



**LOS LIBERTADORES**  
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

# **INSPECCIÓN DE ÁREAS DE MOVIMIENTO EN UN AERÓDROMO CON SISTEMAS UAS EN ARMONÍA CON RECOMENDACIONES DE LA OACI**

**DANIEL FELIPE MORALES INFANTE**  
**GEORGE MAURICIO ARDILA MARULANDA**

Dirigido por: **Cristian Lozano Tafur M.Sc**  
Codirigido por: **Jaime Enrique Orduy Rodríguez M.Sc**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:  
**Especialista en Sistemas de Aeronaves No Tripuladas.**

Fundación Universitaria Los Libertadores.  
Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas.  
Bogotá, Colombia.

2022

# Contenido

RESUMEN .....	3
ABSTRACT .....	4
1. INTRODUCCIÓN .....	5
2. METODOLOGÍA .....	11
3. INSPECCIÓN DE ÁREAS DE MOVIMIENTO EN UN AERÓDROMO .....	12
• Fase de vuelo .....	19
• Pruebas experimentales .....	20
• Inspecciones convencionales .....	20
• Pruebas en pista .....	21
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	28
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	34

## RESUMEN

Este documento plantea una propuesta metodológica para la realización de inspecciones de niveles 1 y 2 de las áreas de movimiento de los aeródromos civiles y/o militares empleando Sistemas Aéreos No Tripulados. A partir de las recomendaciones que otorga la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), buscando así, disminuir el tiempo de ejecución de los procedimientos en comparación con los métodos convencionales. Para ello, se realizaron vuelos de prueba de los cuadricópteros *Mavic 2 Pro* y *Mavic 2 Enterprise Advanced* de la marca DJI, donde se muestra la comparación la altura de vuelo, tomas de fotografías con cámaras RGB y Térmica, teniendo en cuenta los documentos DOC9981 Procedimientos para Servicios de Navegación Aérea y DOC9137 Servicios Operacionales de Aeropuerto. El ejercicio se desarrolla en la pista de la Base Aérea Mayor Justino Mariño Cuesto asignada al Comando Aéreo de Mantenimiento (CAMAN) de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) ubicada en Madrid, Cundinamarca. Finalmente se exponen los resultados obtenidos y análisis de los vuelos realizados según la metodología planteada, al ser este un proceso experimental ya que no se cuenta con registro de inspecciones en aeropuertos con el uso de sistemas aéreos no tripulados.

**Palabras clave:** Navegación Aérea, Inspección, área de movimiento, FOD, UAS.

## **ABSTRACT**

This document aims to propose a methodology approach to perform level 1 and 2 inspections of the movement areas of civil and military aerodromes using Unmanned Aerial Systems, based on the recommendations provided by the Civil Aviation Organization (ICAO), to reduce the execution time of the procedures following conventional methods. Therefore, test flights of the DJI Mavic 2 Pro and Mavic 2 Enterprise Advanced quadcopters were performed, showing the difference between the camera angles, flight altitude, photos, and videos taken with RGB and Thermal cameras, including the documents DOC9981 Procedures for Air Navigation Services and Document DOC9137 Airport Operational Services. The test took place on the runway of the Major Justino Mariño Cuesto Air Base assigned to the Air Maintenance Command (CAMAN) of the Colombian Air Force (FAC) located in Madrid, Cundinamarca. Finally, the procedures, calculations, results obtained, graphs, and their respective analysis were present.

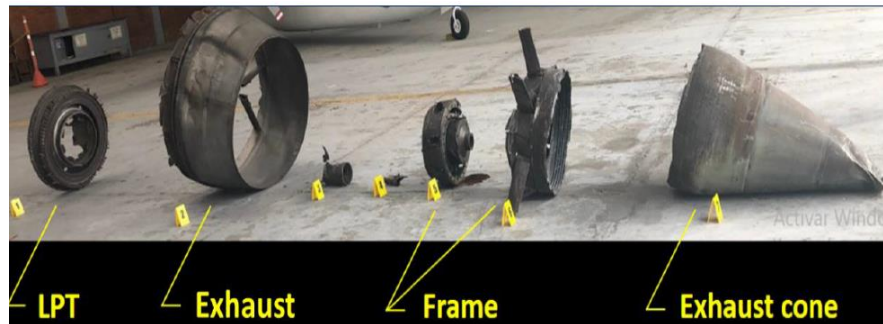
**Keywords:** Navigation Services, Inspections, movement area, FOD, UAS.

## 1. INTRODUCCIÓN

El sector aeronáutico siempre se ha caracterizado por sus altos estándares e indicadores de seguridad, por ejemplo, según el observatorio de la Agencia Nacional De Seguridad Vial de Colombia reportó para el año 2021 un total de 5889 accidentes viales (ANSV, 2022) mientras que la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil - UAEAC en su portal web, en el apartado de reportes de accidentes graves solo registra un total de 21 accidentes para el mismo año (Aerocivil, 2021a), el factor determinante para poder garantizar dichos niveles de seguridad es que la aviación civil está regida en todos los países que sean pertenecientes a la OACI bajo las mismas recomendaciones, y la Organización De Aviación Civil Internacional vela por regular los protocolos, normas y demás agentes que son partícipes del correcto desarrollo de la operación aeronáutica para garantizar la seguridad operacional en todo ámbito. Sin embargo, no existe un sistema 100% infalible; y el sector aeronáutico no es la excepción, uno de los incidentes registrados por la UAEAC en el 2021 se presentó en el aeropuerto internacional El Dorado en la ciudad de Bogotá el 11 de marzo del 2021 (Aerocivil, 2021b) en este caso una aeronave Airbus A300 se disponía a despegar por la pista 31R, sin embargo, en el recorrido de despegue se presentó una falla en el motor izquierdo de la aeronave que ocasiono su explosión, abortando el despegue de esta aeronave, mientras que otra aeronave que se encontraba a la espera para ingresar a la misma pista, le reporta a ATC que se evidencian restos del motor en la pista, como se observa en la Figura 1 lo que ocasiona que se active el procedimiento de inspección de área de movimiento, en este caso de la pista, en busca de daños en la superficie asfáltica o elementos que puedan ocasionar daños a otras aeronaves y poner en riesgo la seguridad operacional.

## Figura 1.

*Elementos desprendidos accidente.*



Fuente: El Dorado tomado de (Aerocivil, 2021b)

Por otra parte en el aeródromo de Santa Rosa del Sur, Antioquia, el 6 de abril del mismo año se presentó un incidente cuando una aeronave se encontraba en la fase de aterrizaje (Aerocivil, 2021c) en este caso se trataba de una aeronave AC90 *Turbo Commander*, en el momento que el piloto se encontraba realizando esta maniobra, se percató en la pista se encontraban algunos animales, específicamente semovientes, el piloto toma la decisión de continuar con el aterrizaje, intentando esquivar a los animales sin lograrlo, tristemente algunos de estos animales fallecieron por las heridas ocasionadas con la colisión, y la aeronave sufrió daños estructurales considerables, como se observa en la Figura 2.

## Figura 2.

*Aeronave accidentada aeródromo.*

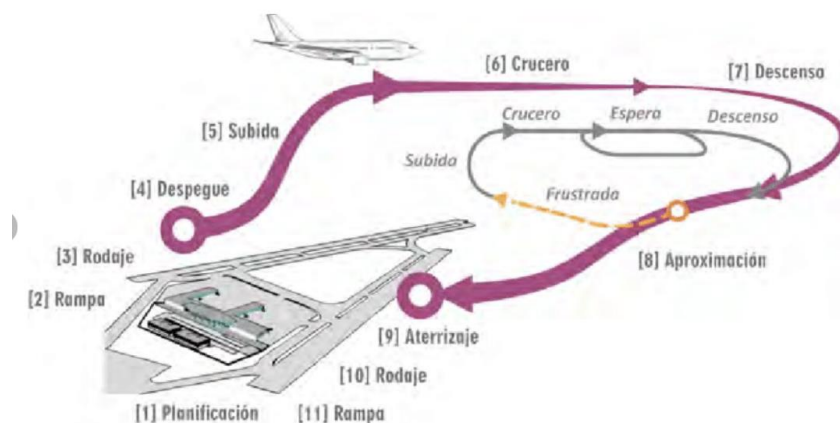


Fuente: Santa Rosa del sur tomado de (Aerocivil, 2021c)

En estos dos casos se puede determinar un común denominador, la importancia que las áreas de movimiento (en estos casos la pista) se encuentre en un buen estado, y adicional, sin ningún tipo de elemento extraño u obstáculo que represente un riesgo para las operaciones denominado FOD. Además, y para los fines de este artículo, es importante identificar las fases que componen un vuelo, y limitar dichas fases a las que sean directamente afectadas por no realizar un correcto programa de inspección de área de movimiento. Un vuelo se compone de diez fases desde el punto de vista de los servicios ATM según lo estipulado por la OACI en el documento 9854 (OACI, 2005) como se observa en la Figura 3, dichas fases principales son, desde el momento en que la aeronave se encuentra en rampa lista para salir, hasta el momento que llega a su lugar de destino y se posa nuevamente en una posición en rampa, no obstante, para limitaciones de este artículo son afectadas directamente la fases de rampa, rodaje, despegue y aterrizaje, debido a que estas son las fases en las cuales la aeronave realiza maniobras en tierra, específicamente en las diferentes áreas de movimiento, que en caso de no estar en un buen estado, y con un correcto procedimiento de inspección, representa un gran peligro para la aviación civil.

### Figura 3.

*Fases de vuelo aeronave.*



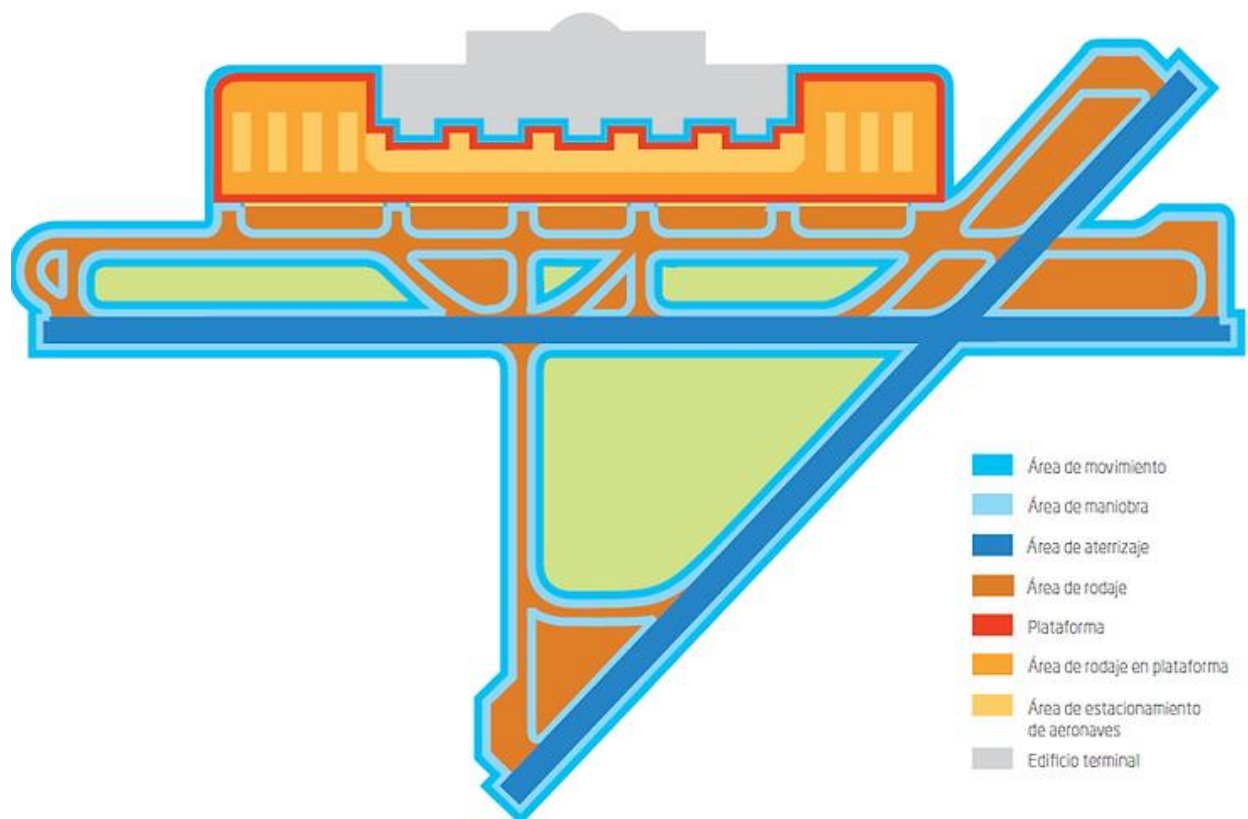
Fuente: Tomado de (OACI, 2005)

Teniendo en cuenta lo anterior, se define el área de movimiento de acuerdo con el documento 9981 de la OACI (OACI, 2020) en el apartado de definiciones del anexo 14 de la OACI, como “parte del aeródromo que ha de utilizarse para el despegue, aterrizaje y rodaje de aeronaves, integrada por el área de maniobras y plataforma” (OACI, 2016), en ese sentido, podemos referenciar, para este artículo, las áreas a inspeccionar de la siguiente manera, presentadas en la Figura 4:

- La pista o *runway*, indicadas con el color azul.
- Calles de rodaje o *taxiways*, indicadas por el color naranja oscuro.
- La plataforma y áreas de servicio, delimitada por la línea de color rojo.
- Áreas adyacentes a la pista para maniobras, indicadas por el color azul claro.

**Figura 4.**

*Área de movimiento de aeródromo.*



*Fuente: Tomado de (AVSAF, 2021)*



Dentro de estas áreas existen varios factores de riesgo latentes que puedan poner en riesgo la seguridad operacional de la aviación civil, algunos de los factores que se pueden encontrar son los FOD (por sus siglas en inglés *Foreign Object Debris*) (OACI, 2016), que no es más que los elementos que se consideran contaminantes o agentes extraños que no deberían estar en el área de movimiento debido a que no hacen parte de la operación y pueden provocar daños en las aeronaves y así afectar a la seguridad operacional, estos elementos pueden tener diferentes orígenes, pero los más comunes son piezas pequeñas que se desprenden de las aeronaves al momento de aterrizar o despegar, elementos que se caen del personal en tierra, partes de equipajes o elementos de servicios en tierra que se prestan en la plataforma, entre otros. Dichos elementos pueden generar daños, como en el tren de aterrizaje o en las llantas, o en un caso más fatídico que se presente la ingesta de alguno de estos elementos hacia los motores de las aeronaves generando daños que pueden ser catastróficos o de un alto costo de mantenimiento. De igual manera cobra un gran valor a inspeccionar el estado del pavimentado de cada uno de los componentes que conforman el área de movimiento, ya que si por ejemplo en una calle de rodaje el pavimento se encuentra en un mal estado y una aeronave transita por este espacio con su capacidad de carga a un alto porcentaje de ocupación, se podría generar daño estructural en la aeronave por las oscilaciones y vibraciones que se generen. Así mismo, si una aeronave aterriza con un peso mayor al que pueda soportar una pista, podría generar grietas o desprendimientos de pavimento en la pista, ocasionando retrasos o cancelación en la operación por razones evidentes de seguridad operacional.

Por esta razón, la OACI en el anexo 14, referente a aeródromos, proporciona recomendaciones del diseño, mantenimiento y operaciones tanto en tierra como en el espacio aéreo de un aeródromo (OACI, 2016). Para los fines de este artículo se enfoca su desarrollo en los documentos 9137 parte 8 servicios operacionales de aeropuertos (OACI, 1983), y el documento 9981 aeródromos (OACI, 2020); para realizar las tareas de inspección de las áreas de movimientos en aeródromos, y así establecer una metodología de inspección con sistemas UAS segura para la operación aérea y del aeródromo a inspeccionar.

Dicho lo anterior, la OACI por medio del documento 9981, en la parte II capítulo 3 “Inspecciones de área de movimiento” da los lineamientos y estándares generales de los componentes a validar al momento de hacer la inspección, así como el tipo de inspecciones que se deben realizar como mínimo. En el numeral 3.1.3 del documento ya mencionado se clasifican las inspecciones entre dos tipos. (OACI, 2020).

Inspecciones de nivel 1 que son inspecciones rutinarias o diarias, se realizan en conjunto con la operación del aeródromo, en estas inspecciones se realiza la búsqueda de FOD, que los diferentes componentes que conforman el área de movimiento se encuentren libres de los FOD, y en general que las condiciones del área de movimiento sean óptimas para la seguridad tanto de las aeronaves como del personal en tierra. Teniendo en cuenta que estas inspecciones se pueden realizar más de una vez al día y conociendo las grandes dimensiones de las que consta las áreas de movimiento de un aeródromo, es recomendación de la OACI realizar este tipo de inspecciones con ayuda de vehículos con el fin de generar el menor retraso posible por la ocupación de pista o calle de rodaje por parte del personal en tierra que realiza la inspección, ya que por protocolos de seguridad establecidos, no pueden haber ningún tipo de vehículos, cuerpos extraños o FOD, u otras aeronaves que por alguna razón se encuentren obstruyendo estas áreas. Sin embargo, si la inspección se realiza con la ayuda de vehículos, la velocidad de estos debe ser la menor posible para garantizar que el inspector que realiza las actividades pueda observar las posibles anomalías de mejor manera.

Inspecciones de nivel 2 o inspecciones regulares, son realizadas principalmente como parte del programa de mantenimiento de las aéreas de movimiento de un aeródromo, y consisten en realizar una verificación más detallada de las condiciones en las cuales se encuentra el área de movimiento, en este caso también se realiza la verificación del sistema de iluminación, la señalización de pistas y calles de rodaje. Estas inspecciones deben ser llevadas a cabo por un personal especializado que garantice una correcta capacitación en la identificación de los servicios con los que cuenta el aeródromo y así brindar una inspección a cabalidad y detallada del área de movimiento. Para estas inspecciones se recomienda hacer una subdivisión del área de movimiento entre calles

de rodaje, pistas, y áreas de aproximación con el fin de realizar un plan de inspección y que se realice esta actividad de la manera más detallada posible, así mismo, se recomienda hacer un *check-list* de los servicios y condiciones a validar en el área de movimiento, esto con el objetivo de mantener el mismo rigor o estándares a la hora de realizar este proceso. Teniendo en cuenta todo lo anterior mencionado, y en búsqueda de implementar los avances tecnológicos al sector aeronáutico, con el fin de buscar procedimientos que se encuentren a la vanguardia, se desea plantear una metodología en la cual se pueda hacer el uso de aeronaves remotamente tripuladas o en los procesos de inspección de las áreas de movimiento de un aeródromo, y poder así establecer el paso a paso para realizar inspecciones de nivel 1 e inspecciones de nivel 2 con drones, y evaluar la eficiencia de este proceso, ventajas y desventajas que se encuentren durante el proceso experimental, así como una comparativa con los estándares con los cuales se realizan las inspecciones de las áreas de movimiento de la Base aérea Mayor Justino Mariño Cuesto asignada al Comando Aéreo de Mantenimiento (CAMAN) de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) ubicada en Madrid, Cundinamarca.

## **2. METODOLOGÍA**

La metodología empleada en el desarrollo del proyecto fue experimental, ya que se parte de la observación y la toma de datos, originados de experimentos de los vuelos realizados. El trabajo tuvo un enfoque cuantitativo, con un desarrollo experimental a través de la toma de datos de las áreas de movimiento de la base aérea. De acuerdo con Hernández (Hernández Sampieri, 2014) una vez definida la forma de recolección de datos acorde con el planteamiento del problema, correspondiente a la toma de fotografías aéreas con cámaras que poseen sensores tradicionales y térmicos, los primeros para una revisión preliminar y los segundos para una inspección detallada, se seleccionaron los instrumentos con los que se realizaron las tomas de datos. Se eligieron los cuadricópteros *Mavic 2 pro* y *Mavic 2 Enterprise Advanced*, de la empresa DJI, los cuales cuentan con las características especiales que permitieron recolectar las fotografías con las exigencias estipuladas anteriormente (Véase Anexo 1). Con la aplicación de los instrumentos de medida se obtuvieron las fotografías a través de misiones de vuelo programadas y manuales que facilitaron el proceso de inspección. Los

datos se recolectaron de manera digital en una memoria *microSD* para su posterior la codificación, con lo que se obtuvo además varios ortomosaicos, para el posterior análisis evaluación y comparación con los métodos tradicionales.

Recordando los dos tipos de inspección recomendados por la OACI en el documento 9981 (OACI, 2020), inspección de nivel 1 o inspección diaria, e inspección de nivel 2 o inspecciones regulares, deberían contar con un *log* o bitácora de inspección que cuente con al menos los siguientes factores:

- Detalles de la inspección, intervalos y tiempos.
- Nombres de las personas que desarrollan la inspección.
- Resultados y observaciones de la inspección.

Así mismo, en esta bitácora se deberían registrar todos los movimientos que se realicen, y acciones que se lleven a cabo, con el fin de poder realizar verificaciones posteriores. Recapitulando en las inspecciones de nivel 1, al ser estas inspecciones diarias, estas deben realizarse de manera recomendada previo al inicio de las operaciones del aeródromo y una vez finalizadas las mismas, dado el caso que se trate de un aeropuerto que sus operaciones sean 24 horas, las inspecciones deberían realizarse como mínimo con el amanecer y con el atardecer, ahora bien, esto no quiere decir que sea el único momento en el cual deban realizarse las inspecciones, dado el caso que la operación del aeródromo sea pesada, deberían acordarse con el grupo ATC inspecciones a lo largo del día operativo.

### **3. INSPECCIÓN DE ÁREAS DE MOVIMIENTO EN UN AERÓDROMO**

Las inspecciones de nivel 1 están enfocadas principalmente a identificar riesgos en la pista, de igual forma, en estas se deben tener en cuenta las necesidades específicas de cada aeródromo, es decir las circunstancias de su operación y análisis para identificar riesgos. Así mismo, deben de implementarse las rutas de inspección y ser acordadas previamente con los servicios de ATC para minimizar todo riesgo, además de que estas

rutas deben realizarse en dirección opuesta a la operación de la pista con el fin de que tanto la aeronave y el inspector puedan tener visibilidad el uno del otro en caso de una incursión de pista, y el inspector debe de reportar cualquier tipo de anomalía que pueda representar un riesgo para la seguridad operacional. Al momento de inspeccionar la pista hay que tener en cuenta que se deben detallar los elementos que la componen, los canales de limpieza para la acumulación de caucho, así mismo la búsqueda de FOD que puedan representar riesgo de ingesta en los motores de las aeronaves, señales de daños en la superficie del pavimento como grietas, fracturas o desprendimientos de asfalto, también se debe de inspeccionar las señales pintadas en la pista, que estas se encuentren en buen estado y sean visibles, de igual forma, se deben de verificar los sistemas de drenaje de pista, que se encuentren sin obstrucción para evitar acumulaciones de agua en pista, los sistemas de aproximación PAPI (*Precision Approach Path Indicator*), que se encuentren bien calibrados así como el resto de sistema de iluminación de pista, y finalmente se debe tener control de la fauna silvestre que se encuentre aledaña al aeródromo y pueda representar un riesgo para la operación.

Por otra parte, se debe tener en cuenta en las inspecciones de nivel 1, la validación de las calles de rodaje, que la totalidad de la superficie pavimentada perteneciente se encuentre en buen estado, que todas las señalizaciones y marcas pintadas no presenten alto deterioro y sean visibles. Con esto se debe llevar control si se tiene registro de algún trabajo que se esté realizando en zonas aledañas a las calles de rodaje, ya que si se cuentan con mayores actores en la operación esto incrementa el nivel de riesgo y por ende debe incrementarse el nivel de detalle en las inspecciones, del mismo modo el estado del césped adyacente a las calles de rodaje, que no se encuentre FOD en él y que el césped no se encuentre muy alto.

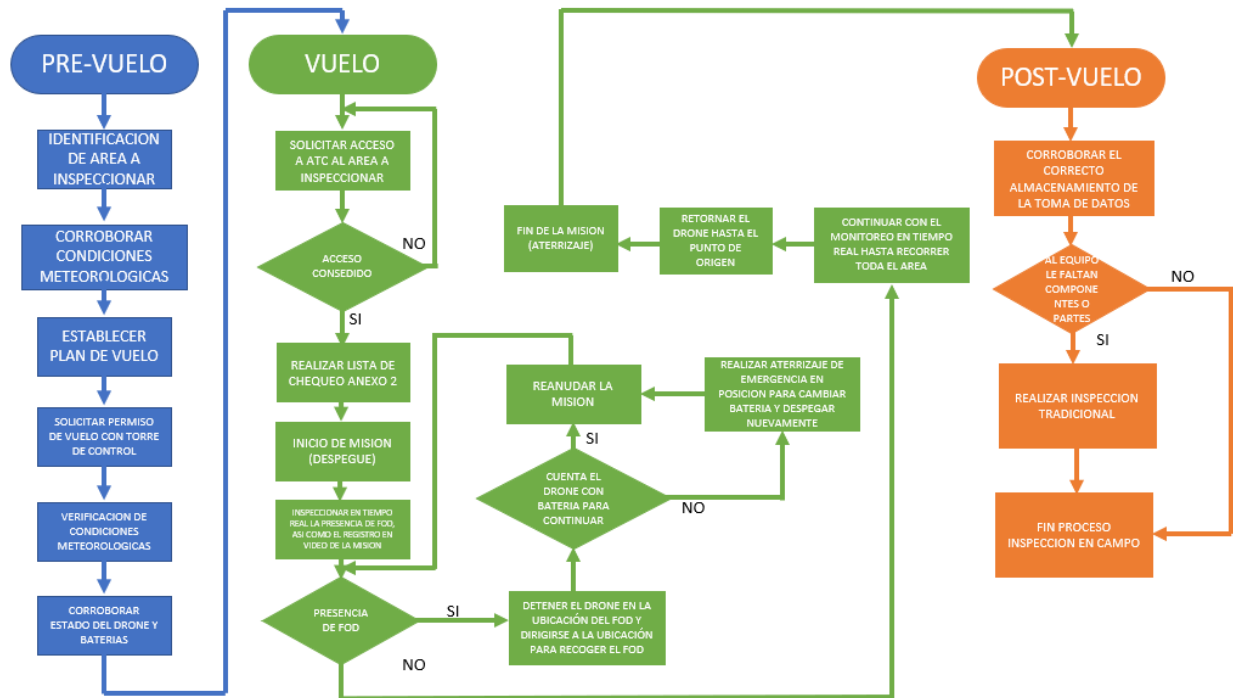
En el área de rampa se debe tener mayor cuidado en las áreas pavimentadas con la búsqueda de FOD, ya que en esta área convergen diferentes actores como vehículos de servicio, vehículos cisterna de combustible, vehículos encargados de catering y equipaje y de más, por ende, aumenta el riesgo de la existencia de FOD en esta área, de igual manera, las demarcaciones pintadas en la rampa deben inspeccionarse de manera

regular en búsqueda de deterioro o que no sean claras las marcas, cualquier vehículo que se encuentre en una posición no autorizada o en la cual no debería estar y los sistemas de drenaje. En el resto de las áreas de césped se deben tener en cuenta las condiciones generales de la vegetación, especialmente en la zona donde se genera el *jet blast* de las aeronaves o el aire caliente de empuje generado por los motores, esto monitoreando la altura de la vegetación con el fin de no perder visibilidad a la hora de realizar búsqueda de FOD. Cabe aclarar que, si estas inspecciones se realizan después de fuertes lluvias, deben validarse todas las áreas pavimentadas y de césped pertenecientes al área de movimiento, en búsqueda de inundaciones o represamientos de agua que indique un mal funcionamiento de los sistemas de drenaje.

En consideración con las recomendaciones de la OACI, se plantea el plan de trabajo que se puede observar en la Figura 5, en él se relacionan tres principales etapas en las cuales se puede desarrollar una misión de inspección nivel 1 con la ayuda de sistemas UAS. En primera fase o etapa de pre-vuelo, se deben tener en cuenta las consideraciones como la identificación plena del aeródromo a inspeccionar con la ayuda de los diferentes planos o mapas ya planteados para el desarrollo de la inspección tradicional. Una vez identificados los espacios de proceder a realizar el plan de vuelo, en él se debe realizar la delimitación del área en el cual el dron realizara el vuelo, la velocidad a la cual se realizará, hora del día de la operación, la configuración de altitud, y establecimiento de parámetros del sistema de retorno a casa en caso de que sea requerido usar. Una vez establecido correctamente el plan de vuelo se debe reportar a la torre de control del aeródromo con el fin de solicitar permiso para realizar este vuelo y confirmar la ventana que se dará para realizar la inspección, así mismo se deben corroborar los estados de las baterías a emplear en la misión, estado del dron, que este no presente señales de mal funcionamiento o partes desajustadas, y el correcto funcionamiento del sistema de almacenamiento del dron para no tener contratiempos a la hora de guardar los datos.

Figura 5.

Diagrama de flujo inspección nivel 1



Fuente: Elaboración propia (2022)

Una vez confirmados los permisos por parte del ATC, estado del *drone* y condiciones meteorológicas, se procede a desplazarse al área a inspeccionar para dar inicio a la labor, es importante recalcar que desde este punto se debe mantener comunicación constante con ATC para minimizar al máximo cualquier riesgo, al llegar al área a inspeccionar se deben solicitar permiso al ATC para ingresar al espacio, ya que es la persona encargada de esa dependencia quien tiene real conocimiento de las operaciones que se están llevando a cabo y en qué momento se puede dar inicio a la labor de inspección, una vez contado con el permiso de acceso, se debe desplegar el *drone* e iniciar con la lista de chequeo de vuelo que se encuentra en Anexo 2. Una vez corroborados todos los puntos de la lista de chequeo podemos dar inicio al vuelo, informando al ATC sobre el inicio del despegue, es importante mencionar que para este proceso se toma un registro videográfico, ya que con esto se podrá contar con un soporte

de las inspeccionar realizadas, que a su vez, se podrá validar el estado de las demarcaciones de pintura, sistemas de iluminación, y de más elementos que deben ser tenidos en cuenta según las recomendaciones de la OACI, sin embargo, es importante recalcar que el inspector debe estar atento todo el tiempo a la imagen que brinda el *drone* con el fin de garantizar la inspección en tiempo real.

Si durante este proceso el inspector identifica la presencia de un FOD, se debe detener el vuelo del *drone* en la posición en la cual se encuentra el FOD y el inspector deberá dirigirse a este punto con el fin de tomar y retirar el elemento hallado, una vez tomado el elemento extraño se deben evaluar las condiciones seguras de vuelo (OPAIN, 2017), en este caso que el equipo cuente con la batería suficiente para continuar con el resto de área faltante, esto lo se puede determinar con el cálculo de tiempos, en el plan de vuelo se debe registrar el aproximado que tomara realizar la misión, y si el área es conocida se puede determinar cuánto tiempo se requiere para finalizar la misión. Si el equipo no cuenta con la batería suficiente, se debe realizar un aterrizaje de emergencia en la posición donde quedó el equipo, realizar un cambio de batería y continuar con la misión, si el equipo cuenta con suficiente batería, desde ese momento se puede reanudar con la misión, y una vez recorrida toda el área a inspeccionar por el *drone*, se procede con la maniobra de aterrizaje según lo estipulado en el plan de vuelo, que por seguridad operacional, el mismo punto de despegue debería ser el punto de aterrizaje.

Finalmente, en la etapa de post-vuelo (véase Anexo 2), se debe verificar el correcto almacenamiento de las imágenes tomadas, ya que este es el valor agregado de realizar la inspección con sistemas UAS, además de contar con otra vista de perspectiva, también se debe hacer una validación de la lista de chequeo nuevamente, para corroborar que el *drone* aterrizó en las mismas condiciones con las cuales despegó, sin partes faltantes principalmente, ya que estos tienden a convertirse en FOD y en este caso sería requerido realizar la inspección tradicional, por lo contrario, se procede a reportar a ATC el fin de las labores y la retirada del área a inspeccionar. Si durante el proceso hubo presencia de FOD, se debe realizar el conducto regular establecido por cada aeródromo con la manipulación y procesamiento de FOD. (OPAIN, 2019).



Por otra parte, las inspecciones de nivel 2 o inspecciones regulares, se evalúa de igual manera la condición operativa de las áreas de movimiento, sin embrago, para estas inspecciones que son enfocadas al mantenimiento se contempla un periodo mayor de observación de mediano a largo plazo, en este caso la OACI recomienda realizar dichas inspecciones a pie, ya que el nivel de detalle debe ser mayor para garantizar que todos los servicios asociados al área de movimiento se encuentren en correcto funcionamiento. Debido a esto, y a las grandes dimensiones que tiene un aeródromo, lo recomendado es dividir todas las áreas por secciones o zonas dependiendo del tamaño del aeródromo.

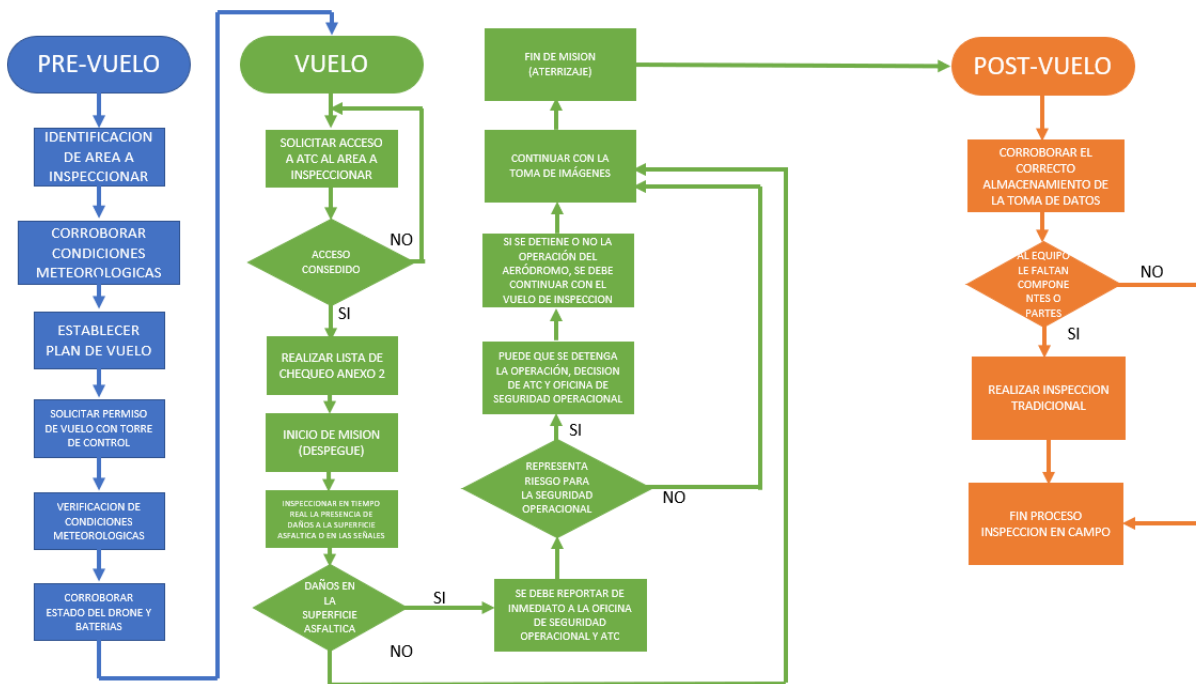
Al ser estas inspecciones un proceso de mantenimiento del aeródromo, el proceder al identificar una anomalía o una falla cambia, en este caso se debe tomar registro fotográfico de la anomalía encontrada, y hacer un seguimiento constante al avance del daño en caso de que no requiera una atención inmediata para poder evaluar hasta qué punto es requerido realizar una intervención. De esta forma, al inspeccionar la pista se hace un mayor énfasis en el estado estructural de la misma, se debe hacer una inspección detallada de la totalidad de la longitud y ancho de la pista, en búsqueda de grietas o fracturas, así mismo, hay que tener atención con las áreas de primer contacto entre las aeronaves y la superficie de la pista, ya que esta es la zona de la pista que se encuentra mayor expuesta a altos índices de carga o impacto. De igual manera se debe garantizar la inspección a las marcas pintadas y señales que se encuentren en la pista con el fin de que se encuentre en cumplimiento acorde con el anexo 14 de la OACI. (OACI, 2016).

Para el caso de las calles de rodaje cumple con los mismos lineamientos para tener en cuenta que la inspección de pista, salvo que, al representar una mayor área pavimentada, es recomendación de la OACI realizar esta inspección con un mapa donde ya se encuentre debidamente dividido en zonas el aeródromo para realizar la inspección, y así poder garantizar el menor tiempo de ocupación posible de la calle de rodaje. Finalmente, para la rampa hay que tener en cuenta que la inspección se debe realizar con el mapa de esta área donde se evidencien las diferentes divisiones de posiciones, demarcaciones, señalización y equipamiento que se encuentre adyacente a esta área,

con el fin de validar su buen estado y que en caso de alguna emergencia los elementos que se encuentren allí como extintores o teléfonos de emergencia sean funcionales. En este caso, se plantea una metodología un poco distinta a la planteada para las inspecciones de nivel 1, debido a que las inspecciones de nivel 1 deberían hacerse a una menor altura para garantizar el mayor nivel de detalle en la toma de imágenes, los vuelos de inspección de nivel 2 se pueden plantear a una mayor altura, debido a que se está en búsqueda de daños estructurales y de poder observar las condiciones operacionales en las cuales se encuentran las áreas de movimiento, se debe apoyarse de la fotogrametría para poder entregar los informes del estado del terreno, condiciones de demarcaciones y señales, condiciones del pavimento, y en general el estado el terreno en el cual se encuentra el aeródromo, en esta metodología, como se observa en la Figura 6, se plantea buscar de primera mano daños en la superficie asfáltica, ya que son estos los que representan un mayor riesgo para la seguridad operacional y si pueden llegar a generar retrasos en la operación o hasta la cancelación de servicios.

**Figura 6.**

*Diagrama de flujo inspección nivel 2*



*Fuente: Elaboración propia (2022)*

La metodología planteada de inspecciones de nivel 2, las fases de pre-vuelo y post-vuelo no tienen alteraciones, debido a que debería hacerse la misma preparación ya que no cambia el equipo a usar ni el terreno a inspeccionar. Sin embargo, teniendo en cuenta lo ya explicado referente a las inspecciones de nivel 2, en estas no se realiza la inspección en la totalidad del área de movimiento a validar, si no se deben realizar subdivisiones, por lo que en plan de vuelo también debe plantearse de manera distinta, teniendo en cuenta las nuevas alturas y áreas a recorrer. Así mismo en el post-vuelo se debe validar, de igual manera, que el UAV no haya dejado algún FOD, y corroborando y validando que el equipo se encuentre completo y sin componentes faltantes.

- **Fase de vuelo**

Para la fase de vuelo cambia el paso a paso a seguir, ya que la principal actividad en esta inspección es validar que las condiciones operacionales de las superficies, ayudas, señales y de marcaciones pintadas, que se encuentren en buen estado, y en este sentido, la superficie asfáltica no tenga desprendimientos de pavimento poniendo en riesgo a la aeronave y al personal en tierra. Por lo que, al momento en el que se esté realizando el vuelo de inspección y se detecte una anomalía en la superficie asfáltica o cualquier tipo de anomalía, esta debe ser reportada de inmediato a la oficina de seguridad operacional y a los servicios ATC, ya que son ellos quienes deben validar si es requerido o no interrumpir las operaciones en el aeródromo, en este caso la labor del operador del *drone* es solo es de inspeccionar y reportar las novedades encontradas.

De igual manera, es importante mencionar que de llegarse a encontrar un daño considerable que ocasione que los servicios ATC y la oficina de seguridad requieran interrumpir la operación del aeródromo, el proceso de inspección se debe continuar y finalizar en su totalidad según lo planeado, ya que de encontrarse un daño, es muy probable que existan más, o viéndolo desde otro punto de vista, con encontrar una novedad no se garantiza que el restante de área por inspeccionar se encuentre en buenas condiciones. Una vez finalizado el vuelo se deben entregar las coordenadas de las novedades encontradas, soporte fotográfico, y en este caso se entrega un ortomosaico, donde se validen periódicamente las alteraciones que se presentan en las

elevaciones del terreno, y que permita al equipo de mantenimiento aeroportuario determinar si los cambios que se presentan con el tiempo puedan afectar la estructura de todas las superficies asfálticas de las áreas de movimiento.

- **Pruebas experimentales**

Los vuelos con los UAS se realizaron en la Base Aérea Mayor Justino Mariño Cuesto asignada al Comando Aéreo de Mantenimiento (CAMAN) de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) ubicada en Madrid, Cundinamarca. Ya que, se trata de una entidad de régimen militar se tramitó el permiso para la ejecución del experimento mediante Oficio No. FAC-S-2022-224248-CI del 12 de diciembre de 2022 / MDN-COGFM-FAC-COFAC-JEMFA- CODEH-JEAES-DICTI-CETIA en donde se explica la intención y alcances del proyecto. Teniendo en cuenta que se encuentra en zona restringida para operaciones con drones, cabe resaltar que está prohibido replicar el ejercicio sin previa autorización.

- **Inspecciones convencionales**

En la Unidad militar, las inspecciones de nivel 1, se realizan de manera periódica en las mañanas antes de iniciar las labores a las 06:00 hrs. y antes de finalizar a las 18:00 hrs. por parte del personal de bomberos (FAC, 2016), además, se pueden presentar inspecciones adicionales a estos horarios a solicitud de la Torre de Control de acuerdo con la operación del aeródromo o cuando se requieren hacer pruebas de las aeronaves y al finalizar las mismas. Esta inspección se realiza en vehículo tipo camioneta, la cual, se debe desplazar a 10 km/h en búsqueda de FOD como tornillos, partes desprendidas de las aeronaves, herramientas o derramamiento de aceite, además, se verifican las luces de navegación, entre otros. Le toma alrededor de 25 minutos realizar este desplazamiento.

Para que el vehículo pueda desplazarse sobre las plataformas de rodaje y la pista requiere previa autorización de la Torre de Control y se debe avisar al iniciar y terminar la inspección. Además, el personal se encuentra capacitado por la Unidad y la

Aeronáutica Civil de acuerdo con el reglamento RAC 14 que trata de Aeródromos, Aeropuertos Y Helipuertos. (Aerocivil, 2022). Finalmente, los hallazgos presentados deben ser reportados mediante minutas de acuerdo con el formato Estadística Operacional Bomberos (véase Anexo 7) en donde se informa cuando se realizan las inspecciones a la rampa, pista y calles de rodaje, y FOD. Por su parte, para las inspecciones de nivel 2, la Unidad destina un personal de soldados pertenecientes a los bomberos, quienes diariamente realizan búsquedas y recogen el FOD, (FAC, 2020a) los desplazamientos se realizan a pie tomando alrededor de 15 minutos antes de las 06:00 hrs. y de acuerdo con las novedades encontradas en las inspecciones de nivel 1, la Unidad programa inspecciones de nivel 2 en la cual, los inspectores, seccionan las aéreas de movimientos para la realización de la inspección a pie en búsqueda de novedades en las luces de navegación, señalización, grietas en la pista, entre otros.

- **Pruebas en pista**

Para la realización de las pruebas, una vez se encontraron autorizadas, se establecen las coordinaciones pertinentes con el Grupo de Transporte y la Torre de Control ya que la Base Aérea se encuentra en constante operación. Dado que se busca la seguridad operacional, se hace necesario contar con certificado de operador de Sistemas Aéreos No Tripulados de acuerdo con la regulación RAC 91 Apéndice 13 (Aerocivil, 2018), puesto que la realización del ejercicio presenta cierto riesgo para la infraestructura aeronáutica de la Unidad.

En principio se realiza una inspección del área de vuelo mediante la aplicación *Google Earth*, como lo muestra la Figura 7. Se encuentra que la pista del aeródromo está ubicado a 2.548 metros con respecto al nivel del mar, y se realiza la medición de la pista encontrando que esta presenta 1.850 metros de longitud y 24 metros de ancho y rumbo de pista 07/25. Además, se observan obstáculos para tener en cuenta a la hora del vuelo, tales como edificaciones, antenas, vehículos, helicópteros y aviones. Por lo cual, se establecieron puntos de aterrizaje de emergencia si llegara al caso, en las calles de rodaje Alfa, Bravo y Charlie.

Se estableció una altura de RTH (*Return To Home*) de 80 metros ya que, de acuerdo con los obstáculos observados, se encontró una antena de telecomunicaciones cerca de la zona de despegue y aterrizaje del *drone*.

### Figura 7.

*Análisis del área de vuelo.*



*Fuente: Elaboración propia (2022) aplicación Google Earth.*

Se realiza una lista de verificación de pre-vuelo de acuerdo con el Anexo 2. En donde se revisan cada uno de los puntos relacionados en su totalidad buscando tener óptimas condiciones para la realización de la misión de vuelo evitando accidentes. Además, de acuerdo con la lista de chequeo se revisaron las condiciones meteorológicas como se muestra en la Figura 8. mediante la aplicación *UAV Forecast* en donde se evidencian parámetros importantes en relación con el clima, probabilidad de precipitación, temperatura, satélites disponibles y dirección del viento, entre otros.

**Figura 8.**

Condiciones de meteorología hora de vuelo.



Fuente: Elaboración propia (2022) aplicación UAV Forecast

Una vez finaliza la lista de chequeo, se solicita permiso a la Torre de Control para el despegue del *drone* mediante comunicación VHF (*Very High Frequency*). Una vez autorizado se procede a la realización de la inspección, siempre atento a las



instrucciones recibidas por parte del aeródromo de acuerdo con el movimiento de las aeronaves convencionales. De acuerdo con lo indicado por la Torre de Control, se estableció el punto de despegue y aterrizaje en la plataforma Bravo, como se muestra en la Figura 9. De acuerdo con las instrucciones recibidas se autorizó el vuelo de los drones de manera secuencial, desde la plataforma Bravo hasta la cabecera 07, debido a que se encontraban en labores operativas.

### **Figura 9.**

*Zona de despegue y aterrizaje plataforma Bravo.*



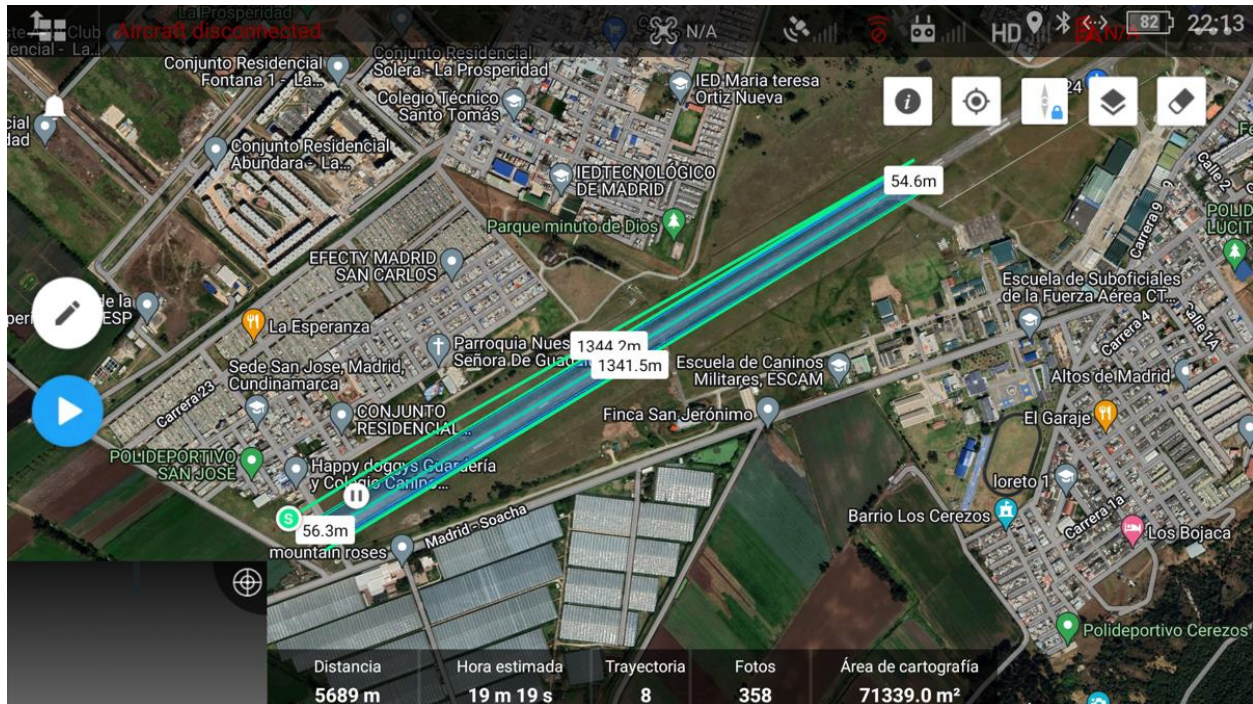
*Fuente: Elaboración propia (2022) Mavic 2 Pro*

Se realiza el primer vuelo de inspección de la pista con el *drone Mavic 2 Enterprise Advanced* de manera autónoma. La planificación de vuelo se hace a través de la aplicación *DJI Pilot* como se muestra en la Figura 10. Para ello, se configuró la altura de vuelo a 120 metros. Se realiza grabación del procedimiento con la cámara RGB y térmica, además, fueron tomadas 358 fotografías (como la que se evidencia en la Figura 11) que permitieron realizar los ortomosaicos expuestos en los Anexos 3 y 4.



**Figura 10.**

*Planificación de vuelo.*



*Fuente: Elaboración propia (2022) Smart Controller Mavic 2 Enterprise Advanced*

Para la configuración del vuelo autónomo la aplicación DJI *Pilot* permite efectuar vuelos mediante trayectoria, cartografía, oblicuo y misión de vuelo lineal. (DJI, 2021) Para la realización de la inspección es posible llevarse a cabo mediante los dos primeros; en este caso, se usa el método de cartografía ya que se busca tener un trazado de mapas con el objetivo de poder generar los ortomosaicos. En primer lugar, se debe establecer la zona de cartografía en la aplicación que se georreferencia con el GPS del *drone* haciendo clic sobre la pantalla, se mueven los puntos para establecer el aérea de vuelo. Luego, se debe seleccionar el tipo de cámara de acuerdo con el *drone* que se emplea para este caso *Mavic 2 Enterprise Advanced Visible*, se establece una altitud de 120 metros, velocidad de despegue de 10 m/s y velocidad de vuelo de 5 m/s, finalmente se establece un retorno a casa al finalizar la misión. La misión de vuelo tiene una duración de 19 minutos con 19 segundos en donde se logra un área de cartografía de 71.339 m<sup>2</sup>.

### **Figura 11.**

*Altura de vuelo a 120 metros.*

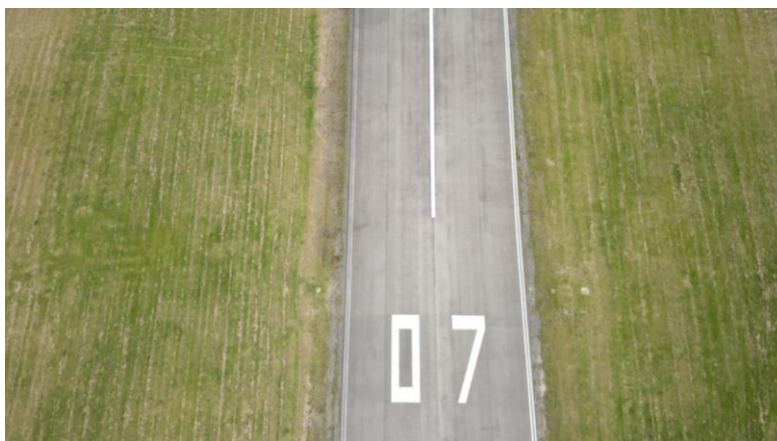


*Fuente: Elaboración propia (2022) Mavic 2 Enterprise Advanced*

El segundo vuelo se realiza de manera manual desde la plataforma de despegue Bravo hacia la cabecera de la pista 07 con el *drone Mavic 2 Enterprise Advanced* a 60 metros de altura, se realiza la inspección mediante video RGB y térmico. En la Figura 12 se muestra la percepción de la altura del video capturado.

### **Figura 12.**

*Altura de vuelo a 60 metros.*

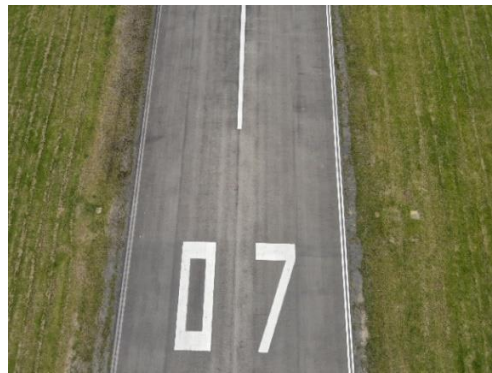


*Fuente: Elaboración propia (2022) Mavic 2 Enterprise Advanced*

Una vez posicionado el *drone* en la cabecera de la pista se desciende a 30 metros y se realiza la inspección de regreso con rumbo a la plataforma de despegue y aterrizaje Bravo. Se graba el procedimiento con la cámara RGB y térmica y se capturan fotografías como se observa en la Figura 13 que permitieron la realización del ortomosaico expuesto en el anexo 5. Logrando obtener mejor detalle.

**Figura 13.**

*Altura de vuelo a 30 metros.*

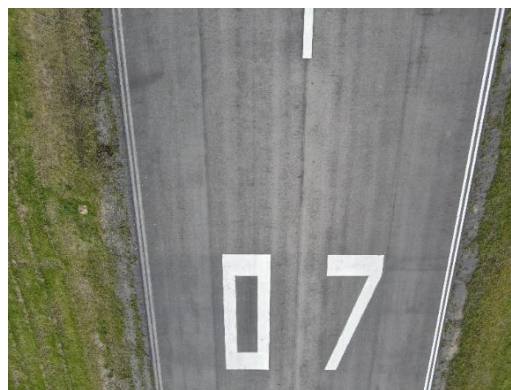


*Fuente: Elaboración propia (2022) Mavic 2 Enterprise Advanced*

Finalmente, se realiza vuelo de inspección manual, en esta ocasión con el *drone Mavic 2 Pro* a 20 metros de altura, mediante la aplicación DJI GO 4, se capturan 179 fotografías como la Figura 14 para la realización del ortomosaico evidenciado en el anexo 6.

**Figura 14.**

*Altura de vuelo a 20 metros.*



*Fuente: Elaboración propia (2022) Mavic 2 Pro*

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fueron realizados cuatro vuelos a diferentes alturas, 120m, 60m, 30m, y 20m, esto debido a que no se había realizado anteriormente un vuelo con *drone* sobre una pista de un aeródromo, y se debía tener en cuenta la determinación de altura para encontrar el mejor campo de visión según las capacidades de la cámara con las que cuenta el *Mavic 2 pro* y *Mavic 2 Enterprise Advanced*, donde el objetivo fue conseguir la mejor altura para realizar la inspección. No obstante, es evidente que se debe plantear un tipo de vuelo para cada tipo de inspección, ya que, si se quiere hacer búsqueda de FOD, lo mejor es realizar vuelos a una baja altura con el fin de poder identificar plenamente un FOD de una simple mancha de pintura, por otra parte, se puede realizar un vuelo a una mayor altura y se pueden identificar anomalías en la superficie asfáltica, como grietas fracturas y desprendimientos, que con la ayuda de los drones se puede hacer un mejor seguimiento a estas fallas o realizar un mejor registro con el fin de evaluar con el tiempo las características que presentan los pavimentos.

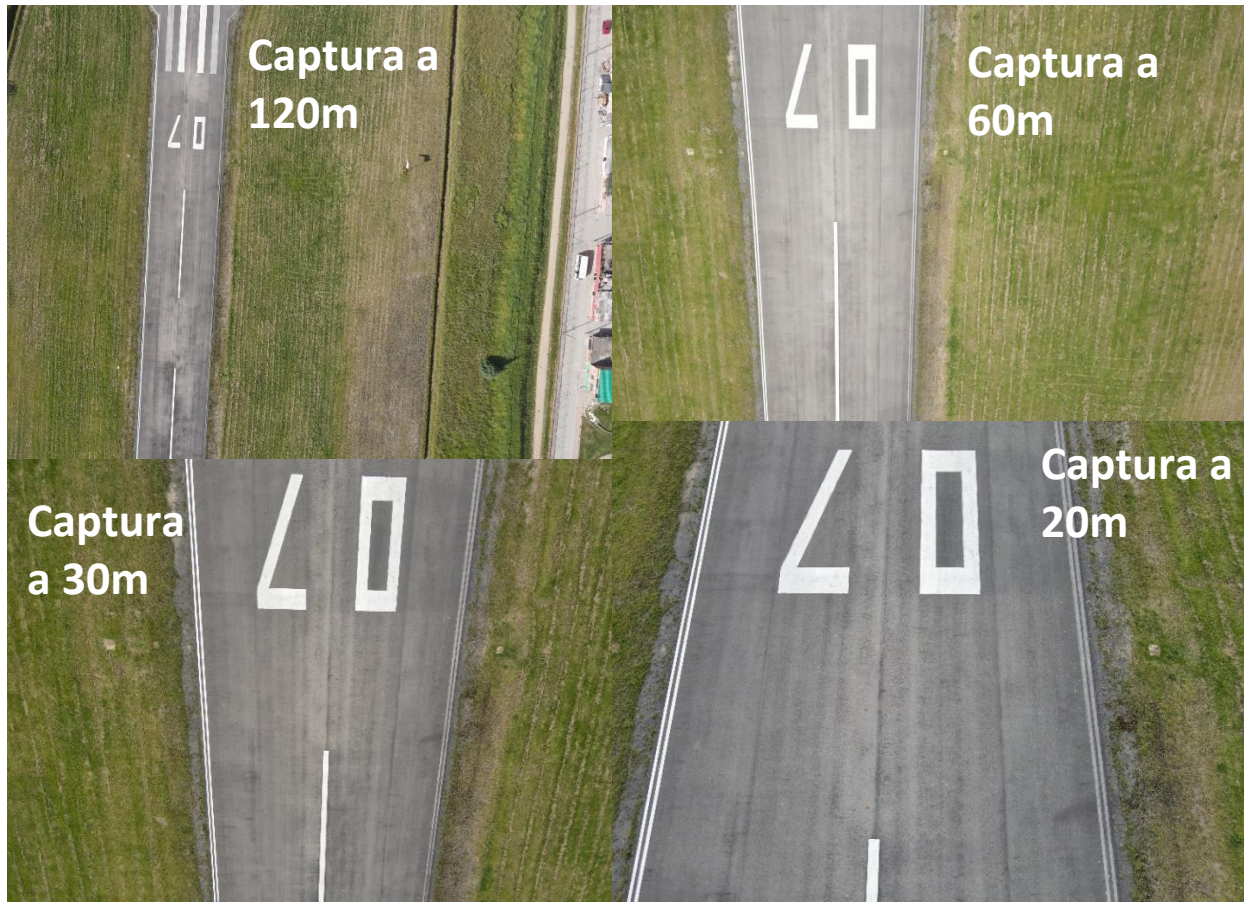
En la Figura 15 se puede evidenciar la diferencia de detalle al realizar las tomas a diferentes alturas, en este caso la menor altura a la cual se pudo realizar vuelo fue a 20m, esto teniendo en cuenta que los vuelos se realizaron en un aeródromo operativo y la ventana que fue brindada para realizar las pruebas fue corta ya que este es un proceso experimental y ajeno a las operaciones rutinarias que allí se llevan. En ese orden de ideas, y con el total de imágenes obtenidas, se determina que es difícil determinar la presencia o no de FOD con estas imágenes, sin embargo para las inspecciones de nivel 2 estas imágenes son de gran valor, ya que permite evidencias de una mejor manera las condiciones de la superficie asfáltica, se evidencia con gran detalle la presencia o ausencia de fracturas o grietas, de igual manera permite evidencias el estado de las marcas pintadas en el terreno, que estas no presenten desprendimiento de pintura que lleguen a presentar problemas a la hora de identificar una pista o calle de rodaje. No obstante, se detecta una limitación en la inspección del sistema de iluminación, ya que, al realizar el vuelo con la cámara a 90 grados, no se logró evidencias las luces de pista, por lo que en este caso se tendría que plantear un vuelo sobre el eje de la pista con la



cámara con una inclinación desde su visión frontal de 30 grados o 45 grados, que permita ver el sistema de iluminación.

**Figura 15.**

*Comparativa captura de imágenes a diferentes alturas.*



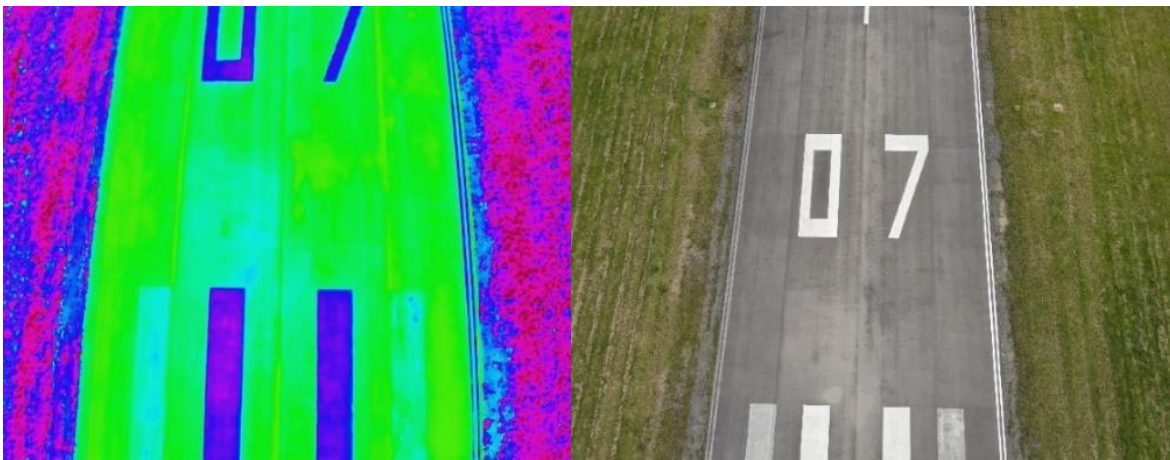
*Fuente: Elaboración propia (2022) Mavic 2 Enterprise Advanced*

Además, en la Figura 16. se observa una comparativa entre la visión de la cámara térmica y la visión RGB de la cámara tradicional del *drone*, en este caso se realizó este vuelo con la finalidad de determinar el estado del pavimento en búsqueda de alteraciones o manchas que indicasen cambios térmicos en la superficie, sin embargo se dio un hallazgo de gran valor con esta técnica que es la inspección de las demarcaciones pintadas, de la imagen de la derecha se ve la imagen tradicional a color, donde en la

cabecera de la pista vemos las cuatro líneas pintadas que indican el inicio del área para realizar recorrido, se alcanza a observar que las líneas del exterior no se encuentran pintadas de la mejor manera ya que presentan manchas de deterioro y desprendimiento de pintura, mientras que las dos líneas centrales se observan bien demarcadas, sin embargo esto se observa de mejor manera en la imagen térmica, donde ni siquiera se observan 4 líneas si no 2, lo que conllevaría a un reporte y proceso de mantenimiento del aeródromo.

**Figura 16.**

*Comparativa entre cámara Térmica y RGB.*



*Fuente: Elaboración propia (2022) Mavic 2 Enterprise Advanced*

Por otra parte al realizar los ortomosaicos de los diferentes vuelos realizados (anexo 3, anexo 5 y anexo 6) se evidencia que entre mayor altura se logra abarcar una mayor área con un menor tiempo de vuelo ya que el *drone* debe realizar menos pasos para la toma de imágenes, pero teniendo en cuenta lo recomendado por la OACI, que este vuelo tiene por objetivo la inspección regular de mantenimiento, no es necesario cubrir de un solo vuelo toda el área de movimiento si no una pequeña sección, es por ende que en el planteamiento de la misión, se deben considerar estos factores para realizar la toma de imágenes a la menor altura posible para garantizar un mejor detalle en las imágenes obtenidas, y así mismo que la duración de la misión no sea largo para que no exista un prolongado periodo de ocupación de pista realizando la inspección.

De los resultados obtenidos, se evidencia que para este aeródromo la altura ideal rondaría entre los 20 y 30 metros según lo observado en los anexos 5 y 6, ya que permite cubrir un área considerable de la pista, y permite ver detalles de pintura, condiciones de superficie asfáltica, bordes de la pista con la zona verde, donde no se evidencian mordeduras o desprendimientos del pavimento.

Gracias a la implementación de fotogrametría con drones, y siguiendo una de las recomendaciones de la OACI, se puede implementar esta tecnología para poder realizar un seguimiento de las elevaciones que presente el terreno del aeropuerto, sobre todo en zonas de alta actividad sísmica o de altos niveles de erosión en la tierra, con el fin de evaluar con el tiempo si existen cambios significativos en las elevaciones del terreno que puedan comprometer el estado de las áreas pavimentadas y poner en riesgo la seguridad operacional. De las imágenes obtenidas, se puede evidenciar que se da un gran cumplimiento a las recomendaciones dadas por la OACI sobre la validación del pavimento, y la validación del correcto estado de las señales y demarcaciones pintadas (véase Figura 17), ya que, al tener la perspectiva superior de la pista, se hacen evidentes detalles que no se pueden observar desde la vista a pie o en un vehículo, y permite, con el tiempo, desarrollar mejores planes de mantenimiento en los aeropuertos.

### **Figura 17.**

*Hallazgos Plataforma Bravo.*



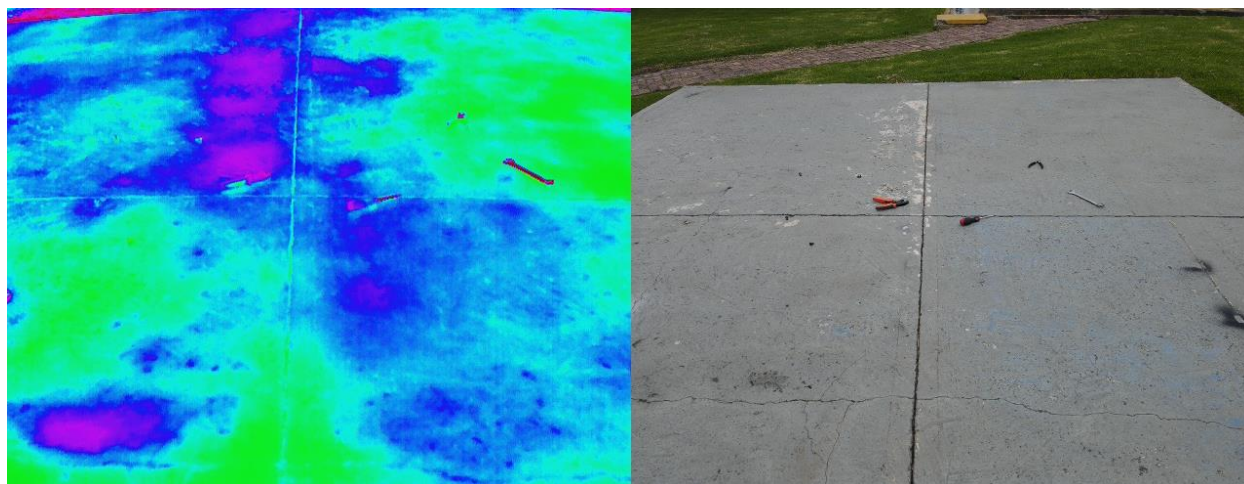
*Fuente: Elaboración propia (2022) Mavic 2 Pro.*



Durante la inspección con drones a la pista aérea no se encontró presencia de FOD, por lo cual, se quiso ubicar este material en la pista a propósito para captar con la cámara térmica como se observaría, a pesar de ello, no fue autorizado por el aeródromo. Por lo cual, se planteó colocar herramientas de trabajo, tornillos entre otros objetos como muestras de FOD para identificar como se ven a través de la cámara térmica y RGB dicha prueba se hizo a una altura de 2 metros y con la cámara a 45 grados, en la Figura 18. Se puede comparar la manera en la cual se visualizan los posibles FOD sobre una superficie asfáltica, según lo observado en la imagen RGB correspondiente a la imagen del lado derecho, se puede visualizar a simple vista la presencia de los elementos colocados allí para las pruebas, sin embargo, con la cámara térmica ocurren ciertos fenómenos visuales que pueden llegar a generar confusiones a la hora de realizar la inspección.

**Figura 18.**

*Hallazgos de FOD con cámara RGB y Térmica.*



*Fuente: Elaboración propia (2022) Mavic 2 Enterprise Advanced.*

En la cámara térmica contamos con las escalas de colores que indican la temperatura a la cual se encuentra el cuerpo a escanear, en este caso, se evidencia el cambio de color y por ende temperatura en una de las llaves de boca abierta colocada allí, la superficie



en la que se encuentra toma una tonalidad verde, mientras que la llave mantiene tonalidades azules o moradas que indicarían una menor temperatura que la del suelo, sin embargo, si se observa las pinzas de mango naranja que se ven hacia el centro de la toma RGB, se confunden en la toma de la cámara térmica debido a que los colores que presentan las pinzas y el suelo se llegan a confundir lo que indicaría que sus temperaturas emitidas son muy parecidas, es por eso importante recalcar que para el desarrollo de este artículo y de futuras inspecciones basadas en él, las inspecciones con UAS que cuenten con la tecnología térmica deben acerca con esta última como un factor adicional y no solo realizar inspecciones con visión térmica, ya que al manejar visión térmica y RGB estas dos tecnologías se vuelven recíprocas y la visión de una puede ayudar a aclarar lo que se vea en la otra.

De acuerdo con la metodología planteada para la implementación de los UAS en la inspección de las áreas de movimiento de los aeródromos, se observa que presenta cierta exposición para la seguridad operacional, sin embargo, se establece una lista de riesgos a la que se encuentran expuestos en toda operación con sistemas aéreos no tripulados y sus posibles soluciones mediante protocolos de emergencias conforme con el Anexo 8. pueden ser por factores meteorológicos, mantenimiento de *drone* o un error del operador durante la misión.

Durante la inspección es posible encontrar novedades que pueden resultar frecuentes o similares en los aeródromos, es por ello, que se plantea un listado de posibles hallazgos que pueden ser una guía para los inspectores como se muestra en el Anexo 9 tanto para inspecciones de nivel 1 como nivel 2.

Dicho lo anterior y con los resultados obtenidos, se evidencia que esta tecnología es una gran herramienta para las actividades de inspección aeroportuarias, específicamente la inspección de áreas de movimiento, ahora bien, en esta prueba experimental se observa que es más aplicable para inspecciones de nivel 2 con la metodología planteada, ya que se obtienen muy buenos resultados de la totalidad del área pavimentada, señalización y demarcación y zonas adyacentes de césped, permiten su almacenaje de una valiosa

manera por medio de ortomosaicos, con lo cual se puede realizar un registro histórico de los estados del área de movimiento. Esto no quiere decir que no se puedan realizar inspecciones de nivel 1 con drones, por el contrario, se ve una gran oportunidad en seguir explorando en este ámbito, pero por limitaciones logísticas y el tiempo que fue autorizado para realizar las pruebas, no permitieron plantear algún otro plan de vuelo a una menor altura.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aerocivil. (2012). Guía procedimiento para el mantenimiento de las terminales aeroportuarias. Retrieved from <https://www.aerocivil.gov.co/normatividad/CIRCULARES%20AGA/CI%20004%20-%20V2.pdf>
- Aerocivil. (2018). *RAC 91 - Reglas Generales de Vuelo y de Operación*. Retrieved from <https://www.aerocivil.gov.co/normatividad/RACHISTORICO2018DICIEMBRE/RAC%20%20091%20-%20Reglas%20Generales%20%20de%20Vuelo%20y%20de%20Operaci%C3%B3n.pdf>
- Aerocivil. (2021a). Incidentes graves 2021. Retrieved from <https://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/investigacion/incidentes-graves-2021>
- Aerocivil. (2021b). Informe Preliminar Incidente Grave COL - 21 -10 - GIA. Retrieved from <https://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/investigacion/incidentes-graves-2021>
- Aerocivil. (2021c). Informe Preliminar Incidente Grave COL - 21 - 14 - GIA. Retrieved from <https://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/investigacion/incidentes-graves-2021>
- Aerocivil. (2022). RAC 14 Aeródromos, Aeropuertos y Helipuertos - Enmienda 18. Retrieved from <https://www.aerocivil.gov.co/normatividad/RAC/RAC%20%2014%20-%20Aer%C3%B3dromos%20%20Aeropuertos%20%20y%20%20Helipuertos.pdf>
- ANSV. (2022). Cifras año en curso. Retrieved from <https://ansv.gov.co/es/observatorio/estad%C3%ADsticas/cifras-ano-en-curso>
- AVSAF. (2021). Zonas de un aeropuerto: Lado Aire y Lado Tierra. Retrieved from <https://www.avsaf.es/post/zonas-de-un-aeropuerto-lado-aire-y-lado-tierr>
- DJI. (2018). *Mavic 2 Pro Zoom User Manual ES* Vol. v1.2. (pp. 61-63). Retrieved from [https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic\\_2/201911um/Mavic\\_2\\_Pro\\_Zoom\\_User\\_Manual\\_v1.2\\_es.pdf](https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic_2/201911um/Mavic_2_Pro_Zoom_User_Manual_v1.2_es.pdf)
- DJI. (2021). *Mavic 2 Enterprise Advanced User Manual ES* Vol. v1.0. (pp. 60-61). Retrieved from [https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic\\_2\\_Enterprise\\_Advanced/20210331/Mavic\\_2\\_Enterprise\\_Advanced\\_User\\_Manual\\_ES.pdf](https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic_2_Enterprise_Advanced/20210331/Mavic_2_Enterprise_Advanced_User_Manual_ES.pdf)

- FAC. (2016). Manual de Bomberos Aeronáuticos de la Fuerza Aérea Colombiana (MABOA), 58. Retrieved from [https://www.fac.mil.co/sites/default/files/linktransparencia/Planeacion/Manuales/fac-10.4-o\\_maboa\\_manual\\_de\\_bomberos\\_aeronauticos.pdf](https://www.fac.mil.co/sites/default/files/linktransparencia/Planeacion/Manuales/fac-10.4-o_maboa_manual_de_bomberos_aeronauticos.pdf)
- FAC. (2018). Manual operador drones tácticos. v1.0.
- FAC. (2020a). Bomberos aeronáuticos: firmes para despegues y aterrizajes seguros. Retrieved from <https://www.fac.mil.co/es/noticias/bomberos-aeronauticos-firmes-para-despegues-y-aterrizajes-seguros>
- FAC. (2020b). Formato Estadística Operacional Bomberos.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* Vol. 6a. ed. Retrieved from <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- OACI. (1983). *Manual de servicios aeroportuarios parte 8* Retrieved from <https://dokumen.tips/documents/doc-9137-parte-8-servicios-operacionales-de-aeropuerto-p.html?page=1>
- OACI. (2005). *Global Air Traffic Management Operational Concept* Retrieved from [https://www.icao.int/Meetings/anconf12/Document%20Archive/9854\\_cons\\_en\[1\].pdf](https://www.icao.int/Meetings/anconf12/Document%20Archive/9854_cons_en[1].pdf)
- OACI. (2016). *Anexo 14 - Aeródromos* Retrieved from <https://www.anac.gov.ar/anac/web/uploads/normativa/anexos-oaci/anexo-14-vol-i.pdf>
- OACI. (2020). *Procedimientos para servicios de navegación aérea - aeródromos - DOC9981* Retrieved from [http://icscc.org.cn/upload/file/20210609/20210609075754\\_51045.pdf](http://icscc.org.cn/upload/file/20210609/20210609075754_51045.pdf)
- OPAIN. (2017). Procedimiento para el barrido y control del FOD en plataforma. Retrieved from <https://www.opain.co/archivos/GOP-PR-022%20PROCEDIMIENTO%20PARA%20EL%20BARRIDO%20Y%20CONTROL%20DEL%20FOD%20EN%20PLATAFORMA.pdf>
- OPAIN. (2019). Plan Manejo de FOD. Retrieved from <https://www.opain.co/archivos/PLAN%20DE%20MANEJO%20FOD%20V1.0.pdf>

## Anexo 1.

### Características sensores drones

Drone	Mavic 2 Pro	Mavic 2 Enterprise Advanced	
<b>Cámara</b>	RGB	RGB	<u>Térmica</u>
<b>Sensor</b>	CMOS 1" Píxeles efectivos: 20 millones	CMOS de 1/2". Píxeles efectivos: 48 MP	Microbolómetro VOx no refrigerado Resolución: 640x512 a 30 Hz
<b>Objetivo</b>	FOV: aprox. 77° Formato equivalente a 35 mm: 28 mm Apertura: f/2.8 - f/11 Rango de enfoque: 1 m a $\infty$	Campo de visión: aprox. 84° Equivalente al formato 35 mm: 24 mm Apertura: f/2.8 Enfoque: de 1 m a $\infty$	Distancia focal: Aprox. 9 mm Formato equivalente a 35 mm: Aprox. 38 mm
<b>Rango ISO</b>	Video: 100 - 6400 Foto: 100 - 3200 (auto) 100 - 12 800 (manual)	Vídeo: 100-12800 (auto) Fotografía: 100-1600 (automático)	-
<b>Modos de Fotografía</b>	Disparo único Disparo en ráfaga: 3/5 fotogramas Exposición Automática en Horquillado (AEB): 3/5 horquilla de exposición a 0,7 EV bias Intervalo (JPEG: 2/3/5/7/10/15/20/30/60 s) RAW: 5/7/10/15/20/30/60 s)	Disparo único Intervalo: 2/3/5/7/10/15/20/30/60 s Panorámica: Esfera	Disparo único Intervalo: 2/3/5/7/10/15/20/30/60 s
<b>Resolución de video</b>	4K: 3840 x 2160 24/25/30p 2,7K: 2688 x 1512 24/25/30/48/50/60p FHD: 1920 x 1080 24/25/30/48/50/60/120p	3840x2160 a 30 fps 1920x1080 a 30 fps	640x512 a 30 fps
<b>Banda Espectral</b>	-	-	8-14 $\mu$ m
<b>Método de medición de temperatura</b>	-	-	Medidor puntual, medición de área

Fuente: Manual Mavic 2 Pro (DJI, 2018) y Mavic 2 Enterprise Advanced (DJI, 2021).

## Anexo 2.

### Lista de Chequeo pre-vuelo

PRE-VUELO	Check	POST-VUELO	Check
Revisar condiciones humanas	X	Apaga la aeronave	X
Revisar condiciones meteorológicas	X	Apaga el radio control	X
Inspección física de los elementos del dron	X	Desconecta el teléfono/Tablet del radio control	X
Hélices ajustadas y aseguradas	X	Remueve las hélices	X
Baterías totalmente cargadas	X	Inspección física de los elementos en busca de irregularidades	X
Retirar seguro del Gimbal	X		
Insertar memoria Micro SD	X	Colocar el protector del Gimbal	X
Ubicar la aeronave en punto de despegue	X	Guardar la batería	X
Insertar batería de la aeronave	X	Retirar la memoria Micro SD	X
Ajustar brillo del teléfono/Tablet	X	Descargar el material visual de la Micro SD para realizar el procesamiento	X
Antenas del control en correcta posición	X		
Encender radio control	X	Guardar el dron y sus accesorios de forma correcta	X
Encender batería de la aeronave	X		
Conectar la aeronave con la aplicación	X	Llenar el libro de vuelo	X
Calibrar brújula	X	Verificar la programación del siguiente vuelo y realizar la misión cumplida	X
Ajustar altura máxima de regreso a casa	X		
Verificar ruta de vuelo	X	Cargar las baterías y control para la siguiente misión	X
Verificar estado de los satélites	X		
Verificar estado de la señal RC y HD	X	Diligenciar la bitácora de vuelo del operador	X
Zona de despegue y aterrizaje revisada	X		
Armar motores	X		
Elevar la aeronave a 2 metros	X		
Verificar los ejes de movimiento del dron	X		
Vuela la misión y aterriza de forma segura	X		

Fuente: Manual operador drones tácticos (FAC, 2018)

**Anexo 3.**

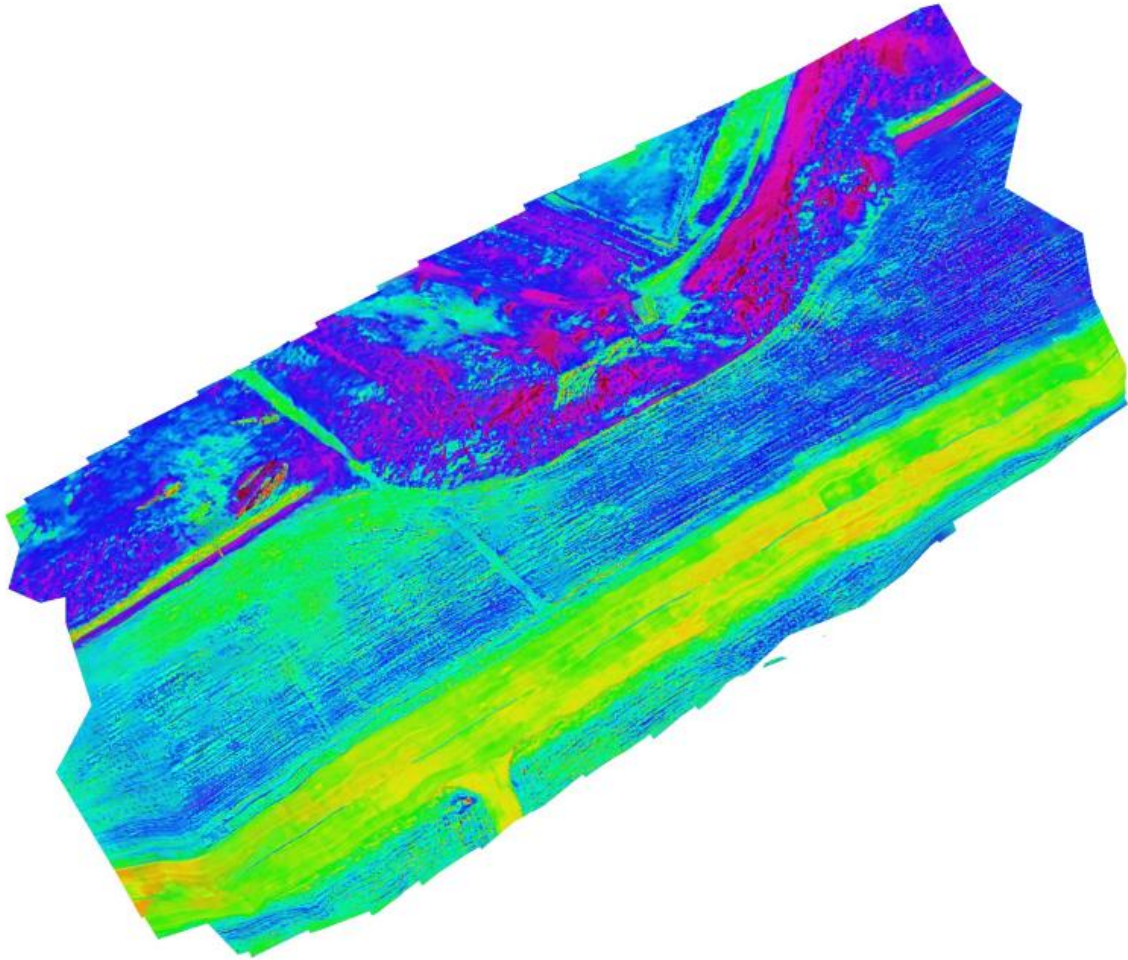
*Ortomosaico a 120 metros de altura*



*Fuente: Elaboración propia (2022) software Agisoft Metashape*

#### **Anexo 4.**

*Ortomosaico a 120 metros de altura con cámara térmica*

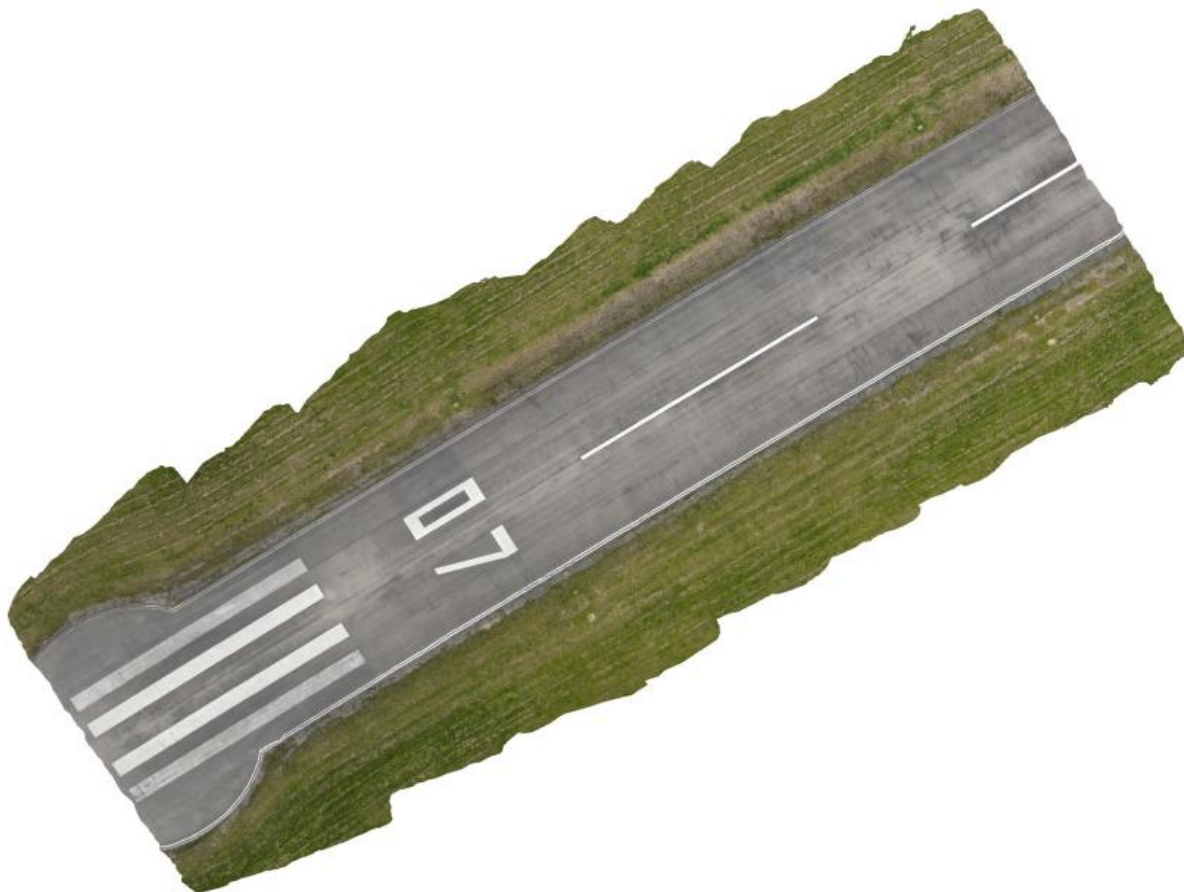


*Fuente: Elaboración propia (2022) software Agisoft Metashape*



**Anexo 5.**

*Ortomosaico a 30 metros de altura*

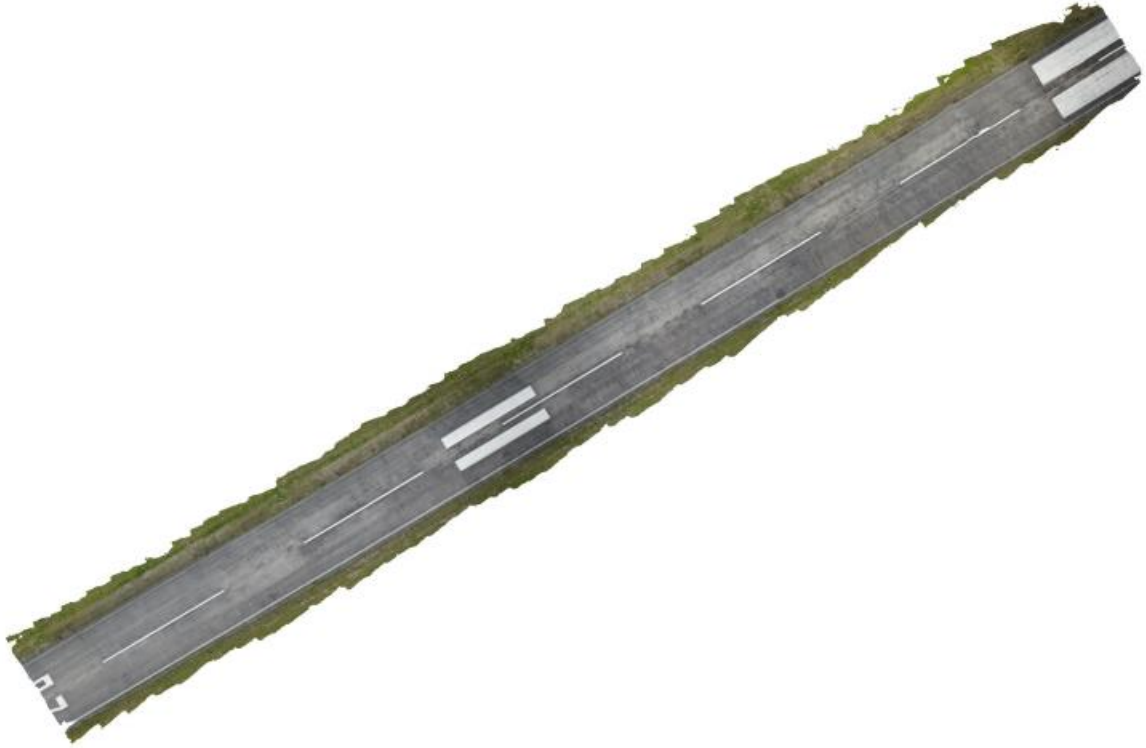


*Fuente: Elaboración propia (2022) software Agisoft Metashape*



**Anexo 6.**

*Ortomosaico a 20 metros de altura*



*Fuente: Elaboración propia (2022) software Agisoft Metashape.*

## Anexo 7.

Formato Estadística Operacional Bomberos. Fuente: (FAC, 2020b).

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	TOTAL	
<b>BOMBEROS AERONÁUTICOS</b>																							
<b>EMERGENCIAS</b>	ALERTA 3																						
<b>ALERTAS</b>	ALERTA 2																						
	ALERTA 1																						
<b>PREVENCIÓN AERONAVES</b>	TANQUEO EN CALIENTE																						
	TANQUEO EN FRIO																						
	INICIO DE MOTORES																						
	PUNTO DE PRUEBAS																						
<b>PREVENCIÓN ABASTECIMIENTOS DE COMBUSTIBLE</b>	CONTROL DE DERRAMES																						
	ABASTECIMIENTO CARRO TANQUES Y COMPLEJO																						
<b>ATENCIÓN DE EMERGENCIAS NO AERONÁUTICAS</b>	INCENDIO Y/O RESCATE ESTRUCTURAL																						
	INCENDIO Y/O RESCATE VEHICULAR																						
	EMERGENCIAS POR FENÓMENO NATURAL (Tormentas Eléctricas, Inundaciones, Terremotos, Vendaval, ETC.)																						
	ATENCIÓN DE EMERGENCIAS FORESTALES																						
	INSPECCIÓN POLÍGONOS (Aéreos y/o Terrestres)																						
	CONTROL DE ABEJAS																						
<b>INSPECTOR DE PLATAFORMA, PISTA Y/O PLATAFORMA</b>																							
<b>SERVICIOS DE SUPERVISOR Y/O COORDINADOR DE RAMPA, PLATAFORMA, CALLES DE RODAJE Y/O PISTAS.</b>	INSPECCIÓN RAMPA O PLATAFORMA																						
	INSPECCIÓN PISTA Y CALLES DE RODAJE																						
	ESCOLTA DE VEHÍCULO EN ZONA OPERATIVA																						
	SERVICIO "FOLLOW ME"																						
	SERVICIO APOYO AL REMOLQUE DE AERONAVES.																						
<b>SERVICIOS DE APOYO A LA SEGURIDAD OPERACIONAL</b>																							
<b>PREVENCIÓN DE ACCIDENTES POR FOD</b>	INSPECCIONES FOD																						
	CAMINATAS FOD EN PLATAFORMA, PISTA Y O CALLES DE RODAJE																						
<b>PREVENCIÓN DE ACCIDENTES POR BASH</b>	DISPERSIÓN DE AVES																						
	CONTROL FAUNA EN PISTA																						
<b>ACTIVIDADES RELACIONADAS CON LA ACCIÓN INTEGRAL</b>																							
<b>DEMOSTRACIÓN DE CAPACIDADES</b>	DEMOSTRACIONES (Comunidad, Actividades, especiales, Piloto por un día, Medios de Comunicación Etc)																						
<b>APOYO A LA COMUNIDAD</b>	INCENDIO Y/O RESCATE ESTRUCTURAL																						
	INCENDIO Y/O RESCATE VEHICULAR																						
	EMERGENCIAS POR FENÓMENO NATURAL (Tormentas Eléctricas, Inundaciones, Terremotos, Vendaval, ETC.)																						
	ATENCIÓN DE EMERGENCIAS FORESTALES																						
<b>TOTAL OPERACIONES DIARIAS</b>																							

## Anexo 8.

Riesgos utilización de drones en aeródromos. Fuente: Elaboración propia.

EMERGENCIA	DESCRIPCION RIESGO	PROTOCOLO EMERGENCIA
<b>PERDIDA DE SEÑAL</b>	<p>En este caso la aeronave pierde comunicación con el mando o control remoto, se pueden presentar 2 tipos de desconexión:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pérdida de imagen, pero seguir con control de vuelo.</li> <li>- Pérdida de imagen y control.</li> </ul>	<p>Según sea el tipo de desconexión se deben tomar acciones correctivas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Es importante nunca perder la línea de vista con el equipo, dado el caso de perder la transmisión de la imagen se debe suspender el vuelo e iniciar el proceso de "return to home" (RTH).</li> <li>- De perder la conexión total con el equipo, en la planeación del vuelo se debe realizar la correcta programación del proceso automático RTH, teniendo en cuenta alturas y obstáculos, con el fin que la aeronave pueda iniciar este proceso en automático sin representar riesgo al aeródromo.</li> </ul>
<b>CHOQUE CON FAUNA SILVESTRE (AVES)</b>	<p>Mientras se realiza el vuelo se pueden presentar colisiones con la fauna silvestre que se encuentre aledaña al aeródromo según el caso.</p>	<p>Se debe tener en cuenta los controles de fauna silvestre BASH que se realicen en el aeródromo, ya que independientemente por la seguridad de las aeronaves tripuladas no debe haber existencia de estos animales, por lo cual, si llegase a presentar dicho imprevisto, se debe reportar de inmediato al ATC, sin embargo, siempre se debe prevenir la colisión con el animal para garantizar su integridad y que este pueda ser retirado en caso de identificarse en medio de la inspección.</p>
<b>COLISIÓN CON OTRAS AERONAVES</b>	<p>Siendo el mayor riesgo, se pueden presentar colisiones con aeronaves en caso de que no se tenga una buena comunicación con los servicios ATC y que adicional no se esté en un estado de alerta a la presencia de posibles aproximaciones de aeronaves al área donde se esté realizando la inspección.</p>	<p>Es importante siempre informarles a los servicios ATC nuestra posición y procedimiento que se esté realizando, así como la posición de nuestro equipo, ya que ellos se encargaran de coordinar las aeronaves para mitigar cualquier riesgo, sin embargo, siempre se debe estar alerta a la presencia de aeronaves, y en caso de detectar una, se debe alejar el equipo lo más posible de la aeronave, principalmente de los motores para evitar la ingesta del <i>drone</i> a los motores.</p>
<b>POSIBILIDAD DE FOD</b>	<p>Si el equipo no se encuentra con un buen proceso de mantenimiento y en óptimas condiciones, al realizar la inspección podemos ser generadores de FOD en el área a inspeccionar.</p>	<p>Si al finalizar el vuelo, e inspeccionar el equipo detectamos que hacen falta componentes de este, se debe realizar una inspección tradicional al área inspeccionada, en búsqueda del elemento faltante del equipo y que se convierte en un FOD. Se mitiga haciendo una correcta lista de pre-vuelo y post-vuelo.</p>
<b>BATERIA DAÑADA</b>	<p>Se puede presentar que durante el vuelo la batería presente fallas y el <i>drone</i> inicie el proceso de aterrizaje de emergencia.</p>	<p>Se debe monitorear constantemente el porcentaje restante de batería, dado el caso que se inicie el procedimiento de aterrizaje automático por emergencia, se debe asegurar que el equipo aterrice en un área despejada, se debe apuntar la cámara con vista hacia el suelo en búsqueda de un terreno libre de obstáculos para no generar daños en el aeródromo ni en el equipo. Se debe tener en cuenta la correcta manera de cargar las baterías y el número de ciclos de carga.</p>
<b>FUERTES VIENTOS</b>	<p>Que se presenten fuertes ráfagas de viento que puedan afectar el vuelo de nuestra aeronave que realiza inspección.</p>	<p>Se debe monitorear constantemente las condiciones meteorológicas, de igual manera las posibles alertas que arroje la misma aeronave informándonos que no puede continuar con el vuelo, de ser así se debe suspender de inmediato el procedimiento, aterrizando el equipo de emergencia para evitar perder el control de este y que ocasione daños a la infraestructura del aeródromo. Además, el ATC puede suministrar las condiciones meteorológicas durante el vuelo.</p>

## Anexo 9.

*Posibles Hallazgos en la inspección con UAS. Fuente: Elaboración propia.*

HALLAZGO	DESCRIPCIÓN	PROTOCOLO DE MITIGACIÓN
<b>FOD</b>	Durante la inspección se puede evidenciar FOD a través de la cámara térmica y la RGB. Dependerá directamente de la altura de vuelo para la correcta identificación.	Se debe realizar la inspección convencional teniendo en cuenta que ya se conoce el punto donde se encuentra el FOD. Ubicando el material en el punto de acopio para la toma de decisiones para su eliminación y control. (OPAIN, 2019).
<b>EXCESO DE CAUCHO QUEMADO</b>	Debido a los aterrizajes y despegues de las aeronaves es posible que la pista acumule caucho quemado en su superficie.	Se debe programar en el plan de mantenimiento del aeródromo para su corrección, se recomienda la utilización de equipos de remoción de caucho los cuales utilizan sistemas de agua a presión para su eliminación. (OPAIN, 2017).
<b>DERRAMES DE LIQUIDOS SOBRE LA PISTA</b>	Debido a la operación del aeródromo es posible puedan ocurrir derrames de líquidos sobre la pista.	Los operarios deberán realizar la limpieza de la pista para retirar el líquido contaminante en la búsqueda de reestablecer las operaciones. (OPAIN, 2017).
<b>PINTURA EN MAL ESTADO O DESGASTADA</b>	Por las condiciones meteorológicas tanto de lluvia y sol es posible que la pintura se desgaste perdiendo así la percepción de esta.	El aeródromo debe realizar las reparaciones necesarias de acuerdo con los hallazgos, en su plan de mantenimiento buscando conservar la vida útil de los sistemas y cumplir con las normas de seguridad. (Aerocivil, 2012).
<b>LUCES DE PISTA QUEMADAS O BAJA INTENSIDAD</b>	Las luces de pista pueden estar fallando, se puede identificar a través de la cámara RGB observando si están iluminadas o no; o a través de la cámara térmica mediante su temperatura.	
<b>FRACTURAS EN LA PISTA</b>	El pavimento puede estar con fracturas, estas pueden ser observadas fácilmente en vuelos bajos mediante la cámara RGB del <i>drone</i> .	
<b>DESNIVEL EN LA PISTA</b>	Mediante el ortomosaico es posible identificar si la pista presenta desnivel. Para ello, es necesario realizar las tomas de las fotografías a diferentes ángulos.	