

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
INGENIERÍA EN DISEÑO DE PRODUCTOS  
VALPARAÍSO – CHILE**



**“APLICACIÓN DEL MÉTODO RED DE PROBLEMAS OTSM-TRIZ PARA  
LA IDENTIFICACIÓN DE MEJORAS EN EL PROCESO DE RE-DISEÑO  
DE DRONES”**

**JAVIERA PAZ SILVA GHIO  
TRABAJO DE TÍTULO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO EN DISEÑO DE  
PRODUCTOS  
CHRISTOPHER NIKULIN  
JULIO – 2018**

## AGRADECIMIENTOS

Después de tantos años y experiencias vividas en esta universidad, existen muchas personas a las que hay que agradecer, tantas que tendría que hacer otra memoria solo para nombrarlas a todas.

Sin embargo, siempre existen esas personas que se destacan en el camino y no se pueden olvidar, y yo tuve la suerte de conocer a muchas de ellas y quiero aprovechar este espacio para agradecerles.

En primer lugar, a mi familia. Papá y mamá, gracias por nunca perder la fe en mí, por siempre tratar de apoyarme y ayudarme en cada entrega o tarea, aunque a veces no tuvieran idea de cómo hacerlo, sus palabras de aliento y opiniones (positivas o negativa) siempre me daban el impulso que necesitaba. Gracias por nunca perder la paciencia y siempre acompañarme en todo este camino. A mi hermana, gracias por siempre escucharme y aconsejarme. A ustedes, las tres personas que más quiero en este mundo, gracias.

A mi primi bella, Cata. La que estuvo en cada crisis existencial (que no fueron pocas), la que me tuvo paciencia cuando andaba de malas, la que siempre me hizo tirar para adelante haciéndome sentir la persona más inteligente del mundo. Agradezco al universo por haberme hecho tu prima.

A mis nenas: Tuni, Paula María, Sabrina María y Caro. Compañeras de clase que rápidamente se convirtieron en amigas confidentes he

irreemplazables. Personas con las que he crecido personal y profesionalmente. Gracias por siempre apoyarme y creer en mí cuando yo perdía todas las esperanzas. Gracias por todos esos fines de semanas de estudios en los que hasta los vecinos celebraban, pero nosotras siempre con la mente puesta en la materia. Pero aún más agradecida estoy por todas esas celebraciones y mojitos después de cada semestre difícil. Gracias al universo por ponernos a todas en el mismo camino. Las amo.

A mi Dani Fields, la mejor compañera de aventuras que podría haber imaginado. Gracias por haber convertido un año que pudo haber sido un desastre, en uno de los más memorables de la vida. Gracias por haber sido la compañera de viajes más apañadora, tu alegría y buena onda se contagia.

Finalmente, agradezco a la profe Gaby, una de las profesoras que más me hizo crecer profesionalmente, gracias por todos sus consejos. A Jorge Maggiolo, que siempre estuvo para dar su consejo y siempre con una sonrisa. También agradezco al profe Nikulin, por su paciencia infinita y por siempre presionarme a hacer las cosas mejor.

Gracias a todos, los que llegaron desde el principio, los que se fueron sumando en el camino y los que llegaron recientemente, todos ustedes me ayudaron a llegar a este punto, mil gracias.

## RESUMEN

La tecnología de los drones ha tenido un crecimiento explosivo estos últimos años, los nuevos avances en la tecnología han permitido crear dispositivos cada vez más avanzados, los que pueden ser utilizados tanto en áreas profesionales como también recreativas.

Aun cuando existe una enorme variedad de productos en el mercado civil de drones, este no siempre puede satisfacer a todos sus clientes. Esto ha llevado a los entusiastas de esta tecnología, a modificar sus propios drones, para lograr todos los propósitos y funciones específicos que ellos necesiten.

Sin embargo, al realizar este tipo de proyectos, es muy probable encontrarse con gran cantidad de dificultades en el proceso, lo que genera un desarrollo lento y accidentado. Es así, como esta memoria de título propone una metodología basada en el método sistemático de Pahl & Beitz, el cual cuenta con varias herramientas para generar un proceso de desarrollo de productos. De estas, principalmente se destaca el método OTSM-TRIZ, del que surge la herramienta de Red de Problemas, la cual identifica problemas en el desarrollo y permite proponer posibles soluciones al momento del proceso de rediseño de un dron.

Para validar esta metodología se presenta su respectiva aplicación en el rediseño de un dron IRIS+ para el proyecto Wild Fire Watch, el que se propuso desarrollar drones que permitan el monitoreo y análisis de incendios forestales. Al

aplicar la metodología surgieron varias soluciones, las que fueron materializadas y ensambladas al dron, para luego ser puestas a prueba en ensayos de vuelo con el dron.

Al finalizar el proceso, se realizó una evaluación de todas las soluciones aplicadas y de cómo estas cumplieron los requerimientos solicitados por Wild Fire Watch. Gracias a este punto se pudo verificar que la metodología en conjunto con la utilización de la Red de Problemas OTSM-TRIZ generó soluciones adecuadas que facilitaron el proceso de desarrollo y cumplieron con los requisitos del cliente.

## GLOSARIO

**WFW:** Wild Fire Watch, proyecto desarrollador de drones capaces de monitorear y analizar un incendio forestal.

**UAV:** Unmanned Arial Vehicle, taducido al español significa Vehiculo Aereo No Tripulado, conocido coloquialmente como dron.

**SAPB:** Abordamiento Sistemático a la Ingeniería de Pahl & Beitz.

**TRIZ:** Teoría de resolución de problemas inventiva.

**OTSM-TRIZ:** Teoría del pensamiento poderoso.

**RdP:** Red de Problemas, herramienta del OTSM-TRIZ que permite desglosar problemas complejos para convertirlos en sub-problemas más simples.

**CAD:** Computer Aided Design que traducido al español significa Diseño asistido por Computadora. Corresponde al uso de softwares para la realización de dibujos 2D, modelados 3D y simulaciones.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	1
RESUMEN .....	3
GLOSARIO.....	5
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	6
ÍNDICE DE TABLAS .....	8
ÍNDICE DE FIGURAS .....	9
1. INTRODUCCIÓN .....	11
2. OBJETIVOS .....	13
2.1    Objetivos generales.....	13
2.2    Objetivos específicos .....	13
3. ESTADO DEL ARTE.....	14
3.1    Métodos de diseño de productos ....	15
3.1.1    Pahl & Beitz (1977) .....	15
3.1.2    Benchmarking .....	16
3.1.3    TRIZ.....	16
3.1.4    OTSM-TRIZ.....	17
3.2    UAV, vehículos aéreos no tripulado	19
3.2.1    Comienzos de los UAV .....	21
3.2.2    Clasificación .....	24
3.2.3    Aplicaciones .....	26
3.2.4    Desarrollo de la tecnología UAV .	28
4. METODOLOGÍA PROPUESTA.....	29

4.1	Primera etapa: Identificación de requerimientos .....	31	5.1.4	Definición de tareas.....	40
4.1.1	Análisis del contexto .....	31	5.1.5	Lista de requerimientos .....	41
4.1.2	Análisis tipo Benchmarking .....	31	5.2	Segunda etapa .....	42
4.1.3	Propuestas de producto .....	31	5.2.1	Identificación de problemas.....	42
4.1.4	Definición de tareas .....	31	5.2.2	Desarrollo de posibles soluciones	43
4.1.5	Lista de requerimientos .....	31	5.2.3	Definición de diseño conceptual .	54
4.2	Segunda etapa: Diseño conceptual	31	5.3	Tercera etapa .....	55
4.2.1	Identificación de problemas.....	31	5.3.1	Modelos 3D de las soluciones.....	55
4.2.2	Desarrollo de posibles soluciones	32	5.3.2	Prototipado .....	57
4.2.3	Definición de diseño conceptual..	32	5.4	Cuarta etapa.....	61
4.3	Tercera etapa: Desarrollo de soluciones .....	32	5.4.1	Testeo previo a pruebas de vuelo	61
4.3.1	Modelo 3D de la solución .....	32	5.4.2	Pruebas de vuelo .....	63
4.3.2	Prototipado .....	32	5.4.3	Evaluación de soluciones propuestas .....	64
4.4	Cuarta etapa: Testeo.....	32	6.	CONCLUSIONES .....	70
4.4.1	Testeo previo a pruebas de vuelo	32	7.	BIBLIOGRAFÍA .....	72
4.4.2	Pruebas de vuelo.....	32	8.	ANEXOS .....	76
4.4.3	Evaluación de soluciones .....	33	8.1	ANEXO 1: Modelo de Pahl & Beitz .	77
5.	CASO DE ESTUDIO .....	34	8.2	ANEXO 2: Análisis tipo Benchmarking	78
5.1	Primera etapa .....	35	8.3	ANEXO 3: Desarrollo de Red de Problemas.....	80
5.1.1	Análisis de contexto.....	35			
5.1.2	Análisis tipo Benchmarking .....	38			
5.1.3	Propuesta de producto .....	40			

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: Tabla comparativa entre drones de ala fija y ala rotativa. ....	25
TABLA 2: Asignación de niveles de satisfacción/cumplimiento. ....	33
TABLA 3: Descripción de dispositivos que se deben incorporar al dron. ....	37
TABLA 4: Clasificación de recursos TRIZ.....	38
TABLA 5: Benchmarking realizado a productos similares. ....	39
TABLA 6: Requerimientos principales para el desarrollo de la solución .....	41
TABLA 7: Desarrollo de posibles soluciones de esquema N°3.....	49
TABLA 8: Desarrollo de posibles soluciones de esquema N°3.....	53
TABLA 9: Listado de posibles soluciones evaluadas. ....	67
TABLA 10: Análisis del cumplimiento de requerimientos.....	69

# ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: Ejemplo del desarrollo de una red de problemas (RdP) donde PB corresponde a los problemas y PS a las posibles soluciones .....	18
FIGURA 2: Características básicas de los drones. ....	20
FIGURA 3: Aeronave no tripulada Hewitt-Sperry. ....	22
FIGURA 4: Aeronave no tripulada Ryan Firebee. ....	22
FIGURA 5: Aeronave de ala giratoria Westland Wisp.....	23
FIGURA 6: Drone Predator. ....	24
FIGURA 7: Algunos tipos de aplicaciones de drones. ....	27
FIGURA 8: Metodología propuesta para evaluar el proceso y desarrollo del diseño de producto	30
FIGURA 9: Dron IRIS+. ....	36
FIGURA 10: Dimensiones generales dron IRIS+. ....	36
FIGURA 11: Esquema de Red de Problemas de la problemática presentada por WFW.....	42
FIGURA 12: Primera parte de la red de problemas.....	43
FIGURA 13: Segunda parte de la red de problemas.....	44
FIGURA 14: Tercera parte de la red de problemas.....	46

FIGURA 15: Cuarta parte de la red de problemas. .....	50	FIGURA 27: Instalación de piezas en el dron. 61
FIGURA 16: Diseño conceptual de modificación dron IRIS+. ....	54	FIGURA 28 :Dron Iris+ modificado. (a) dron ensamblado (b) RaspiCam y puerto USB (c) Antena Wifi. ....
FIGURA 17: Modelo 3D de la extensión final para el dron IRIS+. ....	55	FIGURA 29: Dones IRIS+ (derecha) e IRIS++ (izquierda). ....
FIGURA 18: Modelos 3D de soportes de los dispositivos añadidos al dron. (a) soporte RaspberryPi (b) carcasa Raspicam (c) soporte antena Wifi. ....	56	FIGURA 30: Dron IRIS++ en las primeras pruebas de vuelo. ....
FIGURA 19: Modelo 3D de ensamble de piezas. FIGURA 20: Modelo 3D de dron Iris+ modificado. .....	56	FIGURA 31: Modelo 3D de IRIS++ ..... 64
FIGURA 21: Primer prototipo de extensión para dron Iris+. (a) Proceso impresión de la pieza (b) Extensión instalada en el dron (c) Revisión de calces e interferencias. ....	57	FIGURA 32: Representación esquemática de evaluación realizada en tabla 9. .... 68
FIGURA 22: Falla de impresión de la extensión. .....	58	
FIGURA 23: Protección de impresora 3D (a) Impresora sellada con tapa frontal (b) protección extra a la impresión. ....	59	
FIGURA 24: Falla de la boquilla extrusora. ....	59	
FIGURA 25: Piezas impresas. (a) Distintos prototipos y piezas fallidas (b) pieza impresa correctamente (c) pulido de piezas. ....	60	
FIGURA 26: Piezas ensambladas (a) RaspiCam y antena ensambladas a extensión (b) Base Raspberry ensamblada en extensión. ....	60	

# 1. INTRODUCCIÓN

El término dron se ha escuchado con mucha fuerza estos últimos años, sin embargo, la idea de una aeronave no tripulada viene desarrollándose desde hace bastante tiempo.

Inicialmente concebidos para el área militar, sus primeros indicios remontan al 1849, cuando los austriacos bombardearon con globos aerostáticos a la ciudad de Venecia, lo que da señales de la aspiración del hombre de esos tiempos en crear vehículos aéreos no tripulados, de la misma forma, en los años siguientes se desarrollaron una serie de aeronaves sin piloto que se utilizaban en guerras, como también cometas equipadas con cámaras que permitieron las primeras fotografías de reconocimiento aéreo para la vigilancia del enemigo. Pero no fue hasta 1898, que Nikola Tesla demostró el mando a distancia de vehículos, que se hizo un verdadero acercamiento a los reales antecesores del dron que conocemos hoy en día (Hernando, 2018).

Este descubrimiento revolucionario que fue el radio control permitió el desarrollo de más aeronaves no tripuladas que fueron principalmente construidas durante la segunda guerra mundial, en un intento de crear nuevas formas de atacar y obtener información del adversario sin sacrificar vidas de pilotos al atravesar las líneas enemigas (Yilmaz, 2015).

Como se puede ver, los esfuerzos de desarrollo de esta tecnología comenzaron en el área militar, lo que sigue siendo así, sin embargo, gracias a la diversificación en los avances

tecnológicos, los drones han logrado introducirse fuertemente en el área civil, debido a su flexibilidad de usos y sus precios cada vez más accesibles.

Es tanto el impacto que ha provocado la inserción del dron en la sociedad, que empresas como Amazon han planteado su uso para generar entregas a domicilio de productos adquiridos en su página web en 30 minutos o menos (Amazon, 2016). Otro ejemplo es la empresa EHang, que actualmente trabaja en el desarrollo de un dron gigante destinado al transporte de pasajeros (EHANG, 2016).

Tal como grandes empresas comienzan a buscar nuevos usos para estos aparatos, los usuarios aficionados a esta tecnología también lo hacen. El dron, que en un comienzo se desarrolló con fines bélicos y de espionaje, hoy tiene un sinfín de usos, los que pueden ir desde la utilización de ellos como juguete, fotografía y grabación, vigilancia, educación y un sinfín de otras posibilidades.

Para adaptarse a estos cambios tan rápidos, las grandes empresas han tenido que desarrollar nuevas formas de obtener información de sus clientes y posibilitar la creación de nuevas soluciones que les sean útiles. 3D Robotics, Parrot y DJI, abrieron sus puertas y apostaron por el "Open Source" permitiendo que los usuarios modifiquen libremente características de los drones según sus necesidades (Rao et al., 2016).

Dada la gran cantidad de modificaciones que pueden sufrir los drones que venden en el mercado (dependiendo de las aplicaciones que se le quiera dar), proponemos a la Red de Problemas de OTSM-TRIZ (Khomenko, 2007), como una herramienta que anticipa problemas al momento de generar un rediseño de dron.

Esta memoria expone una metodología de 4 pasos estructurados, basados en el desarrollo de productos SAPB (Pahl & Beitz, 1977), que, en conjunto con otras metodologías y herramientas de desarrollo de productos, permitirán comprobar si la Red de Problemas puede ser utilizada como una herramienta de anticipación de problemas.

En la primera etapa se realizará un análisis de contexto, que permitirá recabar todos los requerimientos del cliente y producto.

Luego, en la segunda etapa se desarrollará el diseño conceptual, donde la red de problemas será utilizada para generar posibles soluciones en el rediseño del dron.

En la tercera etapa se implementarán las soluciones obtenidas del desarrollo de la red, generando modelados 3D con herramientas CAD.

En la cuarta etapa se evaluarán las decisiones tomadas en el proceso de diseño, para verificar el nivel de éxito que tuvieron las implementaciones realizadas.

Como último paso, se realiza un capítulo de conclusiones y recomendaciones.

## 2. OBJETIVOS

A continuación, se detalla el objetivo general y los objetivos específicos del presente trabajo de título, que deberán ser desarrollados.

### 2.1 Objetivos generales

Desarrollar una solución plausible, para ser integrada con drones, a través de la utilización de manufactura aditiva. Realizar un estudio que permita probar que la de la Red de Problemas OTSM-TRIZ se puede utilizar como una herramienta que anticipe dificultades.

### 2.2 Objetivos específicos

- Utilizar OTSM-TRIZ para generar una solución plausible para la modificación de drones.
- Desarrollar una contribución de OTSM-TRIZ para mejorar la creación de soluciones conceptuales en el proceso de diseño.
- Desarrollar un prototipo a través de sistemas de manufactura aditivas, para mejorar sistemas de monitoreo y navegación del dron IRIS+.
- Validar la solución en contexto real que demuestre la factibilidad técnica de la solución.

### 3. ESTADO DEL ARTE

El objetivo principal de este capítulo es dar una breve introducción al contenido que se expondrá en esta memoria, con el fin de dar al lector un mejor entendimiento de lo que conlleva el proceso de diseño y desarrollo de un producto.

En específico, en este capítulo se hablará de dos temáticas que darán sustento al desarrollo de la metodología y la aplicación. La primera de ellas es el análisis de distintas metodologías, las que ayudaran a armar el proceso de desarrollo que se realizara en esta memoria. La segunda está relacionada al producto que se desea rediseñar, el dron. Aclarando su estructura básica, historia, características, aplicaciones y finalmente como este campo se va desarrollando y tratando de adaptar a sus clientes.

Explicando todo lo anterior es que se podrá dar paso a la metodología y posteriormente al caso de estudio.

### 3.1 Métodos de diseño de productos

Una de las características más básicas de los humanos, es que ellos pueden crear una amplia variedad de herramientas y artefactos para satisfacer sus necesidades y cumplir sus propósitos (Cross, 2008). Sin embargo, con el paso del tiempo, estos propósitos han cambiado y se han transformado, haciéndose cada vez más complejos, lo que ha generado la necesidad de crear mejoras en el proceso de diseño, originando todo un campo de estudio.

Diseñadores e ingenieros han tomado este desafío, aplicando sus conocimientos y experiencia para generar soluciones adecuadas a las problemáticas planteadas en la actualidad. Una de las formas en que los están logrando es a través del uso de metodologías de diseño.

El termino, métodos de diseño, describe cualquier proceso, técnica, ayuda o herramienta útil para el proceso del diseño de un producto, representando las distintas actividades que el diseñador puede combinar para la generación de un proceso de diseño de productos (Green & Bonollo, 2002), logrando nuevas formas de potenciar la eficiencia del diseño.

Existe una gran variedad modelos, los que tienen distintas maneras de abarcar problemáticas, sin embargo, todos concuerdan en que hay que mejorar el proceso de diseño. Según Cross (2008) existen dos tipos de modelos: descriptivos y prescriptivos. Los modelos descriptivos proponen una secuencia

de actividades que ocurren en el diseño, dentro de los cuales se encuentra el modelo básico y el modelo de French. En cuanto a los modelos prescriptivos, entregan pautas para desarrollar las fases del proceso, enfatizándose en el trabajo analítico que es necesario para la generación de conceptos de soluciones como los métodos Archer, Pahl & Beitz, entre otros (Cross, 2008).

Ya teniendo una definición básica de lo que son las metodologías, junto con la explicación la forma de clasificación se puede dar comienzo a la definición de algunas de las metodologías que se aplicarán en este proyecto.

#### 3.1.1 Pahl & Beitz (1977)

El llamado abordamiento sistemático a la ingeniería en diseño de Pahl & Beitz o SAPB, por sus siglas en inglés, fue desarrollado en los años 70 por los profesores alemanes Pahl y Beitz, el que llegó a convertirse en uno de los métodos más aceptados internacionalmente (Malmqvist et al., 1996).

SAPB manifiesta que la resolución de problemas de diseño es una variante de la resolución de problemas en general. Cuando se diseña, generalmente se sigue un camino con ciertas actividades fundamentales- formulación de problemas y requerimientos, búsqueda de alternativas, evaluación, documentación y comunicación de los resultados. Todo esto acompañado de otras metodologías de diseño que apoyen el proceso (Malmqvist et al., 1996).

Es así, que esta metodología propone una sistematización del proceso de diseño, el cual se basa en cuatro bases, las que se explican a continuación (Pahl & Beitz, 2007):

**Clarificación de la tarea:** recoger información sobre los requerimientos, para que estos sean incorporados en la solución y también en los límites del diseño.

**Diseño conceptual:** se establecen estructuras funcionales, búsqueda de principios de soluciones adecuados; combinación de variantes de conceptos.

**Materialización:** a partir del concepto se genera la forma y distribución del producto.

**Diseño de detalle:** Arreglos, formas, dimensiones y propiedades de las superficies; especificación de materiales; dibujos y documentos.

### 3.1.2 Benchmarking

Benchmarking es el proceso de medirse y compararse continuamente con organizaciones líderes en el área, obteniendo información que ayudara a identificar e implementar mejoras (Andersen & Pettersen, 1995). Sin embargo, este método no solo es útil para la comparación con la competencia, también tiene el propósito de ser una herramienta de aprendizaje y mejora.

Se conocen distintos tipos de benchmarking, de ellos, los principales son tres: interno, competitivo y funcional. El interno se da

más frecuentemente en empresas grandes, las que cuentan con diversos departamentos o productos y buscan una comparación entre áreas. El competitivo se implementa cuando existe competencia agresiva y se centra en la comparación con los competidores más directos. Finalmente, está la funcional que se enfoca en los competidores no directos, como una comparación de una pequeña empresa con los líderes del rubro.

### 3.1.3 TRIZ

La Teoría Inventiva de Resolución de Problemas o TRIZ (por sus siglas en ruso), es una teoría creada por Genrich Altshuller el año 1946, basada en la investigación de cientos de miles de patentes y soluciones exitosas a problemas de todas las áreas del esfuerzo humano (Altshuller, 1984). El propósito de este método es mejorar la eficiencia de las actividades de resolución de problemas basándose en contradicciones, o diciéndolo de otra forma, mejorar la eficiencia en la actividad inventiva basada en limitaciones (Nikulin et al., 2016). La base fundamental de la metodología es la formulación de contradicciones, es cuando se genera un enfrentamiento entre dos aspectos conflictivos en un mismo sistema, este debe vencerse para lograr el mejoramiento sustancial de en el sistema.

Según Nikulin et al (2016), la arquitectura de TRIZ se basa en tres postulados:

- La existencia de “leyes” objetivas que describen la evolución de los sistemas técnicos
- la contradicción como el mecanismo básico detrás de la evolución de los sistemas
- la explotación de todos los recursos disponibles en una situación específica

A través de la evolución de TRIZ, fueron presentándose herramientas, basadas en el conocimiento técnico, que proveen recomendaciones para transformaciones de sistemas como también herramientas de análisis para definir, formular y modelar.

En esta memoria nos enfocaremos solo en una de las herramientas, el análisis de recursos. Esta herramienta es utilizada para dirigir la creatividad del usuario hacia los posibles recursos en una situación problemática (Mueller, 2005) lo que nos permitirá especificar y acotar las herramientas que se tengan al alcance al momento de estudiar el contexto de la situación.

Para la identificación de recursos es posible ayudarse por técnicas como el Brainstorming o similares, sin embargo, en este caso se explicará la clasificación de recursos a través de varias categorías ya establecidas. Según Altshuller (1985) estas son:

**Material:** Hace referencia a todo material disponible su para uso. Estos pueden incluir materia prima, materiales manufacturados, material de descarte, etc.

**Energía:** Cualquier tipo de energía interna como externa, que se pueda ocupar en el proceso.

**Información:** Es cualquier información perceptible. Incluyen propiedades del sistema y sus cambios, información temporal, etc.

**Tiempo:** Cualquier intervalo de tiempo relevante para la situación. Trabajos programados, itinerarios, etc.

**Espacio:** Se refiere a cualquier espacio libre que está disponible para su uso.

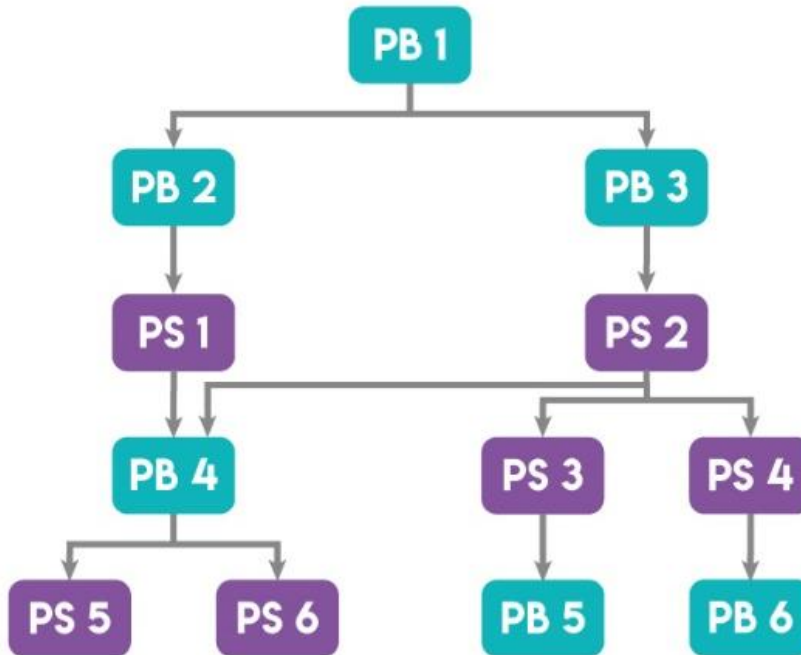
### 3.1.4 OTSM-TRIZ

La evolución de TRIZ ha dado paso a la aparición de nuevas metodologías, entre ellas esta OTSM-TRIZ. Propuesta por Nikolai Khomenko, tiene por objetivo la gestión de problemas más complejos e interdisciplinarios (Nikulín et al., 2016).

Este método propone ver un problema complejo como una red de varios problemas subyacentes más simples, o Red de Problemas (RdP), la que permite ver la situación actual del sistema y ayuda a entender los riesgos del proceso, permitiendo la anticipación de potenciales problemas y ayudando a mitigarlos. La generación de estas redes forma conexiones entre elementos, los que al ser comparados permiten medir y evaluar el impacto de las decisiones que pudieran tomarse, este paso se llama Red de Contradicciones o RdC (Nikulín et al., 2017).

En el caso de esta memoria, nos centraremos en la construcción de la RdP, utilizándola como herramienta de mapeo del proceso, pero además se utilizará como mecanismo de anticipación de problemas y generación de posibles soluciones, lo que deberían facilitar el proceso de diseño posterior, generando soluciones acertadas y de fácil implementación.

El proceso de construcción de una RdP comienza con un nodo que representa un problema (PB) del que luego se desprenden otros sub problemas o posibles soluciones (PS) los que arman una red. La línea entre ellos representa una relación causal (Nikulin et al., 2016) proporcionando una estructura jerárquica de la situación bajo análisis, además de entregar varias alternativas para solucionar o mitigar sub problemas. La figura 1 muestra un ejemplo del desarrollo de una RdP.



**FIGURA 1:** Ejemplo del desarrollo de una red de problemas (RdP) donde PB corresponde a los problemas y PS a las posibles soluciones

### 3.2 UAV, vehículos aéreos no tripulado

La aviación no tripulada abarca un amplio espectro de aeronaves y debido al gran desarrollo de estos en el área civil, se ha dificultado encontrar una definición que los abarque a todos. Es así como han surgido una variedad de términos que, con mayor o menor acierto, son utilizados para referirse a ellos. En el pasado fueron denominados RPA (Remotely Piloted Aircraft) o también UA (Unmanned Aircraft), en la actualidad fueron remplazados por el termino UAV (Unmanned Aerial Vehicle) o VANT, por sus siglas en español (Vehículo Aéreo No Tripulado) (Díaz, 2015), sin embargo, hoy son conocidos coloquialmente como drones.

Según el documento oficial “Joint Publication 1-02 Department of Defence Dictionary” editado por el Ministerio de Defensa de los Estados Unidos, un UAV se define como:

*“Un vehículo aéreo motorizado que no lleva a bordo a un operador humano, utiliza las fuerzas aerodinámicas para generar la sustentación, puede volar autónomamente o ser tripulado de forma remota, que puede ser fungible o recuperable, y que puede transportar una carga de pago letal o no. No se considera UAV a los misiles balísticos o semi-balísticos, misiles crucero y proyectiles de artillería”*

Además de los misiles y proyectiles citados, tampoco se consideran como UAV las naves que carezcan de control remoto, igualmente planeadores y globos aerostáticos,

debido a que no utilizan la generación de sustentación mediante fuerzas aerodinámicas (ICAO, 2011).

Actualmente, en el creciente mercado del dron, existen una enorme variedad de modelos, los cuales cambian en forma y tamaño dependiendo del uso que se les quiera dar (Schreiber & Ostiari, 2014). Existen drones que imitan a la naturaleza, como el Delfly Explores, un pequeño dron que asemeja una libélula, el cual mide 30 cm de extensión y pesa 30 gr. De la misma forma existen drones más complejos que, por ejemplo, pueden contar con instrumentos especializados, tener motores de mayor capacidad o estar hechos de materiales más resistentes, ocasionando que sus dimensiones aumenten considerablemente, pudiendo llegar a los 40 metros de envergadura como el RQ-4 Global Hawk.

La mayoría de los UAV comercialmente disponibles tienen un diseño básico que consta de un microcontrolador que actúa como control de vuelo, de cuatro a ocho hélices, un receptor de radio, un control electrónico de velocidad y una batería, todo contenido en un marco que puede ser de plástico o metal. Adicionalmente, giroscopios y otros sensores son adicionados para mejor estabilidad de vuelo, también un dispositivo GPS puede ser usado para la navegación (Rao et al., 2016). También pueden contar cámaras de alta resolución e infrarrojas, para obtención de imágenes aéreas. Pero estas cualidades pueden variar dependiendo el uso

que se le quiera dar al dron, los que pueden ir desde un fin lúdico a la utilización del aparato para la guerra (Salgado, 2018).

En cuanto al control de estos vehículos, Lozano (2016) indica que dependerá del grado de complejidad o sofisticación con el que cuente el dron, donde puede ser operado por una persona, la cual controla el vuelo a través de un control remoto, o también puede ser operado por

varios pilotos desde un centro de mando donde se permita el adecuado control del equipo además del análisis de la información recibida (dependiendo de los equipos que tenga incorporado el dron). De la misma forma es posible, en vehículos más avanzados, la programación de un plan de vuelo, donde se le indica, vía coordenadas GPS, un recorrido para seguir automáticamente y sin intervención de un piloto.

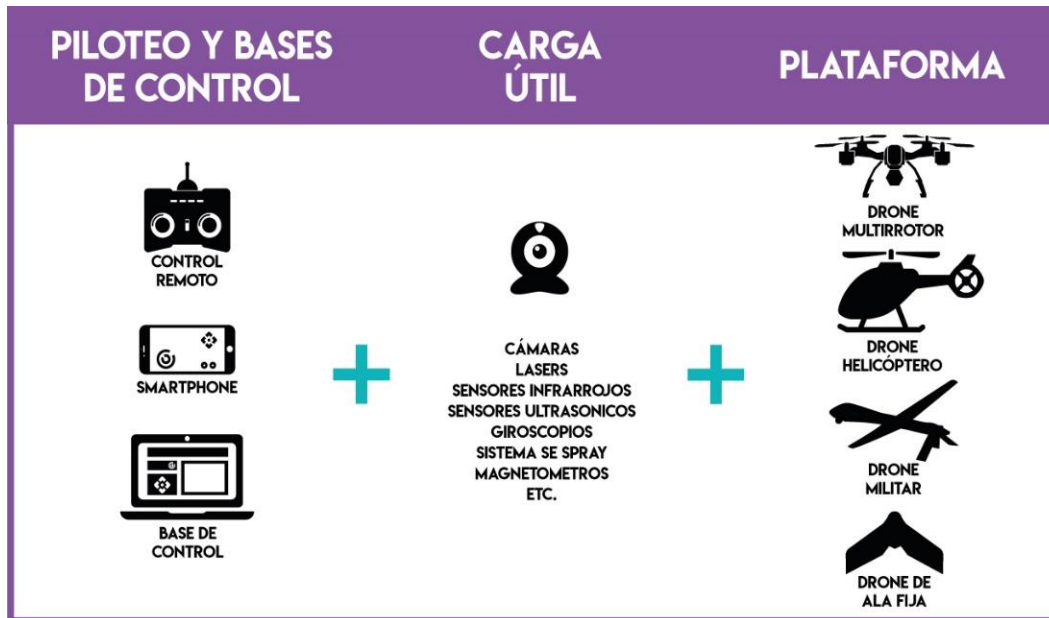


FIGURA 2: Características básicas de los drones.

La figura 2 muestra un pequeño resumen de las características que los UAV podrían tener, el tipo de control, carga útil y plataforma de vuelo.

En los siguientes puntos se profundizará sobre los aspectos ya mencionados, enfocándose principalmente en su historia, tipos de clasificación, principales aplicaciones y finalmente el camino que está tomando el desarrollo de esta tecnología.

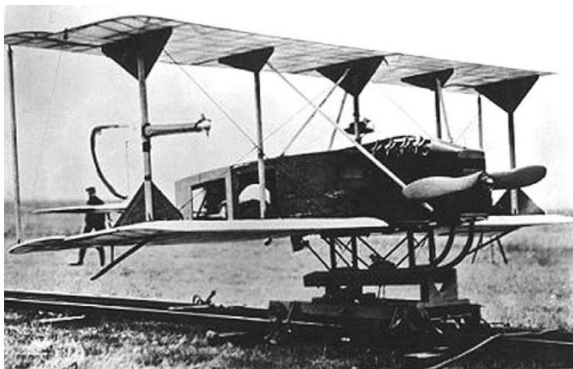
### 3.2.1 Comienzos de los UAV

Los primeros antecedentes del uso de aeronaves no tripuladas fueron hace casi 170 años atrás, cuando el ejército austriaco atacó con 200 globos aerostáticos no tripulados a la ciudad de Venecia. Dos décadas después de ese ataque, se inició el uso de globos similares para misiones de reconocimiento a enemigos y en la Guerra Hispano-Americana, se siguió con la práctica de vigilancia aérea, pero esta vez se equiparon unas cometas con cámaras para lograr unas de las primeras fotografías de reconocimiento aéreo (Hernando, 2018).

Pero no fue hasta 1898, cuando Nikola Tesla, a través de un submarino radio controlado que atravesó un lago en la ciudad de New York, demostró el mando a distancia de vehículos, que se hizo un verdadero acercamiento a los reales antecesores del dron que conocemos hoy en día (Newcome, 2004). Este descubrimiento revolucionario que fue el radio control, que permitió el desarrollo de más aeronaves no

tripuladas, principalmente desarrolladas con fines militares, en un intento de crear nuevas formas de abastecerse, atacar al enemigo y obtener información del adversario sin sacrificar vidas de pilotos al atravesar las líneas enemigas (Yilmaz, 2015).

La primera guerra mundial fue la época donde debutaron las primeras aeronaves no tripuladas, en 1909, Elmer Sperry fue la primera persona en colocar estabilización automática, control remoto y navegación autónoma a un avión (Newcome, 2004), sin embargo, los dispositivos agregados eran muy pesados, causando un comportamiento mediocre y poco confiable de la aeronave. En 1911, vuelve a internarlo con la ayuda de el pionero de la aviación, Glenn Hammond Curtiss, los que lograron mejorar y disminuir en tamaño todo el sistema de autopiloto, permitiendo el control del avión en tres ejes. Llamadas Hewitt-Sperry, torpedos lanzados con una catapulta que eran guiados con gran precisión a sus objetivos y luego después de una distancia predeterminada giraban y caían en picada con su carga de TNT, que era capaz de volar una población entera. El programa se extinguió luego de acabar la guerra en 1918 (Hernando, 2018).



**FIGURA 3:** Aeronave no tripulada Hewitt-Sperry.

Gracias a los avances hechos por Sperry, se siguieron desarrollando aeronaves bombarderas de largo alcance (precursores de los misiles crucero de hoy en día) tales como el torpedo aéreo Liberty Eagle o “Bug” y el blanco aéreo británico “A.T” (Aereial Target). Estos dos modelos sirvieron para seguir con el avance de la tecnología, tanto en materiales a usar como en el avance del uso de las señales de radio.

Durante la Segunda Guerra Mundial, los esfuerzos militares se centraron en el desarrollo de blancos aéreos, los que contaban con un control completo por radio, a pesar de lo limitado de su alcance en esa época. El “Queen bee”, desarrollado por Gran Bretaña, fue uno de los avances de esa época, que sirvió para la formación y entrenamiento de las fuerzas de artillería del ejército. A pesar de los avances, la tecnología de control remoto todavía no se encontraba totalmente desarrollada, producto de

esto hubo varios aviones estrellados y pilotos fallecidos.

Ya en la década de los 60 y 70, durante la Guerra Fría y de Vietnam, la tecnología y los sistemas de radio control evolucionaban cada vez más, permitiendo la creación de blancos aéreos más rápidos y de mayor alcance, lo que llevó al auge de las misiones de reconocimiento, equipando a los blancos aéreos con cámaras, posibilitando la inspección de territorio enemigo. Estos “intrusos” eran difíciles de detectar y a la vez difíciles de derribar, por lo que eran preferidos antes de aviones de reconocimiento tripulados. Uno de los más importantes fue el “Firebee” el cual podía mantener vuelo por 2 horas y alcanzar alturas de 18.000 metros.



**FIGURA 4:** Aeronave no tripulada Ryan Firebee.

Otro desarrollo importante fue el “Lockeed Aquila”, una aeronave de corto alcance que pretendía entregar información del campo de batalla en tiempo real, a través de una señal de video proveniente de la aeronave, sin embargo, el proyecto era demasiado ambicioso para la tecnología vigente en ese momento y no se pudo

completar exitosamente. Además del video en tiempo real, la nave debía ser capaz de volar mediante autopiloto, llevar sensores para localizar objetivos enemigos - de día y noche – utilizar un láser para apuntar objetivos para la artillería y finalmente sobrevivir a las defensas enemigas, todas estas cualidades que se podrían encontrar en los UAV actuales. Así como este proyecto hubo varios más desarrollados por Bélgica y Reino Unido entre otros.

En los años 80, estos vehículos se fueron diversificando y entrando en el campo del ala giratoria (similares a los helicópteros), estos también contaban con sensores y cámaras de reconocimiento, pero el alcance de estas aeronaves era corto. Durante esta época también se enfocaron en mejorar precisión y fiabilidad de los sistemas de control de vuelo incorporando sistemas de navegación y control de giro-estabilizado, junto con esto los sensores se fueron haciendo cada vez más sofisticados, ayudando al progreso de estas naves.



**FIGURA 5:** Aeronave de ala giratoria Westland Wisp.

Los años 90 trajeron consigo la mayor disponibilidad del sistema de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en ingles) y de las comunicaciones satélite, lo que libero a los drones de esa época de operar dentro del alcance de la señal de radio y de guiarse en datos inexactos basados en giroscopios y datos del aire. Así, junto con los sistemas digitales de control de vuelo, el alcance y precisión de navegación mejoraron apreciablemente. Como resultados se desarrollaron sistemas de medio y largo alcance, los más característicos son el “Seeker” y el “Gnat”, los dos utilizados en misiones de reconocimiento.

En esta década se destaca el desarrollo, por primera vez, de un modelo de producción a gran escala, que es del tipo de despegue y aterrizaje vertical (VTOL, por sus siglas en ingles), el Yamaha R50. El que es utilizado para la siembra de campos de arroz y fumigación.

Ya entrando a la década del 2000, los militares siguen utilizando y mejorando esta tecnología, desarrollando UAV cada vez más completos y especializados, esto llevó al desarrollo de aeronaves equipadas con armamento para generar una respuesta inmediata al enemigo si era necesario. Un ejemplo de esta tecnología es el “Predator 2” o “Reaper”



FIGURA 6: Drone Predator.

Otra entidad que mostro interés en estas aeronaves fue NASA, iniciando programas para el desarrollo de vehículos capaces de generar mediciones de tormentas eléctricas además recolección de imágenes aéreas de grandes terrenos, asistiendo a granjeros de Hawai con su cosecha (Wegener & Schoenung, 2003).

Durante esta época sigue incrementando el interés en los sistemas de despegue/aterrizaje vertical, debido a sus grandes ventajas en comparación a los de ala fija, relativas a la facilidad de uso en labores de vigilancia e identificación, como también a la simplicidad de lanzamiento y recuperación, lo que significa menos equipo de apoyo y menores tasas de perdida.

En los últimos años, el desarrollo militar ha seguido progresando, pero a este se la ha unido la tendencia del uso civil de drones, gracias a que el mercado de la robótica está en constante crecimiento, elaborando microprocesadores y componentes electrónicos cada vez más

económicos y complejos. Es así como esta tecnología está prosperando en distintas áreas, tanto como la agricultura, la cartografía, logística, seguridad, fotografía, y así muchas más. Los drones se están incorporando cada vez más a la vida cotidiana de la gente, ayudando y facilitando muchas tareas (Cuerno et al., 2016).

### 3.2.2 Clasificación

En el mundo de los drones se podrían establecer un sinfín de posibilidades para su clasificación, tales como: tamaño, forma de obtener la sustentación, alcance máximo (distancia y altura) tipo de motor, origen del diseño, forma de despegue, etc. Sin embargo, no se encontraron criterios normalizados para la clasificación de estos, por lo que se decidió seguir el orden que utilizo Díaz (2015), el cual destaco dos alternativas de clasificación de estas aeronaves, las que se presentan a continuación:

#### a) Dependiendo del origen de uso

Una forma de clasificarlos es dividiéndolos según la institución que les va a dar uso, las que pueden ser dos:

**Militar:** Utilizados con propósito militar. También conocidos como drones de combate, los que pueden estar equipados con armas.

**Civil:** Sin aplicación militar. Utilizados para realizar filmaciones, cartografía, lúdico, etc.

Dentro del área civil pueden existir otras subdivisiones, las que tendrán relación al tipo de uso o aplicación que se le dará al dron. Algunas de ellas serán mencionadas más adelante en las aplicaciones de los drones.

### b) Dependiendo el tipo de ala

Otra gran característica para clasificar a los drones es el tipo de ala que posee, las que pueden ser:

**Dron de ala fija:** Parecido a un planeador o avión pequeño.

**Dron de ala rotativa:** puede ser tipo helicóptero o multirroto.

	Ala Fija	Ala Rotativa
<b>Vuelo</b>	A altitud y velocidad	Estacionario y estable
<b>Maniobrabilidad</b>	Menor	Mayor
<b>Autonomía</b>	Mayor	Menor
<b>Energía</b>	Eléctrica/ Explosión	Eléctrica/ Explosión
<b>Carga Útil</b>	Menor	Mayor

**TABLA 1:** Tabla comparativa entre drones de ala fija y ala rotativa.

La elección sobre uno u otro depende del usuario y el tipo de misión u objetivo que pretenda realizar. Por ejemplo, en aquellos casos donde se requiera que el dispositivo realice maniobras en forma estacionaria y/o a baja velocidad, el dron más adecuado sería el de ala

rotativa. En cambio, si se desea utilizar estos dispositivos para realizar vuelos a velocidades y alturas superiores, por ejemplo, para recolectar datos cartográficos, la opción sería optar por los drones de ala fija (Addati & Pérez, 2014) En la tabla 1 se pueden apreciar algunas de las características de estos dos tipos de drones.

Cabe destacar que, en el ámbito militar, el tipo de dron más utilizado es el de ala fija (Mora, 2015), esto debido a la naturaleza de las tareas que se deben realizar, que en mayor medida son de reconocimiento y ataque al enemigo, los cuales requieren vuelos a grandes altitudes y largas distancias. Sin embargo, el dron multirroto está cada vez más presente en el área militar, debido a todos los avances tecnológicos sucedidos este último tiempo, que los han hecho más confiables y poderosos (Agrawal & Shrivastav, 2015).

Finalmente, dentro de la categoría de ala rotativa, existe otra subdivisión, la cual separa a los drones según el número de hélices que este tenga (Díaz, 2015). A continuación, se mencionan algunas posibilidades:

- Helicópteros de 1 hélice
- Tricópteros de 3 hélices
- Quadcópteros de 4 hélices
- Hexacópteros de 6 hélices
- Octocópteros de 8 hélices

Los UAV llamados tipo helicópteros, tienen la fisionomía de un helicóptero convencional, más su tamaño es mucho más pequeño. Estos generalmente están compuestos por un motor a combustión, lo que le entrega una gran capacidad de carga y autonomía (Sato, 2003). Estos no han logrado la misma popularidad que otros UAV, debido a su compleja mecánica, lo que los ha hecho menos accesibles al público en general. Sin embargo, estos modelos suelen ser utilizados para tareas más específicas como fotogrametría o también agricultura de precisión (Sánchez, 2017).

Por otro lado, están los drones tipo multirrotor, que son los más populares en el mercado de hoy en día (Dai et al., 2016). Se les llama tipo multirrotor cuando los drones tienen 2 o más hélices para elevar su vuelo. El vuelo de este dron es de los más estables (Agrawal & Shrivastav, 2015) entre toda la variedad de UAV's mencionada. Pueden venir en varias configuraciones, pero los más populares son los quadcopter, debido a su simplicidad y fácil manejo, seguido por los hexacopter y octacopter, los cuales, debido a su mayor cantidad de hélices, cuentan con un vuelo mucho más estable que los demás multirrotos, además de un poder de elevación más potente. Estas características los hacen más aptos para labores de precisión (Mora, 2015).

### 3.2.3 Aplicaciones

Mientras los primeros drones fueron diseñados exclusivamente para el área militar, como se explicó en puntos anteriores, actualmente estos vehículos ya no están confinados solo a estas funciones. Estas aeronaves están cada vez más presentes en el ámbito civil, siendo herramientas útiles en las áreas de vigilancia, intervención o asistencia para distintas instituciones como policías y bomberos (Schreiber & Ostiari, 2014). De la misma forma pueden llegar a ser un instrumento muy valioso para investigadores, entregando un apoyo técnico de una forma más eficiente, en comparación con el que contaban anteriormente (Salgado, 2018).

El mercado no se ha quedado atrás y ha comenzado a desarrollar, cada vez en mayor medida, drones con aplicaciones comerciales para variados ámbitos: juguetes altamente tecnológicos, cámaras de alta resolución y recolectores de información para especialistas.

Schreiber y Ostiari hablan del dron como un objeto "Multipropósito, eficiente y económico" el cual "ha tenido un éxito considerable en el ámbito civil", tanto con el público en general (drones de ocio) como una tecnología alternativa o como fuente de soluciones innovadoras en un contexto profesional, esto debido a que "los drones pueden hacerse útiles en un amplio rango de ámbitos".

En la figura 7 se muestra un esquema de tipos de aplicación que se les puede dar a un dron, a continuación, se explicaran algunos de ellos:



FIGURA 7: Algunos tipos de aplicaciones de drones.

**Fotografía y filmación:** Es la aplicación más común que le dan los consumidores civiles, especialmente fotógrafos que los utilizan por su relativa facilidad de manejo, agilidad y bajo costo. Su utilización va desde fotógrafos amateurs hasta los grandes estudios de Hollywood, realizando escenas antes imposibles de imaginar (Gamerman, 2015).

**Educación:** Han sido utilizados como una herramienta para enseñar robótica, programación y física de una manera simple y

divertida. Flybrix es un ejemplo del uso de esta tecnología en los colegios de Estados Unidos, donde se utilizan Legos (piezas modulares), dispositivos electrónicos y aplicaciones para celulares para crear en 15 minutos un dron funcional.

**Logística:** Esta aplicación ha ganado interés en los últimos años, especialmente en el área de servicios de correo o envíos. Grandes empresas como Amazon y DHL están interesadas en el uso de drones para la entrega de paquetes en cortos periodos de tiempo.

**Desastres naturales y emergencias:** En situaciones de emergencia ha mostrado ser una herramienta muy útil. Utilizado para reconocimientos e investigación de desastres naturales, como incendios forestales (Nitrofirex) y avalanchas. También puede ser utilizado como dispositivo de carga para trasladar elementos de emergencia de un lugar a otro.

**Protección ambiental:** El uso de drones ha incrementado considerablemente en este campo los últimos años. Han sido utilizados para vigilar parques nacionales y terrenos agrícolas, seguimiento de la vida silvestre, observación de los efectos del cambio de clima, monitoreo de biodiversidad en diferentes ecosistemas, entre otros.

**Agricultura:** Utilizados principalmente para esparcir pesticidas y fertilizantes en grandes terrenos rurales. Un ejemplo en Chile es la empresa Dron Fumigador Chile, que entrega el

servicio de fertilización de grandes terrenos, idea que nació por la falta de mano de obra para estos tipos de trabajos en la actualidad, además de la mejora de la efectividad y rapidez del proceso.

### 3.2.4 Desarrollo de la tecnología UAV

Los avances en la fabricación, navegación, capacidad de control remoto y fuentes de poder han hecho posible el desarrollo de una amplia variedad de drones que pueden ser utilizados en varias situaciones donde la presencia humana es difícil, peligrosa y hasta imposible.

Las considerables ventajas de los drones han llevado a generar miles de estudios que se enfocan en la optimización y mejora de su desempeño (Hassanalian & Abdelkefi, 2017).

Las empresas fabricantes de drones dirigen sus diseños a los distintos mercados donde esta tecnología se está utilizando (vigilancia, investigación, fotografía, etc.), por lo que el tamaño y equipo integrado es distinto en cada modelo dependiendo su uso final, lo que genera una gran diversidad de drones (Addati & Pérez, 2014) y de la misma forma, una gran variedad de precios, que pueden rondar desde los 50 dólares en un micro dron básico, pasando por los 700 dólares en un DJI Phantom standard o incluso los 250.000 dólares que cuesta un Intuitive Aerial Aerigon, utilizado para la grabación en alta definición de producciones para Hollywood.

Sin embargo, en el mercado internacional todavía no se ha creado un dron (de uso civil) que

tenga la suficiente flexibilidad como para cumplir con todas las aplicaciones existentes (Addati & Pérez, 2014). Es así como, para no quedarse atrás con la evolución de esta tecnología, los principales fabricantes como DJI, 3DRobotics y Parrot están acudiendo a los usuarios para el desarrollo de hardware y software de sus productos, generando plataformas “open source” donde los mismos usuarios desarrollan y modifican libremente características de los drones (Rao et al., 2016) y no se limita solo al desarrollo de software y hardware, el proceso de diseño también ha sido abierto a la comunidad, comunidades de diseño 3D que utilizan software de modelación digital y tecnología de manufactura aditiva, para compartir, probar y modificar diseños desarrollados por entusiastas de los drones. Esto permite a la industria entender un poco mejor a sus usuarios y entregarles la tecnología que ellos necesitan (Rao et al., 2016).

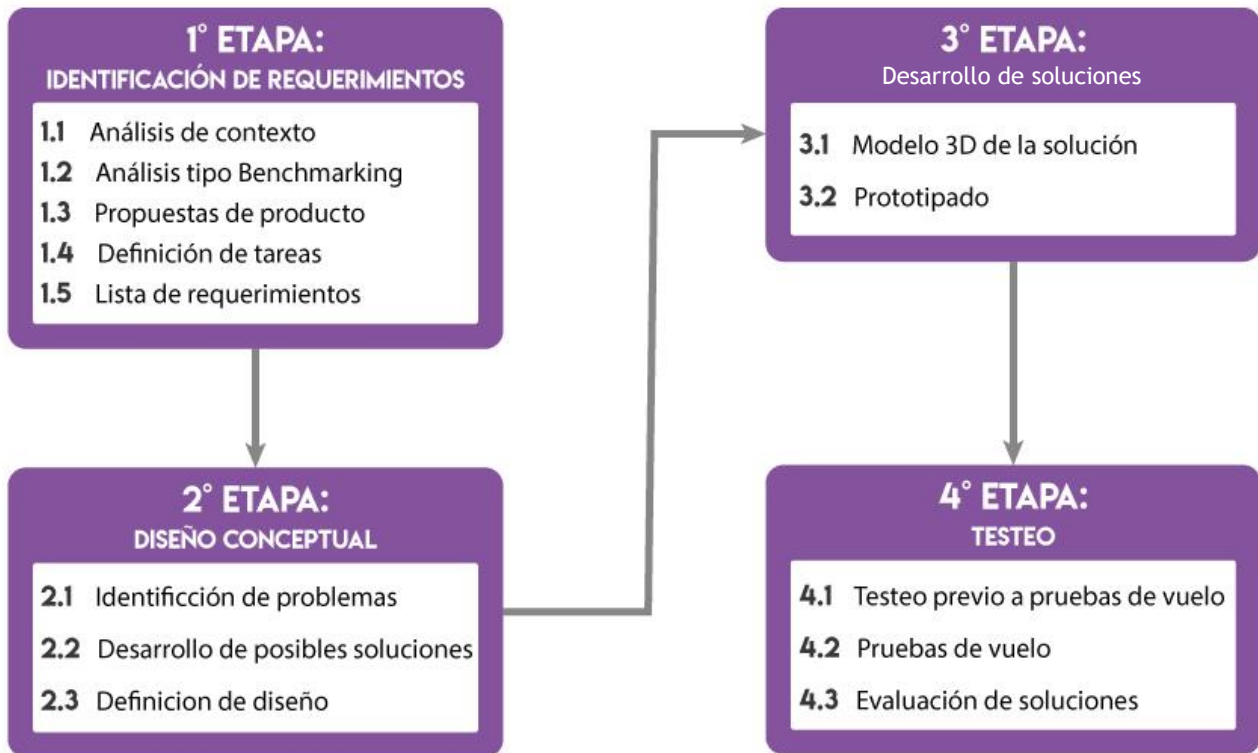
A pesar de todas las opciones que se pueden encontrar en el mercado y todas las modificaciones que se han efectuado, las empresas todavía tienen mucho por progresar, ya que el uso de estas aeronaves se está expandiendo rápidamente por todos los campos imaginables en los que cada día se generan nuevas necesidades.

## 4. METODOLOGÍA PROPUESTA

El fin de esta sección es dar un mejor entendimiento a la metodología que se implementó para el desarrollo del producto

En la figura 8 se muestra en detalle las distintas etapas del proceso de diseño, que llevaron a implementación de una solución, la que finalmente fue evaluada para verificar el proceso.

Cabe destacar que la metodología implementada está basada en el método de Pahl & Beitz (ANEXO 1), donde se aplicaron sus etapas de forma simplificada, las que se apoyaron de otras técnicas para principalmente obtener más información relevante.



**FIGURA 8:** Metodología propuesta para evaluar el proceso y desarrollo del diseño de producto

## **4.1 Primera etapa: Identificación de requerimientos**

En un proceso de desarrollo de productos, la recopilación de información sobre la problemática es fundamental. Estos permitirán la generación de una lista de requerimientos útiles, que guiarán de forma adecuada el proyecto.

### **4.1.1 Análisis del contexto**

El objetivo de esta sub-etapa es la obtención de información relevante para el proceso de diseño. Como primer paso, se debe realizar un análisis con relación al cliente, desprendiendo sus principales problemáticas, como también sus metas. Además, se deben dar a conocer todos los instrumentos o elementos con los que trabaja junto con sus especificaciones, esta parte del análisis se puede complementar con la clasificación recursos TRIZ para dar una visión más amplia, todo este proceso permitirá la detección de limitantes y oportunidades en el desarrollo del proyecto.

### **4.1.2 Análisis tipo Benchmarking**

En este punto se realizará un estudio tipo Benchmarking, donde se recolectará información sobre soluciones a problemáticas similares a las que se están tratando.

### **4.1.3 Propuestas de producto**

En esta sub-etapa se hace el primer acercamiento a la solución, entregando una propuesta amplia para la solución de la problemática

### **4.1.4 Definición de tareas**

El objetivo de esta sub-etapa, es aclarar cuál es la función y objetivo principal del producto que se va a desarrollar.

### **4.1.5 Lista de requerimientos**

Esta sub etapa tiene como objetivo enumerar y definir los requerimientos del proyecto, los que se extrajeron tras el análisis de contexto realizado en la sub-etapas anteriores.

## **4.2 Segunda etapa: Diseño conceptual**

Ya teniendo los requerimientos principales del proyecto, junto con toda la información recopilada en la etapa anterior, se puede comenzar a generar las primeras propuestas de soluciones para el producto.

### **4.2.1 Identificación de problemas**

Esta sub-etapa utiliza la Red de Problemas de OTSM-TRIZ para la identificación de posibles problemas y sus correspondientes posibles soluciones. Formando un esquema visual que permita ver las interacciones que se producen entre ellos.

#### **4.2.2 Desarrollo de posibles soluciones**

En este punto, las posibles soluciones propuestas en la sub-etapa anterior, son desarrolladas y relacionadas entre sí. Para luego generar las primeras ideas y bosquejos de la solución.

#### **4.2.3 Definición de diseño conceptual**

Como proceso final en el diseño conceptual, se planteará una definición del producto que se desarrollara, teniendo en cuenta todos los requerimientos y posibles problemas que se plantearon en las etapas anteriores. Junto con esto, se complementará el proceso con un diagrama que permitiera entender el diseño conceptual propuesto.

### **4.3 Tercera etapa: Desarrollo de soluciones**

Tras haber definido el diseño conceptual, el objetivo de esta etapa es presentar la transición del modelo desde un concepto, a una imagen virtual más acertada a la realidad y finalmente a un producto tangible y funcional.

#### **4.3.1 Modelo 3D de la solución**

Sub etapa donde finalmente se concretiza el modelo conceptual propuesto, generando modelos virtuales a través de un software CAD. En esta etapa también se dejan

establecidos parámetros como dimensiones, distribuciones y calces entre piezas.

#### **4.3.2 Prototipado**

El objetivo de esta sub-etapa, es la construcción del primer producto. Además de la obtención de conocimiento en el proceso de manufactura, lo que permitirá la repetibilidad del proceso.

### **4.4 Cuarta etapa: Testeo**

En esta última etapa, se realizará un testeo de las soluciones desarrolladas para comprobar su funcionamiento, como también algunos cambios si es necesario o solicitado por el cliente.

#### **4.4.1 Testeo previo a pruebas de vuelo**

En este paso, se generan pruebas de calce y utilidad de las piezas, como también la realización de pruebas con el cliente, lo que permite determinar si es necesaria una modificación.

#### **4.4.2 Pruebas de vuelo**

La meta de esta sub-etapa, es la determinación de la viabilidad del producto desarrollado según los requerimientos y soluciones establecidas. Este análisis se realizará luego de poner a prueba el producto en el contexto descrito en etapas anteriores.

#### 4.4.3 Evaluación de soluciones

El objetivo de este punto es constatar el éxito las soluciones propuestas. Esto se realizará evaluando algunos de los puntos propuestos en el diseño conceptual con una escala de satisfacción, que luego permitirá generar

esquemas visuales prácticos y de fácil comprensión. Este proceso también se realizará con los requerimientos formulados en las primeras etapas de diseño.

A continuación, se muestra la tabla de evaluación del nivel de satisfacción:

Nivel de satisfacción o cumplimiento	Evaluación	Color
<b>Completamente satisfecho</b>	5	
<b>Altamente satisfecho</b>	4	
<b>Moderadamente satisfecho</b>	3	
<b>Bajamente satisfecho</b>	2	
<b>No satisfecho</b>	1	

**TABLA 2:** Asignación de niveles de satisfacción/cumplimiento.

## 5. CASO DE ESTUDIO

Este capítulo tiene el objetivo de confirmar la viabilidad de aplicación de la metodología propuesta en el capítulo anterior. Junto a esto, se pone especial atención al desarrollo de la Red de Problemas OTSM-TRIZ como herramienta de anticipación de problemas.

Debido a que este proyecto está enfocado en re-diseño de drones, el caso se aplicará en el proyecto Wild Fire Watch de los departamentos de electrónica y diseño de productos de la Universidad Técnica Federico Santa María. Donde se desarrollaron piezas exclusivas para el dron IRIS+ lo que les permitirá hacer uso de este para lograr su objetivo. Finalmente se realizará una evaluación a las soluciones encontradas, las que serán mostradas a través de un esquema para su simple comprensión.

Dado lo anterior, se da paso a conocer las diversas etapas por las que se fue desarrollando el diseño del producto como tal.

## 5.1 Primera etapa: Identificación de requisitos

El caso fue planteado por los ingenieros del proyecto Wild Fire Watch, donde se encuentran desarrollando drones para el monitoreo y análisis de incendios forestales. La principal problemática que ellos presentaban era la modificación de drones civiles, adquiridos en el mercado general, para su utilización en el combate contra los incendios forestales.

### 5.1.1 Análisis de contexto

WildFireWatch (WFW) es un proyecto de investigación que se realizó conjuntamente en los departamentos de electrónica y diseño de productos, en el que se pretende desarrollar flotas de drones que permitan el monitoreo de incendios forestales para la CONAF (Corporación Nacional Forestal).

Un incendio forestal es un fuego que se propaga sin control en terrenos rurales a través de la vegetación presente en el lugar, destruyendo tanto ecosistemas como poblaciones humanas (Alto incendio, 2013). Cada año más de 350 millones de hectáreas alrededor del mundo son afectadas por estos incendios. En Chile, entre los años 2017 y 2018, se reportaron alrededor de 5621 incendios forestales donde se quemaron 35317 hectáreas de vegetación (CONAF, 2018). Esto significó una enorme pérdida en el área medio ambiental, pero de la misma forma afecto al área económica del

país, ya que la industria forestal es la segunda área más grande de exportación, representando un 9% del producto interno bruto de Chile.

La CONAF es la institución responsable de la organización de esfuerzos y capacidades para el control de incendios forestales en Chile, la cual presento esta problemática que afecta actualmente a los bosques chilenos. Actualmente CONAF tiene una infraestructura y capacidad humana para encender la alarma de incendio forestal 5 minutos antes de que se desencadene el evento. Sin embargo, la información disponible para monitorear la evolución de una emergencia y la capacidad de organización de recursos para combatir el evento es limitada. Esto constituye una oportunidad de mejoramiento, además de una posibilidad de disminuir las posibilidades de pérdidas humanas e infraestructura que tiene como consecuencia un incendio de esta envergadura.

Con la tarea de resolver estas problemáticas planteadas anteriormente, Wild Fire Watch propone el desarrollo de un sistema inteligente que entregue una visión multimodal basado en UAV's, lo que permitiría monitorear automáticamente incendios forestales en grandes espacios exteriores gracias a imágenes capturadas en tiempo real, además de contar con un sistema capaz de ejecutar algoritmos que integran la información recopilada del entorno, convirtiéndola en datos relevantes que apoyarían la toma de decisiones durante un incendio.

Sin embargo, en el mercado actual de drones, no existe un equipo que cuente con todos los instrumentos y procesadores que se necesitan para cumplir con el cometido del proyecto. Es así como el equipo del proyecto se decide en trabajar con varios tipos de drones, como el ERLE Hexacopter, Iris+, Matrice100 y ParrotAR, los que cuentan con instrumentos y propiedades adecuados para la iniciación del proyecto, no obstante, será necesario modificarlos y agregarles más elementos para cumplir con los objetivos propuestos por WFW.

En el periodo donde se realizó esta tesis, el proyecto se encontraba trabajando con el dron IRIS+, el cual, según la página de especificaciones de la empresa 3D Robotics, es un robot que asemeja un “alien-insecto”, de cuerpo curvado del que sobresalen 4 brazos, los que le permiten una mejor orientación. Estos brazos se extienden desde las 4 esquinas del dron y en sus extremos cuentan cada uno con un motor y una hélice.



FIGURA 9: Dron IRIS+.

El dron cuenta con una batería de 5100 mAh, la cual permite una capacidad de vuelo de 20 minutos, este tiempo puede disminuir hasta los 16 minutos dependiendo de la carga que se le coloque al dron, la que no puede exceder los 800 gramos. Cuenta con sistema GPS que permite generar vuelos pre-planeados usando un software libre para smartphone. También tiene un sistema de seguridad que permite que el dron vuelva al punto de partida automáticamente si la batería se encuentra baja, o si el dron se encuentra fuera del rango de señal.



FIGURA 10: Dimensiones generales dron IRIS+.

Como se mencionó anteriormente, aunque este dron posea buenas cualidades, estas no cumplen por completo las necesidades del proyecto, lo que hace necesario plantear una modificación al aparato y así cumplir los requisitos faltantes.

Según los objetivos que tiene el equipo, se pueden reconocer 3 elementos importantes que el dron debe poseer y que se deben tener en cuenta para su modificación:

**Captura de imágenes:** Se deben capturar imágenes desde distintos ángulos del dron, lo que permitirá la obtención de información del entorno.

**Procesamiento de información:** El dron debe ser capaz de procesar las imágenes recolectadas, esto para casos de comunicación deficiente, ya sea por un incendio forestal o por estar fuera de rango.

**Captura y transmisión de video:** Lo que permitirá la visualización de video en directo desde la estación de control.

Ya teniendo en cuenta los requerimientos con que el dron debe cumplir, el equipo de WFW se decidió por agregar varios dispositivos que permitirán al dron efectuar las tareas propuestas. En la Tabla 3 se hace una breve descripción de cada uno de estos, junto con información de sus dimensiones y peso:

Dispositivo	Descripción	Medidas/peso
<b>Raspberry Pi 3 B+</b>	Computadora de placa reducida (SBC single board computer), permite control de hardware y software a través de sensores, cámaras, controladores, etc.	<b>M:</b> 85mm x 56mm x 16mm <b>P:</b> 45 g
<b>RaspiCam</b>	Cámara de 5 megapíxeles diseñada específicamente para Raspberry Pi.	<b>M:</b> 25mm x 20mm x 9mm <b>P:</b> 3 g
<b>Cámara SJ4000</b>	Cámara deportiva full HD de 12 megapíxeles. Graba videos Full HD 1080p	<b>M:</b> 40mm x 60mm x 30mm <b>P:</b> 44 g
<b>Antena WiFi</b>	Permite comunicación entre dron y estación de control en tierra.	<b>M:</b> 190mm x 20mm x 15mm <b>P:</b> 25 g

**TABLA 3:** Descripción de dispositivos que se deben incorporar al dron.

Como se puede apreciar en la tabla, el dron cuenta con dos cámaras, la primera es la RaspiCam, la cual será usada para el aterrizaje de precisión del dron, por lo que debe apuntar en dirección al suelo. La cámara de alta definición, en cambio, cumplirá la función de captura de imágenes, que luego serán analizadas por el software. Esta será instalada en un clip que ya viene incluido en el dron original, sin embargo, se debe encontrar una manera de conectarla a la RaspberryPi, tarea que será abarcada más adelante.

Un punto importante que destacar es que, al colocar piezas nuevas al dron, se está incrementando su carga y como se explicó en las características de Iris+, esto disminuye su autonomía de vuelo. Junto con esto, hay que aclarar que las piezas no pueden instalarse en cualquier parte del dron, siempre se debe tener en cuenta su centro de gravedad, por lo que la distribución de las piezas que se van a agregar debe ser cuidadosa, además de preocuparse de no exceder el peso máximo de carga que soporta el dron, ya que esto puede provocar un vuelo errático y dificultades en el control del dron (Jeremia et al, 2012).

Todos los dispositivos mencionados en la tabla estarán a libre disposición durante todo el curso del proyecto, para el correcto desarrollo de sus piezas de contención/protección.

Como último punto, Para la iniciación de este proyecto es importante reconocer con qué

elementos se cuenta para trabajar, es así como se realizó un análisis de recursos TRIZ agrupando todos aquellos recursos disponibles que puedan ser relevantes para el proyecto.

Clasificación de recursos TRIZ	Recursos del proyecto
<b>Material</b>	Impresora 3D, Filamentos ABS, Software de modelación, Herramientas eléctricas,
<b>Energía</b>	Electricidad, Fuente de calor.
<b>Información</b>	Internet, Especialista en manufactura
<b>Tiempo</b>	Periodo de tiempo antes de las primeras pruebas de vuelo con dron Iris+
<b>Espacio</b>	Taller de productos IDP, Sala de prototipado 3D, Laboratorio Telemática

**TABLA 4:** Clasificación de recursos TRIZ.

### 5.1.2 Análisis tipo Benchmarking

En esta etapa se realizó una búsqueda de productos que estuvieran desarrollados para resolver problemáticas similares a las que se plantean en este proyecto. La búsqueda abarco principalmente páginas de comunidades de diseño 3D, espacios que permiten compartir

ideas de productos o modificaciones a otros. A continuación, en la tabla 5, se presentarán algunos de los productos que se descubrieron a través de esta búsqueda.

Producto	Descripción	Observaciones
<b>ZMR 250 15mm Uni-Spacer</b>	Extensión que permite generar un espacio dentro del dron para resguardar del entorno a algunos dispositivos y conexiones.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espacio resguardado</li> <li>• Sigue forma del dron</li> <li>• Se puede modificar para lograr conexiones seguras entre dispositivos exteriores e interiores</li> </ul>
<b>Vesa Mount and Slim Case for Raspberry Pi</b>	Soporte y carcasa de protección para Raspberry Pi, permite asegurar la placa en un lugar fijo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protege placa</li> <li>• Instalación simple</li> <li>• Ocupa poco espacio (soporte)</li> </ul>
<b>PiPiece Camera Frame</b>	Carcasa protectora especialmente desarrollada para Raspicam	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fijación segura de modulo Ropicam</li> <li>• Orificio para visión de lente de la cámara</li> </ul>
<b>USB female plug type B support</b>	Protección para conexiones entre cable y dispositivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fijación segura</li> </ul>

**TABLA 5:** Benchmarking realizado a productos similares.

### 5.1.3 Propuesta de producto

En base a la información recopilada sobre los objetivos del proyecto, junto con el análisis de posibles soluciones que responden a las necesidades de este, se puede comenzar a esbozar una posible solución a la problemática que enfrenta WFW.

En este proyecto, se tomó como tarea principal la incorporación de los dispositivos declarados en puntos anteriores. Los principales son la RaspberryPi, la antena WiFi y las cámaras. Sin embargo, esto no es posible con la configuración original del Iris+, por lo que es necesario modificar de alguna forma su estructura para acomodar estas piezas.

Para esto se consideraron varias opciones, tales como la generación de piezas modulares que se adhirieran al dron o la modificación de la carcasa principal de este, sin embargo, estas opciones se descartaron rápidamente debido a la posibilidad de que afectaran el funcionamiento normal del dron. Finalmente se decidió la incorporación de una pieza que aumente el volumen al interior del dron, así lograr acomodar la mayor cantidad de dispositivos en su interior.

Esta propuesta posibilita la adición de los nuevos dispositivos al dron, sin modificar la carcasa original y además entrega un espacio para situar los dispositivos más delicados.

### 5.1.4 Definición de tareas

El objetivo de esta etapa es aclarar cuál es la función y objetivo principal del producto que se va a desarrollar, lo que permitirá acotar las posibles soluciones que se presentaran más adelante.

#### **Definición del producto:**

El producto que se desea desarrollar debe tener la capacidad de contener todos los elementos descritos previamente, ya sea al interior o exterior del dron (la ubicación variará dependiendo del dispositivo). Esto se debe lograr sin obstaculizar el normal funcionamiento del dron, teniendo en cuenta las dimensiones y pesos de los elementos que serán agregados. Junto con lo anterior, debe ser una estructura resistente a golpes, debido a los constantes movimientos y aterrizajes bruscos del aparato, pero también debe ser de fácil fabricación, replicable y de simple instalación, según instrucciones del equipo WFW.

#### **Objetivo principal del producto:**

El objetivo principal de este producto es mejorar las cualidades de un dron comercializado en el mercado general, especializando el aparato para el área de análisis y control de incendios forestales.

### 5.1.5 Lista de requerimientos

A modo de conclusión de esta primera etapa, se generó una lista en donde se muestran los principales requerimientos para el desarrollo del producto, los que se obtuvieron gracias las continuas reuniones con el equipo de WFW, que entregaron las bases para la investigación

realizada previamente, ayudando a comprender de mejor forma las necesidades que genera el entorno, como también las limitantes que tiene este proceso de diseño. Todas estas consideraciones fueron reunidas en la siguiente tabla:

Requerimiento	Descripción
<b>Contención y protección de dispositivos</b>	Se debe mantener seguros y protegidos a todos los dispositivos que se incorporarán al dron.
<b>Replicabilidad</b>	Debido a que el proyecto de WFW trata de una visión multimodal con drones, es necesario que esta solución se implemente en varios drones a la vez, por lo que su elaboración deber lo más simple posible.
<b>Resistencia</b>	Ya que el dron es propenso a golpes y movimientos bruscos, es necesario que la estructura del producto sea resistente.
<b>Simple instalación</b>	Para facilitar el trabajo de los ingenieros del proyecto, la instalación debe ser lo más simple posible.
<b>Liviano</b>	El peso no debe interferir en el normal funcionamiento de la aeronave.

**TABLA 6:** Requerimientos principales para el desarrollo de la solución

## 5.2 Segunda etapa: Diseño conceptual

En este punto, ya se han recabado los requerimientos principales del cliente, como también algunas de las limitantes que se pueden encontrar en el camino, por lo que es momento de generar las primeras propuestas de producto.

Este proceso comenzará con la identificación de los principales problemas que deben ser solucionados, lo que se realizará utilizando la herramienta de Red de Problemas de OTSM-TRIZ, la que fue definida anteriormente en el estado del arte y permite desglosar problemas complejos en una red de problemas subyacentes más simples, facilitando

la revelación de posibles soluciones, las que serán definidas y conceptualizadas, permitiendo llegar finalmente a la definición del diseño conceptual.

### 5.2.1 Identificación de problemas

Tras un análisis de toda la información recolectada en la etapa 1, se pudo concluir que el problema principal (PB 1) de este proyecto es la “Utilización de drones para localización y seguimiento de incendios forestales” el que se fue descomponiendo en distintos problemas (PB) y posibles soluciones (PS), los que serán presentados a continuación en la figura 11.

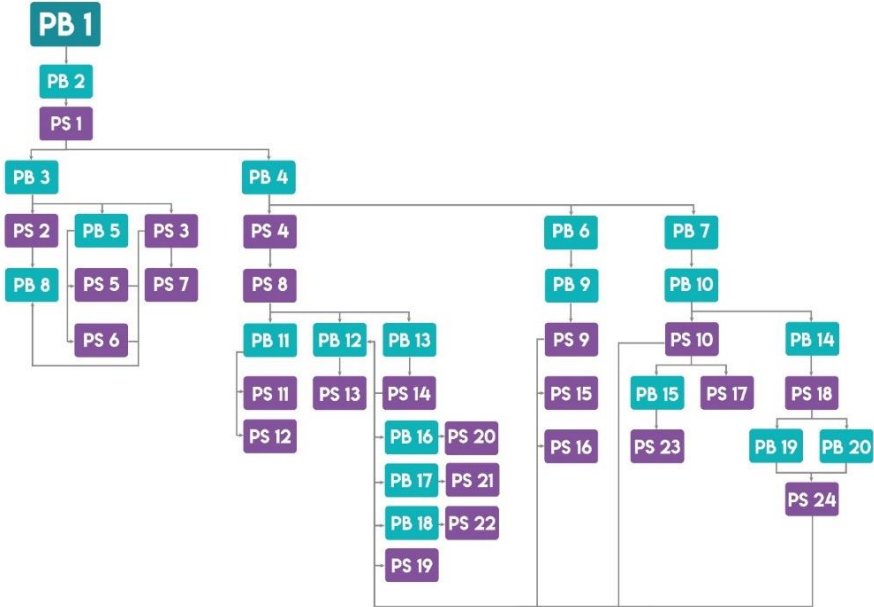


FIGURA 11: Esquema de Red de Problemas de la problemática presentada por WFW.

## 5.2.2 Desarrollo de posibles soluciones

En esta sección, se sub-dividió la red de problemas en 4 partes, esto para simplificar su explicación y comprender de mejor forma el desarrollo de todas las piezas propuestas para la solución.

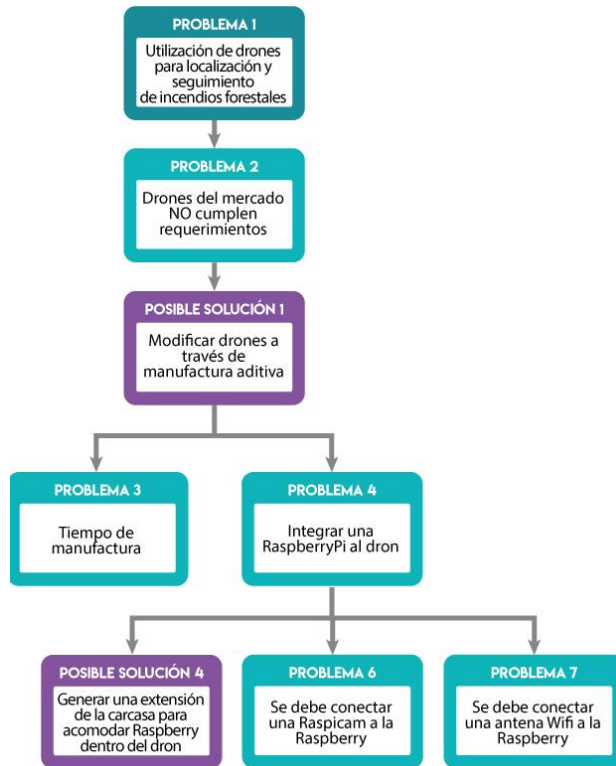


FIGURA 12: Primera parte de la red de problemas.

## ESQUEMA N°1

El primer esquema (figura 12), representa el desarrollo de los primeros problemas (recuadros celestes) y las posibles soluciones (en morado) de la red.

Luego del análisis de contexto realizado al comienzo de esta investigación, se pudo apreciar que el principal objetivo, y a la vez problema del proyecto, era la utilización de drones para la localización y seguimiento de incendios forestales. Este punto se convierte en problema debido a que no existen drones en el mercado que cumplan todos los requerimientos para realizar la tarea de combatir incendios forestales. Es así como se propone la modificación de un dron, con las cualidades suficientes, a través de la manufactura aditiva. Esta decisión fue tomada gracias al análisis de recursos realizado en la investigación de contexto, las impresoras 3D y el material ABS estaban a disposición, por lo que se decidió hacer uso de ellos, debido a la precisión en la construcción y su peso liviano.

A partir de esta solución, nos encontramos con dos de los principales problemas que constituyen esta red, el tiempo de manufactura y la integración del dispositivo RaspberryPi. Estos dos puntos se desarrollarán más detalladamente en las siguientes partes del esquema.

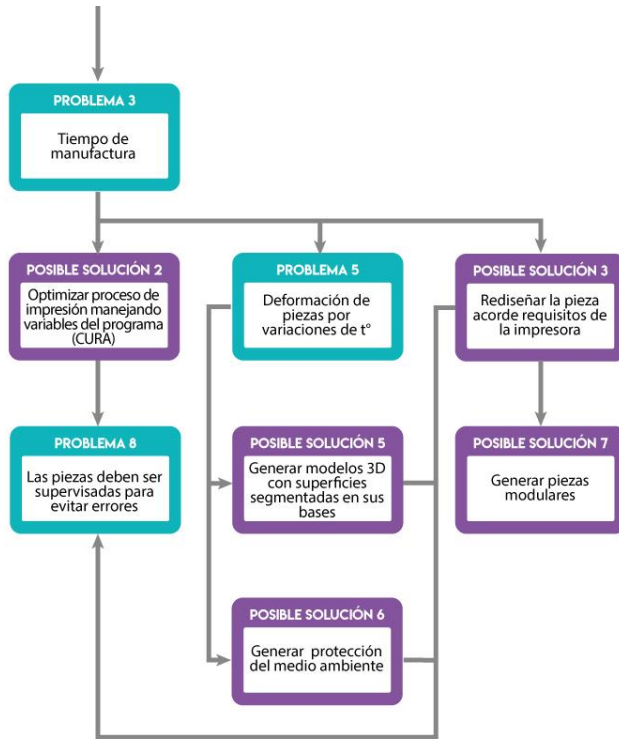


FIGURA 13: Segunda parte de la red de problemas.

## ESQUEMA N°2

En la segunda parte de esta red de problemas (figura 13) nos encontramos con el problema del tiempo de manufactura. Este problema no se debe en su totalidad al tiempo que demora una impresora en generar la pieza, si no también se refiere al tiempo que se debe invertir, previo a la impresión final, en pruebas y errores de impresión. Para minimizar este problema y posiblemente solucionarlo, se planteó el ajuste y

optimización del proceso de impresión a través del programa CURA, modificando algunos parámetros de impresión, como diámetro de material extruido, grosor de paredes, material de soporte, amplitud de la base entre otros. No obstante, no se puede confiar totalmente en estos cambios para que se haga una pieza perfecta, ya que más variables están en juego, como el clima o la calidad de los filamentos, por ejemplo, por lo que siempre hay que supervisar la impresión de las piezas.

Un problema que surge por los extensos tiempos de manufactura son las deformaciones de las piezas. El tiempo de impresión de una pieza es directamente proporcional a su tamaño, por lo que, si se envía a imprimir una pieza de gran tamaño, su tiempo de impresión va a ser considerablemente largo. De la misma forma, al ser una pieza grande, su base va ser proporcional a su porte y es aquí donde se genera el problema con las temperaturas, ya que cuando comience a generar la primera capa de material va a tardar un tiempo considerable en pasar nuevamente construyendo la segunda capa, esto significa que las capas tienen una gran diferencia de temperatura, la que aumenta aún más con las variaciones exteriores de temperatura y se produce una tensión en el material, la que va incrementando cada vez que se coloca otra capa y que finalmente produce un levantamiento de la base que consecuentemente genera la deformación en la pieza dejándola inutilizable.

Como posibles soluciones se optó por segmentar las bases de las piezas y que estas piezas se fueran uniendo en el transcurso de la impresión, esta técnica generaría una disminución en la tensión puesta en las bases reduciendo el riesgo de levantamiento. Además, se debe considerar proteger a la impresión de los cambios de temperatura, lo que se puede lograr sellando las caras descubiertas de la impresora, junto con mantenerla cerca de una fuente de calor.

Como otra posible solución del tiempo de manufactura, se debe considerar el rediseño de las piezas, ya que, si estas son de un gran tamaño, el tiempo de manufactura será elevado. Al fraccionar una pieza grande, se puede llegar a solucionar el problema del tiempo. Poniendo a trabajar a varias impresoras a la vez, construyendo las piezas pequeñas al mismo tiempo y demorándose una fracción del tiempo en que lo haría la impresión de la pieza en su totalidad.

### ESQUEMA N°3

Esta tercera parte del esquema (figura14) se desarrolla del problema de la incorporación de una RaspberryPi al dron, donde se propuso la posible solución de generar una extensión a la carcasa del dron.

En este punto, es necesario destacar a la PS 13, la que proviene del PB 12, el cual refiere a la imprecisión de las dimensiones en la impresión 3D, específicamente apuntando a las piezas pequeñas. Esta PS es muy importante debido a

que se está trabando con un dron, el cual contiene variedad de piezas pequeñas (tornillos y tuercas, por ejemplo), por lo que muchas de las piezas que se desarrollarán tendrán que estar acorde a las pequeñas dimensiones, lo que podría traer muchos problemas, debido a esto una gran cantidad de puntos del esquema está relacionada con este PS.

A continuación, se describirá la posible solución 13, una de las más importantes de la red de problemas, debido a que esta solución deriva de una problemática con la que gran parte de las soluciones propuestas van a tener que lidiar, la imprecisión de las dimensiones en las piezas.

**PS13:** Generar pruebas previas para conocer la tolerancia de la impresora 3D

Las piezas o partes que tengan dimensiones menores a los 5mm deben ser impresas en la maquina previo a la impresión de la pieza entera para conocer la tolerancia de la impresora y saber las medidas que se deben cambiar en el archivo CAD para generar una impresión correcta de la pieza final y obtener un ensamble más preciso.

En la tabla 7 se describirán las demás PS, que irán construyendo parte importante del diseño conceptual de la solución final.

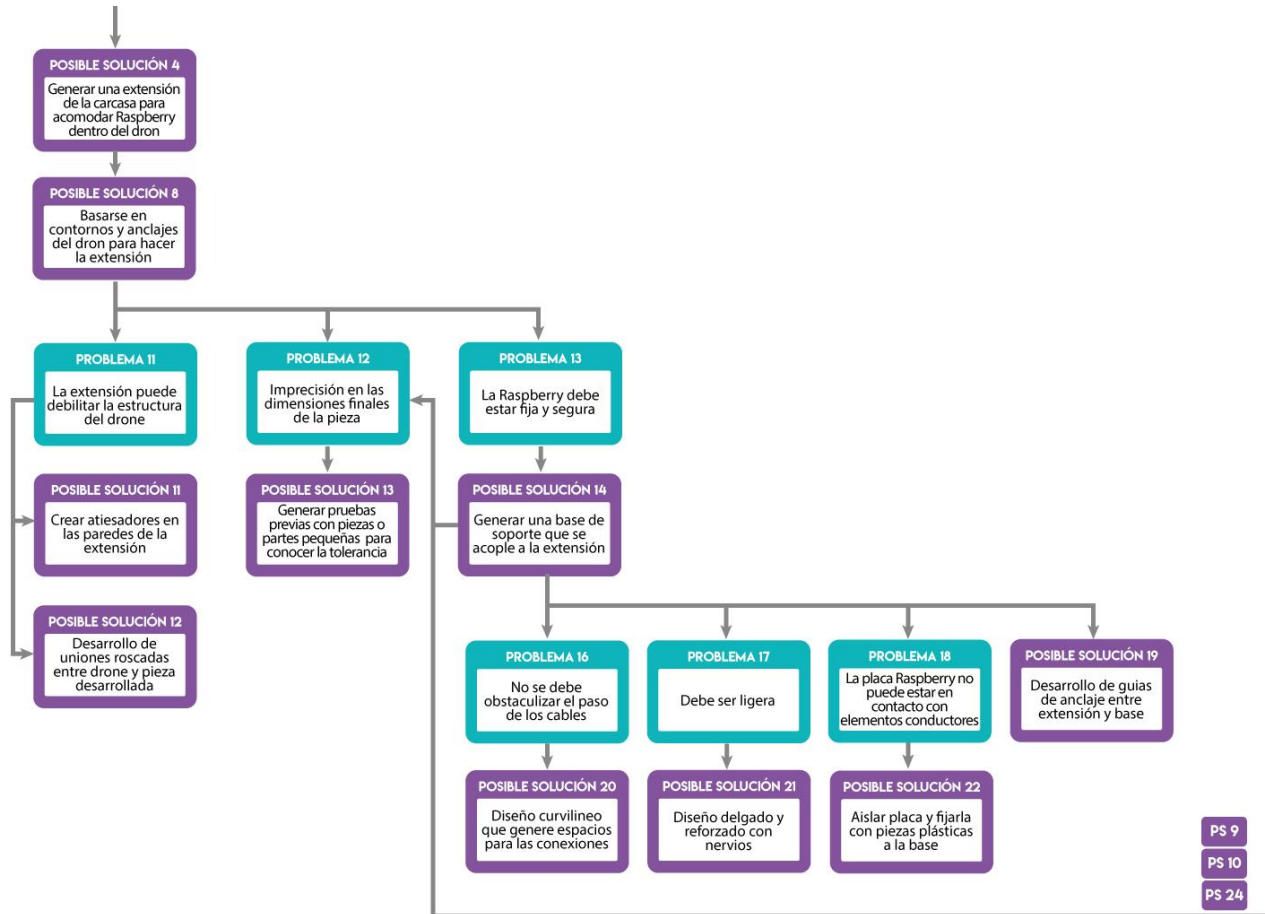
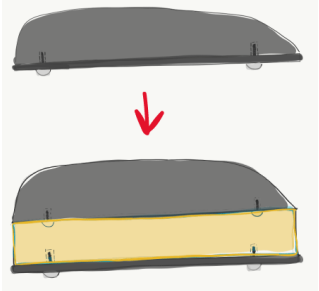
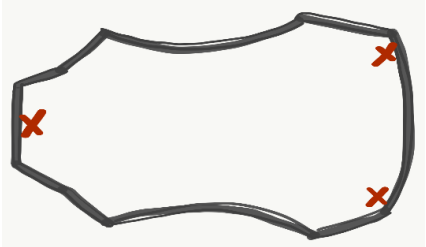
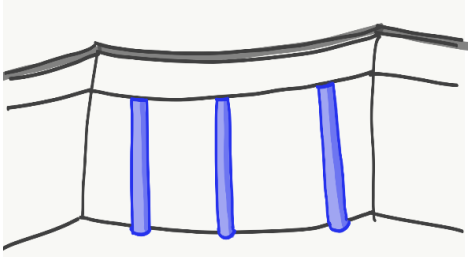


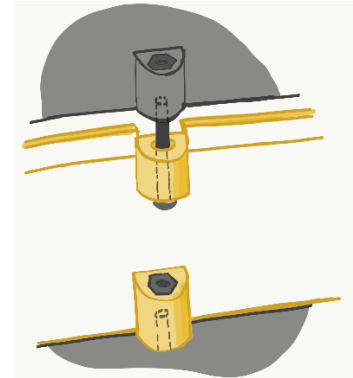
FIGURA 14: Tercera parte de la red de problemas.

Posible solución	Descripción	Imagen
<p><b>PS4</b></p> <p><b>Generar una extensión de la carcasa para acomodar a la Raspberry</b></p>	<p>El espacio dentro del dron es limitado y no permite acomodar de manera correcta a la Raspberry, por lo que se debe idear una forma aumentarlo. Al desarrollar una extensión de la carcasa, se aumentará el volumen libre dentro del dron y se permitirá la ubicación de la Raspberry dentro de él.</p>	
<p><b>PS8</b></p> <p><b>Basarse en contornos y anclajes del dron para hacer la extensión</b></p>	<p>Para no alterar el diseño del dron, la extensión se basará en el contorno de este. Consiste en una pared delgada que aumenta en 35 mm la altura de la carcasa, generando un espacio vacío para posicionar la placa. Junto con lo anterior, se replicará el modo de fijación original utilizando los tres puntos de anclaje originales</p>	
<p><b>PS11</b></p> <p><b>Crear atiesadores en las paredes de la extensión</b></p>	<p>Para generar una estructura resistente y que permita el funcionamiento óptimo del dron, se le deben agregar atiesadores a las paredes de la extensión, los que deben estar en sentido vertical para entregar fortaleza a las delgadas paredes de la extensión.</p>	

## PS12

### Desarrollo de uniones roscadas entre dron y pieza desarrollada

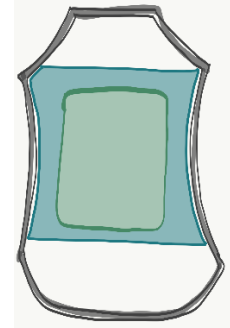
Utilizando el mismo sistema de unión de piezas que tiene el dron originalmente, se replican todos los puntos de anclaje en la parte superior e inferior de la extensión. Los puntos superiores, que son los primeros en instalarse, solo cuentan con un orificio circular que permita el anclaje de la carcasa a la extensión. Los puntos inferiores (conectados a la base del dron) contarán con un vacío hexagonal en el centro, donde se les instalarán tuercas hexagonales (MEDIDAS DE TUERCAS) las que servirán como guía para los tornillos de anclaje finales.



## PS14

### Generar una base de soporte que se acople a la extensión

Para aislar la Raspberry dentro del dron se debe desarrollar una base en la cual se fijará. Esta a su vez debe acoplarse a la extensión para que quede fija y segura en el espacio vacío que se obtuvo en el interior del dron.



## PS20

### Diseño curvilíneo que genere espacios para las conexiones

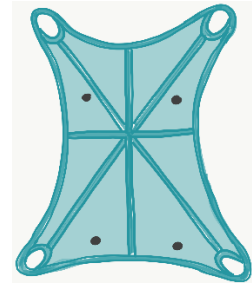
No es necesario que la base abarque la totalidad de las dimensiones de las Raspberry, por lo que solo hay que asegurarse que los cuatro puntos de anclaje tengan una base para fijarse. De la misma forma, la base solo necesita algunos puntos de apoyo para fijarse firmemente a la extensión. El resultado permite generar una pieza que permita el paso de los elementos internos del dron.



## PS21

### Diseño delgado y reforzado con nervios

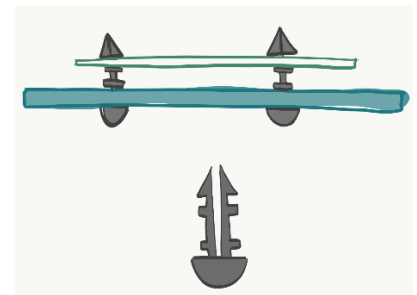
Para cumplir con los requerimientos la base debe ser delgada (2 mm de espesor). Esto puede debilitar la pieza y afectar el soporte que le debe entregar a la Raspberry, por lo que se le integran nervios en todo su contorno, además de nervios que crucen su centro para hacer la pieza más resistente.



## PS22

### Aislar placa y fijarla con piezas plásticas a la base

Asegurarse que la base mantenga a la Raspberry lo más alejada y protegida de los demás elementos dentro del dron. Con el mismo propósito de proteger a la placa de elementos que le podrían afectar, la instalación a la base se realizara con piezas de plástico especialmente diseñadas para la Raspberry.



## PS19

### Desarrollo de guías de anclaje entre extensión y base

Se debe desarrollar una forma fácil y segura de instalar la base a la extensión. Replicando la forma de anclaje de la extensión a él dron, se le adicionaran 4 puntos de anclaje a la pieza, que contarán con una guía (tuerca hexagonal) la que permitirá atornillar la base a estas.

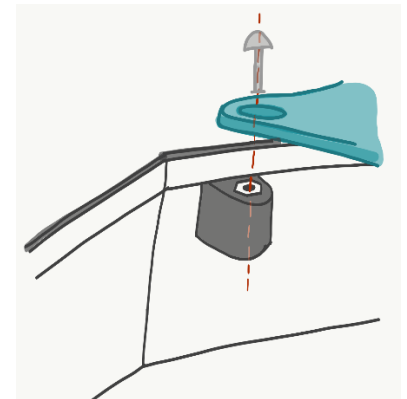


TABLA 7: Desarrollo de posibles soluciones de esquema N°3.

#### ESQUEMA N°4

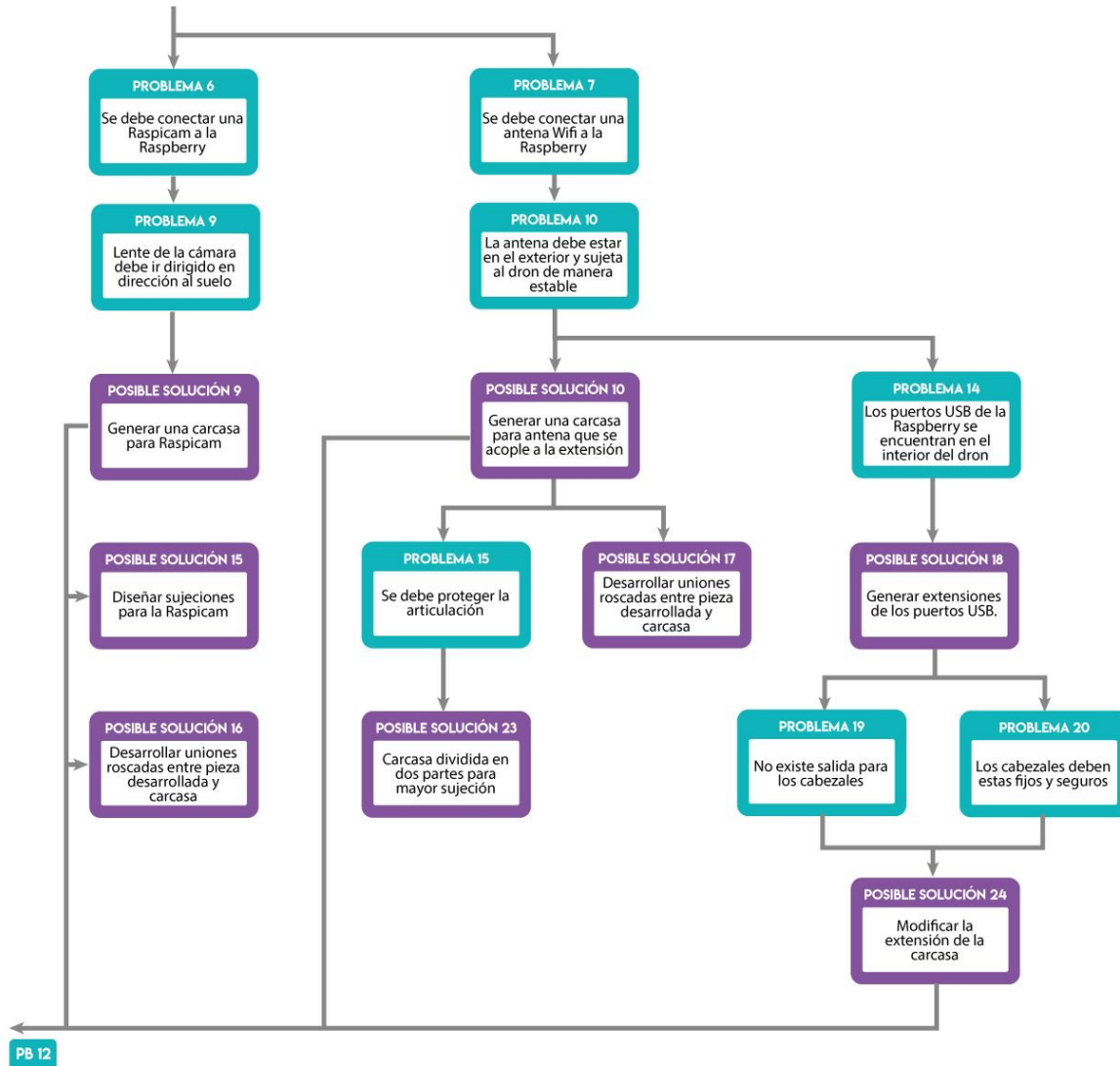
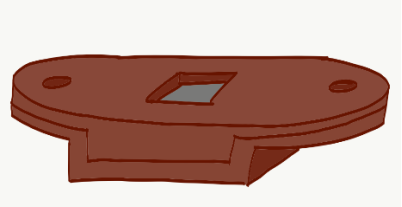
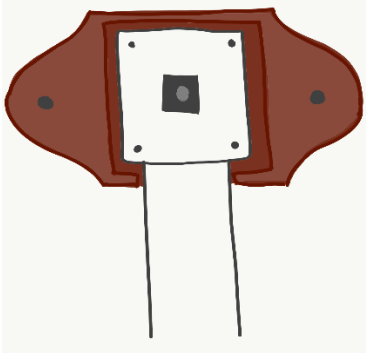
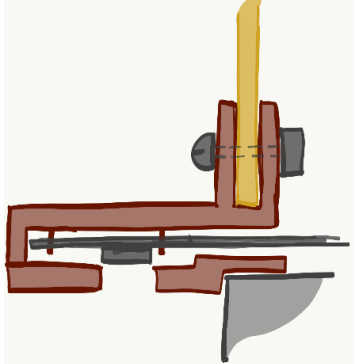


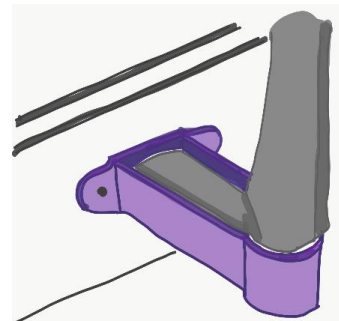
FIGURA 15: Cuarta parte de la red de problemas.

Posible solución	Descripción	Imagen
<p><b>PS9</b></p> <p><b>Generar una carcasa para Raspicam</b></p>	<p>Es necesario generar una carcasa que proteja a la cámara del medio, ya que esta es bastante delicada. La carcasa permitirá colocar la cámara en la posición deseada y mantenerla firme, además de crear una abertura entre carcasa y extensión para permitir el paso del cable de la Raspicam que debe ir conectado a la Raspberry.</p>	
<p><b>PS15</b></p> <p><b>Diseñar sujeciones para la Raspicam</b></p>	<p>Aprovechando la estructura de la Raspicam, se utilizarán los 4 orificios con los que cuenta para su fijación y será insertada directamente en la carcasa, la que contará con las 4 fijaciones correspondientes.</p>	
<p><b>PS16</b></p> <p><b>Desarrollar uniones roscadas entre pieza y carcasa</b></p>	<p>Para no modificar piezas en el dron, se determinó que la carcasa de la cámara se adose a la extensión, esto se logrará a través de una pieza acoplable, la que además se asegurará a través de un tornillo y tuerca para asegurar su unión.</p>	

## PS10

### Generar una carcasa para la antena que se acople a la extensión

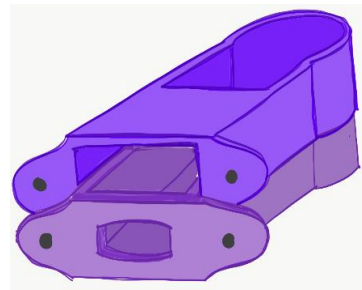
La antena ya cuenta con una carcasa de plástico que protege el sistema interno, sin embargo, es necesario desarrollar una carcasa que la proteja de golpes, además de permitir la unión de la antena con el dron.



## PS23

### Carcasa dividida en dos partes para mayor sujeción

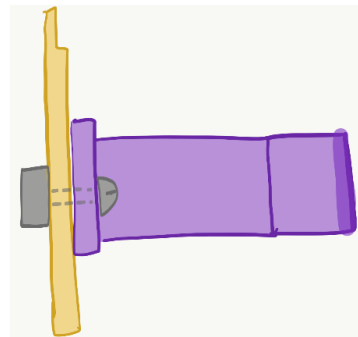
Se debe desarrollar una carcasa que bloquee la articulación. Esto se conseguirá con dos piezas, la primera debe encajar con la parte más pequeña de la antena además de bloquear la articulación, la segunda pieza debe mantener en su posición a la antena.



## PS17

### Desarrollar uniones roscadas entre pieza desarrollada y carcasa

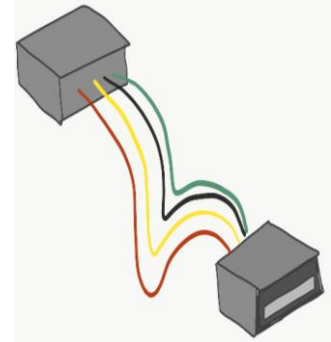
Para adosar la antena a él dron fue necesario crear un sistema de unión de la carcasa con la extensión. Esta se logra gracias a tornillos y tuercas, que aseguraron la pieza a la estructura.



### PS18

#### Generar extensiones de puertos USB

Se puede crear una extensión de los puertos USB utilizando cabezales USB hembra y macho conectados cables de la extensión necesaria para que llegue a la posición necesaria.



### PS24

#### Modificar la extensión de la carcasa

Se debe encontrar el lugar adecuado para la instalación de la antena, un espacio donde las aspas del dron no la choquen, además que exista espacio en el interior para crear una base para los cabezales de la extensión USB

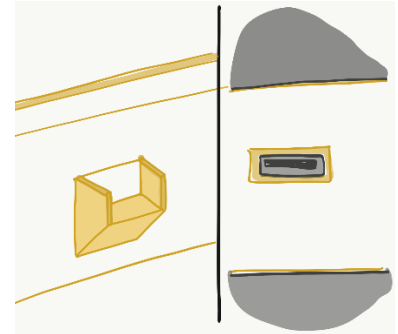


TABLA 8: Desarrollo de posibles soluciones de esquema N°3.

### 5.2.3 Definición de diseño conceptual

Gracias al desarrollo de las posibles soluciones realizadas en el punto anterior, se pudo llegar a un concepto de diseño final. El que debería responder de forma correcta a todas las problemáticas propuestas en el desarrollo de la Red de Problemas.

De la misma manera, debería responder a los requisitos obtenidos en la primera etapa de la metodología. Estos en resumen son: capacidad de contener los dispositivos descritos previamente, no obstaculizar el normal funcionamiento del dron, generar una estructura resistente a los golpes, de fácil fabricación, replicable y de simple instalación.

En la figura 16 se puede observar la pieza principal de esta modificación, la extensión, pieza que sostendrá a los dispositivos junto con sus carcasas o soportes, permitiendo cumplir el objetivo del dron de análisis y control de incendios forestales.

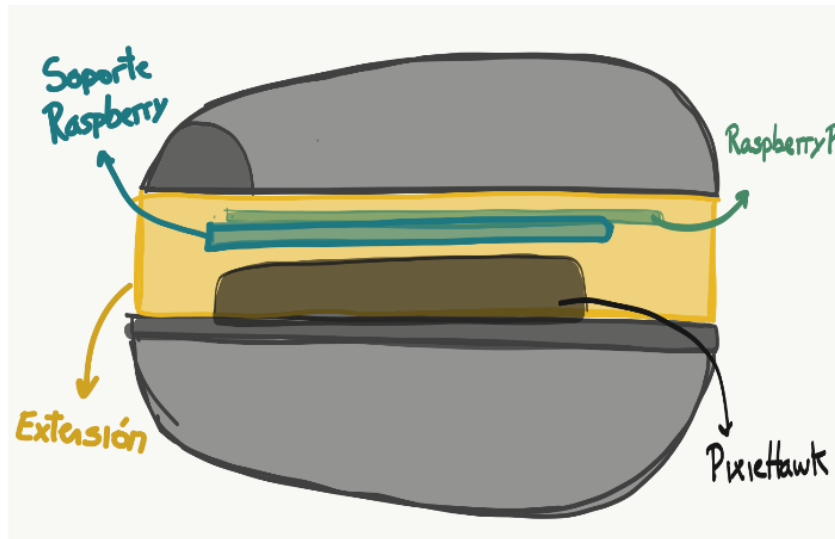


FIGURA 16: Diseño conceptual de modificación dron IRIS+.

### 5.3 Tercera etapa: Desarrollo de soluciones

Como se mencionó anteriormente, las grandes empresas en el rubro de los drones se están abriendo a la tendencia de “Open Source” compartiendo abiertamente sus hardware, software y diseños.

Es así como se llegó a la comunidad de diseño 3D “My Mini Factory” donde la empresa 3DR, desarrollador del dron modelo Iris+ (con el que se va a trabajar), posee una cuenta en el que comparte modelos 3D de algunos de sus productos, los cuales son de descarga gratuita y de libre modificación con la ayuda un software de diseño CAD.

Estos archivos, junto con el desarrollo del diseño conceptual, permitieron dar los primeros pasos en el desarrollo del producto. A partir de

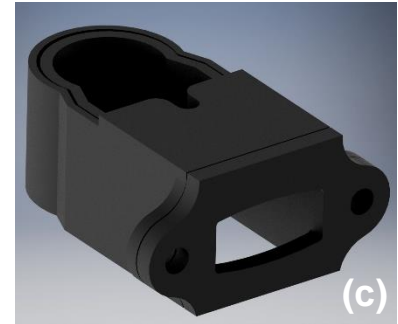
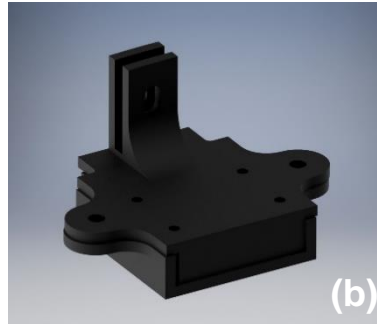
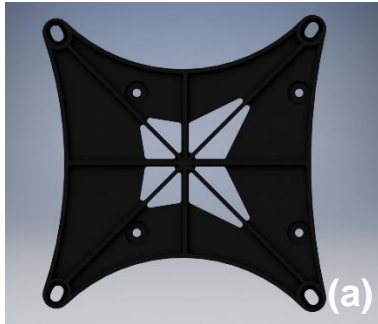
estos, se generaron piezas virtuales, que pudieron ser vinculadas entre ellas y a los archivos rescatados de “My Mini Factory” permitiendo una visualización más cercana a la realidad del producto final, posibilitando ver la interacción entre piezas modeladas y los dispositivos y piezas originales del dron, lo que ayudo a generar cambios, si era necesario, en dimensiones o posiciones antes del proceso de prototipado.

#### 5.3.1 Modelos 3D de las soluciones

A continuación, se presentarán los modelos CAD de cada uno de los componentes de la solución propuesta al equipo de WFW, además del ensamblaje de todas estas piezas, para luego presentar modelo 3D del dron Iris+ con las modificaciones incluidas.



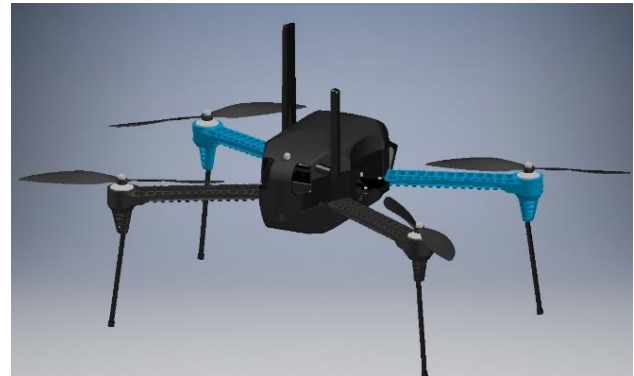
FIGURA 17: Modelo 3D de la extensión final para el dron IRIS+.



**FIGURA 18:** Modelos 3D de soportes de los dispositivos añadidos al dron. (a) soporte RaspberryPi (b) carcasa Raspicam (c) soporte antena Wifi.



**FIGURA 19:** Modelo 3D de ensamble de piezas.



**FIGURA 20:** Modelo 3D de dron Iris+ modificado.

Con el modelo 3D ya realizado, se procedió al proceso de prototipado, el cual fue realizado a través de la tecnología de manufactura aditiva, o

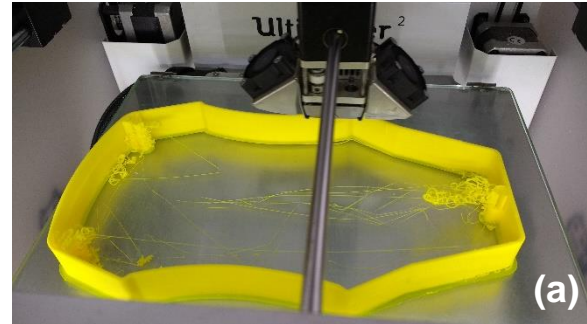
mejor conocida como impresión 3D. Obteniendo los resultados que se muestran en el siguiente punto.

### 5.3.2 Prototipado

Como se especificó en la red de problemas, el proceso de manufactura del producto se realizó a través de la tecnología de manufactura aditiva. Por lo que el siguiente paso fue la exportación de los modelos 3D al programa de “slicing” CURA, que transformo los archivos a el formato correspondiente para que la impresora pudiera empezar su trabajo.

La primera prueba, que se puede observar en la figura 21, fue realizada con una versión simplificada de la extensión, la cual consistía solo en la forma principal de la pieza y los puntos de anclaje con las piezas originales del dron. Este paso fue útil para confirmar que las dimensiones usadas eran correctas, ver si era factible la impresión de la pieza en la ULTIMAKER 2, además de establecer los parámetros de impresión adecuados para la pieza (en el programa CURA). Junto con esto, fue posible la revisión del calce de la carcasa superior con la extensión y finalmente también sirvió para revisar la existencia de calces o interferencias con las piezas originales.

Este paso también permitió advertir el tiempo que tardaba la impresora en realizar la pieza, el que en esta pieza en específico fue de 8 horas aproximadamente.

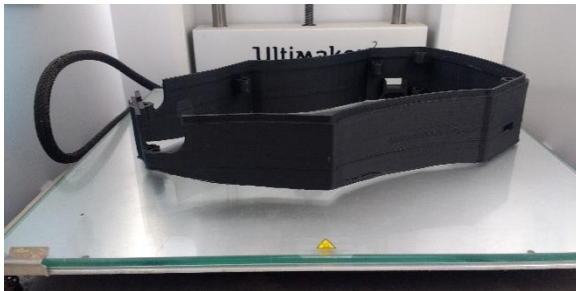


**FIGURA 21:** Primer prototipo de extensión para dron Iris+. (a) Proceso impresión de la pieza (b) Extensión instalada en el dron (c) Revisión de calces e interferencias.

Ya comprobadas las dimensiones y la ausencia de interferencias, se comenzó la impresión de la pieza con todos sus detalles finales, los que incluyen las aberturas para los acoples de la cámara Raspicam y la antena Wifi, además de las entradas y soportes para las extensiones USB.

En este punto y debido a la cantidad de detalles extra que tenía este modelo en comparación con la primera prueba de impresión, comenzaron las fallas. No solo los detalles extra de la pieza influyeron, las condiciones del ambiente también fueron relevantes en las fallas.

La primera señal de falla fue el levantamiento de las bases, o "Warping" (figura 22). Esto se produce por los cambios de temperatura que ocurrían en el laboratorio de prototipado, lugar en donde están instaladas las impresoras, donde las capas de material depositado se enfriaban a distintas velocidades, haciendo que la base se tensara y finalmente levantara, produciendo la falla de toda la pieza.



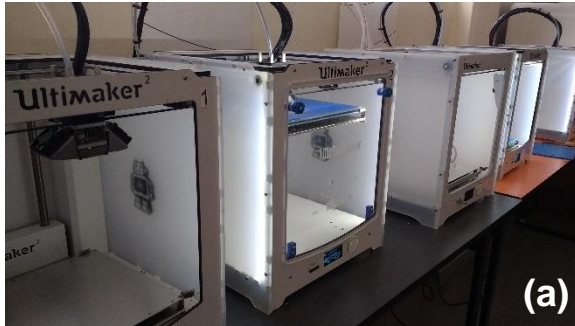
**FIGURA 22:** Falla de impresión de la extensión.

Debido al tiempo que demoraba cada impresión, fue necesario encontrar soluciones que disminuyeran el riesgo de este tipo de desperfectos. La primera medida que se tomó fue la del cambio de pegamento base, adquiriendo un pegamento de cierta marca comercial que demostró funcionar mejor que otros en la adherencia de la primera capa de material a la base de impresión.

Una vez hecho el cambio de pegamento, se llegó a otra posible solución, que fue la división de la base de la extensión. Esto ayudó a disminuir la tensión que se generaba en el material cuando se intentaba realizar la pieza completa desde el comienzo. Esta técnica comienza formando la pieza desde varias bases pequeñas y firmes al plato de impresión, las que en el trayecto de la impresión se van fusionando y armando la pieza completa, disminuyendo el riesgo de "Warping". Para dar un apoyo extra a esta técnica, se modificó, a través del programa CURA, la amplitud de la base, entregando una superficie más idónea para la sujeción de la base.

Finalmente, la última medida tomada fue la estabilización del ambiente de impresión. La Ultimaker 2 tiene grandes ventanas por donde pueden entrar corrientes de aire, por lo que se debió proteger la impresión situando una puerta en la cara descubierta de la impresora, seguido por la instalación de una caja de cartón sobre la impresora, para mantener el calor encerrado en ese pequeño espacio. Junto con todo esto, se

colocó un calefactor en sus cercanías, que estuvo encendido en todo momento de la impresión, para generar un ambiente más cálido a su alrededor.

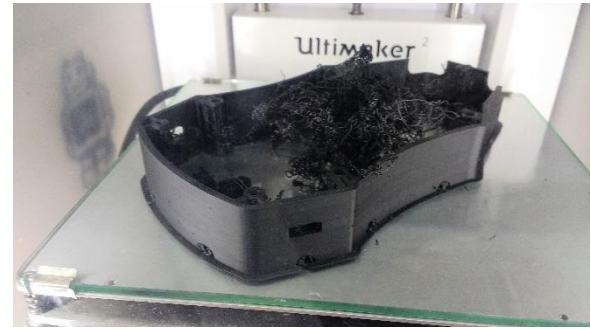


**FIGURA 23:** Protección de impresora 3D (a) Impresora sellada con tapa frontal (b) protección extra a la impresión.

Estas medidas mostraron ser muy útiles para la correcta impresión de la extensión, sin embargo, no fueron suficientes para evitar otras fallas. La impresión 3D es una tecnología en desarrollo, por lo que todavía no es perfecta, lo que hace que se produzcan fallas sin previo aviso, las que en su mayoría ocurrían por la

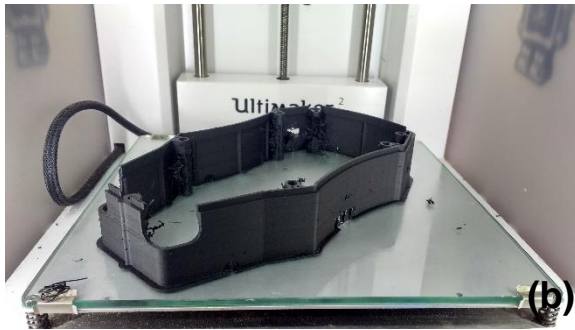
obstrucción de la boquilla extrusora, expulsando material inadecuadamente y arruinando la impresión, como se puede ver en la figura 24.

Este tipo de falla es impredecible, por lo que la única solución fue la constante vigilancia de las piezas cuando se encontraban en proceso de impresión.



**FIGURA 24:** Falla de la boquilla extrusora.

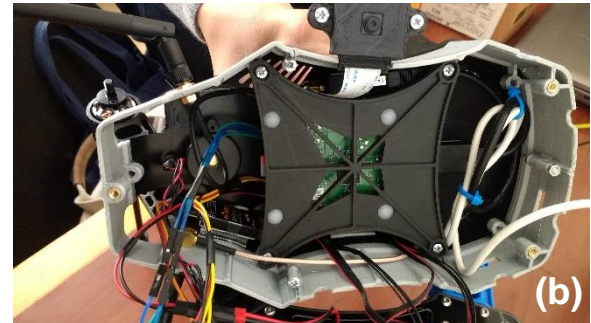
De esta forma, y luego de varios intentos fallidos, se pudo elaborar la primera carcasa apta para ser probada en los drones, no obstante, esta pieza todavía no estaba lista para ser instalada. Se debió retirar el material de soporte, emparejar algunas superficies con material extra y colocar las tuercas hexagonales para la instalación de la carcasa (figura 25).



**FIGURA 25:** Piezas impresas. (a) Distintos prototipos y piezas fallidas (b) pieza impresa correctamente (c) pulido de piezas.

Para finalizar este proceso, también se imprimieron las piezas que se acoplarían a la extensión, base de Raspberry, carcasa de RaspberryPi y soporte de antena Wifi. Estas piezas, al tener un tamaño más pequeño, no sufrieron tantas fallas como la extensión.

En la figura 26 se muestra el resultado final, con las piezas ensambladas y los dispositivos acoplados.



**FIGURA 26:** Piezas ensambladas (a) RaspiCam y antena ensambladas a extensión (b) Base Raspberry ensamblada en extensión.

## 5.4 Cuarta etapa: Testeo

En esta última etapa, se buscó comprobar el funcionamiento de las piezas desarrolladas, las cuales fueron en primera instancia probadas en el dron, para luego corregir algunos errores y finalmente probar en vuelo la solución. A continuación, se desarrollarán las dos experiencias.

### 5.4.1 Testeo previo a pruebas de vuelo

A través de todo el proceso de desarrollo conceptual y de prototipo, siempre se contó con la opinión y feedback del equipo de WFW, por lo que cuando llegó el momento de instalar la pieza final no fue la excepción.

Como se muestra en la figura 27, el ingeniero de proyectos Manuel Pedraza, armó toda la estructura, acomodando todas las piezas por sí solo, para luego entregar su feedback sobre la facilidad de instalación, que era uno de los requisitos solicitados por el equipo.



FIGURA 27: Instalación de piezas en el dron.

El primer problema observado fueron las extensiones de los puertos USB, debido a que en un comienzo los ingenieros los elaboraban por su cuenta en el laboratorio y como las conexiones eran muy pequeñas además de no contar con las herramientas adecuadas, estos quedaban muy frágiles y casi siempre fallaban. Este problema se logró solucionar cuando se encontró un cable en el mercado que cubría las necesidades, sin embargo, este era de un largo considerable, por lo que estorbaba en el proceso de instalación de la extensión.

En el caso del otro dispositivo que iba a ser conectado a estos puertos (cámara de alta definición) la conexión se resolvió pasando el cable por uno de los orificios de la base (técnica de impresión explicada en puntos anteriores) y conectándolo directamente a la RaspberryPi.

En general, el ingeniero señaló que la instalación solo de la extensión no tiene mayores dificultades, sin embargo, al colocar los otros elementos (Raspberry, RaspiCam y cámaras) se dificultaba excesivamente el proceso, principalmente por las conexiones entre dispositivos, junto con que luego de ser instalados todos los dispositivos, era casi imposible la modificación de alguna conexión. La solución elegida fue el cambio de posición en la instalación del soporte de la Raspberry, en lugar de colocarlo sobre los puntos de anclaje, lo ubicaron bajo estos, lo que les permitió instalar primero la extensión junto con los dispositivos (RaspiCam y antena Wifi) a la carcasa superior

del dron, luego hacer todas las conexiones en la Raspberry y posteriormente instalar el soporte con la Raspberry conectada en la extensión, para finalmente cerrar el dron y ensamblar la extensión al cuerpo del aparato. En la figura 28 se muestran, el dron armado con las piezas desarrolladas en este proceso, además de

enseñar los principales detalles, tales como el calce de la extensión al cuerpo del dron, puertos USB, orificios en la base de la extensión y los dispositivos exteriores con sus carcasas ensambladas a la extensión (RaspiCam y antena Wifi).



**FIGURA 28** :Dron Iris+ modificado. (a) dron ensamblado (b) RaspiCam y puerto USB (c) Antena Wifi.

Luego de un largo proceso de prototipado y pruebas, tanto fallidas como exitosas, se pudo originar el primer dron modificado, que fue nombrado IRIS++, debido a que fue una evolución del IRIS+ original, el que finalmente era capaz de cumplir con todas las tareas que el equipo de WFW se había propuesto. No obstante, todavía faltaban las pruebas de vuelo para comprobar el éxito de las modificaciones.



**FIGURA 29**: Drones IRIS+ (derecha) e IRIS++ (izquierda).

### 5.4.2 Pruebas de vuelo

Las primeras pruebas de vuelo se realizaron el 19 de enero del 2017, donde probaron la resistencia del ensamble de la carcasa de Iris+++ y también el vuelo programado, característica importante del dron.

En esta etapa de desarrollo del dron, el equipo había decidido hacer un cambio en la antena Wifi y colocar una de mayor alcance. Esta tenía una forma distinta de instalación, por lo que ya no fueron necesarias las extensiones USB y tampoco el puerto USB instalado en la carcasa.

Con estos últimos cambios incluidos, se efectuó la primera prueba, en las inmediaciones de la Universidad Técnica Federico Santa María, específicamente en la cancha de futbol. Este ensayo fue exitoso, logrando cumplir con el cometido de volar correctamente, seguir el camino indicado y aterrizar sin problemas. En la figura 30 muestran imágenes del día de la prueba.



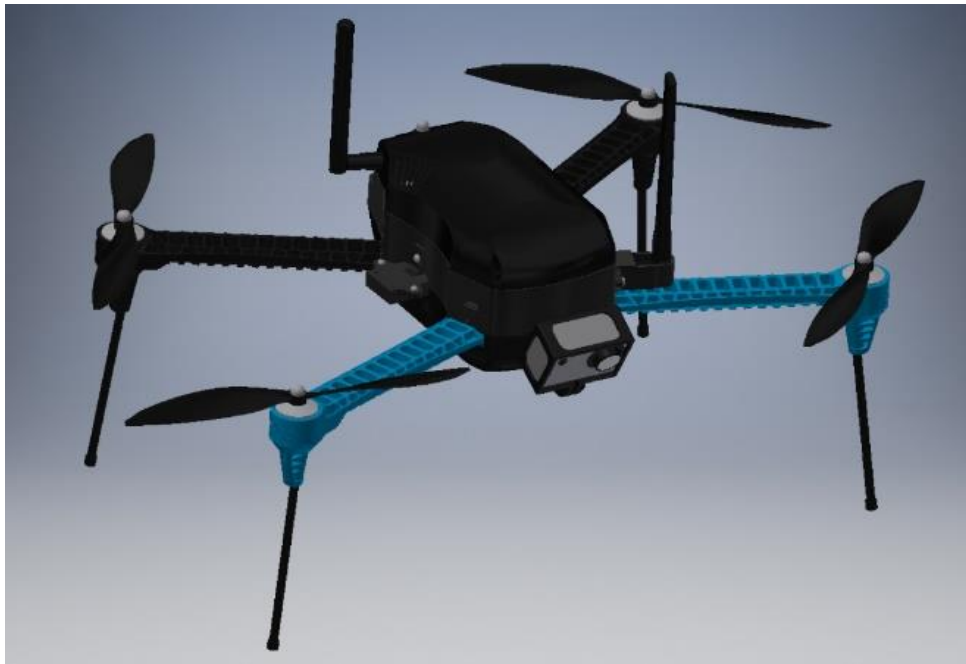
**FIGURA 30:** Dron IRIS++ en las primeras pruebas de vuelo.

### 5.4.3 Evaluación de soluciones propuestas

Como último paso en esta cuarta etapa, se realizó una evaluación de algunas de las soluciones propuestas en la etapa de diseño conceptual, donde se observó su comportamiento al momento del testeo (previo al vuelo y en vuelo).

Este proceso también será útil para obtener información sobre piezas o partes del producto que necesitan mayor desarrollo y que se podrían mejorar en un futuro.

El análisis se desarrollará a través de un chequeo de las PS escogidas, las que serán evaluadas en base al grado de satisfacción o cumplimiento que tuvieron, para después generar un esquema visual que permitirá identificar fácilmente los puntos más débiles y si se desea en un futuro hacer un rediseño o evaluación a las piezas con menor puntuación.



**FIGURA 31:** Modelo 3D de IRIS++

Posible Solución	Descripción	Indicador	Justificación
<b>PS1</b>	Modificar drones a través de manufactura aditiva	<b>4</b>	El proceso fue posible y entrego buenos resultados, sin embargo, es una tecnología complicada
<b>PS2</b>	Optimizar proceso de impresión manejando variables del programa	<b>3</b>	Tomo tiempo y muchas pruebas en llegar a los parámetros más acertados
<b>PS3</b>	Rediseñar la pieza acorde requisitos de la impresora	<b>4</b>	Las modificaciones aplicadas a la pieza fueron de gran utilidad a la hora de generar una impresión sin fallas
<b>PS4</b>	Generar una extensión de la carcasa para acomodar a la Raspberry	<b>5</b>	La extensión cumple la tarea de crear un espacio para la Raspberry
<b>PS8</b>	Basarse en contornos y anclajes del dron para hacer la extensión	<b>5</b>	Pieza mantiene forma del dron y permite el calce entre piezas.
<b>PS11</b>	Crear atiesadores en las paredes de la extensión	<b>5</b>	Atiesadores fortalecen paredes de la extensión, entregando robustez a la pieza
<b>PS12</b>	Desarrollo de uniones roscadas entre dron y pieza desarrollada	<b>5</b>	Mantiene la adecuada unión entre piezas

<b>PS13</b>	Generar pruebas previas para conocer la tolerancia de la impresora 3D	<b>3</b>	Aun cuando se generaron pruebas, la impresora no era consistente y en ocasiones fallaba.
<b>PS14</b>	Generar una base de soporte para Raspberry, que se acople a la extensión	<b>5</b>	Posición adecuada para no estorbar el funcionamiento de los otros dispositivos
<b>PS20</b>	Diseño curvilíneo que genere espacios para las conexiones	<b>5</b>	Permite el paso de los cables de conexión entre dispositivos
<b>PS21</b>	Diseño delgado y reforzado con nervios	<b>5</b>	Sostiene firmemente a la RaspberryPi
<b>PS22</b>	Aislar placa y fijarla con piezas plásticas a la base	<b>3</b>	Sostiene adecuadamente la Raspberry a la pieza de soporte, pero una vez instaladas no se puede modificar
<b>PS19</b>	Desarrollo de guías de anclaje entre extensión y base de Raspberry	<b>3</b>	Útiles y seguras, pero complicadas de instalar
<b>PS9</b>	Generar una carcasa para Raspicam	<b>4</b>	Dos piezas que logran proteger a la cámara y su conexión con la RaspberryPi
<b>PS15</b>	Diseñar sujeciones para la Raspicam	<b>3</b>	Los pines que sostienen a la cámara son muy frágiles, aun así, no han fallado
<b>PS16</b>	Desarrollar uniones roscadas entre pieza y carcasa	<b>5</b>	Unión firme y simple

<b>PS10</b>	Generar una carcasa para la antena que se acople a la extensión	<b>4</b>	Carcasa mantiene en posición a la antena
<b>PS23</b>	Carcasa dividida en dos partes para mayor sujeción	<b>4</b>	Protege la articulación de la antena
<b>PS17</b>	Desarrollar uniones roscadas entre pieza desarrollada y carcasa	<b>4</b>	Unión firme, sin embargo, se encuentra en un lugar de difícil instalación
<b>PS18</b>	Generar extensiones de puertos USB	<b>2</b>	Conexiones muy delicadas que fallan con los golpes o movimientos bruscos
<b>PS24</b>	Modificar la extensión de la carcasa	<b>3</b>	Útiles solo si se arregla el problema de las extensiones USB

**TABLA 9:** Listado de posibles soluciones evaluadas.

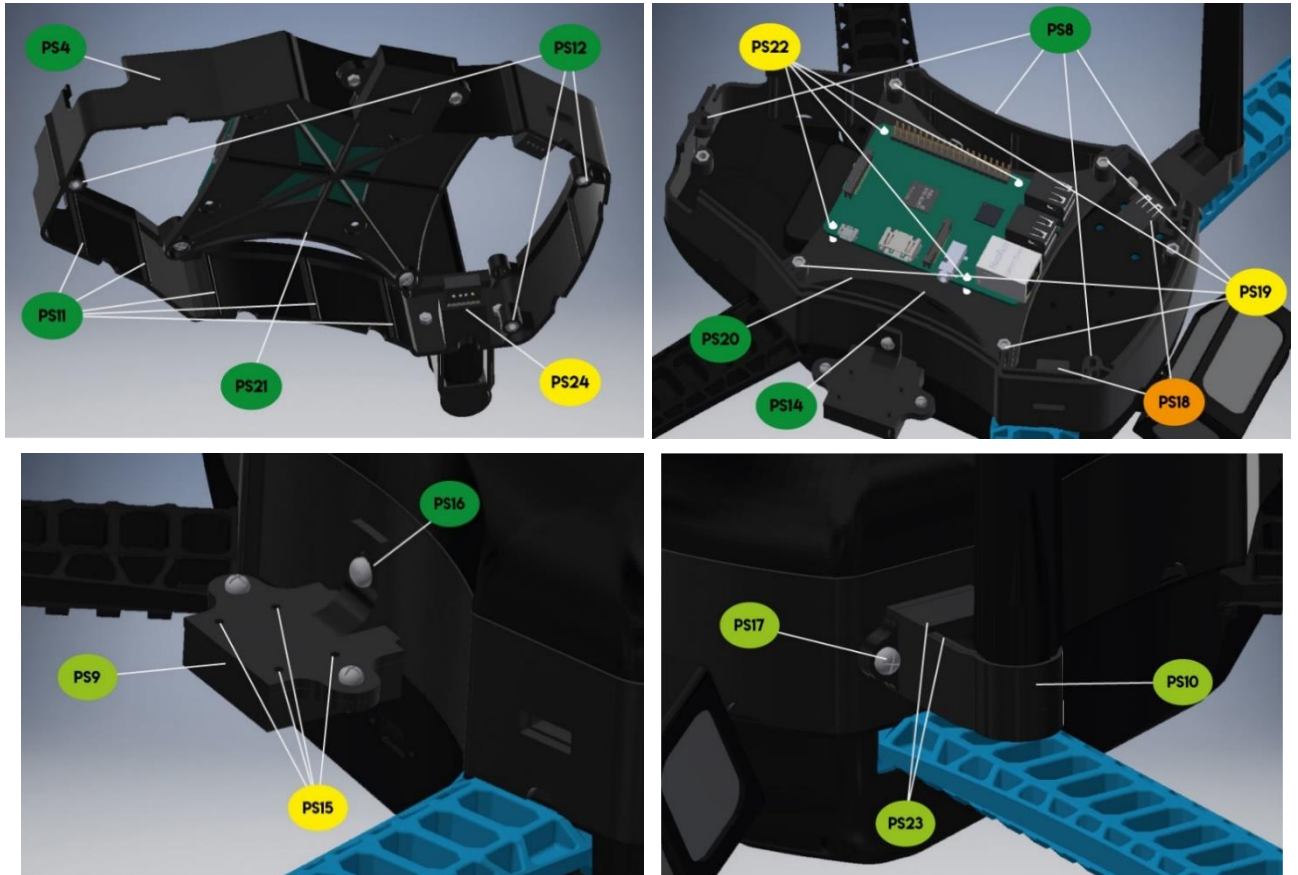


FIGURA 32: Representación esquemática de evaluación realizada en tabla 9.

Como paso final en este proceso, es necesario también hacer una evaluación del cumplimiento de los requerimientos principales del proyecto, lo que, junto con el esquema anterior, nos dará un mejor entendimiento de la

efectividad de la metodología propuesta en esta memoria.

A continuación, la tabla 10 nos muestra los resultados.

Requerimiento	Descripción	Indicador	Justificación
<b>Contención y protección de dispositivos</b>	Se debe mantener seguros y protegidos a todos los dispositivos que se incorporarán al dron.	<b>5</b>	Las piezas desarrolladas mantuvieron seguros y protegidos a todos los dispositivos durante las pruebas de vuelo realizadas.
<b>Replicabilidad</b>	Debido a que el proyecto de WFW trata de una visión multimodal con drones, es necesario que esta solución se implemente en varios drones a la vez, por lo que su elaboración deber lo más simple posible.	<b>4</b>	Todas las piezas desarrolladas fueron construidas a través de manufactura aditiva, por lo que son replicables por cualquier individuo que cuente con una impresora 3D. A pesar de esto, la impresión de las piezas resulto bastante dificultosa, por lo que no se logró cumplir este requisito en su totalidad.
<b>Resistencia</b>	Ya que el dron es propenso a golpes y movimientos bruscos, es necesario que la estructura del producto sea resistente.	<b>5</b>	Se pudo constatar, luego de varias pruebas y caídas, que las piezas resistieron de manera adecuada a los impactos y que estas no produjeron una debilitación en la estructura del dron.
<b>Simple instalación</b>	Para facilitar el trabajo de los ingenieros del proyecto, la instalación debe ser lo más simple posible.	<b>3</b>	Este punto no se pudo cumplir en su totalidad, debido a que las conexiones entre los dispositivos y los diversos cables complicaban el proceso. Sin embargo, con el tiempo se generó un orden de conexiones he instalaciones que hicieron el proceso más simple.
<b>Liviano</b>	El peso no debe interferir en el normal funcionamiento de la aeronave.	<b>5</b>	La aeronave pudo compensar los pesos de todas las piezas y dispositivos agregados, generando un vuelo normal y controlado.

**TABLA 10:** Análisis del cumplimiento de requerimientos

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En consecuencia, del trabajo desarrollado, cabe destacar que la metodología propuesta tuvo un resultado bastante satisfactorio, ya que permitió el desarrollo de un proceso de diseño de forma ordenada y coherente, esto gracias a la base que entrego Pahl & Beitz (1977). Generando etapas distintivas y fáciles de abarcar, que además contaron con la ayuda de otras metodologías tales como el Benchmarking, clasificación de recursos TRIZ y la Red de Problemas OTSM-TRIZ. Para finalmente llegar a una solución exitosa, que satisfacía en gran manera los requerimientos recolectados al inicio del proceso.

En cuanto al análisis de contexto, que es un paso muy importante para la obtención de requerimientos, es necesario perfeccionar la etapa, debido a que no tiene ninguna estructura para seguir, lo que podría generar una omisión de información importante. Esto se puede lograr ya sea adicionando otra metodología que facilite el proceso, o generando una lista de puntos que se deba desarrollar. Sin embargo, esta mejora podría tener una implementación complicada, debido a que habría que encontrar un método que se adecue a varias situaciones.

Siguiendo con las metodologías aplicadas, se pudo comprobar, gracias a la etapa final de evaluación, que al usar la Red de Problemas en el diseño conceptual se pudo anticipar la mayoría de los problemas con los que se encontró en el proceso, generando soluciones adecuadas que facilitaron el proceso de desarrollo.

Refiriéndose al caso aplicado, la utilización de manufactura aditiva fue acertada, debido a la rapidez con que una pieza se puede elaborar y probar en el mismo día. Sin embargo, esta tecnología todavía tiene mucho que avanzar, y cuando se trata con impresiones de tamaños más grandes, las probabilidades de fallas son muy altas, haciendo perder tiempo y materiales. Existen varias formas de cómo evitar este tipo de problemas, más ninguna es totalmente confiable, por lo que siempre se corre el riesgo.

Se debe destacar que la solución final desarrollada en el caso de estudio, respondió de manera exitosa a los requerimientos del proyecto WFW, lo que les permitió continuar con el desarrollo de un sistema inteligente de visión multimodal que en un futuro permitirá el monitoreo y análisis de incendios forestales en Chile.

Una de las soluciones planteadas en la red de problemas, menciono la posibilidad de generar piezas modulares, sin embargo, esta opción se dejó de lado debido al tiempo que se debía invertir en la modificación del desarrollo conceptual. No obstante, ya al final de este proceso, la opción de impresión de piezas pequeñas para luego ser fusionadas es una opción válida para una futura modificación del producto desarrollado. Debido a que facilitaría el proceso de impresión, permitiendo la impresión de varias piezas a la vez y disminuyendo los tiempos de producción.

Finalmente, recordando uno de los propósitos del proyecto WFW, que era la creación de enjambres de drones para el monitoreo y análisis de incendios. Se recomienda buscar otra forma de manufactura de las piezas, ya que es adecuado el uso de manufactura aditiva para el proceso de prototipado, pero al momento de tener que crear piezas para todos los drones que se van a usar, no es un método acertado, debido a todos los problemas mencionados previamente.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Hernando, V. D. (10 de marzo de 2018). Historia de los drones. Recuperado de: [www.eldrone.es](http://www.eldrone.es)

Yilmaz, S. (2015). Use of Unmanned Aircraft Systems (UAS) at Knowledge Development Process as the ISR Collection Means.

Khomenko, N., De Guio, R., Lelait, L., & Kaikov, I. (2007). A framework for OTSM? TRIZ-based computer support to be used in complex problem management. *International Journal of Computer Applications in Technology*, 30(1-2), 88-104.

Amazon (2016). Amazon Prime Air. Recuperado: <https://www.amazon.com/>

EHANG (2016). EHANG 184. Recuperado: <http://www.ehang.com/>

Cross, N. (2008). Engineering Design Methods: Strategies for Product Design.

Green, L. N., & Bonollo, E. (2002). The development of a suite of design methods appropriate for teaching product design. *Global Journal of Engineering Education*, 6(1).

- Malmqvist, J., Axelsson, R., & Johansson, M. (1996, August). A comparative analysis of the theory of inventive problem solving and the systematic approach of pahl and beitz. In *Proceedings of the 1996 ASME Design Engineering Technical Conferences*.
- Mueller, S. (2005). The TRIZ resource analysis tool for solving management tasks: previous classifications and their modification. *Creativity and Innovation Management*, 14(1), 43-58.
- NIKULIN, C., GONZALEZ, V., DIAZ, P., martinez, I. b., & carreño, c. (2016). evaluación de soluciones conceptuales basado en la integracion de otsm-triz y ahp. *dyna Management*, 4(1).
- Nikulín Chandia, C., Viveros Gunckel, P., Dorochesi Fernandois, M., Crespo Márquez, A., & Lay Bobadilla, P. (2017). Metodología para el análisis de problemas y limitaciones en emprendimientos universitarios. *Innovar*, 27(63), 91-105.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K. H. (2007). *Engineering Design: A Systematic Approach*, Springer.
- Altshuller, G. S. (1984). *Creativity as an exact science: the theory of the solution of inventive problems*. Gordon and Breach.
- Schreiber, L., & Ostiari, E. (2014). Game of drones: do civilian applications harbour opportunities for sustainable development?. Recuperado: [www.mirova.com](http://www.mirova.com)
- International Civil Aviation Organization (2011). Unmanned Aircraft Systems (UAS). Circular 328, AM/190.
- Rao, B., Gopi, A. G., & Maione, R. (2016). The societal impact of commercial drones. *Technology in Society*, 45, 83-90.
- Salgado, R. (15 de marzo de 2018). Drones: Tecnología a control remoto. *Saber Más Revista de Divulgación de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*. Recuperado de [www.sabermas.umich.mx](http://www.sabermas.umich.mx)
- LOZANO, A. F. H (2016). el uso de drones como medida de seguridad en la escuela militar de aviación.
- Newcome, L. R. (2004). *Unmanned aviation: A brief history of unmanned aerial vehicles*. Aiaa.

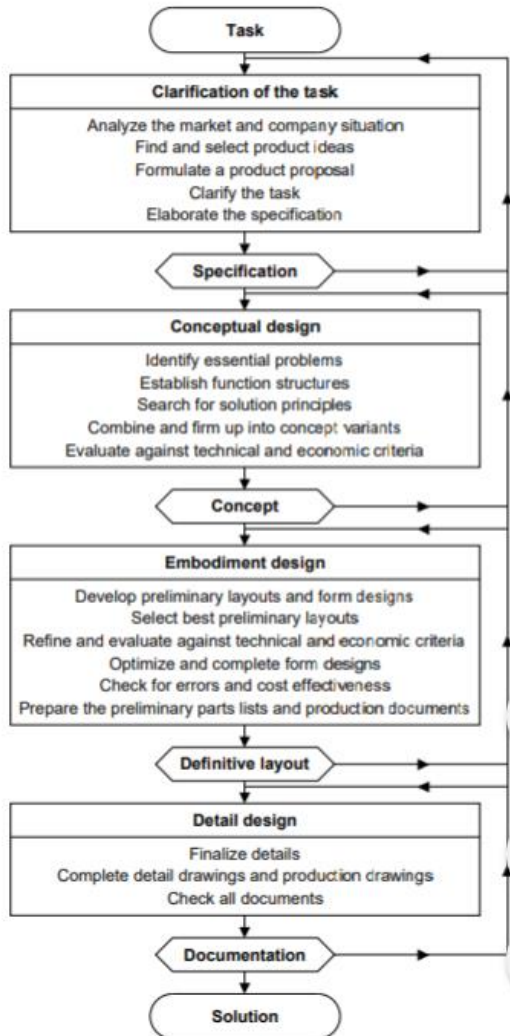
- Wegener, S., & Schoenung, S. (2003, January). Lessons learned from NASA UAV science demonstration program missions. In *2nd AIAA "Unmanned Unlimited" Conf. and Workshop & Exhibit* (p. 6616).
- Cuerno Rejado, C., Garcia Hernandez, L., Sanchez Carmona, A., Carrió Fernández, A., Sanchez Lopez, J. L., & Campoy Cervera, P. (2016). Evolución histórica de los vehículos aéreos no tripulados hasta la actualidad. *Dyna*, 91(3), 282-288.
- Addati, G. A., & Pérez Lance, G. (2014). *Introducción a los UAV's, Drones o VANTs de uso civil* (No. 551). Serie Documentos de Trabajo, Universidad del CEMA.
- Alto incendio (2013). Incendios forestales, ¿Qué significa? Recuperado: <http://www.altoincendio.cl/>
- CONAF (2018). Número de incendios forestales y superficie afectada a la fecha. Recuperado: <http://www.conaf.cl/>
- Mora, M. O. (2015). Tipología de aeronaves pilotadas por control remoto. *Los Drones y sus aplicaciones en la ingeniería civil*.
- Agrawal, K., & Shrivastav, P. (2015). Multi-rotors: A revolution in unmanned aerial vehicle. *International Journal of Science and Research*, 4(11), 1800-1804.
- Díaz Cantos, Ó. (2015). Drones y su aplicación en materia de seguridad y salud en el trabajo.
- Sato, A. (2003). *The rmax helicopter uav*. National Technical Information Service.
- Sánchez García, M. (2017). Uso y aplicaciones de drones en minería.
- Dai, L. S., Harary, M. A., Pompei, C. T., Shan, S. L., & Tu, M. J. (2016). 3D Printed Quadcopters. *NJ Governor's School of Engineering & Technology*.
- Gamerman, E. (2015). Drones invade hollywood. *The Wall Street Journal*. Recuperado: [www.wsj.com](http://www.wsj.com)
- Hassanalain, M., & Abdelkefi, A. (2017). Classifications, applications, and design challenges of drones: a review. *Progress in Aerospace Sciences*, 91, 99-131.
- Rao, B., Gopi, A. G., & Maione, R. (2016). The societal impact of commercial drones. *Technology in Society*, 45, 83-90.

Jeremia, S., Kuantama, E., & Pangaribuan, J. (2012, September). Design and construction of remote-controlled quad-copter based on STC12C5624AD. In *System Engineering and Technology (ICSET), 2012 International Conference on*(pp. 1-6). IEEE.

## 8. ANEXOS

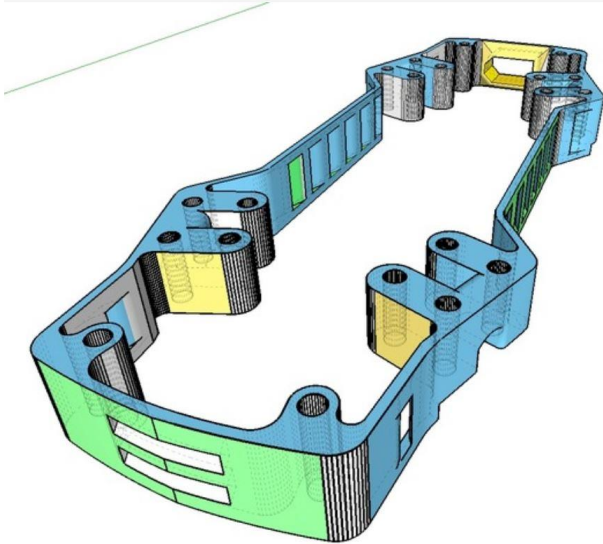
En esta sección podrá encontrar la información complementaria para la realización de este trabajo, los cuales se encuentran en orden en el cual se mencionan en el texto

## 8.1 ANEXO 1: Modelo descriptivo de Pahl & Beitz

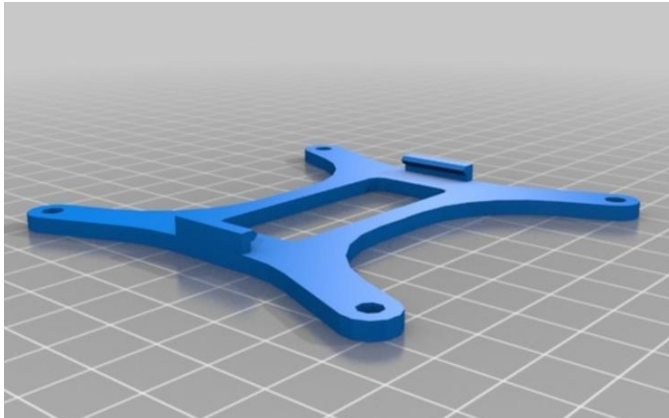


## 8.2 ANEXO 2: Análisis tipo Benchmarking

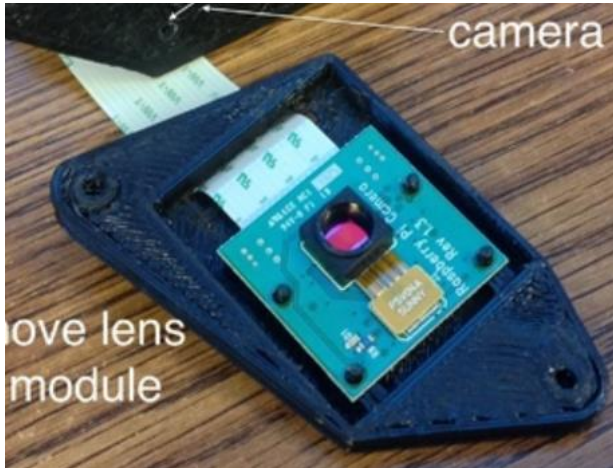
---



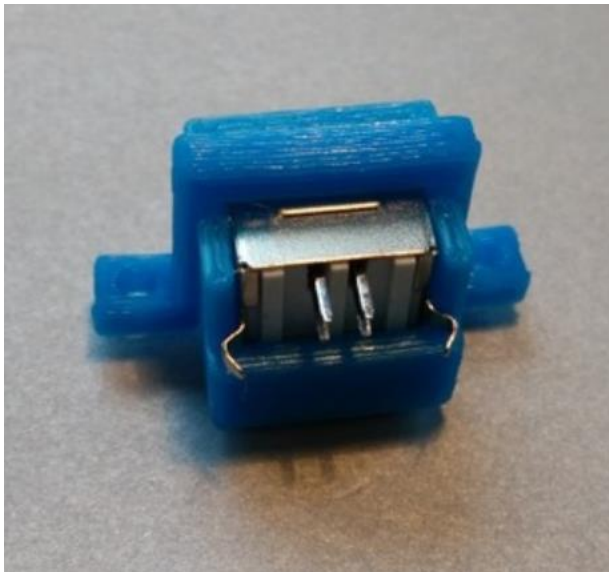
- **ZMR 250 15mm Uni-Spacer**



- **Vesa Mount and Slim Case for Raspberry Pi**



- **PiPiece Camera Frame**



- **USB female plug type B support**

### 8.3 ANEXO 3: Desarrollo de Red de Problemas

Pb/PS	Descripción
<b>Pb1</b> <b>Utilización de drones para localización y seguimiento de incendios forestales</b>	Wild Fire Watch es un proyecto que propone el desarrollo de drones capaces de localizar y seguir incendios en zonas forestales.
<b>Pb2</b> <b>Drones del mercado no cumplen requerimientos</b>	Para facilitar la primera etapa del proyecto, se utilizarán drones que estén en el mercado general, sin embargo, estos no cumplen las especificaciones necesarias para el cumplimiento de las tareas que se les aspira a realizar.
<b>PS1</b> <b>Modificar Drones a través de manufactura aditiva</b>	Para cumplir el propósito del proyecto, es necesario modificar los drones. Para esta etapa del proyecto se trabajará con el dron Iris +, de la empresa 3D Robotics.
<b>Pb3</b> <b>Tiempo de manufactura</b>	En este caso el tiempo de manufactura es un punto importante, debido a que es un proyecto que debe ir cumpliendo hitos que están programados en su planificación. Si el tiempo de manufactura se prolonga excesivamente, el proyecto podría detenerse y no cumplir las metas fijadas en el calendario.
<b>PS2</b> <b>Optimizar proceso de impresión manejando variables de programa (CURA)</b>	Al conocer la configuración adecuada que se le debe dar a la máquina para cada pieza que se desea imprimir, el tiempo de impresión disminuye, debido a que la maquina impresora trabaja mejor y hay menos posibilidad de falla.
<b>Pb8</b> <b>Las piezas deben ser supervisadas para evitar errores</b>	Incluso si la configuración de la maquina es la correcta para la pieza, existe una probabilidad muy grande de que falle debido a factores externos, es por lo anterior que se debe estar revisando constantemente la impresora cuando está trabajando. Esto impide abandonar su lado por periodos de tiempo prolongados, dificultando la realización de otras tareas.

## **Pb5**

### **Deformación de piezas por variaciones de temperatura**

Las piezas fabricadas con material ABS y de bases amplias tienen alta probabilidad de falla. La temperatura ambiental tiene un rol importante en este asunto, ya que las corrientes de aire frío solidifican con mayor rapidez a las extrusiones de ABS, evitando que el hilo extruido se asiente de forma correcta a la impresión y en conjunto tensionando la pieza y finalmente desprendiéndola de la placa de vidrio produciendo una deformación en la pieza, esto es llamado Warping.

## **PS5**

### **Generar modelo 3D con superficies segmentadas en sus bases**

Para disminuir la posibilidad de separación pieza-base de impresión (Warping: falla común con la impresión en ABS), se debe modificar la base de las piezas, seccionándolas y así previniendo los efectos de la contracción del material.

## **PS6**

### **Generar protección del medio ambiente**

Otra técnica para evitar el Warping es controlar el ambiente de impresión. Esto se logrará colocando protecciones alrededor y sobre la máquina impresora, evitando los cambios de temperatura bruscos que pueden ocurrir en un espacio abierto como es la sala de impresión IDP.

## **PS3**

### **Rediseñar la pieza acorde requisitos de la impresora**

IDP cuenta con impresoras Ultimaker 2. Estas tienen un volumen restringido de impresión, el cual es necesario tener en cuenta antes de enviar una pieza a imprimir. El programa de partición (CURA) no permite procesar piezas que no cumplan las dimensiones de la impresora.

## **PS7**

### **Generar piezas modulares**

Es posible particionar una pieza grande en varias pequeñas, las cuales tengan un sistema de calces que al unirlos permitan generar la pieza final.

<b>Pb4</b>	<p>Para cumplir el propósito del proyecto es necesario incorporar una placa al interior del dron, así controlar las cámaras y sensores que se le van a integrar al aparato. En este caso el equipo de WildFireWatch escogió la computadora de placa reducida RaspberryPi, esta debe quedar protegida y asegurada a una superficie estable dentro del mismo dron, ya que se trata de un dispositivo muy delicado que debe estar resguardado del entorno.</p>
<b>PS4</b>	<p>El espacio dentro del dron es limitado y no permite acomodar de manera correcta a la Raspberry, por lo que se debe idear una forma aumentarlo. Al desarrollar una extensión de la carcasa, se aumentará el volumen libre dentro del dron y se permitirá la ubicación de la Raspberry dentro de él.</p>
<b>PS8</b>	<p>Para no alterar el diseño del dron, la extensión se basará en el contorno de este. Consiste en una pared delgada que aumenta en <b>35 mm</b> la altura de la carcasa, generando un espacio vacío para posicionar la placa. Junto con lo anterior, se replicará el modo de fijación original</p>
<b>Pb11</b>	<p>Adicionar una pieza de gran tamaño a la carcasa del dron puede debilitar toda la estructura, debido a que esta está sometida a golpes y vibraciones constantemente.</p>
<b>PS11</b>	<p>Para generar una estructura resistente y que permita el funcionamiento óptimo del dron, se le deben agregar atiesadores a las paredes de la extensión, los que deben estar en sentido vertical para entregar fortaleza a las delgadas paredes de la extensión.</p>

<p><b>PS12</b></p> <p><b>Desarrollo de uniones roscadas entre dron y pieza desarrollada</b></p>	<p>Utilizando el mismo sistema de unión de piezas que tiene el dron originalmente, se replican todos los puntos de anclaje en la parte superior e inferior de la extensión. Los puntos superiores, que son los primeros en instalarse, solo cuentan con un orificio circular que permita el anclaje de la carcasa a la extensión. Los puntos inferiores (conectados a la base del dron) contarán con un vacío hexagonal en el centro, donde se les instalarán tuercas hexagonales (MEDIDAS DE TUERCAS) las que servirán como guía para los tornillos de anclaje finales.</p>
<p><b>Pb12</b></p> <p><b>Imprecisión en las dimensiones finales de la pieza</b></p>	<p>La impresión de un modelo CAD en una impresora 3D nunca será perfecta. Esto se debe a una variedad de factores, que pueden ser desde la temperatura ambiental, el programa SLICER, el material de extrusión, la precisión de la impresora 3D, etc. La calidad y precisión de las dimensiones son los elementos que se ven más afectados, especialmente en piezas de pequeñas dimensiones (PONER DIMENSIONES CON LAS QUE MAS SE TUVO PROBLEMAS).</p>
<p><b>PS13</b></p> <p><b>Generar pruebas previas para conocer la tolerancia de la impresora 3D</b></p>	<p>Las piezas o partes que tengan dimensiones menores a los 5mm deben ser impresas en la máquina previo a la impresión de la pieza entera para conocer la tolerancia de la impresora y saber las medidas que se deben cambiar en el archivo CAD para generar una impresión correcta de la pieza final y obtener un el montaje más preciso de las piezas</p>
<p><b>Pb13</b></p> <p><b>La Raspberry debe estar fija y segura</b></p>	<p>Debido a su composición delicada, la Raspberry debe estar asegurada a una superficie o carcasa de protección cuando se le utiliza en un proyecto. No solo se le debe proteger de golpes, además debe cuidarse que la placa no quede en contacto con objetos conductores mientras este encendida.</p>
<p><b>PS14</b></p> <p><b>Generar una base de soporte que se acople a la extensión</b></p>	<p>Para aislar la Raspberry dentro del dron se debe desarrollar una base en la cual se fijará. Esta a su vez debe acoplarse a la extensión para que quede fija y segura en el espacio vacío que se obtuvo en el interior del dron.</p>

<p><b>Pb16</b></p> <p><b>No se debe obstaculizar el paso de los cables</b></p>	<p>El sistema interno del dron consiste en varios elementos electrónicos conectados entre sí, los que permiten el vuelo y otras acciones del dron. Estas conexiones se realizan a través de cables que recorren el dron en su interior, por lo que se debe asegurar que su camino no sea interrumpido por elementos incorporados</p>
<p><b>PS20</b></p> <p><b>Diseño curvilíneo que genere espacios para las conexiones</b></p>	<p>No es necesario que la base abarque la totalidad de las dimensiones de las Raspberry, por lo que solo hay que asegurarse que los cuatro puntos de anclaje tengan una base para fijarse. De la misma forma, la base solo necesita algunos puntos de apoyo para fijarse firmemente a la extensión. El resultado permite generar una pieza que permita el paso de los elementos internos del dron.</p>
<p><b>Pb17</b></p> <p><b>Debe ser ligera</b></p>	<p>Existe la posibilidad de que el funcionamiento del dron se vea afectado por la adición de una pieza de un peso considerable.</p>
<p><b>PS21</b></p> <p><b>Diseño delgado y reforzado con nervios</b></p>	<p>Para cumplir con los requerimientos la base debe ser delgada (2 mm de espesor). Esto puede debilitar la pieza y afectar el soporte que le debe entregar a la Raspberry, por lo que se le integran nervios en todo su contorno, además de nervios que crucen su centro para hacer la pieza más resistente.</p>
<p><b>Pb 18</b></p> <p><b>La placa Raspberry no puede estar en contacto con elementos conductores</b></p>	<p>En la configuración original del dron existen varios elementos conductores que podrían afectar el desempeño de la Raspberry. Hay que mantenerla alejada de elementos de metal.</p>
<p><b>PS22</b></p> <p><b>Aislar placa y fijarla con piezas plásticas a la base</b></p>	<p>Asegurarse que la base mantenga a la Raspberry lo más alejada y protegida de los demás elementos dentro del dron. Con el mismo propósito de proteger a la placa de elementos que le podrían afectar, la instalación a la base se realizara con piezas de plástico especialmente diseñadas para la Raspberry.</p>

<p><b>PS19</b></p> <p><b>Desarrollo de guías de anclaje entre extensión y base</b></p>	<p>Se debe desarrollar una forma fácil y segura de instalar la base a la extensión. Replicando la forma de anclaje de la extensión a el dron, se le adicionaran 4 puntos de anclaje a la pieza, que contarán con una guía (tuerca hexagonal) la que permitirá atornillar la base a estas.</p>
<p><b>Pb6</b></p> <p><b>Se debe conectar una Raspicam a la Raspberry</b></p>	<p>Uno de los requerimientos del proyecto es la instalación de una Raspicam conectada a la placa, esto para ayudar en el aterrizaje de precisión.</p>
<p><b>Pb9</b></p> <p><b>El lente de la cámara debe ir dirigido en dirección al suelo</b></p>	<p>Ya que la cámara se utilizará para el aterrizaje, es necesario que esta se encuentre al exterior del dron, además de que apunte al suelo, permitiendo el análisis de imágenes y toma de decisiones.</p>
<p><b>PS9</b></p> <p><b>Generar una carcasa para Raspicam</b></p>	<p>Es necesario generar una carcasa que proteja a la cámara del medio, ya que esta es bastante delicada. La carcasa permitirá colocar la cámara en la posición deseada y mantenerla firme, además de crear una abertura entre carcasa y extensión para permitir el paso del cable de la Raspicam que debe ir conectado a la Raspberry.</p>
<p><b>PS15</b></p> <p><b>Diseñar sujeciones para la Raspicam</b></p>	<p>Aprovechando la estructura de la Raspicam, se utilizarán los 4 orificios con los que cuenta para su fijación y será insertada directamente en la carcasa, la que contará con las 4 fijaciones correspondientes.</p>
<p><b>PS16</b></p> <p><b>Desarrollar uniones roscadas entre pieza y carcasa</b></p>	<p>Para no modificar piezas en el dron, se determinó que la carcasa de la cámara se adose a la extensión, esto se logrará a través de una pieza acoplable, la que además se asegurará a través de un tornillo y tuerca para asegurar su unión.</p>

<p><b>Pb7</b></p> <p><b>Se debe conectar una antena Wifi a la Raspberry</b></p>	<p>Esta logra establecer una conexión entre la Raspberry y el operador, el que puede controlar desde la distancia el dispositivo.</p>
<p><b>Pb10</b></p> <p><b>La antena debe estar en el exterior y sujeta al dron de manera estable</b></p>	<p>Para que la antena tenga un mejor desempeño es necesario colocarla al exterior del dron, así aumentan las posibilidades de captar la señal wifi. La antena cuenta con dos partes unidas por una articulación, la que debe ser protegida ante la posibilidad de golpes y movimientos bruscos.</p>
<p><b>PS10</b></p> <p><b>Generar una carcasa para la antena que se acople a la extensión</b></p>	<p>La antena ya cuenta con una carcasa de plástico que protege el sistema interno, sin embargo, es necesario desarrollar una carcasa que la proteja de golpes, además de permitir la unión de la antena con el dron.</p>
<p><b>Pb15</b></p> <p><b>Se debe proteger la articulación</b></p>	<p>La antena que se utilizara está compuesta por dos partes unidas por una articulación. Esta queda inutilizable si el sistema se quiebra.</p>
<p><b>PS23</b></p> <p><b>Carcasa dividida en dos partes para mayor sujeción</b></p>	<p>Se debe desarrollar una carcasa que bloquee la articulación. Esto se conseguirá con dos piezas, la primera debe encajar con la parte más pequeña de la antena además de bloquear la articulación, la segunda pieza debe mantener en su posición a la antena.</p>
<p><b>PS17</b></p> <p><b>Desarrollar uniones roscadas entre pieza desarrollada y carcasa</b></p>	<p>Para adosar la antena a él dron fue necesario crear un sistema de unión de la carcasa con la extensión. Esta se logra gracias a tornillos y tuercas, que aseguraron la pieza a la estructura.</p>
<p><b>Pb14</b></p> <p><b>Los puertos USB de la Raspberry se encuentran en el interior del dron</b></p>	<p>Para el funcionamiento de la antena Wifi es necesario que esta vaya conectada vía puerto USB a la Raspberry. La ubicación de la placa no permite la conexión directa de los elementos.</p>

## **PS18**

### **Generar extensiones de puertos USB**

Se puede crear una extensión de los puertos USB utilizando cabezales USB hembra y macho conectados cables de la extensión necesaria para que llegue a la posición necesaria.

## **Pb19**

### **No existe salida para los cabezales**

A pesar de que se creó una solución para la conexión USB de la antena a la Raspberry, no existe un espacio que permita conectar la extensión con la antena.

## **Pb20**

### **Los cabezales deben estar fijos y seguros**

Las conexiones entre cables y cabezales son delicadas, los movimientos bruscos o golpes podrían deshacer las soldaduras entre estos.

## **PS24**

### **Modificar la extensión de la carcasa**

Se debe encontrar el lugar adecuado para la instalación de la antena, un espacio donde las aspas del dron no la choquen, además que exista espacio en el interior para crear una base para los cabezales de la extensión USB