



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES

**CARRERA DE TECNOLOGÍA EN MECÁNICA AERONÁUTICA
MENCION AVIONES**

**MONOGRAFÍA: PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCION AVIONES**

**TEMA: “INSPECCIÓN VISUAL MEDIANTE EL EMPLEO DE UNA
AERONAVE TIPO UAV EQUIPADO CON TECNOLOGÍA VR (REALIDAD
VIRTUAL) Y UNA CÁMARA DE 360° PARA LA DETECCIÓN DE FOD EN
LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS ESPE”**

AUTOR: MORA AMOROSO, GABRIEL ALEJANDRO

DIRECTOR: ING. MUÑOZ GRANDES, MILTON STALIN

LATACUNGA

2020



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AEROESPACIALES

CARRERA DE TECNOLOGÍA EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR

Certifico que la monografía, “**INSPECCIÓN VISUAL MEDIANTE EL EMPLEO DE UNA AERONAVE TIPO UAV EQUIPADO CON TECNOLOGÍA VR (REALIDAD VIRTUAL) Y UNA CÁMARA DE 360° PARA LA DETECCIÓN DE FOD EN LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS ESPE**” fue realizado por el señor **MORA AMOROSO, GABRIEL ALEJANDRO**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido, por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 27 de enero del 2020

ING. MUÑOZ GRANDES, MILTON STALIN

DIRECTOR DE PROYECTO

C.C.: 0502445547



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AEROESPACIALES

CARRERA DE TECNOLOGÍA EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **MORA AMOROSO, GABRIEL ALEJANDRO**, declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía “**INSPECCIÓN VISUAL MEDIANTE EL EMPLEO DE UNA AERONAVE TIPO UAV EQUIPADO CON TECNOLOGÍA VR (REALIDAD VIRTUAL) Y UNA CAMARA DE 360° PARA LA DETECCIÓN DE FOD EN LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS ESPE**” es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación es veraz.



Latacunga, 27 de enero 2020

MORA AMOROSO, GABRIEL ALEJANDRO

C.C.: 0105259758



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AEROESPACIALES

CARRERA DE TECNOLOGÍA EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES

AUTORIZACIÓN

YO, **MORA AMOROSO, GABRIEL ALEJANDRO** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía, “**INSPECCIÓN VISUAL MEDIANTE EL EMPLEO DE UNA AERONAVE TIPO UAV EQUIPADO CON TECNOLOGÍA VR (REALIDAD VIRTUAL) Y UNA CAMARA DE 360° PARA LA DETECCIÓN DE FOD EN LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS ESPE**” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 27 de enero 2020



MORA AMOROSO, GABRIEL ALEJANDRO

C.C.: 0105259758

DEDICATORIA

La presente monografía va dedicada en primera instancia a Dios por haberme otorgado la salud y fuerza necesaria para nunca darme por vencido y perseverar mirando siempre hacia el futuro.

De igual manera les dedico a aquellas personas, maestros, amigos que siempre estuvieron conmigo desde el inicio de la carrera, aquellas personas sin las cuales no me podría haber desarrollado como ser humano y académicamente, agradeciéndoles desde el fondo de mi corazón ya que gracias a todos ellos se logró la culminación de la presente monografía.

MORA AMOROSO, GABRIEL ALEJANDRO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por guiarme al camino correcto cada vez que lo perdía de vista, por su infinita presencia en cada momento de mi vida y otorgarme cada una de las oportunidades que me ayudaron a ser la persona que soy ahora.

A mi familia quien siempre me estuvo apoyando en cada etapa y momento sin importar las veces que me tropezara, por darme el ánimo para volver a levantarme, a mi madre Cristina Amoroso, quien siempre tuvo puesta su confianza en mí, a mi padre Marcelo quien tenía las mejores palabras para el mejor momento, mi hermano Jessy por motivarme siempre a hacer las cosas bien y mi hermana Emilia por enseñarme que el esfuerzo siempre da sus frutos sin que importe cuanto te equivoques en la vida.

Deseo agradecer de forma especial a mis compañeros, maestros, tutor de tesis Milton Muñoz y al profesor Gabriel Inca por saber apoyarme con sus conocimientos, sabios consejos y guiarme con sus palabras en mi formación académica.

MORA AMOROSO, GABRIEL ALEJANDRO

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR.....i

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....ii

AUTORIZACIÓNiii

DEDICATORIA.....iv

AGRADECIMIENTOSv

ÍNDICE DE CONTENIDOS.....vi

ÍNDICE DE TABLASxii

ÍNDICE DE FIGURASxiii

RESUMEN.....xvi

ABSTRACT.....xvii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes1

1.2 Planteamiento del problema de investigación2

1.3 Justificación.....3

1.4 Importancia4

1.5 Alcance4

1.6	Objetivos	5
1.6.1	Objetivo general	5
1.6.2	Objetivos específicos	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	Inspección Visual.....	6
2.1.1	Requerimientos para una Inspección Visual.....	6
2.1.2	Equipos de una Inspección Visual.....	8
2.1.3	Tipos de inspecciones Visuales.....	9
a.	Inspección visual directa.....	9
b.	Inspección Visual Remota o Indirecta.....	10
2.1.4	Factores de una inspección visual.....	11
2.1.5	Errores en la Inspección Visual	11
2.2	Introducción al FOD (Foreing Object Damage)	12
2.2.1	FOD (Foreing Object Damage).....	13
2.2.2	Tipos de FOD.....	14
2.2.3	Elementos que constituyen al FOD.....	15
2.2.4	Daños que puede ocasionar el FOD	16
a.	Daños potenciales por FOD	16

2.2.5	Catástrofe Aérea a causa de FOD	18
2.2.6	Métodos de Inspección FOD.....	18
2.2.7	Métodos para evitar el FOD	19
2.2.8	Costos del FOD.....	20
2.3	Seguridad operacional	21
2.3.1	Factores que representan peligro en operaciones aéreas	22
2.3.2	Ámbito de gestión de la seguridad operacional en los aeródromos	23
2.3.3	Identificación de peligros.....	24
a.	Formas de Identificar peligros	25
2.3.4	Mejora continua del Sistema de Seguridad Operacional.....	25
2.3.5	Seguridad Operacional en la plataforma.....	26
2.4	UAS (Unmanned Aerial System)	27
2.4.1	Diseño del UAS	28
2.5	UAV (Vehicula Aéreo no Tripulado).....	28
2.5.1	Historia de los UAV	29
2.5.2	Clasificaciones de UAV	29
a.	De acuerdo a su diseño o aerodinámica	30
b.	De acuerdo a su aterrizaje y despegue	36
c.	De acuerdo a su peso y rango	37

2.5.3	Elementos que conforman un UAV	37
2.5.4	Aplicaciones de los UAVs	41
a.	Aplicaciones Militares	42
b.	Aplicaciones Civiles	43
2.6	Realidad Virtual.....	44
2.6.1	Características de la realidad virtual.....	44
2.6.2	Tipos de realidad Virtual	45
2.6.3	Tipos de Equipos de Realidad Virtual.....	46
2.7	Goggles VR	48

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1	Preliminares	49
3.2	DJI (Da-Jiang Innovation Technology)	49
3.3	Mavic 2 ZOOM	50
3.3.1	Diagrama y partes del Mavic 2 ZOOM	51
3.4	Control Remoto	53
3.4.1	Descripción de las partes del control remoto	54
3.4.2	Pantalla LCD	56
3.5	Modos de vuelo	56

3.6	Cámara.....	58
3.7	DJI Goggles VR.....	60
3.7.1	Partes de las Goggles	61
3.7.2	Pantalla de las Goggles DJI	62
3.8	Aplicación DJI GO 4	66
3.9	Recursos para la elaboración del proyecto.....	71
3.10	Procedimiento para la elaboración del proyecto.....	71
3.11	Normas de seguridad de la aeronave.....	81
3.12	Normas de seguridad de las Goggles DJI	82
3.13	Análisis económico.....	83
3.13.1	Presupuesto	83
3.13.2	Análisis de costos.....	83
3.3.13	Costos primarios.....	83
3.3.14	Costos secundarios	84
3.3.15	Costo total del proyecto de grado.....	85

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1	Conclusiones	86
4.2	Recomendaciones.....	87

GLOSARIO	88
ABREVIATURAS	94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
ANEXOS	99

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Especificaciones del Mavic 2 ZOOM

Anexo B: Estados de los Indicadores de estado de la Aeronave

Anexo C: Sistemas de detección de la aeronave

Anexo D: Estados de Batería de la aeronave

Anexo E: Modos de operar la aeronave

Anexo F: Especificaciones de los DJI Goggles VR

Anexo G: Estado de batería de las Goggles DJI

Anexo H: Niveles de batería durante la carga de las Goggles DJI

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Valores de iluminancia para Inspección Visual	8
Tabla 2	Funciones Genéricas y Errores en la Inspección visual	12
Tabla 3	Amenazas a causa del FOD	13
Tabla 4	Subsistemas de un UAS	28
Tabla 5	Clasificación de UAVs de acuerdo a peso y rango.....	37
Tabla 6	Descripción del Diagrama del Mavic 2 ZOOM	53
Tabla 7	Descripción de las partes del control remoto	55
Tabla 8	Características de la cámara.....	59
Tabla 9	Descripción de las partes de las Goggles DJI	62
Tabla 10	Estadísticas de FOD encontrado en la plataforma	81
Tabla 11	Costos primarios del proyecto	84
Tabla 12	Costos secundarios del proyecto	84
Tabla 13	Costo total	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Inspección Visual Directa	10
Figura 2. Inspección visual remota	11
Figura 3. Tuerca en una pista de Aterrizaje	14
Figura 4. Elementos FOD	16
Figura 5. Daño en turbina por FOD	17
Figura 6. Accidente del Concorde.....	18
Figura 7. Barrido FOD	20
Figura 8. FOD en el fuselaje	21
Figura 9. Proceso de gestión de seguridad operacional.....	24
Figura 10. Esquema de un UAS	27
Figura 11. UAV por su sustentación	30
Figura 12. UAV de ala fija.....	31
Figura 13. UAV con un rotor principal y uno de cola.....	32
Figura 14. UAV con un solo rotor.....	32
Figura 15. UAV de rotores coaxiales	33
Figura 16. UAV en configuración tándem	34
Figura 17. UAV Quadcóptero.....	35
Figura 18. UAV híbrido	36
Figura 19. Aplicaciones del UAV	42
Figura 20. Potencial de mercado de los UAVs	43
Figura 21. Goggle VR	48
Figura 22. Logo DJI	50

Figura 23. Vista Frontal Mavic 2 ZOOM	51
Figura 24. Vista Posterior Mavic 2 ZOOM	51
Figura 25. Vista Posterior Mavic 2 ZOOM	52
Figura 26. Vista Superior Mavic 2 ZOOM	52
Figura 27. Vista Inferior Mavic 2 ZOOM	52
Figura 28. Vista frontal del control remoto	54
Figura 29. Vista superior del control remoto	54
Figura 30. Indicaciones de la pantalla LCD	56
Figura 31. Cámara Mavi 2 ZOOM.....	58
Figura 32. DJI Goggles	60
Figura 33. Vista frontal Goggles DJI	61
Figura 34. Vista posterior Goggles DJI	61
Figura 35. Pantalla de las Goggles DJI	63
Figura 36. Vista de la cámara en la aplicación	67
Figura 37. Piezas delanteras estiradas.....	72
Figura 38. Articulaciones estiradas.....	72
Figura 39. Colocación de las hélices	73
Figura 40. Retiro de protección cámara.....	73
Figura 41. Control encendido.....	74
Figura 42. Palancas enroscadas en el control	74
Figura 43. APP DJI GO 4.....	75
Figura 44. Anclaje de las Goggles	75
Figura 45. Encendido de las Goggles	76

Figura 46. Colocación y ajuste de las Goggles.....	76
Figura 47. Control conectado con la App.....	77
Figura 48. UAV conectado a la App.....	77
Figura 49. UAV en vuelo.....	78
Figura 50. Secciones de la plataforma	78
Figura 51. Barrido FOD con el UAV.....	79
Figura 52. Inspección con las Goggles	80
Figura 53. UAV al finalizar la tarea	80

RESUMEN

El objetivo de esta monografía fue realizar una inspección FOD implementando el avance tecnológico mediante el empleo de un UAV con un sistema de cámara integrado y vinculado a un sistema de Goggles VR o mejor conocido como FPV (First Person View) en la plataforma de la Unidad de Gestión de Tecnologías “ESPE”. En la Unidad de Gestión de Tecnologías “ESPE”, fue importante verificar que toda la plataforma se encuentre libre de cualquier sustancia u objeto que pueda afectar la seguridad de los estudiantes al momento de realizar sus prácticas de mantenimiento o comprobación y al mismo tiempo hacerlo de una manera diferente e interesante aprovechando las diferentes ventajas que nos otorgan los equipos UAV. Esta monografía brindó un paso más tecnológico a una de las inspecciones más importantes como lo es la inspección FOD implementando un sistema compuesto por un UAV, el cual mantuvo una estabilidad y velocidad óptima para la tarea, una cámara la cual analizó todo el entorno de la plataforma en búsqueda de cualquier objeto que sea extraño o que pueda ocasionar daño a las aeronaves existente dentro de la misma y Goggles VR que otorgaron una mejor apreciación de la plataforma por parte del mecánico encargado de la inspección visual.

PALABRAS CLAVE:

- **REALIDAD VIRTUAL**
- **VEHÍCULO AEREO NO TRIPULADO**
- **AERONAVES - INSPECCIÓN VISUAL**

ABSTRACT

The present monograph was to focuses on carry out a FOD inspection implementing the technological advance through the use of a UAV with an integrated camera system and linked to a Goggles VR system or better known as FPV (First Person View) in the platform of the Unidad de Gestión de Tecnologías de la "ESPE". In the Unidad de Gestión de Tecnologías "ESPE", it is important to verify that the whole platform is free of any substance or object that could affect the safety of the students when performing their maintenance or testing practices and at the same time do it in a different and interesting way taking advantage of the different benefits that the UAV equipment provides. This monograph gave a more technological step to one of the most important inspections such as the FOD inspection by implementing a system composed of a UAV which maintained optimum stability and speed for the task, a camera which analyzed the entire platform environment in search of any object that is strange or that may cause damage to the existing aircraft within it and Goggles VR that gave a better appreciation of the platform by the mechanic in charge of the visual inspection.

KEY WORD:

- **VIRTUAL REALITY**
- **UNMANNED AERIAL VEHICLE**
- **AIRCRAFT - VISUAL INSPECTION**

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes

El FOD (Foreign Object Damage) es el daño existente y latente que pueden producir aquellos elementos extraños a las aeronaves, estos pueden ser originados por causas como el descuido del personal que opera en una línea de vuelo, una falla de supervisión en labores de prevención, falta de aseo y orden, mantenimiento inapropiado, deterioro de las instalaciones, montajes descuidados o prácticas operacionales inadecuadas.

En el periodo de prácticas pre-profesionales se pudo apreciar la existencia de FOD y el peligro exponencial de su presencia tanto como para las aeronaves como para el personal de tierra ya que por descuidos se puede provocar un accidente o un incidente dando a conocer la importancia de la seguridad en las operaciones aeroportuarias.

Actualmente hay personas y organizaciones que consideran que pueden permitirse ignorar la seguridad en sus operaciones. Las organizaciones inteligentes saben que ese enfoque es equivocado. Para evitar pérdidas tienen claro que deben aplicar elevados estándares de seguridad y calidad. Han aprendido que eso sólo es posible contando con la implicación de todos sus trabajadores y colaboradores ya que cada año este tipo de incidentes causan enormes gastos a la industria aeronáutica mundial, provocando incluso graves accidentes hacia el personal de tierra o a los pasajeros de la aeronave cabe citar uno de los peores accidentes aéreos causados por FOD como lo fue el caso del vuelo 4590 de Air France con la aeronave Concorde debido a una banda de titanio encontrada en la pista de aterrizaje durante el despegue causando de esta manera una mortal cadena de sucesos que causo finalmente un siniestro.

1.2 Planteamiento del problema de investigación

El ser humano es el eslabón vital de la cadena constituida por las operaciones de las aeronaves, si bien debido a su propia naturaleza es el más flexible y variable. A fin de minimizar el error humano y contar con personal apto, experto, hábil y competente, es indispensable que la instrucción, capacitación y formación académica del personal sea la adecuada. Es así que la Carrera de Mecánica Aeronáutica de la Unidad de Gestión de Tecnologías, cumple con los estatutos y reglamentos del Consejo de Educación Superior (CES); además se rige por lo estipulado en la Regulación de la Dirección General de Aviación Civil (RDAC) Parte 147, como Centro de Instrucción Aeronáutica Civil para formación de Mecánicos de Mantenimiento de Aeronaves (CIAC).

El problema del FOD se origina desde los principios de la aviación, pero no era de alta relevancia puede deberse al personal que trabaja en la industria (mecánicos, operarios, personal de vuelo, etc.), a una inadecuada supervisión (entrega, orden y limpieza, mantenimiento, montaje, ensamblaje, etc.) y a otros factores (suciedad, animales, etc.).

Una mala inspección FOD ha causado diversos incidentes a los estudiantes de mecánica aeronáutica ya que han interrumpido las actividades normales de prácticas al encontrar elementos que pueden ser originados por causas como el descuido del personal que opera la plataforma, una falla de supervisión en labores de prevención, falta de aseo y orden, un mantenimiento inapropiado, montajes descuidados o prácticas operacionales inadecuadas por parte de alumnos.

En caso de no encontrar una solución viable en la recolección de FOD las consecuencias recaerían en grandes pérdidas para los aviones escuela, ya que los gastos son relativamente elevados en cuanto a las aeronaves, donde se contemplan

aspectos como daños debidos a FOD, un mayor gasto en combustible, mantenimientos, además de daños a la integridad al personal, tanto docentes como alumnos.

1.3 Justificación

En la Unidad de Gestión de Tecnologías “ESPE” no existe una forma moderna de llevar a cabo la inspección FOD, realizándola de la manera tradicional, demostrando un avance relativamente bajo en su proceso a pesar de ser una tarea sencilla, pero de vital importancia, lo que se dificulta a la hora de explorar nuevas opciones de llevar a cabo dicha inspección, impidiendo la aplicación de nuevas tecnologías y modernizaciones de la industria aeronáutica.

Teniendo en consideración que la inspección FOD es muy importante para el uso óptimo de los aviones ya que al haber un objeto extraño dentro de la pista de aterrizaje puede causar desde pequeños incidentes hasta accidentes catastróficos, por lo tanto, es necesario modernizar la inspección FOD ya que la tecnología se encuentra en constante avance, demostrando que la Unidad de Gestión de Tecnologías “ESPE” se mantiene en busca de la perseverancia de los nuevos avances tecnológico para el campo de mantenimiento aeronáutico.

La implementación de un UAV con sistema VR aporta un beneficio para la innovación y aplicación de los avances tecnológicos en una tarea de mantenimiento como lo es la inspección FOD para optimizar recursos, otorgar mayor eficiencia, reducir tiempos de respuestas ante un objeto extraño dentro de la plataforma de la Unidad de Gestión de Tecnologías “ESPE”, otorgando a los estudiantes nuevas herramientas modernizadas para llevar a cabo las tareas de inspección.

1.4 Importancia

Este proyecto se orienta a dar más opciones al momento de realizar una inspección FOD ya que se pretende demostrar que como universidad debemos mantener el paso del avance tecnológico implementando diversas formas de realizar tanto inspecciones como prácticas de mantenimiento fomentando las ideas innovadoras que mantenga un propósito viable dentro del campo aeronáutico.

La implementación de un sistema UAV ayuda a optimizar el tiempo en la que una persona haría una caminata FOD convencional e identifica los riesgos existentes dentro de una plataforma, mencionando que su operación facilitaría el trabajo ya que posee diferentes sistemas como rutas programas y el seguimiento de la persona para brindar un apoyo visual desde una altura y velocidad óptimas.

El brindar herramientas y sistemas avanzados a los estudiantes que van al paso de la tecnología actual nos brinda más oportunidades de adquirir las habilidades y destrezas necesarias para una época donde la tecnología avanza de forma rápida y efectiva en especial en lo que refiere al campo aeronáutico.

1.5 Alcance

Se pretende implementar un UAV con sistema VR (Realidad Virtual) para llevar a cabo la inspección FOD en lo que corresponde a las pistas de aterrizaje dando imágenes en tiempo real de diversas situaciones que se pueden dar tales como, calzado de los neumáticos pegados en la pista, herramientas olvidadas, pavimento roto, piezas de los

vehículos en tierra, entre otros objetos que pueden resultar perjudiciales para los aviones que realizan su respectivo aterrizaje.

Realizando la inspección mediante el empleo del UAV se obtendrá las imágenes en tiempo real almacenando la información para poder hacer un uso adecuado de la pista de aterrizaje hacia el VR el cual será controlado por una persona capacitada en busca de cualquier imperfecto que se encuentre dentro de la pista de aterrizaje permitiendo optimizar recursos y el tiempo de respuesta del personal en tierra en caso de una situación no esperada.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Implementar una aeronave tipo UAV equipada con tecnología VR y una cámara de 360° para demostrar la presencia de FOD en la plataforma de la unidad de Gestión de Tecnologías “ESPE” a fin de incrementar la eficiencia del personal aeronáutico encargado de la inspección FOD.

1.6.2 Objetivos específicos

- Recolectar la información técnica de los dispositivos UAV y la tecnología VR para el desarrollo del proyecto de tesis.
- Emplear la tecnología VR en la aeronave tipo UAV sincronizada a una cámara de 360° para la detección de FOD por el usuario del equipo.
- Ejecutar la inspección FOD mediante el UAV equipado con la tecnología VR en la plataforma de la Unidad de Gestión de Tecnologías.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Inspección Visual

Se debe tomar en consideración que la inspección visual es el método de inspección más antiguo, eficaz y económico que se emplea mayormente, y por la misma razón se debe tomar en consideración diferentes variables para aplicarlo de forma correcta y adecuada.

En primera instancia debemos definir la inspección visual como “el examen de un material, pieza o producto para evaluar su conformidad usando solo la vista, o con ayuda de alguna herramienta” (Arenas J. , 2016). De igual manera nos ayudamos con nuestros sentidos tales como el olfato, oído y algunos casos el gusto.

“Está ampliamente demostrado que cuando se aplica correctamente como inspección preventiva, detecta problemas que pudieran ser mayores” (Gauna, y otros, 2012).

Se la considera un método de Ensayo No Destructivo (NDT), uno de los más comunes y más básicos, ya que se puede aplicar a una gran variedad de tipos de materiales y productos, pero cabe resaltar que las aptitudes de detección se limitan, efectivamente, a aquellos desperfectos que se pueden apreciar con la vista tales como grietas, poros, desgaste, decoloraciones, corrosión, etc., así como al control dimensional (Arenas J. , 2016).

2.1.1 Requerimientos para una Inspección Visual

Para lograr una inspección efectiva es muy importante disponer de una iluminación adecuada. De acuerdo al tipo y al entorno en el cual nos encontremos se verá reflejada la necesidad de iluminación. La inspección de componentes complicados y con un nivel

bajo de contraste requerirá mejor iluminación que la inspección de componentes sencillos y con un contraste alto (Arenas J. , 2016).

La intensidad de luz se puede medir con un luxómetro. La unidad de medida son los lux. Un lux equivale a la cantidad de luz que llega a una superficie y equivale a un lumen/m². La inspección de componentes complicados y con bajo contraste requiere una iluminación de la superficie de 1000 lux ó más. Toda necesidad de iluminación debe ser tomada en consideración antes de llevar a cabo la inspección del componente o entorno (Arenas J. , 2016).

La luz que llega al ojo tiene que ver con la luminancia. Para algunas aplicaciones es suficiente con una iluminación directa, para otras aplicaciones es mejor utilizar una iluminación indirecta debido a que resalta las sombras de las grietas y las hace más fácil de detectar.

Para obtener buenos resultados, el inspector debe tener conocimientos básicos de proceso de diseño, conformado estructural, procesos de unión de materiales y conocer las instrucciones con criterios claros de aceptación y rechazo de acuerdo con los manuales de las aeronaves.

Tabla 1
Valores de iluminancia para Inspección Visual

Actividad	Iluminación (Lux)	Iluminación Cd/pie ²	Tipo de Iluminación
Inspecciones Ocasionales	100-200	10-20	General
Alto Contraste o Gran Tamaño	200-500	20-50	General
Medio Contraste, Tamaño Medio	500-1000	50-100	Zona de Interés
Bajo Contraste, Tamaño Pequeño	1000-2000	100-200	Zona de Interés

Fuente: (Arenas J. , 2016)

2.1.2 Equipos de una Inspección Visual

Es importante conocer el manejo adecuado del equipo con el cual se realiza la inspección visual, ya que se son varios, tales como reglas, flexómetros y calibres hasta boroscopios flexibles y cámaras remotas o herramientas más sofisticadas, como los robots, drones, sensores que se utilizan para inspecciones en las que las técnicas habituales no son suficientes.

La herramienta más común utilizada en la inspección visual es la regla ó escalímetro. Se utiliza para dimensiones lineales, permitiéndonos medir, cuando se utiliza correctamente, espesores de hasta 0.5 mm o menos. Las reglas se fabrican en una gran variedad de longitudes, anchuras y espesores, pueden estar graduadas en pulgadas, en milímetros o en ambas lo importante es escoger la regla a utilizar en función de su aplicación (Arenas J. , 2016).

Los Pies de Rey se pueden considerar como una regla más avanzada, lo que permite una mayor precisión en las medidas. Algunos incluso incorporan un dial indicador o un indicador digital, los Pies de Rey son muy utilizados para comprobar las dimensiones de piezas mecanizadas, desgastes de elementos en servicio y holguras entre ellos (Arenas J. , 2016).

2.1.3 Tipos de inspecciones Visuales

Existen diferentes maneras de emplear una inspección visual y estas son:

a. Inspección visual directa

La inspección visual directa (DVI) es un método de prueba visual dentro de las pruebas no destructivas. La inspección visual directa se diferencia de la indirecta, algunas veces también llamada inspección visual remota, en que el inspector está en presencia del objeto de prueba y tiene una visión inmediata de la superficie de prueba, aún si esta se observa a través de un dispositivo como una lupa o cámara. En la técnica visual indirecta, el inspector usa un boroscopio ó cámara de control remoto para observar superficies que de otra forma serian inaccesibles (Arenas J. , 2016).

La inspección visual directa debe cumplir con una regla en la cual la persona debe mantener un contacto visual directo dentro del área de interés esto indica que la visión de la persona debe mantenerse dentro de un rango de 24 pulgadas o 610 milímetros manteniendo un ángulo no mayor de 30 grados de la superficie a examinar.



Figura 1. Inspección Visual Directa

Fuente. (Arenas J. , 2016)

b. Inspección Visual Remota o Indirecta

La inspección visual remota es aquella en la cual se utilizan instrumentos ópticos de mayor alcance como telescopios, binoculares, circuitos cerrados de televisión, cámaras, sensores, etc., para poder examinar de forma eficiente un objeto a distancia.

Durante el proceso de esta inspección, el factor más importante es el ojo humano, la aplicación básica consiste en que el examinador cumpla con los requisitos de visión necesarios y cuente con una vista sana, las enfermedades tales como la miopía y el astigmatismo afectan el resultado de un examen visual (Fores Barrera, 2009).

Ya que se mantiene a una distancia mayor que 24 pulgadas se debe emplear equipos que ayuden a compensar la distancia con una resolución adecuada para completa de forma eficiente la inspección requerida.



Figura 2. Inspección visual remota

Fuente: (Arenas J. , 2016)

2.1.4 Factores de una inspección visual

Existen diversos factores que determinan la calidad de una inspección visual entre los cuales tenemos:

- La calidad del detector o persona que realiza la inspección (ojo ó cámara).
- Las condiciones de luminosidad del entorno.
- La efectividad de obtener resultados.
- La capacitación adecuada y la atención a los detalles.
- El uso adecuado de las herramientas en la inspección.

2.1.5 Errores en la Inspección Visual

Los errores dentro de una inspección visual suelen llegar a ser más comunes debido al factor humano, ya que existe la posibilidad de que la persona que lo efectúa lo considere un método de inspección fácil y como consecuencia llega a cometer errores influenciado por diversos factores como pueden ser el exceso de confianza, la falta de búsqueda, falta de experiencia, no calibrar de forma adecuada su equipo de trabajo,

indecisión o respuesta lo que puede ocasionar diversos accidentes e incidentes dentro de su puesto de trabajo como a la aeronave.

Tabla 2
Funciones Genéricas y Errores en la Inspección visual

Función	Resultado Correcto	Errores Lógicos
Inicio	<ol style="list-style-type: none"> 1. Personal idóneo 2. Equipos de inspección correctamente calibrados 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Personal sin experiencia 2. Equipo incorrecto 3. Calibración incorrecta 4. Conocimiento incorrecto del equipo
Acceso	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sistema de Inspección Identificado 2. Área plenamente identificada 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ubicación presentada incorrecta 2. Área de interés del lado incorrecto
Búsqueda	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se encuentra todas las indicaciones posibles 2. No conformidades detectadas 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Indicación perdida 2. Indicación falsa 3. Indicación olvidada antes de la decisión
Decisión	<ol style="list-style-type: none"> 1. Todas las indicaciones localizadas y correctamente medidas y clasificada 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Indicación incorrecta 2. Medida Incorrecta 3. Indicación clasificada incorrectamente 4. Decisión resultado incorrecto 5. Indicación no procesada
Respuesta	<ol style="list-style-type: none"> 1. La acción específica para los resultados se 	<ol style="list-style-type: none"> 1. No actuar conforme a la reglamentación o al dato técnico 2. Las medidas adoptadas no son correctas 3. Acción incompleta

Fuente: (Arenas J. M., 2016)

2.2 Introducción al FOD (Foreign Object Damage)

En cada aeropuerto la pista de aterrizaje resulta ser una zona crítica debido que es gracias a ella que los aviones despegan y aterrizan sin inconvenientes, pero esto se debe a la seguridad operacional que dispone cada aeropuerto para prevenir cualquier amenaza que afecte la integridad del mismo, por esta razón es que la presencia de objetos como metales, piedras, residuos, plásticos, cauchos, herramientas, tuercas, arandelas,

trapos... Todos estos objetos son considerados FOD ya que representan una amenaza para las aeronaves tanto en el despegue como en el aterrizaje llegando a causar un accidente o incidente.

Para prevenir, evitar y asegurar una operación segura de cada aeronave se requiere de la implementación de diferentes programas de prevención y protección donde se regulan las acciones y respuestas del personal contra el FOD.

Tabla 3

Amenazas a causa del FOD

FOD (FORGET OBJECT DAMAGE/ DEBRIS)	
Amenaza latente para aeronaves y vehículos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Daños al momento de remolcar la aeronave 2. Daños al encender los motores 3. Accidentes 4. Incidentes
Afecta la seguridad operacional	<ol style="list-style-type: none"> 1. Daño a la integridad de los trabajadores 2. Muerte 3. Incumplimiento de las normas para FOD
Afecta económicamente a las partes involucradas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gasto en reparación de la aeronave 2. Gasto en la reparación del motor 3. Sanción a personas que no cumplan las normas de seguridad para FOD 4. Dar de baja a una aeronave por daño ocasionado

2.2.1 FOD (Foreing Object Damage)

La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), si bien ha reconocido la falta de estandarización en la normativa internacional en lo que a definición y taxonomía de FOD se refiere, en su Anexo 14 define FOD como “Objeto inanimado dentro del área de movimiento que no tiene una función operacional o aeronáutica y puede representar un peligro para las operaciones de las aeronaves” (AESA, 2017).

No se debe descartar los riesgos asociados a la existencia indebida de objetos en cualquier parte de la pista de aterrizaje debido al área de movimiento del aeropuerto, esto se reduce por la implementación de un programa de gestión de riesgos de FOD y al uso eficaz y eficiente de equipo de detección y eliminación del mismo. También se puede catalogar al FOD de acuerdo a un rango acorde a su peso que puede ir desde menos de 100 gramos hasta objetos de un peso considerado de varios kilos.

Según José Sanz Dodero, consultor en Gestión y Seguridad de Aeropuertos de la International Air Transport Association (IATA) menciona: “En los aeropuertos se consideran Foreign Objects Debris (FOD) a cualquier objeto que se encuentra en un lugar inapropiado y como consecuencia de ello puede causar daño a los equipos y aeronaves”.



Figura 3. Tuerca en una pista de Aterrizaje
Fuente: (Oliva, 2016)

2.2.2 Tipos de FOD

Existen principalmente dos tipos de FOD, el primero es el que se refiere a aquellas piezas de las aeronaves incluyendo sus motores, tornillos, arandelas, tuercas, virutas, herramientas especiales, herramientas mecánicas, pertenencias del personal, entre otros.

El segundo tipo de FOD son aquellos objetos que se llegan a encontrar en la plataforma tales como trozos de cemento, juntas, plásticos del catering o de los pallets de carga y equipaje, virutas de pintura. También se considera FOD los objetos naturales como lo son aves, animales muertos, plantas hasta cenizas de los volcanes, además de los contaminantes invernales, como la nieve y el hielo (Acosta, 2017).

2.2.3 Elementos que constituyen al FOD

EL FOD constituye una gran cantidad de objetos o materiales, incluyendo materiales de construcción o de pavimentación, piezas sueltas de equipajes, animales muertos, fragmentos de la pista, o piezas sueltas.

El tipo de FOD que más comúnmente se puede llegar a encontrar en las pistas de los aeropuertos son:

- Elementos de unión de aeronaves o motores (tuercas, pernos, arandelas, alambres de seguridad...)
- Partes de aeronaves (tapas de combustible, fragmentos de tren de aterrizaje, medidores de aceite, láminas de metal, fragmentos neumáticos...)
- Herramientas mecánicas
- Artículos asociados a actividades en plataforma (papel y residuos de plástico o metal, piezas de equipaje, partes de equipos de rampa, acreditaciones, bolígrafos, etiquetas de equipaje...)
- Materiales de superficies pavimentadas y no pavimentadas (pedazos de hormigón y de asfalto, materiales de juntas, restos de pintura, grava, arena...)
- Material de construcción (trozos de madera, piedras, piezas metálicas...)

- Materiales vegetales y animales (plantas y restos de fauna)
- Contaminantes de condiciones meteorológicas adversas (granizo, hielo, nieve, arena...) (AESA, 2017).



Figura 4. Elementos FOD
Fuente: (Oliva, 2016)

2.2.4 Daños que puede ocasionar el FOD

La presencia de FOD en el área de movimiento de los aeropuertos es una amenaza significativa a la seguridad operacional del transporte aéreo, que puede provocar elevados costes económicos y operativos, tanto a las compañías aéreas como a los mismos aeropuertos. El FOD se puede encontrar en pistas, calles de rodaje, plataformas y áreas adyacentes; ello puede causar daños a las aeronaves ya sea por contacto directo, por ingestión de éstos por los motores o tras ser arrojados por el chorro de los reactores (AESA, 2017).

a. Daños potenciales por FOD

Son aquellos daños que tienen una potencia de acción alta y que pueden llegar a generar catástrofes aéreas graves.

- Corte en los neumáticos de las aeronaves.
- Daños a alas y otras partes de la estructura de la aeronave
- Absorción de objetos en los motores (piedras, césped, asfalto, madera, metales, tornillos, arena, entre otros).
- Atoramiento de los mecanismos de la aeronave que afecten el desarrollo del vuelo.
- Daños a infraestructura y equipos.
- Daño a los trabajadores o incluso se puede causar la muerte por objetos empujados debido el chorro de turbina (Gaviria, 2013).



Figura 5. Daño en turbina por FOD
Fuente: (Oliva, 2016)

2.2.5 Catástrofe Aérea a causa de FOD

Una de las peores catástrofes en la industria aeronáutica fue debido a un accidente no previsto en uno de los aviones supersónicos Concorde de Air France durante el vuelo 4590 en Gonesse, Francia, ocurrido el 25 de julio del 2000, accidente en el cual murieron más de 100 personas entre pasajeros, tripulantes y personal de tierra.

Concluida la investigación oficial se confirmó que el accidente fue ocasionado debido a una cinta metálica que se desprendió de un DC-10 que había realizado su despegue un poco antes, es decir, un accidente debido a FOD.



Figura 6. Accidente del Concorde
Fuente: (Oliva, 2016)

2.2.6 Métodos de Inspección FOD

Existen dos diferentes maneras para llevar a cabo una inspección FOD, la primera debe ser visual empleado la agudeza visual del inspector y la segunda se la emplea mediante el uso de diversas tecnologías que sean de inspección continua tales como radares, sistemas electroópticos y drones.

En la actualidad se ha empezado a optar por el empleo de tecnologías continuas ya que para realizar la inspección en pista se utilizan cámara de alta definición, vehículos con cámaras infrarrojas, radares, ondas milimétricas montadas en torres fijas (Acosta, 2017).

2.2.7 Métodos para evitar el FOD

Existen diferentes formas o métodos para evitar el FOD las cuales sugieren seguir una serie de procesos cuidadosamente planificados por la seguridad operacional que dispone cada aeropuerto para manejar diversas situaciones que afecten la integridad física de los trabajadores, pasajero, aeronaves y del mismo aeropuerto estas pueden ser:

- Capacitar al personal para que entienda los peligros que puede ocasionar el FOD.
- Siempre informar de cualquier tipo de FOD encontrado en la pista.
- Ejercer un liderazgo donde se motive a los trabajadores a la recolección de FOD.
- No dejar inadvertido ningún tipo de material extraño entro de la pista.
- Llevar un control organizado de las herramientas y equipo de cada trabajador.
- Efectuar la debida limpieza luego de finalizar cualquier tipo de tarea dentro de la pista.
- Levantar cualquier tipo de residuo que se logre observar.
- Realizar una inspección periódicamente de la pista de vuelo.
- Trabajar con compañerismo y en equipo.
- Disponer bolsas o contenedores FOD como parte del equipo de trabajo.
- Introducir indicadores sobre la eliminación de FOD y dar retroalimentación de ellos.
- Motivar de forma positiva a los trabajadores que eviten y reporten daños FOD.



Figura 7. Barrido FOD

Fuente: (Oliva, 2016)

2.2.8 Costos del FOD

Los costos de todo equipo aeronáutico son elevados y más aún cuando se compromete la seguridad de la aeronave en su totalidad o uno de los motores por esta razón el FOD no debe pasar inadvertido. Algunos de los daños que ocasionan costos pueden ser:

- Presentar considerables riesgos materiales y personales.
- Consume tiempo de mantenimiento.
- Adiciona cargas laborales no planificadas directas e indirectas.
- Produce pérdidas económicas a las compañías.
- Costos de reparación (material y mano de obra).
- Puede ocasionar daño a motores: desde reparación o sustitución de álabes, hasta un overhaul completo de motor.
- Reparación de golpes y agujeros.
- Cambio de neumáticos pinchados.
- Tiempo fuera de servicio del avión o dado de baja.
- Reducción del tiempo de vida útil y de la eficiencia del motor.

- Retrasos y cancelaciones de vuelos (FUMIGARAY S.A.S, 215).



Figura 8. FOD en el fuselaje
Fuente: (FUMIGARAY S.A.S, 215)

2.3 Seguridad operacional

La seguridad operacional ayuda a la prevención de accidentes dentro de la zona de un aeródromo ya que consiste en una serie de procesos elaborados por el operador de cada aeródromo con la finalidad de evitar cualquier tipo de accidente o incidente que resulte perjudicial para los trabajadores, aeronaves o equipos.

Es necesario tener en consideración lo siguiente:

- a) La seguridad operacional en los aeródromos requiere que el operador de aeródromo enfoque la gestión para que las operaciones aéreas se realicen con seguridad, regularidad y eficiencia.
- b) El operador de aeródromo debe coordinar con los explotadores de aeronaves, proveedores de Servicios de Navegación Aérea y toda otra parte interesada pertinente con el objeto de garantizar la seguridad de las operaciones, y la AAC verificará que exista esta coordinación.

- c) El operador de aeródromo debe asegurar que todos los usuarios del aeródromo, incluidas las agencias de servicios de escala y otras organizaciones que realizan en el aeródromo de forma independiente actividades relativas al despacho de vuelos o aeronaves, cumplan con los requisitos de seguridad operacional del operador de aeródromo (DGAC Dirección General de Aviación Civil, 2018).

2.3.1 Factores que representan peligro en operaciones aéreas

Son aquellos que llegan a poner en peligro las operaciones aéreas y poseen un alto potencial de que ocurra un accidente, algunos son:

1. Volumen y mezcla de tráfico (regular y no regular, chárter y especiales);
2. Vulnerabilidad de las aeronaves en tierra (dificultad de movimiento, fragilidad, etc.);
3. Condiciones meteorológicas adversas (temperaturas, vientos, precipitación y visibilidad reducida);
4. Presencia de fauna (aves y animales);
5. Señalización inadecuada, fuera de norma, borrosa o confusa;
6. Presencia de edificios, árboles y estructuras que limitan la visibilidad directa al control de tránsito aéreo;
7. Falta de identificación de los puntos críticos del aeródromo, incursiones en pista; según la RDAC 153 Dirección General de Aviación Civil Enmienda No.2 53 Actualizado: 19-octubre-2018.
8. Ayudas visuales inadecuadas (letreros, señales e iluminación) y elementos de montaje de las ayudas visuales no frangibles;
9. Incumplimiento de los procedimientos establecidos (especialmente en los aeródromos no controlados);

10. Movimiento de vehículos en el área de movimiento;
11. Presencia de FOD en las áreas de movimiento.
12. Presencia de personas o vehículos no autorizados en el área de movimiento.
13. Control en tierra y en la plataforma.
14. Ayudas visuales y no visuales para el aterrizaje que no son adecuadas ni fiables;
15. Trabajos de construcción, ampliación y mantenimiento en el aeródromo;
16. Aprovechamiento de combustible a las aeronaves (DGAC Dirección General de Aviación Civil, 2018).

2.3.2 Ámbito de gestión de la seguridad operacional en los aeródromos

Se debe tomar en consideración que cada operador de aeródromo efectúa y aplica los procedimientos de acuerdo a su criterio y a la seguridad operacional pertinente por eso se debe tomar en consideración lo siguiente:

En primer lugar, el operador de aeródromo debe determinar el alcance del SMS y efectuar la descripción del ámbito de aplicación del mismo, como así también el medio en el cual interactúa, a fin de identificar las organizaciones con las que deberá coordinar las acciones para la identificación de peligros y la gestión de riesgos, así como los métodos y procedimientos para mitigar y/o eliminar las condiciones latentes y peligros presentes en el sistema y en la operación del aeródromo, luego de eso el operador de aeródromo en la elaboración del SMS debe determinar quién es el responsable de la gestión del riesgo, considerando que a partir de ello se inicia la elaboración del manual, dando cumplimiento a los requisitos que la norma exige para su diseño, implementación y desarrollo y finalmente el operador de aeródromo debe monitorear las actividades de

los operadores aéreos y usuarios del aeródromo para garantizar la regularidad, efectividad y eficiencia de las operaciones debido a la complejidad de los factores que crean un potencial riesgo en los aeródromos (DGAC Dirección General de Aviación Civil, 2018).

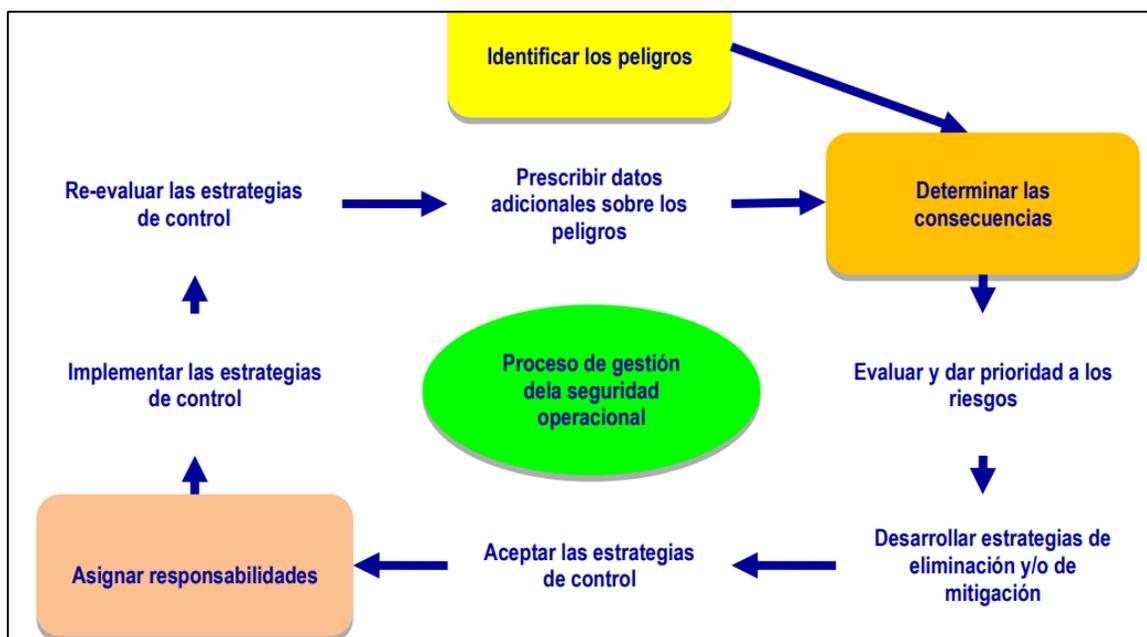


Figura 9. Proceso de gestión de seguridad operacional

Fuente: (DGAC Dirección General de Aviación Civil, 2018)

2.3.3 Identificación de peligros

La identificación de peligros es de gran importancia ya que ayuda a prevenir y formar estrategias ante posibles eventos que puedan ocurrir de forma inesperada y efectuar un plan para resolverlos de forma eficiente.

El operador de aeródromo debe establecer los procedimientos para la identificación de los peligros, los cuales deben basarse en una combinación de métodos reactivos, proactivos y predictivos para recopilar datos sobre seguridad operacional.

El operador de aeródromo debe desarrollar procedimientos eficaces para recolectar y registrar los peligros y condiciones latentes presentes en las operaciones. Los medios formales de recolección de datos de seguridad operacional incluirán sistemas de reportes obligatorios, voluntarios y confidenciales (DGAC Dirección General de Aviación Civil, 2018).

a. Formas de Identificar peligros

Se puede identificar los peligros gracias al cumplimiento de los siguientes pasos:

1. Reporte de los peligros, eventos o condiciones presentes que puedan afectar a la seguridad operacional;
2. Recolección y almacenamiento de los datos de seguridad operacional;
3. Análisis de los datos de seguridad operacional, para eliminarlos o mitigarlos; y
4. Distribución de la información de seguridad operacional obtenida de los datos de la seguridad operacional (DGAC Dirección General de Aviación Civil, 2018).

2.3.4 Mejora continua del Sistema de Seguridad Operacional

El operador de aeródromo debe establecer los procedimientos para identificar y determinar las consecuencias de las deficiencias en la aplicación del SMS, con la finalidad de eliminar y/o mitigar las causas.

El operador de aeródromo como parte de las actividades de garantía de seguridad operacional del SMS, debe desarrollar y mantener procesos formales para identificar las causas de bajo desempeño del SMS, determinar las implicaciones para su operación, y rectificar las situaciones que implican estándares de desempeño bajo a fin de asegurar la mejora continua del SMS.

La mejora continua del operador de aeródromo SMS debe incluir:

1. Evaluaciones proactivas y reactivas de las instalaciones, equipamiento, documentación y procedimientos, y la verificación de la eficacia de las estrategias de control de los riesgos de seguridad operacional; y
2. Evaluación proactiva del desempeño individual y verificación del cumplimiento de las responsabilidades de seguridad operacional.
3. Un procedimiento de revisión periódica del sistema de gestión de seguridad operacional que incluya revisar la política y los objetivos trazados por la alta gerencia, como así también evaluar si los procedimientos del sistema son adecuados a las condiciones actuales y previstas a nivel operacional y organizacional (DGAC Dirección General de Aviación Civil, 2018).

2.3.5 Seguridad Operacional en la plataforma

En la plataforma o pista se debe seguir una serie de pasos para evitar que se encuentre material contaminante que pueda interrumpir el flujo de trabajo normal del aeródromo, sea durante o antes del vuelo incluyendo cuando una aeronave se encuentra siendo remolcada a su hangar.

Una amplia variedad de operaciones complejas, incluyendo el manejo de combustible aeronáutico, obras de construcción, mantenimiento de pistas y calles de rodaje; el movimiento de vehículos, aeronaves y personal aeroportuario desarrollando diversas tareas de mantenimiento suministros y actividades operacionales, están todas concentradas en un área pequeña, apuntando a conflictos potenciales. Además, la calidad del trabajo realizado en la plataforma es vital para la seguridad operacional de la aeronave durante sus vuelos subsecuentes, siendo una de las funciones primarias del

SMS es la de mantener y mejorar la conciencia de seguridad operacional en los aeropuertos, sin embargo, es una tarea que no depende únicamente de la administración del aeropuerto, debe ser una acción conjunta entre operadores, autoridades estatales y administradores aeroportuarios (Herrera, 2018).

2.4 UAS (Unmanned Aerial System)

También conocido como sistema de vehículos aéreos no tripulados es definido como un conjunto de elementos y subsistemas que puede cumplir con operaciones complejas sin la necesidad de un piloto a bordo.

Por lo general, estos sistemas están compuestos por uno o más vehículos aéreos no tripulados (UAVs, Unmanned Aerial Vehicles), una o varias estaciones de control en tierra (GCS, Ground Control Station), elementos embarcados también conocidos como carga útil y un subsistema de comunicaciones para el intercambio de información entre los distintos elementos del sistema (Santana, 2017).

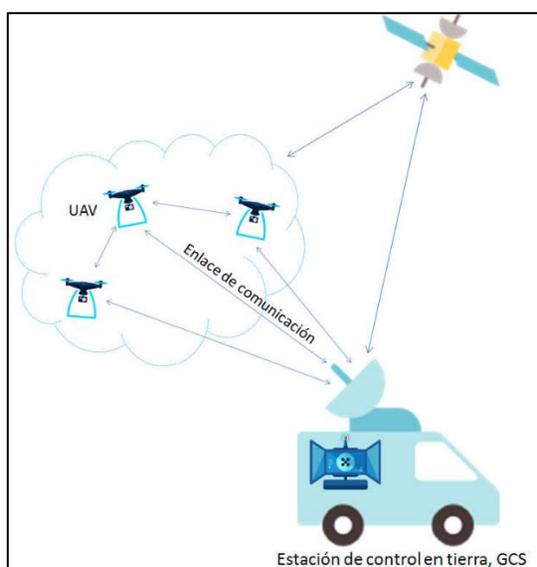


Figura 10. Esquema de un UAS
Fuente: (Santana, 2017)

2.4.1 Diseño del UAS

El diseño del UAS consiste en el vehículo aéreo no tripulado y otros subsistemas que incluyen el enlace de comunicación entre el UAV, el usuario y la estación de control en tierra. La selección de componentes como fuselaje, controlador, motor, hélices y la fuente de alimentación es la tarea crucial y necesita un conocimiento profundo y cálculos matemáticos completos para diseñar un UAV para una misión específica o de acuerdo a la operación que se planea realizar (Gaurav , Babankumar , & Lini , 2018).

Tabla 4
Subsistemas de un UAS

UAS	
Aeronave	<ol style="list-style-type: none"> 1. Procesador 2. Motor 3. Hélices 4. Receptor 5. Sistema de navegación inercial
Estación de control	<ol style="list-style-type: none"> 1. Transmisor 2. Computadora
Conexión o data link	<ol style="list-style-type: none"> 1. Módem 2. GPS
Accesorios	<ul style="list-style-type: none"> Carga útil Glimbal

2.5 UAV (Vehicula Aéreo no Tripulado)

En general se define como UAV a toda aeronave capaz de volar sin necesidad de llevar un piloto humano a bordo a excepción de vehículos balísticos o semi balísticos, misiles de crucero y proyectiles de artillería sin importar de que estos lleven o no un sistema de guiado inteligente (Santana, 2017).

2.5.1 Historia de los UAV

Debido a un alto número de personal de combate periclitado durante misiones del tipo de rastreo de enemigos en la segunda guerra mundial ha alentado la idea de utilizar vehículos no tripulados. Algunos países han invertido grandes presupuestos en la investigación de UAV, principalmente Estados Unidos, Israel, algunos países de la Unión Europea y recientemente Japón. Durante la guerra de Vietnam, el ejército estadounidense utilizó UAV, para localizar plataformas de lanzamiento de misiles soviéticos. Con el desarrollo y miniaturización de las tecnologías, el interés en estos vehículos dentro de la armada estadounidense creció de manera considerable. Así, comenzaron a verse como dispositivos baratos que ayudarían en combate, sin el riesgo de pérdidas humanas (Escamilla, 2010).

Las primeras generaciones de UAV fueron hechas inicialmente para la supervisión y vigilancia, aunque algunos fueron equipados con armamento (como el MQ-1 Predator, el cual utilizaba misiles aire-tierra). A los UAV armados, se les conoce como vehículos de combate aéreo no tripulados, (UCAV por sus siglas en inglés: Unmanned Combat Aerial Vehicles). Para ilustrar lo anterior, se puede citar la guerra del golfo (1991), donde la armada estadounidense utilizó uno de estos para tareas de vigilancia tanto a la luz del día como por la noche; este vehículo se encargaba de recabar información de objetivos hostiles (Escamilla, 2010).

2.5.2 Clasificaciones de UAV

Los vehículos aéreos no tripulados son clasificados de diversas maneras de acuerdo a su peso, diseño, forma de despegar y aterrizar, rango y altura.

a. De acuerdo a su diseño o aerodinámica

De acuerdo a este criterio se puede agrupar en dos grupos en aerodino (aeronaves más pesadas que el aire) y en un segundo grupo los aerostatos (aquellas aeronaves cuya suspensión en el aire se debe al empleo de un gas más ligero que el propio aire) (Santana, 2017).



Figura 11. UAV por su sustentación

Fuente: (Santana, 2017)

En la actualidad el tipo más común de UAV son los aerodinos tanto para el ámbito civil como para el militar de los cuales destacan en especial 3 tipos de aerodinos que se describen a continuación:

1. **Ala fija:** Las alas se encuentran unidas con los elementos de la aeronave sin disponer de movimiento propio, poseen una estructura simple, pero con una elevada eficiencia aerodinámica y gracias a eso poseen un rendimiento energético considerable otorgándoles un tiempo de vuelo elevado. Hay que considerar que este tipo de aeronaves necesitan de un componente externo para llevar a cabo su despegue y aterrizaje complicando la ejecución de la misión de vuelo. Una de sus desventajas es su nivel de maniobrabilidad ya que es baja impidiendo que sean empleados en espacios reducidos.



Figura 12. UAV de ala fija
Fuente: (Escamilla, 2010)

2. Ala rotatoria: Aquellos aerodinos en los cuales sus alas o palas como su nombre mismo lo dice giran alrededor de su eje causando la sustentación para mantener un vuelo. De acuerdo al número de rotores que posean se pueden subdividirse en:

- **Aeronaves con un rotor principal y un rotor de cola:** La sustentación va a ser generada mediante el rotor principal el cual se encuentra ubicado en la parte superior del aparato, mientras el rotor de cola compensa el par de torsión que el primero produce. Debido a estas características este tipo de UAV tiene buena capacidad de control y maniobrabilidad. Sin embargo, su estructura mecánica tiende a ser compleja (Santana, 2017).



Figura 13. UAV con un rotor principal y uno de cola
Fuente: (Santana, 2017)

- **Aeronaves con un único rotor:** Este tipo de UAVs poseen un único rotor para generar la sustentación y un arreglo de alerones para compensar el torque del rotor. Tienen una estructura mecánica relativamente simple, sin embargo, son difíciles de controlar aún para pilotos experimentados (Santana, 2017).



Figura 14 . UAV con un solo rotor
Fuente: (Santana, 2017)

- **Aeronaves con dos rotores en configuración coaxial:** En esta configuración posee dos rotores colocados uno encima del otro. Ambos rotores giran en direcciones opuestas, consiguiendo el emprender el vuelo a partir de la diferencia generada de la velocidad angular de ambos rotores. La configuración coaxial permite la fabricación de aeronaves compactas, pero tiene como desventaja que una cantidad significativa de la energía se pierde debido a que los rotores interfieren entre sí (Santana, 2017).



Figura 15. UAV de rotores coaxiales
Fuente: (Santana, 2017)

- **Aeronaves con dos rotores en configuración tándem:** Este tipo de aeronaves poseen dos rotores ubicados en la parte superior del aparato en configuración tándem. Ambos rotores giran en direcciones opuestas lo cual neutraliza el torque generado. La estructura mecánica de estos UAVS es extremadamente compleja (Santana, 2017).



Figura 16. UAV en configuración tándem
Fuente: (Santana, 2017)

- **Multirrotores:** Un multirrotor es una aeronave de ala rotatoria que posee tres o más rotores. Dependiendo del número de rotores y de su configuración, los multirrotores pueden subdividirse en diferentes tipos, yendo desde aeronaves con tres rotores (tricópteros), cuatro rotores (quadcópteros) hasta configuraciones de 8 (octocópteros) o más rotores. Al igual que los otros tipos de aeronaves de ala rotatoria, los multirrotores generan la sustentación necesaria para el vuelo a través de sus rotores, aunque en este caso, sus hélices son de paso fijo (ángulo fijo) y de revoluciones variables. Las hélices son instaladas en sentidos de rotación opuestos de forma diametral, es decir, se alternan hélices de giro a derecha con hélices de giro a izquierdas resultando nula la suma de las fuerzas que generan. Este juego de sumas y restas de fuerzas es el que permite la maniobrabilidad de este tipo de aeronaves. Si todos los rotores producen la misma fuerza de sustentación y ésta se encuentra en equilibrio con el peso de la aeronave, entonces el aparato se mantendrá en vuelo estacionario. (Santana, 2017).



Figura 17. UAV Quadc6ptero

Fuente: (Santana, 2017)

Una de las características m6s importante de los UAVs de ala rotatoria es que pueden realizar su despegue y aterrizaje de manera vertical sin la necesidad de un componente externo a diferencia de los UAVs de ala fija.

Este tipo de aeronaves presentan un alto nivel de maniobrabilidad, siendo capaz de realizar desde vuelos estacionarios hasta la realizaci6n de maniobras de elevado nivel de precisi6n, lo que les permite llevar a cabo misiones tanto en interiores como en exteriores, son capaces de volar a alturas muy bajas con respecto al suelo, lo que les permite captar im6genes con un elevado nivel de resoluci6n (Santana, 2017).

Tambi6n debido a su mec6nica de vuelo poseen una buena capacidad de carga de pago. Sin embargo, al necesitar que todos sus rotores est6n funcionando permanentemente para lograr la sustentaci6n necesaria, ya que el tiempo de autonom6a de vuelo es limitada debido al elevado consumo energ6tico que poseen (Santana, 2017).

3. UAVs Híbridos: Este tipo de UAVs son capaces de despegar y aterrizar de forma vertical, como las aeronaves de ala rotatoria, y de realizar vuelos a alta velocidad, como un ala fija tradicional. Estas aeronaves poseen redundancia de mecanismos de sustentación, lo que convierte a esta solución en una opción robusta ante fallos inesperados. Sin embargo, su estructura mecánica y de control es compleja. Fruto de esta complejidad, actualmente existen muy pocas ofertas comerciales de este tipo de UAVs, y las aeronaves que ya se encuentran en el mercado poseen precios sumamente elevados (Santana, 2017).

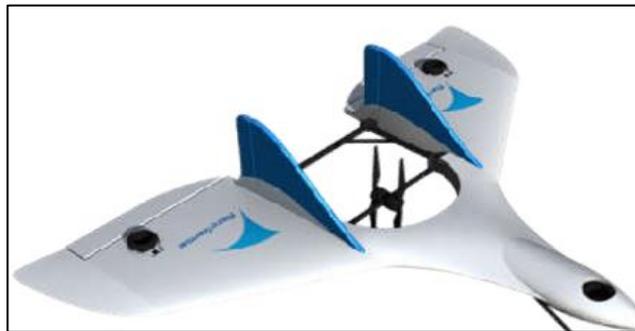


Figura 18. UAV híbrido
Fuente: (Santana, 2017)

b. De acuerdo a su aterrizaje y despegue

Existen dos maneras por las cuales un UAV efectúa un aterrizaje y despegue por despegue y aterrizaje horizontal (HTOL) y despegue y aterrizaje vertical (VTOL):

HTOL puede considerarse como la extensión de un avión de ala fija. Tienen alta velocidad de crucero y un aterrizaje suave. Los drones VTOL son expertos en vuelo, aterrizaje y vuelo vertical, pero están limitados por la velocidad de crucero debido a la desaceleración de las hélices en retirada (Santana, 2017).

c. De acuerdo a su peso y rango

Se los clasifica de acuerdo al peso que disponen cada UAV y al rango o alcance que disponen se clasifican en la siguiente tabla:

Tabla 5
Clasificación de UAVs de acuerdo a peso y rango

Tipo	Peso Máximo	Alcance Máximo	Categoría
Nano	200 gramos	5 km	Ala fija, Multirrotor
Micro	2 kg	25km	Ala fija, Multirrotor
Mini	20 kg	40 km	Ala fija, Multirrotor
Ligero	50 kg	70 km	Ala fija, Multirrotor
Pequeño	150 kg	150 km	Ala fija
Táctico	600 kg	150 km	Ala fija
MALE	1000 kg	200 km	Ala fija
HALE	1000 kg	250km	Ala fija
Pesado	2000 kg	1000km	Ala fija
Súper Pesado	2500kg	1500km	Ala fija

Fuente: (Gaurav , Babankumar , & Lini , 2018)

2.5.3 Elementos que conforman un UAV

Son aquellos componentes y subsistemas que al interactuar entre sí logran realizar la operación de vuelo entre los más importante tenemos:

- 1) **Subsistema mecánico:** Engloba todos los elementos que determinan el comportamiento aerodinámico de la aeronave.

- **Frame:** Este elemento define la estructura aerodinámica, grados de libertad y las maniobras que la aeronave puede realizar. Los frames de UAVs más utilizados son los de ala fija y de ala rotatoria, Los materiales más usados para su fabricación son madera, aluminio, fibra de vidrio, plástico y fibra de carbono.
- **Hélices:** son uno de los elementos más importantes para que el UAV logre la sustentación necesaria para volar ya que determinan el empuje de vuelo y la ratio de respuesta. Los principales parámetros que a tomar en cuenta para realizar una buena elección de las hélices son el tipo de material de fabricación, diámetro, número de palas, ángulo de ataque y dirección de rotación (Santana, 2017).

2) Subsistema de propulsión: Se compone principalmente por el motor, dependiendo de la aeronave pueden ser más de uno, y genera la fuerza de empuje para que la aeronave ejecute el vuelo, entre los motores de uso civil más empleados tenemos:

- **Motores eléctricos:** Son muy eficientes y poseen fiabilidad gracias a que han mejorado con el paso de los años, siendo una de las razones del aumento de popularidad que poseen los UAVs en la actualidad. Los nano y micro UAVs, así como también la gran mayoría de los multirrotores generalmente están equipados con este tipo de motor. La energía necesaria para hacer trabajar un motor eléctrico puede ser obtenida a partir de baterías, pilas (Santana, 2017).

- **De combustible de hidrógeno o paneles solares:** Destacan los del tipo Brushless (sin escobillas) y los Brushed (con escobillas). Sin embargo, de estos dos tipos actualmente los más usados son los Brushless ya que poseen mayor eficiencia, generan menos calor, requieren una cantidad menor mantenimiento y tienen mayor tiempo de vida en comparación de un motor con escobillas (Santana, 2017).
- **Motores de combustión interna de 2 tiempos:** Se emplean en especial en UAVs de ala fija ya que poseen e una elevada fiabilidad. Los motores de combustión están especialmente pensados para UAVs que requieran una mayor autonomía y velocidad que las obtenidas con los motores eléctricos (Santana, 2017).

3) Fuente de energía: Es uno de los componentes más esenciales que emplea el UAV para obtener la energía que requiere para efectuar el vuelo. Para los UAVs que emplean motores eléctricos se utilizan baterías de corriente directa, mientras que para los UAVs que funcionan con motores de combustión se debe usar combustibles líquidos como por ejemplo la gasolina. Los tipos de baterías más usadas en los UAVs son:

- **Ni-Cd (baterías de níquel-cadmio):** Su voltaje es de 1.2 V y poseen efecto memoria.
- **Ni-MH (baterías de níquel-metal-hidruro):** En estas baterías, debido a la alta toxicidad del cadmio, éste se sustituye por hidruros metálicos. Tienen mayor densidad de carga.

- **Li-ion (baterías de iones de litio):** Su capacidad es aproximadamente el doble que la capacidad que otorga una batería de Níquel-Cadmio.
 - **Li-Po (baterías de polímero de litio):** Son una variación de las Baterías Litio- Ion (Li-ion). Poseen una densidad de energía que va desde 5 y 12 veces la densidad de energía de baterías de Ni-Cd o las de NiMH. Son mucho más ligeras y pueden adoptar cualquier tipo de forma. No poseen efecto memoria (Santana, 2017).
- 4) **Subsistema de control:** El subsistema de control tiene la función de evaluar continuamente el estado del UAV y a su vez es el encargado de gestionar las funciones de navegación y control. El elemento principal de este subsistema recibe el nombre de autopiloto. El autopiloto o piloto automático es considerado el cerebro del UAV, ya que ejerce un control directo sobre su comportamiento. Este elemento es responsable de la estabilización y la navegación de la aeronave, tanto en modo de vuelo automático como en modo de vuelo manual (Santana, 2017).
- 5) **Subsistema de comunicación embarcado:** Uno de los subsistemas más importantes ya que es capaz de mantener los enlaces de comunicación entre el UAV y el sistema de control en tierra apoyándose en distintas fuentes de información como el GPS (Sistema de Posicionamiento Global), los elementos de comunicación más comunes son:
- **Módulo GPS:** El Sistema de Posicionamiento Global, más conocido con las siglas en inglés GPS, es un Sistema de Navegación por Satélite que

permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, con una gran precisión que puede llegar hasta los centímetros, si bien lo habitual son unos pocos metros. El módulo GPS a bordo del UAV es el encargado de recibir las señales de referencia de los satélites geoestacionarios y mediante triangulación determinar y comunicar en tiempo real la ubicación de la aeronave al autopiloto.

- **Radio Control:** Este elemento es el encargado del establecimiento del enlace de comunicación para el control manual de la aeronave desde una emisora de radio.
- **Telemetría:** Interconecta la estación de control en tierra con el piloto automático para permitir la monitorización y/o control del estado de la aeronave. El rango de cobertura de los módulos de telemetría típicos está en el orden de kilómetros (Santana, 2017).

2.5.4 Aplicaciones de los UAVs

Con el paso del tiempo y el avance tecnológico los UAVs se han convertido en herramientas útiles que debido a su infinidad de usos y beneficios que aportan en términos de menor consumo de energía, menos riesgo para la vida humana, facilidad para la recopilación de datos, vuelo estacionario y una resolución espacial ultra alta les convierte en una excelente opción para topografía y mapeo en especial en sectores civil, logístico, agrícola, militar.

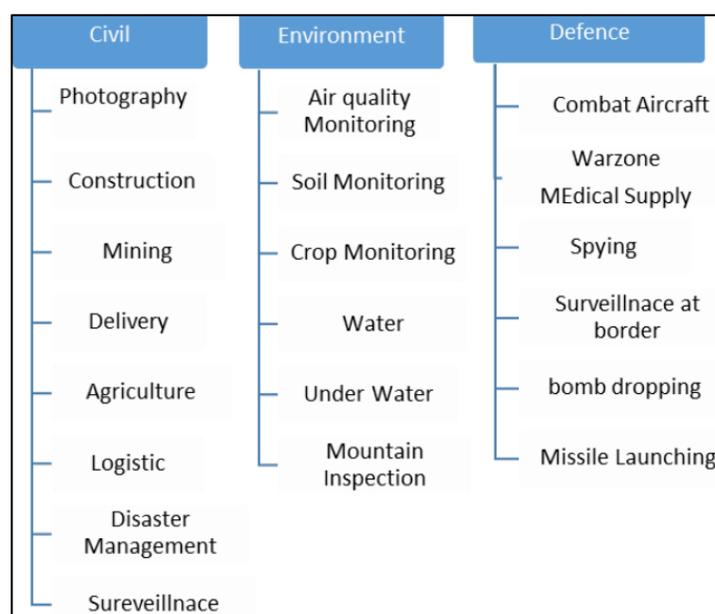


Figura 19. Aplicaciones del UAV
Fuente: (Gaurav , Babankumar , & Lini , 2018)

a. Aplicaciones Militares

La cualidad más importante de los UAV es el vuelo no tripulado. Esta característica esencial permite evitar cualquier posible riesgo para el piloto, notablemente en el dominio militar como en misiones en áreas hostiles, así como en misiones en las que se demande una importante carga y daño psicológico para el piloto: acceso a altas altitudes o vigilancia repetitiva.

Los avances tecnológicos ayudan para ampliar el rango de aplicaciones de los sistemas autónomos: en acciones militares, de vigilancia y seguimiento de posiciones enemigas, creando enlaces de comunicación entre estaciones terrestres para el intercambio de información. Las aplicaciones de los UAV militares pueden dividirse en tres categorías principales: Patrullaje y reconocimiento, Apoyo al combate, Combate (Escamilla, 2010).

b. Aplicaciones Civiles

Tienen muchas ventajas debido a su potencial, a su versatilidad y adaptabilidad para realizar tareas simples y operaciones un poco más complejas de forma efectiva y sin demasiado esfuerzo dando un amplio rango de aplicaciones en especial para actividades peligrosas o rutinarias. Se pueden clasificar en diferentes categorías tales como: Investigación científica, apoyo a desastres, vigilancia, entre otros.

También cabe mencionar que debido a sus múltiples aplicaciones su demanda en el mercado se ha incrementado en los últimos años, otorgando a los UAVs un alto potencial de mercado.

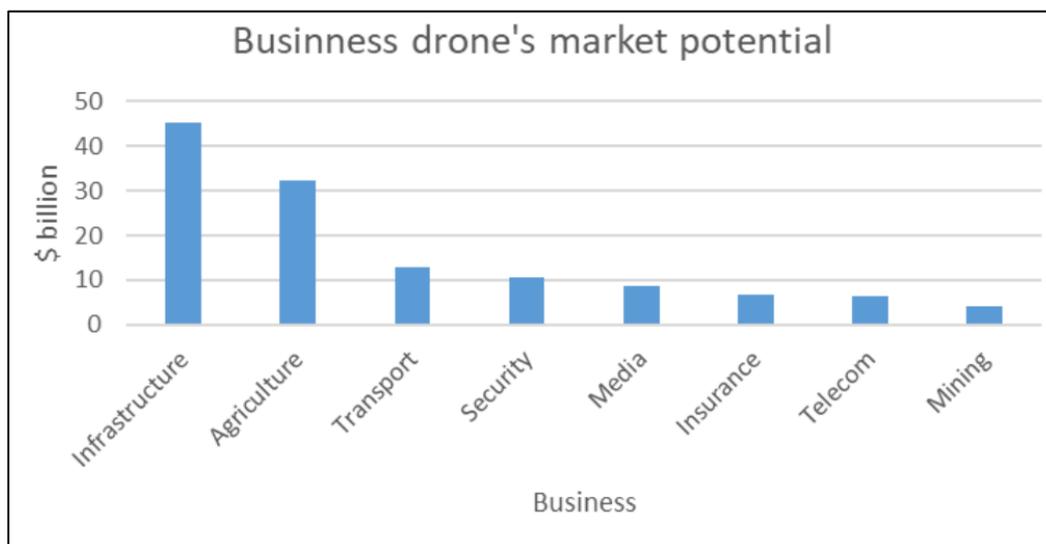


Figura 20. Potencial de mercado de los UAVs

Fuente: (Gaurav , Babankumar , & Lini , 2018)

2.6 Realidad Virtual

Hay que tener en cuenta que la Realidad virtual es un concepto, una idea de una dimensión donde se puede llegar a experimentar situaciones muy reales para nuestra conciencia sin la necesidad de que lo sea, es otras palabras es la alteración de nuestros sentidos visuales, auditivos y estímulos nerviosos que logran una experiencia muy cercana a la real.

En 1962 Morton Heilig, inventa el "Sensorama", un videojuego que utilizaba sonidos, imágenes, movimiento, e incluso brisas artificiales para convencer al usuario de que estaba conduciendo una motocicleta por la ciudad de New York. Algunos años después en 1965 surge el concepto de Realidad Virtual. con la publicación del artículo titulado "The Ultimate Display", en el cual se describía el concepto básico de la Realidad Virtual y es a partir del año 2000 hasta nuestros días la realidad virtual ha tenido un auge impresionante, particularmente en la rama del entretenimiento más específicamente en el diseño de consolas para videojuegos (Martinez, 2008).

2.6.1 Características de la realidad virtual

Son aquellas que hacen que la realidad virtual se distinga de cualquier sistema informático entre ellas tenemos:

- 1. La inmersión**, propiedad mediante la cual el usuario experimenta una sensación de encontrarse dentro de un mundo tridimensional.
- 2. Punto de observación o referencia**, que permite determinar la ubicación y posición de observación del usuario dentro el mundo artificial o virtual.
- 3. Navegación**, propiedad que permite al usuario cambiar su posición de observación.

4. Manipulación, característica que posibilita la interacción y transformación del medio ambiente virtual (Martinez, 2008).

2.6.2 Tipos de realidad Virtual

Existen diferentes esquemas o formas de clasificar los diferentes tipos de realidad virtual actualmente de lo cual el modelo de Brill describe siete tipos de realidad virtual los cuales son:

- **Inmersión en primera persona (FPV):** Proporciona una experiencia inmediata y realista en primera persona, ya que el usuario se encuentra en el medio de una imagen que actúa como si fuera real en términos de percepción visual, auditiva o táctil. Una variación de la Realidad Virtual es la Realidad Aumentada donde se superpone una capa transparente de gráficos por computadora al mundo real para resaltar ciertas características y aumentar el conocimiento.
- **A través de una ventana:** También conocido como Realidad Virtual de Escritorio, el usuario ve el mundo 3D a través de una “ventana” en la pantalla de su computadora y navega por el espacio con un dispositivo de control.
- **Mundos espejo:** en contraposición a los sistemas en primera persona descritos antes, los Mundos Espejo (Realidades Proyectadas) proporcionan una experiencia en segunda persona donde el usuario se encuentra fuera del mundo imaginario, pero es capaz de comunicarse con los objetos y personajes.
- **Mundo Waldo:** Es una forma de manejar animaciones digitales llevando puesto un traje con sensores que detectan movimiento.

- **Mundo de cámara:** Es un pequeño escenario de proyección de Realidad Virtual controlado por varios ordenadores que le da al usuario la sensación de mayor libertad de movimiento en un mundo virtual que con los sistemas inmersivos. Las imágenes son proyectadas en las paredes de la cámara y pueden ser vistas en 3D con lentes.
- **Entorno simulado en cabina:** Es otro tipo de tecnología en primera persona, esencialmente una extensión del simulador tradicional, la diferencia radica en que se deben emplear más de una pantalla para la visualización.
- **Ciberespacio:** es una realidad global artificial que puede ser visitada por mucha gente vía ordenadores en red, un ejemplo es la aplicación “Second Life”, la cual consiste en simular la vida de una persona, pero en un mundo virtual, en esta aplicación se conectan miles de personas en todo el mundo (Santana, 2017).

2.6.3 Tipos de Equipos de Realidad Virtual

Todo equipo de realidad virtual es considerado una herramienta cuyo propósito consiste en facilitar la inmersión en un mundo digital, enfocándose especialmente en el sentido de la vista, pero sin descuidar el tacto y el oído, los más significativos son:

- **Sistemas de posicionamiento y orientación:** La mínima información que se requiere en un sistema de Realidad Virtual inmersiva, es conocer la posición y la orientación de la cabeza del usuario para mostrar las imágenes con el punto de vista correcto. Además, se pueden monitorizar otras partes del cuerpo como las manos. Estos sistemas tienen seis grados de libertad, tres direcciones espaciales con sus correspondientes rotaciones. Las características más relevantes para tomar una

decisión con respecto a un sistema de este tipo son: la tasa de transferencia, la latencia, la precisión, la resolución y el rango.

- **Sistemas de seguimiento de ojos:** Permiten que las imágenes se dibujen con el punto de vista correcto. Sin embargo, la agudeza visual del ojo no es la misma dependiendo de la distancia a la que esté el objeto, las imágenes lejanas no tienen por qué tener la misma resolución y calidad que las más cercanas.
- **Dispositivos de entrada 3D:** Existen dispositivos que permiten el movimiento libre tridimensional más natural. Por ejemplo, los joysticks con 6 grados de libertad.
- **Dispositivos de escritorio:** Son cómodos, sencillos y relativamente baratos. Productos de este tipo son el SpaceBall, los ratones clásicos, etc.
- **Dispositivos visuales:** La calidad del sistema de representación juega un importante referente para crear una sensación de inmersión. El sistema ideal debería tener una elevada resolución, alta frecuencia de actualización, amplio campo de visión y mucho brillo y contraste. Como sistemas principales se tienen las gafas 3D, los displays envolventes y los HMD's.
- **Dispositivos táctiles:** El ser humano puede percibir dos tipos de sensaciones táctiles: realimentación cinética, que se siente en los músculos y tendones o realimentación táctil que se siente en la piel (sensación de cambio de temperatura, texturas).
- **Dispositivos de audio:** El sonido incrementa considerablemente la capacidad perceptiva del hombre. Aporta: percepción de objetos fuera del campo de visión,

orientación espacial y la posibilidad de captar señales de alerta. Para esto el sonido ha de ser tridimensional (Martinez, 2008).

2.7 Goggles VR

Las Goggles VR son dispositivos con una actual subida en su mercado y popularidad debido a las mejoras y actualizaciones que los fabricantes realizan constantemente ya que el futuro de esta herramienta resulta muy prometedor, en los dispositivos más empleados y populares tenemos teléfonos móviles, computadoras y consolas de videojuegos.

Estos dispositivos se componen principalmente de pantallas montables en la cabeza que por su configuración no obstruyen la línea de visión permitiendo una inmersión visual de la persona maximizando el uso y posibilidades de los dispositivos ya mencionados

Actualmente estos dispositivos son más complejos incorporando desde sensores de movimiento, una alta calidad de resolución y suficiente inteligencia artificial para mejorar la experiencia del usuario (Bautista, 2015)



Figura 21. Goggle VR
Fuente: (Nield, 2019)

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

En la presente descripción se mencionará los equipos, características, manejo y normas de seguridad que serán empleados para llevar a cabo la inspección FOD en la plataforma de la “Unidad de Gestión de Tecnologías ESPE”.

3.1 Preliminares

Para la realización de este tema en cuestiones de equipo se va a emplear un UAV marca DJI modelo Mavic 2 zoom, Goggles VR marca DJI y la aplicación móvil DJI GO 4.

En cuestiones de personal se va requerir de una persona capacitada para pilotear el UAV y una persona para que realice la recolección de FOD.

3.2 DJI (Da-Jiang Innovation Technology)

Es una de las compañías más grandes en lo referente a elaboración y venta de vehículos aéreos no tripulados, fundada en 2006 por Frank Wang, que hoy en día es fabricante líder mundial en ventas de UAVs debido al excelente diseño y sobre todo a la capacidad y calidad de sus cámaras montadas. Enfocada siempre en la innovación constante que mantiene en sus equipos y los diferentes accesorios que brindan una mejor experiencia al usuario la colocan como el iPhone de los vehículos aéreos no tripulados.



Figura 22. Logo DJI

Fuente: (DJI Da-Jiang Innovation Technology, 2020)

3.3 Mavic 2 ZOOM

El DJI Mavic 2 Zoom es un UAV que dispone de sistemas de visión omnidireccionales y sistemas de detección por infrarrojos. Gracias a su cámara logra capturar fotos complejas con facilidad debido a las tecnologías de la firma DJI, tales como la detección de obstáculos la cual permite una mayor seguridad al momento de pilotear el UAV y los modos de vuelo inteligente como Hyperlapse, Punto de interés, ActiveTrack™ 2.0, TapFly, QuickShots, Panorámica y los sistemas avanzados de asistencia al piloto (APAS) (DJI, 2018).

La cámara es completamente estable, gracias a su estabilizador de 3 ejes, que graba vídeos 4K, hace fotos de 12 megapíxeles, admite zoom óptico 2x, objetivos de 24-48 mm y filtros. La última tecnología que emplea para aumentar la estabilidad y la calidad de las imágenes, reduce el rango de vibración angular del Mavic 2 Zoom a $\pm 0,005^\circ$. (DJI, 2018).

La aeronave y la cámara se pueden controlar fácilmente con los botones incluidos. La pantalla LCD integrada ofrece información sobre la aeronave en tiempo real, mientras que las palancas de control desmontables facilitan el almacenamiento del control remoto.

El tiempo máximo de funcionamiento es de 2 horas y 15 minutos. El Mavic 2 Zoom logra alcanzar una velocidad máxima de vuelo de 72 km/h en su modo sport y posee un tiempo máximo de vuelo de 31 minutos (DJI, 2018).

3.3.1 Diagrama y partes del Mavic 2 ZOOM

El Mavic 2 ZOOM está compuesto por las siguientes partes:

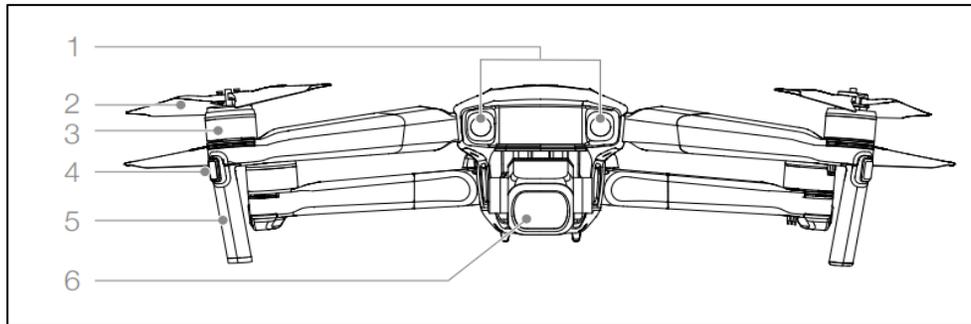


Figura 23. Vista Frontal Mavic 2 ZOOM
Fuente: (DJI, 2018)

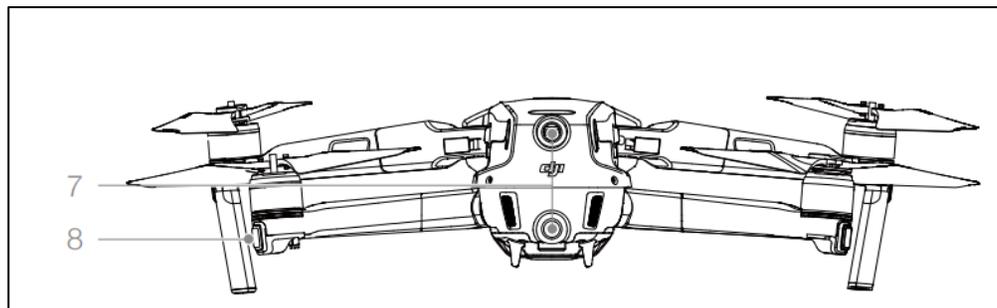


Figura 24. Vista Posterior Mavic 2 ZOOM
Fuente: (DJI, 2018)

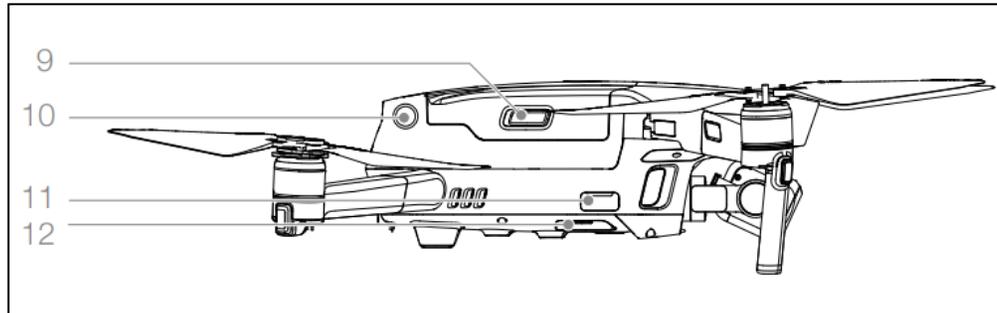


Figura 25. Vista Posterior Mavic 2 ZOOM
Fuente: (DJI, 2018)

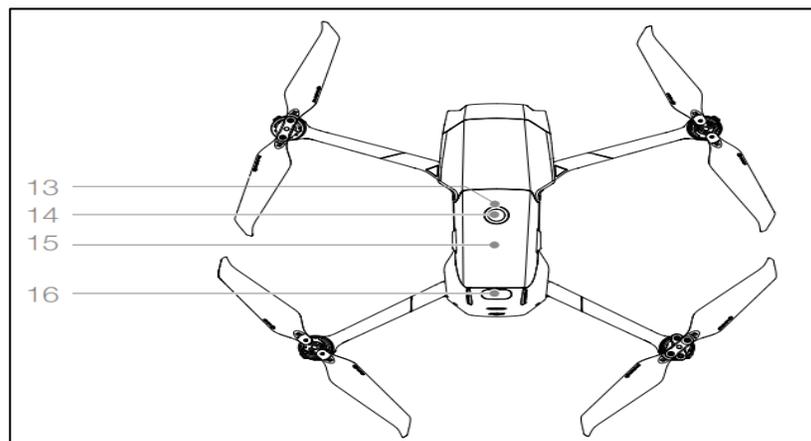


Figura 26. Vista Superior Mavic 2 ZOOM
Fuente: (DJI, 2018)

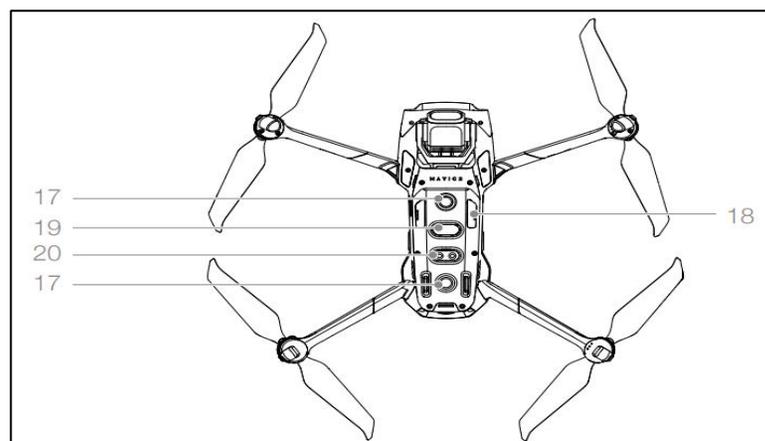


Figura 27. Vista Inferior Mavic 2 ZOOM
Fuente: (DJI, 2018)

Tabla 6
Descripción del Diagrama del Mavic 2 ZOOM

Número	Descripción de la parte	Número	Descripción de la parte
1	Sistema de Visión frontal	11	Puerto USB-C
2	Hélices	12	Botón de vinculación/ Indicar de estado de vinculación
3	Motores	13	Ledes de nivel de batería
4	Ledes frontales	14	Botón de encendido
5	Antenas	15	Batería de vuelo inteligente
6	Cámara y estabilizador	16	Sistemas de detección por infrarrojos superior
7	Sistema de visión trasero	17	Sistema de visión inferior
8	Indicador de estado de la aeronave	18	Ranura para tarjeta microSD
9	Barras de sujeción de la batería	19	Sistemas de detección por infrarrojos inferior
10	Sistema de visión lateral	20	Luz auxiliar inferior

Fuente: (DJI, 2018)

3.4 Control Remoto

Se debe emplear para el uso adecuado y pilotaje de la aeronave. El control remoto lleva incorporada la tecnología de transmisión de largo alcance de DJI OcusyncTM 2.0, ofreciendo de esta manera un alcance de transmisión máximo de 8 km, permitiendo visualizar el vídeo de la aeronave mediante la aplicación DJI GO 4 en el dispositivo móvil vinculado a 1080p de resolución. El control remoto funciona tanto a 2.4 GHz como a 5.8 GHz, y puede seleccionar el mejor canal de transmisión automáticamente sin ninguna latencia (DJI, 2018).

3.4.1 Descripción de las partes del control remoto

Las partes del control se distribuyen en:

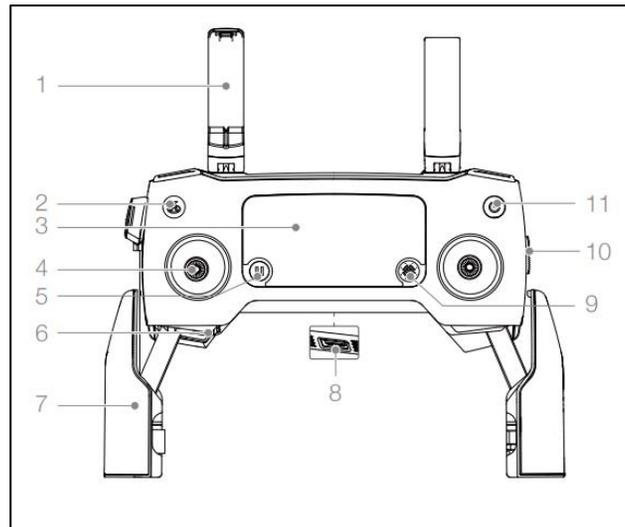


Figura 28. Vista frontal del control remoto
Fuente: (DJI, 2018)

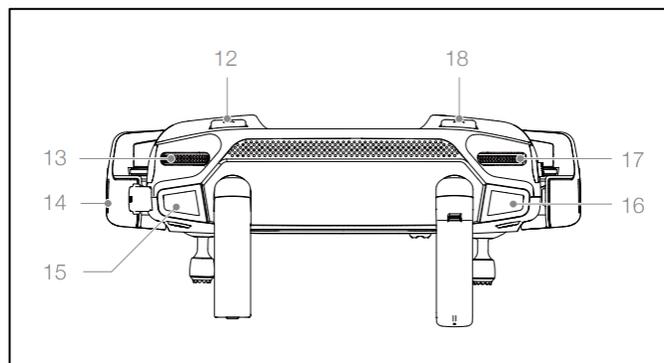


Figura 29. Vista superior del control remoto
Fuente: (DJI, 2018)

Tabla 7
Descripción de las partes del control remoto

Número	Descripción de la parte	Número	Descripción de la parte
1	Antenas: Transmiten las señales inalámbricas de control y de vídeo.	10	Interruptor de modo de vuelo: Permite cambiar entre modo S, modo P y modo T.
2	Botón de regreso al punto de origen: Presionar el botón para iniciar el RPO. La aeronave regresa al último punto de origen registrado. Pulse de nuevo para cancelar el RPO.	11	Botón de encendido: Púlselo una vez para comprobar el nivel de batería actual. Púlselo una vez, después otra y mantenga pulsado para encender o apagar el control remoto.
3	Pantalla LCD: Muestra el estado del sistema de la aeronave y del control remoto.	12	Botón C1 (personalizable): La configuración por defecto es el enfoque central. Ajuste la configuración según sus preferencias en DJI GO 4.
4	Palancas de control extraíbles: Las palancas de control extraíbles se guardan fácilmente. El control de vuelo predeterminado es el Modo 2.	13	Dial del estabilizador: Controla la inclinación de la cámara.
5	Botón de detener vuelo: Púlselo para hacer que la aeronave frene y realice vuelo estacionario (solo cuando están disponibles el GPS o el sistema de visión). El botón de detener vuelo tiene diferentes funciones en diferentes modos de Vuelo Inteligente.	14	Puerto de alimentación/transmisión de vídeo (micro-USB): Conéctese a un dispositivo móvil para vincular vídeos a través del cable RC. Conecte el adaptador de alimentación de CA para cargar la batería del control remoto.
6	Ranuras de almacenamiento de las palancas de control: Para guardar las palancas de control.	15	Botón de grabación: Al oprimirlo se comenzará a grabar vídeo. Vuelva a oprimirlo para detener la grabación.
7	Abrazaderas para dispositivo móvil: Permite fijar el dispositivo móvil al control remoto.	16	Botón de enfoque/obturador: Púlselo hasta la mitad para enfocar automáticamente. Púlselo una vez para hacer fotos según el modo seleccionado en el DJI GO 4
8	Puerto de transmisión de vídeo de reserva (USB): Conéctelo a un dispositivo móvil para transmitir vídeo a través de un cable USB estándar.	17	Dial de ajuste de zoom: Gírelo para ajustar el zoom de la cámara Mavic 2 Zoom.
9	Botón 5D: La configuración predeterminada se puede ajustar según sus preferencias.	18	Botón C2 (personalizable): La configuración por defecto es la reproducción. Ajuste la configuración según sus preferencias en DJI GO 4.

Fuente: (DJI, 2018)

3.4.2 Pantalla LCD

Es aquella que indica varios estados del sistema como la telemetría de vuelo y el estado de batería del UAV.

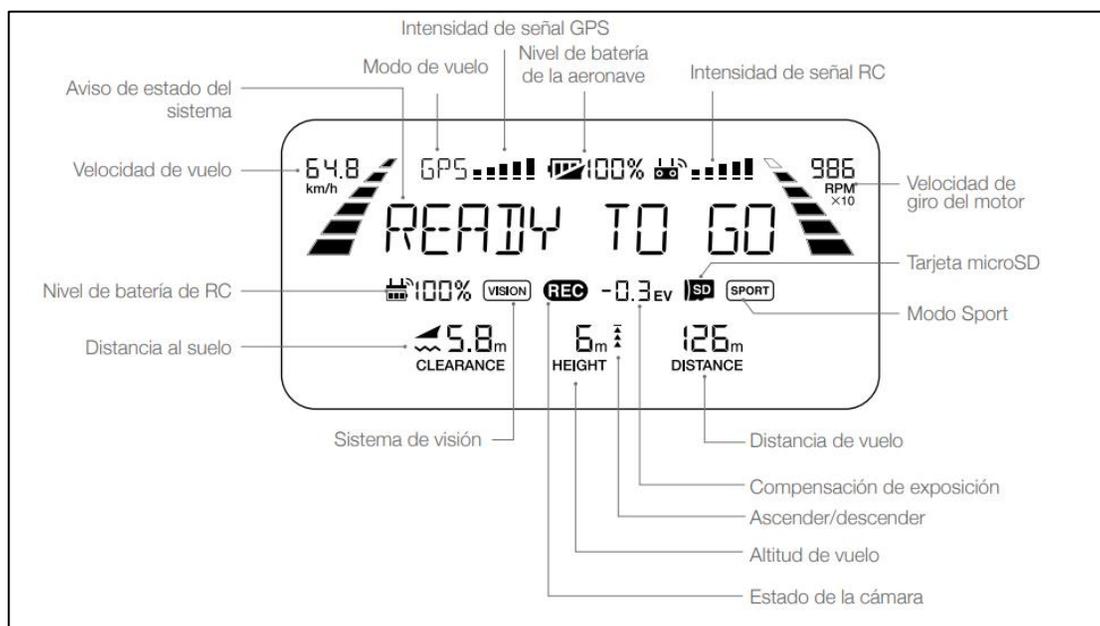


Figura 30. Indicaciones de la pantalla LCD

Fuente: (DJI, 2018)

3.5 Modos de vuelo

Posee 3 tipos de vuelo y uno extra el cual se activa en ciertas circunstancias que la aeronave crea conveniente:

- **Modo P (Posicionamiento):** Funciona de mejor manera cuando hay buena intensidad de señal GPS. Emplea el GPS y los sistemas de visión para encontrar su ubicación, estabilizarse y navegar entre obstáculos. Los modos de vuelo inteligente están habilitados en este modo. Cuando los sistemas de visión frontal y trasero están habilitados y las condiciones de iluminación son suficientes, el ángulo de altitud máxima de vuelo es de 25°, la velocidad máxima de vuelo hacia adelante es de 50 km/h y la velocidad máxima de vuelo hacia atrás es de 43 km/h.

Nota: En el modo P es necesario realizar movimientos de palanca mucho más amplios para alcanzar velocidades superiores.

La aeronave cambia automáticamente al modo Atti cuando los sistemas de visión no están disponibles o están desactivados y cuando la señal GPS es débil o la brújula experimenta interferencias. Cuando los sistemas de visión no están disponibles, la aeronave no puede posicionarse o frenar automáticamente, lo que aumenta el riesgo durante el vuelo. Los factores del entorno, como el viento, pueden provocar un desplazamiento horizontal, lo que puede presentar riesgos, especialmente al volar en espacios limitados.

- **Modo S (Sport):** En este modo los sistemas de visión están desactivados y la aeronave utiliza únicamente el GPS para el posicionamiento. La velocidad máxima de vuelo es de 72 km/h. Por tanto, los modos de vuelo inteligente no están disponibles y la aeronave no puede detectar ni evitar obstáculos.

Nota: Las respuestas de la aeronave en el modo S están optimizadas para otorgar un mayor agilidad y rapidez durante el vuelo, lo que hace que los movimientos de las palancas sean más sensibles.

- **Modo T (Trípode):** Se basa en el Modo P y la velocidad de vuelo es limitada, lo que hace que la aeronave sea más estable durante la grabación. La velocidad máxima de vuelo, la velocidad máxima de ascenso y la velocidad máxima de descenso es 1 m/s. Los modos de vuelo inteligente no están disponibles en el modo T (DJI, 2018).

3.6 Cámara

El Mavic 2 Zoom utiliza una cámara con sensor CMOS de 1/2,3", admite un zoom óptico de 2x y el objetivo es de 24 - 48 mm (equivalente en 35 mm). La cámara admite enfoque automático, que puede enfocar desde 0,5 m hasta el infinito. La cámara también admite la sustitución de filtros.

La cámara del Mavic 2 Zoom graba vídeos a una resolución de hasta 4K a 30fps y hace fotos a una resolución de 12 MP, admite modos de disparo como Disparo único, Disparo en ráfaga, Intervalo, Panorámica, Slow Motion y HDR mejorado además el Mavic 2 Zoom admite zoom óptico 2x y zoom digital 2x al grabar vídeo en 1080p24/25/30 (DJI, 2018).



Figura 31. Cámara Mavi 2 ZOOM

Fuente: (DJI, 2020)

Tabla 8
Características de la cámara

Componentes	Especificaciones
Sensor	CMOS 1/2,3" Píxeles efectivos: 12 millones FOV: aprox. 83° (24 mm)
Objetivo	FOV: aprox. 83° (24 mm) aprox. 48° (48 mm) Formato equivalente a 35 mm: 24 a 48 mm Apertura: f/2.8 (24 mm) - f/11 (48 mm) Rango de enfoque: 0,5 m a ∞
Rango ISO	Vídeo: 100 - 3200 Foto: 100 - 1600 (auto) 100 - 3200 (manual)
Velocidad de obturación	Velocidad de obturación
Tamaño de fotografía	4000 × 3000
Modos de fotografía	Disparo único Disparo en ráfaga: 3/5/7 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)
Resolución de vídeo	4K: 3840 × 2160 24/25/30p 2.7K: 2688 × 1512 24/25/30/48/50/60p FHD: 1920 × 1080 24/25/30/48/50/60/120p
Modo de color	D-Cinelike
Tasa de bits máx. de almacenamiento de vídeo	100mbps
Sistemas de archivo compatibles	FAT32: ≤32 GB exFAT: >32 GB
Formatos de fotografía	JPEG/DNG (RAW)
Formatos de vídeo	MP4/MOV (MPEG-4 AVC/H.264, HEVC/H.265)
Tarjetas SD compatibles	Compatible con tarjetas microSD con capacidad de hasta 128 GB y velocidad de lectura/escritura UHS-I Clase 3
Rango de temperatura de funcionamiento	R De -10 °C a 40 °C

Fuente: (DJI, 2018)

3.7 DJI Goggles VR

Se encuentran equipadas con pantallas de altas prestaciones y un enlace de transmisión de vídeo de latencia ultra baja para utilizar con aeronaves DJI, proporcionando al usuario una experiencia aérea en primera persona en tiempo real. Las Goggles también se pueden utilizar para reproducir vídeos en HD, aportando una experiencia de visualización en alta definición con inmersión total.

Gracias a su diseño funcional e intuitivo, son fáciles de manejar usando sólo la mano derecha. Las Goggles incorporan seguimiento del movimiento de la cabeza, lo que permite controlar la aeronave y el estabilizador mediante movimientos de cabeza. Con los Modos de Vuelo Inteligente de DJI, abren la puerta a una forma de volar totalmente nueva (DJI, 2017).



Figura 32. DJI Goggles
Fuente: (DJI, 2020)

3.7.1 Partes de las Goggles

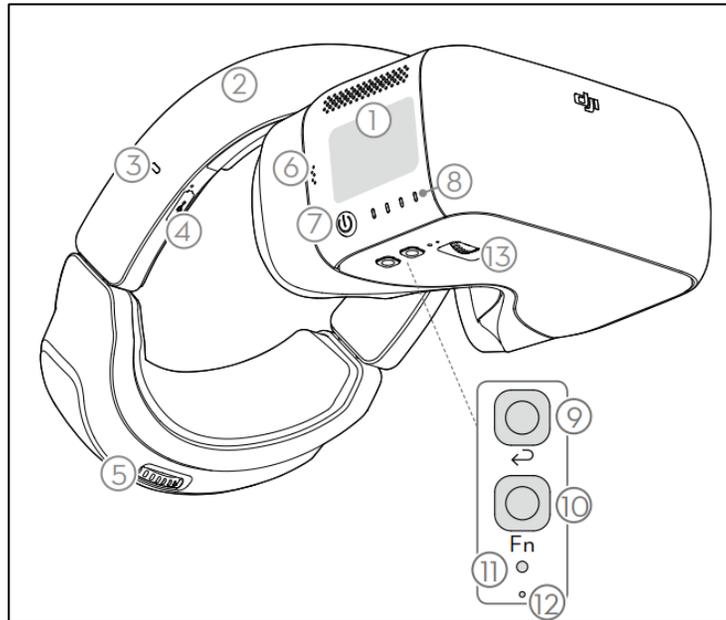


Figura 33. Vista frontal Goggles DJI

Fuente: (DJI, 2017)

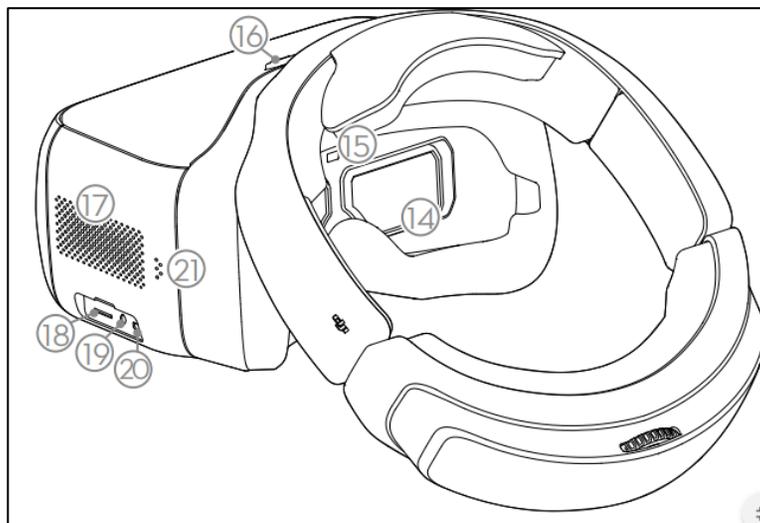


Figura 34. Vista posterior Goggles DJI

Fuente: (DJI, 2017)

Tabla 9
Descripción de las partes de las Goggles DJI

Número	Descripción de la parte	Número	Descripción de la parte
1	Panel táctil	11	Botón de vinculación
2	Casco	12	Indicador de estado de vinculación
3	Indicador de estado de carga	13	Mando de IPD (Distancia interpupilar)
4	Puerto Micro USB	14	Lente
5	Rueda de ajuste del casco	15	Sensor de proximidad
6	Altavoz	16	Cierre del casco
7	Botón de encendido	17	Rejilla de ventilación
8	Indicadores de niveles de batería	18	Ranura para tarjeta Micro USB
9	Botón de retroceso	19	Puerto de audio de 3.5 mm
10	Botón de función	20	Puerto HDMI tipo-D
21	Altavoz		

3.7.2 Pantalla de las Goggles DJI

La pantalla principal de las Goggles nos indica una variedad de funciones e información las cuales serán descritas.

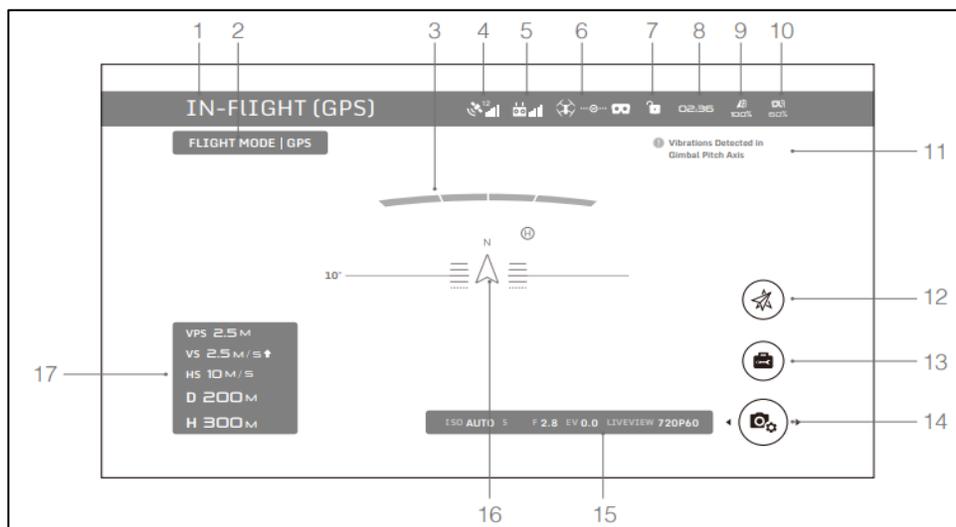


Figura 35. Pantalla de las Goggles DJI
Fuente: (DJI, 2017)

- **Interpretación de la pantalla de las Goggles DJI**

- 1. Estado de la aeronave:**

Indica el estado de vuelo de la aeronave.

- 2. Modo de vuelo:**

Indica el modo de vuelo actual.

- 3. Estado de detección de obstáculos:**

Aparecen barras rojas cuando los obstáculos están cerca de la aeronave.

Aparecen barras naranjas cuando los obstáculos están en el rango de detección.

- 4. Estado del GPS:**

Indica la intensidad de señal del GPS.

- 5. Intensidad de señal del control remoto:**

Indica la intensidad de señal del control remoto.

6. Estado de la conexión:

Indica el estado de la conexión de la aeronave y las Goggles. El verde indica una conexión de señal adecuada, el amarillo indica una conexión de señal débil o inestable, y el rojo indica desconexión. En caso de desconexión, las Goggles intentarán conectarse de nuevo automáticamente.

7. Estado de bloqueo del panel táctil:

Indica el estado de bloqueo del panel táctil. Cuando está bloqueado, el panel táctil no responde a los toques, para evitar acciones accidentales. Deslice hacia adelante con dos dedos para desbloquearlo.

8. Tiempo de vuelo:

Muestra el tiempo de vuelo restante de la aeronave.

9. Nivel de batería de la aeronave:

Muestra el nivel actual de carga de la Batería de Vuelo Inteligente.

10. Nivel de batería de las Goggles:

Muestra el nivel actual de carga de la batería de las Goggles.

11. Mensajes emergentes:

Muestra mensajes de advertencia. Deslice hacia arriba o abajo para seleccionar y toque para borrar mensajes.

12. Modos de vuelo inteligente:

Toque para seleccionar los modos TapFly, ActiveTrack, Seguimiento de terreno (Terrain Follow), Trípode (Tripod) y otros modos de vuelo inteligente.

13.Herramientas:

Toque para establecer los ajustes de las Goggles y seleccione Auto Takeoff/Landing (Despegue/ Aterrizaje automático), reproducción de vídeo de HDMI o reproducción de fotos/vídeos aéreos. El menú de ajustes también incluye los vídeo tutoriales, los ajustes de enlace, de idioma, de volumen, los modos del estabilizador, los ajustes de la RA auxiliar y más.

14.Modos del Estabilizador

- **Modo FPV:** El estabilizador se sincroniza con el movimiento de la aeronave para una experiencia de vuelo en primera persona.
- **Modo Follow:** El estabilizador mantiene la cámara estable permitiendo una vista horizontal y estable. Ajustes de la RA auxiliar RA Modo Fixed-Wing: Muestra la trayectoria de vuelo en el modo Fixed-Wing.
- **Asistencia RA Head tracking Gimbal (Estabilizador con seguimiento de cabeza):** Indica la posición central del estabilizador (la dirección frontal de la aeronave).
- **Asistencia RA al seguimiento de cabeza:** Indica los valores de ganancia de aceleración e inclinación.

15.Botón Configuración de cámara/Obturador/Grabación:

Tóquelo para establecer los valores de ISO, obturador, apertura y auto exposición de la cámara. Deslice el dedo hacia la izquierda o la derecha para cambiar entre los modos de fotografía y grabación. Toque para sacar fotos o iniciar/detener la grabación de vídeo.

16. Parámetros de la cámara y modo Live View:

Muestra los parámetros de configuración de la cámara y el modo Live View (Vista en tiempo real).

17. Flight Attitude (Posición de vuelo):

El triángulo indica la orientación de la aeronave. El nivel horizontal indica el ángulo de alabeo de la aeronave. La escala indica el ángulo de cabeceo del estabilizador. El arco al lado del triángulo indica el ángulo de guiñada del estabilizador cuando Head tracking Gimbal (Estabilizador con seguimiento de cabeza) está habilitado.

18. Telemetría de vuelo:

Es la distancia horizontal/vertical entre la aeronave y el Punto de origen, y la velocidad de movimiento a través de la distancia horizontal/vertical de la aeronave. Cuando la aeronave esté cerca del suelo, se mostrará la altitud.

3.8 Aplicación DJI GO 4

Es la aplicación desarrollada por la empresa para mejorar la experiencia del usuario en los productos marca DJI, ya que al actuar como una interfaz o una extensión permite sincronizar el teléfono móvil al UAV Mavic 2 ZOOM mediante un cable USB. Permite controlar las funciones del Mavic 2 ZOOM tales como movimiento de la cámara, capturas, grabaciones, los modos de vuelo inteligente, ajustes como la velocidad, distancia, cámara y otras funciones de la aeronave. Todas las fotos y videos se guardan en el almacenamiento del dispositivo móvil al momento de sincronizarse con la aplicación.

Adicional dispone de las secciones Editor, SkyPixel, Equipo y Yo, que se emplea para configurar la aeronave, editar y compartirá las fotos y videos con otras personas.

- **Editor:** DJI GO 4 dispone de un editor de vídeo inteligente. Después de grabar varios clips de vídeo y descargarlos en su dispositivo móvil, elija la opción Editor en la pantalla de inicio. A continuación, puede seleccionar una plantilla y un número determinado de clips, que se combinan automáticamente para crear un corto que se puede compartir de inmediato.
- **SkyPixel:** Se puede ver y compartir las fotos y los vídeos en la página SkyPixel.
- **Yo:** Con una cuenta DJI, podrá participar en los debates del foro y compartir su creación con la comunidad.
- **Equipo:** En la esquina superior izquierda se pueden gestionar los equipos para realizar el enlace mientras que en la esquina superior derecha encontraremos el menú de funciones.

Una vez el equipo se encuentre conectado a la aeronave podremos acceder a la vista de la cámara.

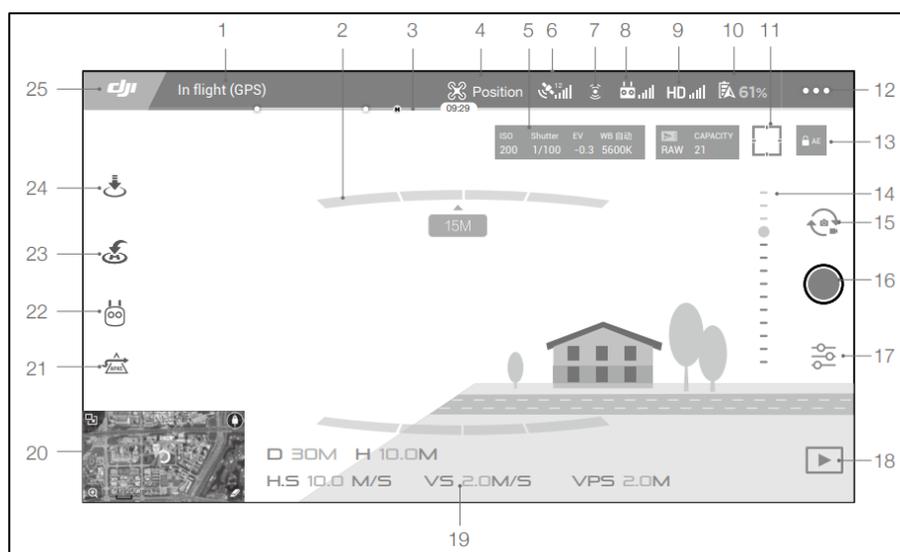


Figura 36. Vista de la cámara en la aplicación
Fuente: (DJI, 2018)

- **Elementos de la pantalla de la aplicación**

1. **Barra de estado del sistema:** indica el estado de vuelo de la aeronave y muestra varios mensajes de advertencia.

2. **Estado de detección de obstáculos:** aparecen barras rojas cuando los obstáculos están cerca de la aeronave. Aparecen barras naranjas cuando los obstáculos están en el rango de detección.

3. **Barra del indicador de nivel de batería:** el indicador de nivel de batería proporciona una visualización dinámica del nivel de la batería. Las zonas de colores del indicador de nivel de batería representan los niveles de carga necesarios para llevar a cabo diferentes funciones.

4. **Modo de vuelo:** el texto situado junto a este icono indica el modo de vuelo actual. Tóquelo para ajustar los ajustes del controlador de vuelo. Esta configuración permite modificar los límites de vuelo y definir los valores de ganancia.

5. **Parámetros de la cámara:** Muestra los parámetros de la cámara y la capacidad de la memoria interna y la tarjeta microSD. Muestra además los parámetros de enfoque.

6. **Intensidad de señal GPS:** muestra la intensidad de la señal GPS actual. Las barras blancas indican una intensidad de GPS adecuada.

7. **Estado de los sistemas de visión:** toque este botón para activar o desactivar las funciones que ofrecen los sistemas de visión; además, muestra el estado de todos los sistemas de visión. El icono verde indica que el sistema de visión correspondiente está

disponible. El icono rojo indica que el sistema de visión correspondiente no está disponible.

8. Señal del control remoto: este icono muestra la intensidad de la señal del control remoto. El icono parpadeará cuando se reconozca una interferencia durante el vuelo. Cuando no haya advertencias adicionales en DJI GO 4, significará que la interferencia no afecta al funcionamiento y a la experiencia de vuelo en general.

9. Intensidad de señal de transmisión de vídeo HD: este icono muestra la intensidad de la conexión de transmisión de vídeo HD entre la aeronave y el control remoto. El icono parpadeará cuando se reconozca una interferencia durante el vuelo. Cuando no haya advertencias adicionales en DJI GO 4, significará que la interferencia no afecta al funcionamiento y a la experiencia de vuelo en general.

10. Configuración de la batería: muestra el nivel actual de carga de la batería. Tóquelo para ver el menú de información de la batería, establecer los distintos umbrales de advertencia de la batería y ver el historial de advertencias de la batería.

11. Botón de enfoque/medición: tóquelo para cambiar entre el modo de enfoque y de medición. Tóquelo para seleccionar el objeto que se debe enfocar o medir. El enfoque automático continuo se activará automáticamente de acuerdo con el estado de la aeronave y la cámara después de habilitar el enfoque automático.

12. Configuración general: toque esta opción para entrar al menú Configuración general y establecer las unidades de medida, activar/desactivar Retransmisión en directo y ajustar la configuración de visualización de la trayectoria de vuelo.

13. Bloqueo de auto exposición: toque para bloquear el valor de exposición.

14. Deslizador del estabilizador: muestra el ángulo de inclinación del estabilizador.

15. Cambio entre foto y vídeo: toque para cambiar entre los modos de foto y grabación de vídeo.

16. Botón de disparo/grabación: toque para comenzar la captura de fotos o la grabación de vídeo.

17. Configuración de la cámara: toque esta opción para acceder al menú Configuración de la cámara, para configurar la ISO de la cámara, el obturador, y la exposición automática. También para seleccionar los modos de captura de imagen. El Mavic 2 admite Disparo único, Disparo en ráfaga, Disparo a intervalos y varios modos panorámicos.

18. Reproducción: toque para acceder a la página de reproducción y pre visualizar las fotos y vídeos en cuanto se capturen.

19. Telemetría de vuelo

- **D 30M:** distancia entre la aeronave y el punto de origen.
- **H 10.0M:** altura desde el punto de origen.
- **HS 10.0M/S:** velocidad horizontal de la aeronave.
- **VS 2.0M/S:** velocidad vertical de la aeronave.

20. Mapa: Toque para ver el mapa.

21. Sistemas avanzados de asistencia al piloto APAS: toque para activar/desactivar la función APAS. La función APAS se desactiva si los sistemas de visión frontal y trasero se desactivan o no están disponibles.

22. Modos de Vuelo Inteligente: toque para seleccionar los modos de vuelo inteligente.

23. RPO inteligente: toque para iniciar el RPO inteligente y que la aeronave regrese al último punto de origen registrado.

24. Despegue/aterrizaje automático: toque para iniciar el despegue o el aterrizaje automático.

25. Atrás: toque este botón para volver al menú principal.

3.9 Recursos para la elaboración del proyecto

- UAV (Mavic 2 ZOOM)
- Goggles DJI
- Aplicación DJI GO 4 (Instalada)
- Teléfono móvil con Android 6.0 (Requisito mínimo)
- Control Remoto
- Dos personas capacitadas

3.10 Procedimiento para la elaboración del proyecto

1) Preparación del UAV (Mavic 2 ZOOM): Antes de comenzar con la inspección debemos armar de forma adecuada el UAV, primero vamos a estirar sus 4 articulaciones correspondientes para posteriormente colocar las hélices en cada uno de los rotores y se debe retirar la protección de la cámara.



Figura 37. Piezas delanteras estiradas



Figura 38. Articulaciones estiradas



Figura 39. Colocación de las hélices



Figura 40. Retiro de protección cámara

2) Encender el control remoto: Una vez el UAV se encuentre preparado debemos encender el control oprimiendo una vez y luego otra manteniendo oprimido el botón hasta que aparezca el mensaje de encendido en la pantalla, posteriormente procedemos a enroscar las palancas de dirección.



Figura 41. Control encendido



Figura 42. Palancas enroscadas en el control

- 3) Abrir la aplicación DJI GO 4:** En el teléfono móvil nos vamos al atajo de la aplicación y la abrimos, una vez abierta y nos muestre el menú procedemos a conectar el control remoto con el móvil mediante el cable USB para que se establezca la conexión y aparecerá el mensaje conectado o desconectado.



Figura 43. APP DJI GO 4

- 4) Preparar las Goggles DJI:** Se encienden de la misma manera que el control remoto oprimiendo dos veces manteniendo el botón en la segunda vez, una vez encendido se debe vincular al Mavic 2 ZOOM y colocarse la persona que vaya a ser auxiliar en la inspección FOD o la que controle el UAV.



Figura 44. Anclaje de las Goggles



Figura 45. Encendido de las Goggles



Figura 46. Colocación y ajuste de las Goggles

5) Vinculación: Una vez preparados y listos todos los equipos procedemos a encender el Mavic 2 ZOOM para llevar a cabo las vinculaciones necesarias de los equipos, primero se conectará el control apareciendo el mensaje de conectado y Ready to Go en caso de que no haya problemas para el despegue. Luego aparecerá el mensaje de conectado en la pantalla del móvil indicando que ya se tiene acceso a las funciones y control tanto de la cámara como de los tipos de vuelo del Mavic 2 ZOOM. Finalmente en las Goggles nos vamos a la opción de vincular del menú y

nos dará acceso a la cámara y algunas funciones de movimiento del UAV. En caso de que no se vinculen los equipos se debe oprimir el botón de vinculación que dispone el Mavic 2 ZOOM a su lado izquierdo hasta que cambie a color verde.

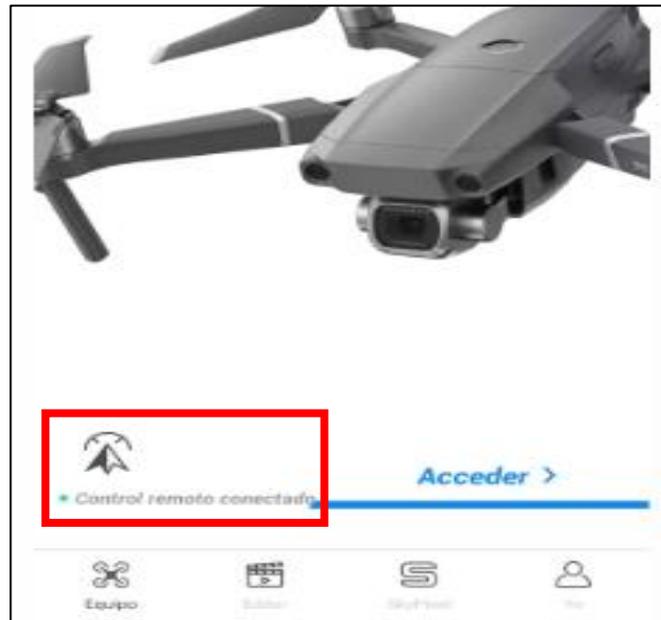


Figura 47. Control conectado con la App



Figura 48. UAV conectado a la App

6) **Despegue del Mavic 2 ZOOM:** Una vez listo todos los equipos procedemos a realizar la acción de despegue del UAV.



Figura 49. UAV en vuelo

7) **Dividir en secciones la plataforma:** Se debe dividir el área total para la inspección FOD en 4 secciones diferentes. Primero se debe comenzar a hacer un barrido desde la sección 1 y pasar a la sección 2, continuamente procedemos a inspeccionar la sección 3 y 4.

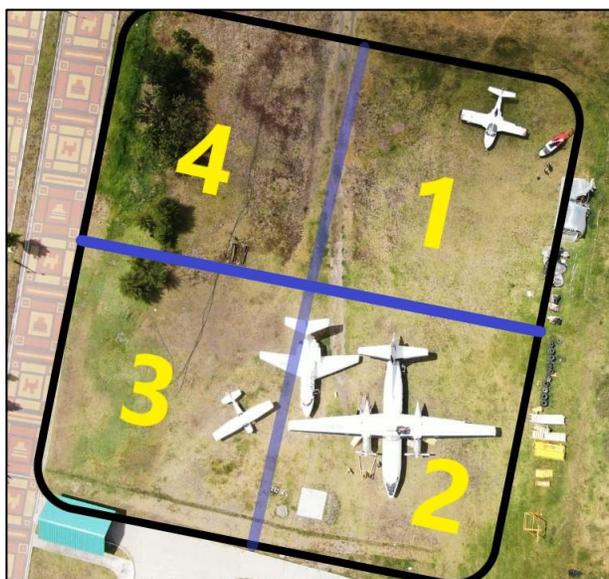


Figura 50. Secciones de la plataforma



Figura 51. Barrido FOD con el UAV

8) Inspección Visual FOD: Se tendrá en general 2 personas realizando esta inspección de diferentes formas. Una forma puede ser que el piloto del UAV se coloque las Goggles y realice la inspección FOD mientras que la persona auxiliar acompaña al UAV. Otra manera se la puede llevar a cabo con la opción de trayectoria para que el UAV siga una ruta seleccionada mientras el controlador realiza la inspección con las Goggles y el auxiliar acompaña al UAV. Mientras se realiza la inspección FOD se puede emplear la característica especial del UAV la cual consiste en el acercamiento de la cámara (zoom) para una mejor visualización de la plataforma.



Figura 52. Inspección con las Goggles

9) Recolección FOD: En caso de encontrar FOD el auxiliar debe proceder a recogerlo para completar la tarea.

10) Aterrizaje del Mavic 2 ZOOM: Una vez completada la inspección de la plataforma se puede llevar a cabo el aterrizaje del UAV manualmente o gracias a la opción de vuelta al punto de origen que al momento de oprimir en la pantalla el UAV regresara automáticamente al punto de origen y aterrizando automáticamente.



Figura 53. UAV al finalizar la tarea

11) Realizar el reporte FOD: Una vez terminada la tarea se debe realizar un reporte de los objetos encontrados para mantener actualizadas las estadísticas de la frecuencia de FOD en la plataforma de la Unidad de Gestión de Tecnologías-ESPE finalizando la tarea de inspección correspondiente a FOD.

Tabla 10.
Estadísticas de FOD encontrado en la plataforma

FOD	Cantidad	Cantidad total
Piedras	1	1
Tuercas	3	3
TOTAL		4

3.11 Normas de seguridad de la aeronave

- 1) No emplear la aeronave en condiciones meteorológicas que no sean buenas o moderadas, como vientos superiores a 10m/s (22mph), nieve, lluvia, granizo, rayos, entre otras condiciones climáticas adversas.
- 2) No volar con la señal del GPS débil o interferencias magnéticas fuertes o de radio que afecten la seguridad del vuelo.
- 3) El rendimiento de la batería depende de los factores del como densidad del aire y temperatura del entorno.
- 4) Evitar volar a altitudes mayores a los 6000m sobre el nivel del mar ya que puede disminuir el rendimiento de la batería y de la aeronave.
- 5) Apagar primero la aeronave luego del aterrizaje y posterior apagar el control remoto.

- 6) No usar la aeronave bajo efectos del alcohol o cualquier tipo de estupefaciente que afecten su capacidad física y mental de volar la aeronave con seguridad.
- 7) Evitar realizar el vuelo en zonas GEO (Geospatial Environment Online), que puedan afectar las actividades aeroportuarias.
- 8) Mantener en todo momento la aeronave en la línea de visión directa hasta tener la experiencia de volar con vista de la cámara,
- 9) No cargar la batería inmediatamente luego de finalizar el vuelo ya que se puede afectar su tiempo de vida útil debido al calor desprendido en el vuelo.

3.12 Normas de seguridad de las Goggles DJI

- 1) Evitar usar por tiempos prolongados y descansar en intervalos de tiempo o en caso de sentir mareos o pérdida de equilibrio.
- 2) Las opciones de control de la aeronave no sustituyen el control remoto de la misma, procurar siempre usar el control.
- 3) El radio de alcance de las Goggles se puede ver interrumpida por interferencias de tipo electromagnéticas tener, tener en cuenta en el espacio que se va a efectuar el vuelo.
- 4) Tener en cuenta el entorno en el cual se usan las Goggles ya que una vez colocadas se perderá la visión del lugar en el cual nos encontramos centrando nuestros sentidos a la vista de la cámara del UAV.
- 5) Evitar usar el volumen alto de los altavoces por periodos de tiempo prolongados para evitar daños de la audición.

- 6) Evitar golpear o hacer caer las Goggles ya que al ser un equipo con pantallas de precisión se puede ocasionar daños al equipo.
- 7) Evitar el sobrecalentamiento para evitar daños en el equipo.
- 8) No usar las Goggles mientras se encuentren en una etapa de carga.
- 9) Evitar moverse del lugar de donde se están usando las Goggles ya que se puede ocasionar daños al equipo y a la persona.

3.13 Análisis económico

3.13.1 Presupuesto

El presupuesto inicial presentado en el anteproyecto vario de acuerdo al cambio en el diseño del UAV para mejorar la eficiencia y eficacia del presente proyecto por lo que durante el transcurso del proyecto el valor total invertido fue mayor al propuesto.

3.13.2 Análisis de costos

Los costos para llevar a cabo la inspección visual mediante el empleo de un UAV y Goggles VR los vamos a dividir en costos primarios y secundarios.

3.3.13 Costos primarios

Definiremos estos costos como aquellos en los cuales dependen directamente el cumplimiento del proyecto como equipos.

- UAV marca DJI modelo Mavic 2 ZOOM
- Goggles marca DJI

Tabla 11
Costos primarios del proyecto

Detalle	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Equipo Mavic 2 ZOOM	1	\$1850.00	\$1850.00
Goggles DJI	1	\$350.00	\$350.00
TOTAL			\$2200.00

3.3.14 Costos secundarios

Definiremos estos costos como aquellos que sirvieron de soporte para el cumplimiento del proyecto como trámites.

- Viajes o transporte
- Envío de productos o equipos
- Trámites de solicitud de graduación

Tabla 12
Costos secundarios del proyecto

Detalle	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Trámites de solicitudes para graduación	1	\$15.00	\$15.00
Viajes o transporte	1	\$35.00	\$35.00
Envíos de equipos	1	\$100.00	\$100.00
TOTAL			\$150.00

3.3.15 Costo total del proyecto de grado

Se determinó el costo total para llevar a cabo el cumplimiento del presente proyecto de titulación otorgando valores que superan a los presentados en el anteproyecto.

Tabla 13
Costo total

Detalle	Valor unitario	Valor total
Total costo primarios	\$2200.00	\$2200.00
Total costos secundarios	\$150.00	\$150.00
TOTAL		\$2350.00

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se aplicó toda la información recolectada gracias a la investigación previa de los dispositivos UAV con su equipo correspondiente para una mayor compatibilidad y de esa manera poder emplear el que mejor se ajuste a la tarea de la inspección visual FOD conjuntamente con la inmersión visual que se obtiene de las Goggles para una mayor fiabilidad de la tarea correspondiente.
- Partiendo de la necesidad de implementar un equipo VR que se vinculara de forma adecuada al UAV, el cual ya tenía una visión de 360° gracias a sus ejes de movimiento y cámara incorporada con zoom, se empleó equipos de la misma marca (DJI) para una mayor vinculación y evitar incompatibilidades facilitando el proceso de la inspección visual FOD por parte del operario del equipo.
- De acuerdo al proceso adecuado para ejecutar la inspección FOD, se empleó todos los equipos y medidas necesarias, con ayuda del UAV, sus Goggles VR y los operarios necesarios descritos para llevar a cabo la recolección del FOD existente en la plataforma de la Unidad de Gestión de Tecnologías.

4.2 Recomendaciones

- No se debe omitir ningún tipo de objeto extraño que se encuentre dentro de la plataforma, sin importar el tipo de FOD, se lo debe recolectar y colocarlo en un lugar apropiado ya que por ejemplo al momento de realizar una corrida de motores durante las prácticas de los estudiantes puede ocasionar algún tipo de accidente o incidente que afecte a la integridad de los estudiantes.
- Se debe preparar el UAV y sus equipos correspondientes de forma adecuada para el despegue, desde el armado y colocación de las hélices hasta la vinculación con el control y las Goggles cumpliendo todos los requisitos necesarios y en caso de ser necesario realizar una prueba de vuelo antes de empezar con la inspección FOD para verificar que los equipos estén funcionando correctamente.
- Se deben seguir las normas de seguridad al momento de operar el UAV con las Goggles VR ya que podemos ocasionar daños a terceros o daños a los equipos, se requiere seriedad al momento de realizar la inspección cubriendo solamente el área de la plataforma para evitar inconvenientes durante la tarea y cuidar los equipos de golpes, caídas, mal uso y daño por el mismo operador.

GLOSARIO

Accidente.- Todo suceso relacionado con la utilización de una aeronave, que, en el caso de una aeronave tripulada, ocurre entre el momento en que una persona entra a bordo de la aeronave, con la intención de realizar un vuelo, y el momento en que todas las personas han desembarcado, o en el caso de una aeronave no tripulada, que ocurre entre el momento en que la aeronave está lista para desplazarse con el propósito de realizar un vuelo y el momento en que se detiene, al finalizar el vuelo, y se apaga su sistema de propulsión principal, durante el cual:

(i) Cualquier persona sufre lesiones mortales o graves a consecuencia de:

A. Hallarse en la aeronave, o

B. Por contacto directo con cualquier parte de la aeronave, incluso las partes que se hayan desprendido de la aeronave, o

C. Por exposición directa al chorro de un reactor,

(ii) La aeronave sufre daños o roturas estructurales que:

A. Afectan adversamente su resistencia estructural, su performance o sus características de vuelo; y

B. Que normalmente exigen una reparación importante o el recambio del componente afectado,

(iii) La aeronave desaparece o es totalmente inaccesible.

Actuación humana. - Capacidades y limitaciones humanas que repercuten en la seguridad y eficiencia de las operaciones aeronáuticas.

Aeródromo. - Área definida de tierra o de agua (que incluye todas sus edificaciones, instalaciones y equipos) destinado total o parcialmente a la llegada, salida y movimiento en superficie de aeronaves.

Aeródromo certificado. - Aeródromo a cuyo operador se le ha otorgado un certificado de aeródromo.

Aeronave. - Toda máquina que puede sustentarse en la atmósfera por reacciones del aire que no sean las reacciones del mismo contra la superficie de la tierra.

Altitud de Vuelo. - Distancia vertical de la aeronave respecto al nivel del mar.

Altura. - Distancia vertical entre un nivel, punto u objeto considerado como un punto, y una referencia especificada.

C

Ceniza volcánica. - Polvo de color gris claro que queda después de una combustión completa y está formado por sales alcalinas y terreas, sílices y óxidos metálicos.

Colisiones impactos/choques fauna-aeronaves.- Son aquellos eventos que se producen entre aeronaves en movimiento y representantes de la fauna, y que son detectados por la observación visual directa del impacto, por los registros de los instrumentos de la aeronave, la presencia de rasgaduras, manchas de sangre, abolladuras de las partes estructurales de la aeronave, la colecta de animales heridos o muertos sobre o cerca de las pistas de los aeródromos, sus áreas circunvecinas y/o en rutas de navegación.

Consecuencia. - Se define como el resultado potencial (o resultados) que se generarían en caso de un accidente y derivados de un peligro detectado en el aeródromo.

D

Deterioros en los pavimentos. - Son deficiencias de construcción o mantenimiento, que pueden o no estar relacionadas con la capacidad estructural del pavimento, actuando aisladamente o de forma combinada y que pueden afectar el funcionamiento del pavimento, y/o instalaciones relacionadas. Estos deterioros se clasifican de modo general en agrietamiento, distorsión, desintegración, daños por sellado de juntas o grietas y pérdida de la resistencia al deslizamiento.

DGAC. (Dirección General de Aviación Civil). -Dependencia adscrita al Ministerio de Defensa Nacional, de la República del Ecuador, la cual para los efectos de las Regulaciones de Aviación Civil (RDAC), ejercerá la autoridad aeronáutica en la República del Ecuador; entiéndase así mismo como todas las dependencias y representantes adscritos a la mencionada dependencia.

E

Evaluación de la seguridad operacional. - Es un estudio detallado que se lleva a cabo cuando existen desviaciones de las normas o cuando hay cambios en los requisitos operacionales de los aeródromos. Adicionalmente al cumplimiento normativo, se considera también la gestión de cualquier riesgo a la seguridad operacional que se extiende más allá del cumplimiento normativo.

Evento. - Todo suceso que se produce fuera de los parámetros normales y que pueden ocasionar una afectación a la seguridad.

F

Fauna. - Conjunto de especies animales que habitan en una región o medio. A los efectos de las colisiones con aeronaves, cualquier animal, sean animales silvestres, como gregario.

I

Impactos no confirmados. - Cualquier colisión entre un ave u otro tipo de fauna y una aeronave, de la cual no se tiene evidencia física.

Incidente. - Todo suceso relacionado con la operación de una aeronave, que no llegue a ser un accidente, que afecte o pueda afectar la seguridad de las operaciones.

Incidentes serios. - Donde la presencia de fauna en o alrededor del aeródromo tiene algún efecto en un vuelo, o no se puede encontrar evidencias de ningún tipo.

Inspección técnica. - Verificación visual o por instrumentos del cumplimiento de las especificaciones técnicas relativas a la infraestructura y las operaciones del aeródromo.

Investigación. - Proceso que se lleva a cabo con el propósito de prevenir los accidentes y que comprende la reunión y el análisis de información, la obtención de conclusiones, incluida la determinación de las causas y/o factores contribuyentes y, cuando proceda, la formulación de recomendaciones sobre seguridad operacional.

M

Manejo de residuos. - Procedimiento que comprende las siguientes actividades: recolección, clasificación y transporte de desechos hasta su destino final.

P

Peligro. - Condición o un objeto que podría provocar lesiones al personal, daños al equipo o estructuras, pérdidas de material o reducción de la capacidad de realizar una función prescrita.

Peligro aviario y de la fauna. - riesgo generado por la presencia de fauna que supone para las aeronaves y su operación la presencia de aves y otro grupo de fauna en los aeródromos y sus inmediaciones, ante la posibilidad de que sean impactadas por aquellas durante sus fases de despegue y ascenso o de aproximación y aterrizaje, que son precisamente las fases más críticas del vuelo.

Performance. - Medida de la eficiencia y eficacia del funcionamiento del Sistema de la Gestión de la Seguridad Operacional (SMS) y se debe entender como el desempeño.

Plataforma (APN). - Área definida en un aeródromo terrestre, destinada a dar cabida a las aeronaves para los fines de embarque o desembarque de pasajeros, correo o carga, abastecimiento de combustible, estacionamiento o mantenimiento.

Procedimiento. - Forma especificada para llevar a cabo una actividad o un proceso. Medios específicos para efectuar las actividades operacionales y que transforma el “qué” (objetivos) en el “cómo” (actividades prácticas).

Proceso. - Conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados. En seguridad operacional es el mecanismo que abarca el cumplimiento y la vigilancia regulatorias.

Responsabilidad. - Derecho natural u otorgado a un individuo en función de su competencia para reconocer y aceptar las consecuencias de un hecho.

Riesgo. - Probabilidad que un evento pueda ocurrir.

Riesgo de seguridad operacional. - Es la evaluación, expresada en términos de probabilidad y gravedad previstas, de las consecuencias de un peligro, tomando como referencia la peor situación previsible.

Seguridad operacional. - El Estado en el cual la posibilidad de lesiones a las personas o de daños materiales se reduce, y se mantiene en o por debajo de, un nivel aceptable a través de un proceso continuo de identificación del peligro y de la gestión de los riesgos de seguridad operacional.

ABREVIATURAS

AC: Circular de asesoramiento

APAS: Sistemas Avanzados de Asistencia al Piloto

APN: Plataforma

App: Aplicación móvil

DGAC: Dirección General de Aviación Civil

DOE: Daño por objeto extraño

DVI: Inspección Visual Directa

FAA: Administración Federal de Aviación

FOD: Foreign Object Damage/ Debris

GEO: Geospatial Environment Online

GPS: Sistema de Posicionamiento Global

HMD: Head Mounted Display

HTOL: Despegue y aterrizaje horizontal

IATA: International Air Transport Association

IPD: Distancia interpupilar

NDT: Ensayo no Destructivo

OACI: Organización de Aviación Civil Internacional

RV: Realidad Virtual

SMS: Sistema de Gestión de la Seguridad Operacional.

UAS: Unmanned Aerial System

UAV: Vehículo Aéreo no Tripulado

VTOL: Despegue y Aterrizaje Vertical

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, J. (28 de diciembre de 2017). *Staff Seguridad en América*. Recuperado el Noviembre de 22 de 2019, de FOREIGN OBJECTS DEBRIS en aeropuertos: <https://www.seguridadenamerica.com.mx/noticias/articulos/14190/foreign-objects-debris-en-aeropuertos>
- AESA. (13 de Marzo de 2017). *Agencia Estatal de Seguridad Aérea*. Recuperado el 17 de Novimebre de 2019, de Programa de Gestión de riesgos FOD: https://www.seguridadaerea.gob.es/media/4628777/csa_17_itc_114.pdf
- Arenas, J. (30 de Septiembre de 2016). *Ingeniería y Estructuras Aeronáuticas*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2019, de Inspección Visual: <https://www.josemiguelatehortua.com/practicas-estandar/tips-criterios-de-inspecci%C3%B3n/>
- Arenas, J. M. (14 de Octubre de 2016). *Ingeniería y estructuras Aeronáuticas*. Recuperado el 4 de Diciembre de 2019, de Criterios para la Inspección y evaluación de daños: <https://www.josemiguelatehortua.com/practicas-estandar/factores-humanos-en-la-inspeccion/>
- Bautista, A. (23 de Julio de 2015). *Centro de innovación y desarrollo tecnológico en computo*. Recuperado el 18 de Diciembre de 2019, de Software de Realidad Aumentada para la manipulación de objetos virtuales mediante el uso de gesturas de manos:

file:///C:/Users/USER/Downloads/Software%20de%20realidad%20aumentada%20para%20la%20manipulaci%C3%B3n%20de%20objetos%20virtuales%20mediante%20el%20uso%20de%20gesturas%20de%20manos%20(1).pdf

DGAC Dirección General de Aviación Civil. (19 de octubre de 2018). *RDAC Parte 153 operación en aeródromos*. Recuperado el 21 de Diciembre de 2019, de Seguridad operacional:

<https://www.aviacioncivil.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/06/29-RDAC-153-Enmienda-2-19-Oct-2018.pdf>

DJI. (17 de Enero de 2017). *DJI Goggles Manual de usuario*. Recuperado el 2 de Enero de 2020, de DJI Goggles:

https://dl.djicdn.com/downloads/DJI+Goggles/20170822/DJI_Goggles_User_Manual_ES.pdf

DJI. (16 de Septiembre de 2018). *Manual de usuario Mavic 2 ZOOM*. Recuperado el 4 de Enero de 2020, de Mavic 2 zoom:

https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic_2/201911um/Mavic_2_Pro_Zoom_User_Manual_v1.2_es.pdf

DJI. (1 de Enero de 2020). *DJI GOGGLES SERIE*. Recuperado el 14 de Enero de 2020, de Imagen de las Goggles: <https://www.dji.com/dji-goggles>

DJI. (1 de Enero de 2020). *MAVIC 2*. Recuperado el 10 de Enero de 2020, de Cámara del Mavi 2 ZOOM: <https://www.dji.com/mavic-2>

DJI Da-Jiang Innovation Technology. (1 de Enero de 2020). *DJI*. Recuperado el 14 de Enero de 2020, de Logo DJI: <https://www.dji.com/>

Escamilla, R. (2 de Noviembre de 2010). *Instituto Politécnico Nacional*. Recuperado el 11 de Enero de 2020, de Diseño, Construcción, Instrumentación y Control de un Vehículo Aéreo No Tripulado (UAV):

file:///C:/Users/USER/Downloads/Tesis_drones%20(1).pdf

Fores Barrera, L. G. (26 de Junio de 2009). *Repositorio Dspace*. Recuperado el 13 de Enero de 2020, de Medición de espesores por ultrasonido y requisitos necesarios para el personal que lleva a cabo ensayos no destructivos en la central nucleoelectrica Laguna Verde: <http://tesis.ipn.mx/123456789/3887>

FUMIGARAY S.A.S. (1 de febrero de 215). *Sistema de gestión de seguridad operacional*.

Recuperado el 12 de Enero de 2020, de costo del FOD:

https://fumigaray.weebly.com/uploads/1/9/4/3/19430029/boletin_de_seguridad_e_ne_y_feb_2015.pdf

Gauna, D., RODRÍGUEZ, E., FLORES, L., HIGUERA, J. H., MARTÍNEZ, J., PEZÓN, Y., & GONZALES, O. (10 de septiembre de 2012). *wordpress*. Recuperado el 12 de Enero de 2020, de Ensayos no destructivos:

<https://chirinoosilveroger.files.wordpress.com/2012/05/trabajo-de-ensayos-no-destructivos.pdf>

Gaurav , S., Babankumar , B., & Lini , M. (27 de noviembre de 2018). *Unmanned Aerial Vehicle classification*. Recuperado el 14 de Enero de 2020, de UAS:

file:///C:/Users/USER/Downloads/Unmanned_Aerial_Vehicle_Classification_Application.pdf

Gaviria, J. L. (30 de noviembre de 2013). *OPAIN*. Recuperado el 14 de Enero de 2020, de Programa de prevención FOD: <https://www.opain.co/archivos/GSO-PG-0002-Programa-FOD-aeropuerto-internacional-EI-Dorado.pdf>

Herrera, J. (12 de Marzo de 2018). *DOCPLAYER*. Recuperado el 14 de Enero de 2020, de Asistencia en tierra a las aeronaves: <https://docplayer.es/98340715-Servicio-a-cabinas-cabin-service.html>

Martinez, R. (17 de Julio de 2008). *Diseño e implementación de un motor de realidad virtual escalable para escenarios 3D*. Recuperado el 16 de Enero de 2020, de Realidad Virtual: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/26238/Dise%c3%b1o%20e%20Implementaci%c3%b3n%20de%20un%20motor%20de%20realidad%20virtual%20escalable%20para%20escenarios%20tridimensionales.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Nield, D. (17 de julio de 2019). *Smarter Living*. Recuperado el 18 de Enero de 2020, de 7 best VR headsets 2020: from high-end PC gaming to strapping a phone to your face: <https://www.t3.com/features/best-vr-headset>

Oliva, A. S. (01 de diciembre de 2016). *PreventBlog*. Recuperado el 18 de Enero de 2020, de La seguridad es asunto de todos (FOREIGN OBJECT DEBRIS / DAMAGE): <https://prevenblog.com/la-seguridad-asunto-todos-foreign-object-debris-damage/>

Santana, E. (16 de junio de 2017). *Universidad Autónoma de Barcelona*. Recuperado el 18 de Octubre de 2019, de Propuesta de sistema multi.uav para aplicaciones de cobertura aérea:

<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/456309/eesc1de1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXOS



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AEROESPACIALES

CARRERA DE TECNOLOGÍA EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES

Se certifica que la presente monografía fue desarrollada por el señor MORA AMOROSO, GABRIEL ALEJANDRO.

En la ciudad de Latacunga a los 24 días del mes de enero del 2020.

Aprobado por:


Ing. Muñoz Grandes, Milton Stalin

DIRECTOR DEL PROYECTO


Ing. Bautista Zurita, Rodrigo Cristobal

DIRECTOR DE CARRERA


Abg. Plaza Carrillo, Sarita Johana

SECRETARIO ACADÉMICO