

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**  
**ACADEMIA DE LAS CIENCIAS AERONÁUTICAS – CAMPUS SANTIAGO**

**PROPUESTA PARA LA UTILIZACIÓN DE DRONES EN EL**  
**MANTENIMIENTO DE AERONAVES COMERCIALES**

Trabajo de Titulación para optar al título  
Profesional de Técnico Universitario en  
MANTENIMIENTO AERONÁUTICO

Alumno:

Felipe Ignacio González Leyton

Profesor guía:

Leonardo Ignacio Lobos Flores

Profesor Correferente:

Martinus Potters

## RESUMEN

**Keywords:** “drone”, “dron”, “RPA”, “Vehículo”, “Inspección”, “Aeronave”.

Este trabajo de título presenta la tecnología de las aeronaves tripuladas a distancia “drone”, como herramienta de apoyo en el mantenimiento de aeronaves comerciales.

Se mencionan las diferentes formas en que se llaman a las aeronaves tripuladas a distancia. Dando a conocer la historia de los primeros vehículos comandados a distancia y su evolución gracias al desarrollo de estas tecnologías. A su vez se presentan las normas legislativas para la operación de un drone en Chile.

Siguiendo con la temática drone, se hace una mención a diferenciaciones entre los tipos que existen. Del mismo modo se exponen los sistemas principales que los componen.

Se distingue del vehículo aéreo pilotado a distancia de tipo multirrotor, por sus capacidades de vuelo estático, la cual, complementada con cámaras, permite tener una rápida visión global para un acercamiento a zonas de altura. Se presentan algunos usos que se les dan en la industria.

Para dar un contexto a este trabajo de título se presentan los conceptos relacionados al mantenimiento, la aplicación de ellos en la industria aeronáutica, especificando con la tarea de inspección efectuada en el desarrollo de la mantención de una aeronave. Siguiendo con el desarrollo del trabajo se mencionan diferentes usos de los drone en la industria, con énfasis en el uso en el mantenimiento de aeronaves comerciales con la presentación del proyecto de un drone de inspección avanzada desarrollado por la división de 'Hangar of the Future' de la corporación AIRBUS.

Todo esto para presentar la propuesta de utilizar los vehículos aéreos tripulados a distancia como una herramienta de apoyo en la inspección de las secciones de altura de las aeronaves. Tomando en cuenta las normativas relacionadas, se desarrolla un protocolo a seguir según lo establecido a la legislación chilena. Se presenta un plan de acción a realizar para la operación de vuelo de un RPA a la cercanía de una aeronave. Se finaliza con un resumen de costos asociados a la aplicación de esta propuesta.

# **ÍNDICE**

**RESUMEN**

**ÍNDICE**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**SIGLAS**

**SIMBOLOGIA**

**INTRODUCCIÓN**

## **CAPITULO 1: ANTECEDENTES ASOCIADOS A LOS DRONE**

- 1.1. ANTECEDENTES ASOCIADOS A LOS DRONES
- 1.2. HISTORIA DEL DRONE
- 1.3. TIPOS DE DRONE
- 1.4. EQUIPO DE VUELO

## **CAPITULO 2: NORMAS CHILENAS PARA LAS AERONAVES PILOTADAS A DISTANCIA**

- 2.1. NORMAS
- 2.2. NORMA DAN 151
- 2.3. NORMA DAN 91
- 2.4. CONCLUSIÓN DE LA NORMATIVA CHILENA

## **CAPITULO 3: MANENIMIENTO Y USO DE LOS DRONES**

- 3.1. MANTENIMIENTO Y USO DE LOS DRONES
- 3.2. USOS DE LOS DRONES

## **CAPITULO 4: PROPUESTA PARA LA APLICACIÓN DEL DRONE PARA LA SUPERVISIÓN Y MANTENIMIENTO DE AERONAVES COMERCIALES**

- 4.1. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA
- 4.2. PLAN DE ACCIÓN

### 4.3. COSTOS ASOCIADOS

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## BIBLOGRAFÍA

## ANEXOS

ANEXO 1: SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA REALIZAR OPERACIÓN CON AERONAVES TIPO RPA

ANEXO 2: DECLARACION JURADA ANTE NOTARIO DE HABER RECIBIDO INSTRUCCIÓN

ANEXO 3: SOLICITUD DE REGISTRO DE RPA

ANEXO 4: AUTORIZACIÓN DEL PROPIETARIO DE RPA

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Torpedo aéreo no tripulado “kettering bug”.

Figura 1-2: Fotografía del UAV Queen Bee (abeja reina) en sus rieles, preparándose para el despegue.

Figura 1-3: Fotografía del Radio Plane OQ2. En su riel de despegue.

Figura 1-4: Bomba Henschel, planeador controlado a distancia.

Figura 1-5: QH-50 a bordo del destructor USS Allen M. Sumner (DD-692) durante un despliegue en Vietnam entre abril y junio de 1967.

Figura 1-6: Predator vuela en unos ejercicios de reconocimiento sobre la costa del sur de California el 5 de diciembre de 1995.

Figura 1-7: Drone modelo Phantom 4, utilizado en cartografía

Figura 1-8: Drone de ala fija llamado “Parrot Disco”, utilizado principalmente en la fotogrametría de agricultura.

Figura 1-9: Drone multirrotor de la serie Phantom fabricado por la empresa DJI.

Figura 1-10: Ejes de movimiento de un dron.

Figura 1-11: Unidad remota de un Phantom 4 Pro, fabricada por la empresa DJI.

Figura 1-12: Sistema de posicionamiento global NAZA-M LITE, fabricado por la empresa DJI. Con medidas de 46 [mm] de largo y 46 [mm] de ancho.

Figura 1-13: Motor serie Phantom 4, fabricado por la empresa DJI.

Figura 1-14: Controlador principal NAZA-M LITE, fabricada por la empresa DJI. Con medidas de 32.5 [mm] de largo y 45.5 [mm] de ancho.

Figura 1-15: Batería para un Phantom 4, fabricada por la empresa DJI.

Figura 3-1: Recorrido de inspección de un Boeing 737, en tarea Walk around.

Figura 3-2: Esquema de uso de los drone en vigilancia área del tráfico.

Figura 3-3: Drone utilizado para la vigilancia de incendios.

Figura 3-4: Drone utilizado en la búsqueda y rescate de una persona en una zona montañosa.

Figura 3-5: Fotografía referencial de un RPA utilizado para la fotografía aérea, por la compañía “Drone by drone”.

Figura 3-6: Drone de inspección avanzada desarrollado por la corporación AIRBUS

Figura 3-7: Captura de imágenes a una aeronave comercial A320

Figura 3-8: Drone y maqueta 3D de un A320

Figura 4-1: Recorrido de inspección de un Boeing 737.

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 2-1: Requisitos técnicos del RPA

Tabla 2-2: Documentos necesarios para la operación de un RPA

Tabla 2-3: Prohibiciones de uso, a un piloto de RPA

Tabla 2-4: Antecedentes y requisitos para el registro técnicos de un RPA

Tabla 2-5: Tarjeta de registro entregada por la DGAC

Tabla 2-6: Requisitos para los aspirantes de obtención de la credencial de RPA

Tabla 2-7: Prohibiciones para el piloto a distancia en operación de vuelo de un RPA

Tabla 3-1: Puntos de inspección del avión, los daños que se buscan y las tareas

## SIGLAS

I	:	Primera
II	:	Dos
XI	:	Once
XIV	:	Catorce
XIX	:	Diecinueve
XX	:	Veinte
KLM	:	Koninklijke Luchtvaart Maatschappij, principal aerolínea de los Países Bajos
FACH	:	Fuerza Aérea de Chile
DGAC	:	Dirección General de Aeronáutica Civil
UAV	:	Unmanned Aircraft Vehicle
RPA	:	Remotely Piloted Aircraft
RPAS	:	Remotely Piloted Aircraft System
VANT	:	Vehículo aéreo no tripulado
GPS	:	Sistema de posicionamiento global
MPD	:	Documento del programa de mantenimiento
PML	:	Programa de mantenimiento
MFL	:	Maintenance Flight Log
\$	:	Peso chileno
%	:	Porcentaje
3D	:	Tres dimensiones
TAT	:	Total Air Temperature
AOA	:	Angle of attack
VLOS	:	Contacto visual directo
MRO	:	Maintenance, Repair and Overhaul

## **SIMBOLOGIA**

VHF	:	Very High Frequency
HF	:	High Frequency
RPM	:	Revoluciones Por Minuto
mm	:	Milímetro
m	:	Metro
Km	:	Kilometro
Min	:	Minuto
S	:	Segundo
GHz	:	Gigahercio

## INTRODUCCIÓN

El uso de las nuevas tecnologías que se presentan en el desarrollo de las ideas del ser humano se presenta como artículos que en su primera etapa tienen una tarea determinada. Sin embargo, dado a que existen variadas formas de realizar una misma tarea, se presentan distintas utilidades para las herramientas que se tienen al alcance. Siendo capaces de mejorar el proceso en aspectos que no se habían podido relacionar antes de su aplicación. La preocupación a que estas nuevas aplicaciones alteren de forma negativa al proceso en el cual se van a utilizar, está siempre presente. Esto ayuda a mantener un control más cuidadoso en los primeros momentos de su aplicación.

Las tecnologías Drone inicialmente creadas para su uso militar, con tareas como el transporte de bombas, uso como blanco de entrenamiento y muchas más del ámbito balístico; han llegado a desarrollarse al punto que dejaron de ser solo de uso militar, pasando a la utilización en la empresa profesional, como también al alcance del consumidor común en el comercio general.

Gracias a la confiabilidad en el vuelo seguro y a su bajo coste en comparación a aeronaves tripuladas, se presenta la oportunidad para que estos vehículos comandados a distancia exploren su utilización en distintas áreas de trabajo. Todo esto a que sus características de vuelo en conjunto con cámaras logran dar una perspectiva diferente a la obtenida en un plano terrestre, ya que permite una captura de un plano general y cenital del área de estudio.

## **CAPITULO 1: ANTECEDENTES ASOCIADOS A LOS DRONE**

## **1.1. ANTECEDENTES ASOCIADOS A LOS DRONES**

### **1.1.1. Siglas asociadas**

Dentro de los nombres que se les otorga a los vehículos aéreos no tripulado, nos podemos encontrar nombres como “dron” o “drone” que hacen referencia a lo mismo. También podemos encontrar diferentes siglas utilizadas para referirse a ellos.

Una forma conocida de llamarlos es “Vehículo aéreo no tripulado”, con su sigla VANT. En inglés tiene su traducción como Unmanned Aerial Vehicle, abreviado con sus siglas queda como UAV. Este término es usualmente utilizado en el área militar.

Con la implementación de nuevas tecnologías se crean VANT controlados desde una ubicación remota. Para aviones sin tripulación con esta característica se les puede llamar RPA, siglas que tienen su origen en inglés como Remotely Piloted Aircraft. También encontramos las siglas RPAS las cuales hacen referencia al sistema aéreo pilotado a distancia, sus siglas tienen el origen en el inglés como Remotely Piloted Aircraft System. La diferencia fundamental entre RPA y RPAS es que el primero hace referencia a la aeronave por sí sola, en cambio el segundo tiene el conjunto de aeronave más el equipo que lo controla. Estos términos son los más adecuados para referirnos a los drones del área civil.

## **1.2. HISTORIA DEL DRONE**

Las aeronaves tripuladas a distancia tienen su origen en la carrera armamentista. La utilización de este invento fue implementada por primera vez en la historia en el transcurso de la segunda guerra mundial, en donde se vio como un instrumento balístico que estaba un paso delante de las máquinas del enemigo.

### 1.2.1. Primeros drones

Con la motivación de ganar la guerra, la industria de la época vio prosperidad no solo en la implementación de nuevos diseños de maquinarias, sino que también se vio la implementación de nuevos materiales a los que se tenían en uso.

Es este contexto donde se crea el primer vehículo aéreo no tripulado. El ejército de los Estados Unidos le pidió al inventor Charles Kettering que diseñara una bomba volante no tripulada capaz de alcanzar el objetivo a una distancia de 70 [km].

El invento de Kettering fue el diseño de un vehículo aéreo programado, activado por un mecanismo de relojería, el cual al pasar un tiempo programado este debía plegar sus alas y caer sobre el enemigo como un torpedo. Fue llamado como “Kettering Bug”.

Su primer vuelo fue el 2 de octubre de 1918. Aunque su primer intento de realizar la tarea para la cual fue creado no se completó de manera exitosa, los siguientes intentos tuvieron éxito.



Fuente: <https://www.airplane-pictures.net/photo/55429/unknown-kettering-aerial-torpedo/>

Figura 1-1: Torpedo aéreo no tripulado “kettering bug”.

Un gran avance que se dio para crear los drones que tenemos a nuestro alcance hoy en día, fue la aparición de las primeras unidades operadas a distancia, a finales del siglo XX.

Se reconoce como la primera aeronave comandada a distancia a la llamada “Abeja reina” desarrollado en Reino Unido. Este UAV fue el primero en ser controlado a control remoto., utilizado en barcos de guerra, era común aplicación del ejército británico entre los años 1937 al 1943.



Fuente: <https://26drones.club/blogs/news/historia-de-los-drones>

Figura 1-2: Fotografía del UAV Queen Bee (abeja reina) en sus rieles, preparándose para el despegue.

El primer producido en serie fue el estadounidense “Radio Plane” OQ-2, creado en estados unidos en los años 1940. Sirvió como blanco para la formación de pilotos como entrenamiento para derribar aviones y así mejorar sus habilidades en combates aéreos.



Fuente: <https://26drones.club/blogs/news/historia-de-los-drones>

Figura 1-3: Fotografía del Radio Plane OQ2. En su riel de despegue.

### 1.2.2. Evolución

Con la aplicación de las primeras aeronaves tripuladas a distancia, durante el transcurso de la segunda Guerra Mundial empiezan a aparecer drones mucho más sofisticados. Con la motivación de querer adelantarse al enemigo hizo evolucionar estos vehículos en busca de crear armamento avanzado.

Un ejemplo de esta aplicación es la Bomba Henschel la cual era básicamente una bomba planeadora guiada por radiocontrol, con un motor cohete colgado debajo de ella. Es entonces durante la Segunda Guerra Mundial, cuando los ingenieros alemanes desarrollan varios tipos de armas guiadas por radiocontrol o control remoto. Diseñada en Alemania en el año 1939.



Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Henschel\\_Hs\\_293](https://es.wikipedia.org/wiki/Henschel_Hs_293)

Figura 1-4: Bomba Henschel, planeador controlado a distancia.

En el año 1958 se vio la creación del primer helicóptero no tripulado. El QH-50 DASH era un drone helicóptero antisubmarino. Tenía como misión ser usado como arma antisubmarina de largo alcance en barcos de tamaño que no permitiera helicópteros convencionales. En producción hasta 1969.



Fuente: [https://en.wikipedia.org/wiki/Gyrodyne\\_QH-50\\_DASH](https://en.wikipedia.org/wiki/Gyrodyne_QH-50_DASH)

Figura 1-5: Un QH-50 a bordo del destructor USS Allen M. Sumner (DD-692) durante un despliegue en Vietnam entre abril y junio de 1967.

A finales de los años 1990 la industria militar crea los últimos modelos conocidos, los que poseen un diseño con más autonomía, capaces de volar cada vez a más altura.

Entre ellos el más conocido es el Predator. Se trata de un UAV que fue el primero en usar el sistema de posicionamiento global GPS en lugar de estar programado o de usarse a través de la línea de visión.



Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/General\\_Atomics\\_MQ-1\\_Predator](https://es.wikipedia.org/wiki/General_Atomics_MQ-1_Predator)

Figura 1-6: Predator vuela en ejercicios de reconocimiento sobre la costa del sur de California el 5 de diciembre de 1995.

En 1998 se desarrolla el Global Hawk, un UAV capaz de alcanzar gran altitud además de tener una gran autonomía para permanecer en el aire mucho tiempo sobre un territorio enemigo. En el 2001, se realiza el primer vuelo de un MQ-9 Reaper, bautizado como Predator-B, que consiste en un avión no tripulado aún más rápido, capaz de volar aún más alto y letal ya que estaba provisto de armas inteligentes.

Fuera del mercado armamentista, hoy en día los drones están a disposición del mercado comercial con modelos ajustados a las demandas de recreación del usuario. Siendo esta la utilización de la aeronave comandada a distancia como una cámara aérea. A su vez esta aplicación se utiliza en áreas profesionales con la misma finalidad y otras. Por ello empresas creadoras de RPA, como la empresa DJI (una empresa China líder en fabricación de DRONES, fundada en el año 2006) (Bejerano, 2015), dispone de modelos recreacionales y profesionales.



Fuente: <https://www.dji.com/dji-terra?site=brandsite&from=nav>

Figura 1-7: Drone modelo Phantom 4, utilizado en cartografía

### 1.2.3. Nombres del drone

La palabra drone usada para referirse a los vehículos aéreos no tripulados, tiene su origen etimológico en el idioma inglés. “Drone” evoca originalmente a la abeja macho del panal, llamada “Zángano”. La relación entre el insecto y el vehículo aéreo no tripulado es que ambos producen un zumbido particular al estar en operación de vuelo. El drone tiene su sustentabilidad de vuelo gracias a pequeños motores que giran en altas revoluciones, debido a esta velocidad de movimiento y su tamaño se producen un sonido similar al que se puede apreciar en el aleteo de una abeja.

## 1.3. TIPOS DE DRONE

El vehículo aéreo es la parte aérea del RPAS, e incluye: la aeronave, el sistema de propulsión, los controles de vuelo, la parte aérea del enlace de comunicaciones, y el sistema de generación de energía eléctrica. Según la estructura de vuelo y su nivel de control de vuelo se presentan distintas clasificaciones de los conocidos drones.

La geometría de la aeronave y sus características de vuelo determinarán sus actuaciones, que estarán vinculadas a las necesidades de la misión a desarrollar.

### 1.3.1. Según su nivel de control

Según su método de control pueden ser:

- **Autónomos:** El drone no necesita de piloto que lo controle desde tierra. Se guía por sus propios sistemas y sensores integrados.
- **Monitorizados:** El drone dirige su propio plan de vuelo y el técnico, decide qué acción se llevará a cabo.
- **Supervisados:** Un operador pilota el drone, aunque este puede realizar algunas tareas autónomamente.
- **Pre-programados:** El drone sigue un plan de vuelo planificado previamente y no tiene medios de cambiarlo.
- **Control remoto:** El drone es pilotado por un operador mediante los mandos de control de este.

### 1.3.2. Según su sustentación

También se puede proponer una clasificación que tenga en cuenta si la aeronave dispone de superficies sustentadoras fijas (alas) o bien son giratorias (rotores).

#### 1.3.2.1. Drone de ala fija

Son aquellos que tienen alas fijas similares a las de un avión, ya que se sostienen en el aire debido a la fuerza de elevación que ejercen las alas del aparato.

Requieren una pista para despegue y aterrizaje, o sistema de lanzamiento.



Fuente: <https://www.pocket-lint.com/es-es/drones/analisis/parrot/139386-vista-previa-de-disco-oro-puedes-ser-mi-companero-en-cualquier-momento>

Figura 1-8: Drone de ala fija llamado “Parrot Disco”, utilizado principalmente en la fotogrametría de agricultura.

### 1.3.2.2. Drone multirrotor

Son aquellos que funcionan con los mismos principios que los de un helicóptero.

Suelen ser cuadrocópteros, es decir, 4 rotores con hélice. Aunque también los hay con 6 o incluso de hasta 8 hélices.

Poseen la capacidad de vuelo a punto fijo (hover), despegue y aterrizaje vertical, además poseen una mejor maniobrabilidad que los drone de ala fija.



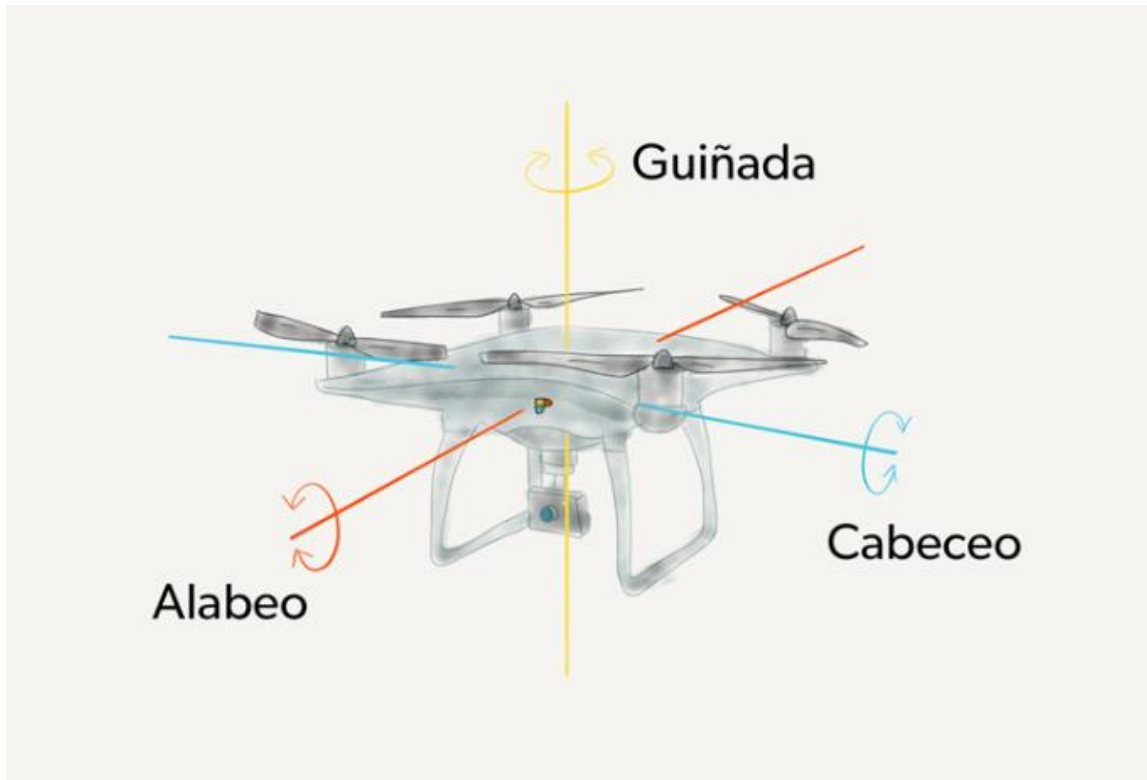
Fuente: <https://www.dji.com/es/phantom>

Figura 1-9: Drone multirrotor de la serie Phantom fabricado por la empresa DJI.

El funcionamiento de un drone multirrotor está basado en un sistema multi hélice, que posee herramientas especialmente ubicadas dentro de él, que hacen que este dispositivo sea altamente independiente. También tiene controladores de vuelo y programas que ayudan en la reducción de errores en la operación de vuelo.

### 1.3.3. Vuelo de un multirrotor

Al igual que la aeronave, los drones multirrotor se pueden mover en tres ejes imaginarios: los ejes de vuelo vertical, longitudinal y transversal. Generando los movimientos de guiñada o yaw, de alabeo o roll y de cabeceo o pitch respectivamente.



Fuente: <https://www.photopills.com/es/articulos/fotografia-dron>

Figura 1-10: Ejes de movimiento de un dron.

El intercambio de revoluciones de las aspas genera los movimientos de elevación y descenso. Con mayores revoluciones se obtiene un mayor empuje de masa de aire lo que permite generar la elevación y sustentación de vuelo.

Los movimientos

Los tres ejes imaginarios que pasan por el centro de gravedad del RPA. Se establece su vista principal la cara en donde apunte la cámara equipada, provocando que sus movimientos principales sean fijos a esta vista. Los ejes se relacionan con los movimientos básicos del vuelo, en el eje vertical de guiñada o yaw, eje longitudinal de alabeo o roll y eje transversal de cabeceo o pitch. Estos ejes de movimiento pueden darse uno o más simultáneamente durante la operación del vuelo.

Con los movimientos de la palanca del control remoto se logra transmitir los comandos necesarios para generar el movimiento deseado.



Fuente: <https://www.djistore.cl/shop/phantom-serie/3165-dji-remote-controller-para-phantom-4-pro-part66.html>

Figura 1-11: Unidad remota de un Phantom 4 Pro, fabricada por la empresa DJI.

Uno de los comandos es el “acelerar”, el cual determina cuánta potencia le das a los motores, estableciendo el ascenso o descenso del dron.

Existe también el mandato para que genere el movimiento de "Guiñada" (rotación) el cual provoca un giro al dron sobre su eje tanto a la izquierda (en sentido contrario a las agujas del reloj) como a la derecha (en el sentido de las agujas del reloj).

Otro movimiento es el “cabeceo”, el cual es el movimiento del RPA hacia adelante y hacia atrás. Se define adelante como la cara en donde el dispositivo tiene direccionada su cámara, ya que desde esta vista es en donde se fija la visión en las pantallas de transmisión de video.

Y por último está el "Alabeo", movimiento que permite el vuelo de hacia la izquierda y hacia la derecha. Estos movimientos son designados viendo como la cara principal al plano en donde se presenta la visión de la cámara del vehículo aéreo no tripulado.

#### **1.4. EQUIPO DE VUELO**

El tener la capacidad de moverse por el aire en distintas direcciones, a grandes alturas y velocidades, no solo le dan la ventaja de ser una práctica herramienta de extensión del humano, sino que también lo hace un peligro latente para personas y elementos que se encuentren en su radio de operación de vuelo. Por este motivo y para mantener a salvo al

entorno y a los propios sistemas de vuelo, se adhieren sensores que ayudan a mantener un vuelo seguro.

#### 1.4.1. Sensores de vuelo

Los sensores toman datos del entorno en que se encuentran. Para la toma de estos datos es necesario tener uno o varios tipos de sensores. Estos se ubican en la superficie de la estructura del RPA. Esta información es recogida por un colector de datos para su posterior tratamiento, como la sincronización con la posición y altura exacta del drone.

Poseen giróscopos y estabilizadores para mantener la posición lo que permite que sean muy útiles y más fáciles a la hora de pilotarlos. Además de facilitar su manejo en condiciones climatológicas adversas. Ya que pueden contrarrestar las fuerzas externas para mantener la posición en un lugar determinado. Esto hace que el piloto de estas naves no tenga que estar tan entrenado como con otros modelos más antiguos dónde se pilotaba estos vehículos de forma totalmente manual. Cabe mencionar que existen drone de todo tipo, incluso hay del tamaño de un avión o de helicóptero, en donde el entrenamiento en su mando de vuelo es más exigente.

Algunos de los sensores que se utiliza son:

- Sensores de acercamiento: captan la energía del conjunto de ondas electromagnéticas reflejadas por una superficie, esto permite obtener información del territorio, la cercanía con el suelo y los objetos. Con ellos se puede obtener información del relieve de una superficie.
- Sistema GPS: es un sistema de posicionamiento global. Tiene sus siglas GPS del nombre en inglés Global Positioning System. Permite determinar la posición en la Tierra. Es un sistema de localización de objetos sobre la tierra mediante la triangulación de señales de frecuencias VHF y HF, de mínimo 4 satélites GPS para la geolocalización.



Fuente: <https://www.dji.com/naza-m-lite/feature>

Figura 1-12: Sistema de posicionamiento global NAZA-M LITE, fabricado por la empresa DJI. Con medidas de 46 [mm] de largo y 46 [mm] de ancho.

#### 1.4.2. Sistema de propulsión

Los sistemas de propulsión del tipo multirrotores son rotores que están generalmente colocados en las extremidades de la estructura de la aeronave. A fin de evitar que el aparato se tumba respecto a su eje de orientación es necesario que un par de hélices giren en un sentido y otro par en sentido contrario.



Fuente: <https://www.djistore.cl/shop/repuestos-rc/2781-dji-motor-ccw-phantom-4.html>

Figura 1-13: Motor serie Phantom 4, fabricado por la empresa DJI.

Sus hélices fijas idénticas utilizan pares que giran en el sentido de las agujas del reloj y en sentido contrario. Estas hélices utilizan una variación de [RPM] para controlar la elevación y la dirección de desplazamiento. El control del movimiento del vehículo se consigue modificando la velocidad de rotación de uno o más discos de rotor, cambiando así su carga de par y las características de empuje y elevación.

#### 1.4.3. Controlador de vuelo

Para poder dirigir el aparato hay que hacer que cada uno de los pares de hélices gire en el mismo sentido. El control del movimiento del vehículo se consigue variando la velocidad relativa de cada rotor, y el par motor producido por cada uno de ellos para cambiar el empuje necesario para generar el avance correspondiente al sentido deseado.

El regulador juega un papel importante para realizar las maniobras de movimiento de un dron. El sistema utilizado para regular el vuelo se llama controlador principal. Gracias a este dispositivo se logra controlar cada movimiento del RPA, que van desde el lanzamiento, a las habilidades de navegación e incluso hasta el aterrizaje.



Fuente: <https://www.dji.com/naza-m-lite/feature>

Figura 1-14: Controlador principal NAZA-M LITE, fabricada por la empresa DJI. Con medidas de 32.5 [mm] de largo y 45.5 [mm] de ancho.

El rol principal de un controlador es establecer un canal de comunicación adecuado entre la unidad remota y las ondas de radio.

Es común la utilización de frecuencias dentro la gama de 2,4 [GHz] para la comunicación entre la unidad remota y el RPA.

#### 1.4.4. Sistema computacional

El conjunto de aviónica incluirá habitualmente un sensor, un computador y un sistema hardware para el enlace de comunicaciones, así como un software para el guiado, navegación y para el control del vehículo.

Hoy en día existen programas en los que se puede realizar una interpretación de un objeto o lugar en un esquema de tres dimensiones en donde se puede analizar a detalle los relieves que presenta la superficie observada. Otra aplicación de esta función es la programación de una ruta de vuelo con parámetros designados dentro del esquema realizado, utilizando para ello los sistemas de geolocalización en conjunto a los sistemas de computación.

Gracias al conjunto de sensores y sistemas computacionales es posible la implementación de sistemas de anticollisión, en donde se efectúa un reconocimiento de espacios de vuelo y se restringen las acciones de los sistemas de propulsión para evitar el choque con objetos o personas. Dentro de la programación interna de los sistemas del drone es posible asignar los parámetros de acercamiento a superficie, aunque las empresas como DJI designan un máximo de 30 [cm] de acercamiento para evitar la colisión.

#### 1.4.5. Baterías

Las baterías son los sistemas de almacenamiento de energía necesaria para alimentar a los demás sistemas internos del RPA. La mayor parte de los vehículos aéreos no tripulados contienen baterías extraíbles con las que puede permanecer en el aire y funcionar por bastante tiempo.

Una batería ofrece una autonomía de vuelo máxima de 30 [min] promedio, varía según el tipo de drone. Aunque es un tiempo respetable se debe considerar que por seguridad no se debe exceder el uso del 80% de la batería, ya que se considera el tiempo en el cual se debe realizar un aterrizaje seguro. Para estar seguros en cuanto al tiempo en que se necesite ocupar el RPA, es recomendable el tener más de una batería cargada al momento de usar el equipo.

Se tiene que considerar que la mayoría de los drones está diseñado para volar a temperaturas sobre cero. Por este motivo se tiene que a bajas temperaturas las baterías se descargan más rápido.



Fuente: <https://www.djistore.cl/shop/baterias-y-cargadores/3052-bateria-dji-phantom-4.html>

Figura 1-15: Batería para un Phantom 4, fabricada por la empresa DJI.

**CAPITULO 2: NORMAS CHILENAS PARA LAS AERONAVES**  
**PILOTADAS A DISTANCIA**

## **2.1. NORMAS**

Los drones al poseer la capacidad de transportarse por el aire, su utilización es legislada por el organismo que rige los cielos. En Chile ese es el caso de la Dirección General de Aeronáutica Civil de Chile, organismo dependiente de la Fuerza Aérea de Chile y que está encargada de la seguridad aeronáutica del país y la infraestructura aeroportuaria nacional. En el siguiente capítulo se dan a conocer las leyes que rigen a las aeronaves pilotadas a distancia en Chile. Las que están estipuladas en las normas DAN151 en el uso de las RPA en espacios públicos y DAN91 que establece las reglas del aire que deben obedecer los operadores.

## **2.2. NORMA DAN 151**

Una aeronave que es pilotada a distancia (RPA), se define en la DAN 151 como “aquella diseñada para operar sin un piloto a bordo, capaz de sustentarse en vuelo pilotada a distancia por medios de control a través de sistemas electrónicos.”, esta definición complementa a lo previsto en el convenio de Chicago de 1944 donde se hace mención a las “Aeronaves sin piloto”, las cuales desde la fecha de emisión del Convenio comenzaron a tener gran desarrollo en el ámbito militar.

Los RPA son utilizados hace ya varios años en el área militar en escenarios bélicos, por otra parte, en el ámbito civil se comienza a visualizar esta herramienta tecnológica como una gran oportunidad para realizar tareas y como apoyo en funciones cotidianas. Las funciones pueden ser labores de servicio de interés público como lo son: el control de fronteras, inspecciones de líneas de transmisión eléctrica, en situaciones límites, especialmente en áreas que quedaron aisladas o de difícil acceso como incendios forestales. Debido a que su uso en zonas de difícil acceso es de gran importancia, debido a su velocidad de vuelo, que le permite recorrer áreas enormes en muy poco tiempo y por su pequeño tamaño (comparado con un avión tripulado pequeño) dado que su accesibilidad a espacios es mucho mayor. Lo que permite dar complemento a las actividades de alto riesgo.

La Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), tomando en cuenta su valor tecnológico, ha comprendido la importancia de permitir la operación de este tipo de aeronaves en zonas en las que existan centros urbanos, asentamiento de personas con fines habitacionales o laborales, o en las que se desarrollen actividades que convoquen la

aglomeración de personas al aire libre. Por ello ha comprendido la regulación de las operaciones en el ámbito de asuntos públicos, los cuales en la segunda edición emitida el 26 de junio de 2018, Santiago, entiende por asuntos de interés público por distintas actividades que se pueden llegar a realizar con un RPA (el que tiene sus siglas en inglés “Remotely Piloted Aircraft”).

La primera actividad de interés público entendida por la DGAC, y la más común, es la obtención de imágenes o información sobre hechos de una gran importancia pública, la cual tiene una finalidad de difundirlas a través de medios de comunicación.

La segunda actividad es la de realizar tareas de apoyo en desastres o emergencias provocadas por la naturaleza o por la acción del ser humano. Con el fin de ser una herramienta útil para la toma de imágenes.

El tercer punto en el cual la DGAC define la utilización de estas aeronaves en el interés público es el cumplimiento de las funciones legales de algún organismo de la Administración del Estado.

Por último la DGAC toma las situaciones de similar naturaleza en el ámbito del interés público involucrado, basado en la seguridad de la operación, con el fin de regular el uso de las aeronaves tripuladas a distancia.

Un punto importante a tomar en cuenta cuando se va a manejar una aeronave a distancia, es la visualización que se tiene de ella. En el aire un RPAS sin vigilancia constante es un objeto de alto peligro para toda persona o estructura cercana al área de vuelo. Aunque existan sensores de vuelo que permitan avisar al piloto de un objeto en la ruta de vuelo, existen variables que no se manejan al instante de estar en vuelo, como lo son las grandes corrientes de viento, la actividad de animales voladores cercana, e incluso la actividad humana, que pueden afectar el vuelo seguro.

Por ello la DGAC en la DAN 151, define que un piloto a distancia debe mantener visibilidad directa con la aeronave para dirigir su vuelo y satisfacer las responsabilidades de separación y anticolisión.

Para la correcta utilización de un RPA se debe respetar el no uso de estos equipos en las zonas peligrosas, con el fin de mantener fuera de peligro a personas, equipos y al mismo equipo. Del mismo modo se debe tener en cuenta que existen zonas en donde el vuelo es prohibido, por motivo de la seguridad nacional o de carácter militar. También existen zonas en donde el vuelo es restringido, quiere decir que el vuelo y aterrizaje de las aeronaves sobre el territorio nacional debe cumplir con determinadas condiciones especificadas por razones de carácter militar o de seguridad nacional. Las zonas peligrosas, las zonas prohibidas y las zonas restringidas están definidas y publicadas por la DGAC en el AIP Chile y disponible en la página Web institucional [www.dgac.gob.cl/servicios/online/IFIS](http://www.dgac.gob.cl/servicios/online/IFIS).

### 2.2.1. Artículo 151.005: requisitos técnicos del RPA

Según el artículo 151.005 de la DAN 151, se deben cumplir ciertos requisitos para que un RPAS sea aprobado en su uso y posterior vuelo. Los requisitos son:

Tabla 2-1: requisitos técnicos del RPA

(a) El peso máximo de despegue del RPA debe ser de hasta nueve (9) kilo gramos incluyendo accesorios, pero sin considerar el peso del paracaídas de emergencia.
(b) El RPA debe haber sido construido o armado desde un kit de fábrica y contar con instructivos técnicos, de operación.
(c) El RPA debe contar con el N° de serie del fabricante o en caso de no contar con este N°, el propietario deberá grabar en el RPA el N° de registro otorgado por la DGAC.
(d) El RPA debe contar con paracaídas de emergencia durante su operación.
(e) El RPA debe tener la capacidad de ser controlado manualmente.

Fuente: artículo 151.005, de la norma DAN 151.

Así también, toda persona que desee operar un RPA, conforme a la norma establecida, deberá obtener previamente una autorización de la DGAC, para lo cual deberá presentar una tarjeta de registro del RPA ([anexo n°3](#)), una credencial de piloto a distancia (para lo cual debe presentar una declaración jurada de haber recibido instrucción, [anexo n°2](#)); y por último y no menos importante, se debe presentar una póliza de seguro, la que es exigida por la Junta de Aeronáutica Civil (JAC), o de lo contrario presentar un documento suscrito ante notario en el que conste el acuerdo entre las partes (propietario, el contratante de servicios y el piloto a distancia) para asumir la responsabilidad por los daños que puedan causarse a terceros con motivo del vuelo.

La autorización se mantendrá vigente hasta que se renuncie a ella, o sea suspendida o cancelada por la DGAC. El no cumplimiento parcial o total de esta norma, será causal de suspensión o cancelación de dicha autorización.

### 2.2.2. Artículo 151.103: condiciones de operación

Según el artículo 151.103, para realizar un uso correcto según la norma establecida, un piloto de RPA debe de portar consigo los siguientes documentos antes de realizar la operación de la aeronave:

Tabla 2-2: Documentos necesarios para la operación de un RPA

(1) La tarjeta de registro del RPA.
(2) La credencial de piloto a distancia de RPA.
(3) La autorización de operación de RPA otorgada por la DGAC.

Fuente: artículo 151.103, de la norma DAN 151.

Los documentos anteriormente indicados son intransferibles, de modo que solo la persona que haya registrado la aeronave podrá hacer uso de esta.

Del mismo artículo anterior se extraen normas a seguir para el correcto uso de un RPA. En donde se especifica que el piloto a distancia es el encargado de la dirección del RPA y por tanto es el responsable de la conducción segura. Tomando en cuenta que toda operación de RPA, debe efectuarse en condiciones meteorológicas de vuelo visual (VMC). Es deber del piloto a distancia, previo a iniciar un vuelo, determinar si el RPA se encuentre en condiciones seguras para operar, por lo que se debe asegurar que los instrumentos de vuelo estén en su correcto funcionamiento y que las condiciones meteorológicas son las adecuadas para una correcta operación anticolidión.

Debido a que las variables de la naturaleza no pueden ser predichas, está como norma general que el RPA debe ser controlado manualmente en todas las etapas del vuelo. Esto conlleva que el piloto a distancia debe mantener permanentemente contacto visual directo con el RPA (VLOS).

Según la norma 151.103, un piloto a distancia durante la operación de un RPA no podrá:

Tabla 2-3: Prohibiciones de uso, a un piloto de RPA

(1) Poner en riesgo la vida de las personas.
(2) Poner en riesgo la propiedad pública o privada.
(3) Violar los derechos de otras personas en su privacidad y su intimidad.
(4) Operar en forma descuidada o temeraria que ponga en riesgo a otras aeronaves en tierra o en el aire.
(5) Operar a una distancia menor de dos (2) kilómetros de la prolongación del eje de la pista, medidos desde el umbral y a una distancia menor de un (1) kilómetro paralelo al eje de la pista de un aeródromo.
(6) Operar en zonas prohibidas y zonas peligrosas publicadas por la DGAC.
(7) Operar en zonas restringidas, a menos que cuente con autorización de la DGAC.
(8) Operar sin tomar conocimiento de los NOTAMS vigentes publicados por la DGAC.
(9) Operar más de un RPA en forma simultánea.
(10) Operar en la noche, sin una autorización especial de la DGAC.
(11) Efectuar operaciones a una distancia mayor de 500 metros en una pendiente visual y a una altura superior a 400 pies (130 m) sobre la superficie en que se opere.
(12) Ocupar un RPA para el lanzamiento o descarga de objetos desde el aire, sin una autorización especial de la DGAC.
(13) Operar bajo la influencia de las drogas o el alcohol.
(14) Operar en las áreas donde se combate un incendio por medio de aeronaves tripuladas.

Fuente: artículo 151.103, de la norma DAN 151.

Anteriormente en la tabla número tres en el punto (8), se hace referencia a tomar conocimiento de las NOTAMS vigentes que son publicadas por la DGAC. Los NOTAM (Notice To Airmen) son avisos distribuidos por medio de telecomunicaciones, los cuales contienen información acerca del establecimiento, condición o modificación de cualquier instalación aeronáutica, servicio, procedimiento o peligro, cuyo conocimiento oportuno es esencial para el personal encargado de las operaciones de vuelo. Esta información está disponible en página Web institucional [www.dgac.gob.cl/servicios online/ IFIS](http://www.dgac.gob.cl/servicios_online/IFIS) y/o en las oficinas ARO de los aeródromos.

Con respecto a los usos debidos para proteger al RPA de una caída por falta de energía, se debe tomar en cuenta que el tiempo total de vuelo en una operación, 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, según norma establecida. De esta manera se evitará la caída

del instrumento por falta de energía, protegiendo tanto al RPA como al entorno en donde se está operando.

Con el mismo fin de proteger al RPA y su entorno, es obligación del piloto mantener contacto visual de la aeronave en todo instante de la operación en vuelo. Por tanto, para el caso de un traspaso del mando y control del RPA a otro piloto a distancia, esta acción no podrá efectuarse con la aeronave en vuelo.

Otra de las obligaciones del piloto a distancia es la recuperación del RPA después de la fase de despegue o lanzamiento y aterrizaje, está bajo la responsabilidad del mismo piloto que comande la operación de vuelo. De modo que el piloto se debe asegurar de no poner en riesgo la operación y garantizar la trayectoria de vuelo en todas sus fases, permitiendo esquivar cualquier obstáculo y personas que no estén involucradas en la operación, con un margen de protección vertical de 20 metros y con una separación horizontal de 30 metros. El margen de protección conlleva así también la responsabilidad del piloto ante la separación con otro(s) RPA que puedan estar operando en el área, por tanto, es deber coordinarse entre pilotos. Para estos efectos se deberá ceder el paso a cualquier aeronave tripulada en las diferentes fases del vuelo, así como mantener su propia separación con otras aeronaves.

Por tanto, la utilización y operación de una aeronave tripulada a distancia, tienen reglas para la seguridad integral de las personas, espacios e incluso para el mismo equipo a utilizar. Todo esto debido a que un objeto volador mal utilizado puede llegar a causar graves daños a las entidades mencionadas anteriormente. Por ello y según lo establecido en esta norma, 151.103, toda persona o entidad involucrada en la operación de un RPA deberá cumplir con todo requisito legal tributario, municipal, sanitario, medioambiental entre otros o de seguros que exijan las normas respectivas de los distintos organismos del Estado, con el fin de resguardar la seguridad integral operacional.

### 2.2.3. Artículo 151.105: Limitaciones de las operaciones RPAS

En el artículo 151.105 se hace mención a las prohibiciones de sobre vuelo y operación de RPA sobre las instalaciones militares, unidades de flota y bases aéreas de las fuerzas armadas tanto del Ejército, la Marina y la Fuerza Aérea de Chile, según lo establecido en el Art. 82 del Código Aeronáutico. Es decir, queda prohibido toda operación de vuelo y sobre vuelos de RPAS, independiente del peso de despegue de este, sobre las instalaciones militares mencionadas anteriormente. Como también se mantiene la prohibición, para vuelos y sobre vuelos sobre instalaciones carcelarias e instalaciones estratégicas definidas por el Estado de Chile.

Por el contrario, si el operador de un RPA necesite ir en contra de las prohibiciones anteriormente mencionadas, por requerimientos especiales, este deberá contar con una autorización previa de la institución involucrada correspondiente, así como también necesita aprobación de la autoridad aeronáutica, a la cual se le notificará a través de un NOTAM.

El no cumplimiento de lo anteriormente mencionado dará a la autoridad aeronáutica la potestad de aplicar lo establecido en la DAR 51, Reglamento de procedimientos infraccional aeronáutico, y sumando a ello se presentarán los antecedentes al Ministerio Público cuando el caso constituya un delito.

#### 2.2.4. Artículo 151.201: obligación de registro

Según el artículo 151.201 de la DAN 151. Todo propietario de un RPA que desee operar según la norma establecida deberá inscribir su aeronave ante la DGAC en el registro especial de RPA, antes de realizar cualquier operación. Del mismo modo, si un propietario de un RPA desea renunciar a la inscripción de su RPA, deberá solicitarlo por escrito ante la DGAC (Sub departamento - Aeronavegabilidad), la eliminación del registro, junto a la entrega de la correspondiente "Tarjeta de Registro" que le fue otorgada.

Esto se debe a que se debe tener un registro tanto de quienes operan los RPA, como quienes dejen de hacerlo para obtener un dato que confirme la cantidad de pilotos registrados. Debido a que mucha gente se mantiene fuera de la regulación aeronáutica, no se tiene un control exacto de la cantidad de RPA que existe dentro del territorio chileno. Esto ocurre debido a que el costo de armar una aeronave no tripulada es bastante reducido comparado con comprar cualquier aeronave, y por tanto es accesible para la gran mayoría de la población.

#### 2.2.5. Artículo 151.203: Antecedentes y requisitos para el registro del RPA

Según la norma 151.203 de la DAN 151, se debe presentar una solicitud de registro firmada ante notario presentada por el propietario el que debe incluir la siguiente información técnica del RPA:

Tabla 2-4: Antecedentes y requisitos para el registro técnicos de un RPA

(1) Fabricante, país.
(2) Marca.
(3) Modelo.
(4) Número de serie.
(5) Tipo de motorización.
(6) Peso máximo de despegue.
(7) Detalle del equipamiento incorporado.
(8) Autonomía.
(9) Foto tamaño 10 x 15 centímetros en colores (formato jpg).
(10) Demostración del funcionamiento del paracaídas de emergencia.

Fuente: artículo 151.203, de la norma DAN 151.

De esta forma se da una base de datos completa para identificar de manera rápida y segura a la persona quien opere de mala manera a un RPA. Como también esta información es utilizada para asegurar el buen funcionamiento del paracaídas de emergencia obligatorio para un vuelo seguro.

#### 2.2.6. Artículo 151.205: tarjeta de registro del RPA

Según el artículo 151.205 de la DAN 151, una vez efectuado el registro del RPA, la DGAC entregará al propietario una tarjeta de registro, la cual indicará:

Tabla 2-5: Tarjeta de registro entregada por la DGAC

(a) Nombre del propietario
(b) RUT
(c) Dirección
(d) Teléfono
(e) Marca
(f) Modelo
(g) Peso máximo de despegue
(h) Equipamiento incorporado
(i) Foto del RPA
(j) N° de registro de RPA otorgado por la DGAC
(k) Identificación del RPA:
(1) N° de serie(s) del RPA, si lo posee
(2) N° de registro entregado por la DGAC.

Fuente: artículo 151.205, de la norma DAN 151.

#### 2.2.7. Artículo 151.303: Requisitos para la obtención de la credencial de RPA

Según el artículo 151.303 de la DAN 151, para poder optar a una credencial de piloto a distancia de RPA, cualquiera sea el aspirante deberá cumplir con los siguientes requisitos:

Tabla 2-6: Requisitos para los aspirantes de obtención de la credencial de RPA

(a) Haber cumplido dieciocho (18) años de edad.
(b) Presentar una declaración jurada ante notario de haber recibido instrucción teórica y práctica respecto al modelo de RPA a volar. ( <a href="#">Anexo N°2</a> )
(c) Aprobar un examen escrito sobre la norma DAN 151, DAN 91 “Reglas del Aire”, Meteorología y Aerodinámica. La calificación mínima para aprobar será de un 75%.

Fuente: artículo 151.303, de la norma DAN 151.

#### 2.2.8. Artículo 151.305: Atribuciones del titular de la credencial DGAC

El artículo 151.305 de la DAN 151, recalca que el piloto a distancia, al desempeñar su operación de vuelo, podrá realizarlo solo si está la condición de operación con visibilidad directa visual (VLOS), en el o los modelos registrados en su credencial.

Debido a que existen sucesos que se producen fuera de los parámetros normales y que pueden ocasionar una afectación a la seguridad, es necesario que el piloto a distancia tenga total visión del RPA en todo momento de la operación.

Los sucesos pueden ser de naturaleza humana, donde las capacidades y limitaciones humanas pueden llegar a repercutir en la seguridad operacional y eficiencia de las operaciones aeronáuticas. Pero también está presente el riesgo de tener un impacto entre un ave u otro tipo de fauna y la aeronave, pudiendo generar o provocar lesiones al personal, daños al equipo o estructuras.

Además, existe el riesgo de impactar obstáculos, los cuales pueden ser objetos fijos (ya sea temporal o permanente) o móviles, los cuales pueden llegar a estar situados en un área destinada al movimiento de las aeronaves en la superficie. Incluso pueden ser objetos que sobresalgan de una superficie definida o que estén fuera de las superficies definidas y sean considerados como un peligro para la navegación aérea.

Para evitar las probabilidades de que un evento fuera de lo esperado pueda ocurrir, se cuenta con esta norma que permite, mediante el procesamiento adecuado, identificar situaciones que puedan ocasionar desviaciones respecto al comportamiento deseado de la operación de vuelo y en virtud de ello, se realizan las correcciones necesarias para evitar situaciones que afecten negativamente a la seguridad operacional.

#### 2.2.9. Artículo 151.307: duración y revalidación de la credencial

Según el artículo 151.307 de la DAN 151, la duración de la credencial de piloto a distancia de RPA será de doce (12) meses. Para revalidar esta credencial, se deberá aprobar un examen escrito sobre lo establecido en la DAN 151, DAN 91 “Reglas del Aire”, Meteorología y Aerodinámica. La calificación mínima de aprobación deberá ser de 75%.

### 2.3. NORMA DAN 91

Desde que existe la aviación civil, se han establecido documentos que la regulen para tener un control de las aeronaves, centros de operaciones, personal autorizado y todo lo que

tenga relación a la aeronáutica. Considerando que la sociedad ha tenido grandes avances en tecnologías y metodologías para realizar operaciones, la dirección general de aeronáutica civil se ve en la obligación de establecer un documento normativo para cada aspecto que se pueda presentar en esta rama. Por ello y con el propósito de establecer una normativa técnica la que pueda regular el tránsito aéreo, las maniobras de vuelo, el movimiento de las aeronaves en la superficie y la utilización del espacio aéreo dentro del territorio nacional y espacios aéreos delegados se crea la DAN 91 “Reglas del aire”, la que a su vez deriva de la DAR 91 “Reglas de Vuelo y Operación General”, documento el cual a su vez toma a la DAN 91 como complemento de sí mismo.

El documento DAN 91 se creó para dar un reglamento a seguir para la utilización de instrumentos y espacios aeronáuticos que puedan afectarse en la medida que estos son utilizados para desarrollar la función de los aviones, el volar. Para ello establece reglas para la protección de espacios, personal e instrumentos que se utilizan en esta tarea.

Debido a que las aeronaves comerciales son mecanismos de gran envergadura, pueden llegar a provocar grandes desastres si estas llegan a estrellarse con edificios o con otras aeronaves, por lo cual se regula el tránsito aéreo, para evitar una colisión. Como punto inicial en la norma de vuelo se establece que la realización de esta acción a bajas alturas (a menos que sea para aterrizaje, despegue o que este previamente autorizado por la DGAC) no está permitido para así evitar la colisión con edificios y el sobre volar por lugares con alta contingencia de concentración de personas.

Es importante mencionar que los RPA pueden llegar a ser peligrosos para el vuelo seguro de una aeronave. Debido a su tamaño y composición de material podrían generar daños considerables en la colisión en vuelo, además pueden llegar a ser succionados o empujados por la fuerza de empuje que genera el motor. Debido a estos factores la DAN 91 establece normas para la correcta utilización de estos artefactos con el fin de generar un espacio seguro para el vuelo de las aeronaves.

Como fue mencionado anteriormente, para poder realizar operaciones con una aeronave tripulada a distancia, la DAN 151 establece ciertos requisitos técnicos que deben poseer la aeronave antes de su despegue, tales como que el peso máximo al momento del despegue no sea superior a los 9 kilos, como también el que debe poseer un paracaídas de emergencia. Además de estos requisitos técnicos, establece que antes de poder operar un RPA, el piloto a distancia debe poseer documentación que acredite el correcto registro de la aeronave, su capacitación para operar y una autorización de la dirección general de aeronáutica civil para la operación del RPA registrado.

En el año 2018, la dirección general de aeronáutica civil, a través del documento DAN 91, en el artículo 91.102, establece que, además de los requisitos técnicos y de documentación mencionados en el párrafo anterior, toda aeronave que desee realizar cualquier tipo de

operación en vuelo deberá contar con una autorización del Subdepartamento Operaciones, en adelante SDO, de la DGAC. Esta autorización deberá ser solicitada ante la SDO para cada caso de operación a través de la entrega de un formulario (ver [Anexo 1](#)). Con la solicitud presentada se realizará una evaluación para saber si la operación del RPA no constituye un riesgo para las personas o para otras aeronaves.

Con respecto a las zonas en donde está prohibido el uso de RPA, la DAN 91 menciona lo mismo que está estipulado en la DAN 151, donde las limitaciones de operación se ven afectadas por lo establecido en el Art. 82 del Código Aeronáutico. La norma anterior debe ser obedecida, de lo contrario la DGAC aplicara sanciones establecidas en la DAR 51, Reglamento de Procedimientos Infraccional Aeronáutico y adicionalmente, se presentarán los antecedentes al Ministerio Público cuando el caso constituya delito.

De la misma manera se prohíbe la operación de aeronaves pilotadas a distancia por sobre territorio de otro estado sin previo aviso y autorización especial, la cual es concedida por el Estado en el que se efectuará el vuelo.

En cuanto a avisos necesarios, se establece que si por algún motivo la operación de vuelo de un RPA, ya autorizada, se viera cancelada, se deberá notificar tan pronto como sea posible al SDO. Según lo establecido en la norma.

La DAN 91 también hace alusión a lo establecido en la DAN 151 en el ámbito de operaciones en áreas pobladas, donde recurre a lo establecido en este documento para que se dé cumplimiento de estas normas.

Con respecto a normas, para la operación de vuelo seguro, se establece que para un piloto a distancia queda prohibido:

Tabla 2-7: Prohibiciones para el piloto a distancia en operación de vuelo de un RPA

1) Poner en riesgo la vida e integridad de las personas.
2) Poner en riesgo la propiedad pública o privada.
3) Afectar derechos de terceros, especialmente en su privacidad y su intimidad.
4) Operar en forma descuidada o temeraria, poniendo en riesgo a otras aeronaves en tierra o en el espacio aéreo.
5) Operar a una distancia menor de dos (2) kilómetros de la prolongación del eje de la pista, medidos desde el umbral, y una distancia menor de un (1) kilómetro paralelo al eje de la pista de un aeródromo, y a una altura superior a 400 pies (130 metros) excepto casos debidamente justificados relacionados con trabajos de infraestructura o de interés del propio aeródromo, para los cuales el operador de RPA deberá solicitar autorización especial al SDO quien analizará caso a caso en coordinación con la Autoridad ATS Competente.
6) Operar sobre zonas prohibidas o peligrosas.
7) Operar sobre zonas restringidas publicadas por la DGAC, a menos que cuente con autorización de ésta.
8) Operar sin tomar conocimiento de los NOTAMS vigentes publicados por la DGAC.
9) Operar más de una aeronave en forma simultánea.
10) Operar bajo la influencia de las drogas o el alcohol.
11) Operar en las áreas donde se combate un incendio por medio de aeronaves tripuladas.

Fuente: artículo 91.102, de la norma DAN 91.

Con respecto al uso de RPAS en áreas pobladas, la DAN 91 permite el uso de estas sin previa autorización de la DGAC, siempre y cuando se cumpla con las condiciones donde el RPA debe ser fabricado con polietileno expandido o material equivalente, su peso máximo no ha de superar los 750 gramos, su uso será destinado de forma privada o recreacional y siempre cuando la operación de vuelo no supere los 50 metros de altura sobre el obstáculo o edificación de mayor altura de la zona recorrida en lugares privados. Aun cumpliendo con las condiciones anteriores, la persona que opere al RPA deberá responder ante cualquier daño a tercero que cause durante la operación de esta aeronave pilotada a distancia.

## **2.4. CONCLUSIÓN DE LA NORMATIVA CHILENA**

La norma DAN 151 se enfoca en la regulación de las operaciones de las RPA en el ámbito de asuntos públicos con el fin de ser una herramienta útil para la toma de imágenes.

Esta norma prioriza el que un piloto a distancia debe mantener visibilidad directa con la aeronave para dirigir su vuelo y satisfacer las responsabilidades de separación y anticolidión. De la misma manera la operación de vuelo tener la capacidad de ser controlada manualmente.

Debido a que los RPA pueden causar daño a personas o estructuras si los colisiona, se regularizan puntos para mantener el daño al mínimo como el designar un peso máximo de despegue de hasta nueve (9) kilos.

Del mismo modo, el artículo 151.103 norma las acciones del piloto para evitar daños innecesarios. De él es posible destacar puntos que tienen relación con la operación de un RPA cercano a una aeronave. El primer punto que destacar es que se establece que un piloto no debe operar en forma descuidada o temeraria que ponga en riesgo a otras aeronaves en tierra o en el aire. También dice que el piloto a distancia deberá mantener su propia separación con otras aeronaves tripuladas.

Por otra parte, el documento DAN 91 “Reglas del aire” emite normas para el correcto uso de las aeronaves tripuladas a distancia en vuelo, las que a su vez son similares a las Dispuestas en la DAN 151, con la diferencia que para las reglas del aire es necesario notificar cada una de las operaciones de vuelo y además toda cancelación de una operación ya autorizada. Es importante recalcar que en este documento se da el espacio para la utilización de RPAS, las cuales, cumpliendo ciertas condiciones, no necesitan una autorización previa para su operación de vuelo, sin embargo, esto no deja fuera la necesidad de realizar la correcta inscripción de la aeronave además de tener la credencial de piloto certificado correspondiente.

Al analizar las normas anteriores todo indica que las leyes chilenas identifican a los RPA como una posible fuente de daño hacia una aeronave tripulada, ya sea que este en aire o en tierra. En una consulta oficial al subdepartamento de aeronavegabilidad de la DGAC, realizada al señor Edgardo Flores, el aclaro que los RPA, si bien su utilización en espacios privados de trabajo (como un hangar de mantenimiento) no está regularizado, las normas no permiten el acercamiento de ellas a las aeronaves comerciales debido a que es un peligro de impacto que puede comprometer la estructura y la seguridad del avión.

Con esto es posible decir que la ley chilena hasta el momento no permite el uso de drones para el mantenimiento de aeronaves comerciales. Esto llegará a cambiar una vez que la

operación de vuelo de un RPA sea establecida como seguro en las cercanías de una aeronave.

### **CAPITULO 3: MANENIMIENTO Y USO DE LOS DRONES**

### **3.1. MANTENIMIENTO Y USO DE LOS DRONES**

En este capítulo se habla acerca de los datos relevantes al tema a tratar, con el fin de abordar temas importantes de conocer. Dando un conocimiento previo que da contexto de la propuesta a realizar.

#### **3.1.1. Mantenimiento**

El trabajo de mantenimiento es una actividad realizada con el fin de mantener la maquinaria en estado óptimo para su correcta utilización. El aplicar esta tarea lleva consigo la intención de hacer más eficiente el equipo y evitar su degradación.

En nuestra actualidad, el mantenimiento tiene un carácter de mucha importancia ya que con él se mejora la productividad en las empresas, influyendo en los resultados de estas.

La experiencia obtenida a lo largo de los años y la utilización de nuevas tecnologías ha resultado en la mejora del área de mantenimiento. Esto se puede demostrar con el requerimiento de la especialización en la materia, para quienes realizan funciones de mantenimiento.

El realizar esta actividad es vital para que una empresa pueda progresar. Se ha convertido en algo tan básico que no solo involucra al personal que realiza el mantenimiento sino también la estructura interna que forman las empresas también se ha visto afectada.

#### **3.1.2. Concepto de mantenimiento**

El concepto de mantenimiento se puede definir como la actividad humana que intenta conservar la calidad del servicio de las máquinas, instalaciones y edificios en condiciones seguras, económicas y eficientes.

Se puede clasificar en dos tipos; correctivo si las actividades son necesarias o si se ha perdido calidad en el servicio y preventivo si se realizan actividades para evitar que disminuya la calidad de servicio.

### 3.1.3. Tipos de mantenimiento

Según su clasificación el mantenimiento se diferencia en los siguientes tipos:

#### 3.1.3.1. Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo es la tarea que se realiza cuando los recursos físicos o maquinaria han dejado de tener la calidad del servicio que se necesita o exige a causa de un fallo de esta.

Este tipo de mantenimiento se puede diferenciar entre los siguientes tipos:

**Mantenimiento correctivo contingente:** este centra las actividades de corrección en los fallos al momento en que son detectados.

**Mantenimiento correctivo diferido:** al momento de producirse la avería o falla, se produce un paro de la instalación o equipamiento de que se trate, para posteriormente afrontar la reparación, solicitándose los medios para ese fin.

#### 3.1.3.2. Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento de clasificación preventiva es la actividad que se realiza en la maquinaria, para garantizar que la calidad de servicio siga dentro de los márgenes establecidos.

Esta actividad se lleva a cabo periódicamente con el fin de hacer un mantenimiento apropiado al transcurrir después de determinadas horas de funcionamiento de la maquinaria. En este tipo de mantenimiento se suelen hacer revisiones y se cambian piezas o partes de la maquinaria.

#### 3.1.4. Mantenimiento en la industria aeronáutica

El mantenimiento es una tarea esencial para mantener equipos y sistemas en condiciones seguras. En la aeronáutica esta actividad es esencial para mantener condiciones de vuelo seguro. Debido a las fuerzas a las que la aeronave está sometida se producen diferentes fallas por la utilización de los equipos. Junto con el progreso de las diferentes aeronaves también han evolucionado las técnicas de mantenimiento aplicadas en ellas.

En los inicios las actividades de mantenimiento mayor consistían en casi la reparación total de la aeronave periódicamente. Hoy en día se tiene una sofisticación del mantenimiento aeronáutico, el cual se mantiene en constante mejora de procesos. Esto se

debe a que las fábricas de aeronaves están en busca de programas de mantenimiento más avanzados y detallados.

Las fábricas emiten un documento conocido como el documento del programa de mantenimiento (MPD). Este es entregado a cada aerolínea operadora de los modelos de aeronaves al cual hace referencia. El operador lo recibe y lo puede acomodar según la operación que realizará, recibiendo el nombre de programa de mantenimiento (PML) y debe ser aprobado por la autoridad aeronáutica del estado.

Las estructuras de una aeronave están sometidas a distintos esfuerzos estando en tierra y durante el vuelo, sufriendo distintos daños o roturas estructurales. Estos producen un desgaste a la estructura de la aeronave dando un tiempo límite para la vida útil de los aviones o sus componentes, que normalmente exigen una reparación importante o el recambio del componente afectado.

### 3.1.5. La inspección

La observación es un factor necesario para realizar un correcto mantenimiento.

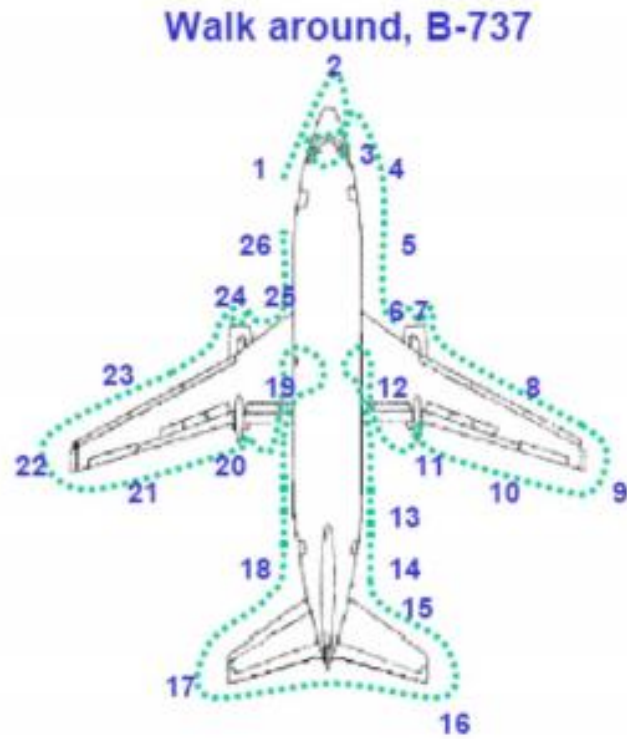
La inspección visual tradicional de la aeronave se realiza desde el suelo o utilizando una plataforma telescópica, en particular para las partes superiores de la aeronave, un proceso que generalmente podría durar hasta un día.

En la aeronáutica se designan tareas de control rutinarias llamadas Checks, los que cumplen la función de realizar inspección programada según intervalos de horas de vuelo, ciclos de vuelo o tiempo calendario designados por el fabricante para la revisión de las estructuras.

De las tareas check se menciona la siguiente:

**La Transit Check (TR)** tiene como propósito asegurar la aeronavegabilidad de un avión en tránsito. Esta Check está planificada para ser empleada en las detenciones en ruta y consiste básicamente en un walk-around que está orientado a revisar el interior y exterior del avión por daños obvios, filtraciones, operación adecuada de equipos, seguridad de los puntos de amarra y servicio requerido, debiendo registrarse en el Maintenance Flight Log (MFL)

Para realizar la tarea Check mencionada anteriormente, se realiza un recorrido por la aeronave como se muestra en la siguiente imagen:



Fuente: Clase de Mantenimiento II, Universidad Federico Santa María, el 11 de octubre de 2018.

Figura 3-1: Recorrido de inspección de un Boeing 737, en tarea Walk around.

Los puntos del avión que se inspeccionan, los daños que se buscan y las tareas a realizarles, en el orden de seguimiento del recorrido de inspección del Boeing 737, se definen en la siguiente tabla:

Tabla 3-1: Puntos de inspección del avión, los daños que se buscan y las tareas.

	<b>Puntos</b>	<b>Daño/Tarea</b>
1	Sensores Pitot-Stat, AOA, TAT, vidrios laterales.	Condición, limpieza aerodinámica, trizaduras.
2	Radomo, parabrisas, limpia parabrisas.	Deformaciones, impacto rayos, impacto pájaros.
3	Pozo de tren de aterrizaje de nariz, zapatas, líneas hidráulicas, ruedas, portalón.	Desgaste, filtración, daños (pájaros) elementos sueltos o faltantes.
4	Pitot-Stat, AOA, TAT, vidrios laterales, panel servicio baño delantero.	Condición, limpieza aerodinámica, trizaduras, hielo azul del baño.
5	Fuselaje, puerta de servicio, puerta bodega, static port.	Golpes, daños, obstrucciones. Deformación. Limpieza.
6	Raíz ala, puerta ram air, conjunto luces, kruger flaps.	Impactos, obstrucciones, fracturas.
7	Nacela, panel acústico, spinner, álabes, "probes"	Deformaciones, impactos, ingestión, elementos extraños.
8	Borde de ataque del ala, "drip sticks". Tapas inferiores ala.	Deformaciones, impactos.
9	Punta de ala, luces y descargas estáticas.	Daños, funcionamiento, fracturas, elementos faltantes,
10	Planos control de vuelo, fairings, drenaje de estanque.	Condición, evidencias de fuga, fijaciones,
11	Reversor escape de motor.	Alineación de marcas, filtración aceite,
12	Flap interior, tren de aterrizaje, strut; ruedas, frenos, líneas hidráulicas, abrazaderas; pozo rueda derecha	Condición, filtración, desgastes, cortes, presiones, pines desgaste, frenos, elementos sueltos, nivel de estanque hidráulico,
13	Fuselaje, puerta de bodega, puerta de servicio derecha.	Golpes daños, deformación,
14	Válvula de alivio del fuselaje, válvula outflow, panel servicio del baño, auxiliary power unit door.	Condición válvulas, hielo azul de los baños,
15	Presión botella extintora auxiliary power unit, tubo pitot empenaje.	Presión indicada daños, obstrucciones,
16-17	Estabilizador horizontal y vertical, static dischargers, timones, luz de cola.	Deformaciones, impactos (rayos, pájaros); extravió, dreño auxiliary power unit
18	Fuselaje, puerta, mástil agua.	Golpes, daños, deformación
19	Flap interior, tren de aterrizaje, strut ruedas, frenos, líneas hidráulicas, abrazaderas, pozo rueda izquierda, filtro sistema hidráulico.	Condición; ruedas por desgaste, cortes; desgaste frenos; filtración hidráulica; indicador Pop Out de filtro; cuerpos extraños; elementos sueltos,
20	Escape de motor; Reversor.	Alineación de marcas, filtración aceite,
21	Fairings, Planos control de vuelo.	Condición evidencias de fuga, fijaciones,
22	Punta de ala, luces y descargas estáticas.	Daños, funcionamiento, fracturas, elementos faltantes,
23	Borde de ataque de ala, "drip sticks", tapas inferiores de ala.	Deformaciones, impactos,
24	Nacela, panel acústico, spinner, alabes, "probes"	Deformaciones, impactos, ingestión, elementos faltantes,
25	Kruger flaps. Raíz ala, conjunto luces, puerta ram air pack.	Impactos, obstrucciones, fracturas,
26	Fuselaje, static port, puertas de pasajeros.	Golpes, daños, obstrucciones, limpieza, deformación.

Fuente: Clase de Mantenimiento II, universidad Federico Santa María, el 11 de octubre de 2018.

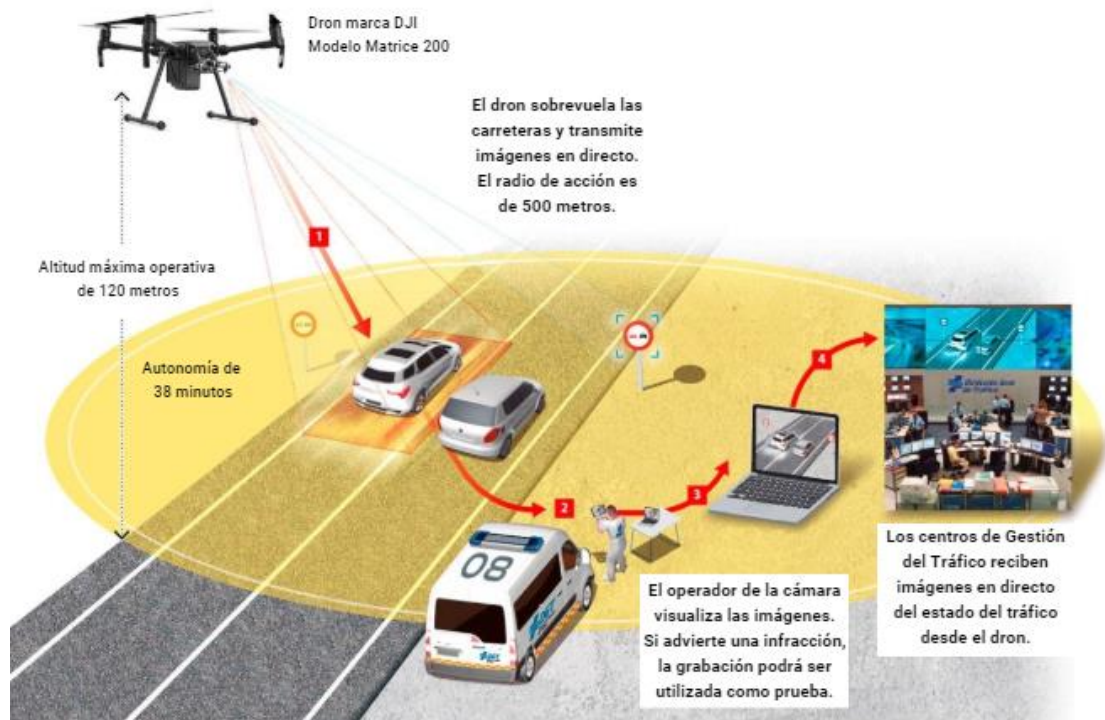
### 3.2. USOS DE LOS DRONES

Al pasar de los años desde los inicios de la utilización exclusiva de los drones en el área militar, se les dio espacio a estas tecnologías para entrar en la utilización del área civil. Hoy en día las aplicaciones que se les atribuyen abarcan distintos campos de trabajo.

#### 3.2.1. Vigilancia aérea del tráfico

Por su capacidad de obtener un punto de monitoreo en las alturas y en movimiento, agencias de control del tráfico han visto en los RPAS una herramienta de apoyo para la vigilancia desde el aire.

Las labores que se le pueden atribuir son la regulación y vigilancia del tráfico. Con la capacidad de poder grabar las infracciones cometidas por los conductores, pudiendo enviarlas para tramitar las correspondientes multas.



Fuente: <https://www.heraldo.es/noticias/aragon/2019/08/26/un-nuevo-dron-de-la-dgt-vigilara-y-multara-desde-otono-en-las-carreteras-de-aragon-1331248.html>

Figura 3-2: Esquema de uso de los drone en vigilancia área del tráfico.

### 3.2.2. Prevención y control de incendios

La utilización de RPAS permiten supervisar zonas extensas en poco tiempo, dado a su control a distancia es posible lograrlo sin poner en riesgo vidas humanas. Esta característica dio paso a la utilización en la supervisión de incendios o focos de incendio. La aplicación de estos vehículos aéreos permite el observar el comportamiento de los incendios, dando datos claves para atacarlos de una forma más efectiva.

Su aplicación en estos casos es mucho más económica que utilizar un vehículo tradicional como un helicóptero o un avión.



Fuente: <https://www.lavanguardia.com/tecnologia/20160424/401325825207/drones-salvar-la-vida-casos-reales.html>

Figura 3-3: Drone utilizado para la vigilancia de incendios.

### 3.2.3. Búsqueda y rescate de personas

El reducido tamaño de estos RPA permite tenerlos siempre disponibles en cualquier tipo de estación, reduciendo considerablemente el tiempo de búsqueda.

La búsqueda y rescate de personas en zonas peligrosas de difícil acceso se facilita con la utilización de drones, la cual es una herramienta muy útil para los servicios de emergencia y rescate.

Pueden buscar personas desaparecidas en lugares abiertos o de difícil acceso como zonas montañosas, glaciales, el mar y zonas rocosas. Así como también en zonas de desastres naturales como inundaciones, avalanchas, o incendios.



Fuente: <https://dronepixel.com.ve/drones-busqueda-y-rescate/>

Figura 3-4: Drone utilizado en la búsqueda y rescate de una persona en una zona montañosa.

#### 3.2.4. Fotografía Aérea

Este tipo de vehículos son perfectos para cualquier tipo de aplicación que necesite realizar imágenes desde el aire, ya que permite una captura de un plano general y cenital.

Esta perspectiva diferente a la que se obtiene en un plano terrestre se puede llegar a realizar con aeroplanos, helicópteros e incluso grúas. La ventaja ante estos sistemas de fotografía aérea es que el drone posee un considerable costo reducido al ser comparado.

El uso de RPAS ofrece ventajas en este campo, como por ejemplo la posibilidad de vuelo a bajas velocidades y alturas y obtención de mapas 3D.



Fuente: <https://www.dronebydrone.com/drone-by-drone.php>

Figura 3-5: Fotografía referencial de un RPA utilizado para la fotografía aérea, por la compañía “Drone by drone”.

### 3.2.5. Usos del Drone en la industria aeronáutica

La utilización de los drones en la industria aeronáutica es un área poco desarrollada, sin embargo, la empresa Airbus está en la investigación de su utilización en tareas de inspección de aeronaves.

Airbus es una corporación industrial que es una referencia internacional en el sector aeroespacial. Diseña, fabrica y entrega aviones comerciales, helicópteros, transportes militares, satélites y vehículos de lanzamiento líderes en la industria, además de proporcionar servicios de datos, navegación, comunicaciones seguras, movilidad urbana y otras soluciones para clientes a escala global. (AIRBUS, s.f.)

Airbus, en conjunto a su grupo de investigación, realizó un drone de inspección avanzada con el propósito de reducir los tiempos de inspección de la aeronave y mejorar la calidad de la inspección. Este nuevo sistema automatizado de inspección de aeronaves basado en drones acelera y facilita las inspecciones visuales, reduciendo considerablemente el tiempo de inactividad de la aeronave al tiempo que aumenta la calidad de los informes de inspección.

El sistema del drone de inspección avanzada es un elemento de la iniciativa Airbus 'Hangar of the Future'. Este proyecto combina el uso de tecnologías innovadoras y equipos inteligentes conectados a Internet, como drones, robots colaborativos y sensores no destructivos con documentación técnica de la aeronave y datos en servicio de la aeronave recopilados a través de los datos abiertos de Airbus plataforma, Skywise.

El desarrollo del dron de inspección avanzada se realizó en cooperación con la filial de Airbus, Testia, que se especializa en pruebas no destructivas.

El proyecto fue presentado el día 10 de abril de 2018 en la exposición americana MRO (maintenance, repair and overhaul) en el estado estadounidense de Florida. El dron de inspección avanzada está diseñado para ser usado dentro de un hangar.



Fuente: <https://www.airbus.com/newsroom/news/en/2018/04/innovation-takes-aircraft-visual-inspections-to-new-heights.html>

Figura 3-6: Dron de inspección avanzada desarrollado por la corporación AIRBUS

Una vez lanzado por un operador, sigue una ruta de inspección predefinida, captura imágenes de alta resolución de la estructura de la aeronave mientras mantiene una distancia segura a través de su sistema de detección de obstáculos y anticolidión basado en láser incorporado.



Fuente: <https://www.airbus.com/newsroom/news/en/2018/04/innovation-takes-aircraft-visual-inspections-to-new-heights.html>

Figura 3-7: Captura de imágenes a una aeronave comercial A320

Las imágenes de alta calidad se envían de forma inalámbrica a una tableta resistente para la revisión del operador en tiempo real. Posteriormente, se transfieren a una estación de inspección de escritorio, donde un técnico realiza revisiones exhaustivas de las imágenes utilizando un sistema de software dedicado que localiza y mide cualquier daño en la superficie visual comparando las imágenes del mundo real con el modelo estructural 3D del avión. Las herramientas de imagen avanzadas permiten una evaluación precisa de defectos, mientras que el software genera un informe para completar el ciclo de inspección completo.



Fuente: <https://www.airbus.com/newsroom/news/en/2018/04/innovation-takes-aircraft-visual-inspections-to-new-heights.html>

Figura 3-8: Drone y maqueta 3D de un A320

El grupo de investigación ha realizado demostraciones de este sistema basado en drones a varias aerolíneas que han expresado interés. También se ofrecerá a organizaciones de mantenimiento, reparación y revisión (MRO). La innovadora herramienta de inspección de Airbus estará disponible para uso de la industria en el cuarto trimestre de 2018 luego de su aprobación por la autoridad de aeronavegabilidad europea EASA como un medio alternativo para completar el proceso de Inspección Visual General.

La actualización al nuevo sistema de inspección basado en drones permitirá a los operadores y proveedores de MRO reducir el tiempo de inspección, por lo que permitirá que la aeronave se libere antes, teniendo a su vez más información para la realización de los informes, ayudando a la localización de daños y la trazabilidad del mantenimiento realizado.

Según la investigación de AIRBUS este nuevo proceso de inspección tomará solo tres horas, incluidos 30 minutos de captura de imágenes por el dron, y mejorará la seguridad del operador. Por el contrario, la inspección visual tradicional de la aeronave se realiza desde el suelo o utilizando una plataforma telescópica, en particular para las partes superiores de la aeronave, un proceso que generalmente podría durar hasta un día.

**CAPITULO 4: PROPUESTA PARA LA APLICACIÓN DEL DRONE PARA**  
**LA SUPERVISIÓN Y MANTENIMIENTO DE AERONAVES**  
**COMERCIALES**

Los RPAS son una gran ventaja en campos como la inspección y la observación, ya que pueden desplazarse de forma rápida accesibilidad a áreas de complejo acceso. Gracias a esta capacidad logran ofrecer imágenes desde una vista más general y en poco tiempo.

En el siguiente apartado introduciremos un nuevo punto de vista del mantenimiento de la estructura de un avión mediante la utilización de un dron en conjunto de un programa de digitalización en tres dimensiones.

En función de su aplicación en la industria aeronáutica se mencionarán las precauciones para tener en cuenta para su utilización.

#### **4.1. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA**

La propuesta es utilizar el dron como una herramienta de apoyo para la inspección y los controles visuales de la estructura del fuselaje del avión, para usar dentro de un hangar de mantenimiento. Siguiendo una ruta de inspección predefinida, el dron automatizado captura todas las imágenes requeridas con su cámara integrada. Las imágenes de alta calidad se transfieren a una base de datos de una computadora portátil en donde se pueda visualizar para un análisis detallado utilizando un sistema de software que las transforme en un esquema de tres dimensiones.

Esto permite al operador localizar y medir el daño visual en la superficie del avión comparándolo con la maqueta digital del avión.

Dado que está diseñado para su uso dentro de los hangares de mantenimiento, es necesario que el dron puede identificar el espacio a trabajar. La aplicación de un sensor basado en láser capaz de detectar obstáculos y detener la inspección si es necesario.

Las ventajas del uso de RPAS para el mantenimiento se podrían resumir en:

- Reducir tiempos de generación de un informe de inspección.
- Aumentar los datos para mayor calidad del informe de inspección.
- Alcance visual completo de la aeronave a inspeccionar.
- Reducción de los riesgos laborales.
- Rápida accesibilidad para realizar la inspección.

La utilización de esta inspección se puede realizar en aeronaves para la inspección de superficies de vuelo, en busca de fallas visibles en las que sea necesario un mantenimiento correctivo. Dentro de las estructuras en las que se puede focalizar la observación detallada se encuentran las uniones de las diferentes estructuras de la aeronave, la pintura del avión, las alas y el empenaje del avión.

A la transformación de imágenes en un modelo a escala en tres dimensiones se puede tener un registro de las fallas observadas en la estructura, lo que ayudará a tener un análisis de los informes con mayor información.

#### 4.1.1. Información relevante para la operación de vuelo

##### 4.1.1.1. Capacitación y licencias de vuelo

Del mismo modo que con las reglas del aire, en Chile existe otra normativa que rige la utilización de los drones. Esta es la DAN 151, titulada como “operaciones de aeronaves tripuladas a distancia (RPA) en asuntos de interés público, que se efectúen sobre áreas pobladas”.

Como su nombre lo dice, su legislación solo afecta a quienes deseen operar en áreas de interés público. En donde se entiende que las dimensiones de un hangar de mantenimiento son propiedad privada de una empresa, por lo tanto, no es un espacio público.

Con esto claro, se destaca de esta normativa no es aplicable para el caso de la propuesta en cuestión. Sin embargo, tiene factores que pueden facilitar el buen uso de los drones.

##### 4.1.1.2. Licencia

Según el artículo 151.303 de la DAN 151, para poder optar a una credencial de piloto a distancia de RPA, cualquiera sea el aspirante deberá cumplir con los requisitos mencionados anteriormente ([tabla 2-6](#)).

Con esta licencia se demuestra un manejo en los conocimientos de las leyes que regulan los RPA en Chile, los espacios aéreos en donde se pueden utilizar, las aerodinámicas y conceptos de meteorología que afectan la operación de vuelo. Este conocimiento es instruido en las instrucciones teóricas, las que son complementadas con las instrucciones prácticas del vuelo del drone a operar.

Una vez obtenida la declaración jurada ante notario de haber recibido estas instrucciones teóricas-prácticas, se realiza un examen escrito impartido por la Dirección General de Aeronáutica Civil. Con la cual se hace una demostración efectiva de estar al tanto de los requerimientos de conocimientos básicos para realizar una operación segura de un RPA.

#### 4.1.2. Acercamiento a la pista de aterrizaje

Para la operación de un drone en un hangar de mantenimiento, hay que tener en cuenta que la DGAC prohíbe el uso de estos vehículos aéreos en aproximación a aeronaves y

aeropuertos. Por ello se debe pedir una autorización especial para operar. En la cual se debe detallar que la operación del RPA se realizara en un espacio cerrado, del ámbito privado, en donde el avión a inspeccionar esté estacionado fuera de toda operación de vuelo o movimiento.

## **4.2. PLAN DE ACCIÓN**

Para la realización de la implementación la propuesta es necesario tener un drone con su respectivo control de vuelo, una plataforma de despegue, persona que lo opere y una computadora portátil con software de interpretación de imagen.

### **4.2.1. Plataforma de lanzamiento**

Al momento de utilizar el RPA hay que tener en cuenta que se necesita implementar un espacio para lanzamiento y de recuperación del equipo.

Dado a que su sistema de propulsión provoca un movimiento de aire alrededor de las hélices, se tiene que tomar precauciones en cuanto a los diferentes objetos que se encuentren alrededor de su plataforma de inicio de vuelo y también en el lugar en donde se aterriza la aeronave. De esta manera se evita el movimiento brusco de objetos pequeños, que pueden ser movidos por el empuje generado al iniciar el movimiento de las hélices de un RPA multirroto, y que puedan causar daño alguno.

Para el inicio de la operación del vuelo del drone se necesita de un espacio despejado de un metro de distancia de las hélices a los que se pueda posar el RPA. En este espacio se dará inicio al giro de las hélices con su posterior elevación vertical.

La recepción en el descenso se recibirá en la misma plataforma de despegue. Se realiza mediante una descensión vertical a la superficie que más nos convenga.

Antes de comenzar el vuelo se debe tener cuidado de realizar una inspección visual del RPA para detectar posibles fallos en sus superficies de vuelo, como puede ser el que estas no estén bien instaladas o que estén en mal estado.

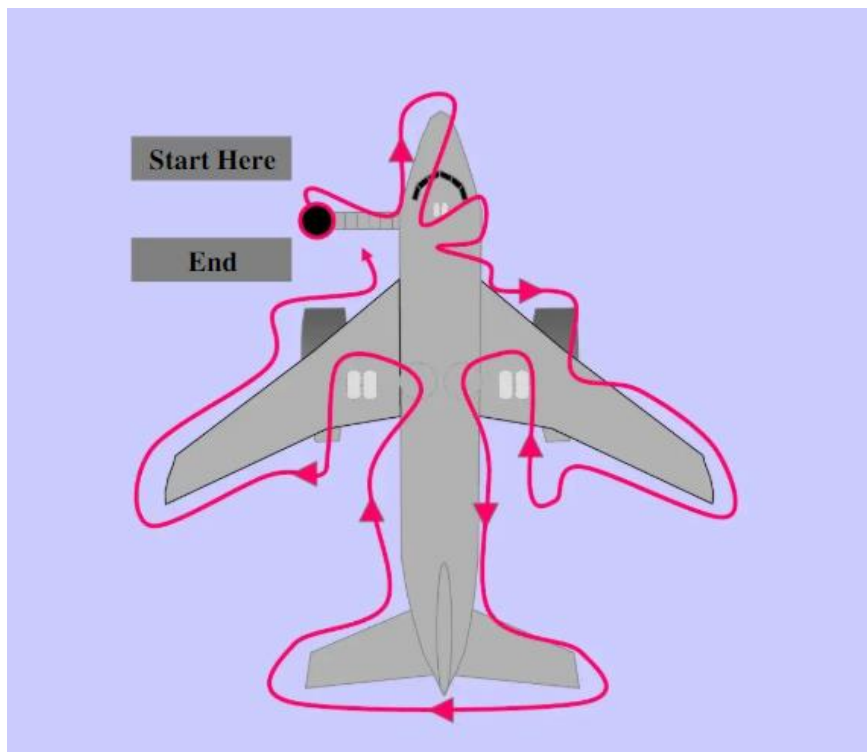
Como protocolo, antes de iniciar el vuelo se debe asegurar que las hélices estén bien apretadas y que estas giren libremente. Además de avisar a las personas de los alrededores que se realizara la operación de vuelo.

#### 4.2.2. Plan de vuelo

El plan de vuelo dependerá del programa de mantenimiento diseñado por la compañía fabricante de la aeronave a inspeccionar. Se seguirá el plan de mantenimiento siguiendo un protocolo de supervisión del fabricante.

Primeramente, se hace un vuelo en el hangar de mantenimiento, realizando un esquema de tres dimensiones del lugar, con el fin tener un mapa de tres dimensiones en donde se dará a cabo la operación de vuelo.

Una vez se conoce la aeronave a supervisar, el vuelo ha de ser programado para que el dron realice un seguimiento de la estructura ordenado. Una forma de lograr este objetivo es con la implementación de Way Points (puntos de referencia). Ajustando parámetros como la altitud, la velocidad, el ángulo del estabilizador y la orientación de la aeronave. De esta manera el vuelo tiene la opción de realizarse de forma autónoma o de forma controlada a través del piloto.



Fuente: <https://es.scribd.com/doc/62409758/B737-NG-Exterior-Preflight-Training>

Figura 4-1: Recorrido de inspección de un Boeing 737.

Debido a que las variables de la naturaleza no pueden ser predichas, está como norma general que el RPA debe ser controlado manualmente en todas las etapas del vuelo. Esto

conlleva que el piloto a distancia debe mantener permanentemente contacto visual directo con el RPA (VLOS).

#### 4.2.3. Detección de irregularidad

Las imágenes recogidas del fuselaje del avión son almacenadas en la unidad de memoria del RPA para poder ser analizadas más tarde detenidamente.

También existe la posibilidad de ver las imágenes en directo, pudiendo detectar un problema al mismo tiempo que el RPA realiza el vuelo.

Una vez las imágenes son recogidas de la unidad de memoria del RPA y transferida a un ordenador, se aplicará un programa para la transformación de ellas en un esquema de tres dimensiones, presentando un modelo a escala de la aeronave, para el análisis en detalle de la piel de la aeronave.

Una vez se detecta una irregularidad en la piel de la aeronave, se realizaría una tarea de mantenimiento en el informe de inspección.

### 4.3. COSTOS ASOCIADOS

#### 4.3.1. Drone

El precio de un dispositivo RPA en el mercado oscila entre los \$ 1.390.000 y \$ 1.900.000, rango obtenido de la tienda online de DJI (DJI, s.f.)

Los precios de los modelos varían según la capacidad de velocidad de vuelo y la calidad de imagen que puede obtener su cámara integrada. Existen precios menores que pertenecen a modelos no profesionales y precios mayores pertenecientes a modelos de RPA con características de vuelo rápido y a gran altura.

#### 4.3.2. Curso de instrucción teórica y practica

En Chile, para obtener la credencial de operador de RPA, primero se debe realizar un curso en donde se imparta las clases de instrucción teórica y práctica; de los conocimientos necesarios para realizar la operación de vuelo seguro de estas máquinas.

El valor de las clases que imparten las escuelas chilenas de manejo de drones oscila entre los \$ 150.000 y \$ 170.000. Este rango se obtuvo del sitio web de la institución HDRONES (HDRONES, s.f.)

#### 4.3.3. Costeos de mantenimiento RPA

Durante el proceso de la utilización de un RPA se puede tener desgaste de las piezas, o falla de alguno de los sistemas ya sea por la exposición al ambiente o por diferentes condiciones de operación que afectan a los materiales. Debido a esto se deben hacer revisiones cada 50 horas de vuelo. Cada 100 horas de vuelo la revisión debe hacerse por un especialista.

Por este motivo se debe tener en cuenta el coste de mantenimiento de los sistemas.

En Chile la tienda oficial de DJI realiza mantenimiento a las drone solicitados, este servicio tiene un costo asociado de \$ 40.000. En caso de que la falla sea irreparable o que comprometa a los demás sistemas y el vuelo seguro, se realiza un cambio del sistema o unidad por una nueva. Precio consultado en el sitio web de DJI (DJI, s.f.)

Los componentes y sistemas que integran a un drone pueden ser mantenidos por un TUMA, ya que estas piezas de electrónica aeronáutica son parte del estudio de la carrera.

#### 4.3.4. Costeos de mano de obra

Para este caso, se desconoce la remuneración de un piloto de RPA, debido a que no existe como profesión conocida en Chile.

Con la estimación de la suma de conocimientos necesarios para operar un drone de forma segura, manejarse dentro de un hangar de mantenimiento, las habilidades computacionales y de manejo de rutas de vuelo para la inspección del fuselaje del avión. Se realiza un estimado a pagar aproximado de \$ 400.000 por la prestación de los servicios de fotogrametría de un avión comercial.

## **CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES**

Por el momento la viabilidad de la utilización de equipos voladores en las cercanías de aeronaves comerciales se ve obstaculizada por el hecho de ser consideradas como un peligro para el avión.

Tanto la evolución de la aeronáutica como el desarrollo de los drone han crecido gracias a la acumulación de experiencias de los aventurados en la aeronáutica. Hoy en día el mercado dispone de aparatos con equipo de vuelo apropiadas para un vuelo seguro, sin embargo; como ya está comprobado con el paso del tiempo; siempre surgen nuevas tecnologías que superan a las anteriores. Por lo tanto, se puede suponer que aunque ya se disponen de sistemas para la operación segura de vuelo, se podría aumentar esta seguridad con la investigación y desarrollo de nuevos equipos. Uno de los principales factores por los que no se implementan en uso constante es debido a su corta duración de vuelo. A pesar de que las baterías pueden realizar un vuelo seguro por 30 minutos, este tiempo es bajo para la realización de tareas. Por ello se deja a las futuras mentes pensadoras la implementación de nuevos tipos de alimentación que permitan mantener a estas aeronaves comandadas a distancia con un mayor tiempo de vuelo seguro.

Con el desarrollo e investigación de la normativa aeronáutica se concluye que la legislación chilena prohíbe la utilización de RPAS a las cercanías de una aeronave, por lo que para llevar a cabo esta propuesta, es necesario realizar una investigación extensa que permita establecer a la DGAC que la aplicación de vuelo no compromete a la seguridad de las aeronaves cercanas, y que la misma señal de frecuencias VHF y HF que emiten los sistemas GPS de un drone no compromete la comunicación de las aeronaves y la torre de control.

No es de dudar de que los RPA son unos de los grandes avances tecnológicos que presenta el ámbito aeronáutico. Así también lo entiende la empresa Airbus, que junto a su grupo de investigación desarrollaron un drone de inspección avanzada como tarea de mantenimiento. Demostrando así que no solo es posible la utilización de este sistema en la industria aeronáutica, sino que también su equipo demostró que con este equipo es posible reducir la terea de inspección de un día a tan solo tres horas.

Esta propuesta está pensada del tal modo que la implementación de la tarea de inspección pueda ser realizada por un TUMA. Como también la mantención de los equipos de RPAS para lograr mantener los equipos en un estado de funcionamiento seguro. Por lo que se deja a futuras generaciones la tarea de mantenerse al día con las nuevas tecnologías drone y sus sistemas digitales de modo de estar preparados para una posible utilización en el campo laboral.

## BIBLOGRAFÍA

1. DAN 151 Operaciones de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) en asuntos de interés público, que se efectúen sobre áreas pobladas. Dirección general de aeronáutica civil – Departamento planificación – Documento electrónico – última revisión 10 febrero 2017. Santiago de Chile: 2015. 16p.
2. DAN 91 Reglas del aire. Dirección general de aeronáutica civil – Departamento planificación – Documento electrónico – última revisión 24 Octubre 2018. Santiago de Chile: 2018. 77 p.
3. ¿CÓMO OPERAR UN DRON EN CHILE? DGAC [en línea] < <https://www.dgac.gob.cl/como-operar-un-dron-en-chile/> >. [consulta 13 Agosto 2019]
4. Phantom Serie. Retrieved. DJI STORE [en línea] < <https://www.djistore.cl/shop/210-phantom-serie> >. [consulta 1 Septiembre 2019]
5. Un nuevo dron de la DGT vigilará y multará desde otoño en las carreteras de Aragón. HERALDO [en línea] < <https://www.heraldo.es/noticias/aragon/2019/08/26/un-nuevo-dron-de-la-dgt-vigilara-y-multara-desde-otono-en-las-carreteras-de-aragon-1331248.html> > [consulta 26 agosto 2019]
6. Curso de drones. HDRONES [en línea] < <https://www.academiadronchile.cl/curso-de-drones/> >. [consulta 20 Agosto 2019]
7. Fotografía dron. PHOTOPILLS [en línea] < <https://www.photopills.com/es/articulos/fotografia-dron> >. [consulta 4 Septiembre 2019]
8. Drones y sensores. RUNCO, [en línea] < <https://www.agro.runco.com.ar/drones-y-sensores.html> > [consulta 19 Junio 2019]
9. Historia de los drones. 26 DRONES, [en línea] < <https://26drones.club/blogs/news/historia-de-los-drones> >. [consulta 3 Agosto 2019]
10. Airbus launches advanced indoor inspection drone to reduce aircraft inspection times and enhance report quality. AIRBUS, [en línea] < <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2018/04/airbus-launches-advanced-indoor-inspection-drone-to-reduce-aircr.html> > [consulta 3 de Agosto 2019]

**ANEXOS**

**ANEXO 1: SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA REALIZAR OPERACIÓN  
CON AERONAVES TIPO RPA**

ANEXO "D"	
Fecha solicitud:	
Sres. Dirección General de Aeronáutica Civil Subdepartamento Operaciones	
Por medio del presente documento, vengo solicito autorización para realizar operación con aeronaves del tipo RPA, conforme se indica:	
1	Datos del Operador
2	Objetivo del vuelo
3	Periodo de operación
4	Área a sobrevolar
5	Tipo de vuelo
6	Despegue - Aterrizaje
7	Distancia del lugar del vuelo a los aeródromos cercanos
8	Altitud
9	Características del RPA
10	Procedimiento de recuperación
11	Declaro conocer las siguientes normas:
12	Nombre de la compañía aseguradora por daños a terceros y N° de Resolución de la Junta de Aeronáutica Civil
<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/> NOMBRE Y FIRMA DEL OPERADOR	

Fuente: DAN 91

**ANEXO 2: DECLARACION JURADA ANTE NOTARIO DE HABER RECIBIDO INSTRUCCIÓN**

**APÉNDICE “C”**

**DECLARACIÓN JURADA ANTE NOTARIO DE HABER RECIBIDO INSTRUCCIÓN**

En....., a..... de.....de.....

Yo,.....

(Profesión u oficio).....domiciliado en.....

.....

DECLARO BAJO JURAMENTO que he recibido instrucción teórica y práctica respecto al uso de una aeronave no tripulada RPA modelo:.....

Firma.....

RUT.....

**ANEXO 3: SOLICITUD DE REGISTRO DE RPA**

RPA N° \_\_\_\_\_

**SOLICITUD DE REGISTRO DE RPA**

**A. DATOS DEL PROPIETARIO**

1. Nombre \_\_\_\_\_

2. Dirección \_\_\_\_\_ 3. RUT \_\_\_\_\_

4. Teléfono \_\_\_\_\_ 5. Email \_\_\_\_\_

**B. DATOS DE LA AERONAVE**

1. Tipo de Aeronave  Avión  Multirrotor  Otro \_\_\_\_\_

2. Marca \_\_\_\_\_ 3. Modelo \_\_\_\_\_ 4. N° Serie \_\_\_\_\_

5. Motorización  Eléctrico  Combustión  Otro \_\_\_\_\_

6. Fabricante \_\_\_\_\_ País \_\_\_\_\_

7. Peso Máx. Despegue \_\_\_\_\_ Autonomía \_\_\_\_\_  
Paracaídas \_\_\_\_\_

**C. EQUIPAMIENTO INCORPORADO**

1. \_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_

4. \_\_\_\_\_

5. \_\_\_\_\_

6. \_\_\_\_\_

7. \_\_\_\_\_

8. \_\_\_\_\_

**D. NOTAS**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

FECHA RECEPCION \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
FIRMA DEL PROPIETARIO

Fuente: DAN 151

**ANEXO 4: AUTORIZACIÓN DEL PROPIETARIO DE RPA**

AUTORIZACIÓN DEL PROPIETARIO DE RPA		
	REPUBLICA DE CHILE	
	DIRECCIÓN GENERAL DE AERONÁUTICA CIVIL	
Autorización N°	Nombre del Propietario	Nombre(s) del (los) Pilotos a distancia con que operará:
		-
		-
N°(s) de registro(s) de los RPA:	Dirección del Propietario	-
-		-
-		
-		
	Teléfono fijo:	
	Celular:	
	E-mail:	
<p>Por la presente, se certifica que.....ha cumplido con los requisitos exigidos para operar RPA, en conformidad a la DAN 151, sobre áreas pobladas, en la(s) siguiente(s) actividades de interés público:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Obtención de imágenes o información sobre hechos de connotación pública con la finalidad de difundirlas a través de medios de comunicación.</li> <li><input type="checkbox"/> .....(Ejecución de actividades de apoyo en relación con desastres o emergencias provocadas por la naturaleza o por la acción del ser humano).</li> <li><input type="checkbox"/> .....(Cumplimiento de las funciones legales de algún organismo de la Administración del Estado).</li> <li><input type="checkbox"/> .....(Otras situaciones de interés público, que la DGAC califique sobre la base de la seguridad de la operación).</li> </ul>		
Fecha de expedición	Director General de Aeronáutica Civil.	

Fuente: DAN 151