

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARIA
ACADEMIA DE CIENCIAS AERONÁUTICAS
SANTIAGO-CHILE



**ESTUDIO SOBRE CARACTERÍSTICAS NECESARIAS EN LA
ELABORACIÓN DE UN MODELO DE AERONAVE PILOTADA A
DISTANCIA DESTINADA A LABORES DE EXTINCIÓN DE
INCENDIOS**

ALISSON SUÁREZ FAÚNDES

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO EN AVIACIÓN COMERCIAL

PROFESOR GUIA : SR. MARTINUS POTTERS

PROFESOR CORREFERENTE : SR. RODRIGO SUÁREZ V.

2021

Dedicatoria

A mis padres, por creer siempre en mí y darme todo y más.

A Carlitos, por acompañarme en este camino.

A quien lea esta memoria de comienzo a fin.

Resumen ejecutivo

La presente investigación se ha elaborado a fin de estudiar y determinar las características que debiera tener un modelo de aeronave pilotada a distancia, destinada a labores de extinción de incendios, dando una mirada hacia el futuro en el combate del fuego con aeronaves, para que este estudio pueda eventualmente contribuir tanto a la fabricación como también a incorporar modernidad y eficiencia en estas labores.

En Chile, la ocurrencia de incendios forestales destaca por su consistente tendencia creciente y su concentración geográfica, ya que se promedia en los últimos 15 años un incremento anual de 67 episodios por temporada y, además, el 71,4% de ellos tienen lugar en 3 de las 16 regiones del país, siendo estas, Biobío, La Araucanía y Valparaíso.

La evidencia muestra que llevar a cabo un ataque inicial en etapa temprana contribuye a conseguir una contención oportuna de un incendio, en especial cuando su *índice de peligrosidad de incendios forestales* se encuentra en el rango bajo o medio, y más aún cuando se trabaja con aeronaves.

Por otra parte, el análisis de aeronaves utilizadas en combate de incendios ha mostrado que existe una correlación negativa de fuerza media entre la capacidad en litros de agua y la efectividad de la aeronave, es decir, entre mayor sea la capacidad de la aeronave menor es su efectividad. También, se ha notado que el mecanismo de descarga de agua es determinante para la efectividad de la aeronave.

En adición, se ha observado que, en promedio, una aeronave utilizada en extinción de incendios destina el 30% del peso máximo de despegue a algún elemento extintor, mientras que si se desglosa entre aviones y helicópteros, este porcentaje resulta ser 28% y 33% respectivamente.

También, se ha estudiado que la comparación entre alas rotatorias y fijas para una aeronave pilotada a distancia dedicada a los fines en estudio, indica que las alas rotatorias serían más apropiadas. Por su parte, con relación al depósito de elemento extintor, el estanque ventral muestra superioridad por sobre el helibalde, considerando los usos propuestos.

Con relación a los sistemas necesarios, se ha observado que existiría una redistribución de estos, ubicando algunos a bordo de la aeronave, otros en la estación de pilotaje remoto, y otros en ambos lugares, dependiendo de la función de cada uno de ellos. Además, se ha determinado que aquel sistema con mayor complejidad es el de comunicaciones, ya que, dada la ausencia del piloto a bordo, este se requiere también para el control de la aeronave.

Respecto a la legislación que rige a estas aeronaves, se ha observado que en Chile si bien existen normativas enfocadas en aeronaves no tripuladas, estas están elaboradas para aeronaves de menor tamaño, no existiendo la posibilidad de que realicen trabajos de extinción de incendios. En contraposición, las normativas de entidades internacionales si tratan y dan cabida a trabajos aéreos de este tipo. No obstante, en ambos casos queda expuesto que aún hay temas que deben tratarse con anterioridad a la inclusión de aeronaves no tripuladas al espacio aéreo no segregado.

PALABRAS CLAVES: AERONAVES NO TRIPULADAS, AERONAVE PILOTADA A DISTANCIA, INCENDIOS FORESTALES, EXTINCIÓN.

Abstract

This research has been developed in order to study and determine features that a remotely piloted aircraft model should have, intended for firefighting tasks, taking a look at the future in firefighting using aircrafts in order to eventually contribute to manufacturing and incorporate modernity and efficiency into these tasks.

In Chile, the occurrence of forest fires stands out for its consistent growing trend and its geographical concentration, with an average annual increase of 67 episodes per season over the last 15 years. In addition, 71.4% of these episodes take place in 3 of the 16 regions of the country: Biobío, La Araucanía and Valparaíso.

Evidence shows that carrying out an initial attack at an early stage contributes to timely containment of a fire, especially when its *forest fire danger index* is in the low or medium range, and even more when working with aircrafts.

On the other hand, the analysis of aircraft used in firefighting has shown there is a moderate negative correlation between capacity in liters of water and effectiveness of aircraft. In other words, the bigger aircraft's capacity, less effective it is. Also, the analysis shows that the water discharge mechanism is a determining factor for the effectiveness of the aircraft.

In addition, the analysis show that, on average, an aircraft used in firefighting uses 30% of maximum take-off weight for an extinguishing element, while if it broken down between airplanes and helicopters, this percentage turns out to be 30% and 33% respectively.

Also a comparison has been made between rotary and fixed wings for a remotely piloted aircraft dedicated to purposes under study, which indicates rotary wings are more appropriate. Regarding the extinguishing element deposit, a fixed tank shows to be more effective than a bucket, considering the proposed uses.

Regarding necessary systems, it has been observed there would be a redistribution of these, placing some on board the aircraft, others in a remote pilot station or in both

places, depending on the function of each one of them. Furthermore, it has been determined that the most complex system is the communications system due to the absence of the pilot on board, it is also required to control the aircraft.

Concerning the legislation governing these aircraft, it has been detected that in Chile, although there are rules focused on unmanned aircraft, these are developed for smaller aircraft, and there is no possibility for firefighting. In contrast, international regulations entities do deal with and accommodate this type of aerial works. However, in both cases it is clear there are still issues that must be addressed prior to inclusion of unmanned aircraft in non-segregated airspace.

KEY WORDS: UNMANNED AIRCRAFT; REMOTELY PILOTED AIRCRAFT;
FOREST FIRE; EXTINCTION

Glosario

ACAS	Airborne Collision Avoidance System
AGL	Above Ground Level, sobre el nivel del suelo
ATC	Air Traffic Control, control de tráfico aéreo
BVLOS	Beyond Visual Line Of Sight, más allá de la visibilidad directa visual.
CNID	Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo
CONAF	Corporación Nacional Forestal
DGAC	Dirección General de Aeronáutica Civil
FFDI	Forest Fire Danger Index, índice de peligrosidad de incendios forestales
IFR	Instrumental Flight Rules, reglas de vuelo instrumental
IMC	Condiciones meteorológicas de vuelo instrumental
MTOW	Maximum take off weight, peso máximo de despegue
MTOW	Maximum Take Off Weight, peso máximo de despegue
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
OCDE:	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
PCADS	Precision Container Air Delivery System
RAE	Real Academia Española
RPA	Remotely Piloted Aircraft, aeronave pilotada a distancia
SARPS	Standards and Recommended Practices, normas y métodos recomendados
UAS	Sistemas de aeronaves no tripuladas
VFR	Visual Flight Rules, reglas de vuelo visual
VMC	Condiciones meteorológicas de vuelo visual

Tabla de contenidos

Resumen ejecutivo	3
Abstract	5
Glosario	7
Tabla de contenidos.....	8
Índice de gráficos	10
Índice de tablas.....	10
Índice de ilustraciones.....	10
Introducción	11
I. ANTECEDENTES GENERALES	13
1.1 Justificación.....	13
1.2 Objetivos	15
1.2.1 Objetivo general	15
1.2.2 Objetivos específicos	15
1.3 Metodología	15
1.4 Alcance.....	16
II. ESTADO DEL ARTE	18
2.1 Antecedentes	18
2.1.1 Medios aéreos y su origen.....	18
2.1.2 Flota aérea de CONAF.....	19
2.1.3 Manejo de recursos de CONAF	19
2.1.4 Habilitación de pilotos de helicópteros para el combate de incendios.....	20
2.1.5 Aeronaves no tripuladas utilizadas en Chile para combatir incendios.....	20
2.1.6 Nuevas tecnologías aéreas para trabajos aéreos de extinción de incendios	21
2.1.7 Recursos destinados al arriendo de aeronaves en los últimos años	23

2.1.8 Muertes por extinción de incendios relacionados con la aviación	24
2.2 Marco teórico	24
2.2.1 Definición de aeronave	25
2.2.2 Métodos de combate de incendios forestales	25
2.2.3 Ataque inicial	26
2.3 Propuesta metodológica	29
III. DESARROLLO	30
3.1 Análisis de incendios forestales en Chile.....	30
3.2 Diseño de una aeronave no tripulada	36
3.3 Análisis de aeronaves utilizadas y características	38
3.4 Características esenciales en aeronaves no tripuladas que se enfoquen en labores de extinción de incendios	45
3.4.1 Ala fija o rotatoria	45
3.4.2 Estanque ventral o helibalde	49
3.4.3 Sistemas	53
3.4.3.1 Sistemas prescindibles dada la naturaleza de la aplicación propuesta	57
3.5 Consideraciones especiales	59
3.6 Legislación Chilena.....	61
3.6.1 DAN 137	61
3.6.2 DAN 151	64
3.6.3 Circular 328.....	66
Conclusiones	71
Bibliografía	73
Anexos	76

Índice de gráficos

Gráfico 2.2.3: Éxito del ataque inicial según FFDI y tiempo transcurrido entre detección y ataque inicial.....	27
Gráfico 3.1.1: Ocurrencia nacional histórica por temporada.....	31
Gráfico 3.1.2: Daño nacional histórico por temporada.....	31
Gráfico 3.1.3: Comparación porcentual entre ocurrencia y daño de incendios forestales normales y de magnitud.....	32
Gráfico 3.1.4: Distribución horaria histórica de ocurrencia de incendios en el país.....	34
Gráfico 3.3.1: Relación entre la capacidad y efectividad de aeronaves en 2017.....	40

Índice de tablas

Tabla 2.1.1: Recursos destinados al arriendo de aeronaves.....	24
Tabla 3.3.1: Peso máximo de despegue y capacidad de litros de agua de aeronaves utilizadas para combate de incendios.....	42
Tabla 3.4.1: Comparación entre alas rotatorias o fijas.....	48
Tabla 3.4.2: Tabla comparativa entre estanque ventral y helibalde.....	52

Índice de ilustraciones

Ilustración 2.1.1: Aeronave Air Tractor 802 Fire Boss. Fuente: Air Tractor.....	19
Ilustración 2.1.2: Flyon I, aeronave no tripulada diseñada por Singular Aircraft.....	22
Ilustración 2.1.3: Prototipo de Nitrofirex.....	22
Ilustración 3.4.1: Compuertas del estanque ventral de la aeronave Bombardier 415.....	49
Ilustración 3.4.2: Helicóptero PZL Sokol W-3A con helibalde.....	50
Ilustración 3.4.3: Enlace de comunicaciones.....	54

Introducción

El territorio chileno consta de una larga y angosta faja de tierras volcánicas, bordeado al oeste por el océano pacífico y al este por la cordillera de Los Andes. Además, su extensión le permite abarcar diferentes climas, flora y fauna dentro del país.

Por su geografía, Chile es un país que se caracteriza por la ocurrencia de catástrofes naturales, siendo los más relevantes terremotos, tsunamis, erupciones volcánicas, aluviones, fenómenos climáticos extremos, e incendios forestales (CNID 2016). Es más, según el informe del Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo “*Hacia un Chile resiliente frente a desastres*”, este es el país miembro de la OCDE más expuesto a desastres de origen natural con el 54% de su población y el 12,9% de su superficie total expuesta a tres o más tipos de estas amenazas.

Ahora bien, centrándose en los incendios forestales en el país, estos son fenómenos frecuentes, que no solo afectan el medio ambiente sino también el ámbito social y económico. Es por esto que se vuelve crucial establecer protocolos de acción para afrontar estas situaciones para que cuando ocurran generen el menor perjuicio posible, centrando la atención en, primeramente, evitar su existencia, luego evitar su propagación y por último extinguirlos.

Dentro del territorio nacional, la Corporación Nacional Forestal (CONAF), entidad autónoma de derecho privado dependiente del Ministerio de agricultura, en su calidad de servicio nacional forestal tiene, entre sus labores, gestionar un programa de manejo del fuego para protección contra incendios forestales en el país.

Como primera línea de acción, esta entidad realiza campañas de concientización a fin de promover e incentivar una actitud cuidadosa en el uso y manipulación del fuego, especialmente en temporadas de altas temperaturas. Lo anterior, debido a que según sus propias estadísticas el 99,7% de los incendios en el país son provocados por acción humana, ya sea de manera intencional o involuntaria.

Luego, para prevenir la propagación se utilizan drones para la detección temprana de focos incendiarios y monitorear su avance. Además, los brigadistas se encargan de realizar líneas corta fuego mediante uso de su flota aérea y/o trabajos en tierra.

Por último, para la extinción del fuego, además del combate por tierra, se utilizan aeronaves de propiedad de CONAF como también otras arrendadas a externos.

En cuanto a las herramientas utilizadas en la prevención y extinción, es pertinente evaluar periódicamente avances tecnológicos que podrían adoptarse para mejorar la eficiencia y seguridad del personal. Es por esto, que es oportuno estudiar la posibilidad de integrar aeronaves pilotadas a distancia, conociendo por su puesto las características necesarias que este tipo de aeronaves requeriría para labores de extinción de incendios.

I. ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Justificación

El detectar de manera temprana un incendio forestal es fundamental para evitar su propagación y que este se salga de control. En temporadas de altas temperaturas, en donde el riesgo de incendios se incrementa, controlar zonas extensas, como lo es el territorio forestal chileno con aproximadamente 177.000 km², se convierte en un desafío, ya que requiere la coordinación de todos los equipos que se tiene a disposición para actuar ante una eventualidad.

Para esto, se debe contar con herramientas adecuadas tanto en la detección como en la extinción. Sin embargo, también existen otros factores que afectan el accionar, como lo es la geografía del país, ya que focos incendiarios pueden presentarse en áreas donde se imposibilita el combate del fuego por vía terrestre, dejando como única opción la aérea.

Por otra parte, los medios aéreos poseen sus propias limitaciones, ya que además del alto costo de adquisición y operación, son recursos escasos y la coordinación resulta compleja, dado que la utilización de estos no se realiza de manera independiente a las labores en tierra, más bien depende y está a disposición de la brigada a cargo como otro método de control más. También, se deben considerar otras limitaciones, como por ejemplo, la operación misma de las aeronaves y helicópteros de los que se dispone, ya que el combate de incendios implica envolverse en un entorno con condiciones como baja visibilidad, zonas turbulentas y baja densidad de aire por la temperatura, lo que se traduce en labores riesgosas, restringiendo las condiciones necesarias para que un piloto pueda realizar estas tareas.

Dado lo anterior, se estudia la utilización de aeronaves no tripuladas como un nuevo método de control de incendios, ya que, si bien existen aeronaves de esta categoría empleadas en combate de incendios, sólo realizan labores de detección y vigilancia.

En este caso, ésta memoria se enfoca en una eventual aeronave pilotada a distancia de categoría liviana, con la capacidad de transportar agua o retardante para atender de

manera rápida un foco incendiario en su etapa inicial mediante ataque directo, con el objetivo de prevenir su propagación y mantener controlada la situación en el menor tiempo posible. Además, cabe la posibilidad de utilizarla para descargar agua en zonas ya extinguidas que continúan con una temperatura superficial elevada, con el propósito de evitar rebrotes. El objetivo consiste en estudiar y determinar aquellas características que debieran tener este tipo de aeronaves y que serían útiles para los fines propuestos.

Esta alternativa se aborda desde la perspectiva de mejorar y complementar la logística actual, ya que, según estadísticas de CONAF, existe evidencia de que en temporada alta de incendios es frecuente ver diversos focos de manera simultánea, por ende, la alternativa en estudio podría aliviar incendios pequeños mientras se concentran las fuerzas en aquellos de mayores proporciones. En adición, podría acceder a zonas de difícil acceso, a baja altura, y sin poner en riesgo la vida de brigadistas, lo que corresponde a una ventaja en relación a la utilización de helicópteros y aviones ligeros.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Definir aspectos técnicos que deberían tener aeronaves pilotadas a distancia destinadas a prevenir la propagación de incendios forestales en Chile, considerando las características y necesidades del país en materia de control y extinción de estos fenómenos.

1.2.2 Objetivos específicos

- ❖ Analizar el comportamiento que han tenido en la historia los incendios forestales en el país.
- ❖ Estudiar los métodos aéreos utilizados para prevenir y combatir incendios en Chile, como también los más comunes en el mundo.
- ❖ Determinar componentes y sistemas esenciales en aeronaves pilotadas a distancia para incorporarlas a los trabajos aéreos en estudio.
- ❖ Examinar legislación chilena vigente sobre aeronaves no tripuladas para conocer el marco legal que deben cumplir.

1.3 Metodología

La presente investigación se basa en una primera parte en recopilar información histórica sobre incendios forestales en el país y sus características, proporcionada por la Corporación Nacional Forestal, con la finalidad de tener conciencia situacional respecto a estos sucesos y sus efectos.

Seguidamente, se identifican los métodos y medios que son utilizados por la entidad a cargo de la supresión de incendios para realizar sus funciones, identificando principalmente recursos aéreos y sus costos en los últimos años. Junto con esto, se indaga respecto al estado del arte de aeronaves tripuladas a distancia en el combate de incendios.

Luego, se estudian antecedentes relacionados con aeronaves que se han utilizado ya sea en Chile como en otros países en labores aéreas de extinción de incendios, como su capacidad, requisitos de operación y efectividad.

A partir de lo anterior, la investigación se centra en determinar aquellos aspectos técnicos esenciales que deben considerarse en la elaboración de un modelo aéreo con las capacidades para enfrentarse al combate de incendios de proporciones menores. Para esto, se comienza por revisar las características de los aviones y helicópteros que han sido más eficaces en el país en este tipo de labores, a fin de tener una visión más clara de qué es lo que ha funcionado. En adición, se complementa con una comparación entre características como peso y carga de aeronaves que han sido utilizadas para extinción de incendios tanto en Chile como en el mundo.

Seguido de lo anterior, se lleva a cabo una comparación de las particularidades que se debieran considerar en el diseño de una aeronave, como el tipo de ala, o tipo de depósito a utilizar, tomando en cuenta las condiciones en que se operará, y la efectividad prevista.

Posteriormente, se realiza un catastro de los sistemas que deben ser incorporados por necesidad en una aeronave pilotada a distancia, como también de aquellos que se puede prescindir, con la finalidad de evitar cualquier peso extra innecesario para operaciones de extinción de incendios.

Finalmente, se investiga lo referente a este tipo de aeronaves en la legislación nacional, como también en la internacional, a fin de determinar sus reglamentaciones vigentes.

1.4 Alcance

Mediante esta memoria se pretende estudiar la posibilidad de utilizar aeronaves no tripuladas para incorporarse a labores aéreas contra incendios forestales en etapa inicial en Chile.

Dado lo anterior, se determina que el alcance de esta misma es exploratoria, porque si bien se están utilizando drones actualmente como herramienta en el combate de

incendios en el país, estos están enfocados en la detección y vigilancia del fuego, por tanto, integrarlos al ataque del fuego mismo corresponde a una nueva área de aplicación.

Además, tiene carácter descriptiva, puesto que se estudia las características y especificaciones necesarias para enfrentar las labores propuestas, considerando las características geográficas e históricas del país.

Respecto al alcance temporal, este informe se elabora durante el segundo semestre del 2019 y el transcurso del 2020, mediante información recopilada dentro del mismo periodo.

II. ESTADO DEL ARTE

El propósito de esta sección, es dar a conocer el estado actual en que se encuentra inserta la industria aeronáutica en el combate de incendios en Chile, como también la utilización de aeronaves no tripuladas, que se empleará como base para el desarrollo de esta investigación.

2.1 Antecedentes

En el contexto del combate de incendios, la industria aeronáutica ha estado presente en el país tanto en la detección como en la extinción. Ante esta realidad, se han desarrollado nuevas tecnologías para poder realizar tareas como monitoreo y vigilancia de manera más simple, segura y económica. Lo anterior, se refleja en aeronaves no tripuladas.

Al año 2020, en Chile se está utilizando este tipo de tecnologías para detección de incendios y monitoreo de zonas de riesgo.

2.1.1 Medios aéreos y su origen

Las aeronaves que se han dedicado al combate de incendios tienen principalmente cuatro procedencias (Itor Martín,2016). Por una parte, pueden venir de **adaptaciones** de aeronaves diseñadas para otros fines, como por ejemplo el Global SuperTanker, que es un Boeing 747-400 originalmente diseñado como un avión de pasajeros. También, son utilizadas aeronaves de **servicios agrícolas**, con algunas modificaciones menores, ya que estas están diseñadas para transportar líquido con la capacidad de descargarlo de manera atomizado, y en extinción de incendios se requieren compuertas de descarga rápida. Ejemplo de lo anterior es la aeronave Air Tractor AT 802. Por otro lado, se encuentran las aeronaves **polivalentes**, es decir, aquellas que se adapta a más de una función. Por ejemplo, la aeronave Hércules C-130, que puede ser equipada con un módulo desmontable que permite la carga de agua para ser lanzada en vuelo, permitiendo ser utilizada en extinción de incendios cuando se requiera sin perder su funcionalidad habitual de manera permanente. Finalmente, se encuentran aquellas **diseñadas exclusivamente** para labores de combate de incendios, como lo es la aeronave anfibia diseñada por Air Tractor AT-802 Fire Boss.



Ilustración 2.1.1: Aeronave Air Tractor 802 Fire Boss.

Fuente: Air Tractor

2.1.2 Flota aérea de CONAF

La flota aérea de la Corporación Nacional Forestal al año 2019 se compone de tres aeronaves *Dromader PZL M18-B* provenientes de Polonia, adquiridas en 2006, y con una capacidad de lanzamiento de agua de 2.200 litros. Además, existen tres aeronaves *Air Tractor AT 802-A*, compradas en septiembre del 2015 y fabricadas en 2016, las cuales cuentan con una capacidad de lanzamiento de 3.100 litros. Y por último, se tiene un helicóptero *Sokol W3-A*, comprado en 2008, con una capacidad de lanzamiento de 1.500 litros de agua (CONAF 2019).

2.1.3 Manejo de recursos de CONAF

En cuanto se detecta un incendio forestal se debe evaluar la situación para destinar y coordinar los recursos que se pondrán a disposición. Existe una central de coordinación (CENCOR) que tiene dentro de sus funciones el despacho y coordinación de recursos de acuerdo a la condición de la situación y los recursos disponibles.

Por supuesto, existen criterios y prioridades para realizar los despachos, por ejemplo:

- **Golpe único:** Se despacha gran cantidad de recursos con la finalidad de asegurar el control del incendio en su fase inicial.

- **Despacho de la unidad más cercana:** para tener un tiempo de respuesta menor.
- **Despacho de dos o más unidades:** Estas pueden ir en distintos medios de transporte y desde distintos orígenes, y por ende llegando a destiempo, pudiendo prescindir de las unidades en camino si el reporte de la primera indica que no es necesario, pero, si no es así, se disminuye el tiempo de respuesta de las demás unidades.

2.1.4 Habilitación de pilotos de helicópteros para el combate de incendios

El combate de incendios forestales desde el aire es una tarea compleja, es por esto que a los pilotos se les debe exigir más requisitos que para un vuelo común.

Para poder trabajar en incendios forestales como piloto de helicóptero no solo basta con tener la licencia vigente de piloto comercial de helicópteros otorgada por la Dirección General de Aeronáutica civil, sino que también se debe contar con las habilitaciones de combate de incendios forestales y de categoría, clase y tipo de aeronave a operar.

Por otra parte, es requerido haber adquirido una experiencia mínima de 1500 horas de vuelo totales, de las cuales al menos 150 deben haber sido dedicadas al combate de incendios forestales al mando de un helicóptero, y al menos 50 de esas horas en el material a volar.

Finalmente, el 30% del tiempo volado en incendios forestales deben ser trabajadas con helibalde o helitanque, según corresponda (CONAF, 2010).

2.1.5 Aeronaves no tripuladas utilizadas en Chile para combatir incendios

En enero del 2019 la Fuerza Aérea de Chile incorporó a su flota el vehículo aéreo no tripulado de origen Israelí Hermes Q900, pudiendo volar a una altitud de 20.000 pies, con un alcance de 26 horas. Las dimensiones de este modelo son 8,3 metros de envergadura y 15 metros de longitud. Su velocidad crucero es 112 km/h y la máxima que puede alcanzar es 220 km/h.

Esta aeronave se emplea para labores de vigilancia para la defensa del país, pero además se utiliza para la detección de incendios, ya que cuenta con cámaras infrarrojas de alta definición capaces de detectar focos incendiarios en un radio de 100 kilómetros.

Por otro lado, dicha aeronave no tan solo detecta la ubicación de focos incendiarios, también es capaz de prever hacia dónde va avanzando, como también los caminos y fuentes de agua cercanas al lugar (Ministerio de Defensa Nacional, 2019).

Por otra parte, hay un dron solar creado por estudiantes: este proyecto está formado por estudiantes de distintas universidades del país y se encuentra en etapa de fabricación del prototipo. Su función es detectar incendios mediante la utilización de cámaras térmicas, y la gran ventaja que posee es que permite vigilancia continua a través del uso de energía solar (Alvarado, Roxana, 2018).

2.1.6 Nuevas tecnologías aéreas para trabajos aéreos de extinción de incendios

Al año 2020, en el mercado tanto nacional como internacional no existen aeronaves no tripuladas que se dediquen a combatir el fuego de manera directa, solo existen drones dispuestos para la detección y vigilancia de estos episodios. Sin embargo, se han presentado algunos prototipos mostrados a continuación.

En España, la empresa Singular Aircraft ha creado un prototipo de aeronave anfibia no tripulada, llamada *Flyox I*, con una configuración pensada para extinción de incendios, desarrollando tareas como descarga de agua o retardante, rondas de vigilancia y monitoreo de puntos calientes, con la capacidad de ser manejada desde una estación remota, pudiendo transportar 1850 kg de carga útil. Es propulsado con dos motores y tiene la particularidad de poder despegar no tan solo en pistas pavimentadas y agua, sino también en tierra, hielo e incluso nieve (Singular Aircraft, 2015). En este caso, se cuenta con una aeronave ya construida y ha realizado un vuelo de prueba, sin embargo, no hay evidencia de que ninguna entidad haya adquirido ni esté utilizando algún ejemplar hasta el 2020.



Ilustración 2.1.2: *Flyon I, aeronave no tripulada diseñada por Singular Aircraft.*

Fuente: Singular Aircraft

Por otra parte, se encuentra el proyecto diseñado por la empresa española *Nitrofirex*, que está orientado al combate de incendios forestales nocturnos, dada las restricciones operacionales que tienen en la noche las aeronaves tradicionales, permitiendo con esto una operación de aeronaves H-24. Esta propuesta consiste en utilizar depósitos planeadores autónomos no tripulados que son lanzados desde una aeronave de carga con rampa trasera. Cada uno de estos contenedores tiene una capacidad de 2.500 litros aproximadamente, y luego de ser lanzados, se dirigen de manera automática al foco, realizando sus respectivas descargas en secuencia para posteriormente recuperar las aeronaves, conduciéndose nuevamente a la base. La cantidad de depósitos que se lanzan depende de la capacidad de la aeronave carguera, por ejemplo, una aeronave A-400 puede transportar 12, lo que equivale a 30.000 litros en total.



Ilustración 2.1.3: *Prototipo de Nitrofirex.*

Fuente: Nitrofirex

También, existen otras iniciativas, como por ejemplo *Precision Container Air Delivery System* (PCADS), creada por Boeing en conjunto con Weyerhaeuser Co. que consiste en

utilizar una aeronave de carga para liberar desde su rampa trasera hasta 40 contenedores con producto ignífugo de aproximadamente una tonelada cada uno, equipados con un paracaídas que facilita esparcir su carga en la superficie. En adición, promete que todos los residuos son 100% biodegradables (Flex attack).

Otro sistema corresponde a *Water bombs*, impulsado por Boeing, que consiste en dejar caer agua o retardante en contenedores semi redondos con capacidad de 23 litros cada balón, pudiendo transportar alrededor de 2800 de estos balones apilados en contenedores, para posteriormente ser lanzados desde aeronaves (Cleary, W., 2003). Como se puede notar, esta propuesta es similar a la anterior, con la diferencia que en este caso los contenedores son más pequeños pero más numerosos, y no cuentan con un dispositivo que aminore su velocidad en caída libre.

Por su puesto, toda tecnología tiene sus propias limitaciones, y esta no es la excepción, ya que se requiere que los brigadistas en tierra tomen distancia de la zona de lanzamiento para evitar cualquier tipo de lesión por aplastamiento.

2.1.7 Recursos destinados al arriendo de aeronaves en los últimos años

En los últimos años, se han destinado en promedio \$1.795.940.000 del presupuesto CONAF para financiar la operación de aviones cisternas y helicópteros a empresas de servicios aéreos, contratados mediante licitación a través del portal de compras públicas del Estado. El detalle del gasto por año, más la respectiva cantidad de horas de vuelo totales tanto para aviones cisternas como para helicópteros, se puede apreciar en la *Tabla 2.1.1*:

Ejercicio	Arriendo aeronaves [CLP]	Total horas de vuelo
2010	2.994.771.000	805
2011	1.383.068.000	660
2012	1.526.905.000	669
2013	1.009.241.000	646
2014	3.040.375.000	535
2015	1.153.506.000	505
2016	1.627.714.000	505
2017	1.972.710.000	930
2018	1.455.168.000	930

Tabla 2.1.1: Recursos destinados al arriendo de aeronaves. Fuente: Unidad de Presupuesto y Control de Gestión CONAF 2018.

2.1.8 Muertes por extinción de incendios relacionados con la aviación

Entre los años 1970 y 2020 en Chile se han registrado 9 fallecimientos de personas a causa de accidentes aéreos, entre los que hay pilotos, copilotos y observadores, quienes se encontraban combatiendo incendios en el país. Estos decesos ocurrieron en 8 misiones independientes que involucraron 6 aviones y 2 helicópteros. Por otro lado, y no menos importante, en estas mismas labores se ha perdido la vida de 20 brigadistas.

Ahora bien, la situación en Estados Unidos resulta más delicada, ya que, según el informe *Aviation-Related Wildland Firefighter Fatalities*, entre los años 2000 y 2013 se han registrado 78 muertes relacionadas con la aviación en combate de incendios, las cuales ocurrieron en 41 eventos separados que involucraron 42 aeronaves. Al tener un mayor número, pueden estudiarse las causas de estos accidentes. Las principales causas fueron:

- Falla de motor, estructura o componentes (24%)
- Pérdida de control del piloto (24%)
- falla en mantener la separación del terreno, agua u objetos (20%)
- Clima peligroso (15%).

2.2 Marco teórico

El marco teórico en el cual se sustenta esta investigación consta de definiciones y conceptos en torno aeronaves e incendios forestales, con el propósito de proveer

información basal que permita clarificar los tipos de aeronaves y la relevancia de una posible inserción de aquellas que aún no están presentes en el manejo de incendios.

2.2.1 Definición de aeronave

La circular 328 de OACI, Sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS), define una aeronave como “toda máquina que pueda sustentarse en la atmósfera por reacciones del aire que no sean las reacciones del mismo contra la superficie de la tierra”. En efecto, existe una sub categoría de aeronave definida en el mismo documento mencionado, siendo esta:

Aeronave no tripulada: Aeronave destinada a volar sin piloto a bordo. De esta, se desprenden dos sub categorías:

- **Aeronave autónoma:** Aeronave no tripulada que no permite la intervención del piloto en la gestión del vuelo.
- **Aeronave pilotada a distancia:** Aeronave que no lleva a bordo un piloto a los mandos.

Se debe precisar que la definición de la OACI respecto a aeronave pilotada a distancia coincide con la presentada por la DGAC en la DAN 151.

De lo anterior, se observa que existen diferentes tipos de aeronaves sin piloto, siendo objeto de este estudio las **aeronaves pilotadas a distancia**.

2.2.2 Métodos de combate de incendios forestales

Existen dos métodos para lidiar con los incendios, que se diferencian entre sí de acuerdo a la estrategia que ocupan, los cuales son:

- **Método directo:** Consiste en manejar el fuego desde su frente de avance y zonas activas. La principal característica de este método es que tiene por objeto extinguir el incendio, utilizando tierra para lanzar al fuego mediante palas como elemento sofocador, además de la utilización de agua, sumado al corte de la vegetación circundante al frente.
- **Método indirecto:** Este, consiste en rodear el incendio, pero tomando cierta distancia del mismo. En comparación al método directo, no se busca la extinción,

sino más bien el control, por ende, no se emplean acciones como lanzamiento de agua, o algún tipo de sofocante, sino que se trabaja en la creación de líneas cortafuegos que frenen el avance.

Es preciso mencionar que la decisión de adoptar cada método radica en las condiciones que presenta el incendio, ya que el método directo demanda que se aseguren condiciones óptimas para trabajar cerca de las llamas sin que los brigadistas corran peligro. En caso contrario, debe optarse por el método indirecto. Sin embargo, estos métodos no son excluyentes, sino más bien pueden ser complementarios.

2.2.3 Ataque inicial

El ataque inicial corresponde al conjunto de primeras acciones realizadas en un incendio para su manejo. El objetivo es contener rápidamente el incendio para con esto minimizar los costos y daños.

En Chile, Según Osvaldo Vera, gerente de protección contra incendios forestales de CONAF, el 98,8% de los incendios son controlados en ataque inicial, causando estos, en promedio en los últimos 5 años, menos de 4 hectáreas consumidas por incendio. Sin embargo, el 1,2% restante que no pudo ser controlado con estas primeras acciones, es responsable del 85% de los daños totales generados por este tipo de catástrofes (CONAF, 2019).

Lo anterior, refleja lo valioso que resulta ser el ataque inicial para minimizar los daños, y con esto los costos, evitando incendios de grandes proporciones.

En adición, cuando se trabaja con aeronaves en la supresión del fuego, CONAF asegura que “deben ser utilizados preferentemente en ataque inicial, en los primeros momentos del incendio, en incendios pequeños o bien en focos pequeños de incendios más grandes. Extinguir grandes focos será inefectivo y costoso” (CONAF, Operaciones aéreas).

Medir el éxito que puede tener este procedimiento implica considerar los diferentes factores que influyen en esto. Algunos de estos son:

- Tiempo de respuesta entre el inicio o detección del fuego y el ataque inicial
- Tipo de combustible

- Intensidad calórica
- Recursos utilizados
- Área que ha sido consumida

En Australia, para estudiar la efectividad que tiene el ataque inicial en diferentes situaciones se recopiló información durante la temporada de incendios 2004/5 y 2005/6. Como base, se definió un ataque inicial exitoso como aquel que permite la contención del incendio dentro de un rango de 8 horas desde la detección del mismo.

Los datos obtenidos se presentan en el *gráfico 2.2.3*, el cual relaciona el tiempo transcurrido desde la detección hasta el ataque inicial, con el índice de peligro de incendios forestales (FFDI, por sus siglas en inglés) y su respectiva probabilidad de éxito con y sin aeronaves.

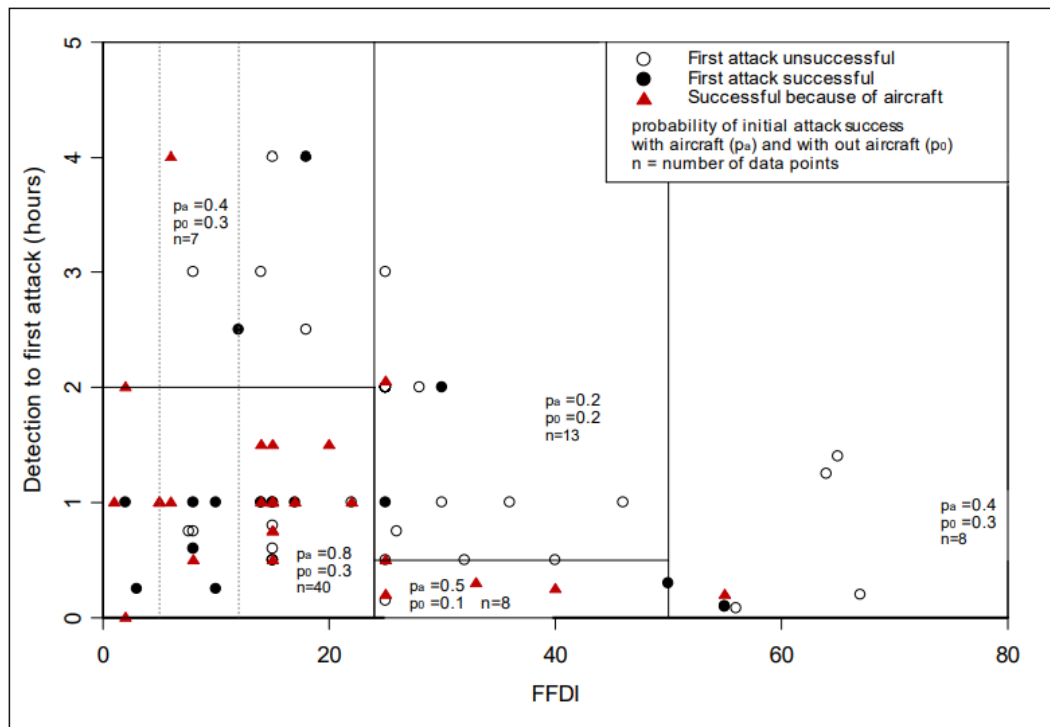


Gráfico 2.2.3: Éxito del ataque inicial según FFDI y tiempo transcurrido entre detección y ataque inicial.

Fuente: Bushfire CRC, 2007

Los círculos blancos representan los ataques iniciales fallidos, mientras que los círculos negros aquellos exitosos. Por su parte, los triángulos rojos representan aquellos ataques iniciales que resultaron exitosos gracias a la utilización de aeronaves.

Cabe destacar que el FFDI tiene 5 categorías, bajo [0-4[, medio [4-10[, alto [10-24[, muy alto [24-50[y extremo [50-80].

En dicho gráfico, se observa que los ataques iniciales exitosos ocurren en su mayoría cuando el tiempo desde la detección al ataque es igual o menor a una hora, y cuando el FFDI está en el rango bajo o medio.

En adición, los ataques iniciales fallidos se presentan mayoritariamente cuando el tiempo desde la detección al ataque es mayor a 2 horas, o cuando el FFDI es mayor a 24, es decir, se encuentra en el rango muy alto o extremo.

Por otra parte, se puede apreciar que existe una concentración de las misiones exitosas gracias al uso de aeronaves, cuando el ataque inicial ocurre dentro de 2 horas y se tiene FFDI menor a 20. También, muestra que la probabilidad de un ataque inicial exitoso con aeronaves es mayor en este mismo rango, siendo 80%, lo cual es significativamente mayor al 30% de éxito sin aeronaves en las mismas condiciones.

Además, comparando las diferentes probabilidades obtenidas, se observa en todos los casos la probabilidad de éxito de un ataque inicial utilizando aeronaves es igual o mayor a la probabilidad de éxito de un ataque inicial sin uso de aeronaves, originándose la mayor diferencia cuando el tiempo de respuesta es menor a 2 horas y el FFDI se encuentra bajo, medio o alto.

En síntesis, la utilización de aeronaves resulta favorable en la supresión de incendios. Por otro lado, minimizar el tiempo de respuesta en un ataque inicial es fundamental para realizar misiones exitosas, volviéndose un factor más crítico con el aumento del FFDI. En adición, un bajo índice de peligrosidad de incendios también contribuye al éxito, sin embargo, este factor no es manejable, ya que depende de las condiciones del lugar donde se produce el suceso, como por ejemplo, radiación solar recibida, temperatura, y humedad. Por lo tanto, el esfuerzo debe estar centrado en **reducir los tiempos de respuesta**.

2.3 Propuesta metodológica

La propuesta metodológica para llevar a cabo esta investigación consiste inicialmente en realizar un levantamiento de información sobre estadísticas históricas de incendios en el país, para estudiar el comportamiento que han tenido estos en el tiempo.

Segundo, se estudian las implicancias que tiene el diseño de una aeronave no tripulada en comparación a una aeronave tripulada.

En adición, se estudian aeronaves que han sido utilizadas tanto a nivel nacional como internacional para labores aéreas de extinción de incendios, para identificar, analizar y destacar a aquellas más eficientes. Para lo anterior, se hace uso de documentación de los servicios forestales estadounidenses, la cual compara la efectividad de las aeronaves de alas fijas y rotatorias. En adición, se complementa con un estudio de la CONAF que compara la eficiencia de algunas aeronaves utilizadas en el país.

Luego, la investigación se centra en determinar aquellas características técnicas que debieran poseer las aeronaves no tripuladas que se desenvuelvan en labores de extinción de incendios, para que las actividades sean realizadas de manera eficiente. Esto, también incluye una revisión de los sistemas de aeronaves que son imprescindibles en estas labores.

Posteriormente, y con la información ya presentada, es posible determinar aquellas características, especificaciones y sistemas que no son requerido, dada la naturaleza de las actividades para las que se estudian las aeronaves no tripuladas.

Después, se presenta algunas consideraciones especiales que se debe tener cuando se utilizan aeronaves tripuladas a distancia para combatir incendios.

Seguido de lo anterior, se recopilan las legislaciones vigentes que tiene relación con el uso de aeronaves no tripuladas, para determinar si es posible emplearlas en la actualidad y bajo qué condiciones en combate de incendios. O, en su defecto, averiguar qué puntos de aquellas legislaciones no son posibles de abarcar en la actualidad y por qué.

III. DESARROLLO

3.1 Análisis de incendios forestales en Chile

Para determinar si es factible incluir una nueva herramienta en el combate de incendios, se necesita examinar si esta es capaz de enfrentarse a las condiciones que se puedan presentar. Para esto, se hace indispensable partir por estudiar el comportamiento y características que han tenido los episodios de incendios en el país.

La Corporación Nacional Forestal lleva registro desde 1964 a la fecha de los incendios forestales ocurridos en Chile, y algunas características de ellos, como la localización regional, la hora de ocurrencia, los daños generados, entre otras.

Un primer aspecto a considerar son los episodios de incendios que se ocasionan. Para representarlos, se expone el *gráfico 3.1.1*, el cual muestra la cantidad de incendios forestales ocurridos por temporada¹, en donde se puede apreciar que el número de episodios se ha ido incrementando al pasar los años, es decir, cualitativamente ha existido una tendencia creciente de estos mismos en el tiempo. Si se agrega una línea de tendencia lineal a este gráfico, para determinar su comportamiento y poder proyectar posibles valores futuros, se obtiene una pendiente de 115,62, lo que quiere decir que, en promedio existe un incremento aproximado de 116 incendios por temporada, por lo tanto, se concluye que efectivamente los episodios de incendio se han ido incrementando.

Ahora bien, si se analiza el comportamiento de los últimos 15 años, a fin de tener una visión más actualizada respecto a la situación, se observa que, en este caso, la línea de tendencia muestra una disminución con una pendiente de 67,34, es decir, respecto al análisis histórico, en este rango existe un decrecimiento de un 41,8%.

¹ CONAF mide la cantidad de incendios forestales por temporada, la cual comprende desde julio de un año hasta junio del siguiente año. Por ejemplo, la temporada 19 comienza el 1 de julio de 2018 y finaliza el 30 de junio del 2019.

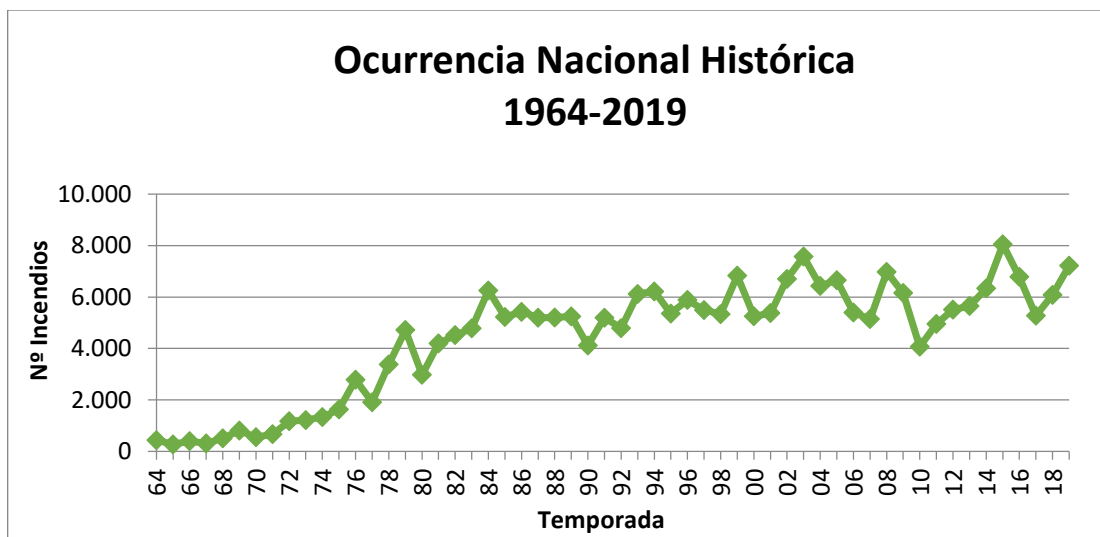


Gráfico 3.1.1: Ocurrencia nacional histórica por temporada.

Fuente: Corporación Nacional Forestal.

Por otra parte, se encuentra el daño que se ha generado por temporada, medido en la cantidad de hectáreas consumidas por el fuego, se ilustra en el *gráfico 3.1.2*, el cual refleja que durante todo el periodo del que se tiene registro, el daño se ha mantenido dentro de un margen estable, siempre inferior a 150.000 [ha], a excepción de la temporada 2017 donde se registró un mega incendio, considerado el más catastrófico en la historia de la protección de la naturaleza en Chile, que además abrió un nuevo nivel en la escala global de medición de incendios dado su severidad (CONAF 2017).

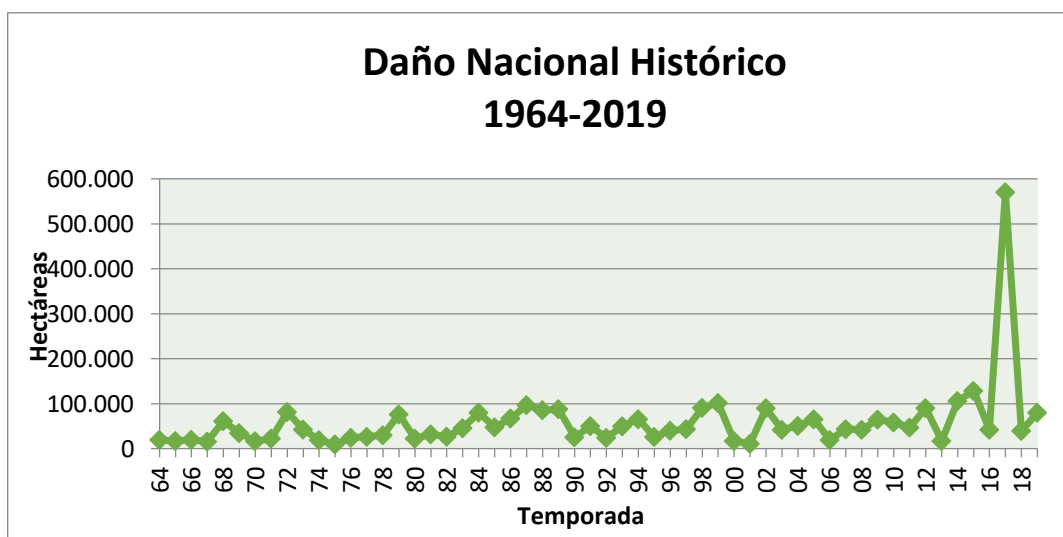


Gráfico 3.1.2: Daño nacional histórico por temporada.

Fuente: Corporación Nacional Forestal.

También, se debe tener en cuenta que un incendio se considera de magnitud cuando este supera las 200 hectáreas consumidas por el fuego, y estos representan históricamente al 0,8% de todos los incendios. Sin embargo, ese 0,8% son responsables del 73,5% del total de hectáreas quemadas (CONAF 2019). En el *Gráfico 3.1.3*, se muestra la comparación entre la ocurrencia y daño de incendios normales e incendios de magnitud, para plasmar la situación.

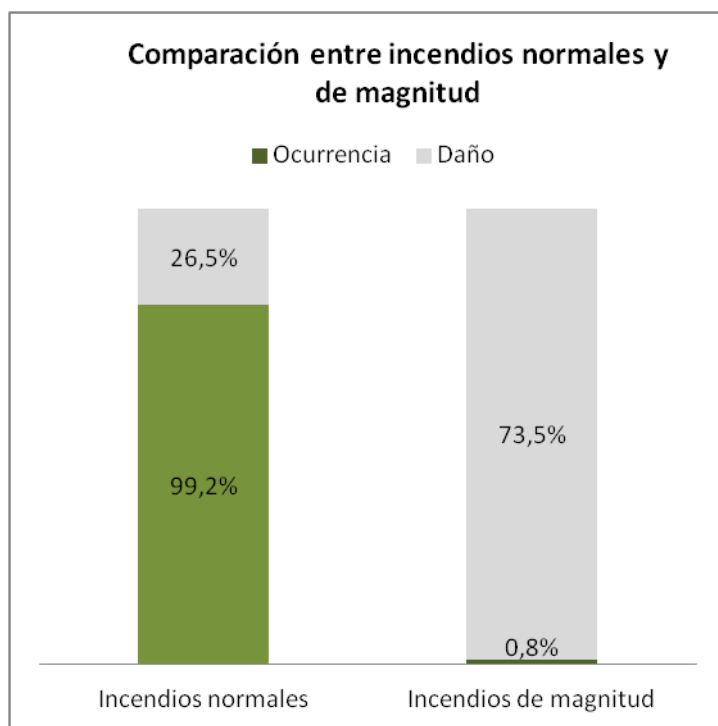


Gráfico 3.1.3: Comparación porcentual entre ocurrencia y daño de incendios forestales normales y de magnitud. Fuente: elaboración propia.

En la misma línea, si se observa el número de incendios que ocurrió la temporada 2017 (mostrado en el *Gráfico 3.1.1*), se puede apreciar que este no escapa de la tendencia, e incluso es menor al año anterior. Sin embargo, se generó el mayor daño registrado, y si se compara con los 5 años anteriores, en promedio el daño resultó ser de 78.000[ha] aproximado, y en 2017 fue de 570.000[ha], lo que significa un incremento de un 742%. La situación anterior, quiere decir que una cantidad similar de incendios fue capaz de destruir una cantidad mucho mayor a lo frecuente, ya que algunos de estos fueron de magnitud.

Si se analiza el mismo periodo, dentro de los incendios de magnitud ocurridos ese año el mayor se protagonizó en la región del Maule, el cual tuvo una duración de 123 días y

fracción, dejando un total de 159.813 hectáreas consumidas, que corresponden al 28% del total del daño generado esa temporada. Esto, refleja la importancia de atender de manera oportuna cualquier incendio que se presente, centrando los esfuerzos en evitar su propagación y controlarlo a tiempo, para así evitar que se conviertan en incendios de magnitud.

Respecto a la distribución de estos episodios por región², se ha observado en el último quinquenio que las regiones de Biobío, La Araucanía y Valparaíso concentran el 71,4% del total de incendios, siendo la primera región mencionada quien concentra el 40,8% de estos.

No obstante, si se refiere a los incendios de magnitud, estos tienen una concentración menor, en donde la distribución no tiene solo una región predominante como en el caso anterior. Las regiones de Biobío y la Araucanía poseen un 22,8% y 20,8% respectivamente del total, luego, le siguen las regiones Metropolitana, Libertador General Bernardo O'Higgins, El Maule y Valparaíso. El detalle de lo mencionado se encuentra en los anexos A y B.

En cuanto a la distribución estacional, se afirma que los meses que concentran la mayor cantidad de episodios de incendio son enero y febrero, que coincide con el verano en el país, en donde las temperaturas máximas pueden alcanzar los 40°C en algunos sectores.

Ahora, con respecto al horario en que se han desarrollado estos fenómenos, se dispone del informe de *ocurrencia nacional de incendios forestales según rango horario* (CONAF, 2019), el cual contiene información sobre los episodios registrados en cada temporada y sus respectivas horas de ocurrencia.

Del informe anteriormente mencionado, se obtiene el *gráfico 3.1.4*, en el cual se puede apreciar que la mayor parte de los incendios se generan entre las 13:00 y las 19:00 horas, correspondiendo estos al 63,88% del total, es decir, la mayoría se inician en horas donde está presente la luz solar.

² Al año 2019, la división político administrativa del Chile establece la existencia de 16 regiones, donde la región de Ñuble (XVI) se incorporó en septiembre de 2018, a partir de comunas de la región del Biobío (VIII)

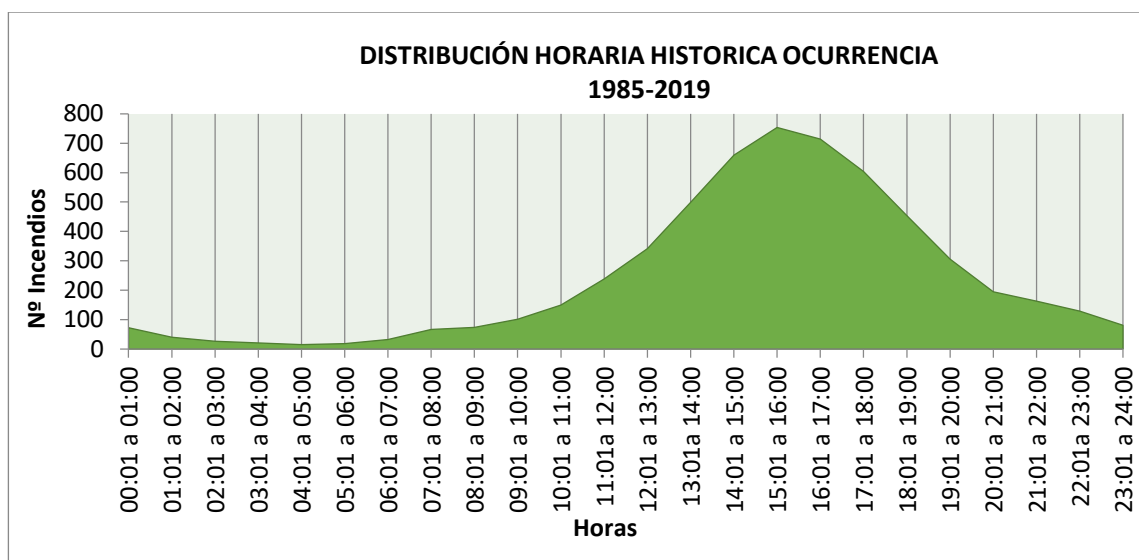


Gráfico 3.1.4: Distribución horaria histórica de ocurrencia de incendios en el país.

Fuente: Corporación nacional forestal.

Por otro lado, para estudiar cuántos de estos fenómenos se producen en horario nocturno, considerando este desde las 20:00 hasta las 7:00 (dada la distribución estacional), se utilizan los datos del último quinquenio, a fin de tener una mejor perspectiva de lo que ocurre en la actualidad. De esto, se extrapola que han ocurrido 6.681 episodios en promedio por temporada, de los cuales solo el 15,5% corresponde a aquellos iniciados en horario nocturno.

Del análisis anterior, se destaca la existencia de una tendencia histórica al incremento de los episodios de incendios en el país temporada tras temporada, donde existe una concentración tanto en las regiones en donde se producen como también en los horarios y meses. También, se desprende lo crucial que es controlar un incendio a tiempo, ya que los daños ocasionados cuando se convierten en incendios de magnitud son significativamente mayores.

La gran cantidad de incendios junto con la concentración ya mencionada refleja que es probable tener varios focos incendiarios dispersos en el territorio de manera simultánea, siendo clave mejorar la respuesta y por ende, lo ideal sería contar con la capacidad técnica para atender todos y cada uno de ellos. Sin embargo, dado que los recursos son limitados, deben ser distribuidos, de acuerdo a los protocolos y al criterio del jefe de incendios a cargo. Además, herramientas como aeronaves son priorizadas en incendios

de mayores dimensiones, incluso cuando la evidencia muestra que estas son más efectivas en ataque inicial temprano, ya que la tendencia es enfocar y destinar los recursos a aquellos incendios de mayores proporciones. Desde aquí, se valora una eventual utilización de aeronaves no tripuladas con capacidad de descargar agua o retardante en focos incendiarios en su etapa inicial, que es el centro de estudio de esta memoria, ya que podría resultar una herramienta beneficiosa.

3.2 Diseño de una aeronave no tripulada

En el mercado aeronáutico existen pocas alternativas de aeronaves diseñadas exclusivamente para los fines en estudio. Esto, debido a que para los operadores de extinción de incendios resulta poco rentable una aeronave que solo puede ser utilizada durante unos meses al año. En adición, se ha evidenciado que en materia de extinción de incendios los costos de adquisición cobran más relevancia que los costos de operación y mantención (Itor Martín, 2016).

Por otra parte, esta alternativa resulta poco rentable ya que elaborar un diseño de aeronave exclusivo para extinción de incendios demanda un alto costo de desarrollo. En contraposición, para un fabricante el alto costo de diseño podría ser cubierto con una alta cantidad de unidades vendidas, al ser dividido y atribuido a cada una. Sin embargo, la posible demanda de unidades no ha parecido lo suficientemente atractiva como para incentivar la creación de un nuevo modelo.

Ahora bien, centrando la atención en diseño de aeronaves no tripuladas, si bien existen diseños actualmente, como el propuesto por Nitrofirex, este aún es un prototipo, y requiere una aeronave convencional para su funcionamiento. Por otra parte, Singular aircraft a pesar de contar con un modelo que ya realizó un vuelo de prueba, no hay evidencia de que haya sido probado en incendios, ni que el modelo esté siendo utilizado al año 2020 por alguna entidad.

También, se debe considerar que, al representar este tipo de aeronaves una estructura y configuración simplificada a comparación de una aeronave convencional, los costos de diseño, operación y mantención podrían ser significativamente menores, lo cual podría incentivar la adquisición de esta flota por parte de entidades dedicadas a atender estos fenómenos.

Por otro lado, hay que mencionar que la capacidad de descarga de líquido o retardante podría ser menor en comparación a la media de capacidad de aeronaves utilizadas en la actualidad. Esto, no debe verse necesariamente como una desventaja, ya que existen diversas estrategias para extinguir incendios y de esto último depende cuáles son los

medios más adecuados. Por ejemplo, se utilizan medios aéreos cuando se trabaja en grandes focos incendiarios, los cuales por su puesto demandan gran cantidad de recursos. En contraposición, aeronaves con menor capacidad podrían centrarse en ataque inicial de focos, para controlar a tiempo la situación.

3.3 Análisis de aeronaves utilizadas y características

En esta sección, se examinan las aeronaves utilizadas comúnmente para trabajos aéreos de extinción de incendios tanto en Chile como en otros países, para detectar aquellas que resultan más apropiadas en estas labores, y que sirvan como guía a la hora de determinar características y especificaciones esenciales en aeronaves no tripuladas destinadas a estas mismas labores.

Los servicios forestales de los Estados Unidos, junto con su departamento de agricultura estudian el uso y la efectividad de la extinción de incendios por vía aérea desde 2012, mediante la recolección de datos terrestres y aéreos en todo el país, con el propósito de cuantificar y medir el uso de aeronaves, para que esto apoye al despliegue de recursos y decisiones de futura gestión de flota de aeronaves (U.S. Forest Service, 2019).

Para esto, se clasificaron las aeronaves en aquellas que tienen alas rotatorias y alas fijas y se evaluó su efectividad en ataques directos e indirectos.

Los resultados preliminares muestran que las aeronaves de alas rotatorias tienen una probabilidad de éxito de un 87% cuando se utilizan para ataque directo y un 62% en ataque indirecto.

Por otra parte, las aeronaves de ala fija presentan un 74% de probabilidad de éxito en ataque directo, mientras que en ataque indirecto la probabilidad baja a 56%.

En conclusión, lo anterior exhibe que las aeronaves de alas rotatorias son más eficientes tanto en ataques directos como indirectos, mostrando además una superioridad con respecto a las aeronaves de ala fija. En adición, las probabilidades de éxito son mayores cuando las aeronaves son utilizadas para ataques directos.

Ahora bien, con relación a la situación nacional, en 2017, año donde se registró el mayor incendio forestal en el país, la Corporación Nacional Forestal tuvo que afrontar el gran desafío de coordinar y priorizar la atención de diferentes focos incendiarios simultáneos, y ya que los recursos son limitados, es importante conocer que tan efectivos son los equipamientos utilizados. Para esto, la entidad antes mencionada ese mismo año realizó

un estudio que caracteriza las aeronaves y calcula su efectividad considerando diferentes factores (CONAF, 2017).

Cabe mencionar que dicho estudio lo realizaron desde el 30 de enero hasta el 12 de febrero de 2017, es decir, 14 días, en las cuales se evaluó 6 aeronaves, efectuando un total de 293 misiones.

Alguno de los resultados se muestra en el Anexo C, y a partir de esto se realiza el siguiente análisis, a fin de resaltar las aeronaves más apropiadas para el territorio nacional, y con esto determinar aquellas características que resultan más útiles y podrían ser consideradas para una aeronave pilotada a distancia.

Inicialmente, es preciso mencionar que, para que una aeronave realice descargas eficientes y tenga un efecto beneficioso para la supresión de incendios, es necesario que el agua caiga en forma de lluvia o como volumen compacto. Además, cabe destacar que para evaluar la efectividad total de cada aeronave se considera: el porcentaje de vuelos que impacta en el objetivo, el volumen de agua que impacta en el objetivo y el porcentaje de descarga que impacta como lluvia o volumen compacto.

El primer punto a considerar es que a simple vista se descarta una relación directa entre la capacidad de agua de una aeronave y su efectividad. Si se grafican ambas características para rectificarlo cuantitativamente, se obtiene el *gráfico 3.3.1*, el cual muestra una pendiente negativa con una correlación de 44% lo que evidencia que las dos variables se correlacionan de manera inversa con una fuerza media, es decir, la tendencia indica que entre mayor sea la capacidad de la aeronave menor es su efectividad. Ahora bien, gráficamente se puede observar que existe un punto que escapa de la tendencia, con 12.000 litros de capacidad y 13,2% de efectividad, que corresponde a la aeronave Hércules C-130, y, si se realiza el ejercicio de graficar nuevamente los datos, sin considerar este último, la correlación se incrementa a 92%.

Esta correlación, puede ser explicado por variables como: la altura de lanzamiento de aeronaves de gran envergadura con relación a las aeronaves de menor tamaño, o la mayor velocidad de lanzamiento que requieren para no perder sustentación.

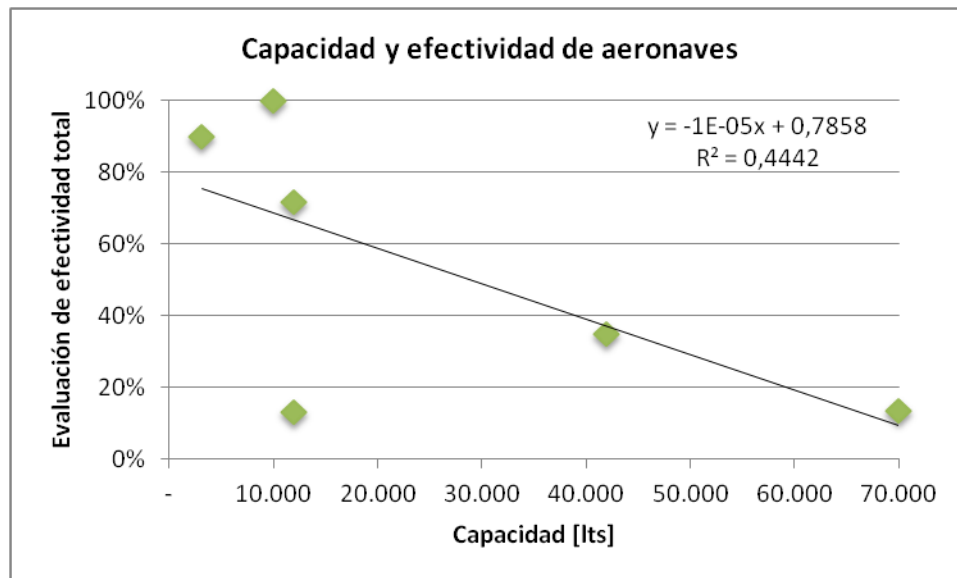


Gráfico 3.3.1: Relación entre la capacidad y efectividad de aeronaves en 2017.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, existe una diferencia sustancial entre la efectividad de la aeronave británica British Aerospace 146-200 y el Hércules C-130, las cuales tienen una efectividad de 72% y 13,2% respectivamente, a pesar de que estos tienen similares características operacionales y técnicas. Sin embargo, se ha observado que la diferencia radica en el mecanismo de descarga de agua.

Por una parte, el C-130 utiliza el sistema MAFFS, el cual permite una descarga de agua controlada a alta presión mediante una tobera de diámetro no superior a 50 cm, y se debe a esto la poca efectividad, ya que no es posible generar descargas que lleguen a la superficie afectada como volumen compacto, ni en forma de lluvia. Por otra parte, las descargas del BAE 146-200 sí caen como volumen compacto. Lo anterior, quiere decir que las especificaciones de dicho mecanismo son fundamentales para que se cumpla la operación de manera eficiente.

En adición, se debe recordar que el Hércules C-130 corresponde a una aeronave polivalente, que se adapta de manera momentánea para estos fines, mientras que la aeronave británica está adaptada para ser utilizada de manera permanente en extinción de incendios, lo cual son características que podrían tener incidencia en su efectividad.

También, destaca la eficiencia impecable del helicóptero Sikorsky S64, el cual cuenta con esnórquel que puede succionar agua desde cualquier fuente que tenga una

profundidad mayor a 50 centímetros y tarda 45 segundos en llenar su estanque de 10.000 litros ya sea desde tierra o aire. Además, el almacenamiento y descarga se realiza desde su depósito fijo.

Por último, si bien este estudio solo compara aeronaves que se encuentran en la categoría de pesados, de acuerdo a la clasificación desarrollada por los Estados Unidos para aeronaves empleadas en incendios forestales, que se adjunta en el Anexo D, y de las cuales todas están equipadas con estanque ventral, es útil para notar que las aeronaves de gran envergadura han resultado poco eficientes.

Siguiendo la misma línea de investigación, se ha elaborado la *Tabla 3.3.1* que contiene una lista con 30 aeronaves que han sido utilizadas para extinción de incendios en Chile u otras naciones, con sus respectivos pesos máximos de despegue (MTOW) y la capacidad en litros que pueden descargar ya sea desde estanque ventral o helibalde, a fin de comparar estas características y determinar cómo se vincula el peso destinado a carga de elemento extintor en relación al peso máximo antes mencionado.

Para esta comparación, se requiere que ambos parámetros estén en la misma unidad de medida, y por ende, es indispensable tener en cuenta la densidad del agua, considerando ésta como 1 [kg/lit], es decir, cada litro de agua equivale a un kilogramo.

Por supuesto, no se puede extrapolar que cada aeronave realiza sus despegues con su máximo de capacidad, ya que depende también de otros factores, como el largo y la resistencia de la pista donde se opera, sino más bien, este análisis tiene por objetivo comparar el peso máximo con el que puede despegar versus el que es destinado para agua.

Modelo	MTOW [kg]	Payload [lbs]	Ratio Payload/MTOW
AT 802F	7257	3104	43%
AT 802F FIRE BOSS	7257	3028	42%
Avro RJ85 AT	43998	12246	28%
BAE 146-200	42184	12000	28%
Be-200ES	41000	12000	29%
C-130 Lockheed	70300	12000	17%
C130Q	68364	15142	22%
Canadair CL 215	20525	5345	26%
Canadair CL 415	18600	6140	33%
Conair CV580	26535	7950	30%
DC10-30	190500	43900	23%
Ilyushin -76	195000	42000	22%
L100-30	70306	15450	22%
L-188C Electra	52617	12500	24%
Lockheed P-3 Orion	64410	11356	18%
PZL Dromader M18	5300	2200	42%
Q400AT	30481	10000	33%
Supertanker B 747	396890	74200	19%
Agusta A 119 Koala	2720	1000	37%
Bell 205 A1	4309	1360	32%
Bell 212	5080	1300	26%
Bell 407	2722	800	29%
Bell 412	5397	1500	28%
Chinook CH-47D	22680	10599	47%
Garlick UH-1D	3855	190	5%
Kamov Ka 32 A11 BC	11000	4500	41%
Kmax	5443	2700	50%
Mil MI-26TP	56000	17260	31%
Sikorsky S64	19050	10031	53%
Sokol W3A	6400	1600	25%
Promedio total	49873	11780	30%

Tabla 3.3.1³: *Peso máximo de despegue y capacidad de litros de agua de aeronaves utilizadas en el mundo para combate de incendios. Fuente: Elaboración propia.*

Con los datos anteriores, se obtiene que en promedio, una aeronave utilizada para combate de incendios tiene un peso máximo de despegue de 49.873 kg y una capacidad

³ En color verde se muestran los modelos de aeronaves que corresponden a aviones, y gris claro a los helicópteros.

de descarga de 11.780 lts, lo que refleja que el 24% del peso máximo de despegue se destina a carga útil para extinguir incendios. Si se desglosa esta información, diferenciando entre aviones y helicópteros, este porcentaje corresponde a 22%, y 37% respectivamente.

Ahora bien, si se selecciona aquellas aeronaves que han sido diseñadas exclusivamente para labores de extinción de incendios, y se realiza el mismo ejercicio anterior, este porcentaje que representa la carga útil extintora sobre el peso máximo de despegue corresponde a 33%.

Si los resultados anteriores se comparan con una aeronave comercial, utilizando como ejemplo el Boeing B737-800, donde la carga útil corresponde a 23.000 kg y el peso máximo de despegue es 79.000 kg (Volga-Dnepr), entonces en este caso la carga útil corresponde al 29%.

Por otro lado, comparando los resultados anteriores con las características de la aeronave Singular Aircraft, presentada anteriormente en la sección 2.1, la cual tiene un peso máximo de despegue de 4.000 kg y una carga útil de líquido extintor de 1.800 litros, entonces en este caso dicho porcentaje resulta ser 45%.

Este resultado es superior a todos los anteriores, indicando que por cada kilogramo con el que se puede despegar, hay más litros de agua destinados para descargar en incendios. Es más, si se compara este resultado con el obtenido cuando se tomaron solo las aeronaves diseñadas para combate de incendios presentados en la tabla 3.3.1, entonces la aeronave Singular Aircraft muestra superioridad. Es preciso recalcar que esta aeronave corresponde a una del tipo tripulada a distancia, diseñada para ser utilizada en extinción de incendios.

Lo anterior, quiere decir que, considerando las aeronaves que son utilizadas en la actualidad, los helicópteros son quienes destinan mayor cantidad de peso a líquido extintor con relación a su peso máximo de despegue, siendo más eficiente en este ámbito, incluso con relación a aquellas aeronaves de diseño para estas labores.

Cabe destacar que las cinco aeronaves consideradas diseñadas para uso en extinción de incendio (AT 802F, AT802 FIRE BOSS, Canadair CL 215, Canadair 415, Q400AT) corresponden todas a aviones.

3.4 Características esenciales en aeronaves no tripuladas que se enfoquen en labores de extinción de incendios

Parte importante a la hora de diseñar un prototipo de aeronave no tripulada orientado a la extinción de incendios es seleccionar aquellos materiales, herramientas y sistemas requeridos, ya que estas se enfrentarán a condiciones diferentes a las convencionales, como altas temperaturas, visibilidad reducida por humo, baja altura, etc..De igual modo, se debe dejar de lado todo aquello que no resultaría útil, puesto que cualquier peso adicional innecesario se convierte en una disminución de la carga útil.

En este apartado, se estudiarán aquellas características que resultarían más adecuadas o imprescindibles en una aeronave destinada a labores ya mencionadas, en base a lo analizado en las secciones anteriores.

3.4.1 Ala fija o rotatoria

Para comenzar, se investigan los beneficios de las aeronaves de ala fija y rotatoria, para determinar cual resulta más adecuada para el uso propuesto.

A grandes rasgos, no es posible determinar qué tipo de ala hace más eficiente a una aeronave, ya que están diseñadas con distintas características técnicas para cumplir diferentes funciones de acuerdo a los tipos de trabajo a realizar, y el ambiente en el cual operan. Por ende, intentar comparar ambos tipos de alas sin centrarse en un objetivo no resulta apropiado.

Ahora bien, este análisis se puede focalizar en aeronaves que realizan trabajos de extinción de incendios en su etapa inicial.

En esto, se debe considerar factores que se estudiarán para definir qué tipo de ala es más apropiada. Algunos ejemplos son: la capacidad de respuesta, la rapidez en llegar a la zona de combate, la disponibilidad de puntos de carga, restricciones, alcance, etc.

Por una parte, las aeronaves de ala fija alcanzan velocidades mayores a las que puede alcanzar un helicóptero, lo que se traduce en arribar con mayor rapidez donde se necesite. Sin embargo, en el momento en que se realiza la descarga del elemento extintor

es conveniente una baja velocidad, ya que de esta manera el agua se pulveriza menos y por ende, se evapora con menor facilidad (Itor Martín, marzo 2016), favoreciendo a la eficiencia de la operación.

Por otra parte, respecto a las condiciones de aterrizaje y despegue, se debe mencionar que las aeronaves de alas rotatorias dan mayor flexibilidad en este sentido, ya que permite ejecutar estas acciones en espacios más reducidos, y sin necesidad de una pista de aterrizaje.

Al contrario, una aeronave de ala fija es más exigente en este ámbito, ya que requiere una pista con ciertas dimensiones y características de acuerdo a sus necesidades, por ende, entre mayor sea su tamaño menor es la cantidad de pistas disponibles en las que podría operar. Por esto mismo, es probable que al utilizar aeronaves de ala fija se tenga una distancia mayor entre el foco incendiario y la base de operaciones, mientras que la aeronave de ala rotatoria puede tener más cercanía a la zona de trabajo, lo que conlleva además a tener un mayor número de rotaciones por hora.

Con relación a la disponibilidad de puntos de carga, una aeronave de ala fija requiere necesariamente volver a la base de operación para ser recargado con líquido extintor (a excepción de un avión anfíbio, pero aún requiere espacio libre de obstáculos suficiente para aterrizar y despegar), mientras que una aeronave de ala rotatoria, al ser capaz de volar estacionariamente, no requiere necesariamente volver a alguna pista, y tiene la posibilidad de cargar en vuelo desde alguna fuente de agua cercana, ya sea utilizando helibalde o estanque ventral. Estos dos dispositivos serán estudiados más adelante en profundidad, así como también sus mecanismos de carga.

Respecto a las restricciones de operación, además de las mencionadas anteriormente, se debe considerar que las aeronaves de alas rotatorias experimentan mayor sensibilidad a altas temperaturas y fuertes vientos. En este caso, las condiciones de viento no son significativas ya que, como se vio en la sección 3.1, la concentración de episodios de incendios en Chile ocurre en meses de verano, donde el viento no representa una variable significativa. Sin embargo, las altas temperaturas sí son un factor relevante, por tanto dichas aeronaves tienen mayor dificultad al operar en ciertas zonas de un incendio (Itor Martín, marzo 2016).

En adición, hay que recordar que este análisis se hace considerando una operación con aeronaves en ataque inicial, por ende, se esperaría que la intensidad de las llamas no fuera suficiente como para incidir en la aerodinámica de vuelo. No obstante, si no fuera el caso, entonces no se podría operar.

Otro punto relevante respecto a la operación, es que una aeronave de ala rotatoria tiene la capacidad de permanecer en vuelo estacionario, lo que le permite tener mayor cercanía con el terreno cuando es requerido, y entrar a barrancos sin comprometer la seguridad de la operación. En contraposición, una aeronave de alas fijas no está cualificada para operar en dichas condiciones. Este contrapunto puede definir la participación de una aeronave sobre la otra en un incendio, ya que cuando ocurren en zonas de difícil acceso tanto para medios terrestres como aéreos, una aeronave de alas rotatorias es más apropiada.

En cuanto al alcance, este tiene relación con el tamaño de la aeronave, la capacidad de carga de combustible y el consumo del mismo. Para comparar las alas rotatorias de alas fijas, se ha elaborado el *Anexo E*, el cual es complemento de la *tabla 3.3.1*, incluyendo el alcance de cada aeronave y el detalle sobre si corresponde a helicóptero o avión. Allí, a simple vista se puede apreciar que en general el alcance de los helicópteros es menor al de los aviones.

Ahora bien, si se calcula el promedio de cada uno, entonces se obtiene que los helicópteros presentados tienen un alcance de 712 km, mientras que los aviones es de 4050 km. Es decir, en promedio, el alcance es 5,7 veces mayor en aeronaves de alas fijas en comparación a las aeronaves de alas rotatorias.

Por añadidura, cabe destacar que en el apartado anterior, se mostró que Estados Unidos ha constatado que las aeronaves de alas rotatorias son más eficientes en labores de extinción de incendios, y en el caso de Chile, el informe sobre la efectividad de las aeronaves utilizadas muestra que el helicóptero Sikorsky S64 es superior a otras cinco aeronaves analizadas.

Otro aspecto a considerar es el tiempo transcurrido entre descargas, ya que es preciso minimizar la duración de esta actividad para maximizar la cantidad de descargas,

evitando con esto que durante el reabastecimiento de líquido extintor el fuego vuelva a brotar. Este tiempo, tiene relación con la distancia entre los puntos de trabajo y reabastecimiento, la velocidad de la aeronave y el tiempo que demora el llenado del depósito.

A modo de resumen, y para una comparación comprensible, se ha elaborado la *tabla 3.4.1*, la cual muestra cada punto analizado anteriormente y las diferencias entre los tipos de alas.

	Ala rotatoria	Ala fija
Velocidad máxima	Menor	Mayor
Velocidad de lanzamiento	Menor	Mayor
Aterrizaje	Permite aterrizajes en zonas despejadas	Requiere pista de aterrizaje
Rotaciones	Mayor cantidad por hora	Menor cantidad por hora
Disponibilidad de puntos de carga	Mayor	Menor
Carga	En piscinas, fuentes naturales y en base de operación	En base de operación
Influencia de condiciones adversas	Mayor sensibilidad a T° y vientos	Menor sensibilidad a T° y vientos
Operación en zonas cerradas	Si	No
Alcance	Menor	Mayor
Eficiencia	Mayor	Menor

Tabla 3.4.1: Comparación entre alas rotatorias o fijas.

Fuente: elaboración propia.

Desde allí, se desprende que los principales puntos débiles de una aeronave de alas rotatorias son la velocidad máxima, la mayor sensibilidad a altas temperaturas y vientos y el alcance.

En contraposición, las debilidades de una aeronave de alas fijas son la velocidad de lanzamiento, la menor cantidad de rotaciones por hora y puntos de carga, y no poder operar en zonas cerradas.

En vista y considerando que lo que esta memoria estudia es la posibilidad de una aeronave pilotada a distancia destinada a combatir incendios en ataque inicial y

realizando ataques directos, en donde las acciones se concentran en prevenir la propagación de las llamas y controlar la situación cuando aún no ha generado grandes daños, entonces factores como rotaciones, disponibilidad de puntos de carga y eficiencia toman mayor relevancia, por ende se ha considerado que **una aeronave de ala rotatoria** sería más apropiada para las labores en estudio.

3.4.2 Estanque ventral o helibalde

Este apartado tiene por finalidad realizar una comparación entre los dos tipos de depósito utilizados para transportar elemento extintor en aeronaves que se dedican a trabajos aéreos de extinción de incendios. Se trata del estanke ventral y el helibalde. Por su puesto, este último solo es utilizado en aeronaves de alas rotatorias, pero esta comparación se enfoca en su funcionamiento como medio independiente.

Para comenzar, se presenta cada uno a grandes rasgos para su mejor entendimiento. El estanke ventral corresponde a un depósito que va unido o es parte del fuselaje de la aeronave, como se muestra en la *Ilustración 3.4.1*, y el agua o retardante es liberado mediante la apertura de compuertas desde la cabina.

Un helibalde, por su parte, mostrado en la *Ilustración 3.4.2*, corresponde a un depósito colgante constituido por un balde externo conectado mediante cuerdas metálicas de suspensión a enganches dispuestos en el fuselaje.



Ilustración 3.4.1: Compuertas del estanke ventral de la aeronave Bombardier 415.

Fuente: 43 Grupo del Ejército del Aire, Operaciones aéreas forestales.



Ilustración 3.4.2: Helicóptero PZL Sokol W-3A con helibalde.

Fuente: CONAF.

Cada uno cuenta con sus propias características, ventajas y desventajas, que servirán para determinar cuál de ellos resulta más adecuado para el tipo de aeronave en estudio.

Por ejemplo, con relación a la exposición al daño de cada equipo, se debe considerar que a pesar de que la cesta del helibalde está construida con materiales impermeables y de alta resistencia, al ser carga colgante se expone con mayor facilidad a posibles arrastres en superficies rugosas que podrían dañar el material cuando no se tienen las precauciones suficientes respecto a la distancia que este tiene con el terreno. Al contrario, el estanque ventral tiene menor probabilidad de daño por este tipo de causas, al estar anclado a la estructura de la aeronave.

Ahora bien, ninguno está exento de sufrir algún inconveniente, y, al ser la extinción de incendios una actividad que exige atención inmediata cuando es requerido, tanto la aeronave como el depósito de contenido extintor deben estar disponibles, por ende, se debe considerar que en caso de ocurrirle un desperfecto a alguno de estos depósitos resultaría más complejo reemplazar un estanque ventral, ya que implica modificaciones en el fuselaje de la aeronave. En adición, se debe mencionar que un daño en el helibalde solo deja inoperativo dicho aparato, mientras que un daño en el estanque ventral deja inoperativa la aeronave completa para labores de extinción de incendios.

Otro factor relevante para comparar estos depósitos es el tiempo de respuesta que tiene cada uno. En el caso del helibalde, al ser carga colgante transitoria, debe ser instalado

cada vez que se solicite su uso, por ende debe considerarse un tiempo extra para instalar el mismo, el cual puede variar entre 5 y 10 minutos. Por su parte, el estanque ventral al estar fijo en la estructura no debe considerar ese tiempo extra.

Con respecto a la precisión y el control de las descargas, el depósito ventral muestra una superioridad en comparación a un helibalde, ya que, a diferencia del primero, este último se mueve de manera independiente a la aeronave, lo que puede ser un obstáculo para una descarga eficiente en el objetivo, no así al utilizar estanque ventral.

Además, se debe recordar que una estructura externa a una aeronave tiene incidencia en la aerodinámica de la misma, por lo tanto, el estanque ventral tiene menos incidencia que el helibalde, dada sus características.

Otro factor a considerar es la altura del lanzamiento. Por ejemplo, si dos aeronaves, una equipada con helibalde y otra con estanque ventral se posan a la misma altura respecto al terreno, una al lado de la otra, entonces la primera realizará la descarga desde menor altura, ya que las cuerdas que unen al helicóptero con el helibalde permiten disminuir esa distancia, lo que favorece a la extinción.

En este punto hay que considerar que, cuando se trata de aeronaves de ala fija, la distancia de lanzamiento puede verse incrementada debido a que estas no tienen la capacidad para permanecer en vuelo estacionario ni bajar solo verticalmente para acercarse al terreno, sino mas bien deben realizar el lanzamiento en movimiento y a una altura suficiente para evitar cualquier obstáculo, pudiendo esta ser mayor en comparación a un helicóptero.

Otras características comparativas se muestran en la *Tabla 3.4.2*.

En ella, se puede apreciar que tanto en la capacidad de cada depósito, como en la profundidad requerida para cargarlo no existe una diferencia sustancial, cuando el helibalde cuenta con el sistema Powerfill. No obstante, si el helibalde no cuenta con este sistema la diferencia se incrementa y este depósito se vuelve el más demandante en cuanto a profundidad.

También, se debe tener presente que el estanque ventral al ser utilizado en aeronaves de ala fija, necesita volver a la base de operación para ser recargado.

En esta misma línea, si bien ambos dispositivos permiten cargarse, además de agua, con espumante o retardante, cabe destacar que para esto renuncia a posibles fuentes de agua cercanas que podrían abastecer en vuelo, lo cual pasa a ser una decisión netamente estratégica tomada por el jefe de incendio correspondiente.

	Estanque ventral	Helibalde
Capacidad [Lts]	Entre 500 y 12.000	Entre 300 y 15.000
Certificación	Certificado de aeronavegabilidad	Opera bajo reglas de carga
Tiempo de respuesta de aeronave	Tanques fijos, no requieren tiempo de instalación	Requiere tiempo para ser enganchado, por uno o dos operarios
Profundidad de agua al cargar	30 cm de profundidad mínimo	Si se dispone del sistema Powerfill, la profundidad mínima es 45 cm, si no, 1 metro.
Tipo de agua	No es aconsejable cargar agua con algún tipo de suciedad	Puede cargar aguas relativamente sucias
Descarga	Permite descarga de agua, espumante o retardante. Puede fraccionar descargas	Permite descarga de agua, espumante o retardante. Descarga de una sola vez, a menos que se disponga de una válvula torrentula.

Tabla 3.4.2: Tabla comparativa entre estanque ventral y helibalde.

Fuente: Alberich, I.; Molina, M.

Ahora bien, con los antecedentes anteriormente mencionados, y considerando que estos depósitos se estudian para ser utilizados en aeronaves pilotadas a distancia, entonces se vuelve fundamental tener control de la operación en tiempo real, y, el hecho de tener carga colgante que incide en la aerodinámica podría dificultar las maniobras de la aeronave para el piloto remoto, como también aumentar los riesgos de la operación misma, dado, por ejemplo, los obstáculos que podrían hallarse sin estar considerados en la orografía.

En adición, disminuir el tiempo de respuesta frente a un incendio es crucial para su rápida supresión, por ende, el tiempo de instalación del helibalde cada vez que se requiera es un inconveniente considerando que la opción del estanque ventral presenta una estructura fija disponible para cuando se necesite.

Por otro lado, la ventaja que entrega un helibalde respecto a la altura de lanzamiento puede contrarrestarse con un incremento en la cantidad de elemento extintor a lanzar.

Por lo anterior, se ha determinado que resultaría más apropiado en este caso un **estanque ventral**, ya que su utilización es más simple y compromete menos la seguridad de la operación en comparación a un helibalde.

3.4.3 Sistemas

En esta sección se revisarán sistemas de aeronaves, su funcionalidad y si son apropiados o no para una aeronave pilotada a distancia. Además, en caso de ser necesario un sistema, se determinará si este debe ir a bordo de la aeronave o en la estación de pilotaje remoto.

Sistema de combustible: Este sistema provee combustible al motor de la aeronave para generar sustentación, procurando entregar un flujo abundante, continuo y con la presión adecuada. Por lo anterior, este sistema sigue siendo necesario y debe ser ubicado a bordo. En una aeronave pilotada a distancia de extinción de incendios se requiere mayor rigurosidad, ya que, al ser el combustible un elemento inflamable representa peligro cuando es expuesto a altas temperaturas. Es más, la gasolina de aviación 100/130 tiene una temperatura de auto ignición de entre 250°C y 480°C (Copec, 2011), es decir, en ese rango de temperatura el combustible se auto inflamaría sin necesidad de una fuente de ignición. Por ende, ya que en extinción de incendios se trabaja a baja altura, se debe tener especial cuidado en no exponer la aeronave a muy altas temperaturas durante un tiempo muy prolongado. Además, este sistema representa un riesgo importante en caso de accidente, dada la cantidad de combustible que contienen los depósitos, pudiendo quedar expuesto, lo cual podría empeorar considerablemente la situación que se está tratando de manejar.

Sistema de comunicaciones: Este sistema permite mantener el contacto entre la aeronave y los servicios en tierra. En aeronaves convencionales la comunicación se da entre el piloto y el servicio de tránsito aéreo a través de algún canal de comunicación como radiofrecuencias o satélites. En caso de una aeronave no tripulada deben existir los enlaces de comunicación para transmitir todos los datos que, en un vuelo con piloto a

bordo se tienen disponibles en pantallas e instrumentos. Por consiguiente, el sistema de comunicación es crucial, ya que la pérdida de comunicación implica perder también el control total sobre la aeronave, debiendo estar presente tanto a bordo de la aeronave como también en la estación de pilotaje remoto.

En síntesis, en una aeronave pilotada a distancia debe existir comunicación aire-tierra para comunicar los parámetros de vuelo al piloto remoto, y por otro lado comunicación tierra-tierra para que el piloto se comunique con el servicio de tránsito aéreo.

La Circular 328 de la Organización de Aviación Civil Internacional sobre sistemas de aeronaves no tripuladas presenta la siguiente figura, que refleja las diferentes comunicaciones que debiesen existir, donde C3 representa mando, control y comunicaciones.

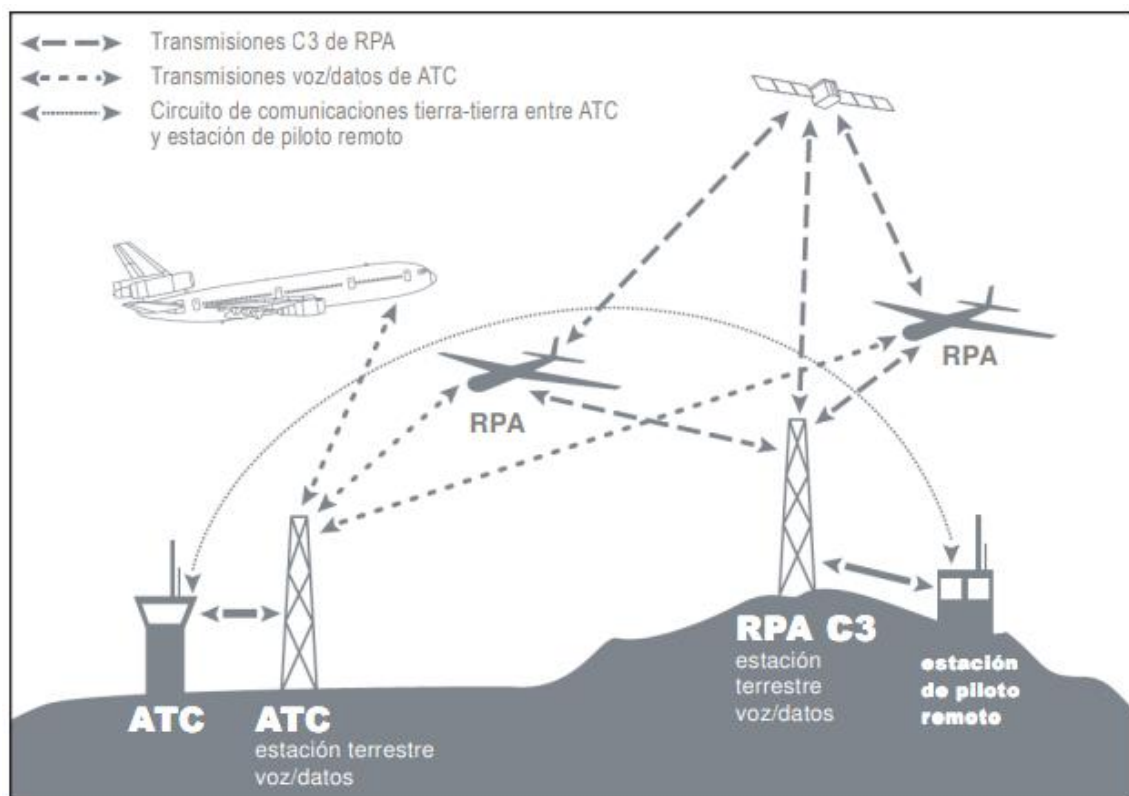


Ilustración 3.4.3: Enlace de comunicaciones.

Fuente: OACI.

Sistema de grabación de voz (cockpit voice recorder): Como su nombre lo indica, el sistema tiene por función almacenar los sonidos emitidos en la cabina. En este caso, al

no estar la tripulación a bordo de la aeronave, se hace innecesario este sistema esté dentro de la misma. Sin embargo, aún es esencial tener registro de las alarmas que pueden emitir los distintos instrumentos, como también de las conversaciones que pudieran tener los pilotos entre sí y/o con la torre de control, para tener un respaldo en caso de ser requerido en investigación de accidentes e incidentes. Por ende, dicho sistema debe estar presente en la estación de pilotaje remoto, lo que favorece además a alivianar el peso de la aeronave.

Sistema de grabación de datos (data recorder): El grabador de datos tiene por objetivo registrar y almacenar todos los parámetros tanto de sistemas como instrumentos. Dado esto, no es posible prescindir de este sistema, ya que, al igual que el sistema de grabación de voz, es fundamental en investigación de accidentes e incidentes. No obstante, este se podría encontrar en la estación de pilotaje remoto, almacenando desde ahí toda la información enviada desde la aeronave a través del sistema de comunicación, procurando que sea transmitida y almacenada constantemente y en tiempo real, pero en caso de pérdida de conexión con tierra, se debe continuar almacenando datos, por ende, este sistema debe situarse tanto a bordo como en la estación de pilotaje, con la finalidad de aumentar la redundancia.

Sistema de navegación: Este sistema permite conocer la posición de una aeronave cuando se desplaza por el espacio aéreo, para seguir una trayectoria previamente determinada o manejada desde la estación de pilotaje remoto. Por lo anterior, es evidente que este sistema es fundamental a bordo, para una operación segura, no pudiendo prescindir en ningún caso de él.

Sistema anticollisión: La función de este sistema es alertar la presencia de otras aeronaves cercanas al aérea de navegación, con el propósito de evitar posibles colisiones. Esto, funcionando de manera independiente a las indicaciones que podría dar el servicio de tránsito aéreo.

ACAS (Airborne Collision Avoidance System) es el nombre estándar para este tipo de sistemas que se encuentra regulado por la Organización de Aviación Civil Internacional en su Documento 9863. En este, se precisa la existencia de 3 tipos de ACAS: el primero

solo proporciona alerta, el segundo proporciona alerta y resolución de conflictos en el plano vertical y el último, incorpora lo anterior más resolución de conflictos en el plano horizontal. Además, en este documento se indica que “*el ACAS II no fue diseñado con miras a instalarse en aeronaves militares tácticas o aeronaves no tripuladas*” (OACI, 2006), argumentando la existencia de problemas técnicos y operacionales que deben tratarse con anterioridad a querer instalarlos. Por su parte, la Circular 328 de la OACI que trata sistemas de aeronaves no tripuladas afirma que estos problemas deben ser evaluados (OACI, 2011). Lo anterior, indica que a pesar de ser un sistema necesario a bordo, aún no existe tecnología disponible para ser utilizadas en el tipo de aeronaves que esta memoria tiene por objeto.

Sistema eléctrico: Tiene por función proveer energía al resto de los sistemas y accesorios de la aeronave. En una aeronave pilotada a distancia como la estudiada es esperable que la cantidad de energía requerida sea menor en comparación a una aeronave tradicional, ya que sus sistemas pueden ser menos complejos y además prescindir de algunos de ellos. No obstante, aún necesita alimentación, por ende, el sistema eléctrico es primordial tanto para la aeronave como para la estación de pilotaje, aunque por su puesto de diferente forma.

Sistema de protección anti hielo de aeronaves: Como su nombre lo indica, este sistema protege la aeronave de la formación de hielo, ya sea previniendo o eliminando este, cuando se opera en condiciones ambientales de baja temperatura.

Una aeronave destinada a uso exclusivo en extinción de incendios podría omitir esta unidad, más no si se le quiere dar otros usos. Por lo tanto, su implementación depende de los fines para los que se quiere la aeronave en temporada baja de incendios forestales.

Sistema de protección contra incendios: Este sistema tiene por objetivo detectar humo o fuego en los componentes de un avión para advertir al piloto y posteriormente, si es necesario, dispensar algún tipo de agente extintor para controlar la situación, por lo que debe situarse a bordo. Al estar estudiando aeronaves que se enfrentan a combate de incendios a baja altura, se debe considerar que se trabajará en condiciones de humo, por ende, pudiesen generarse falsas alarmas que distraigan la atención del foco principal de operación. Dicho sistema se requiere dada la naturaleza de los trabajos, aunque debe

estudiarse el efecto que pueden tener las condiciones externas para los sensores del sistema.

Sistema de iluminación: Esta unidad proporciona iluminación tanto externa como interna para la aeronave. En este caso, el sistema puede ser simplificado ya que, a falta de tripulación a bordo, solo es necesaria la iluminación externa para poder visualizar la aeronave en el aire con mayor facilidad. No obstante, aún se debe considerar la iluminación para la estación de pilotaje remoto, ya sea para las señales de advertencia como iluminación de ambiente.

Sistema de piloto automático: Este componente proporciona un medio para controlar automáticamente el vuelo, realizando acciones como mantener una altitud programada, controlar la velocidad, seguir un rumbo e incluso aterrizar de manera automática. La necesidad o no de contar con este sistema en una aeronave no tripulada no ha sido estudiada, no obstante, la utilización de esto podría contribuir, al igual que en una aeronave convencional, a aliviar la carga del piloto. En adición, es posible incluir un sistema de retorno, que permite a la aeronave regresar al punto inicial, en caso de pérdida de conexión con los mandos de control.

3.4.3.1 Sistemas prescindibles dada la naturaleza de la aplicación propuesta

Esta sección tiene por objetivo determinar qué características y sistemas pueden ser prescindibles para una aeronave no tripulada que realiza trabajos de extinción de incendios, con la finalidad de evitar complejizar la elaboración de un futuro modelo, como también para evitar peso innecesario. A continuación, se exponen aquellos sistemas que se ha considerado no necesarios y su motivo:

Sistema de presurización: Este sistema se requiere cuando la aeronave vuela a una altura donde existe poca densidad de aire, con la finalidad de abastecer a los tripulantes del oxígeno suficiente. Dado que se trata de una aeronave que no lleva ni tripulación ni pasajeros a bordo, volando además a baja altura, se puede prescindir de este sistema sin ningún perjuicio.

Sistema de oxígeno: Al igual que en el caso anterior, este sistema no es necesario, ya que no hay ocupantes a bordo de la aeronave a quienes abastecer con oxígeno.

Sistema de aire acondicionado: Este, tiene por objetivo suministrar y mantener aire a una temperatura agradable para los tripulantes durante el vuelo, y dada la inexistencia de estos en una aeronave pilotada a distancia, entonces es posible dejar de lado este sistema a bordo. No obstante, puede existir en la estación de pilotaje, pero no correspondería a parte de los sistemas de la aeronave.

3.5 Consideraciones especiales

Protocolos de emergencia: Antes de operar con una aeronave, se requiere tener protocolos que seguir en caso de enfrentar alguna eventualidad. Por ejemplo, si se genera algún tipo de desperfecto, y se necesita disminuir la carga de la aeronave rápidamente, se debe tener extremo cuidado si es necesario botar combustible, ya que esto podría empeorar considerablemente la situación que se está tratando de controlar. Por otro lado, es improbable que esta situación ocurra porque si se necesita perder peso es fácil descargar el contenido extintor, ya sea agua, retardante o espuma, sin provocar problemas.

Visibilidad: La visibilidad en labores de extinción de incendios es fundamental para realizar lanzamientos con precisión, ya que las coordenadas informadas del incendio pueden no haber sido precisas o pueden haber cambiado durante el transcurso del tiempo que demora llegar. Es por esto, que en caso de aeronaves pilotadas a distancia, ya que no hay un piloto a bordo para corroborar la situación, se requieren cámaras y sensores de alta confiabilidad que sean capaces de adaptarse tanto al día como la noche, pero también a condiciones de humo.

Autonomía: Dado que los incendios forestales en Chile se concentran en dos regiones contiguas, una gran autonomía no generaría mayor valor. En adición, se debe considerar que un aumento en la autonomía implica llevar a bordo mayor cantidad de combustible, y por ende, mayor peso.

Generación de pavesas: Las pavesas, según la RAE se definen como “partecillas ligeras que saltan de una materia inflamada y acaban por convertirse en ceniza”, y, cuando se trabaja con aeronaves de alas rotatorias en zonas donde hay incendios activos, una excesiva cercanía a la superficie puede contribuir a la generación y difusión de estas mismas, siendo contraproducente para el combate de incendios.

Movimiento del líquido dentro del depósito: El movimiento de la aeronave causa que los líquidos que transporta se muevan dentro de sus recipientes, pudiéndose tratar de combustible o líquido extintor, lo que puede interferir de manera negativa en la

maniobrabilidad, por ende, en favor de la seguridad, se debe minimizar cualquier desplazamiento de los líquidos dentro de sus recipientes.

Densidad del aire: Al trabajar con medios aéreos sobre incendios forestales se debe considerar la densidad del aire, ya que esta es inversamente proporcional a la temperatura, es decir, a mayor temperatura menor es la densidad. Dado que esta densidad tiene relación con la performance de las aeronaves, se debe estudiar en qué medida afecta a la navegación, considerando por su puesto el peso de la aeronave.

3.6 Legislación Chilena

En este apartado se presentan las regulaciones a las que se enfrentaría una aeronave no tripulada que preste servicios de extinción de incendios en el país, y aquellos artículos que resultan más relevantes para esta investigación.

3.6.1 DAN 137

Esta normativa de la Dirección General de Aeronáutica Civil regula los trabajos aéreos en el país, y reconoce como uno de estos, entre varios otros, a la extinción de incendios forestales.

En ella, primero se hace referencia a las **condiciones de vuelo** con las que se puede operar, las cuales son:

1. Los trabajos aéreos de extinción de incendios forestales deben efectuarse en todo momento en condiciones visuales, con tierra o agua a la vista entre el comienzo del crepúsculo civil matutino y el fin del crepúsculo civil vespertino.
2. Las operaciones, la coordinación y las comunicaciones aeronáuticas se efectuarán en idioma español. En caso de que la tripulación no pueda comunicarse en idioma español, se debe considerar el apoyo de un piloto que cuente o haya estado en posesión de la habilitación de función “Combate de Incendios Forestales”.

Respecto a **los conocimientos y experiencia** de los pilotos al mando:

1. Acreditar como mínimo poseer la habilitación correspondiente.
2. Haber realizado diez misiones⁴ reales de extinción de incendio acompañado de un piloto con una experiencia de dos temporadas como mínimo.

Con relación a la **coordinación aérea**:

1. El espacio aéreo para la ejecución de las operaciones aéreas de extinción de incendios forestales será aquel que corresponde a un cilindro de radio 5 MN medido desde el borde exterior del foco del incendio.
2. Debe existir separación aérea vertical donde hay 3 zonas:

⁴ Una misión corresponde a un despegue y un aterrizaje.

- a. Zona de maniobra y lanzamiento corresponde desde la superficie hasta 500 pies AGL.
 - b. Zona de observación y reconocimiento: sobre 500' y hasta 1.500' AGL.
 - c. Zona de coordinación aérea: sobre 1.500' y hasta 3.000' AGL.
- 3. La separación horizontal para el área de aproximación y maniobra comprende un radio de 5 MN medido desde los límites externos del incendio.
- 4. Las comunicaciones aéreas serán breves y concisas en cuanto a la posición y la altura emitiendo en todo momento sus decisiones acordes a la situación del incendio, considerando prioritariamente la seguridad de vuelo.
- 5. Para efectuar la trayectoria de aproximación final de lanzamiento, el circuito de tránsito será definido de acuerdo a las condiciones meteorológicas y la topografía del terreno. Este circuito es planificado por el piloto al mando de la primera aeronave que arribe al incendio y considerará los siguientes aspectos:
 - a. La dirección e intensidad del viento en superficie.
 - b. La localización e inclinación de la columna de humo.
 - c. La visibilidad del sector, topografía y relieve del terreno.
 - d. La intensidad calórica del combustible.
 - e. La presencia de obstáculos adyacentes a la zona de extinción de incendio.
- 6. La decisión final de los lanzamientos será exclusivamente del Piloto al mando, priorizando la seguridad de vuelo y evaluando la factibilidad de solicitud de cada lanzamiento.
- 7. Los pilotos al mando de helicópteros, cuando se les disponga la cancelación temporal o definitiva de las operaciones aéreas, deberán aterrizar en un área libre de riesgo, evitando quedar en la trayectoria de lanzamientos de las otras aeronaves que se encuentren operando.
- 8. Los helicópteros de acuerdo a las circunstancias operacionales del momento, deberán cumplir con sus objetivos preseleccionados, transitando desde la fuente de agua al sector asignado, a una altura no superior a los 500 pies AGL.
- 9. Los aviones siempre tendrán el “derecho a paso” sobre los helicópteros, cuando se encuentren en trayectoria final de lanzamiento.

10. En el empleo de los medio aéreos, se deberá dar preferencia a aquellas aeronaves que descarguen mayor cantidad de volumen de agua. Sin embargo, en ciertas ocasiones puede ser preferible no interrumpir la secuencia de lanzamientos de los helicópteros próximos a la zona de lanzamientos, cediendo esta prioridad.

En operaciones de **extinción de incendios durante la noche** se debe:

Para operar bajo las reglas de vuelo visual (VFR) durante la noche, el operador deberá cumplir con los siguientes requisitos:

1. Dos pilotos con habilitación IFR.
2. Acreditar haber recibido instrucción nocturna en este tipo de operaciones aéreas.
3. Las aeronaves estarán equipadas con sistemas de visión nocturna.
4. Las aeronaves estarán equipadas para operar en condiciones de vuelo instrumental (IFR).
5. El lugar de operación deberá estar certificado por la DGAC conforme a la DAN 14 para operaciones nocturnas.
6. Para el mantenimiento de la aeronavegabilidad se desarrollará las listas de chequeo de mantenimiento a ser aplicadas durante la operación nocturna.

Esta normativa plantea varios puntos interesantes de tratar. Por una parte, limita a las aeronaves a realizar operaciones solo cuando esté presente la luz solar y en condiciones visuales, pero flexibilizando esto para aquellas aeronaves que cuenten con ciertos requisitos, siendo el más relevante en términos de recursos humanos, el deber contar con dos pilotos con habilitación IFR. Por ende, si una aeronave no tripulada quiera operar de noche requeriría también dos pilotos con estas características.

Segundo, ya que el piloto no se encuentra a bordo de la aeronave, y la decisión final de lanzamiento la tiene este mismo, entonces se requeriría mayor precisión de los sistemas que informan la ubicación del fuego a tratar, como también de la localización de la aeronave misma y las cámaras que reemplazan la vista del piloto si estuviera a bordo. De otra manera, podría verse afectada la eficiencia de los lanzamientos.

Con relación a la altura a la que podrían transitar las aeronaves no tripuladas en las cercanías a un incendio, es de esperar que tengan limitaciones similares a las que tienen los helicópteros, o en su defecto, más estrictas.

Además, esta normativa no plantea con claridad el derecho de paso cuando operan aeronaves no tripuladas, no obstante es esperable que los helicópteros tengan derecho de paso por sobre estas si poseen mayor capacidad, ya que se menciona también que tendrán preferencia aquellas aeronaves que dispongan de mayor capacidad.

Siguiendo esta línea, se puede suponer que en general una aeronave pilotada a distancia que contribuya en extinción de incendios en ataque inicial no tendrá prioridad cuando existan otros medios aéreos para combatirlo, a menos que su capacidad sea superior a la de otras aeronaves.

3.6.2 DAN 151

Esta normativa regula operaciones de aeronaves pilotadas a distancia (RPA) en asuntos de interés público que se efectúen sobre áreas pobladas. En ella, se define que la “ejecución de actividades de apoyo en relación con desastres o emergencias provocadas por la naturaleza o por la acción del ser humano” es uno de varios asuntos de interés público (DAN 151, 2020), por lo tanto en esta categoría cabe la extinción de incendios.

Fue emitida en el año 2015, reconociendo con esto la importancia de legislar la utilización de aeronaves no tripuladas en el país, cuando en el mundo no existían grandes regulaciones para este tipo de aeronaves. Es por esto también que dicha normativa es acotada en su alcance, por ende, a continuación se enumeran aquellos puntos que no cumpliría una aeronave con las características estudiadas en esta memoria:

1. El peso máximo de despegue del RPA debe ser de hasta nueve kilos incluyendo accesorios, pero sin considerar el peso del paracaídas de emergencia.
2. Toda operación de RPA, debe efectuarse en condiciones meteorológicas de vuelo visual (VMC).
3. Ocupar un RPA para el lanzamiento o descarga de objetos desde el aire, sin una autorización especial de la DGAC.

4. Operar en las áreas donde se combate un incendio por medio de aeronaves tripuladas.
5. El tiempo total de vuelo en una operación de un RPA, no podrá exceder el 80% de la máxima autonomía que le permita la carga eléctrica del RPA, no pudiendo durar el vuelo más de 60 minutos.
6. El traspaso del mando y control del RPA a otro piloto a distancia no podrá efectuarse con la aeronave en vuelo.
7. Todas las operaciones en condiciones BVLOS establecidas en la presente DAN 151, quedaran limitadas para el uso exclusivo en el cumplimiento de sus funciones de las instituciones que realicen operaciones de servicio público en coordinación con el Ministerio de Defensa Nacional y del Ministerio del Interior y sus respectivas Subsecretarías.

Los puntos anteriores reflejan lo limitada que es la legislación vigente, puesto que se restringe para aquellas aeronaves de menor tamaño, limitando por consiguiente sus usos. Con esto, resulta evidente que una aeronave con un peso inferior a 9 kilogramos está imposibilitada para transportar carga con algún tipo de elemento extintor que sea suficiente para enfrentar un incendio forestal.

Por otra parte, es requisito operar en condiciones meteorológicas de vuelo visual, no aceptando la posibilidad de equipar la aeronave con los instrumentos necesarios para volar en condiciones meteorológicas de vuelo instrumental (IMC).

En definitiva, los puntos más importantes de esta regulación tienen relación con la imposibilidad de operar conjuntamente con aeronaves tripuladas en zonas donde se combaten incendios, ya que resultaría contradictorio con los fines de una aeronave para extinción de incendios. Esto, sin embargo, podría subsanarse aplicando restricciones de distanciamiento para conservar la seguridad, en lugar de una prohibición. Por otro lado, se encuentra el no poder realizar lanzamientos o descargas desde el aire, aunque en este caso, se flexibiliza y podría ser remediado con solicitar una autorización especial de la DGAC.

También, si una aeronave quisiera operar de manera nocturna, el punto 6 citado anteriormente entraría en una contradicción con el requisito de la DAN 137 sobre la necesidad de dos pilotos con habilitación IFR para estos casos, ya que innegablemente se requeriría el traspaso de mando y control en vuelo.

Por cierto, cabe destacar que esta reglamentación parte de la base que está regulando aeronaves pequeñas con estructuras simplificadas incluso en el control de mando, por ende asume que están limitadas en muchos aspectos, lo que conlleva no tratar diversos temas que podrían ser relevantes para modelos modernos que se pudieran incorporar, como por ejemplo la necesidad de disponer de una estación de pilotaje remoto.

Por último, el preámbulo de este documento advierte que es una reglamentación provisoria y que podría ser modificada cuando la OACI se pronunciase sobre esto y publicara sus propias regulaciones, sin embargo, al año 2020, este documento sigue siendo válido y solo ha sufrido modificaciones menores.

3.6.3 Circular 328

La circular 328 (UAS) de la Organización de Aviación Civil Internacional tiene por propósito informar a los estados miembros la perspectiva de la organización respecto de la integración de los sistemas de aeronaves no tripuladas en el espacio aéreo no segregado, como también considerar las diferencias respecto de la aviación tripulada e incentivar a los estados a contribuir proporcionando información sobre sus propias experiencias relacionadas con estas aeronaves (OACI, 2011).

Esta circular trata diversos tópicos sobre el tipo de aeronaves en estudio, que, para mejor entendimiento y análisis, se pueden subdividir en tres categorías: las regulaciones ya existentes que son atingentes a aeronaves no tripuladas, las regulaciones que necesitan modificaciones para adecuarse o incluir dichas aeronaves y por último, entregar nociones sobre aquellos puntos que no han sido tratados y deberían serlo, para incorporar en un futuro previsible a estas aeronaves al sistema de aviación civil internacional, junto a las aeronaves tripuladas.

Como punto de partida, se recuerda que una aeronave no tripulada es una aeronave a pesar de no tener el piloto a bordo, y como tal, debe cumplir todas las reglas del aire. Dado esto, se manifiesta que los SARPS existentes son aplicables en gran medida, pero al no tener el piloto a bordo de la aeronave hay aspectos que necesitan ser tratados de manera diferente.

Por lo anterior, se han identificado variados inconvenientes que deben ser resueltos con anterioridad a su integración al espacio no segregado. Algunos de ellos se exponen a continuación:

- Una aeronave no tripulada debe ser capaz de actuar y responder como lo hacen las tripuladas, por ende, requiere comunicación entre la aeronave, el piloto remoto y el control de tránsito aéreo ya sea por enlace de voz o datos. Lo anterior, no solo por seguridad, sino también porque cabe la posibilidad de que estas aeronaves sean pilotadas en estados distintos al de matrícula, y por ende, deben cumplir las instrucciones proporcionados por dicho estado.
- El piloto tiene la misma responsabilidad final sobre la operación segura de la aeronave, por tanto debe contar con las herramientas necesarias para efectuar vuelos seguros. Por ende, tiene la responsabilidad de detectar y evitar posibles colisiones, y al no estar a bordo, se precisa tecnología que asegure que el piloto tenga conocimiento fiable y en tiempo real del entorno.
- En un vuelo de larga distancia se puede requerir que exista más de una estación de piloto remoto en diferentes puntos, lejanos entre ellos, para transferir el control de la aeronave en vuelo. Asimismo, se puede necesitar la transferencia del control a causa del cumplimiento de horas del turno del piloto a cargo.
- Si se realiza un vuelo internacional existen documentos en papel que se deben llevar a bordo, como por ejemplo el certificado de matrícula y aeronavegabilidad, entre otros, y en caso de una aeronave no tripulada esto resultaría impropio y poco práctico. Este obstáculo, es fácil resolver abriéndose a la posibilidad de optar por medios electrónicos, no obstante, aún no ha sido resuelto. Por otra parte, dada la finalidad para la cual se ha estudiado una aeronave de estas características, este tipo de vuelos no están contemplados.

- Aunque el certificado de aeronavegabilidad es aún imprescindible, se debe evaluar las condiciones bajo las cuales se entrega dicho certificado para estas aeronaves, ya que, sin duda tendrá diferencias con respecto a aeronaves convencionales, como la consideración de la estación de pilotaje remoto.
- Se debe tener en consideración que, en favor de la seguridad, las reglas de derecho de paso deben mantenerse.
- Deben estudiarse y normarse procedimientos de emergencias que pueden surgir en aeronaves no tripuladas, por ejemplo, la falla o pérdida de comunicación entre el piloto y la aeronave.
- Deben establecerse protocolos técnicos y procedimientos operacionales para que contribuyan en la transferencia de pilotaje entre estaciones remotos.
- Los aeródromos deben considerar aspectos necesarios para integrar a sus operaciones las aeronaves no tripuladas, como la necesidad de nuevas señales, aplicación de mínimos de aproximación por instrumentos, requisitos de salvamento y extinción de incendios, entre otros.
- Al no estar el piloto a bordo para verificar las condiciones meteorológicas, se debe contar con instrumentos fiables, seguros y que sean capaces de entregar la información en tiempo real.
- Las reglas del aire exigen que toda aeronave haga observaciones especiales cuando observen fenómenos como turbulencia fuerte, engelamiento fuerte, nube de cenizas volcánicas, entre otras. En caso de una aeronave no tripulada, podría no ser posible cumplir con esta disposición si la aeronave no está equipada con los sensores necesarios.
- No se ha regulado la separación de aeronaves, ya que no se ha estudiado el efecto de estelas turbulentas sobre ellas, aunque es posible prever que, al ser más pequeñas y livianas, son más sensibles a dicho efecto.
- La estación de piloto remoto debe estar asegurada para evitar actos de interferencia ilícita o sabotaje, ya que al no estar en el aire junto con la aeronave se encuentra más expuesto. Para minimizar los riesgos, se sugiere que el acceso a la estación de pilotaje tenga al menos los mismos niveles de seguridad que ya son aplicados en la industria aeronáutica para zonas restringida. Asimismo, se

requiere seguridad para evitar que una aeronave no tripulada sea manipulada de alguna forma indebida o maliciosa mientras está estacionada o preparándose para un vuelo.

- El sistema de certificación para aeronaves está establecido, por ende si una aeronave no tripulada quiere obtenerlo debe demostrar su cumplimiento. No obstante, ciertas normas pueden no aplicarse o no ser apropiadas.
- Se tendría que elaborar algún método para certificar no solo el equipo de comunicación, sino también la conexión entre la estación de piloto remoto y la aeronave, procurando que tanto el tiempo de transmisión como la seguridad de la comunicación sea aceptable.
- Se debe lograr asegurar un nivel de redundancia similar al manejado actualmente, tanto para la aeronave, la estación de piloto remoto y los enlaces de conexión.
- El otorgamiento de licencias a los miembros de la tripulación será diferente para aeronaves tripuladas y no tripuladas, introduciendo los ajustes necesarios.
- Puede ser necesario incorporar requisitos de instrucción para personal ATC con la introducción de aeronaves no tripuladas al espacio controlado, referentes, por ejemplo, a comunicaciones, limitaciones operacionales y procedimientos de emergencia de este tipo de aeronaves.

A modo de síntesis de esta sección, se comenta que tal como se puede apreciar, la integración de aeronaves no tripuladas al espacio aéreo no segregado no es posible con la tecnología que manejan dichas aeronaves en la actualidad, ya que existen inconvenientes considerables que deben ser tratados y resueltos.

Se ha observado que para una aeronave pilotada a distancia dedicada a extinción de incendios los factores más relevantes referentes a su imposibilidad de operar están ligados principalmente con la **seguridad** y las **comunicaciones**. Por ejemplo, la aplicación de redundancias en los enlaces, a fin de minimizar la pérdida del control, y, en caso de que ocurriera, contar con una recuperación automática de la aeronave.

Por otro lado, existen ciertas contradicciones entre la legislación chilena vigente para este tipo de aeronaves y la circular de la OACI, básicamente porque dicha legislación fue pensada para RPA's de menor tamaño, y por ende, limitadas en sus usos. En concreto, esta circular acepta la idea de utilizar piloto automático como ayuda a las labores del piloto, entendiendo por su puesto que solo es una ayuda y en ningún caso sustitución, mientras que la DAN 151 parte desde la base de que es un piloto quien en todo momento controla la aeronave.

Finalmente, en la circular se afirma que una aeronave de estas características puede ser pilotada desde más de una estación de piloto remoto (no de manera simultánea por supuesto), como también una estación podría pilotar más de una aeronave, lo cual queda descartado completamente en la DAN 151.

Conclusiones

La participación de aeronaves no tripuladas en el combate de incendios forestales resultaría ser una herramienta nueva, ya que hasta ahora solo se han incorporado en labores de vigilancia. Es por esto que esta investigación da una mirada hacia el futuro, buscando aquellas características que requiere una aeronave pilotada a distancia, con la finalidad de contribuir a labores de extinción de incendios.

De acuerdo a lo analizado, es fundamental dar atención a los incendios en etapa temprana mediante ataques directos, evitando con esto que se generen incendios de magnitud y/o focos importantes de manera simultánea, ya que la ocurrencia de estos fenómenos se incrementa año tras año. En adición, se concluye que el uso de aeronaves en extinción de incendios es beneficioso para el control del fuego. Por ende, y más específicamente, la incorporación de aeronaves pilotadas a distancia podría contribuir eficazmente a estas labores.

Se ha determinado que la implementación de alas rotatorias y estanque ventral en una aeronave pilotada a distancia son características necesarias para enfocarse en labores de extinción de incendios forestales de manera eficiente. Es preciso señalar que esta descripción es coincidente con las características de la aeronave con mayor eficiencia según el estudio de CONAF (Sikorsky S64). De esta manera, podría ser utilizado como modelo para contribuir a adquirir otros componentes, como por ejemplo, la instalación de una bomba de relleno “snorkel” para incrementar los puntos disponibles de reabastecimiento.

Respecto a la responsabilidad del piloto, se ha determinado que seguiría siendo la misma, en comparación a una aeronave convencional. Sin embargo, la ausencia de este a bordo complejiza sus labores, ya que depende plenamente de la información enviada por la aeronave, no pudiendo realizar observaciones desde las ventanas de la cabina.

Por otra parte, se ha estudiado que ciertos sistemas que están presentes en las aeronaves convencionales pueden ser prescindibles en este caso, en beneficio de evitar peso innecesario, como por ejemplo el sistema de presurización. En este mismo ámbito,

aquellos sistemas que aún son necesarios deben ser distribuidos entre la estación de pilotaje remoto y a bordo de la aeronave, de acuerdo a su funcionalidad, tal como el sistema de grabación de voz, que debe situarse donde se encuentre el piloto, es decir, en la estación de pilotaje. Por su parte, otros sistemas requieren modificaciones para adaptarse a estas aeronaves, como el sistema de comunicaciones, el cual pasa a cumplir un rol fundamental en el control y maniobra.

Por otro lado, la investigación ha mostrado que a pesar de la existencia de una legislación para aeronaves no tripuladas, esta no es suficiente para facilitar el desarrollo de este tipo de tecnologías y enfrentar desafíos futuros. Debe disminuir sus restricciones respecto al peso de la aeronave para poder operar, como también las limitaciones del tiempo de vuelo permitido, ya que se asume un abastecimiento mediante carga eléctrica, lo cual no es necesariamente cierto, pudiendo utilizar combustible, tal como las aeronaves tripuladas. En general, se trata de transformar prohibiciones en normativas que regulen y den cabida al desarrollo de estas tecnologías, para permitir usos más allá de tareas de vigilancia o actividades recreacionales.

En adición, la normativa internacional destaca varios puntos importantes a considerar con anterioridad a una posible inclusión de estas aeronaves al espacio aéreo no segregado, que se relacionan principalmente con la seguridad operacional, y el resguardo de los componentes de la aeronave y la estación de pilotaje.

Cabe destacar finalmente que el estudio de características que debería tener una aeronave no tripulada destinada al combate de incendios es necesario pero no suficiente para asegurar el éxito del dispositivo. Debe ser probado y empleado en las circunstancias para lo que fue diseñado.

Bibliografía

- **Air Tractor.** “AT-802f Fire Boss: Cisterna anfibio con toma de agua dinámica”. [Consulta: 5-abr-2021]. Disponible en <<https://airtractor.com/es/aircraft/at-802f-fire-boss/>>
- **Alberich, I.; Molina, D.** “Comparación entre el depósito ventral y el helibalde para los helicópteros en la extinción de incendios forestales”. Revista montes 2017, número 127, pag 18-22. [Consulta: 9-may-2020].
- **Alvarado, R.** “Estudiantes crean Dron Solar para detectar incendios forestales y apoyar labor de brigadistas”, Universidad de Chile, 23 de julio de 2018. [Consulta: 9-may-2019]. Disponible en <<http://www.forestal.uchile.cl/noticias/145253/estudiantes-crean-dron-solar-para-detectar-incendios-forestales>>
- **Bordallo, L.; Burwitz, A.** “Los drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil. Capítulo 10: Aplicaciones a la extinción nocturna de incendios forestales: «Proyecto nitrofirex»”, 2015. [Consulta: 25-may-2020]. Disponible en <http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadervalue1=filename%3DGUIA_Los+dronesb.pdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1352893744482&ssbinary=true>
- **Bordes, F.; Aguado, B.; Enriquez, JJ.** “Operaciones aéreas en incendios forestales”, 2014. [Consulta:20-may-2020]
- **Bushfire CRC.** “The effectiveness and efficiency of aerial firefighting in Australia”, 2007. [Consulta: 10-nov-2020].
- **Cleary, W., Boeing.** “Water bombs: Boeing invention could make C-17 a firefighter”, 2003. [Consulta: 27-may-2020]. Disponible en <<https://www.boeing.com/news/frontiers/archive/2003/august/ids4.html>>
- **CNID, Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo.** “Hacia un Chile resiliente frente a desastres: una oportunidad”, 2016. [Consulta: 20-may-2019]. Disponible en: <<http://www.cnid.cl/portfolio-items/informe-de-la-comision-de-idi-en-resiliencia-frente-a-desastres-de-origen-natural/>>
- **CONAF, Departamento de logística.** “Solicitud de información n° AR003T-0002558 – 09/04/2019 LEY 20.285”, 2019 . [Consulta:30-abr-2019]

- **CONAF, Gerencia protección contra incendios forestales.** “*Incidencia de incendios de magnitud en relación a la ocurrencia y daño nacional temporada 1985-2019*”, 2019. [Consulta: 15-dic-2019].
- **CONAF, Gerencia protección contra incendios forestales.** “*Ocurrencia nacional de incendios forestales según rango horario*”, agosto 2019.[Consulta:16-dic-2019].
- **CONAF, Gerencia protección contra incendios forestales.** “*Ocurrencia nacional de incendios forestales por región*”, agosto 2019.[Consulta: 15-dic-2019]
- **CONAF, Gerencia protección contra incendios forestales.** “*Ocurrencia y daño histórico nacional de incendios forestales*”, agosto 2019.[Consulta: 14-dic-2019]
- **CONAF, Unidad de Capacitación y Desarrollo Técnico Departamento de Protección contra Incendios Forestales Dirección Regional del Biobío.** “*La brigada de heliatque y los procedimientos de trabajo con helicópteros*”, abril 2010. [Consulta: 28-abr-2020]
- **CONAF.** “*Análisis de la Afectación y Severidad de los Incendios Forestales ocurridos en enero y febrero de 2017 sobre los usos de suelo y los ecosistemas naturales presentes entre las regiones de Coquimbo y Los Ríos de Chile*”, abril 2017. [Consulta:21-may-2019]. Disponible en < <http://www.conaf.cl/incendios-forestales/tormenta-de-fuego-en-chile/>>
- **CONAF.** “*Caracterización de la principales aeronaves utilizadas en los incendios forestales y evaluación de la efectividad de su accionar*”, 2017. [Consulta:15-abr-2020].
- **CONAF.** “*Despacho y coordinación de recursos*”. [Consulta: 29-may-2020]. Disponible en <<https://www.conaf.cl/incendios-forestales/combate-de-incendios-forestales/despacho-y-coordinacion-de-recursos/>>
- **CONAF.** “*Consejo de la Sociedad Civil conoce Plan Operativo de Protección contra Incendios Forestales 2019-2020*”, 18 de octubre 2019. [Consulta: 1-nov-2020]. Disponible en <<https://www.conaf.cl/consejo-de-la-sociedad-civil-conoce-plan-operativo-de-proteccion-contra-incendios-forestales-2019-2020/>>
- **Copec.** “*Hoja de datos de seguridad: Gasolina de aviación 100/130 verde*”, 2011 [Consulta: 18-jun-2020].

- **Corey, B.; Mary O.; Jennifer L.** “*Aviation-Related Wildland Firefighter Fatalities*”, 31 de julio de 2015. [Consulta: 3-jul-2020]. Disponible en < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4584834/> >
- **DGAC.** “*DAN 137: Trabajos aéreos*”, 11 de octubre de 2013. [Consulta: 5-jul-2020]. Disponible en <<https://www.dgac.gob.cl/wp-content/uploads/2019/11/DAN-137-1.pdf>>
- **DGAC.** “*Dan 151: Operaciones de aeronaves pilotadas a distancia (rpas) en asuntos de interés público, que se efectúen sobre áreas pobladas*”, 2 de septiembre de 2015. [Consulta: 8-jul-2020]. Disponible en <https://www.dgac.gob.cl/wp-content/uploads/2020/04/DAN_151-1.pdf>
- **Flex attack.** “*PCADS “Bring The Rain”*”. [Consulta: 2-jun-2020]. Disponible en <<http://www.flexattack.com/pcads/> >
- **Itor M., Aeronautical Solutions.** “*Estudio del sector de medios aéreos de ala fija para la extinción de incendios forestales en españa: – análisis y comparación de aeronaves de ala fija para extinción de incendios forestales*”, marzo 2016. [Consulta: 17-may-2020]
- **Ministerio de Defensa Nacional.** “*Fuerza Aérea incorpora moderno avión no tripulado para el combate de incendios forestales*”. Pagina web Ministerio de Defensa Nacional, 7 de enero de 2019.[Consulta: 5-jun-2019]. Disponible en <<https://www.defensa.cl/noticias/fuerza-aerea-incorpora-moderno-avion-no-tripulado-para-el-combate-de-incendios-forestales/>>
- **OACI.** “*Circular 328: Sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS)*”, 2011. [Consulta: 13-jul-2020]. Disponible en <https://www.icao.int/Meetings/UAS/Documents/Circular%20328_es.pdf>
- **OACI.** “*Doc 9863: Airborne Collision Avoidance System (ACAS) Manual*”, 2006. [Consulta: 25-jul-2020]. Disponible en <https://www.icao.int/Meetings/anconf12/Document%20Archive/9863_cons_en.pdf >
- **Singular Aircraft.** “*Catalog: Commercial presentation Flyox I*”, 2016. [Consulta: 27-may-2020]. Disponible en < www.singularaircraft.com >
- **U.S. Forest Service, United States Department of Agriculture.** “*Aerial Firefighting Use and Effectiveness (AFUE)*”, 11 de marzo de 2019. [Consulta: 27-abr-2020]. Disponible en <<https://www.fs.usda.gov/managing-land/fire/aviation/afue>>

Anexos

Anexo A: Distribución del total de incendios por región en el último quinquenio. Fuente: Corporación Nacional Forestal

Incendios por región quinquenio 2014-2018 (%)																
XV	I	II	III	IV	V	RM	VI	VII	XVI	VIII	IX	XIV	X	XI	XII	Total
0,1	0,0	0,0	0,2	1,3	13,6	6,0	3,6	11,1	0,0	40,8	17,0	1,9	3,8	0,4	0,3	100

Anexo B: Distribución de incendios de magnitud por región en el último quinquenio. Fuente: Corporación Nacional Forestal

Incendios de magnitud por region quinquenio 2014-2018																
XV	I	II	III	IV	V	RM	VI	VII	XVI	VIII	IX	XIV	X	XI	XII	Total
0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	11,4	14,7	12,9	11,6	0,0	22,8	20,8	0,6	4,1	2,1	0,0	100

Anexo C: Algunas aeronaves utilizadas y sus características.

Caracterización de la principales aeronaves utilizadas en los incendios forestales y evaluación de la efectividad de su accionar

Aeronave	Capacidad [lts]	Tiempo de carguío [min]	Operación en tierra	¿Requiere restringir el espacio aéreo?	Descarga de agua	Largo de pista requerido [m]	Resistencia de pista [kg]	Evaluación de efectividad total
AT-802f	3.100	2-4	5-10	No	Compuertas computarizadas, diseñadas para efectuar lanzamientos regulados de flujo continuo y homogéneo	1.000	7.500	90%
BAE 146-200	12.000	10	10-15	No	mediante 6 toberas dispuestas ventralmente las cuales se regulan computacionalmente permitiendo dosificar la descarga (hasta 8 lanzamientos) en largo y ancho.	1.800	41.000	72%
C-130 Lockheed	12.000	10	10-15	No	Posee sistema MAFFS II, descarga agua presurizada a través de una valvula.	1.800	41.000	13,2%
Ilyushin-76	42.000	14	28-45	Sí Requiere despejar de otras aeronaves en un radio de 5 millas	Descarga mecanica que permite un lanzamiento compacto, con un maximo de 2 descargas por lanzamiento	2.000	190.000	35,3%
Sikorsky S64	9.800-10.000	2	No requiere	No	Dispone de 2 opciones, a través de helibalde (único lanzamiento compacto) y estanque ventral (descarga total o parcializada en hasta 4).	No aplica	No aplica	100,0%
Supertanker B-747	70.000	12	30-45	Sí. Requiere despejar de otras aeronaves en un radio de 10 millas	Descarga agua de cada uno de sus 10 estanques de manera presurizada	2.200	395.000	13,6%

Anexo D: Categorización de aeronaves empleadas en el control de incendios forestales y algunos modelos de ejemplo

Tipo	Categoría	Pasajeros (N°)	Volumen de agua (litros)	Modelos
I	Pesado	Mayor a 15	Más de 2.650	EC 725 Cougar
				Kamov Ka 34
				Mil Mi 17
				AS 332 Super Puma
II	Mediano	Entre 9 y 14	Entre 1.135 a 2.650	Bell 205 A-1; 212; 214
				BK 117
				P22 W3-A Sokal
III	Liviano	Entre 4 a 8	Entre 378 a 1.135	AW 119 Koala
				AS 350 B1/B2/B3
				Boeing MD 500
				Bell 204 ; 206
IV	Muy liviano	Hasta 3	Menos de 378	Bell 47
				Robinson R-44
				Schweitzer 300

Anexo E:

Tipo de aeronave	Modelo	MTOW [kg]	Payload [lbs]	Alcance [Km]
H	Agusta A 119 Koala	2720	1000	1013
A	AT 802F	7257	3104	1289
A	AT 802F FIRE BOSS	7257	3028	1287
A	Avro RJ85 AT	43998	12246	3650
A	BAE 146-200	42184	12000	3650
A	Be-200ES	41000	12000	1000
H	Bell 205 A1	4309	1360	520
H	Bell 212	5080	1300	463
H	Bell 407	2722	800	611
H	Bell 412	5397	1500	662
A	C-130 Lockheed	70300	12000	3797
A	C130Q	68364	15142	5896
A	Canadair CL 215	20525	5345	2093
A	Canadair CL 415	18600	6140	2443
H	Chinook CH-47D	22680	10599	741
A	Conair CV580	26535	7950	4773
A	DC10-30	190500	43900	9600
H	Garlick UH-1D	3855	190	319
A	Ilyushin -76	195000	42000	4400
H	Kamov Ka 32 A11 BC	11000	4500	650
H	Kmax	5443	2700	494
A	L100-30	70306	15450	2470
A	L-188C Electra	52617	12500	4023
A	Lockheed P-3 Orion	64410	11356	8964
H	Mil MI-26TP	56000	17260	1952
A	PZL Dromader M18	5300	2200	1000
A	Q400AT	30481	10000	2037
H	Sikorsky S64	19050	10031	370
H	Sokol W3A	6400	1600	745
A	Supertanker B 747	396890	74200	10519