionamiento	13° to 100° F
Temperatura de Almacenaje	Menos de 3 meses: de -20° a 45° C Más de 3 meses: de 22° a 28° C
Temperatura de Carga	de 0° a 40° C

Batería

Modelo	Turnigy
Capacidad	5200 mAh
Voltaje	11.6 V
Tipo	Lipo 3S
Energía	99Wh
Peso Neto	500 g
Temperatura de Funcionamiento	de -10° a 40° C
Temperatura de Almacenaje	Menos de 3 meses: de -20° a 45° C
Temperatura de Carga	de 0° a 40° C

Anexo I.

PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DEL DRONE

Anexo I. Presupuesto para la elaboración del dron

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
INGENIERIA INDUSTRIAL



ANEXO. PRESUPUESTO PROYECTO DE GRADO

TIPO DE RECURSO	RECURSO	VALOR (en miles de pesos)					CONTRAPARTIDAS						
		Und	Cant	MXN	Valor/Und	TOTAL	Monetario			Especie			
							PROPIO	UAN	OTRO	PROPIO	UAN	OTRO	
Recursos humanos	Honorarios del investigador 1	Hora			\$ -	\$ -	\$ -				\$ -		
	Honorarios del Director de tesis	Hora			\$ -	\$ -	\$ -				\$ -		
	Honorarios de Asesor especializado	Hora	1	500	\$ 87.500	\$ 87.500	\$ 87.500						
Equipos	Computador	Mes	1		\$ -	\$ -	\$ -						
	Internet	Mes	1		\$ -	\$ -	\$ -						
	Impresora 3D	Mes	1		\$ -	\$ -	\$ -						
Software	Software especializado	Mes	1		\$ -	\$ -	\$ -						
	Utilización software especializado	Mes	1		\$ -	\$ -	\$ -						
Compuestos mecánicos	Hélices Fibra Carbono	Hora	2	365	\$ 63.875	\$ 127.750	\$ 127.750						

	Gimbal Estático Sysma X8	Hora	1	289	\$ 50.575	\$ 50.575	\$ 50.575					
	Placa antivibración	Hora	1	157	\$ 27.475	\$ 27.475	\$ 27.475					
	Cámara Deportiva eken H9r	Hora	1	1500	\$ 262.500	\$ 262.500	\$ 262.500					
Compuestos Electrónicos	Control Remoto	Hora	1	1500	\$ 262.500	\$ 262.500	\$ 262.500					
	Telemetría	Hora	1	997	\$ 174.475	\$ 174.475	\$ 174.475					
	Batería Lipo 3s	Hora	1	1300	\$ 227.500	\$ 227.500	\$ 227.500					
	ESC	Hora	4	120	\$ 21.000	\$ 84.000	\$ 84.000					
	Kit Pixhawk	Hora	1	2000	\$ 350.000	\$ 350.000	\$ 350.000					
	1 kit 4 Motores Brushless 2212 920 Kv	Hora	1	1500	\$ 262.500	\$ 262.500	\$ 262.500					
	PDB, tuercas y tornillos	Hora	1	600	\$ 105.000	\$ 105.000	\$ 105.000					
Servicios	Asesorías	Hora	1		\$ -	\$ -	\$ -					
	Traducciones	Hora	1		\$ -	\$ -	\$ -					
	Capacitaciones	mes	1		\$ -	\$ -	\$ -					
	Laboratorios	mes	1		\$ -	\$ -	\$ -					
	Pruebas, ensayos o análisis	mes			\$ -	\$ -	\$ -					

	Seguros	Hora			\$	\$	\$					
Materiales	ABS	Hora	1	300	\$ 52.500	\$ 52.500	\$ 52.500					
	Baquelita		2	120	\$ 21.000	\$ 42.000	\$ 42.000					
	Kit Tornillo		1		\$ -	\$ -	\$ -					
	PLA Alta Resistencia 1,75	Hora	1	300	\$ 52.500	\$ 52.500	\$ 52.500					
Papelería y varios	Fotocopias/ impresiones	Hora	200		\$ -	\$ -	\$ -					
	Textos especializados	Hora	1		\$ -	\$ -	\$ -					
	Empastado	Hora	2		\$ -	\$ -	\$ -					
					SUBTOTALES	\$ 2.168.775	\$ 2.168.775	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
										TOTAL RECURSOS EN ESPECIE	\$ -	
										TOTAL RECURSOS MONETARIOS	\$ 2.168.775	
										IMPREVISTOS	10%	\$ 216.878
										TOTAL PRESUPUESTO	\$ 2.385.653	