



# **ESPE**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**UNIDAD DE GESTIÓN DE  TECNOLOGÍAS**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES**

**CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES**

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

**TEMA: “INSPECCIÓN VISUAL DE HUNDIMIENTOS Y RAJADURAS EN  
LA PIEL DEL EMPENAJE EN LA AERONAVE HAWKER SIDDELEY DE  
ACUERDO AL SRM ATA 51 Y 55 MEDIANTE LA TARJETA DJI A3 EN  
EL CUADRICOPTERO CFLM PERTENECIENTE A LA UGT – ESPE”**

**AUTOR:**

**CHICAIZA TONATO, BYRON ROBERTO**

**DIRECTOR:**

**ING. COELLO TAPIA, LUIS ANGEL**

**LATACUNGA**

**2019**



## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES

### CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES

#### CERTIFICACIÓN

Certifico que la monografía, **“INSPECCIÓN VISUAL DE HUNDIMIENTOS Y RAJADURAS EN LA PIEL DEL EMPENAJE EN LA AERONAVE HAWKER SIDDELEY DE ACUERDO AL SRM ATA 51 Y 55 MEDIANTE LA TARJETA DJI A3 EN EL CUADRICOPTERO CFLM PERTENECIENTE A LA UGT – ESPE”** fue realizado por el señor **CHICAIZA TONATO BYRON ROBERTO**, ha sido revisado en su totalidad y 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, Diciembre del 2019**



---

ING. COELLO TAPIA, LUIS ANGEL  
C.C.: 0503128662



## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES

### CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES

#### AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **CHICAIZA TONATO, BYRON ROBERTO** declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía: ***“INSPECCIÓN VISUAL DE HUNDIMIENTOS Y RAJADURAS EN LA PIEL DEL EMPENAJE EN LA AERONAVE HAWKER SIDDELEY DE ACUERDO AL SRM ATA 51 Y 55 MEDIANTE LA TARJETA DJI A3 EN EL CUADRICÓPTERO CFLM PERTENECIENTE A LA UGT – ESPE”*** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas. Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

**Latacunga, Diciembre del 2019**

**CHICAIZA TONATO, BYRON ROBERTO**  
C.C.: 050391397-2



## CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES

### AUTORIZACIÓN

Yo, **CHICAIZA TONATO, BYRON ROBERTO** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, publicar la monografía: **“INSPECCIÓN VISUAL DE HUNDIMIENTOS Y RAJADURAS EN LA PIEL DEL EMPENAJE EN LA AERONAVE HAWKER SIDDELEY DE ACUERDO AL SRM ATA 51 Y 55 MEDIANTE LA TARJETA DJI A3 EN EL CUADRICÓPTERO CFLM PERTENECIENTE A LA UGT – ESPE”** en el Repositorio Institucional en el registro bibliográfico, el resumen y la dirección web indexada a la revista del artículo académico.

Latacunga, Diciembre del 2019



CHICAIZA TONATO, BYRON ROBERTO  
C.C.: 050391397-2

## DEDICATORIA

El presente proyecto de graduación en primer lugar se lo dedicó a Dios que me ha bendecido durante toda mi vida, por llenar de felicidad, amor, comprensión y ternura. Que siempre me ha acompañado en cada momento, en cada paso que he dado durante el transcurso de mi vida estudiantil y profesional. Por guiarme por el buen camino y que jamás me dejó solo en los momentos que más lo necesitaba.

A mi familia, por su enorme apoyo incondicional y emocional que me han brindado durante toda mi vida. En especial se la dedico a mis padres Carlos Chicaiza y María Tonato, quienes fueron el pilar fundamental de mi vida, por enseñarme valores importantes para formarme profesionalmente y una persona de bien. Por estar siempre a mi lado, brindándome su amor y cariño. Siempre estaré orgulloso por ser su hijo, por ser los padres más maravillosos que Dios me ha dado.

A mis amigos, con quienes he convivido durante toda esta trayectoria de mi vida profesional. Personas con quienes compartí experiencias únicas que se vive en la vida, como triunfos, fracasos, tristezas, alegrías y lo más importante ha jamás darnos por vencido en cualquier circunstancia. A mis amigos de graduación, quienes hemos estado en las buenas y en las malas, para hacer realidad nuestro sueño de graduación.

CHICAIZA TONATO, BYRON ROBERTO

## AGRADECIMIENTO

A un gran amigo, que jamás me ha dejado en los momentos más difíciles, que, a pesar de mis errores, siempre ha estado allí cuidándome, guiándome y bendiciéndome. Por todo lo que he vivido, quiero agradecer a mi Dios, por haberme dado una vida de felicidad, por mi salud, y por la gran bendición que me ha dado. Que fue graduarme de esta maravillosa Universidad. Y siempre estaré agradecido por todo lo que me ha brindado.

A mis maravillosos padres Carlos Chicaiza y María Tonato, quienes me han enseñado que, con el esfuerzo y dedicación, todo es posible en esta vida. Quienes me han demostrado que la humildad siempre será la carta de presentación en cualquier parte del mundo. Siempre estaré agradecido de ellos, por hacerme una persona sencilla, honesta, amable, respetuosa y responsable. Valores que siempre tendré presente en mi vida.

A mis amigos de clase, con quienes pasamos buenos y malos momentos que se convertirán en maravillosos recuerdos, que perdurarán por toda la vida. Por su puesto a mis profesores que, durante toda mi etapa universitaria, impartían sus valiosos conocimientos, para prepararme y formarme un profesional de bien. Y a mí tutor de tesis Ing. Luis Coello, que, gracias a él, he aprendido muchas cosas que me servirán en mi vida profesional.

CHICAIZA TONATO, BYRON ROBERTO

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CARATULA</b>	
<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	i
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</b> .....	ii
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	iii
<b>DEDICATORIA</b> .....	iv
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	v
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	vi
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	xi
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	xvi
<b>RESUMEN</b> .....	xvii
<b>ABSTRACT</b> .....	xviii

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Planteamiento del problema.....	2
1.3	Justificación .....	3
1.4	Objetivo general .....	4
1.4.1	Objetivos específicos.....	4
1.5	Acance.....	5

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

2.1	Drones .....	6
2.1.1	¿Qué es un dron? .....	6
2.1.2	Primeros aviones no tripulados a los drones actuales .....	7
2.1.3	Partes básicas de un dron .....	8
2.1.4	Tipos de drones profesionales.....	10
a.	Drones según su denominación.....	10

b.	Drones según sus motores .....	10
c.	Drones según su número de brazos .....	10
d.	Drones según su uso .....	12
e.	Drones según el método de control .....	12
f.	Drones según sus alas.....	12
2.1.5	Usos de drones profesionales.....	14
a.	Uso militar de drones .....	14
b.	Uso audiovisual de los drones .....	14
c.	Uso de los drones en seguridad .....	15
d.	Uso de los drones en la agricultura.....	16
e.	Uso de los drones en entretenimiento.....	16
f.	Uso de los drones en aviación .....	17
2.1.6	Características de los cuadricópteros. ....	18
a.	Velocidad .....	18
b.	Altitud .....	18
c.	Nivel de autonomía .....	19
d.	Dimensiones y peso.....	19
2.1.7	Diferencias entre Fuentes de Energía.....	19
a.	Ni-Cd (baterías de níquel-cadmio). ....	19
b.	Ni-MH (baterías de níquel-metal-hidruro).....	20
c.	Ion-Litio (baterías de iones de litio). ....	20
d.	Li-Po (baterías de polímero de litio). ....	20
2.1.8	Modelos de drones ampliamente utilizados .....	21
a.	Phantom 3.....	21
b.	Parrot Bebop Skycontroller .....	22
c.	Yuneec Q500 4K.....	22
d.	Blade Chroma Camera Drone.....	23
2.1.9	Física de un cuadricóptero.....	24
2.1.10	Normativa de operación de drones en el Ecuador .....	25
2.2	Tarjeta DJI A3 .....	25



2.2.1	Componentes del sistema.....	26
a.	Controlador principal A3.....	26
b.	Módulo GPS.....	27
c.	Módulo PMU .....	28
d.	Módulo LED .....	28
2.2.2	Límites de vuelo y áreas de restricción de vuelo .....	29
a.	Aeropuerto .....	30
b.	Área Restringida .....	30
2.3	Aeronave Hawker Siddely HS125/400 .....	31
2.3.1	Dimensiones y aéreas.....	32
a.	Dimensiones de la aeronave.....	32
2.3.2	Componentes de empenaje de la aeronave Hawker Siddely.....	34
a.	Estabilizador vertical .....	34
b.	Rudder .....	35
c.	Elevadores .....	35
d.	Estabilizador horizontal.....	36
e.	Secciones, zonas y estaciones .....	36
2.4	Programas de mantenimiento .....	48
2.4.1	Tipos de inspecciones.....	48
a.	Inspecciones programadas .....	48
a.1	Inspecciones de rutina (a tiempo fijo) .....	48
b.1	Inspecciones de no rutina (ante eventos especiales) .....	51
b.	Inspecciones por fallas.....	52

## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO DEL TEMA**

3.1	Consideraciones generales.....	53
3.1.1	Situación actual de la aeronave .....	53
3.1.2	Descripción general .....	54
3.2	Implementación del sistema de control DJI A3 .....	54

3.2.1	Estudio de alternativas.....	54
a.	Primera alternativa: MAVLINK .....	55
b.	Segunda alternativa: PX4 .....	56
c.	Tercera alternativa: DJI A3 .....	58
3.2.2	Matriz de decisión .....	59
a.	Criterios de evaluación.....	59
b.	Alternativa seleccionada .....	60
3.2.3	Sistema de control DJI A3.....	61
a.	Subsistema de navegación .....	61
b.	Subsistema estructural.....	66
c.	Subsistema de propulsión.....	69
3.2.4	Fuentes de alimentación .....	80
a.	Suministro de energía de la batería II .....	81
3.3	Interacción de los sistemas del cuadricóptero CFLM.....	82
3.3.1	Sistema de control principal A3.....	85
3.4	Proceso de ensamblaje.....	86
3.4.1	Estructura del cuadricóptero CFLM .....	86
a.	Trenes de aterrizaje .....	86
b.	Placas de carbono .....	87
c.	Soportes de los motores Gantt .....	89
d.	Hélices 1555 .....	90
3.4.2	Sistema de control DJI A3.....	91
3.5	Descripción de procedimientos de calibración y mantenimiento.....	95
3.5.1	Sistema de control DJI A3.....	95
a.	Controlador principal A3.....	95
b.	Módulo PMU .....	96
c.	Módulo LED .....	97
d.	Módulo GPS.....	98
3.6	Proceso de inspección en la aeronave Hawker Siddely.....	99
3.6.1	Reparaciones estructurales .....	99

3.6.2	Rajaduras.....	101
3.6.3	Hundimientos .....	101
3.6.4	Discrepancias adicionales.....	102
3.7	Análisis de resultados .....	106
3.7.1	Reparaciones estructurales .....	106
3.7.2	Rajaduras.....	125
3.7.3	Hundimientos .....	127
3.7.4	Discrepancias adicionales encontradas .....	130
a.	Corrosión en los tornillos.....	130
b.	Corrosión en las láminas de aluminio del empenaje .....	135
c.	Desprendimiento de pintura .....	139
d.	Ralladuras.....	144

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

4.1	Conclusiones .....	149
4.2	Recomendaciones .....	150

<b>ABREVIATURAS</b> .....	151
---------------------------	-----

<b>GLOSARIO</b> .....	153
-----------------------	-----

<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	156
---	-----

<b>ANEXOS</b> .....	166
---------------------	-----

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Drone.....	6
<b>Figura 2.</b> Kettering bug. ....	7
<b>Figura 3.</b> El girodino QH 50 DASH. ....	8
<b>Figura 4.</b> Las partes de un drone.....	9
<b>Figura 5.</b> Tipos de drones profesionales.....	11
<b>Figura 6.</b> Drones de ala fija.....	13
<b>Figura 7.</b> Drones de ala rotatoria. ....	13
<b>Figura 8.</b> Drone PD – 100 Black Hornet. ....	14
<b>Figura 9.</b> Torrente 5 grabada en el aeropuerto Ciudad Real. ....	15
<b>Figura 10.</b> Inspección mediante un drone.....	15
<b>Figura 11.</b> Fumigación en campos agrícolas. ....	16
<b>Figura 12:</b> Drone utilizado en tomar selfies. ....	17
<b>Figura 13.</b> Inspección visual mediante drones.....	18
<b>Figura 14.</b> Tipos de baterías.....	21
<b>Figura 15.</b> Phantom 3. ....	21
<b>Figura 16.</b> Parrot Bebop Skycontroller.....	22
<b>Figura 17.</b> Yuneec Q500 4K. ....	23
<b>Figura 18.</b> Blade Chroma Camera Drone. ....	23
<b>Figura 19.</b> Física de un cuadricóptero. ....	24
<b>Figura 20.</b> Regulación de drones en Ecuador. ....	25
<b>Figura 21.</b> Tarjeta DJI A3.....	26
<b>Figura 22.</b> Controlador principal A3. ....	27
<b>Figura 23.</b> Módulo GPS. ....	27
<b>Figura 24.</b> Módulo PMU.....	28
<b>Figura 25.</b> Módulo LED.....	29
<b>Figura 26.</b> Zonas de exclusión aérea.....	30
<b>Figura 27.</b> Área Restringida.....	31
<b>Figura 28.</b> Aeronave Hawker Siddeley. ....	32

<b>Figura 29.</b> Longitud de las entre alas y trenes principales.....	32
<b>Figura 30.</b> Longitud del fuselaje y empenaje. ....	33
<b>Figura 31.</b> Longitud de trenes de aterrizaje y tail cone. ....	33
<b>Figura 32.</b> Compartimientos del fuselaje. ....	34
<b>Figura 33.</b> Estabilizador vertical del avión Hawker Siddely.....	34
<b>Figura 34.</b> Rudder del avión Hawker Siddely.....	35
<b>Figura 35.</b> Elevadores del avión Hawker Siddely.....	35
<b>Figura 36.</b> Estabilizador horizontal del avión Hawker Siddely. ....	36
<b>Figura 37.</b> Estaciones, zonas y secciones del avión Hawker Siddely.....	36
<b>Figura 38.</b> Aeronave Hawker Siddely HS125/400.....	53
<b>Figura 39.</b> MAVLINK.....	56
<b>Figura 40.</b> PX4.....	57
<b>Figura 41.</b> DJI A3.....	59
<b>Figura 42.</b> Sistema de control DJI A3. ....	61
<b>Figura 43.</b> Subsistema de navegación.....	62
<b>Figura 44.</b> Módulo GPS. ....	63
<b>Figura 45.</b> Módulo PMU.....	64
<b>Figura 46.</b> Módulo LED.....	64
<b>Figura 47.</b> Controlador principal A3. ....	65
<b>Figura 48.</b> Subsistema estructural. ....	66
<b>Figura 49.</b> Trenes de aterrizaje.....	67
<b>Figura 50.</b> Brazos de soporte del motor.....	68
<b>Figura 51.</b> Placas de carbono. ....	69
<b>Figura 52.</b> Subsistema de propulsión. ....	69
<b>Figura 53.</b> Motor Gartt. ....	72
<b>Figura 54.</b> Hélice 1555.....	73
<b>Figura 55.</b> Baterías LIPO 4s. ....	75
<b>Figura 56.</b> ESC. ....	77
<b>Figura 57.</b> Fuentes de alimentación.....	80
<b>Figura 58.</b> Interacción de los sistemas del cuadricóptero CFLM. ....	82

<b>Figura 59.</b> Estructura del cuadricóptero CFLM. ....	85
<b>Figura 60.</b> Ensamblaje de los trenes. ....	86
<b>Figura 61.</b> Partes del tren de aterrizaje.....	87
<b>Figura 62.</b> Ensamblaje de las placas de carbono y tubos de soporte.....	88
<b>Figura 63.</b> Partes de las placas de carbono y sus accesorios. ....	88
<b>Figura 64.</b> Ensamble de la base y tubos de soporte.....	89
<b>Figura 65.</b> Partes de los soportes de los motores Gartt.....	90
<b>Figura 66.</b> Montaje de las hélices y protecciones en los motores.....	91
<b>Figura 67.</b> Partes de las hélices.....	91
<b>Figura 68.</b> Proceso de conexión de la tarjeta DJI A3.....	93
<b>Figura 69.</b> Operación del sistema A3.....	94
<b>Figura 70.</b> Proceso de inspección de reparaciones estructurales.....	100
<b>Figura 71.</b> Proceso de inspección de rajaduras.....	103
<b>Figura 72.</b> Proceso de inspección de hundimientos. ....	104
<b>Figura 73.</b> Proceso de inspección de discrepancias adicionales. ....	105
<b>Figura 74.</b> Reparación estructural del hinge strap LH.....	106
<b>Figura 75.</b> Reparación estructural del hinge strap. ....	107
<b>Figura 76.</b> Reparación estructural del hinge strap RH. ....	108
<b>Figura 77.</b> Reparación estructural del hinge strap RH. ....	109
<b>Figura 78.</b> Reparación estructural del hinge strap LH.....	110
<b>Figura 79.</b> Reparación estructural del hinge strap LH.....	111
<b>Figura 80.</b> Reparación estructural en el estabilizador vertical. ....	112
<b>Figura 81.</b> Reparación estructural en el estabilizador horizontal. ....	113
<b>Figura 82.</b> Reparación estructural en el estabilizador vertical. ....	114
<b>Figura 83.</b> Reparación estructural en el estabilizador vertical LH.....	115
<b>Figura 84.</b> Reparación estructural en el estabilizador vertical RH. ....	115
<b>Figura 85.</b> Reparación estructural del hinge strap LH.....	116
<b>Figura 86.</b> Reparación estructural en el estabilizador vertical. ....	117
<b>Figura 87.</b> Reparación estructural del hinge strap RH. ....	118
<b>Figura 88.</b> Reparación estructural en el estabilizador vertical. ....	119

<b>Figura 89.</b> Reparación estructural en el estabilizador horizontal. ....	120
<b>Figura 90.</b> Reparación estructural del hinge strap RH. ....	121
<b>Figura 91.</b> Reparación estructural del hinge strap. ....	122
<b>Figura 92.</b> Reparación estructural del hinge strap lower. ....	123
<b>Figura 93.</b> Reparación estructural del hinge strap RH. ....	124
<b>Figura 94.</b> Rajadura en el estabilizador horizontal. ....	125
<b>Figura 95.</b> Hawker Siddely: SRM, ATA 50 – 40; pág. 6. ....	126
<b>Figura 96.</b> Rajadura en el borde de ataque del estabilizador vertical. ....	126
<b>Figura 97.</b> Hundimiento en el estabilizador horizontal. ....	127
<b>Figura 98.</b> Hawker Siddely: SRM, ATA 51 – 10 – 11, pág. 6. ....	128
<b>Figura 99.</b> Hawker Siddely: SRM, ATA 51 – 10 – 11, pág. 11. ....	128
<b>Figura 100.</b> Hundimientos en el estabilizador derecho. ....	129
<b>Figura 101.</b> Corrosión en los tornillos DHS 1473- 1DD. ....	130
<b>Figura 102.</b> Hawker Siddely: SRM, ATA 51 – 30 – 61, pág. 1 ....	131
<b>Figura 103.</b> Corrosion en los tornillos DHS 1473-1-1-2DD. ....	132
<b>Figura 104.</b> Corrosion en los tornillos DHS 1473 - 1DD. ....	133
<b>Figura 105.</b> Corrosión en el estabilizador horizontal derecho. ....	134
<b>Figura 106.</b> Corrosión en los tornillos del estabilizador horizontal RH. ....	135
<b>Figura 107.</b> Corrosión en el estabilizador horizontal RH. ....	136
<b>Figura 108.</b> Hawker Siddely: SRM, ATA 51 – 30 – 61, pág. 2. ....	137
<b>Figura 109.</b> Hawker Siddely: SRM, ATA 51 – 10 – 41, pág. 2. ....	137
<b>Figura 110.</b> Corrosión en RH horizontal stabilizer. ....	138
<b>Figura 111.</b> Corrosión en el elevador izquierdo. ....	139
<b>Figura 112.</b> Desprendimiento de pintura en el elevador izquierdo. ....	140
<b>Figura 113.</b> HAWKER SIDDELY, SRM, ATA 20, 20 – 10 – 33- 201. ....	141
<b>Figura 114.</b> Desprendimiento de pintura en el elevador LH. ....	142
<b>Figura 115.</b> Slip paint en el rudder. ....	143
<b>Figura 116.</b> Slip paint en el estabilizador horizontal RH. ....	144
<b>Figura 117.</b> Rayadura en el LH horizontal stabilizer. ....	145
<b>Figura 118.</b> Hawker Siddely, SRM; ATA 51 - 10 - 11; pág. 8. ....	146

<b>Figura 119.</b> Rayadura en el LH vertical stabilizer. ....	147
<b>Figura 120.</b> Rayadura en el RH vertical stabilizer.....	148



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Criterios de evaluación</i> .....	60
<b>Tabla 2</b> <i>Partes del controlador principal</i> .....	65
<b>Tabla 3</b> <i>Componentes del tren de aterrizaje</i> .....	67
<b>Tabla 4</b> <i>Parámetros de selección del motor</i> .....	70
<b>Tabla 5</b> <i>Matriz de decisión de los motores</i> .....	71
<b>Tabla 6</b> <i>Selección de la hélice</i> .....	72
<b>Tabla 7</b> <i>Especificaciones de la batería Lipo</i> .....	74
<b>Tabla 8</b> <i>Relación de empuje y aceleración</i> .....	76

## RESUMEN

Con el transcurso del tiempo, se ha establecido ciertos métodos y técnicas de inspección en una aeronave, para disminuir el tiempo de trabajo de los operadores. Con el desarrollo de la tecnología, se ha implementado vehículos aéreos no tripulados en la vida cotidiana para múltiples propósitos, para mejorar la calidad de vida de las personas. Mediante esta iniciativa se ha incorporado el cuadricóptero CFLM, con el objetivo de realizar trabajos de inspección visual de hundimientos y rajaduras en la piel del empenaje y mantener la aeronavegabilidad de la aeronave Hawker Siddely HS 125 – 400 en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga. Además, con este proyecto, se puede realizar la inspección visual de discrepancias adicionales como corrosión en los tornillos de sujeción, ralladuras, desprendimiento de pintura y corrosión en las láminas de aluminio en áreas de difícil acceso. Para ello, el cuadricóptero tiene una autonomía de vuelo excelente para que los docentes y estudiantes tengan un óptimo control de maniobrabilidad y estabilidad del equipo durante las operaciones de vuelo de inspección visual en el empenaje de la aeronave. Con este propósito, se reduce el tiempo de trabajo, y se disminuye el riesgo de accidentes laborales y daños a la estructura de la aeronave Hawker Siddely HS 125 – 400.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **DRONES**
- **CUADRICÓPTEROS**
- **AERONAVE HAWKER SIDDELY**

## **ABSTRACT**

The present research is based on certain inspection methods and techniques have been established on an aircraft to reduce operators' working time. With the development of technology, unmanned aerial vehicles have been implemented in everyday life for multiple purposes, to improve the quality of life of people. Through this initiative, the CFLM quadricopter has been incorporated, with the objective of carrying out visual inspection works of subsidence and cracks in the skin of the empennage and maintaining the airworthiness of the Hawker Siddely HS 125 - 400 aircraft at the Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE headquarters in Latacunga. In addition, with this project, visual inspection can be performed for additional discrepancies such as corrosion on fastening screws, scratches, paint stripping and corrosion on aluminium sheets in hard-to-reach areas. To this end, the quadricopter has an excellent flight range for teachers and students to have optimal control of maneuverability and equipment stability during visual inspection flight operations in the empennage of the aircraft. This will shorten working time, reduce the risk of occupational accidents and damage to the infrastructure of the Hawker Siddely HS 125 - 400 aircraft.

### **KEYWORDS:**

- **DRONE**
- **QUADRICOPTER**
- **AIRCRAFT HAWKER SIDDELY**

**CHECKED BY:**

**MARÍA ELISA COQUE**  
**ENGLISH TEACHER UGT**

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1 ANTECEDENTES**

La Unidad de Gestión de Tecnologías – UGT, llamada anteriormente Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico ITSA, perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, inaugura en el año 2000 la Carrera de Mecánica Aeronáutica que hoy en día es avalada por la Dirección General de Aviación Civil (DGAC) como “Centro de Instrucción Aeronáutica Civil”.

La Unidad de Gestión de Tecnologías cuenta con diversas áreas tal como una biblioteca técnica, un laboratorio de materiales compuestos, laboratorio de ensayos no destructivos NDI, laboratorio de reparaciones estructurales, un avión escuela y aulas con instalaciones adecuadas, mismas que permiten la formación académica de los estudiantes de dicha carrera.

Para el desarrollo en los procesos de mantenimiento, inspección, remoción e instalación de los componentes de una aeronave se ha venido implementando diversos equipos y máquinas para realizar dichos trabajos relacionados a la aviación. De la misma manera para el progreso de una industria aeronáutica, se requiere maquinaria y equipos adecuados para realizar diferentes tipos de trabajos e inspecciones.

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Después de una investigación interna que se efectuó en la Unidad de Gestión de Tecnologías – UGT, se determinó que no existe vehículos aéreos no tripulados, suficientes para realizar inspecciones visuales de hundimientos y rajaduras en las aeronaves que están presentes en la universidad, para ello se ha visto la necesidad de contar con un cuadricóptero, para realizar las tareas de inspección visual de una forma segura y sencilla sin poner en riesgo el bienestar de la aeronave y de las personas.

Al no disponer de un cuadricóptero en los laboratorios de mecánica aeronáutica, los docentes y estudiantes asimilan e interpretan de manera errónea sus conocimientos teórico - prácticos por falta de equipos electrónicos para una correcta inspección visual en la piel de la aeronave. La difícil visualización en áreas de difícil acceso en el empenaje, tal como los hundimientos y rajaduras, son las causas principales que pone en riesgo la aeronavegabilidad de las aeronaves.

Con la adquisición de un cuadricóptero en los laboratorios de mecánica aeronáutica, la inspección visual de hundimientos y rajaduras en la piel del empenaje de la aeronave Hawker Siddely HS125/400, se realizará de manera fácil y segura. De tal manera facilitará la instrucción por parte de los docentes a los estudiantes, y así obtendrán un mejor desenvolvimiento al realizar las tareas de inspección visual y localización de daños en la piel de las aeronaves pertenecientes a la carrera de Mecánica Aeronáutica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga.

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

Con el presente proyecto se favorece a la carrera de Mecánica Aeronáutica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga, será de gran ayuda para toda la institución de manera que, podrán realizar sus trabajos de inspección visual en la piel de las aeronaves de una forma adecuada, organizada. Y la formación académica de futuros profesionales será de mayor calidad.

El desarrollo del presente proyecto beneficiará a docentes y estudiantes de la carrera de Mecánica Aeronáutica, a adquirir un mayor conocimiento en daños de la piel exterior de una aeronave y la vez a la manipulación de nuevos equipos que cumpla de mejor manera las tareas de inspección visual, garantizando la aeronavegabilidad y seguridad de todas las operaciones, tanto de estudiantes como docentes al realizar estos tipos de trabajos.

La implementación de un cuadricóptero en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, es factible, que permitirá la inspección visual de la piel exterior del empenaje de la aeronave para encontrar discrepancias existentes, y así los docentes y estudiantes puedan cumplir con los trabajos de una forma ordenada y precisa, con el objetivo de conservar la aeronave HAWKER SIDDELEY 125-400.

## **1.4 OBJETIVO GENERAL**

Inspeccionar visualmente los hundimientos y rajaduras en la piel del empenaje en la aeronave HAWKER SIDDELEY de acuerdo al SRM ATA 51 y 55 mediante la tarjeta DJI A3 en el cuadricóptero CFLM perteneciente a la UGT – ESPE.

### **1.4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Recopilar información técnica necesaria para realizar la inspección visual de hundimiento y rajaduras en el empenaje de la aeronave Hawker Siddely HS125/400.
- Implementar la tarjeta DJI A3 que permitirá realizar la inspección visual de hundimientos y rajaduras en el empenaje de la aeronave Hawker Siddely HS125/400.
- Determinar los límites permisibles de rajaduras y hundimientos mediante el procesamiento de imágenes obtenidas en la inspección visual en el empenaje de la aeronave Hawker Siddely HS125/400.

## **1.5 ALCANCE**

El presente proyecto, favorece a todas las personas de la carrera de Mecánica Aeronáutica, a ejecutar sus labores de forma ordenada y precisa. Los docentes compartirán sus conocimientos teórico y práctico en mantenimiento, chequeo, reparaciones e inspección visual en el avión escuela de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE campus Belisario Quevedo, de esta manera ayudará a los estudiantes a poner en claro sus inquietudes y a tener un mejor desenvolvimiento en su vida profesional. El propósito de este proyecto, es reducir recursos y tiempo al momento de realizar los trabajos prácticos en las aeronaves de la institución, certificando a los estudiantes como profesionales calificados en velar la aeronavegabilidad de las aeronaves.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Drones

##### 2.1.1 ¿Qué es un drone?

La palabra drone hace referencia a una aeronave no tripulada, que es controlada por medio de un control remoto a distancia. En otras palabras, es un robot aéreo no tripulado. En la actualidad se utiliza para múltiples funciones como en deportes, servicios militares, inspecciones, control de incendios forestales, geología, agricultura, construcción, control y análisis de tráfico en las grandes ciudades y capturas cinematográficas. La operación de estos aparatos electrónicos es sencilla que a su vez no ponen en peligro la integridad física de sus pilotos durante los vuelos. (EL DRONE, 2016)



**Figura 1.** Drone.

Fuente: (TECNOLOGIA & INFORMATICA, s.f.)

## 2.1.2 Primeros aviones no tripulados a los drones actuales

- **Pasado:** La génesis de un drone fue considerada como una aeronave que no transporta a un operador humano y que es capaz de volar con o sin control remoto humano. El objetivo fue realizar vuelos en aéreas de difícil acceso para obtener cierta información, para ello construyeron pequeños prototipos no tripulados a escala. Teleautomaton de Tesla fue su primera denominación y otros como fue torpedo aéreo de Sperry, los blancos aéreos o drones, modelos deportivos controlados por radio, y por medio de acrónimos como RPV<sup>1</sup>, UAV<sup>2</sup>, UAS<sup>3</sup> o RPAS<sup>4</sup>, hay un amplio número de denominaciones para un mismo concepto. (Dyna, 2016)



**Figura 2.** Kettering bug.

Fuente: (Dyna, 2016)

---

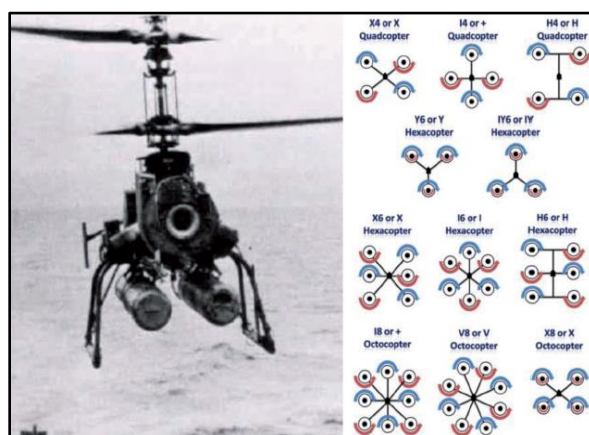
<sup>1</sup> RPV: Red privada virtual.

<sup>2</sup> UAV: Vehículo aéreo no tripulado.

<sup>3</sup> UAS: Sistema aéreo no tripulado.

<sup>4</sup> RPAS: Sistema aéreo tripulado de forma remota.

- **Actualidad:** Los UAV son usados para reforzar su seguridad operacional que requieren un gran despliegue, movilidad y facilidad de transporte. La clasificación se basa en el alcance, la altitud, la autonomía y el peso máximo al despegue de las plataformas, se clasifican en dos grupos diferentes: UAVs de ala fija y UAVs de ala rotatoria. Uno de los vehículos aéreos no tripulados más pequeños es el Black Hornet Nano y el ultimo es el girodino DASH, fue el primer UAV fabricado de ala rotatoria. (Dyna, 2016)



**Figura 3.** El girodino QH 50 DASH.  
Fuente: (Dyna, 2016)

### 2.1.3 Partes básicas de un drone

A continuación, se detalla las partes que está conformada un drone, y la función que desempeñan cada una de sus partes:

- **Hélices:** Permite el despegue de forma horizontal del drone.
- **Motores:** Permite la propulsión del despegue del equipo.

- **Frame:** Es la estructura o cuerpo del dron.
  - **Trenes de aterrizaje:** Es la estructura que se apoya el dron durante el aterrizaje o despegue.
  - **Cámara:** Permite capturar fotografías o grabar videos durante los vuelos.
  - **Controlador de vuelo:** Se encarga de recibir señales de información que permitirán al dron a cambiar la velocidad de los motores, girar o mover la cámara.
  - **Batería:** Proporciona la energía necesaria para el funcionamiento del dron.
  - **Módulo GPS<sup>5</sup>:** Permite la ubicación del dron durante los procesos de vuelo.
  - **Controlador de velocidad o ESC<sup>6</sup>:** Realiza los cambios en la velocidad y dirección de los motores.
  - **Control remoto:** Permite el control del equipo entre el usuario y el dron.
- (ProducTop10, 2017)



**Figura 4.** Las partes de un dron.

Fuente: (ProducTop10, 2017)

<sup>5</sup> GPS: Sistema de posicionamiento global.

<sup>6</sup> ESC: Electronic Speed Control.

## 2.1.4 Tipos de drones profesionales

### a. *Drones según su denominación*

- **UAV (Vehículo aéreo no tripulado) y UAS (Sistema aéreo no tripulado):** es cualquier aeronave o sistema en que el piloto no esté físicamente a bordo.
- **RPA (Aviones controlados de forma remota) y RPAS (Sistema aéreo tripulado de forma remota):** Expresa a la existencia de un piloto que opera la aeronave de forma remota. (Jorge, 2019)

### b. *Drones según sus motores*

- **Motores Brush/ed:** O motor con escobillas, son motores más económicos, el mantenimiento es mayor, varía el tamaño (y a mayor tamaño mayor potencia) y estos motores no están en contacto con la hélice directamente.
- **Motores Brushless:** Carecen de escobillas. el mantenimiento es mínimo y su funcionamiento es muy efectivo y eficiente. Además, la potencia de estos motores, es superior al motor brush/ed. (Jorge, 2019)

### c. *Drones según su número de brazos*

- **Tricópteros:** Tiene 3 motores, 3 variadores, 1 servomotor y 3 hélices. Consigue una estabilidad en el drone que nos permita volar de manera fluida.

- **Cuadricópteros:** Tienen 4 motores y 4 hélices iguales dos a dos en cruz, para de esta manera estabilizar el drone por completo.
- **Hexacóptero:** Tiene motores con y sin escobillas, llevan una cámara y un gimbal para realizar tomas aéreas. Si se pierde uno de los motores durante el vuelo, el drone aterrizará sin problemas y se estabilizará con los otros 5 motores.
- **Octocóptero:** Permite tener una estabilidad al momento de ejecutar los vuelos y su maniobrabilidad es perfecta en todas las funciones de vuelo.
- **Coaxiales:** Cada uno de sus brazos presenta dos motores, con sus correspondientes dos variadores y dos hélices. Tiene más potencia y más peso. Suelen utilizarse para levantar cámaras profesionales de fotografía y vídeo u otro tipo de trabajos más personalizados. (Jorge, 2019)



**Figura 5.** Tipos de drones profesionales.

Fuente: (Jorge, 2019)

**d. Drones según su uso**

- **Drones militares:** Los UCAV<sup>7</sup> o drones de combate, se utiliza para aplicaciones militares.
- **Drones civiles:** Los vehículos aéreos no tripulados, se utilizan para múltiples propósitos, para mejorar la calidad de vida de las personas.

**e. Drones según el método de control**

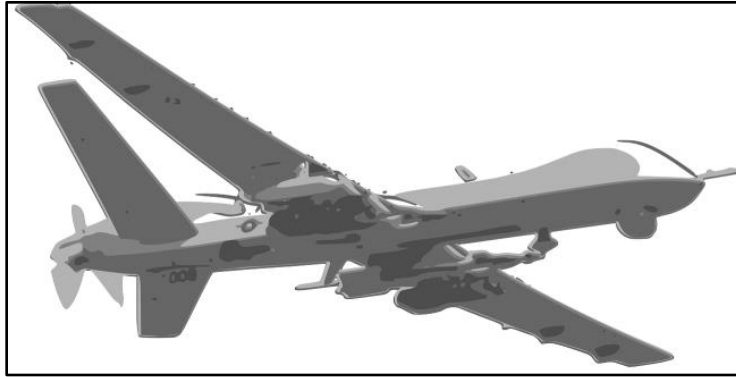
- **Modo manual:** El piloto controla toda la operación del dron por medio del control remoto como el movimiento, potencia de los motores, sensores y dispositivos electrónicos del equipo.
- **Modo automático:** Por medio del GPS se puede realizar un recorrido punto a punto previo al vuelo, lugar por donde debe pasar el UAV. El dron por medio del sistema autopiloto, ejecuta paso a paso el plan previsto, realizando la acción requerida por el piloto.

**f. Drones según sus alas**

- **Drones de ala fija:** son los que poseen un perfil alar que, permite que el dron pueda moverse a través del aire y sea capaz de generar fuerzas sustentadoras para mantenerse en el aire. (Jorge, 2019)

---

<sup>7</sup> UCAV: Vehículos no tripulados de combate aéreo.



**Figura 6.** Drones de ala fija  
Fuente: (Jorge, 2019)

- **Drones de ala rotatoria:** Estos tipos de drones tiene multi-rotores que generan la sustentación a través de las fuerzas provocadas por las hélices de sus rotores. Los multi-rotores son capaces de despegar y aterrizar de forma vertical y hacerlo en cualquier lugar al no necesitar de una superficie de terreno adecuada para ello. (Aerial insights, 2017)



**Figura 7.** Drones de ala rotatoria.  
Fuente: (Aerial insights, 2017)



## 2.1.5 Usos de drones profesionales

### a. *Uso militar de drones*

- **Drone PD – 100 Black hornet:** su uso se radica en detectar francotiradores ocultos en Afganistán. Tiene un radio de 1km, tiene 30 minutos de autonomía y es muy pequeño. Es uno de los drones más utilizados en el campo militar para operaciones de investigación. (Lucas, 2016)



**Figura 8.** Drone PD – 100 Black Hornet.  
Fuente: (Lucas, 2016)

### b. *Uso audiovisual de los drones*

Los drones pueden ser usados para capturar material audiovisual que normalmente no podría ser grabado de forma sencilla. Por ejemplo, para grabar una escena que ocurra dentro de un rasca cielos o la grabación de escenas de un deporte extremo, para eso se requeriría de helicópteros u otros medios que para grabar. Es importante contar con un drone especializado para realizar esta toma de fotos o videos. (Lucas, 2016)



**Figura 9.** Torrente 5 grabada en el aeropuerto Ciudad Real.  
Fuente: (Lucas, 2016)

**c. *Uso de los drones en seguridad***

Se utilizó el THERMOS.HV2 para la inspección de los cables de tensión en 3000 torres. Este drone cuenta con cámaras termográficas, termógrafos, navegadores y técnicos expertos en imágenes. Lo suficiente para no requerir un helicóptero. (Lucas, 2016)



**Figura 10.** Inspección mediante un drone.  
Fuente: (Lucas, 2016)

**d.            *Uso de los drones en la agricultura***

Los drones aéreos permiten observar, analizar zonas de cultivo mediante la toma de imágenes aéreas, reduciendo el tiempo y costos. Además, registra las imágenes de los campos, fincas y entornos rurales. Permite un mejor análisis del cultivo de mayor calidad. El agricultor tiene información constante del cultivo, como la falta de agua, nutrientes, plagas, etc. (Samaniego, 2017)



**Figura 11.** Fumigación en campos agrícolas.  
Fuente: (Samaniego, 2017)

**e.            *Uso de los drones en entretenimiento***

El “Zano” es un drone, tiene un software de seguimiento cooperativo, saca una foto de la persona que lo posea y de los que lo rodean automáticamente, sin necesidad de un controlador. El dispositivo que facilita el seguimiento cooperativo es el teléfono móvil y además se pueden modificar las características de la fotografía desde un teléfono móvil. (Vilella, 2014)



**Figura 12:** Drone utilizado en tomar selfies.  
Fuente: (Vilella, 2014)

**f. *Uso de los drones en aviación***

Un dron con cámara de alta definición recorre el fuselaje tomando fotos. Una vez termina el vuelo, las imágenes se utilizan para crear un modelo digital 3D con el objetivo de localizar ralladuras, abolladuras o cualquier otro defecto en la superficie. También sirve para crear una base de datos que ayude a mejorar la trazabilidad, la prevención y la reducción de los daños en los aviones. La empresa Airbus está haciendo las pruebas de inspección con un dron, “El uso de esta nueva tecnología ofrece mejores condiciones de trabajo, incluyendo mayor seguridad y comodidad para los inspectores de calidad “. (One Air, 2017)



**Figura 13.** Inspección visual mediante drones.  
Fuente: (One Air, 2017)

### 2.1.6 Características de los cuadricópteros.

#### **a. Velocidad**

La velocidad puede variar entre los (*velocidad* 20 m/s, 4000 x 3000p, 5350 mAh).

#### **b. Altitud**

Los cuadricópteros cuentan con Wifi FPV<sup>8</sup>, control Remoto e incorporando el sistema de GPS que permite que el cuadricóptero obtenga una mayor altitud y localización a comparación de los demás drones que existen en la actualidad.

---

<sup>8</sup> FPV: Vista en Primera Persona

**c. Nivel de autonomía**

Depende de la batería que se va a utilizar y del número de celdas para que varíe el tiempo de vuelo. Cuanto más pesado sean los motores o a su vez las mismas baterías, su autonomía de vuelo será mucho mejor. Fácil de maniobrar, ejecutar movimientos, mayor estabilidad y sustentación en el aire.

**d. Dimensiones y peso**

Las dimensiones podrían variar dependiendo del número de rotores o implementos que se pueden incorporar en un cuadricóptero. El cuadricóptero suele llegar a pesar los 320 gramos, la gama de drones utilizados por las empresas es para realizar varios tipos de trabajos con el número de rotores que se pueden incorporar dependerá del trabajo a la se va a utilizar el drone.

### **2.1.7 Diferencias entre Fuentes de Energía**

**a. Ni-Cd (baterías de níquel-cadmio).**

Son las baterías más antiguas. Están compuestas de varias células de 1.2 voltios cada una. Tienen el inconveniente de no tolerar bien las cargas rápidas y sufrir el efecto memoria. (DRONE, 2017)

**b. *Ni-MH (baterías de níquel-metal-hidruro).***

Mayor capacidad de carga, menor efecto memoria y aceptan cargas rápidas. Soportan un menor número de cargas durante su vida útil que las de Ni-Cd y tienen una resistencia interna superior, lo que las limita para alimentar motores de alta potencia. (DRONE, 2017)

**c. *Ion-Litio (baterías de iones de litio).***

El voltaje de cada una de sus celdas es de 3,7 voltios. El litio es el metal más ligero que existe. No poseen efecto memoria. No se debe perforar estas baterías que produciría una reacción capaz de provocar fuego o una explosión al exponerse los componentes internos con el oxígeno del aire. (DRONE, 2017)

**d. *Li-Po (baterías de polímero de litio).***

Son de peso ligero, necesitan una carga mucho más lenta, emplean cargadores digitales especiales. El voltaje de cada celda es de 3,7 voltios. No tienen efecto memoria y se inflaman o explotan si entran sus componentes internos en contacto con componentes químicos. (DRONE, 2017)



**Figura 14.** Tipos de baterías.  
Fuente: (DRONE, 2017)

### 2.1.8 Modelos de drones ampliamente utilizados

#### a. *Phantom 3*

Incluye cámara estabilizada, capaz de tomar fotografías y videos de 12 megapíxeles. La velocidad de vuelo máxima puede alcanzar los 60 km/h y como autonomía contamos con 25 minutos. La distancia máxima a la que podemos dejar ir es de 1000 metros, con un botón el drone puede retornar a nuestra posición de forma automática. También cuenta con GPS para recoger información precisa de su vuelo y zonas. (Xataka, 2015)



**Figura 15.** Phantom 3.  
Fuente: (Xataka, 2015)



**b. Parrot Bebop Skycontroller**

Este modelo cuenta con cámara de 14 megapíxeles que graba vídeo con calidad 1080p. No se puede acoplarle otro tipo de cámaras. Este dron tiene un alcance de 250 metros y velocidad máxima de 46 km/h. Incluye GPS y dos baterías para un tiempo total de vuelo de 22 minutos. (Xataka, 2015)



**Figura 16.** Parrot Bebop Skycontroller.  
Fuente: (Xataka, 2015)

**c. Yuneec Q500 4K**

La cámara graba los vídeos en 4K o en modo 1080p. Las fotos son de 12 megapíxeles. La cámara posee un gimbal de 3 ejes que podemos controlar desde el control remoto. Este modelo cuenta con un accesorio para usar la estabilización de la cámara del dron con nuestro propio smartphone y en mano. La autonomía de vuelo del dron ronda los 25 minutos. (Xataka, 2015)



**Figura 17.** Yuneec Q500 4K.  
Fuente: (Xataka, 2015)

**d. Blade Chroma Camera Drone**

Cuenta con un sistema de estabilización del cámara integrado. Este dron incluye una cámara vídeo de 4K. El mando a control, incluye pantalla de 5,5 pulgadas y sistema operativo basado en Android. Su autonomía de vuelo es de 30 minutos con una sola carga de su batería. Su alcance ronda los 600 metros e incluye GPS para disponer de datos del vuelo o establecer una ruta previa al vuelo y que el dron lo ejecute en modo desatendido. (Xataka, 2015)

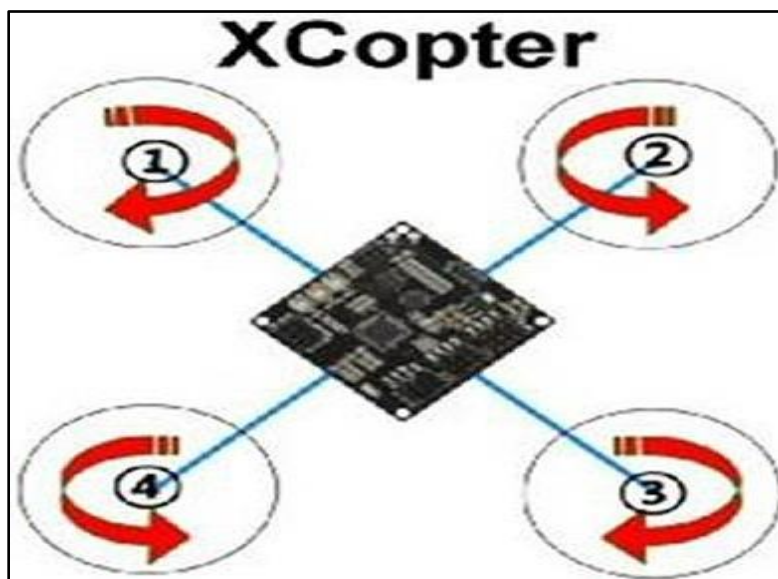


**Figura 18.** Blade Chroma Camera Drone.  
Fuente: (Xataka, 2015)

### 2.1.9 Física de un cuadricóptero

El cuadricóptero se colocan los rotores con las hélices que giran en sentido opuesto alternadamente y colocados de forma diametral, dependiendo de las velocidades de los motores es lo que se puede controlar el movimiento de la aeronave.

- **Arrastre:** Es una fuerza mecánica que se opone al movimiento de cualquier objeto a través de un fluido, a esto se llama “resistencia aerodinámica”.
- **Empuje:** Es la fuerza generada por las hélices del multi-rotor, para trabajar contra las fuerzas de resistencia.
- **Ascenso:** El ascenso es la fuerza que actúa contra el peso del drone, sustentando en el aire. (InfoRepuesto, 2017)



**Figura 19.** Física de un cuadricóptero.

Fuente: (InfoRepuesto, 2017)

### 2.1.10 Normativa de operación de drones en el Ecuador

Para poder volar un vehículo aéreo no tripulado dentro del estado de la república del Ecuador se efectuó una resolución escrita en la fecha 17 de septiembre de 2015. Resolución 251-2015 en el cual detalla, todos los artículos que se deben tomar en consideración para la operación de un drone. Dichos artículos tienen como objetivo en velar la seguridad aérea de los aedronomos y aeropuertos de todo el país. Para mayor información ver anexo 5.



**Figura 20.** Regulación de drones en Ecuador.  
Fuente: (Nicolas, 2018)

### 2.2 Tarjeta DJI A3

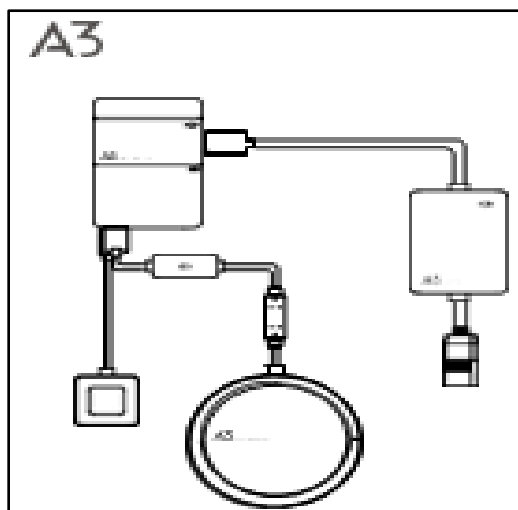
La serie A3 es compatible con los SDK<sup>9</sup> de DJI<sup>10</sup> Onboard y Mobile, lo que permite a los desarrolladores optimizar el sistema para aplicaciones específicas. Cuando se utiliza con el DJI Lightbridge 2, tiene acceso directo a las funciones de la aplicación DJI GO,

---

<sup>9</sup> SDK: Kit de desarrollo de software.

<sup>10</sup> DJI: Dajiang Innovation Technology.

como los modos de vuelo inteligente. La serie A3 es compatible con el tren de aterrizaje inteligente DJI y el GPS de mayor precisión. Con todos los componentes integrados en el controlador de vuelo A3, el dispositivo es potente y muy compacto. (DJI, 2017).



**Figura 21.** Tarjeta DJI A3.  
Fuente: (DJI, 2017).

## 2.2.1 Componentes del sistema

### a. *Controlador principal A3*

Es el módulo central del sistema de control A3, utiliza el barómetro, GPS y la brújula para realizar un control de altitud preciso y un posicionamiento de alta precisión para el cuadricóptero. El software DJI Assistant 2 le permite configurar parámetros para la instalación, control de vuelo y otros dispositivos a los que se accede. (DJI, 2017)



**Figura 22.** Controlador principal A3.  
Fuente: (DJI, 2017).

**b. Módulo GPS**

La precisión de posicionamiento es posible gracias a la tecnología diferencial dinámica. Esta precisión extrema permite la creación de rutas de vuelo repetibles que proporcionan datos visuales confiables y valiosos esenciales para escenarios topográficos e industriales. (ACRE, s.f.)



**Figura 23.** Módulo GPS.  
Fuente: (DJI, 2017).

**c. Módulo PMU**

El módulo PMU<sup>11</sup> está diseñada para distribuir el alto consumo de energía. Suministra energía para todo el sistema, para la detección de tensión y alarma. Contiene dos salidas de corriente para todo el sistema A3 y receptor por separado, un monitor de voltaje de la batería. Con el fin de evitar que su multi-rotor se quede sin energía u otras consecuencias perjudiciales causado por baja tensión de batería. (ElectronicaRC.com, 2012)



**Figura 24.** Módulo PMU.

Fuente: (DJI, 2017).

**d. Módulo LED**

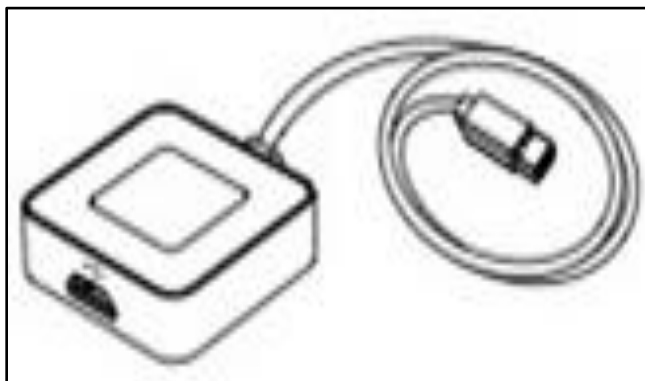
Controla el estado del cuadricóptero. Equipado con un indicador LED<sup>12</sup> que por medio de propagación de luces intermitentes se puede ver en qué estado se encuentra todo el

---

<sup>11</sup> PMU: Unidad de administración de energía.

<sup>12</sup> LED: Diodo emisor de luz.

sistema, tal como de navegación y comunicación, el ajuste de parámetros es más sencillo.



**Figura 25.** Módulo LED.  
Fuente: (DJI, 2017).

## 2.2.2 Límites de vuelo y áreas de restricción de vuelo

Se pueden establecer límites de vuelo en altura y distancia. Todos los operadores de vehículos aéreos no tripulados (UAV) deben cumplir con todas las regulaciones de dicha ley. Organizaciones como la OACI<sup>13</sup>, la FAA<sup>14</sup> y sus propios reglamentos nacionales de espacio aéreo. Por razones de seguridad, la función de límites de vuelo está habilitada de forma predeterminada para ayudar a los usuarios a utilizar este producto de forma segura y legal. (DJI, 2017)

---

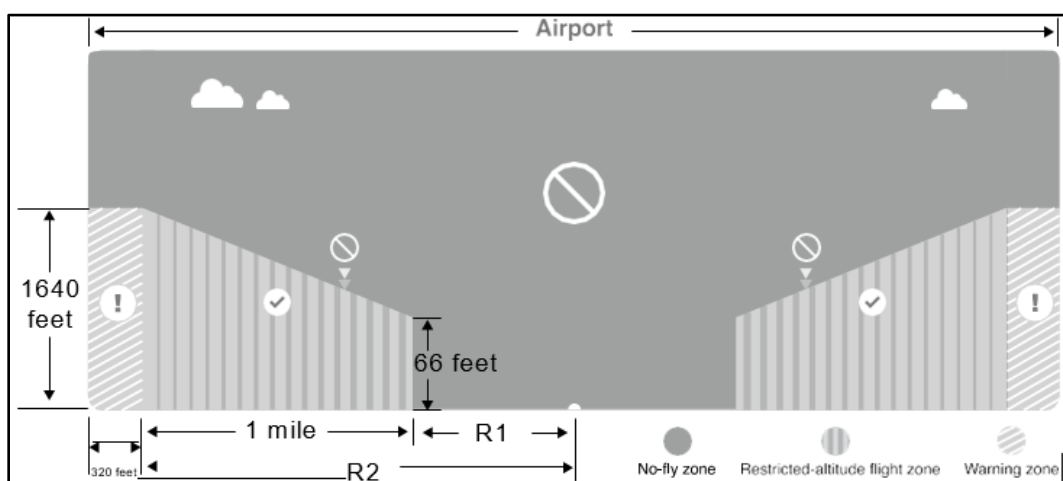
<sup>13</sup> OACI: Organización de Aviación Civil Internacional.

<sup>14</sup> FAA: Administración Federal de Aviación.



**a. Aeropuerto**

- La zona de no vuelo del aeropuerto está compuesta por zonas restringidas de despegue y zonas de altitud restringidas.
- Cuando la aeronave entra a menos de 320 pies (100 metros) de distancia de las zonas de exclusión aérea, aparecerá un mensaje de advertencia en la aplicación DJI GO. (DJI, 2017)

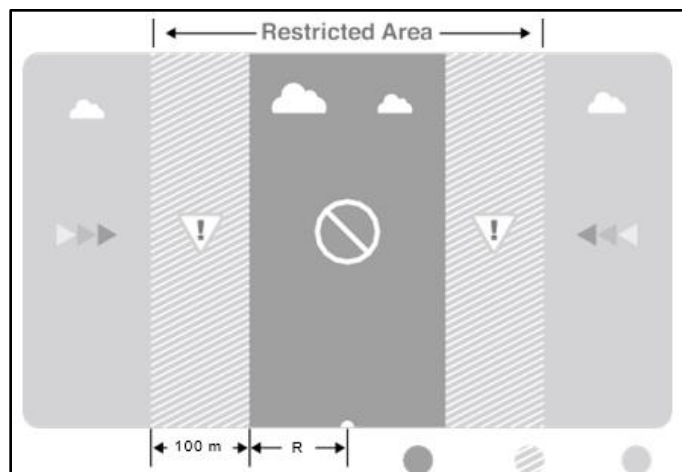


**Figura 26.** Zonas de exclusión aérea.

Fuente: (DJI, 2017).

**b. Área Restringida**

- Las Áreas Restringidas no tienen restricciones de altitud de vuelo. Se ha establecido una "zona de advertencia" alrededor del Área Restringida. Cuando la aeronave se aproxima dentro de las 0,062 millas de esta zona, aparecerá un mensaje de advertencia en la aplicación DJI GO. (DJI, 2017)



**Figura 27.** Área Restringida.

Fuente: (DJI, 2017).

### 2.3 Aeronave Hawker Siddeley HS125/400

DH.125 Jet Dragon, es producido en serie por Hawker Siddeley tras el vuelo del prototipo el 13 de agosto de 1962. El primer ejemplar de serie realiza su vuelo inaugural el 12 de febrero de 1963 y es entregado al cliente de lanzamiento el 10 de septiembre de 1964. Propulsado por dos turbos fans ubicados en la parte posterior, dotado de un fuselaje cilíndrico totalmente presurizado, alas bajas en flecha y cola en T, capaz de transportar 7 pasajeros con 2 pilotos.

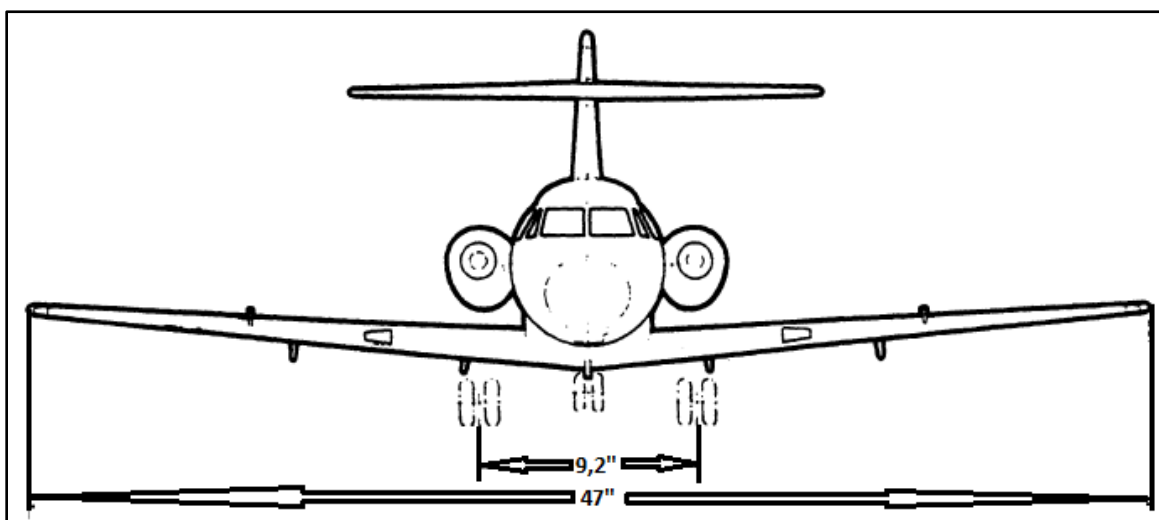
Hasta la fecha se han producido más de 1600 unidades, las cuales fueron fabricadas en principio por Hawker Siddeley, luego a partir de 1977 por British Aerospace, desde 1993 por Raytheon y desde 2007 por Hawker Beechcraft. Esta aeronave hasta la actualidad, ha volado por los cielos del todo el mundo. Cuando considerada una de las aeronaves más rápidas y seguras hasta la actualidad. (Alejandro, 2013)



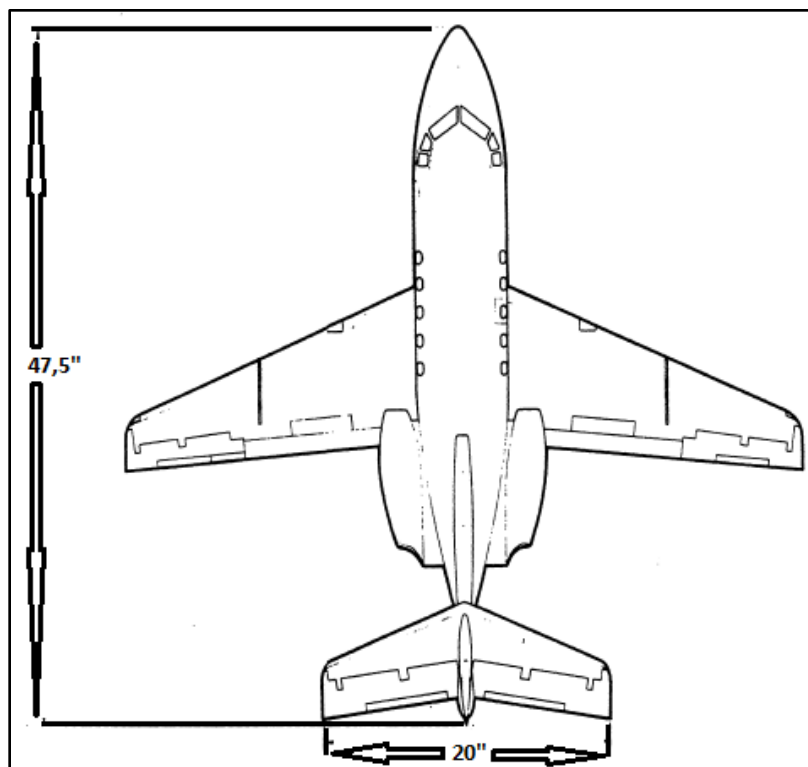
**Figura 28.** Aeronave Hawker Siddeley.  
Fuente: (Alejandro, 2013)

### 2.3.1 Dimensiones y áreas

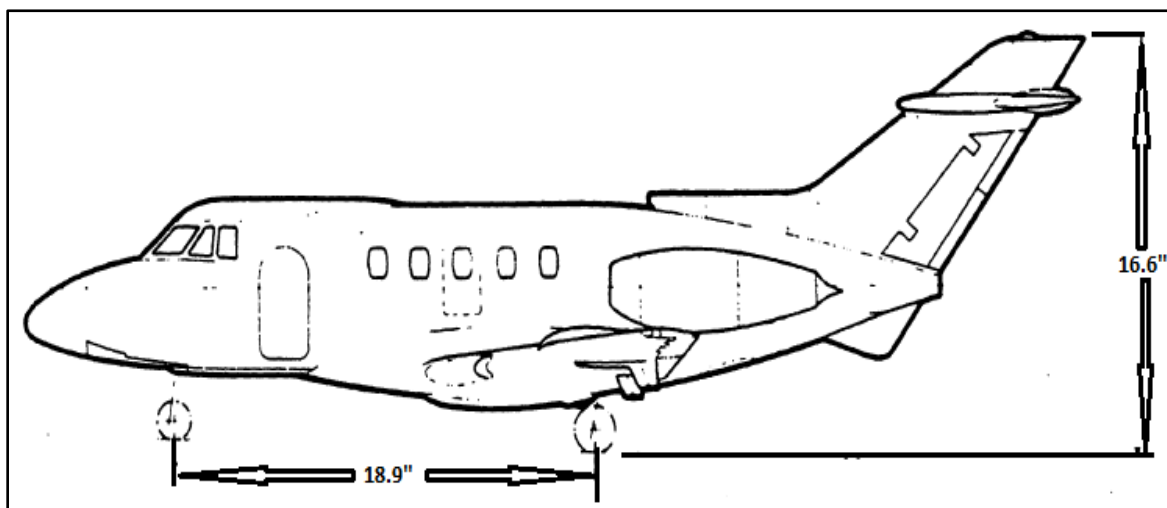
#### a. Dimensiones de la aeronave



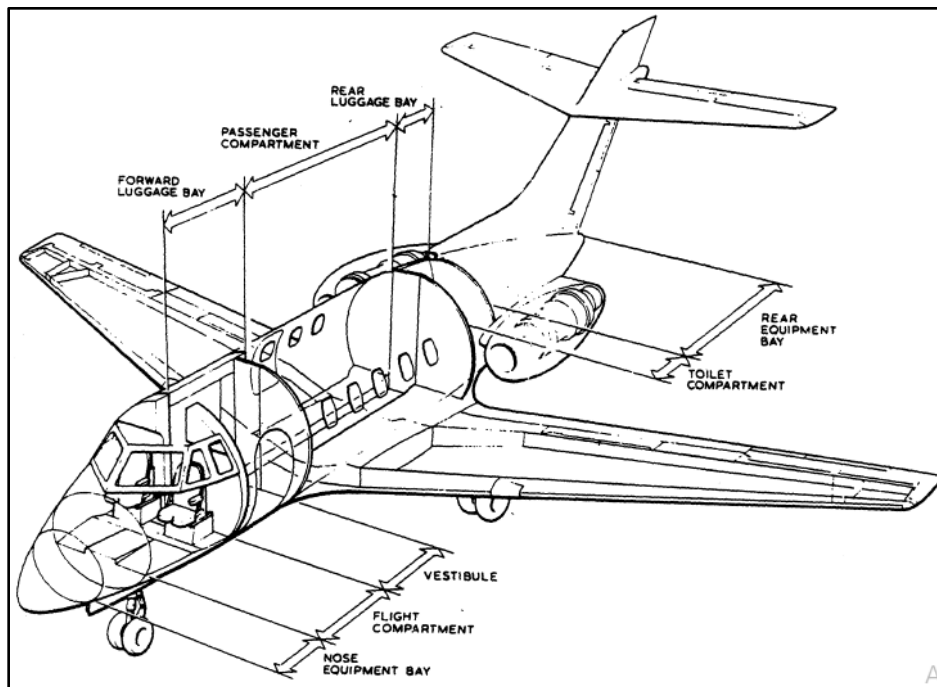
**Figura 29.** Longitud de las entre alas y trenes principales.  
Fuente: Manual de mantenimiento, ATA 6, Áreas y dimensiones.



**Figura 30.** Longitud del fuselaje y empenaje.  
Fuente: Manual de mantenimiento, ATA 6 Áreas y dimensiones.



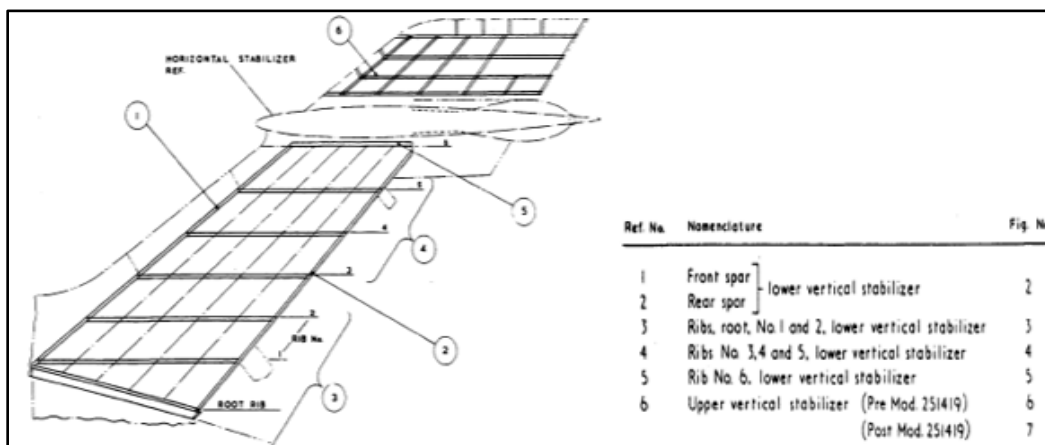
**Figura 31.** Longitud de trenes de aterrizaje y tail cone.  
Fuente: Manual de mantenimiento, ATA 6 Áreas y dimensiones.



**Figura 32.** Compartimientos del fuselaje.  
 Fuente: Manual de mantenimiento, ATA 6 Áreas y dimensiones.

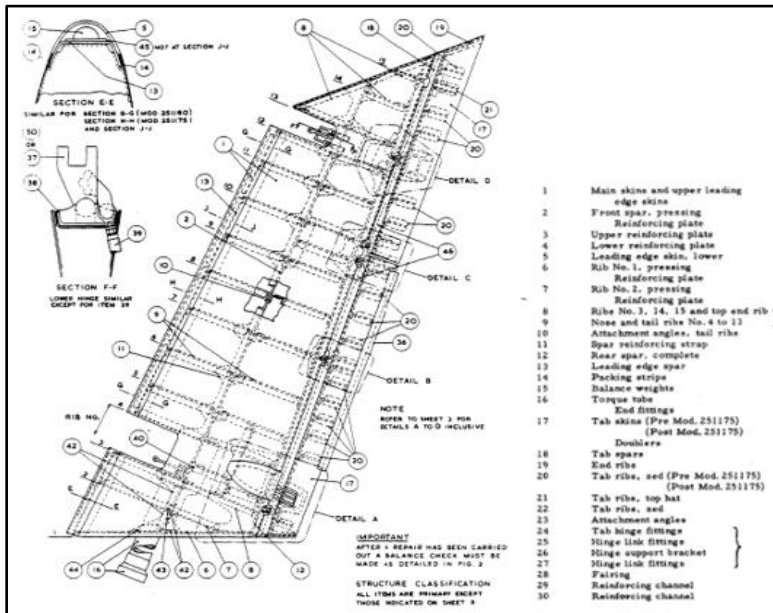
### 2.3.2 Componentes de empenaje de la aeronave Hawker Siddely

#### a. Estabilizador vertical



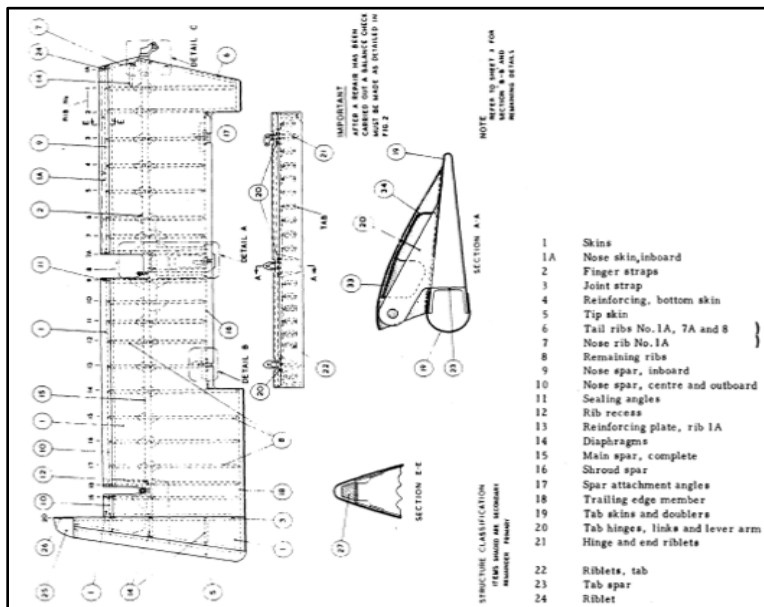
**Figura 33.** Estabilizador vertical del avión Hawker Siddely.  
 Fuente: Manual de Reparaciones Estructurales.

**b. Rudder**



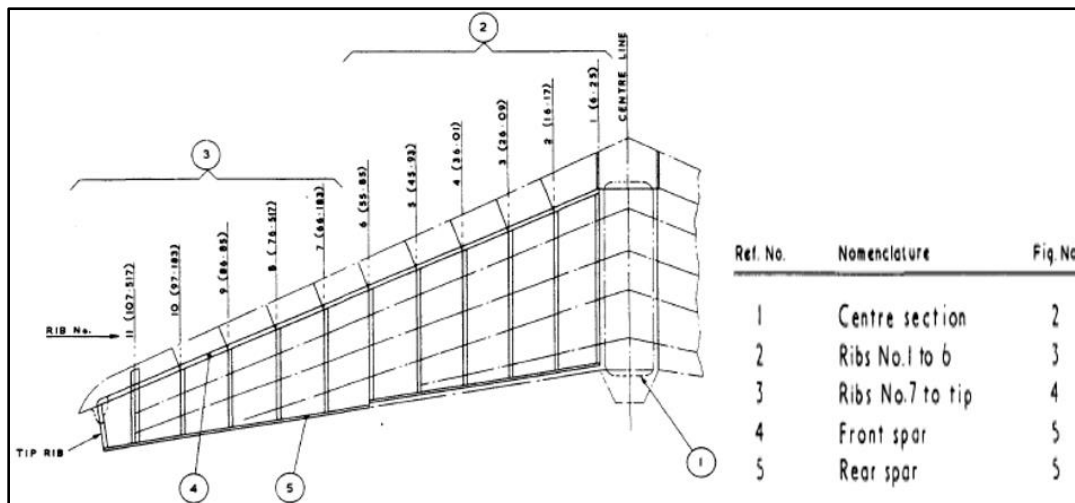
**Figura 34.** Rudder del avión Hawker Siddely.  
Fuente: Manual de Reparaciones Estructurales.

**c. Elevadores**



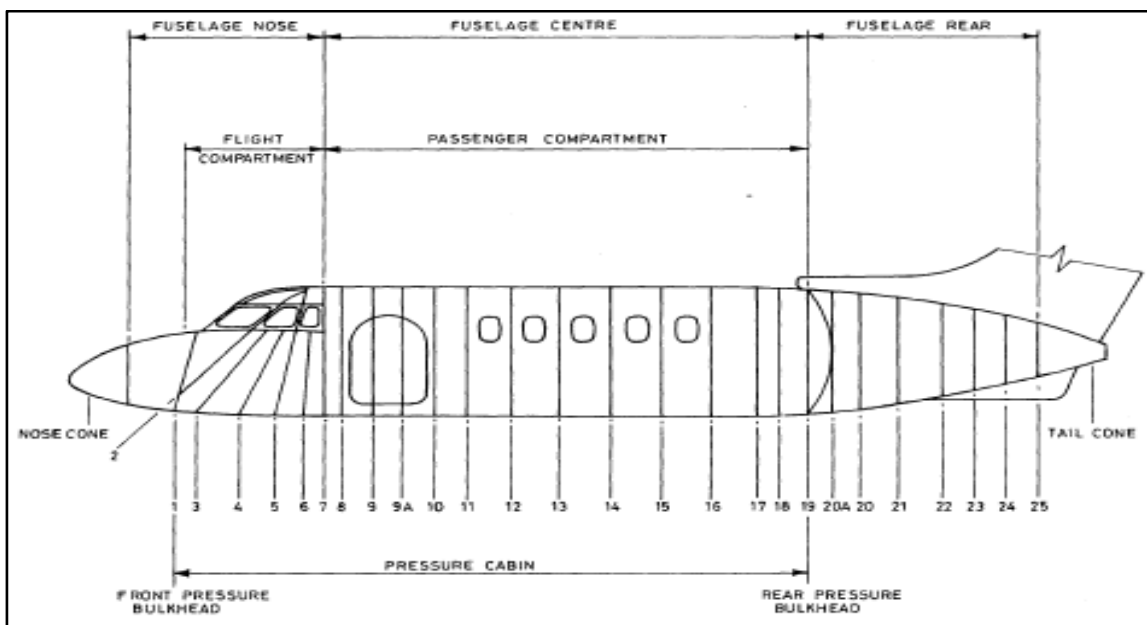
**Figura 35.** Elevadores del avión Hawker Siddely.  
Fuente: Manual de Reparaciones Estructurales.

d. **Estabilizador horizontal**



**Figura 36.** Estabilizador horizontal del avión Hawker Siddeley.  
Fuente: Manual de Reparaciones Estructurales.

e. **Secciones, zonas y estaciones**



**Figura 37.** Estaciones, zonas y secciones del avión Hawker Siddeley.  
Fuente: Manual de mantenimiento, ATA 6 Áreas y dimensiones.

## **2.4 Programas de mantenimiento**

Es garantizar la seguridad de las aeronaves, y que se encuentre en condiciones de aeronavegabilidad. La condición de aeronavegabilidad se realiza en el período de vida de la aeronave, que suele ser de 60.000 Hs. de vuelo o 20 años desde la fabricación, y depende del tipo de aeronave. Para garantizar la aeronavegabilidad la Autoridad Aeronáutica emite para cada aeronave su Certificado de Aeronavegabilidad, el cual debe ser revalidado periódicamente.

### **2.4.1 Tipos de inspecciones**

#### **a. *Inspecciones programadas***

Son en función de la utilización de la aeronave, debiendo cumplimentarse de acuerdo al Programa de Mantenimiento. Las inspecciones programadas constituyen el programa de mantenimiento de una aeronave, e incluyen tanto inspecciones rutinarias (a tiempo fijo) como no rutinarias (ante eventos especiales).

#### **a.1 *Inspecciones de rutina (a tiempo fijo)***

- 1. Servicio de Línea:** Se efectúan en los hangares de operación antes del vuelo, durante el tránsito por una escala, o antes del vuelo de retorno a la base cabecera.



Luego de efectuar estas inspecciones, si no hay novedades de importancia, el avión queda en servicio. Comprende las Inspecciones Pre-vuelo, en Tránsito y Diaria.

**Inspección Pre-vuelo:** Debe efectuarse antes del vuelo y suele ser una caminata de inspección alrededor de la aeronave que requiere la verificación interior y exterior de partes por daños obvios, pérdidas, operación correcta de equipos, seguridad de sujeciones, etc.

**Inspección Post-vuelo o en Tránsito:** Se lo realiza previa al vuelo siguiente, lo realiza el personal de mantenimiento mientras el avión está en tránsito. Se asegurará la continuidad en servicio del avión en tránsito. Incluye ítems de rutina: trabajos de mantenimiento y servicios menores, más la solución de aquellas fallas o novedades que hayan surgido durante el vuelo, y que, de no ser solucionadas, afectarían al siguiente vuelo.

Para efectuar fallas existentes no hay tiempo suficiente para corregirlo y para ello se dirige a la MMEL donde establecen aquellas unidades y componentes que pueden estar inoperativos bajo las condiciones allí establecidas. A partir de esta lista el operador puede generar su MEL de acuerdo a la configuración y equipos que posean sus aviones. La MEL no dice cuándo debe ser solucionada una falla, pero sí establece un plazo máximo para su solución.

**Inspección Diaria:** La inspección diaria se complementa con la inspección pre-vuelo que realiza la tripulación del avión antes de iniciar un vuelo, cuando culmina los vuelos del día y antes de realizar los del día siguiente se debe cumplir una inspección con mayores requerimientos técnicos que las anteriores. Es una inspección visual para detectar novedades evidentes, daños obvios, pérdidas de fluidos, verificación de seguridad en general y presiones de sistemas. Se deben abrir algunas tapas de inspección y carenados de los motores para la realización de esta inspección.

## 2. Inspecciones Menores

**Chequeo A:** Se trata de conocer la condición de la aeronave. Es una inspección visual que incluye tareas como la remoción de los filtros de combustible y aceite de los motores. Se realiza con la acumulación de un número especificado de horas de vuelo o por intervalos de tiempo calendario.

**Chequeo B:** verificaciones intermedias que requieren examen de la aeronave a fin de determinar su condición general para asegurar que mantiene su correcta aptitud operativa. Esta inspección visual se realiza sumándose al Chequeo A e incluye requerimientos como la inspección del filtro principal de combustible, inspecciones detalladas de ruedas y frenos; servicio de filtros, tareas de lubricación menor, etc., que requieren apertura de puertas y paneles.

### 3. Inspección Mayor

**Chequeo C:** Inspección de mayor profundidad que incluye las inspecciones A y B e incluyen pruebas funcionales y operacionales. El chequeo operacional implica la operación del sistema para determinar su correcto funcionamiento. El chequeo funcional es un examen detallado de un sistema, es operado durante su operación que todos los parámetros funcionales estén dentro de los valores especificados: límites y tiempos de funcionamiento, temperaturas, presiones, r.p.m., etc., según lo prescrito por el fabricante.

**Chequeo D:** Corresponde con el período máximo de utilización de la aeronave autorizado para dar cumplimiento al Ciclo Completo de Inspecciones. Esta inspección requiere el desarmado de componentes y/o ensayos en banco o calibración. Se requieren talleres para efectuar reparaciones y modificaciones si hicieran falta; remoción de piezas y equipamiento interno para detectar corrosión, pruebas operacionales y funcionales, todo esto con el objetivo de lograr la denominada condición de recorrida “cero horas” y dar por finalizado el ciclo de inspección. Esta inspección deja a la aeronave fuera de servicio por largo tiempo (más de un mes).

#### ***b.1 Inspecciones de no rutina (ante eventos especiales)***

- 1. Inspecciones eventuales:** Se realizan como consecuencia de hechos o eventos detectados por la tripulación, que son asentados en el RTV, como ser: aterrizaje

brusco, vuelo en turbulencia severa, avión alcanzado por rayo, vuelo en área de cenizas volcánicas, etc. En estos casos, antes del próximo vuelo se deben realizar ciertas verificaciones, publicadas como procedimientos técnicos por ingeniería de mantenimiento y complementando con pruebas funcionales y operacionales.

**b.            *Inspecciones por fallas***

Todas las novedades que fueron detectadas durante las inspecciones anteriores, o reportadas por la tripulación, que como no han sido previstas de antemano deben ser resueltas lo antes posible.

## CAPÍTULO III

### DESARROLLO DEL TEMA

#### 3.1 Consideraciones generales

##### 3.1.1 Situación actual de la aeronave

En la actualidad la aeronave Hawker Siddely HS125/400 se encuentra en condiciones no aeronavegables, debido que presenta ciertas discrepancias en sus sistemas y estructura. Con el transcurso de los días, sin el mantenimiento adecuado se ha visto una serie de daños presente en la piel del empenaje de la aeronave como rajaduras, hundimientos y otras discrepancias adicionales. Para conservar esta aeronave dentro de la institución, se requieren realizar ciertas inspecciones visuales para observar en qué condiciones se encuentra, de modo que al realizar estas tareas de inspección visual se conocerá el estado de la aeronave.



**Figura 38.** Aeronave Hawker Siddely HS125/400

### **3.1.2 Descripción general**

Para realizar inspecciones visuales en el empenaje de la aeronave Hawker Siddely se ha incorporado una cámara Hero GoPro en la estructura Tarot IRON MAN 650 TL65B01 en el cuadricóptero, además se incluye sistemas DJI A3 y sistemas lightbridge 2 para la transmisión de video en tiempo real, las imágenes son obtenidas mediante la inspección visual con el cuadricóptero y se analizarán con los datos técnicos de los manuales de la aeronave Hawker Siddely.

Las discrepancias obtenidas mediante la inspección visual, se compararán con los datos técnicos que se encuentran en los manuales de la aeronave. De esta manera el técnico de mantenimiento tendrá a su disposición los datos necesarios para dar solución a los daños encontrados en el empenaje de la aeronave Hawker Siddely HS125/400.

## **3.2 Implementación del sistema de control DJI A3**

### **3.2.1 Estudio de alternativas**

Para la implementación del sistema de navegación, a utilizar en el proceso de inspección visual de hundimientos y rajaduras en el empenaje la aeronave Hawker siddely, se analizaron diferentes alternativas:

**a. Primera alternativa: MAVLINK**

**- Descripción**

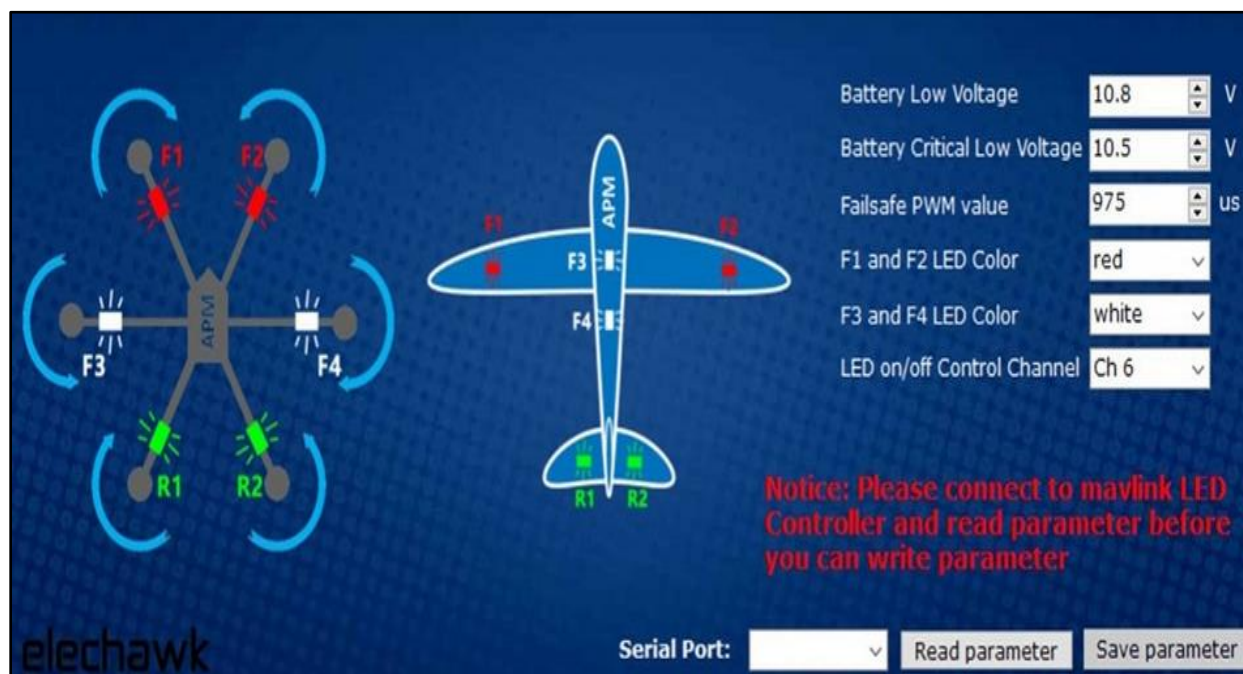
Es un sistema que cuenta con un software que le permiten interactuar con el exterior, recibir datos, interpretarlos y ejecutar las acciones necesarias. El drone puede comunicarse con la base a través del subsistema de comunicaciones y remitir datos sobre el vuelo o información recogida por los sensores y cámaras.

**- Funcionalidad**

Este sistema permite obtener flujo de datos de vuelo del controlador, verificar el estado del dispositivo, conectar con el controlador de vuelo, adquirir flujo de señal y comunicaciones, verificar estado de seguridad del vuelo autónomo, enviar comandos de vuelo al controlador y registrar el vuelo.

**- Factibilidad**

Con este tipo de sistema se puede obtener una buena calidad de vuelo, donde el piloto puede estar tranquilo, el cual el sistema envía el estado en que se encuentra todo el drone en sí, con los diferentes subsistemas incorporados hace fácil la maniobrarían del drone durante el vuelo.



**Figura 39.** MAVLINK.  
Fuente: (XDRONES, 2019)

**b. Segunda alternativa: PX4**

**- Descripción**

Este sistema permite al piloto, a maniobrar de manera segura de acuerdo a la programación que se lo realiza en el software para la prueba de vuelo a realizarse. Un sistema de piloto automático "mínimo" con PX4 consiste en un controlador de vuelo conectado a un sistema de energía, GPS, brújula externa, sistema de radio control y/o sistema de radio telemetría.

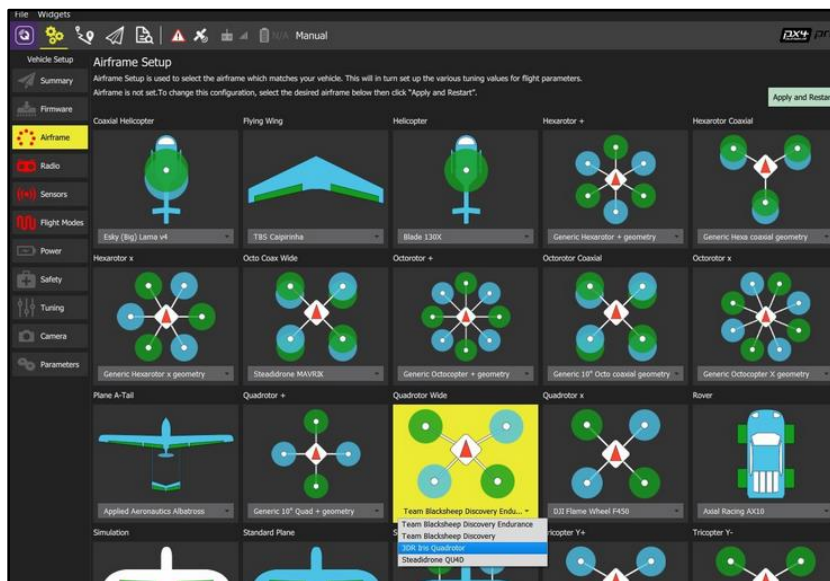


## - **Funcionalidad**

Este sistema permite obtener la orientación de vuelo por medio de los sensores que se incluyen en el dispositivo, verifica la posición del dispositivo por medio de los modos de vuelo, interpreta errores antes del vuelo o pre-vuelo, adquiere flujo de señal y comunicaciones, cumple misiones de acuerdo a los vuelos autónomos y verificar estado de seguridad del vuelo autónomo.

## - **Factibilidad**

Con este sistema operativo el drone o sus modificaciones podrán efectuar vuelos de manera sencilla con sus subsistemas incorporados para efectuar operaciones seguras y precisas, sin alterar o dañar espacios físicos a sus alrededores.



**Figura 40.** PX4.

Fuente: (PX4 Autopilot, 2019)

**c. Tercera alternativa: DJI A3**

**- Descripción**

Los nuevos algoritmos de determinación de actitud y fusión multisensor mejoran la precisión de control del A3. El robusto algoritmo de control permite adaptar el A3 a una amplia gama de aeronaves sin necesidad de ajuste manual. Con un sistema de control tolerante a fallos, un cuadricóptero, hexacoptero u octocoptero puede aterrizar de forma segura incluso en caso de fallo del sistema de propulsión.

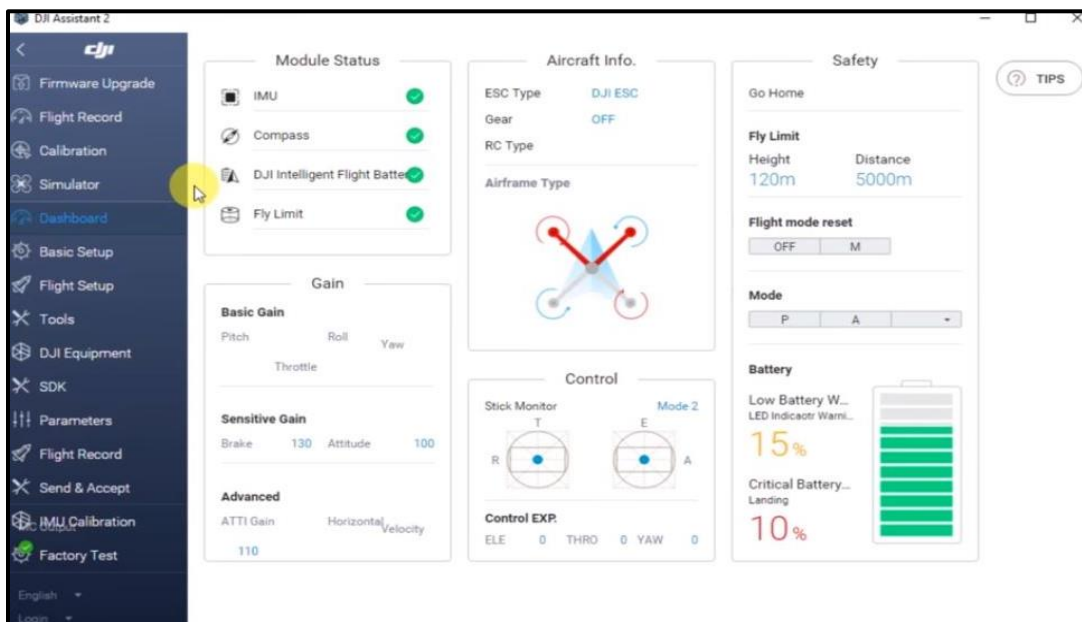
**- Funcionalidad**

Es totalmente compatible con los SDK de DJI Onboard y Mobile, lo que permite a los desarrolladores optimizar el sistema para aplicaciones específicas. Cuando se utiliza con el DJI Lightbridge 2, tiene acceso directo a las funciones de la aplicación DJI GO, como los modos de vuelo inteligente. La serie A3 es compatible con el tren de aterrizaje inteligente DJI, la tarjeta Zenmuse Z15, y el GPS de mayor precisión, facilidad de ensamblaje, costo económico moderado.

**- Factibilidad**

Es factible en un dispositivo, por lo que el controlador principal DJI A3 permite realizar múltiples funciones a la misma vez, verifica el estado para realizar los vuelos mediante el

controlador principal, fácil de maniobrar desde cualquier altura, fácil aterrizaje y la duración de su batería resulta muy útil para vuelos donde se requiere una filmación larga.



**Figura 41.** DJI A3.  
Fuente: (DJI FORUM, 2017)

### 3.2.2 Matriz de decisión

#### a. **Criterios de evaluación**

En la tabla 2, se observa la ponderación de cada uno de las tres alternativas mencionadas anteriormente, para ello se determinó que la escala de evaluación será de 1 a 10, donde 1 a 2 = malo, 3 a 4 = deficiente, 5 a 6 = regular, 7 a 8 = bueno y 9 a 10 = excelente. El número de mayor rango en el sumatorio total, será la mejor alternativa seleccionada para realizar el proyecto de inspección visual de hundimientos y rajaduras.

**Tabla 1**  
*Criterios de evaluación*

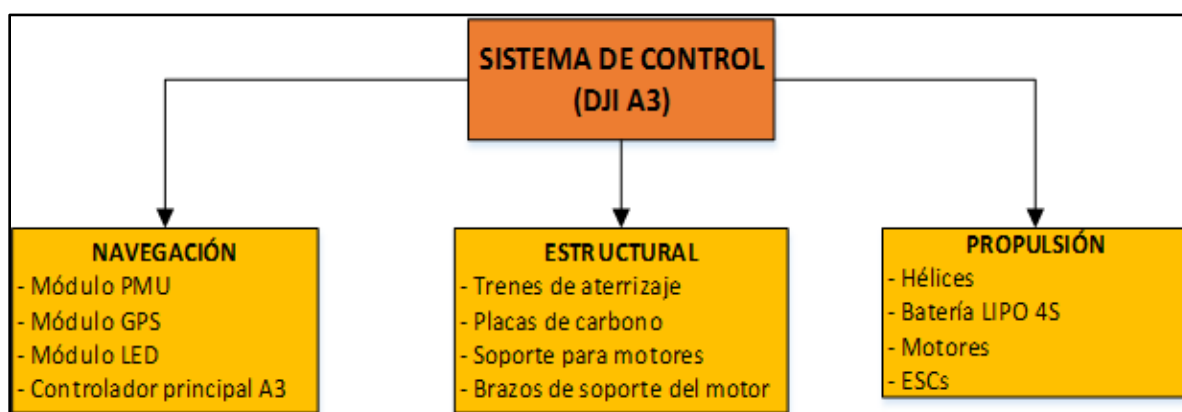
Parámetros	TIPOS DE SISTEMAS			Ponderación	RESULTADOS		
	MAVLINK	PX4	DJI A3		MAVLINK	PX4	DJI A3
<b>Precisión</b>	8	5	8	0.1	0.8	0.5	0.8
<b>Peso</b>	8	5	7	0.1	0.8	0.5	0.7
<b>Autonomía</b>	7	6	8	0.2	1.4	1.2	1.6
<b>Seguridad</b>	8	6	10	0.2	1.6	1.2	2
<b>Maniobrabilidad</b>	8	7	10	0.3	2.4	2.1	3
<b>Costo</b>	7	8	9	0.1	0.7	0.8	0.9
<b>TOTAL</b>				<b>1</b>	<b>7.7</b>	<b>6.3</b>	<b>9</b>

**b. Alternativa seleccionada**

Por medio del estudio que se realizó, el sistema de control DJI A3 cuenta con múltiples funciones para efectuar vuelos sin correr el riesgo de colisión, si fuere el caso en el que uno de los motores falle durante el vuelo, permite maniobrar sin perder el control durante vientos fuertes, además el cuadricóptero recupera la estabilidad de vuelo, si el piloto al mando pierde el control en un momento determinado. Se puede programar un vuelo de retorno al lugar de origen, permite aterrizar de forma automática sin perder el control si hay depreciación de la batería en el mismo.

### 3.2.3 Sistema de control DJI A3

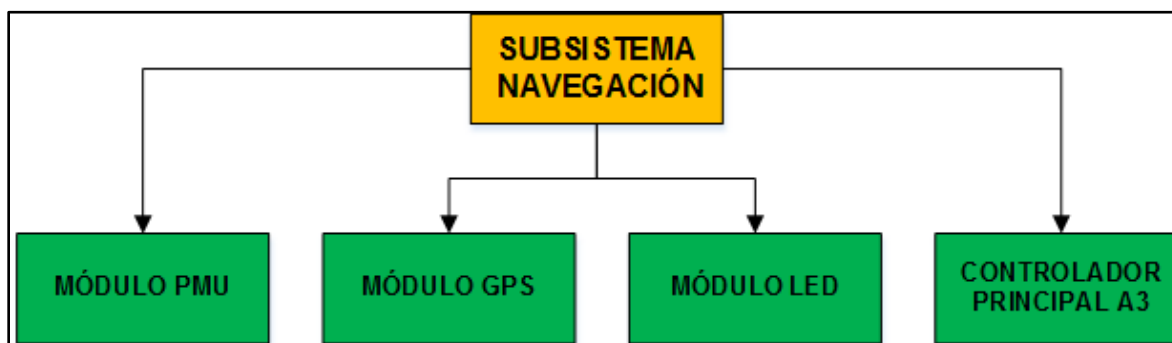
El sistema de control DJI A3 es un sistema de control de vuelo fiable y robusto para las operaciones aéreas. Tiene perfecta maniobrabilidad al momento de realizar las operaciones de vuelo, su fabricación y diseño de redundancia permite mantener la completa estabilidad e integridad del sistema aéreo. Este sistema cuenta con tres subsistemas: navegación, estructural y de propulsión.



**Figura 42.** Sistema de control DJI A3.

#### a. *Subsistema de navegación*

El subsistema de navegación consta de 4 elementos: El módulo PMU, módulo GPS, controlador principal A3 y el módulo LED.

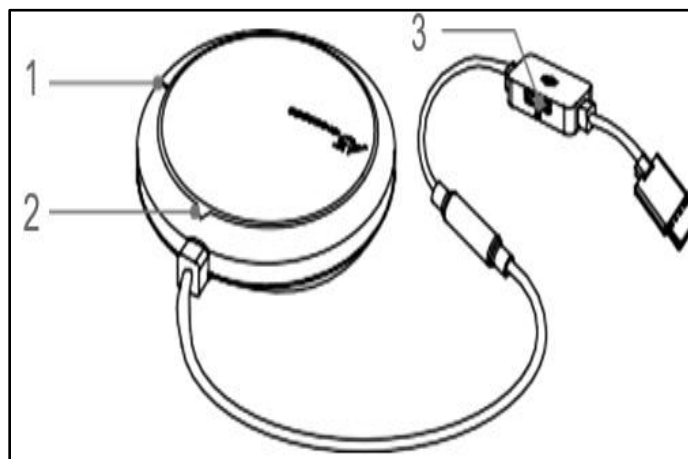


**Figura 43.** Subsistema de navegación.

#### - **Módulo GPS**

El módulo GPS tiene una brújula incorporada para mediciones de campo geomagnético. Se requiere la calibración de la brújula antes de su uso. Por medio de este módulo se establece la conexión del equipo, esto se verifica en un dispositivo móvil que esta enlazada al control remoto, en el que se observa el estado del equipo si está o no en zonas de vuelo restringidos para su respectiva operación.

Consta de tres partes fundamentales: (1) indicador del estado del GPS y la brújula, (2) una flecha de indicación que indica la dirección y posición del control remoto y (3) el puerto de conexión al controlador principal A3, para establecer la localización mediante la brújula y el GPS.

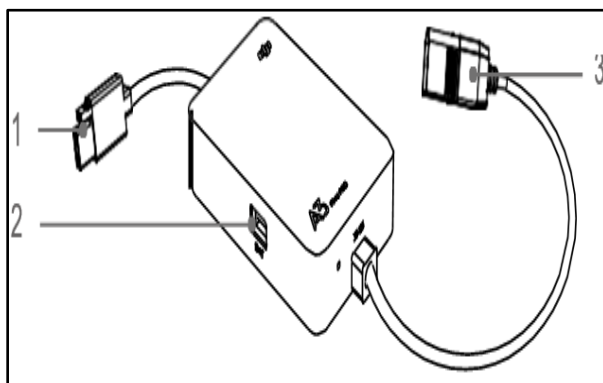


**Figura 44.** Módulo GPS.  
Fuente: (DJI, 2017)

#### - Módulo PMU

El módulo PMU proporciona energía para todo el sistema de control de vuelo y función de protección de baja tensión. El módulo PMU al realizar un vuelo, se queda energizado y por ello al momento de desconectar y conectar otra batería, el sensor del módulo se aturdirá y no registrará la cantidad de energía que se requiere para su operación normal y se lo verificará a través del sistema FPV.

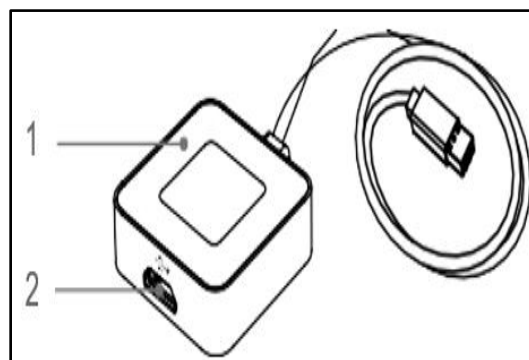
Este dispositivo cuenta con dos puertos de alimentación IN y OUT, (1) el puerto IN conecta con el controlador principal A3 y (2) el puerto OUT conecta directamente con las baterías Lipo. (2) La base controla el estado de energía de todos los sistemas del cuadricóptero.



**Figura 45.** Módulo PMU.  
Fuente: (DJI, 2017)

### - Módulo LED

El módulo LED tiene un indicador LED integrado, indica el estado del sistema de control de vuelo. Cuando hay fallas en los sistemas de navegación y comunicación emitirá una luz amarilla, batería baja mostrará una luz roja, variación de colores muestra que se establece conexión entre todos los sistemas y una luz verde indica que todo el sistema está en óptimas condiciones para operar. El puerto Micro USB se utiliza para actualizaciones de firmware a través del Assistant for autopilot 2.

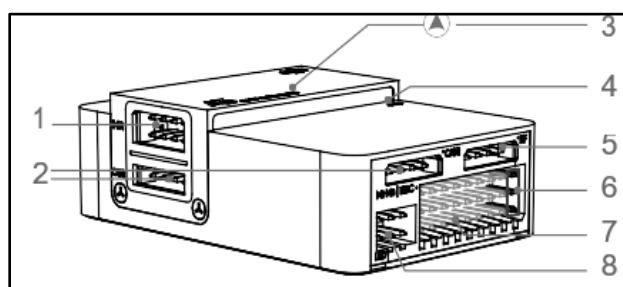


**Figura 46.** Módulo LED.  
Fuente: (DJI, 2017)



## - Controlador principal DJI A3

Este dispositivo permite al equipo volar con máxima fiabilidad y precisión, evita que se estrelle el cuadricóptero en caso que uno de los motores falla durante el vuelo, permite transmitir por medio del sistema FPV todos los acontecimientos en tiempo real. El controlador principal A3 controla el funcionamiento de todos los subsistemas que están incorporados. Una luz led se pondrá en verde cuando todos los sistemas están interconectados entre sí. En la tabla 2, se muestra los puertos de conexión a los diferentes subsistemas de navegación y comunicación en el controlador principal A3.



**Figura 47.** Controlador principal A3.  
Fuente: (DJI, 2017)

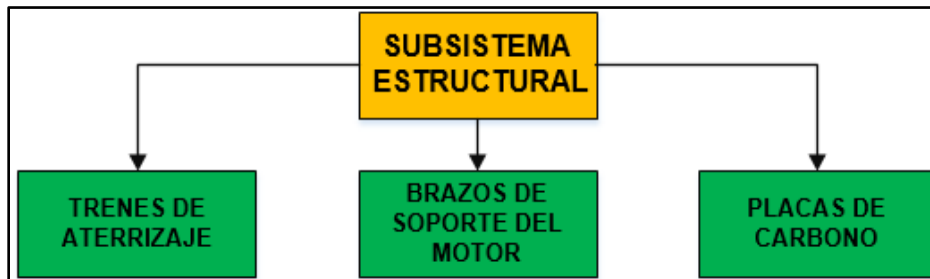
**Tabla 2**

*Partes del controlador principal*

<b>1 Puerto IMU1:</b>	Conecta el módulo IMU.
<b>2 Puerto CAN1:</b>	Conecta el sistema GPS.
<b>3 Flecha de orientación:</b>	La flecha indica la dirección de montaje.
<b>4 Indicador de status:</b>	Indica el estado del controlador de vuelo.
<b>5 Puerto RF:</b>	Conecta el DJI Lightbridge 2.
<b>6 Puerto ESC:</b>	Conecta con los ESC.
<b>7 M1-M4 Pines:</b>	Conecta al puerto para cada motor.
<b>8 Puerto LED:</b>	Conecta el módulo LED.

**b. Subsistema estructural**

El sistema estructural está compuesto de fibra de carbono que es un material formado por filamentos, compuesto principalmente de átomos de carbono. Las propiedades de la fibra de carbono, hace a los componentes a tener una alta flexibilidad, alta resistencia, bajo peso, tolerancia a altas temperaturas y baja expansión térmica. En la actualidad se ha implementado la fibra de carbono como material de mejor calidad por su durabilidad y maniobrabilidad.



**Figura 48.** Subsistema estructural.

**- Trenes de aterrizaje**

Los trenes de aterrizaje están compuestos de fibra de carbono. La función que desempeñan, es amortiguar el peso cuando el cuadricóptero está aterrizando. Posee cauchos de goma a los extremos del tubo horizontal de fibra de carbono, para prevenir daños al mismo. Por su diseño, permite su fácil montaje a la estructura del cuadricóptero.



**Figura 49.** Trenes de aterrizaje.  
Fuente: (DJI, 2017)

En la tabla 4, se muestra los componentes que se utiliza para el ensamblaje del tren de aterrizaje. Los tornillos están fabricados de aluminio, un metal muy resistente y liviano.

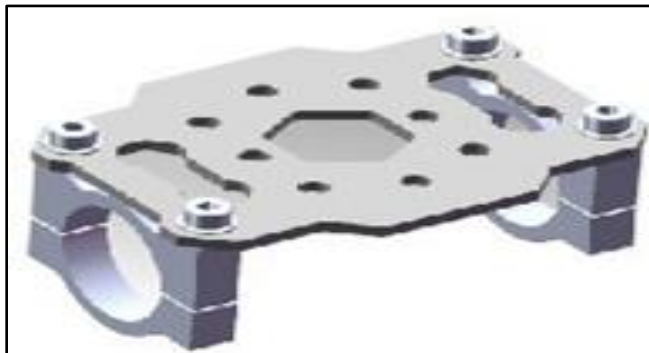
**Tabla 3**

*Componentes del tren de aterrizaje*

COMPONENTES DEL TREN DE ATERRIZAJE			
Cant.	Descripción	Material	Medidas
2	Copa cabeza de tornillo hexagonal	Aluminio	M2.5x5mm
1	Perno de aluminio hexagonal	Aluminio	M2x5x22mm
2	Copa cabeza de tornillo hexagonal	Aluminio	M2x4mm
2	Marco lateral plegable de fibra de carbono	Fibra de carbono	58x22x16mm
1	Agarre de tubo de carbono	Fibra de carbono	22x16x29mm
6	Tornillo hexagonal	Aluminio	M2.5x6.5mm
1	Tornillo collar	Aluminio	M2.5x16mm
1	Tubo de fibra de carbono	Fibra de carbono	160x16x15mm
1	Tubo de fibra de carbono	Fibra de carbono	280x10x9mm
1	Soporte tipo T para tren de aterrizaje plegable	Fibra de carbono	16mm
1	Tornillo hexagonal	Aluminio	M3x5mm

### - Brazos de soporte del motor

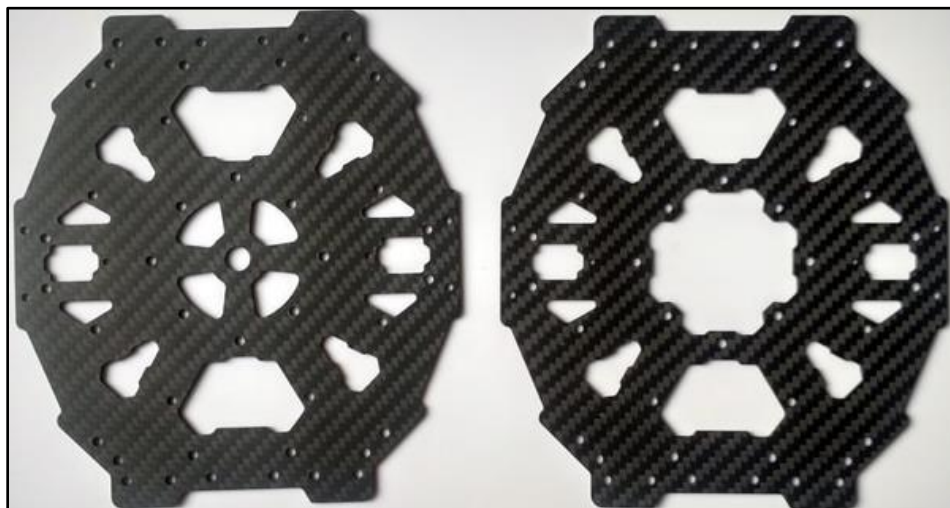
De acuerdo a la figura 50, las bases de fibra de carbono tienen un espesor de 2mm, este material hace a esta fibra muy resistente y duradera. Dentro de estas bases de los motores viene incrustados los orificios donde se sujetan los motores Gatt. Las anclas de soporte de la base de fibra de carbono tienen un espesor de 5mm, sujetados con los tornillos socket. Para mayor información ver anexo 3.



**Figura 50.** Brazos de soporte del motor.  
Fuente: (DJI, 2017)

### - Placas de carbono

En la figura 51, se muestra las especificaciones de las placas de carbono utilizada para el ensamblaje del cuadricóptero CFLM, una de las partes muy importantes en que se asientan todos los componentes del subsistema de control, estructural, navegación, comunicación y sistemas de propulsión. Cada placa de carbono tiene un espesor de 2mm y un tamaño de 14 cm de ancho y 16cm de largo. Los datos técnicos se detallan en el ver anexo 2.

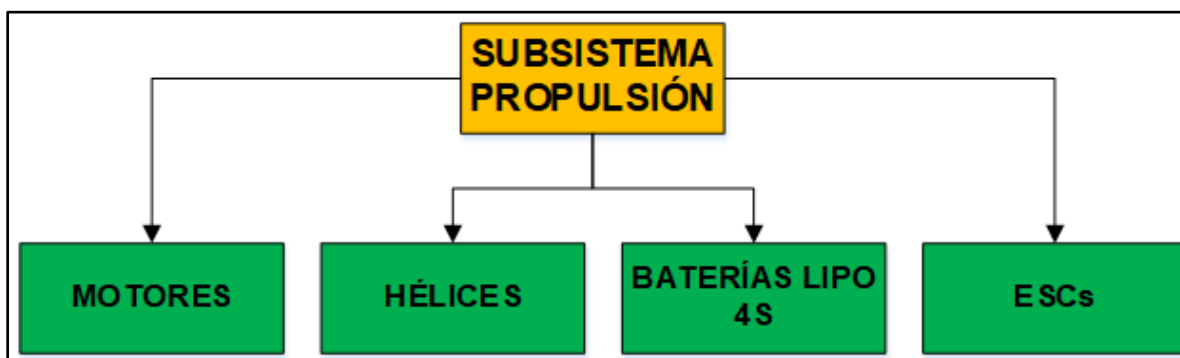


**Figura 51.** Placas de carbono.

Fuente: (DJI, 2017)

**c. Subsistema de propulsión**

El subsistema de propulsión consta de cuatro componentes. Para ejecutar la función de vuelo del cuadricóptero CFLM, se implementó los motores Gartt con las hélices 1555 y baterías X POWER NANOPLATINIUM de 8000mAh de 4S,



**Figura 52.** Subsistema de propulsión.

## - Motores

En la tabla 4, se muestra de manera detallada los parámetros de selección de los motores. Si hay mayor temperatura, los motores se calentarán y generarán mayor esfuerzo. Este tipo de motores tiene las siguientes características: mantenimiento mínimo, mayor durabilidad, alta eficiencia y rango de velocidad. Para la selección de los motores del cuadricóptero CFLM, se realizó el estudio de tres tipos de motores de similares características.

**Tabla 4**

*Parámetros de selección del motor*

CLASES DE MOTORES			
MOTOR			
PARÁMETROS	Avroto	TIGER MOTOR	GARTT
KV (rpm/V)	400	400	400
Voltaje (V)	10	14.8	14.8
rpm	4000	5920	5920
Empuje (gr)	750 gr	2300 gr	2530 gr
Potencia	1150 W	1140 W	530 W
Amperaje	39 A	38 A	20 A
Peso (gr)	190 gr	194 gr	151 gr
Celdas de la batería	5S a 6S	4S a 8S	3S a 6S

De acuerdo con los datos descritos en la tabla 4, el motor seleccionado para el sistema de propulsión en el cuadricóptero CFLM es el motor Gatt ML4112 400KV. A diferencia de los dos motores, tiene menor peso, mayor empuje, requiere menor amperaje, menor potencia y se puede utilizar con baterías de 4 a 6S.

En la tabla 5, se observa la ponderación de cada uno de los tres tipos de motores, para ello se determinó que la escala de evaluación será de 1 a 10, donde 1 a 2 = malo, 3 a 4 = deficiente, 5 a 6 = regular, 7 a 8 = bueno y 9 a 10 = excelente. El número de mayor rango en el sumatorio total será el motor adecuado para el sistema de propulsión del cuadricóptero CFLM.

**Tabla 5**  
*Matriz de decisión de los motores*

Parámetros	TIPOS DE MOTORES			Ponderación	RESULTADOS		
	Avroto	Tiger motor	Gartt		Avroto	Tiger motor	Gartt
<b>Velocidad</b>	8	5	8	0.1	0.8	0.5	0.8
<b>Peso</b>	8	5	7	0.1	0.8	0.5	0.7
<b>Autonomía</b>	7	6	8	0.2	1.4	1.2	1.6
<b>Seguridad</b>	8	6	10	0.2	1.6	1.2	2
<b>Vida útil</b>	8	7	10	0.3	2.4	2.1	3
<b>Costo</b>	7	8	9	0.1	0.7	0.8	0.9
<b>TOTAL</b>				<b>1</b>	<b>7.7</b>	<b>6.3</b>	<b>9</b>

De acuerdo con los resultados obtenidos, el motor Gartt ML4112 de 400KV, cumple con los requerimientos necesarios para ejecutar el proceso de propulsión en el cuadricóptero CFLM. Para realizar las inspecciones visuales de hundimientos y rajaduras en la aeronave Hawker Siddely. Para mayor información ver anexo 1.



**Figura 53.** Motor Gartt.  
Fuente: (Amazon, 2019)

#### - Hélice

En la tabla 6, se detalla los datos técnicos de las hélices, previo a su posterior selección. La nomenclatura de estas hélices, la longitud hace referencia a los dos primeros dígitos y el paso a los dos últimos dígitos. Estas hélices tienen un orificio central de 4mm y dos orificios de 3mm compatibles para múltiples cuadricópteros que tiene o no escobillas, la estructura está recubierta de resina epóxica con un acabado brillante.

**Tabla 6**

*Selección de la hélice*

Hélices	TIPOS DE HÉLICES		
	1355	1555	1855
<b>Material</b>	Fibra de carbono	Fibra de carbono	Fibra de carbono
<b>Longitud</b>	13 in.	15 in.	18 in.
<b>Paso</b>	55 in.	55 in.	55 in.
<b>Peso</b>	36 gr.	53 gr.	84 gr.
<b>Numero de palas</b>	2	2	2



Con la comparación de los tres tipos de hélices, se determinó que la hélice 1555 es la más efectiva por su peso, longitud y paso. A diferencia de las dos alternativas anteriores, la hélice 1355 es muy pequeña debido a su longitud y la hélice 1855 es muy pesada y grande para los motores seleccionados anteriormente.



**Figura 54.** Hélice 1555.  
Fuente: (Amazon, 2019)

#### - **Baterías LIPO**

En la tabla 7, se muestra los datos técnicos de las baterías Lipo de similar capacidad de carga. Para ello se realizó un estudio de cada una de sus características para su previa selección. Dependiendo de los resultados que se obtenga de los estudios, la batería con mejor ponderación será opción adecuada para el sistema de propulsión del cuadricòptero CFLM.

**Tabla 7**  
Especificaciones de la batería Lipo

TIPOS DE BATERIAS LIPO		
Batería	X-POWER NANO PLATINIUM	HBR POWER
Tensión:	14,8 V	22,2 V
Capacidad:	8000 mAh	8000 mAh
Peso (1 batería):	900 gr	1155 gr
Velocidad de descarga:	35 C	35 C
Velocidad de carga:	5 C	15 C
Longitud	170 mm	165 mm
Ancho	60 mm	59 mm
Grosor	32 mm	60 mm
Número de celdas	4S	6S

De acuerdo a sus especificaciones, la batería X-POWER NANO PLATINIUM de 8000 mAh de 4S de 35 C, cumple con los requerimientos necesarios para el tiempo de vuelo requerido para el vuelo de inspección en la aeronave hawker siddely. Las celdas están conectadas en serie, con un voltaje de 3,7 V cada una. A comparación con la batería HBR POWER el peso es muy excesivo, la velocidad de descarga es menor y el tamaño es muy elevado para el tipo de drone que se va implementar. Para el cálculo del tiempo que dura una batería, se calcula mediante la siguiente relación:

$$\text{Tiempo} = \frac{\text{Capacidad de la batería}}{1} * \frac{\text{tiempo (60min)}}{1h} = x \text{ mA. minutos}$$

$$\frac{x \text{ mAh. min}}{\text{Velocidad de carga (C)}} = x \text{ mA. mi} \quad \mathbf{T} = \frac{x \text{ mA. min}}{\text{Capacidad de la batería}} = x \text{ min}$$

Mediante los cálculos realizados con la fórmula, el tiempo de descarga de la batería es de 12 minutos. Se recomienda que el voltaje de la batería, no disminuya de los 3.0 V y al recargar que no sobrepase de los 4.2 V para evitar daños en las celdas de la batería.

$$t = \frac{8000 \text{ mAh}}{1} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 480000 \text{ mA} \cdot \text{min} ; \frac{480000 \text{ mA} \cdot \text{min}}{5 \text{ C}} = 96000 \text{ mA} \cdot \text{min}$$

$$\text{Tiempo}; \frac{96000 \text{ mA} \cdot \text{min}}{8000 \text{ mA}} = 12 \text{ minutos}$$



**Figura 55.** Baterías LIPO 4s.

Fuente: (Amazon, 2019)

En la tabla 8, se muestra de manera detalla la relación entre la aceleración y empuje. Para la obtención de dichos datos se implementó un banco de pruebas para determinar el empuje en gramos. El banco de pruebas consistió de tres pedazos de madera largas de 40cm, una base rectangular de 40cm de ancho y 60cm de largo, una balanza digital, ESC, motor Gantt, hélice 1555, servo tester, bases metálicas en L y una batería de hydrimax ultra de 2000 mAh.

**Tabla 8**  
Relación de empuje y aceleración

Motor	Voltaje (V)	Hélice	Aceleración %	Amperaje (A)	Potencia (W)	EMPUJE (gr)	Eficiencia (gr/W)
<b>ML4112 400KV</b>	14,8	1555	44	2	29.6	545	18.41
			54	5	74	1210	16.35
			62	8	118.4	1910	16.13
			74	14	207.2	2001	9.65
			100	19.8	293.04	<b>2490</b>	8.49
<b>ML4112 320KV</b>	14.8	1555	48	2	29.6	540	18.24
			57	4	59.2	890	15.03
			64	6	88.8	1190	13.40
			76	10	148	1680	11.35
			100	13.4	198.32	<b>2025</b>	10.21

De acuerdo con las especificaciones del fabricante, se ha tomado dos motores de similares características como el voltaje y el tipo de hélice. Lo que varía es la constante KV<sup>15</sup>, por medio de esto se calculó el rpm de los motores.

$$RPM = KV \cdot V ; RPM = \frac{RPM}{V} \cdot V$$

$$Motor\ 1: \frac{400\ rpm}{V} \cdot 14.8V = 5920rpm ; Motor\ 2: \frac{320\ rpm}{V} \cdot 14.8V = 4736rpm$$

Como se puede observar la constante del motor es proporcional con el rpm del motor, para realizar la comparación se toma de referencia al 100% de su potencia, se observa

<sup>15</sup> KV: Constantes de número de revoluciones por minuto cuando se aplica un voltaje de tensión. (rpm/V).

que el motor 1 tiene un empuje de 2490 gr. y el motor 2 tiene un empuje de 2025 gr. Que en conclusión el motor 1 proporciona mayor empuje que el motor 2 con una diferencia de 465gr de empuje. Con estos datos se ha calculado en base a los datos que proporciona el fabricante.

## - ESC

Los componentes que conforma un ESC son: condensadores, controladores, transistores, diodos, resistencias, reguladores, nano Arduino y cables de conexión. Tiene un peso de 6gr. con una corriente de 20 A. La función que desempeña estos dispositivos es variar la velocidad de giro de un motor eléctrico Gatt. Al utilizar una batería de LIPO<sup>16</sup> 4S<sup>17</sup>. es necesario utilizar un control de velocidad electrónico de 20A. El peso y tamaño dependerá en su mayoría del amperaje que soporta, la longitud del cable de entrada y salida dependerá del fabricante.



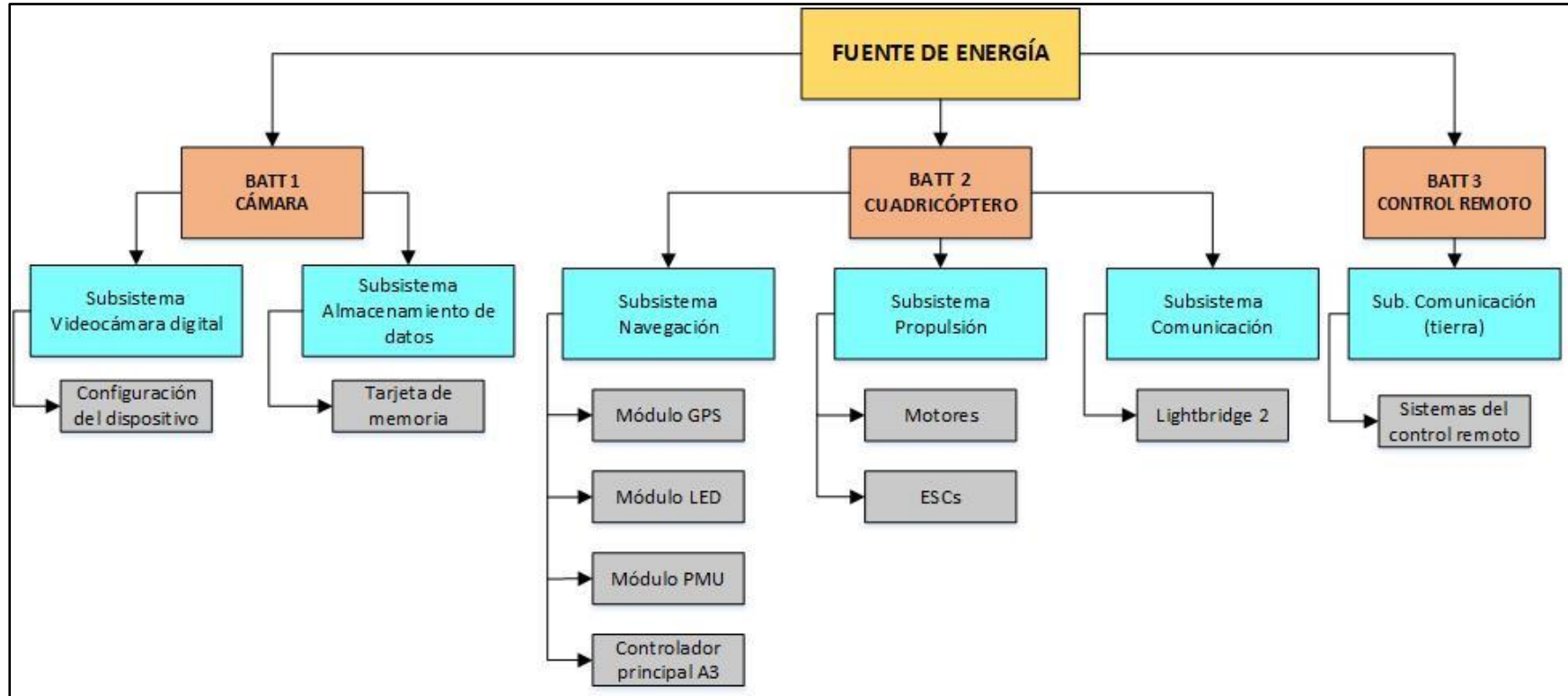
**Figura 56.** ESC.  
Fuente: (Mabus, 2016)

---

<sup>16</sup> Li-Po: Polímero de litio.

<sup>17</sup> S: Celdas.

### 3.2.4 Fuentes de alimentación



**Figura 57.** Fuentes de alimentación.

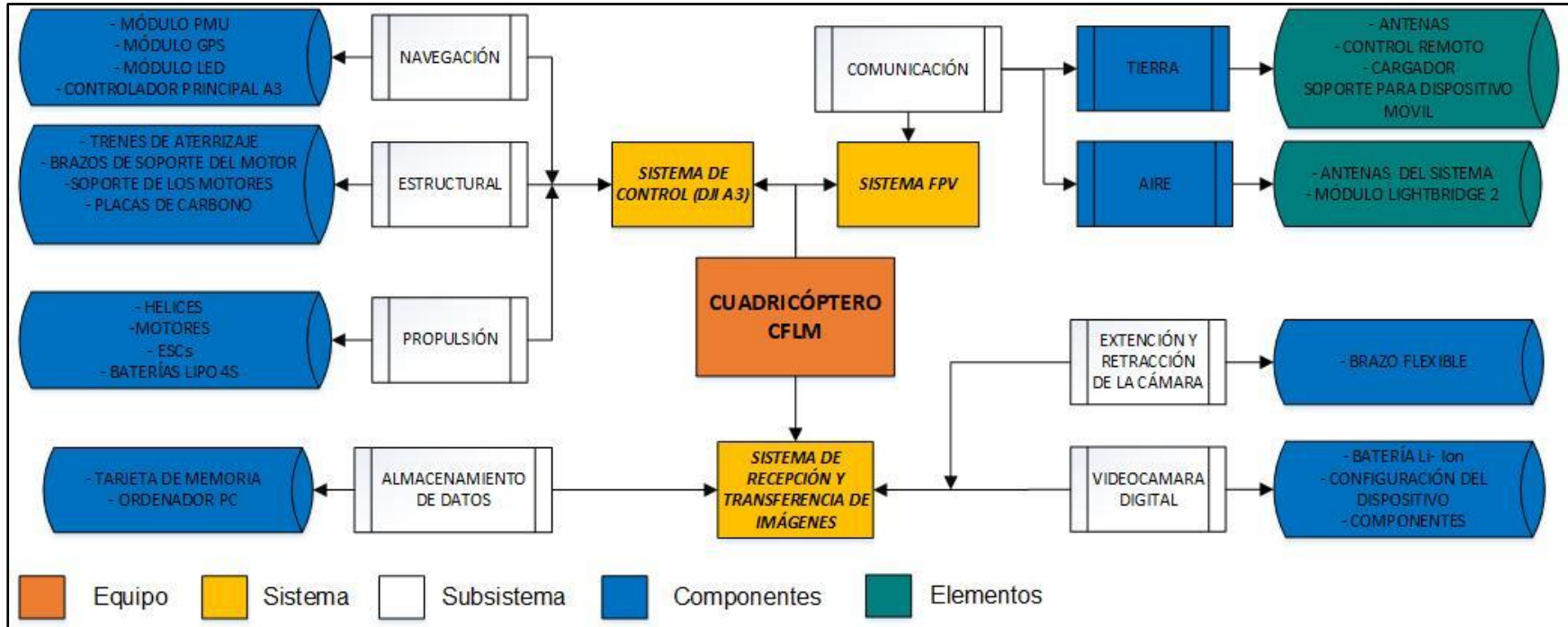
Las fuentes de alimentación energizan a los sistemas principales del cuadricóptero, cámara y control remoto, y también sirve para que el equipo ejecute sus funciones de manera correcta. La batería dos (Batt II) suministra energía eléctrica a los subsistemas de navegación, propulsión y comunicación, y a su vez estos subsistemas suministran energía a sus componentes. La batería uno (Batt I) provee energía eléctrica a dos subsistemas de videocámara digital y almacenamiento de datos. La batería tres (Batt III) abastece de energía eléctrica a un subsistema de comunicación del control remoto.

**a. *Suministro de energía de la batería II***

El suministro de energía de la batería II, empieza desde la batería Lipo 4S hacia los ESCs, quienes son encargados de variar la velocidad de giro de los motores Gatt, para prevenir sobrecargas. Al momento que los motores están en procesos de operación y que además envían la energía necesaria al módulo PMU, este dispositivo suministra la energía necesaria al controlador principal A3, al módulo LED, módulo GPS y al subsistema Lightbridge 2, para la función de navegación y comunicación del cuadricóptero CFLM.

Una consideración muy importante en el módulo PMU es al momento de ejecutar un vuelo, no se recomienda cambiar la batería de un numero de celdas a otro de mayor numero de celdas, para prevenir fallas en este dispositivo.

### 3.3 Interacción de los sistemas del cuadricóptero CFLM



**Figura 58.** Interacción de los sistemas del cuadricóptero CFLM.



El cuadricóptero CFLM se divide en tres sistemas principales: sistema de control principal A3, sistema FPV y sistema de recepción y transferencia de imágenes. Estos tres sistemas se interactúan entre sí para realizar la inspección visual de hundimientos y rajaduras en la piel del empenaje de la aeronave Hawker Siddely.

Las fotografías obtenidas por el sistema de recepción y transferencia de imágenes, son analizadas y relacionados con los datos técnicos de las manuales de la aeronave. Para dar solución a los daños presentes que está en la piel del empenaje. El sistema FPV a través del Lightbridge 2, transmite las grabaciones y movimientos alrededor de la aeronave en tiempo real, para detectar anomalías en áreas de difícil acceso.

### **3.3.1 Sistema de control principal A3**

Dentro de los sistemas del cuadricóptero CFLM, el sistema de control principal A3 es muy fundamental, la misma que se subdivide en tres subsistemas: navegación, estructural y de propulsión. Cada uno de estos subsistemas cumplen con funciones muy importantes y que a su vez interactúan entre sí para ejecutar una función de inspección visual. Todo subsistema debe estar ensamblado correctamente antes de ejecutar las pruebas de vuelo. El subsistema estructural consta de trenes de aterrizaje que está ensamblado en las placas de carbono, cuya función es amortiguar el peso durante los despegues y aterrizajes del cuadricóptero. Todos los componentes del subsistema de navegación y comunicación este ensamblado en las placas de carbono, de manera que

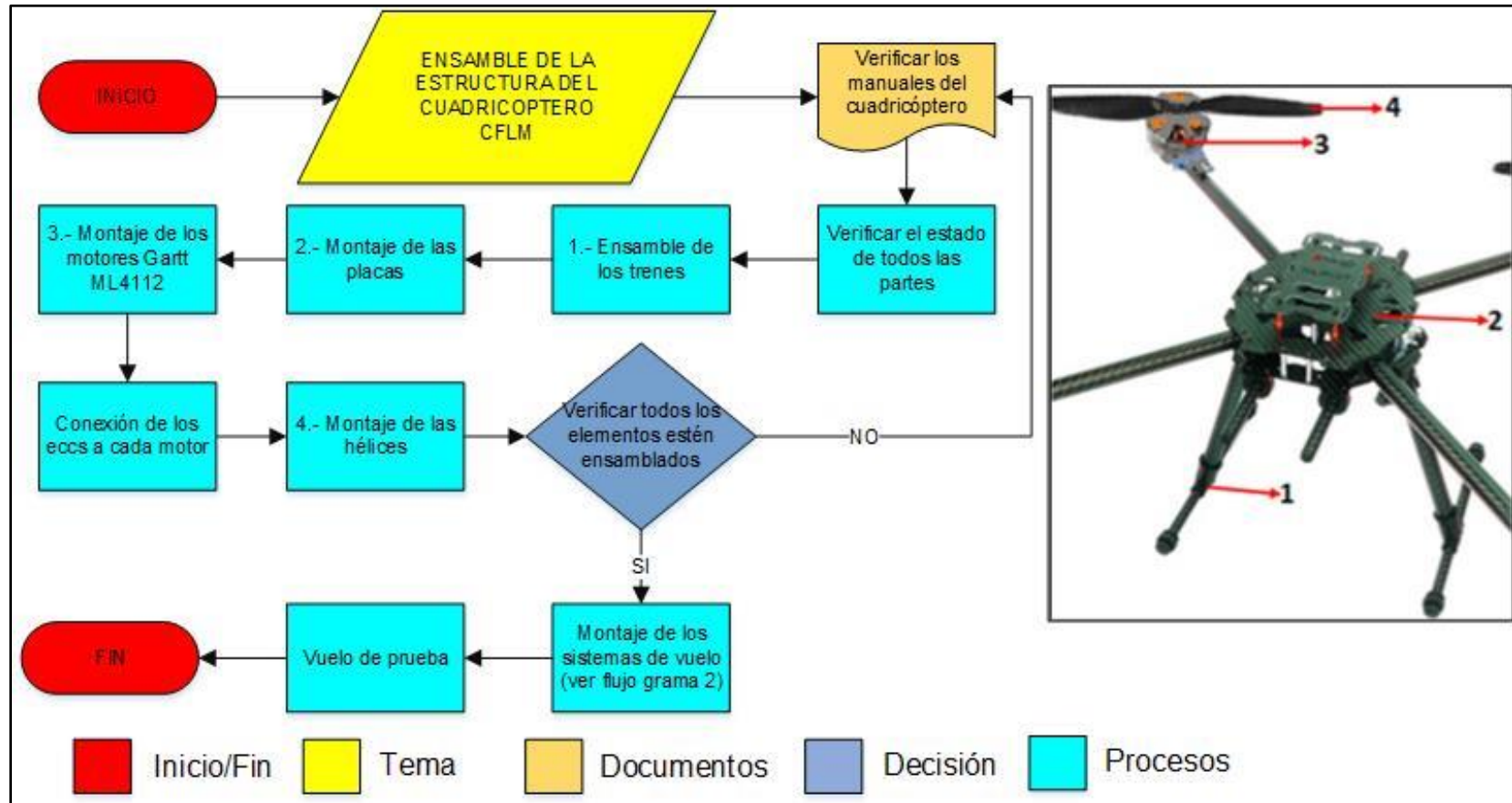
no haya desprendimiento de los mismos al momento que el cuadricóptero este en procesos de vuelos.

Mediante el controlador principal A3 y el Lightbridge 2 cumplen con la función de establecer comunicación entre el cuadricóptero en vuelo con operador en tierra que manipula el control remoto. Mediante módulo GPS, hace su fácil localización del equipo durante el vuelo, sin importar su distancia a la que se encuentre. El subsistema de propulsión dentro del sistema de control principal A3, ejerce la función de despegue y aterrizaje del cuadricóptero mediante los motores Gatt ML4112 en conjunto con las hélices 1555 para mayor sustentación en el aire.

### **3.4 Proceso de ensamblaje**

#### **3.4.1 Estructura del cuadricóptero CFLM**

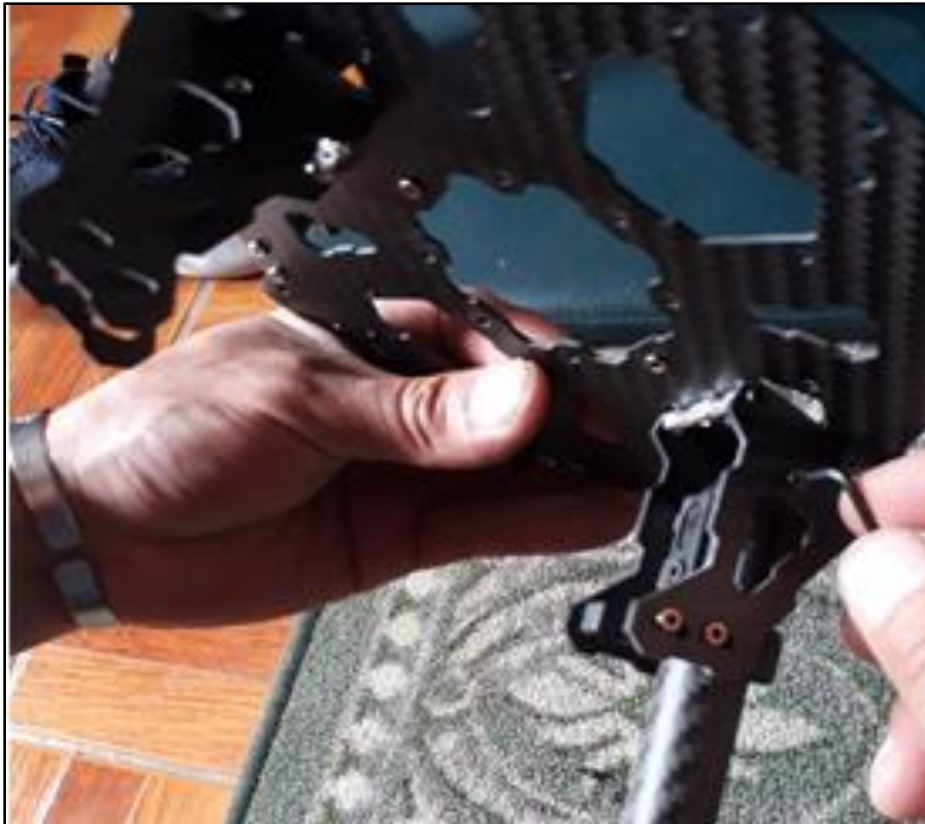
La estructura tiene una altura de 220 mm desde el suelo hasta la parte superior, con un peso de 476 gr. Para realizar el proceso de ensamblaje del cuadricóptero CFLM se debe tomar en consideración en verificar los manuales de operación y seguridad al momento de conectar y desconectar cualquier dispositivo del equipo. Cada uno de los componentes que conforma la estructura viene con su respectiva ferretería de sujeción. Se debe tener las herramientas necesarias como las llaves hexagonales en milímetros para los respectivos ajustes. Para mayor información ver el manual de ensamblaje de la estructura del cuadricóptero CFLM, anexo 15.



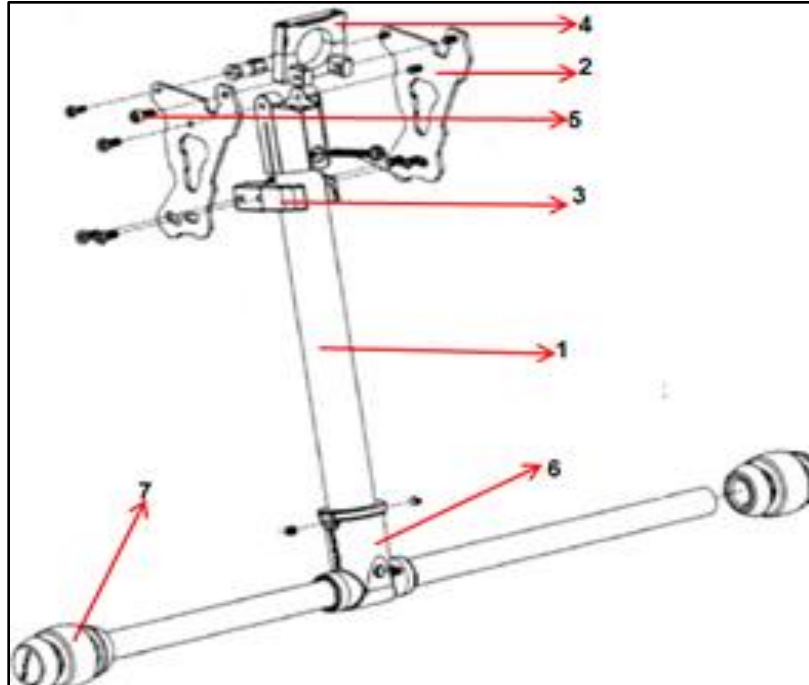
**Figura 59.** Estructura del cuadricóptero CFLM.

**a. Trenes de aterrizaje**

Para el ensamblaje de los trenes de aterrizaje se procede a colocar los trípodes de fibra de carbono (2) a los laterales del tubo de fibra de carbono (1) junto con la hebilla de fibra de carbono (3) con las bases de asiento de las placas de carbono (4) para su respectiva sujeción con los tornillos socket (5), fijar los cauchos de protección de aterrizaje (7) para colocar en el centro el tubo de carbono junto con T-set (6) para proceder al montaje en las placas de carbono.



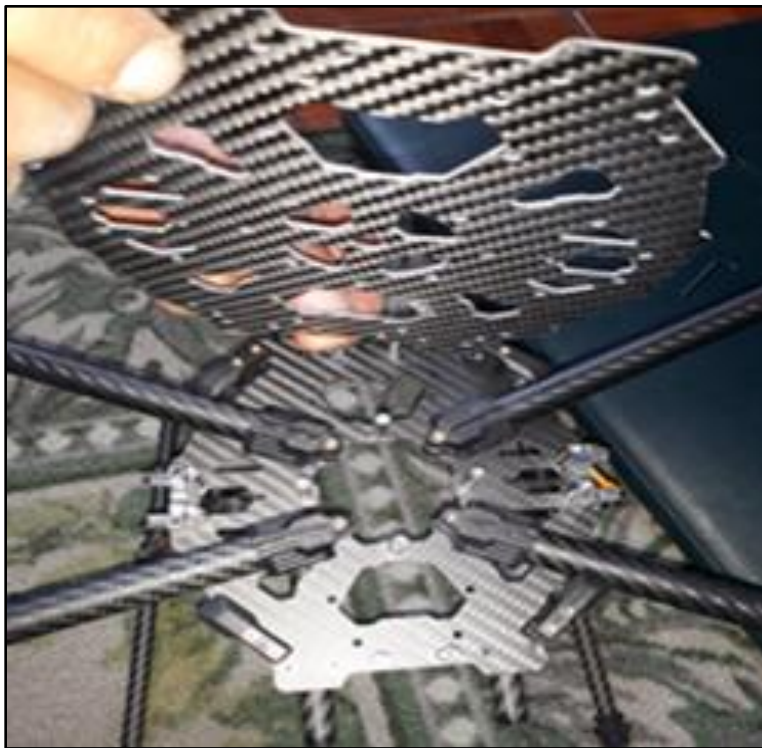
**Figura 60.** Ensamblaje de los trenes.



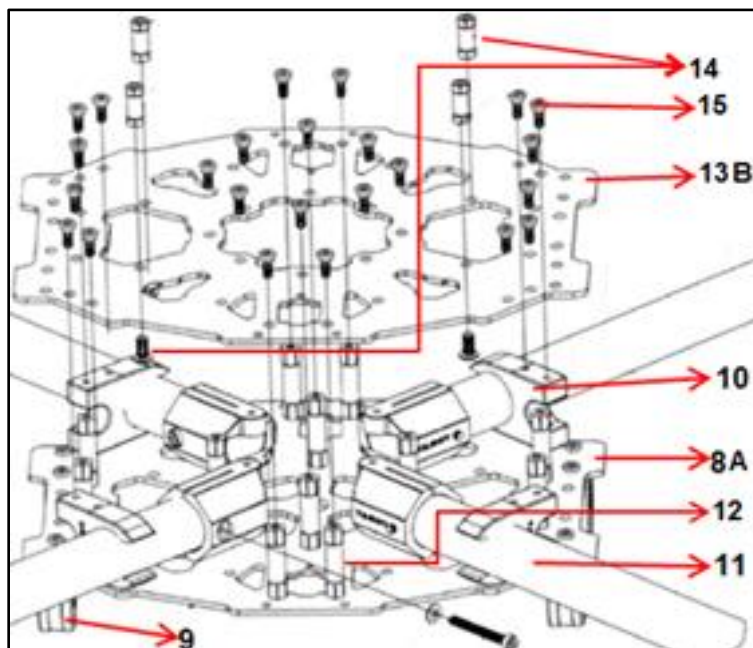
**Figura 61.** Partes del tren de aterrizaje.

**b. Placas de carbono**

Se procede a colocar la placa de carbono (8A) para la sujeción en los trenes de aterrizaje junto a los sujetadores de goma de tubos de carbono de soporte de las baterías en la parte inferior de la estructura, sujetar las hebillas de fibra de carbono (10) para los tubos de carbono (11) de soporte de los motores Gatt, para el montaje de la placa de carbono (13B) se colocara las columnas de aluminio (12) para su posterior sujeción con los tornillos redondos de seis ángulos (15) para proceder al montaje de los motores Gatt.



**Figura 62.** Ensamblaje de las placas de carbono y tubos de soporte.



**Figura 63.** Partes de las placas de carbono y sus accesorios.

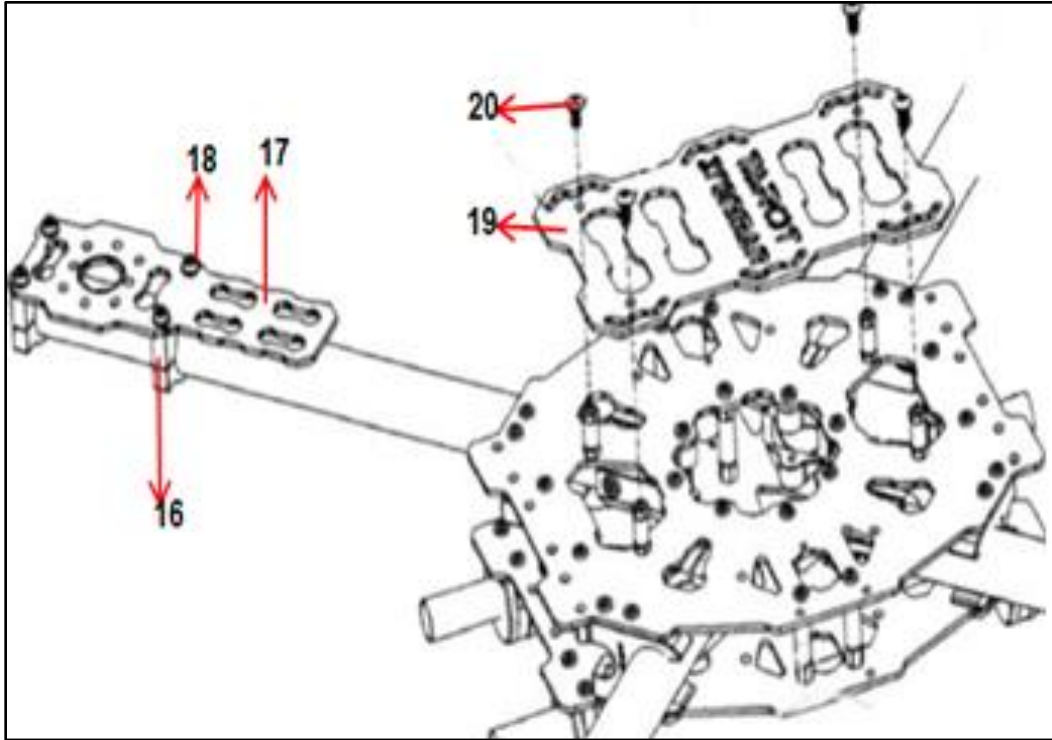
**c. Soportes de los motores Gattt**

Para la sujeción de los motores Gattt se procede al montaje de las bases de los motores (16) en los tubos de carbono (11) junto a las bases de fibra de carbono de los motores (17) para su respectiva sujeción con los tornillos Allen. Para el montaje de la base de fibra de carbono (19) se colocó las cuatro columnas de aluminio para su respectivo ajuste con los tornillos de cabeza de botón (20). Una vez colocado todos los componentes se procedió al montaje de los motores Gattt, mismo que se mandó los cables de alimentación por el interior de los tubos de fibra de carbono para las respectivas conexiones a los ESCs y al componente del controlador principal A3.



**Figura 64.** Ensamble de la base y tubos de soporte.





**Figura 65.** Partes de los soportes de los motores Gattt.

**d. Hélices 1555**

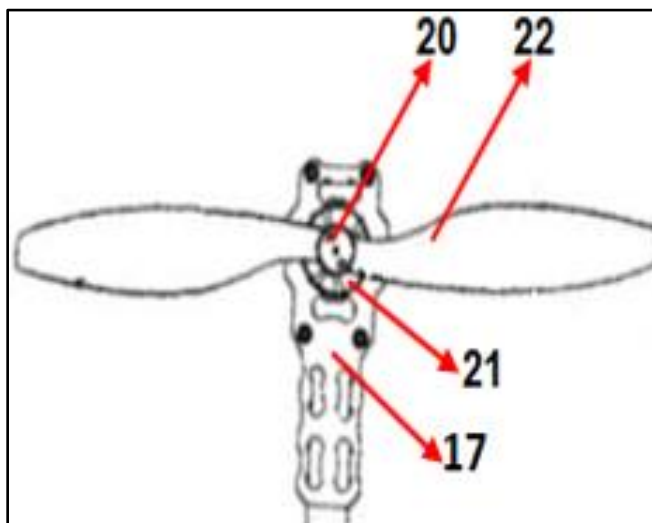
Para el montaje de las hélices (22) en los motores Gattt (21), en primer lugar, se sujetó los motores en las bases de fibra de carbono. Posteriormente para el montaje de las hélices con los tornillos socket (20) que viene en la ferretería de los motores.

Con las especificaciones mencionadas anteriormente, cada una de las partes cuenta con sus respectivos manuales de ensamblaje en la posición y orden en que van cada una de las partes de la estructura en sí, los trenes de aterrizaje, las dos placas de carbono, las bases de carbono del motor.





**Figura 66.** Montaje de las hélices y protecciones en los motores.



**Figura 67.** Partes de las hélices.

### 3.4.2 Sistema de control DJI A3

Para el proceso del ensamblaje del sistema de control DJI A3 junto con el sistema FPV, se recomienda revisar los respectivos manuales de ensamblaje, operación y seguridad para un mejor funcionamiento y a sí, evitar daños tanto a la estructura como a

los sistemas que lo componen. El controlador principal A3 es el principal elemento que se monta en las placas de carbono.

De allí es establecerá las diversas conexiones a los demás elementos como son al módulo GPS, módulo PMU, módulo LED y sistema lightbridge 2 para la transmisión de video en tiempo real. Anteriormente se explicó la manera de cómo está compuesto cada uno de los elementos. Como se puede observar en la figura 68, se establece cada una de las conexiones a los diversos módulos del sistema principal DJI A3 y Lightbridge 2 de los sistemas de navegación y comunicación. Para mayor información ver manual del fabricante, anexo 14.

Mediante el sistema de recepción y transferencia de imágenes se logra la obtención de fotografías del empenaje de la aeronave, para proceder a ejecutar el análisis mediante el mapeo físico. Este proceso verifica si está en los rangos aceptable, mediante el manual SRM para que la aeronave esta aeronavegable.

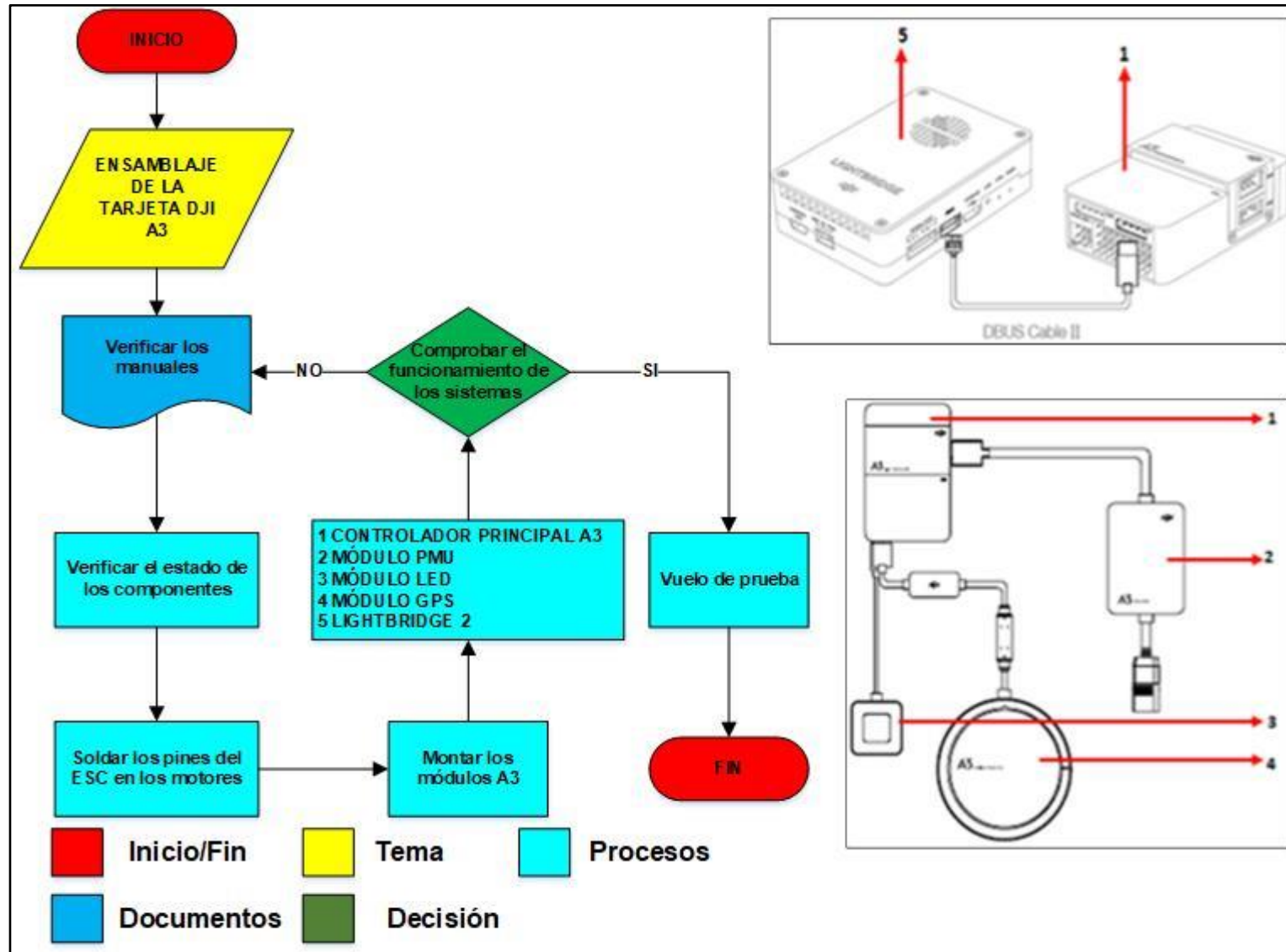
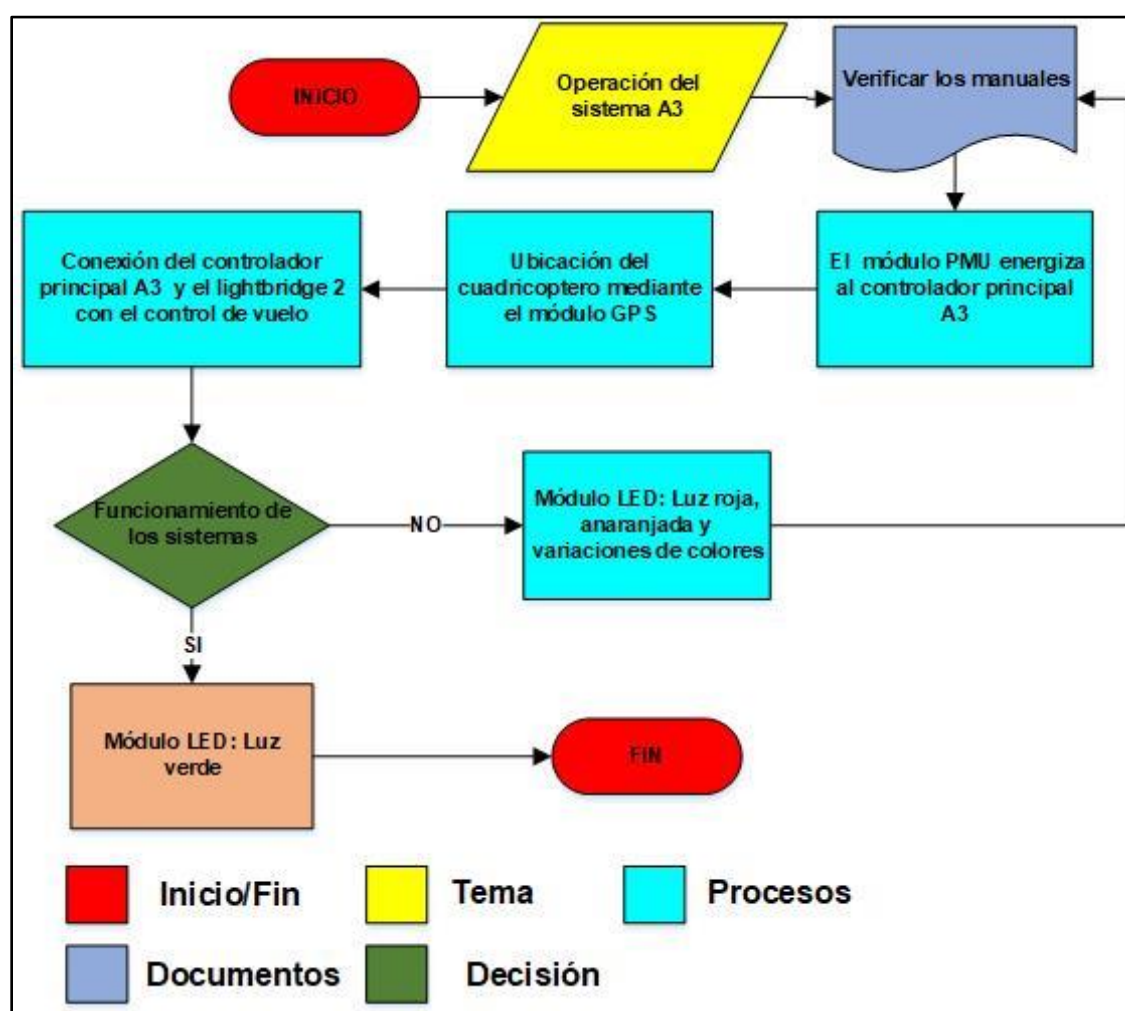


Figura 68. Proceso de conexión de la tarjeta DJI A3.

Mediante la batería LIPO 4s, la energía se desplazará hacia el módulo PMU encargado de recibir, verificar el estado de energía en todo el sistema y lo transmite hacia el controlador principal A3, energiza a los sistemas lightbridge 2. Una vez energizadas los subsistemas, mediante el módulo GPS se establece la localización del equipo, mediante el control de vuelo de tierra se verificará el estado del cuadricóptero por medio del módulo led, este módulo indicará por medio de propagación de las luces led si está o no en optimas de operación de equipo para sus respectivas pruebas de vuelo.



**Figura 69.** Operación del sistema A3.

### **3.5 Descripción de procedimientos de calibración y mantenimiento**

#### **3.5.1 Sistema de control DJI A3**

Para conservar dichos elementos que conforma el sistema de control DJI A3 se debe tomar en consideración ciertos parámetros de calibración y mantenimiento, para su correcto funcionamiento y para prolongar la vida útil del mismo. Para mayor información verificar los manuales de operación y mantenimiento.

##### **a. *Controlador principal A3***

###### **- Calibración**

Para ejecutar el proceso de vuelo del cuadricóptero CFLM, se debe tomar ciertas consideraciones en el sistema de propulsión como: la cantidad de carga que tiene la batería, corrida de motores para verificar que el número de RPM que sean las mismas en los cuatro motores y en ciertos casos la actualización del sistema de aire FPV, todo esto se lo realiza a través del programa DJI Assistant 2 for Autopilot. Verificar manual de operación y mantenimiento.

###### **- Mantenimiento**

Para conservar dicho componente, se debe verificar el estado en que se encuentran cada uno de los pines, mantenerlo en un lugar seco y fresco para prevenir que la humedad dañe los sistemas del controlador principal A3, verificar el estado del componente a través del programa DJI Assistant 2 for Autopilot. Para mayor información verificar manual de mantenimiento.

**b.           Módulo PMU**

**- Calibración**

Por medio de un multímetro se verifica la cantidad de carga que receipta y transfiere a los dispositivos de navegación y comunicación sean estables, de esta manera se prevenir sobrecargar a los sistemas anteriormente mencionados. Una vez energizados todos los sistemas, todos los procesos funcionara con normalidad sin presentar déficit de energía. Verificar manual de operación.

**- Mantenimiento**

El mantenimiento de conservación de dicho componente después de un determinado tiempo de uso se recomienda un tiempo de reposo de 15 minutos para que la toda la energía eléctrica que se encuentra dentro del módulo PMU se descargue debido a que el condensador que se encuentra dentro del mismo se encuentre con carga eléctrica. También verificar los plug de conexión tanto de la batería como del controlador principal

A3. Como todo componente electrónico se debe conservar en un lugar seco y fresco para prevenir daños. Para mayor información verificar manual de mantenimiento.

**c.            *Módulo LED***

**- Calibración**

Se debe comprobar el correcto funcionamiento del código de colores que emite el módulo LED al momento que presenta fallas, una de las razones que emite luces doradas es que requiere la actualización del sistema de aire, una luz morada intermitente se dará cuando el sistema está empezando a operar, la luz roja indicará que hay déficit de batería y la luz verde muestra que todo el sistema está en óptimas condiciones. Verificar manual de operación.

**- Mantenimiento**

Se debe maniobrar cuidadosamente debido que hay la presencia de pequeños leds dentro del módulo, verificar los pines y plug de conexión para evitar inconvenientes en las respectivas conexiones que se debe realizar al momento de probar el funcionamiento de todo del sistema. Conservarlo en un ambiente agradable sin presencia de humedad para que se alargue la vida útil del componente. Para mayor información verificar manual de mantenimiento.

**d. Módulo GPS**

**- Calibración**

Para una perfecta localización del módulo GPS se lo realiza a través de la brújula que está incorporada en el sistema. Si en el caso que la brújula falle, se recomienda hacer unos giros de calibración que viene indicada en la pantalla del dispositivo del control remoto, para que el equipo vuelva a posicionarse correctamente. Verificar manual de operación y mantenimiento.

**- Mantenimiento**

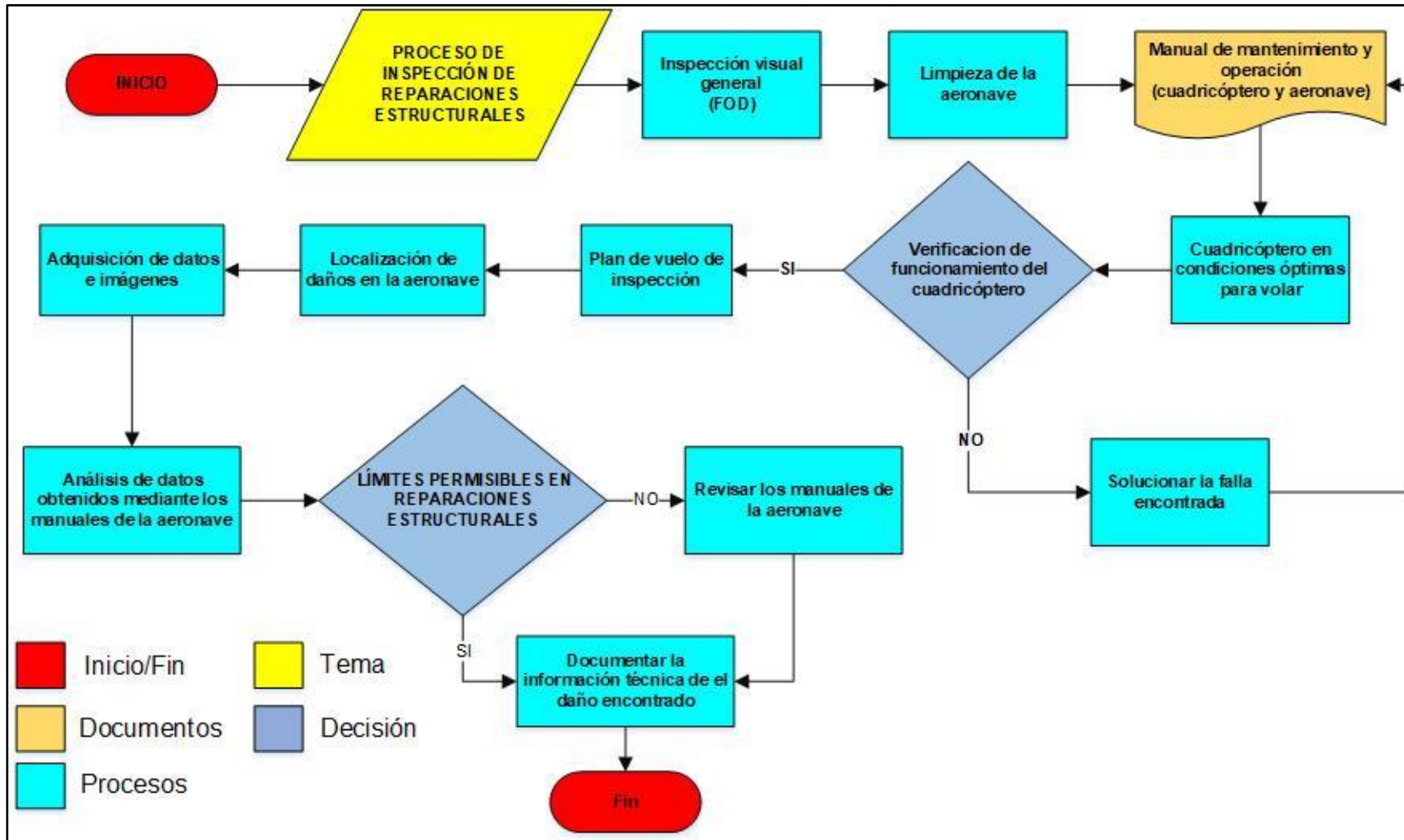
Una vez que el sistema entre en operación no se debe mover el equipo para evitar fallas el módulo GPS. Siempre mantener el plug de conexión al módulo hacia el frente del control remoto, debido a que si lo ponemos a diferente posición el dispositivo no se orientara adecuadamente. Almacenar la brújula en entornos fuera de materiales ferromagnéticos, para evitar su des calibración. Comprobar que el plug de conexión al control principal este en perfectas condiciones, antes de ejecutar los vuelos. Verificar por medio del dispositivo móvil que no se encuentra zonas de vuelo restringidos para su respectiva operación. Para mayor información verificar manual de mantenimiento.



### **3.6 Proceso de inspección en la aeronave Hawker Siddely**

#### **3.6.1 Reparaciones estructurales**

En la imagen 70, se muestra el proceso de inspección de reparaciones estructurales, para ello se realiza una inspección visual general que incluye verificar a los alrededores cualquier objeto extraño que pueda causar daños al equipo y a la aeronave. Remover las impurezas de la piel en que se va realizar la inspección visual. Tener los manuales los operación, mantenimiento y seguridad del cuadricóptero y de la aeronave Hawker Siddely. Una vez que el cuadricóptero y el área a inspeccionar este en perfectas condiciones, mediante el sistema FPV se realizara la localización de reparaciones estructurales en la piel del empenaje de la aeronave. Las fotografías obtenidas mediante el sistema de recepción y transferencia de imágenes se analizarán mediante los manuales de la aeronave, y como resultado de esto se podrán observar los límites permisibles para dar solución y documentar la información técnica de los daños encontrados.



**Figura 70.** Proceso de inspección de reparaciones estructurales.

### 3.6.2 Rajaduras

En la imagen 71, se muestra el proceso de inspección de rajaduras en la piel del empenaje de la aeronave Hawker Siddely. El proceso de inspección de rajaduras, se tendrá en cuenta las mismas especificaciones mencionadas anteriormente en el proceso de inspección de reparaciones estructurales. Las rajaduras que sobrepasen los límites permisibles, se verificaran en el manual de reparaciones estructurales de la aeronave para dar solución al daño encontrado.

Para una mejor localización de las rajaduras, ver los manuales de la aeronave AMM<sup>18</sup>, SRM<sup>19</sup> y IPC<sup>20</sup> para tener un conocimiento mejor del área en que se encuentra la rajadura en el empenaje.

### 3.6.3 Hundimientos

En la imagen 72, se observa el proceso a realizarse en la inspección visual de hundimientos en la piel del empenaje de la aeronave Hawker Siddely, para realizar esta tarea se seguirá los mismos procedimientos de las inspecciones de rajaduras y reparaciones estructurales. Los datos de límites permisibles, se muestran en los

---

<sup>18</sup> AMM: Manual de mantenimiento de la aeronave.

<sup>19</sup> SRM: Manual de reparaciones estructurales.

<sup>20</sup> IPC: Ilustración de partes catalogadas.

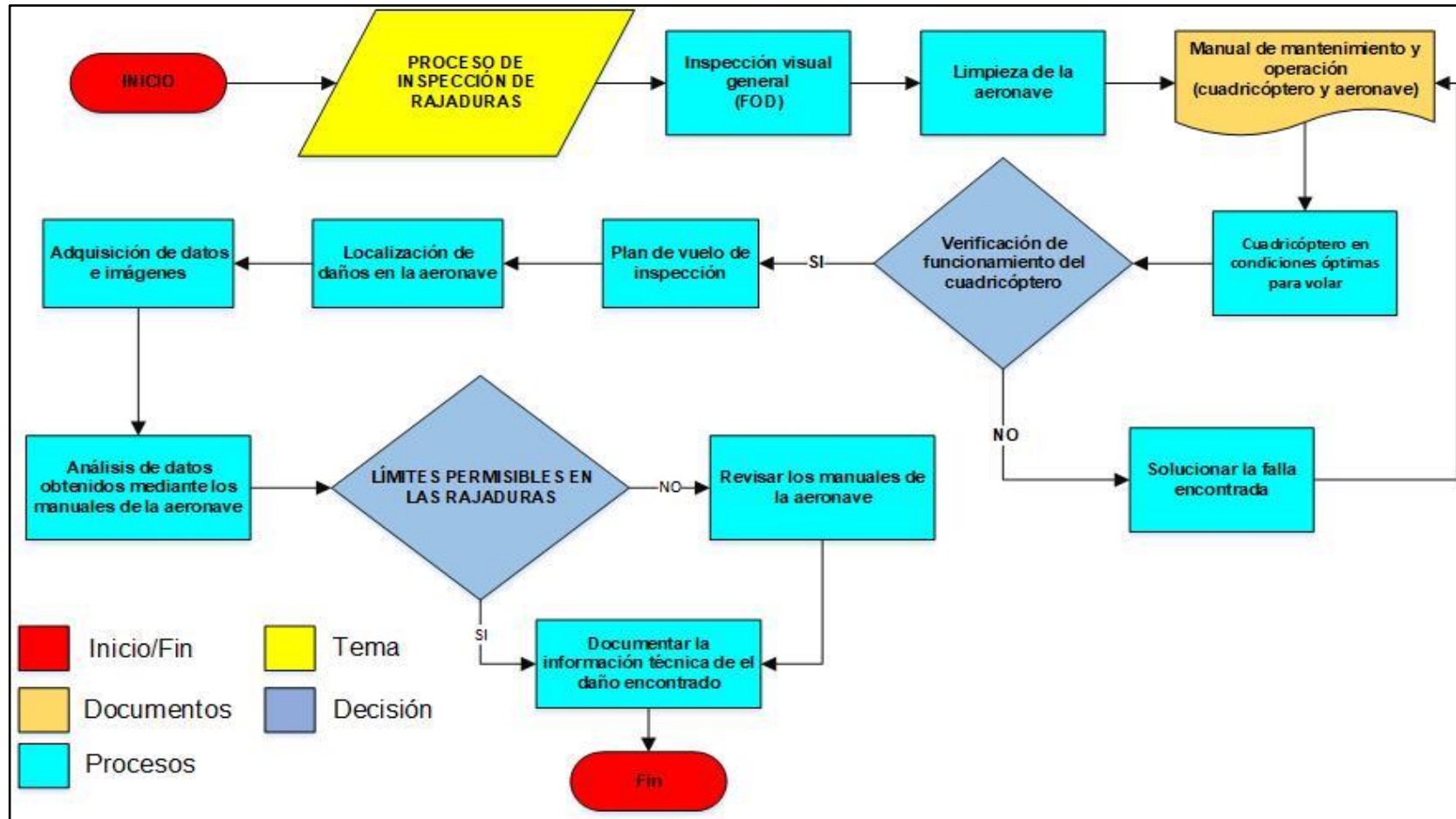
manuales de reparaciones estructurales y los procesos que se debe seguir para dar solución al daño encontrado en la piel de la aeronave.

Con la operación del cuadricóptero CFLM, el tiempo empleado será muy considerable a diferencia que se lo realizaba manualmente. Sin poner el riesgo físico del técnico de mantenimiento y de la aeronave.

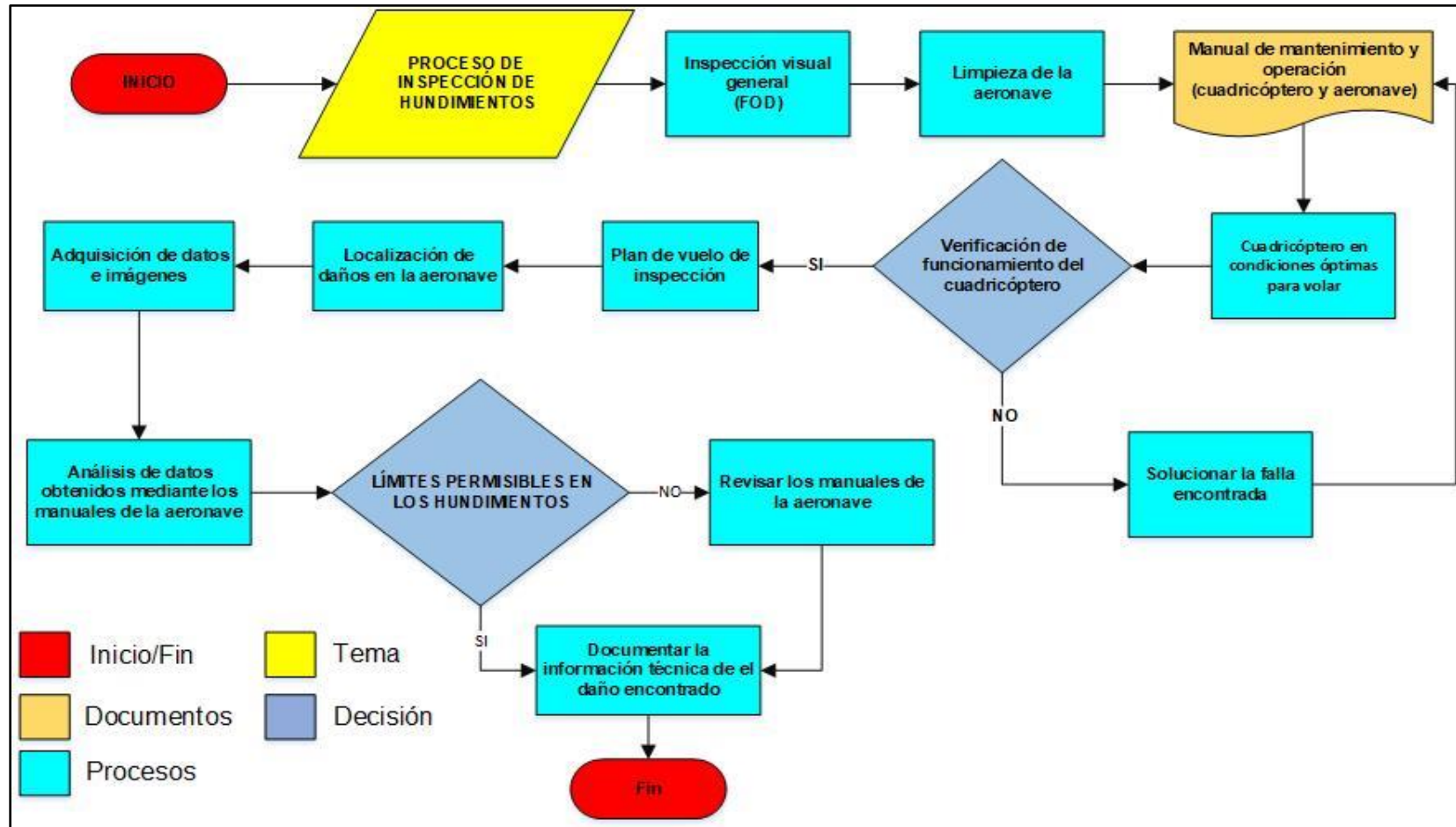
#### **3.6.4 Discrepancias adicionales**

En la imagen 73, se observa las discrepancias adicionales encontradas por el cuadricóptero CFLM. Como es corrosión, desprendimiento de pintura, manchas provocados por efectos ambientales, ralladuras y entre otros. De acuerdo al manual SRM se analizará si están dentro o no de los límites permisibles que no afectan la aeronavegabilidad de la estructura del empenaje. Que se lo ha realizado mediante la inspección visual en la aeronave HAWKER SIDDELY.

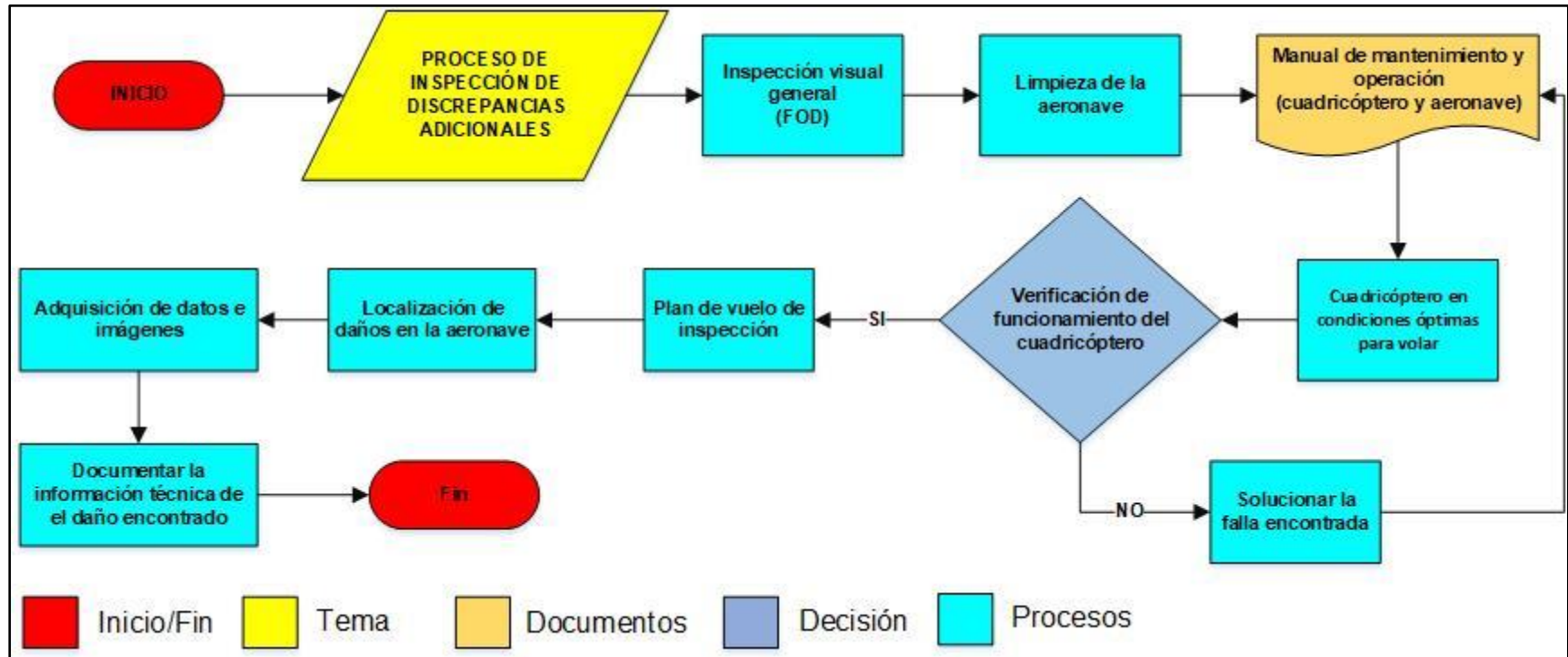
Estos daños adicionales obtenidas mediante el sistema de recepción y transferencia de imágenes del cuadricóptero CFLM. Se describe de manera detallada en el literal 3.7.4 la solución que se debe tener en consideración a las discrepancias encontradas en el empenaje de la aeronave.



**Figura 71.** Proceso de inspección de rajaduras.



**Figura 72.** Proceso de inspección de hundimientos.



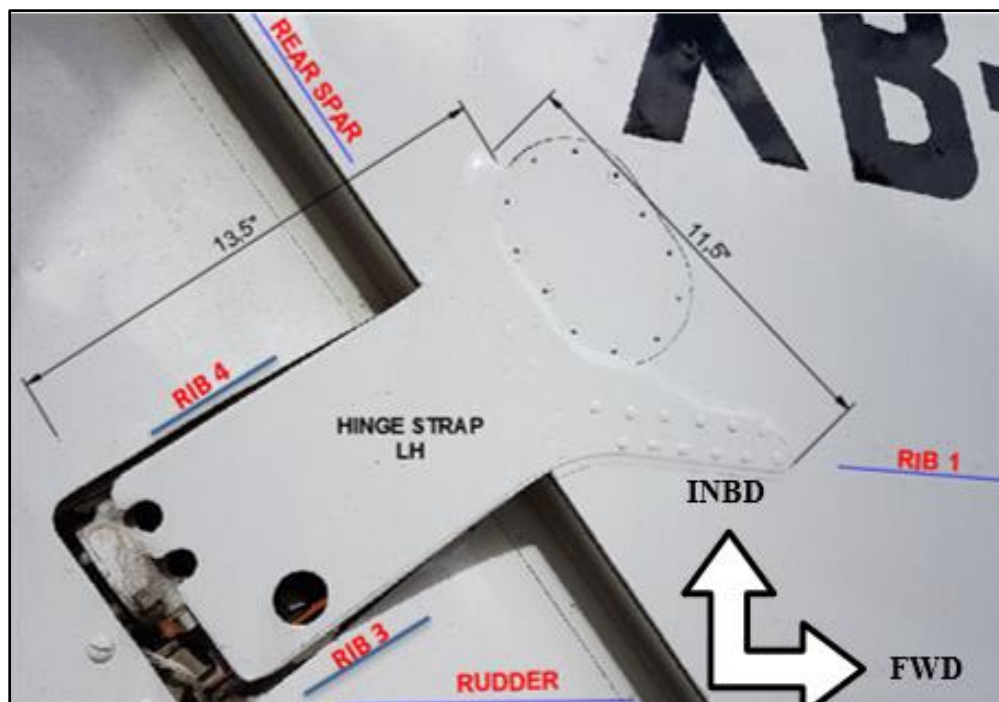
**Figura 73.** Proceso de inspección de discrepancias adicionales.

### 3.7 Análisis de resultados

#### 3.7.1 Reparaciones estructurales

- **DISCREPANCIA 1:** LH VERTICAL STABILIZER, HINGE STRAP LH, REAR SPAR, RIB 1 – RIB 2; RUDDER, RIB 3 – RIB 4 (REPAIRS 13,5" x 11,5").

La reparación estructural está ubicada entre la costilla 1 y la costilla 2 del estabilizador vertical izquierdo en el larguero rear spar, y en la costilla 3 y costilla 4 del rudder. Esta reparación tiene una dimensión de 13,5" de ancho y 11,5" de largo. Mediante el manual de SRM, la reparación es denominada HINGE STRAP.

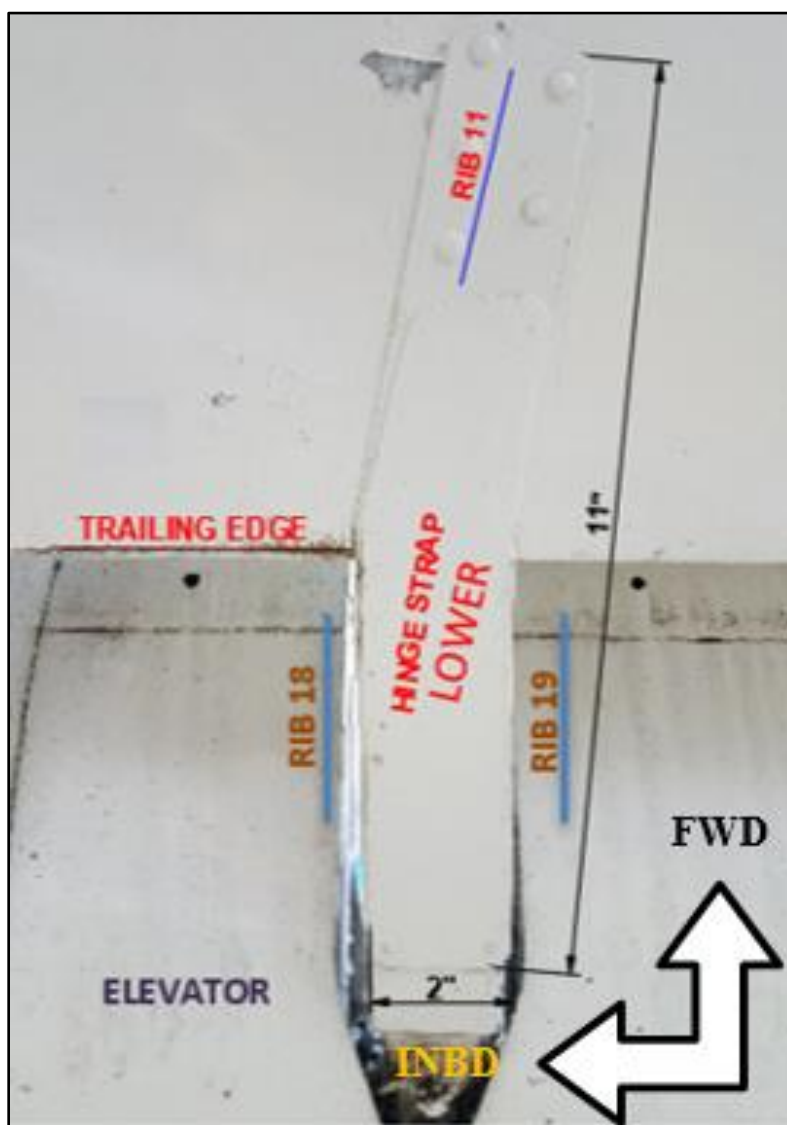


**Figura 74.** Reparación estructural del hinge strap LH.



- **DISCREPANCIA 2:** LH HORIZONTAL STABILIZER, TRAILING EDGE, RIB 11; ELEVATOR: RIB 18 – RIB 19. HINGE STRAP LOWER LH (REPAIRS 11" x 2").

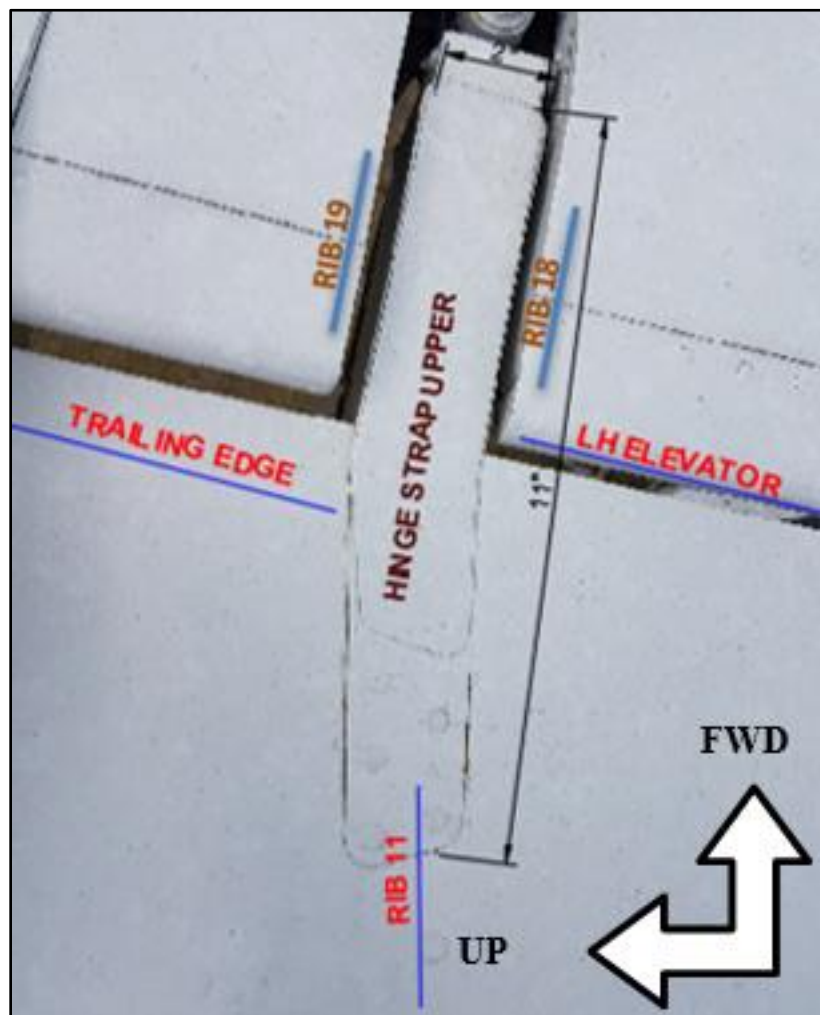
La reparación estructural está ubicada en la parte inferior del estabilizador horizontal izquierdo en la costilla 11 en el borde de salida, y en la costilla 18 y costilla 19 del elevador izquierdo. Esta reparación tiene una dimensión de 2" de ancho y 11" de largo.



**Figura 75.** Reparación estructural del hinge strap.

- **DISCREPANCIA 3:** LH HORIZONTAL STABILIZER: RIB 11, TRAILING EDGE; LH ELEVATOR: RIB 18 – RIB 19. HINGE STRAP UPPER (REPAIRS 11" x 2").

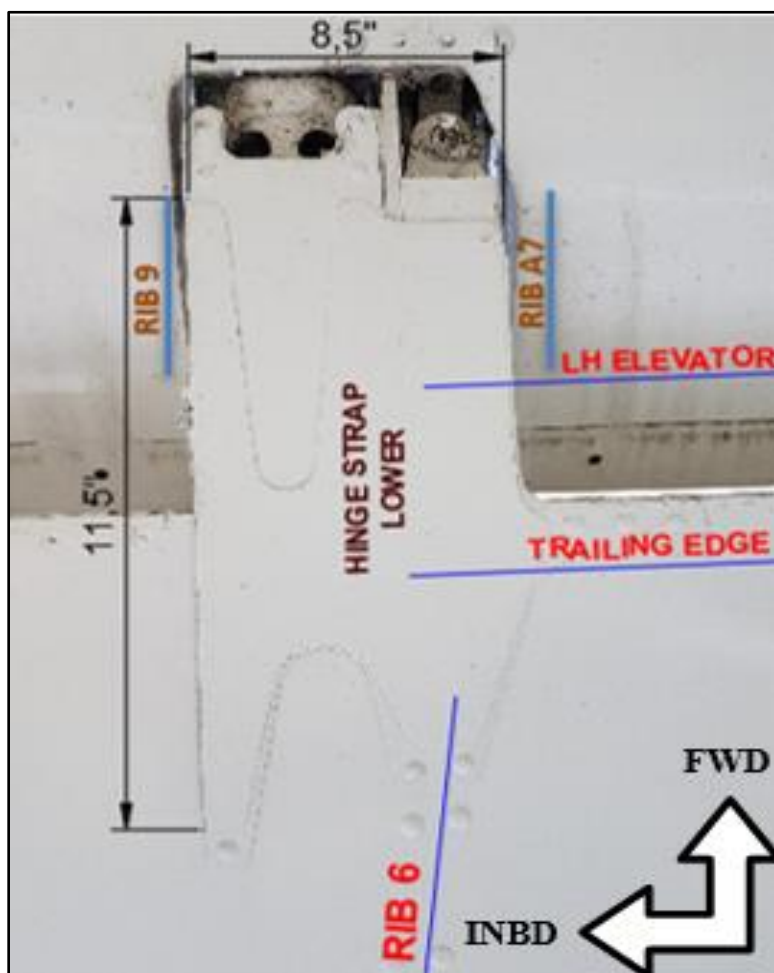
La reparación estructural está ubicada en la parte superior del elevador izquierdo entre la costilla 18 y costilla 19, y en la costilla 11 del estabilizador vertical izquierdo en el borde de salida. Esta reparación tiene una dimensión de 2" de ancho y 11" de largo. Mediante el manual de SRM, la reparación es denominada HINGE STRAP.



**Figura 76.** Reparación estructural del hinge strap RH.

- **DISCREPANCIA 4:** LH HORIZONTAL STABILIZER: RIB 6, TRAILING EDGE; LH ELEVATOR: RIB A7 – RIB 9. HINGE STRAP LOWER (REPAIRS 11,5" x 8,5").

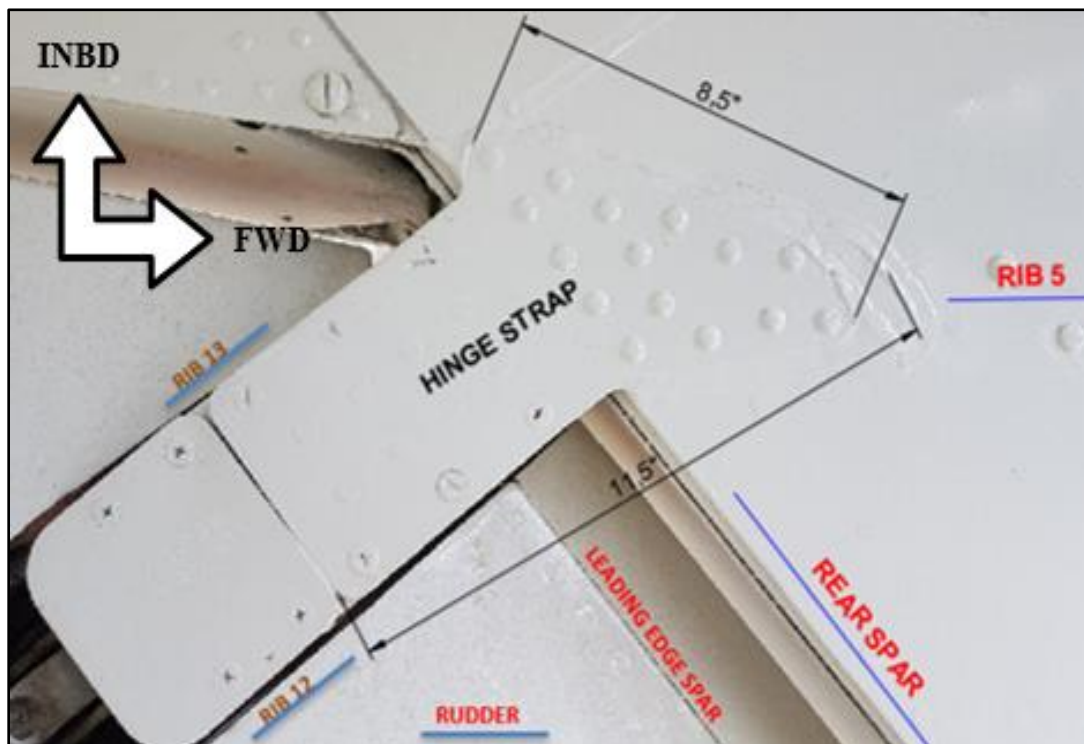
La reparación estructural está ubicada en la parte inferior del estabilizador vertical izquierdo en la costilla 6 en el borde de salida. Y entre la costilla A7 y costilla 9 del elevador izquierdo. Esta reparación tiene una dimensión de 2" de ancho y 11" de largo. Mediante el manual de SRM, la reparación es denominada HINGE STRAP.



**Figura 77.** Reparación estructural del hinge strap RH.

- **DISCREPANCIA 5:** LH VERTICAL STABILIZER: RIB 5 - RIB 4, REAR SPAR; RUDDER: RIB 12 – RIB 13, LEADING EDGE SPAR. LH HINGE STRAP (REPAIRS 11,5" x 8,5").

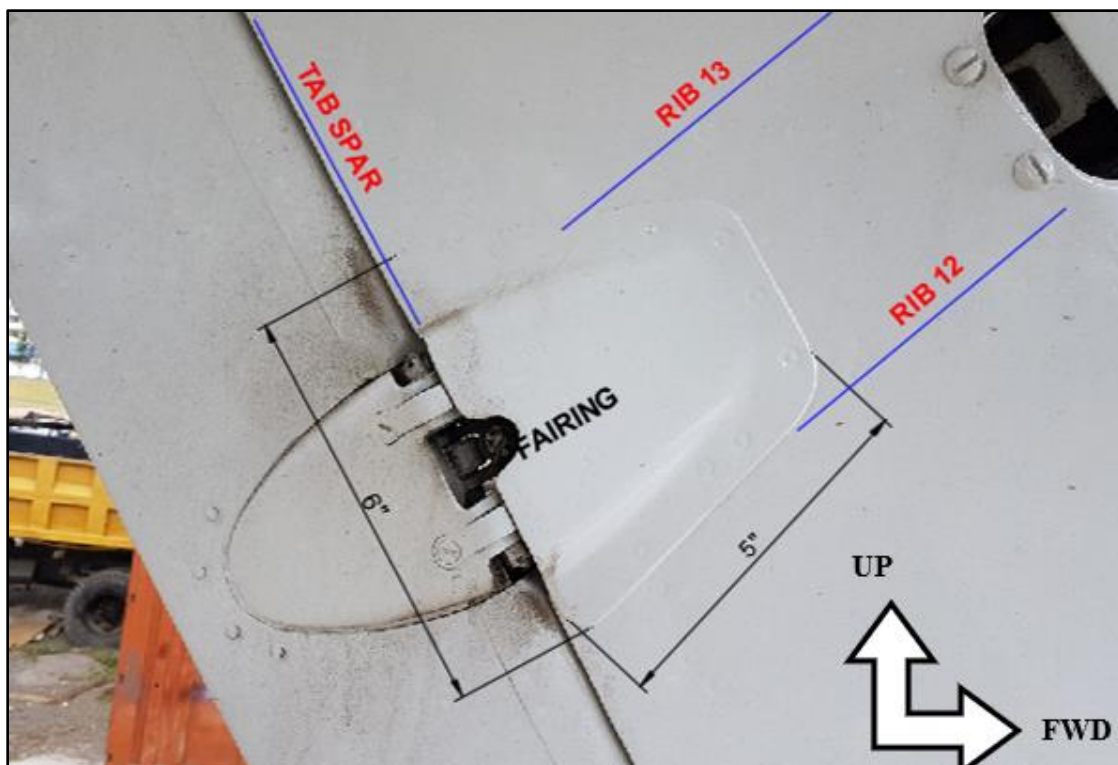
La reparación estructural está ubicada entre la costilla 12 y la costilla 13 del rudder en el borde de salida. Y en la costilla 5 del estabilizador vertical izquierdo en el larguero rear spar. Esta reparación tiene una dimensión de 8,5" de ancho y 11,5" de largo. Mediante el manual de SRM, la reparación es denominada HINGE STRAP.



**Figura 78.** Reparación estructural del hinge strap LH.

- **DISCREPANCIA 6:** LH RUDDER, TAB SPAR, RIB 12 -. RIB 13. FAIRING LH. (REPAIRS 6" x 5").

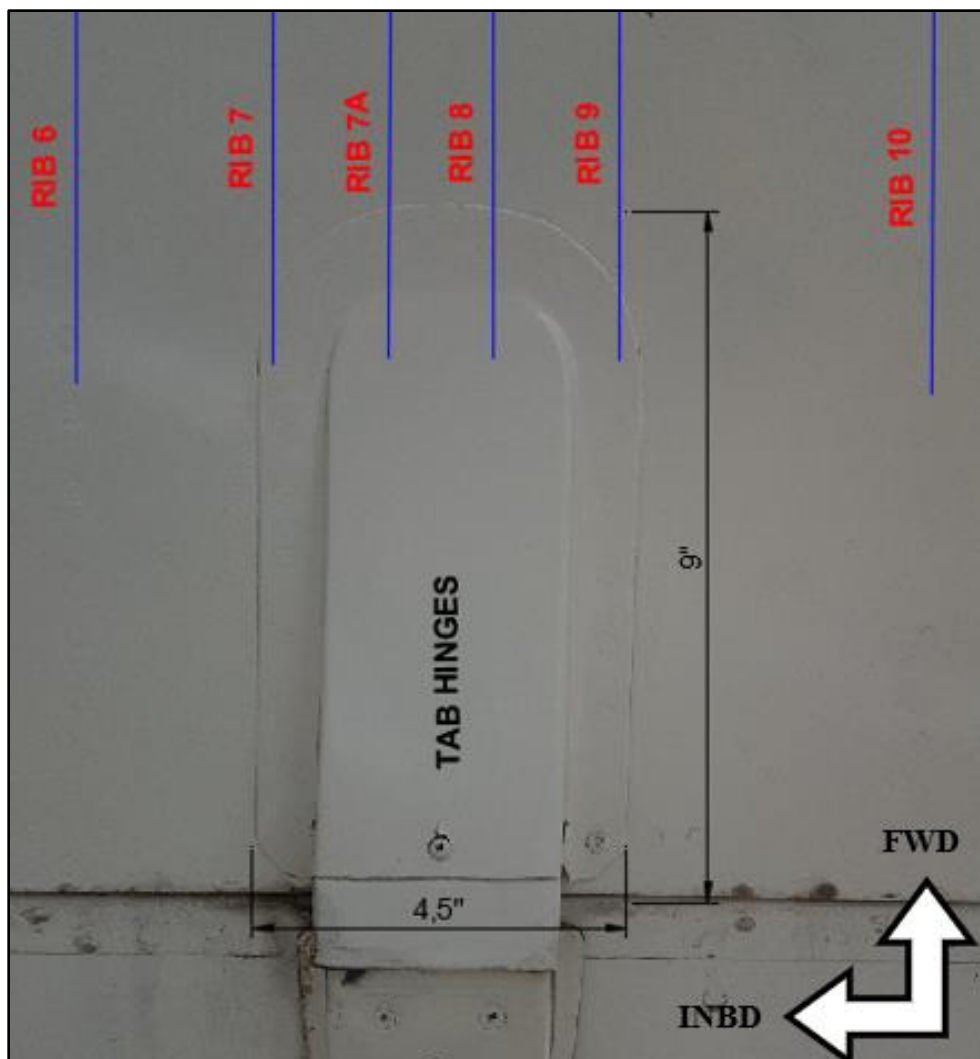
La reparación estructural está ubicada en la parte izquierda del rudder entre la costilla 12 y la costilla 13 en el tab spar. Esta reparación tiene una dimensión de 6" de ancho y 5" de largo. Mediante el manual de SRM, la reparación es denominada FAIRING.



**Figura 79.** Reparación estructural del hinge strap LH.

- **DISCREPANCIA 7:** LH ELEVATOR, RIB 7 -RIB A7 – RIB 8, RIB 9. TAB HINGES LOWER. (REPAIRS 9" x 4,5").

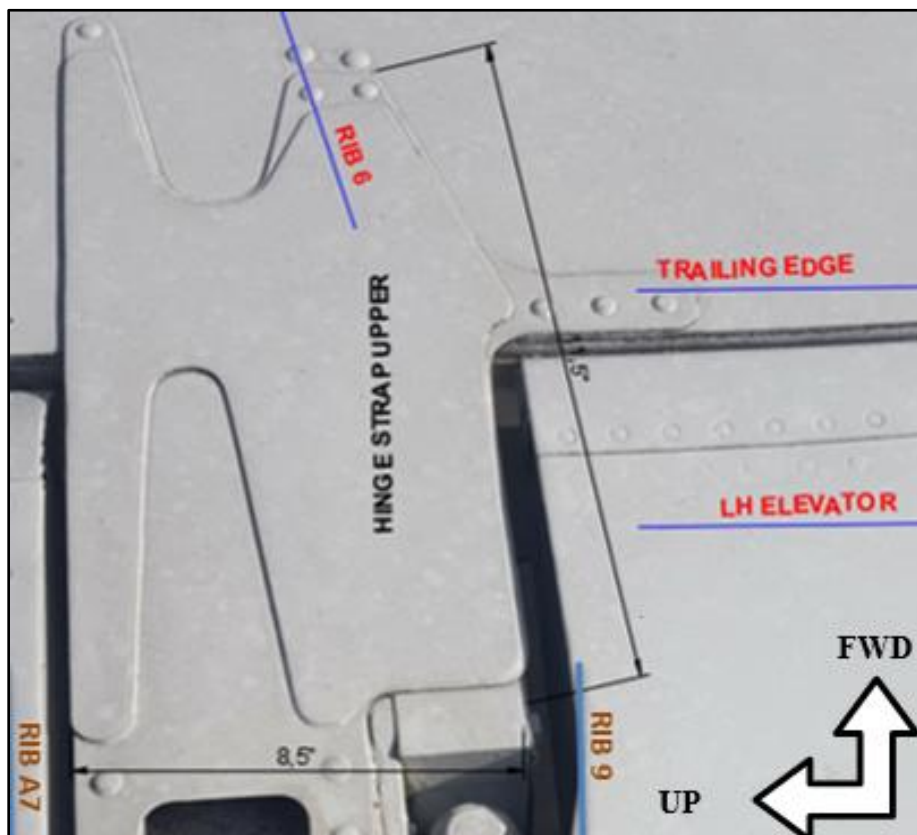
La reparación estructural está ubicada en la parte inferior del elevador izquierdo entre la costilla 7 y la costilla 9. Esta reparación tiene una dimensión de 4,5" de ancho y 9" de largo. Mediante el manual de SRM, la reparación es denominada TAB HINGES.



**Figura 80.** Reparación estructural en el estabilizador vertical.

- **DISCREPANCIA 8:** LH HORIZONTAL STABILIZER: RIB 6, TRAILING EDGE; LH ELEVATOR: RIB A7 – RIB 9. HINGE STRAP UPPER. (REPAIRS 11,5" x 8,5").

La reparación estructural está ubicada en la parte superior del estabilizador horizontal izquierdo en la costilla 6 en el borde de salida. Y entre la costilla A7 y costilla 9 del elevador izquierdo. Esta reparación tiene una dimensión de 8,5" de ancho y 11,5" de largo. Mediante el manual de SRM, la reparación es denominada HINGE STRAP.



**Figura 81.** Reparación estructural en el estabilizador horizontal.



- **DISCREPANCIA 9:** LH VERTICAL STABILIZER, STR 1 – STR 2 – STR 3 - STR 4 - RIB 6, REAR SPAR – FORWARD SPAR. (REPAIRS 29" x 5,5").

La reparación estructural está ubicada debajo del estabilizador horizontal izquierdo. En la parte izquierda del estabilizador vertical izquierdo entre el borde delantero y el borde de salida, se distingue el larguero 1, larguero 2, larguero 3 y el larguero 4. Con una dimensión de 5,5" de ancho y 29" de largo.



**Figura 82.** Reparación estructural en el estabilizador vertical.

- **DISCREPANCIA 10:** LH VERTICAL STABILIZER, REAR SPAR – FORWARD SPAR, ROOT RIB, STR 1 –STR 2 – STR 3 - STR 4 (REPAIRS 56" x 12").

La reparación estructural está ubicada en la parte inferior del estabilizador vertical izquierdo en el root rib, entre el borde delantero y el borde de salida, en el que se distingue el larguero 1, larguero 2, larguero 3 y el larguero 4 Esta reparación tiene una dimensión de 12" de ancho y 56" de largo.

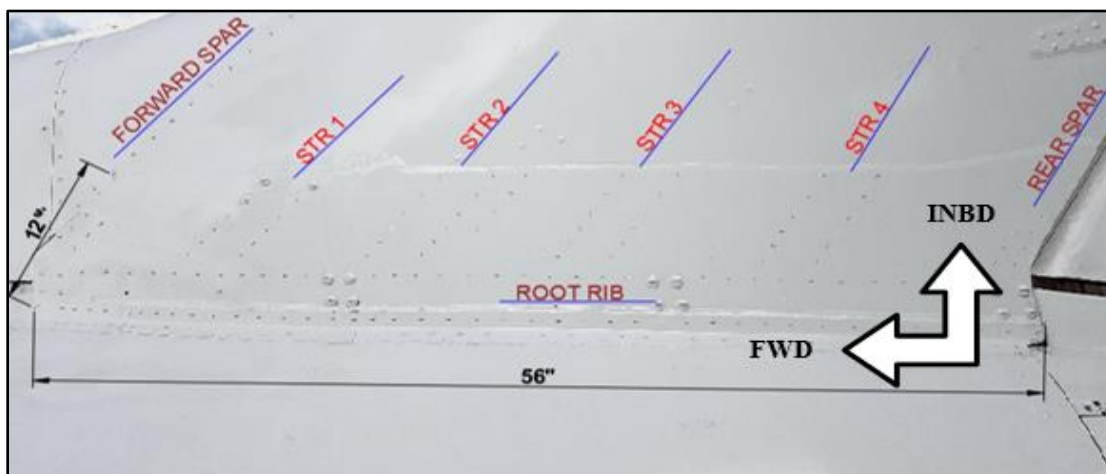




**Figura 83.** Reparación estructural en el estabilizador vertical LH.

- **DISCREPANCIA 11:** RH VERTICAL STABILIZER, REAR SPAR – FORWARD SPAR, ROOT RIB, STR 1 –STR 2 – STR 3 - STR 4 (REPAIRS 56" x 12").

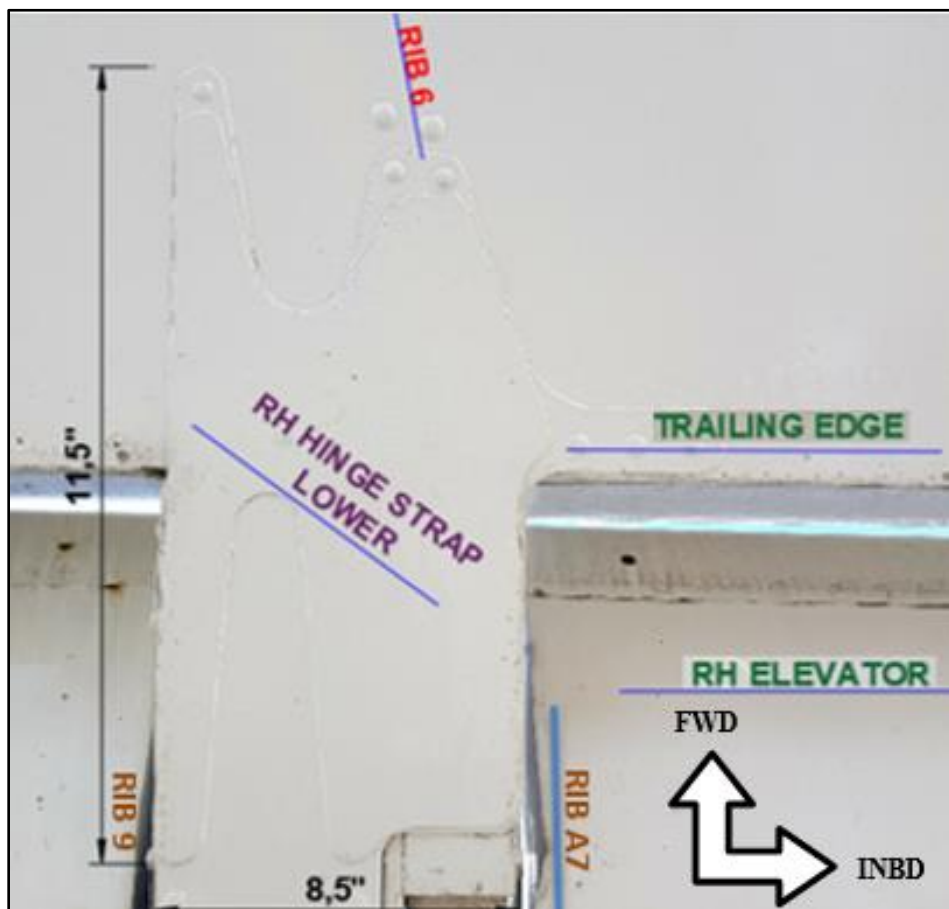
La reparación estructural está ubicada en la parte inferior del estabilizador vertical derecho en el root rib, entre el borde delantero y el borde de salida, en el que se distingue el larguero 1, larguero 2, larguero 3 y el larguero 4. Esta reparación tiene una dimensión de 12" de ancho y 56" de largo.



**Figura 84.** Reparación estructural en el estabilizador vertical RH.

- **DISCREPANCIA 12:** RH HORIZONTAL STABILIZER: RIB 6, TRAILING EDGE; RH ELEVATOR: RIB A7 – RIB 9. HINGE STRAP LOWER (REPAIRS 11,5" x 8,5").

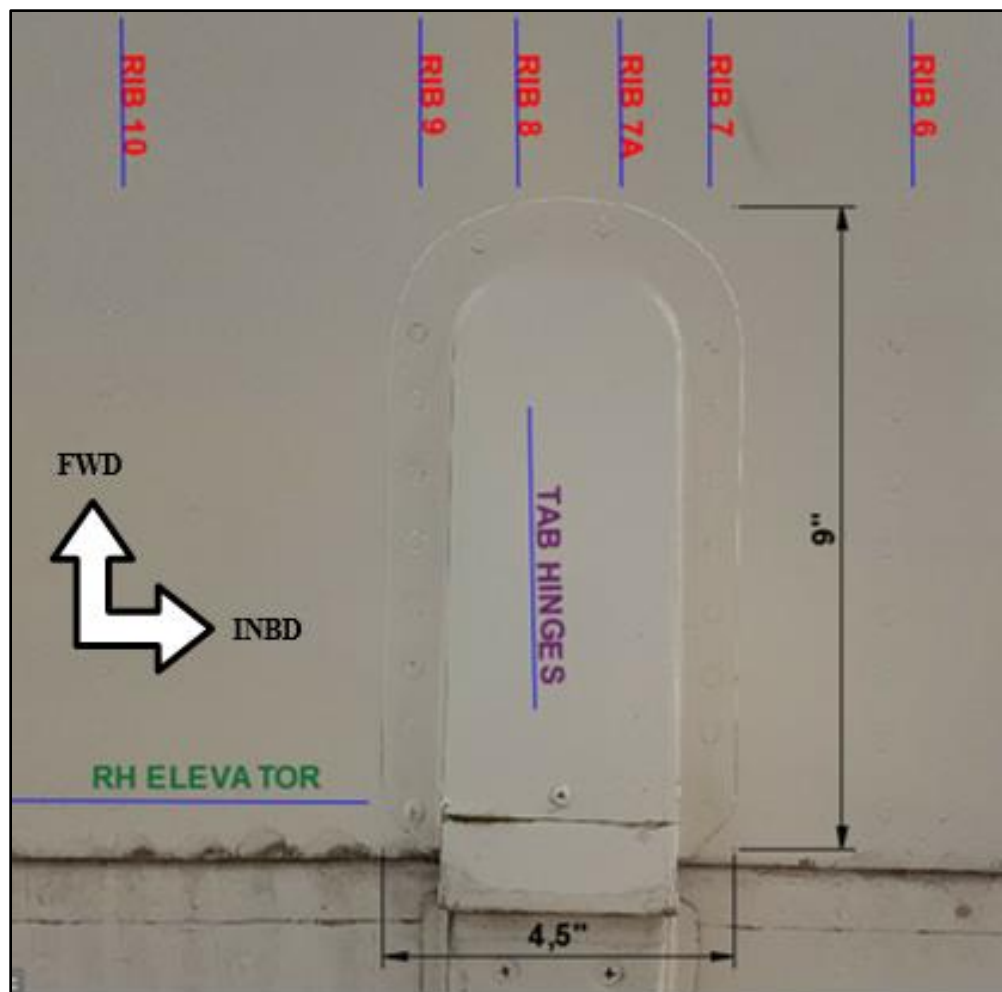
La reparación estructural está ubicada en la parte inferior del estabilizador vertical derecho en la costilla 6 en el borde de salida. Y entre la costilla A7 y costilla 9 del elevador derecho. Esta reparación tiene una dimensión de 2" de ancho y 11" de largo. Mediante el manual de SRM, la reparación es denominada HINGE STRAP.



**Figura 85.** Reparación estructural del hinge strap LH.

- **DISCREPANCIA 13:** RH ELEVATOR, TAB HINGES LOWER, RIB 7 -RIB A7 – RIB 8, RIB 9, (REPAIRS 9" x 4,5").

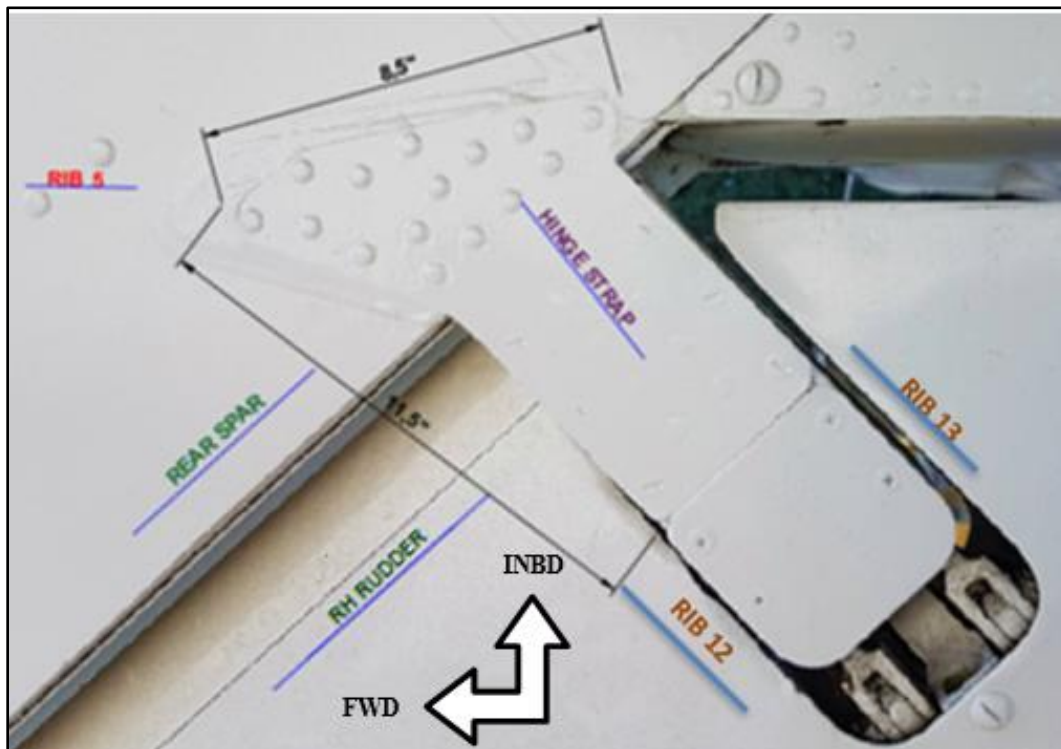
La reparación estructural está ubicada en la parte inferior del elevador derecho entre la costilla 7 y la costilla 9. Esta reparación tiene una dimensión de 4,5" de ancho y 9" de largo. Mediante el manual de SRM, la reparación es denominada TAB HINGES.



**Figura 86.** Reparación estructural en el estabilizador vertical.

- **DISCREPANCIA 14:** RH VERTICAL STABILIZER: RIB 5 - RIB 4, REAR SPAR; RUDDER: RIB 12 – RIB 13, LEADING EDGE SPAR. RH HINGE STRAP (REPAIRS 11,5" x 8,5").

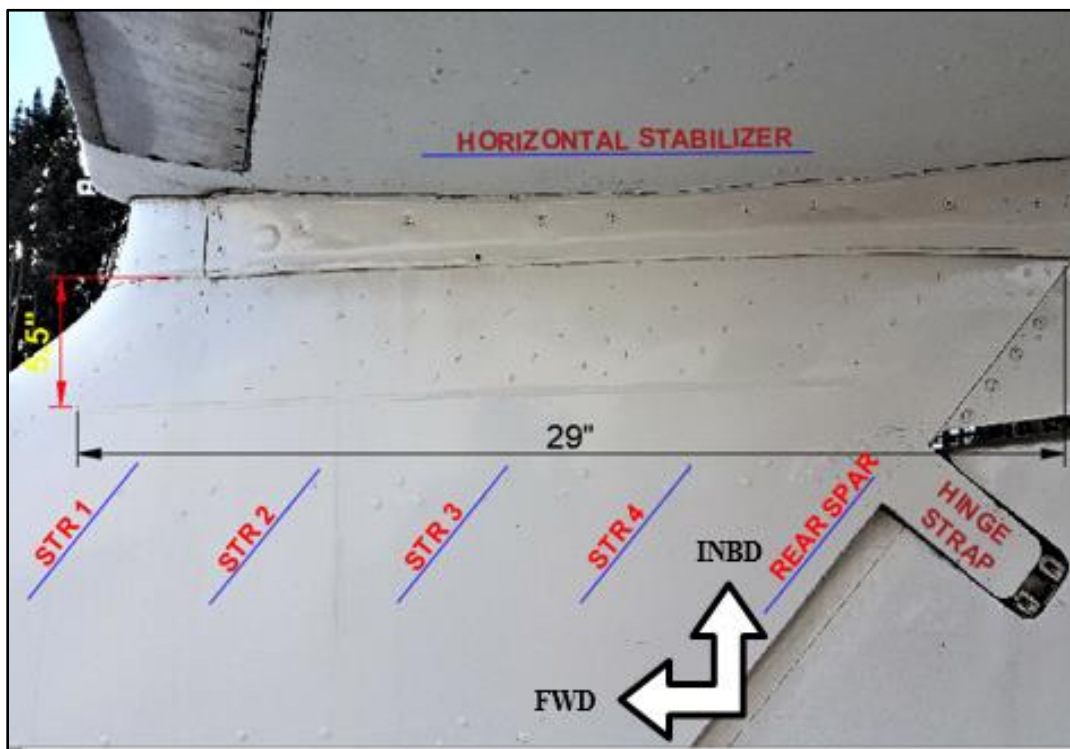
La reparación estructural está ubicada entre la costilla 12 y la costilla 13 del rudder en el borde de salida. Y en la costilla 5 del estabilizador vertical derecho en el larguero rear spar. Esta reparación tiene una dimensión de 8,5" de ancho y 11,5" de largo. Mediante el manual de SRM, la reparación es denominada HINGE STRAP.



**Figura 87.** Reparación estructural del hinge strap RH.

- **DISCREPANCIA 15:** RH VERTICAL STABILIZER, REAR SPAR – FORWARD SPAR, STR 1 – STR 2 – STR 3 - STR 4 -. RIB 6 (REPAIRS 29" x 5,5").

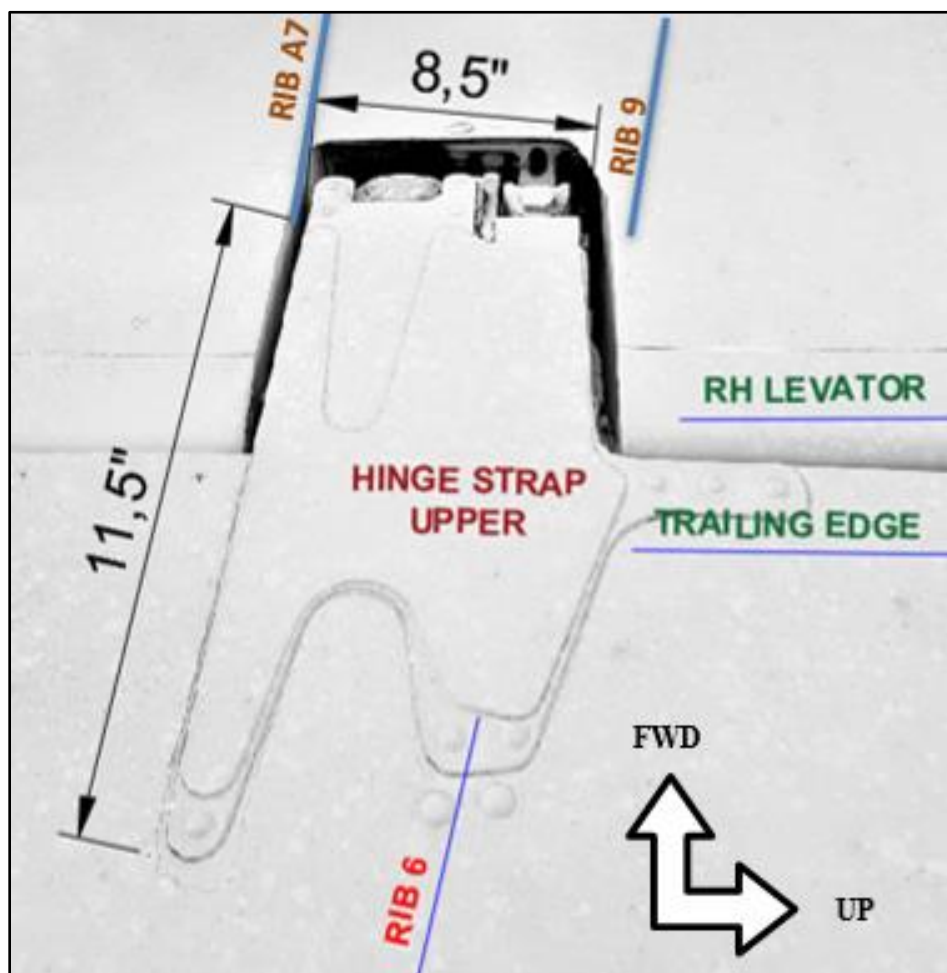
La reparación estructural está ubicada debajo del estabilizador horizontal derecho. Y en la parte izquierda del estabilizador vertical derecho entre el borde delantero y el borde de salida, en el que se distingue el larguero 1, larguero 2, larguero 3 y el larguero 4. Esta reparación tiene una dimensión de 5,5" de ancho y 29" de largo.



**Figura 88.** Reparación estructural en el estabilizador vertical.

- **DISCREPANCIA 16:** RH HORIZONTAL STABILIZER: RIB 6, TRAILING EDGE; RH ELEVATOR: RIB A7 – RIB 9. HINGE STRAP UPPER. (REPAIRS 11,5" x 8,5").

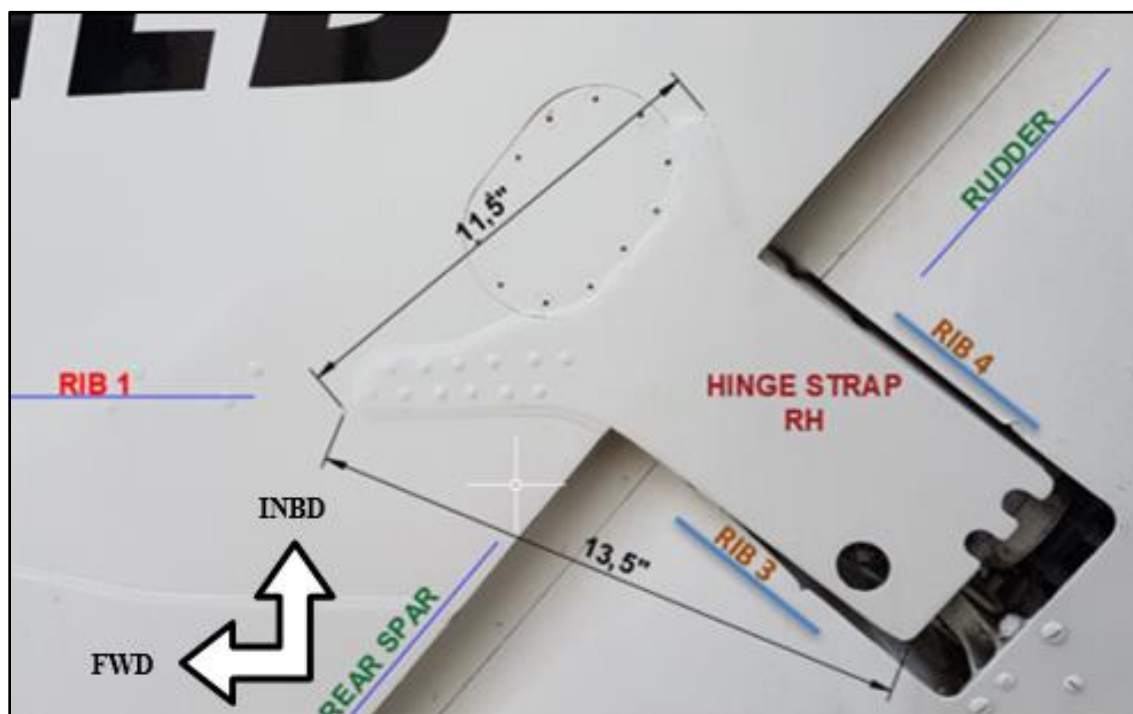
La reparación estructural está ubicada en la parte superior del estabilizador horizontal derecho en la costilla 6 en el borde de salida. Y entre la costilla A7 y costilla 9 del elevador derecho. Esta reparación tiene una dimensión de 8,5" de ancho y 11,5" de largo. Mediante el manual de SRM, la reparación es denominada HINGE STRAP.



**Figura 89.** Reparación estructural en el estabilizador horizontal.

- **DISCREPANCIA 17:** RH HORIZONTAL STABILIZER: RIB 6, TRAILING EDGE; RH ELEVATOR: RIB A7 – RIB 9. HINGE STRAP LOWER (REPAIRS 11,5" x 8,5").

La reparación estructural está ubicada entre la costilla 1 y la costilla 2 del estabilizador vertical derecho en el larguero rear spar, y en la costilla 3 y costilla 4 del rudder. Esta reparación tiene una dimensión de 13,5" de ancho y 11,5" de largo. Mediante el manual de SRM, la reparación es denominada HINGE STRAP.

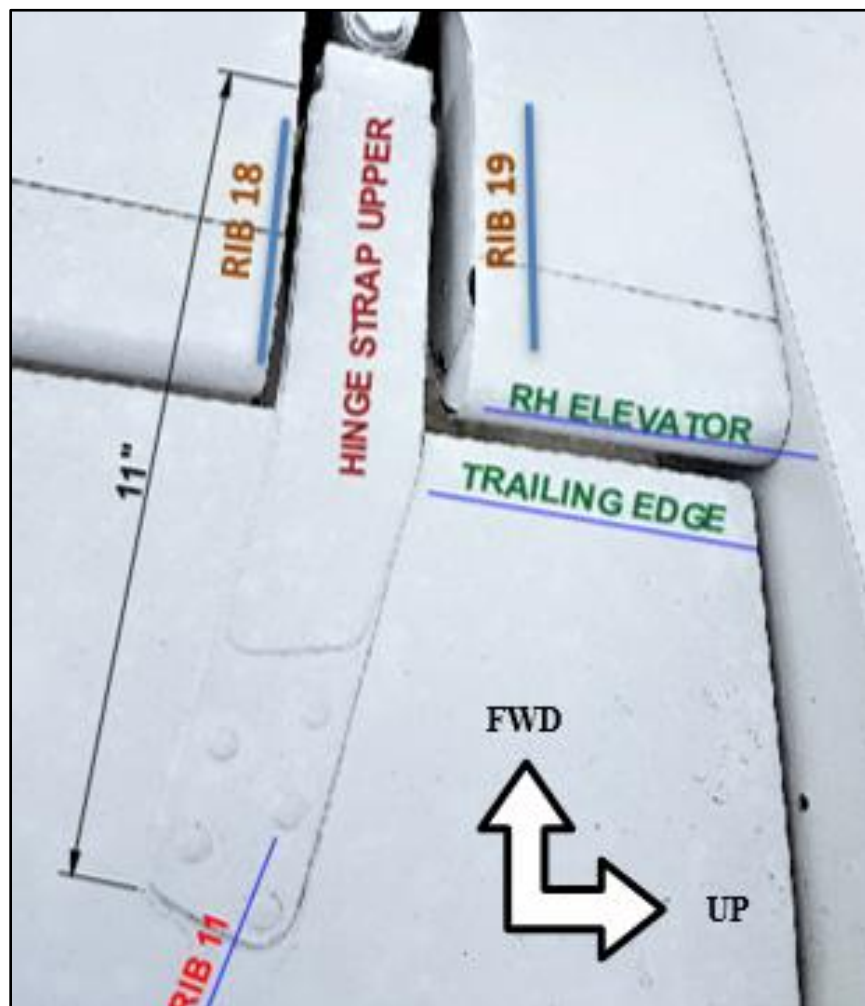


**Figura 90.** Reparación estructural del hinge strap RH.



- **DISCREPANCIA 18:** RH HORIZONTAL STABILIZER: RIB 11, TRAILING EDGE; RH ELEVATOR: RIB 18 – RIB 19. HINGE STRAP UPPER (REPAIRS 11" x 2").

La reparación estructural está ubicada en la parte superior del elevador derecho entre la costilla 18 y costilla 19, y en la costilla 11 del estabilizador vertical derecho en el borde de salida. Esta reparación tiene una dimensión de 2" de ancho y 11" de largo. Mediante el manual de SRM, la reparación es denominada HINGE STRAP.

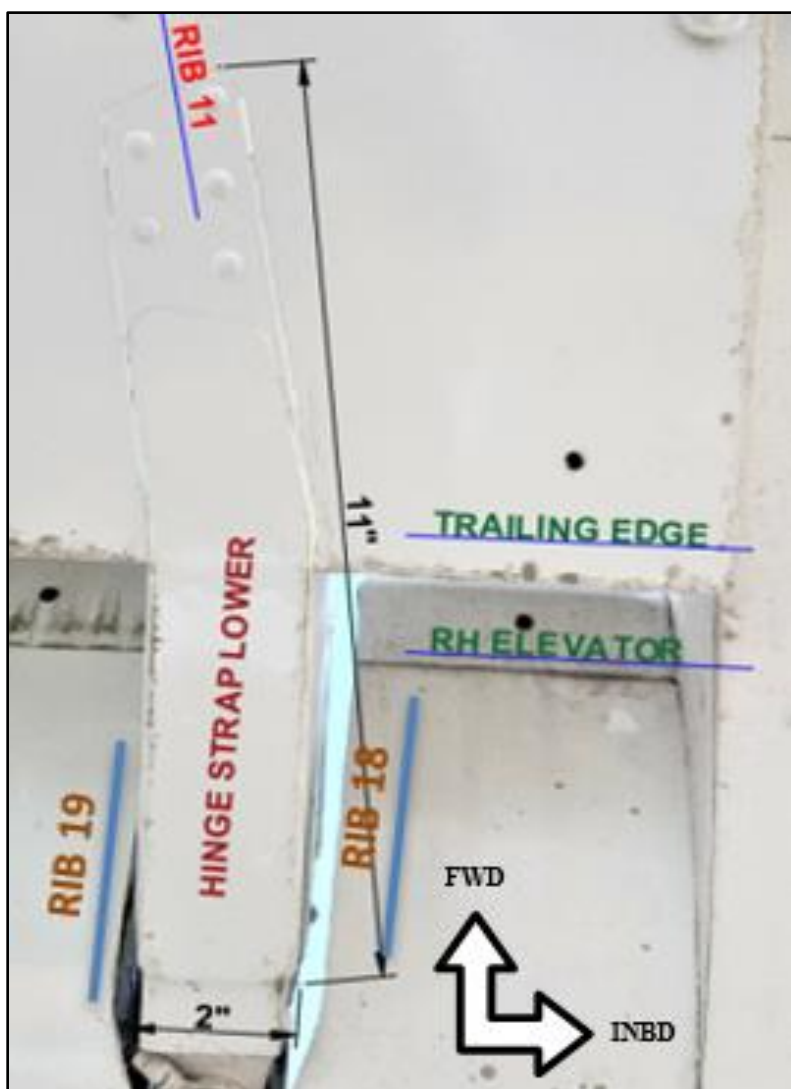


**Figura 91.** Reparación estructural del hinge strap.



- **DISCREPANCIA 19:** RH HORIZONTAL STABILIZER, TRAILING EDGE, RIB 11; RH ELEVATOR: RIB 18 – RIB 19. HINGE STRAP LOWER (REPAIRS 11" x 2").

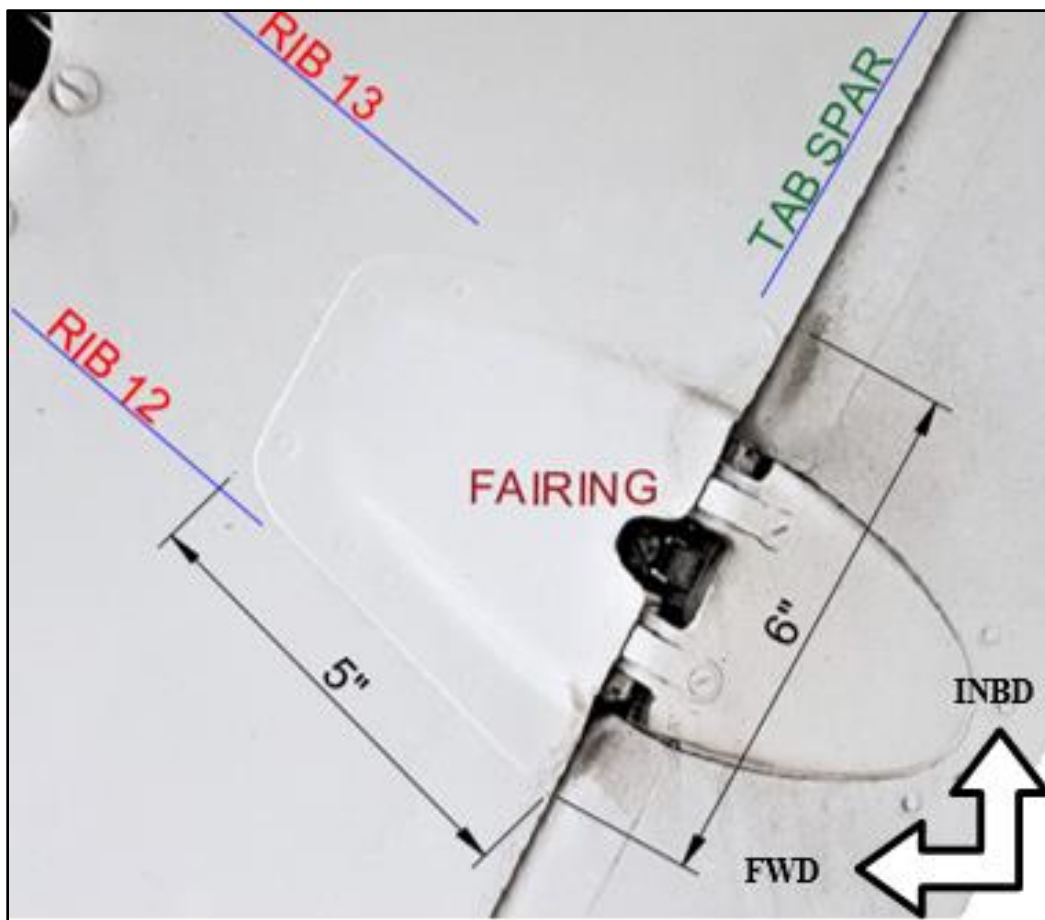
La reparación estructural está ubicada en la parte inferior del estabilizador horizontal derecho en la costilla 11 en el borde de salida, y en la costilla 18 y costilla 19 del elevador derecho. Esta reparación tiene una dimensión de 2" de ancho y 11" de largo.



**Figura 92.** Reparación estructural del hinge strap lower.

- **DISCREPANCIA 20:** RH RUDDER, TAB SPAR, RIB 12 -. RIB 13. RH FAIRING. (REPAIRS 6" x 5").

La reparación estructural está ubicada en la parte derecha del rudder entre la costilla 12 y la costilla 13 en el tab spar. Esta reparación tiene una dimensión de 6" de ancho y 5" de largo. Mediante el manual de SRM, la reparación es denominada FAIRING.

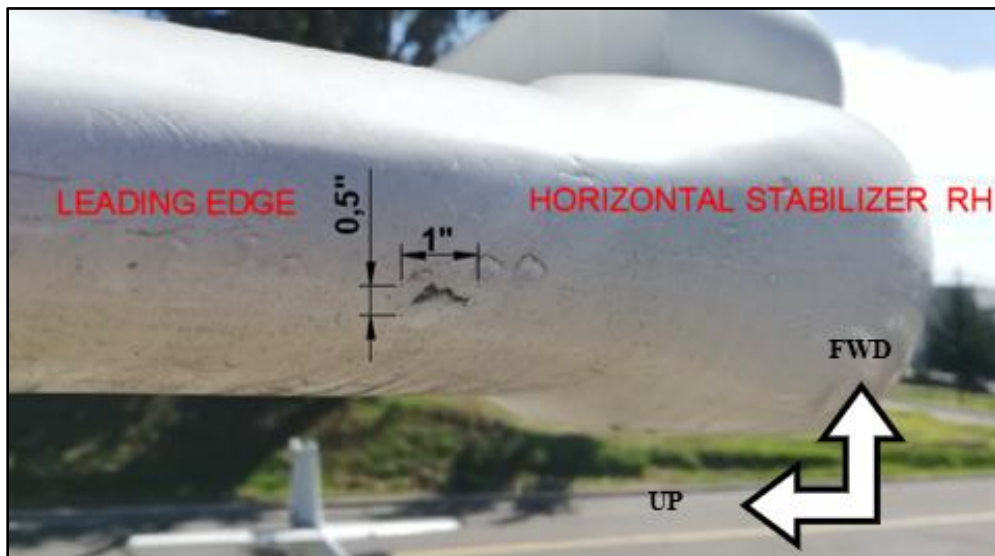


**Figura 93.** Reparación estructural del hinge strap RH.

### 3.7.2 Rajaduras

- **DISCREPANCIA 1:** RH HORIZONTAL STABILIZER, LEADING EDGE, (CRACKING 1" X 0,5"). Esta rajadura está ubicada en el borde delantero del estabilizador horizontal derecho, tiene una dimensión de 0,5" de ancho y 1" de largo.

De acuerdo al manual del SRM, ATA 51 – 40, Pág. 6. La rajadura tiene que estar dentro de los límites permisibles, que no exceda de 5/32" de diámetro y que no sobrepase de 1,00" de diámetro. Y que el pulido no exceda de 0,005" de profundidad, se procederá a pulir y a masillar el área afectada de acuerdo al literal B, numeral 1 al 11. Ver figura 92 o anexo 6.



**Figura 94.** Rajadura en el estabilizador horizontal.

#### Pitting in Skin Panels

Small spots of damage on the surface of any skin panel, caused for example by lightning or impingement of hard small objects, may be considered allowable damage if no larger than 5/32 in. (0.156 mm) diameter, no closer than 1.00 in. (25.4 mm) apart and when blended out and polished do not exceed 0.005 in. (0.127 mm) in depth.

**Figura 95.** Hawker Siddely: SRM, ATA 50 – 40; pág. 6.

- **DISCREPANCIA 2:** RH HORIZONTAL STABILIZER, LEADING EDGE, (CRACKING 2,5"). Esta rajadura está ubicada en el borde delantero del estabilizador horizontal derecho, tiene una dimensión de 2,5" de largo.

Como se puede apreciar en la figura 95, en el manual SRM, ATA 51 – 40, Pág. 6. Se establece los procedimientos para pulir y masillar en el área afectada, que no exceda de 0,005" de profundidad de acuerdo al literal B, numeral 1 al 11.

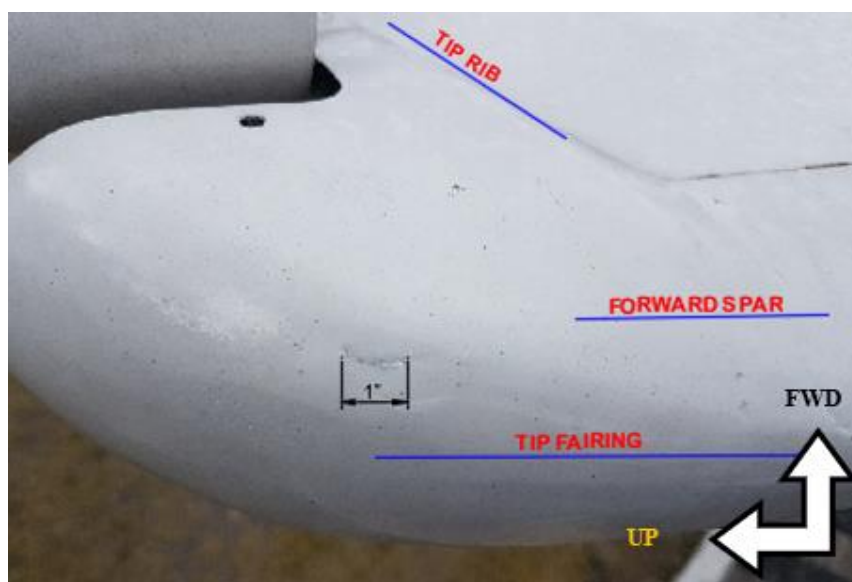


**Figura 96.** Rajadura en el borde de ataque del estabilizador vertical.

### 3.7.3 Hundimientos

- **DISCREPANCIA 1:** LH HORIZONTAL STABILIZER, LEADING EDGE, TIP RIB, TIP FAIRING, (DENT 1"). El hundimiento está ubicado en el área entre el tip rib y el tip fairing en el borde delantero del estabilizador horizontal izquierdo, tiene una dimensión de 1" de largo.

De acuerdo al manual SRM, ATA 51 – 10 – 11, pág. 6, pág. 11, figura 3. Muestra dos ejemplos típicos de un diagrama de daños. El método más fácil de obtener muestras completas de áreas dañadas, es tomar un seguimiento o referencia directamente del área dañada. Se debe tener puntos de referencia necesarios (líneas de remaches, marcos, bordes de ventana/puertas, etc.) para proporcionar información precisa de la ubicación del daño. Ver figura 98 y figura 99 o anexo 7 y anexo 8.



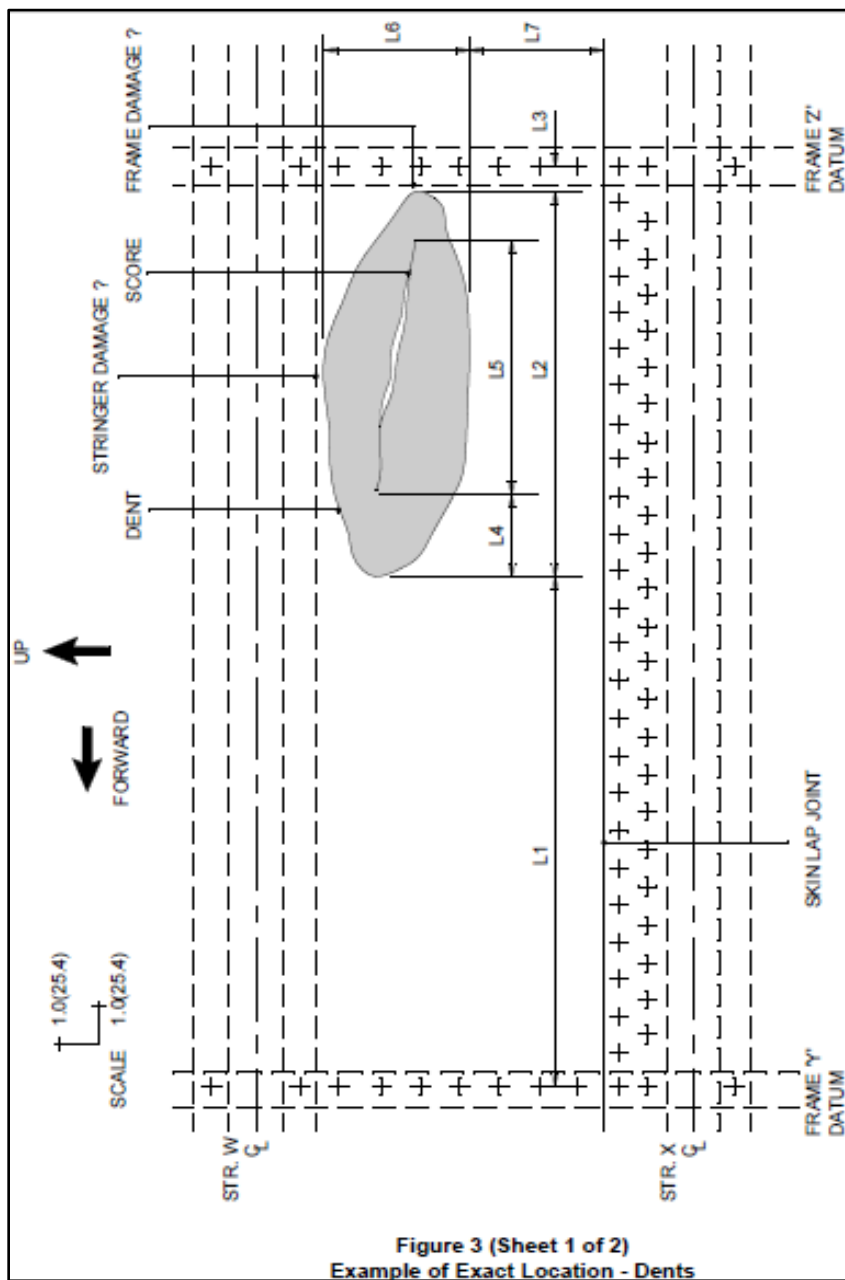
**Figura 97.** Hundimiento en el estabilizador horizontal.

Figure 3 - Example of Exact Location - Dents (Sheet 1) - Corrosion (Sheet 2)

This shows two typical examples of a damage diagram. Scale should be full size. The easiest method of producing a full size drawing of the damage area is to take a rubbing or tracing, directly from the damage surface.

Care should be taken to include sufficient reference points around the damage area to provide accurate location. Reference points should be rivet lines, skin laps, frames, door/ window edges etc.

**Figura 98.** Hawker Siddely: SRM, ATA 51 – 10 – 11, pág. 6.

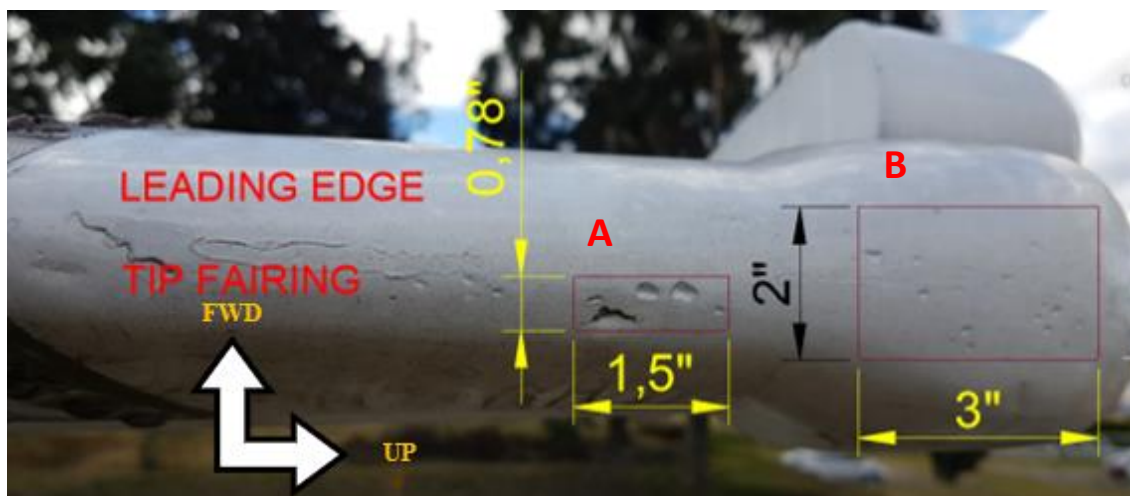


**Figura 99.** Hawker Siddely: SRM, ATA 51 – 10 – 11, pág. 11.

- **DISCREPANCIA 2:** RH HORIZONTAL STABILIZER, LEADING EDGE, TIP FAIRING, (DENT 1,5" x 0,78"; 2" x 3"). En la figura 97 se observa un cierto número de hundimientos ubicado en el tip fairing en el borde delantero del estabilizador horizontal derecho, tiene las siguientes dimensiones: sección A: 0,78" de alto y 1,5" de largo; sección B: 2" de ancho y 3" de largo.

De acuerdo al manual SRM, ATA 51 – 10 – 11, pág. 6, pág. 11, figura 106. Muestra el método para obtener muestras completas de áreas dañadas. Para ello se debe tener varios puntos de referencia necesarios (líneas de remaches, marcos, bordes de ventana/puertas, etc.) para proporcionar información precisa de la ubicación del daño.

Ver figura 98 y figura 99.



**Figura 100.** Hundimientos en el estabilizador derecho.

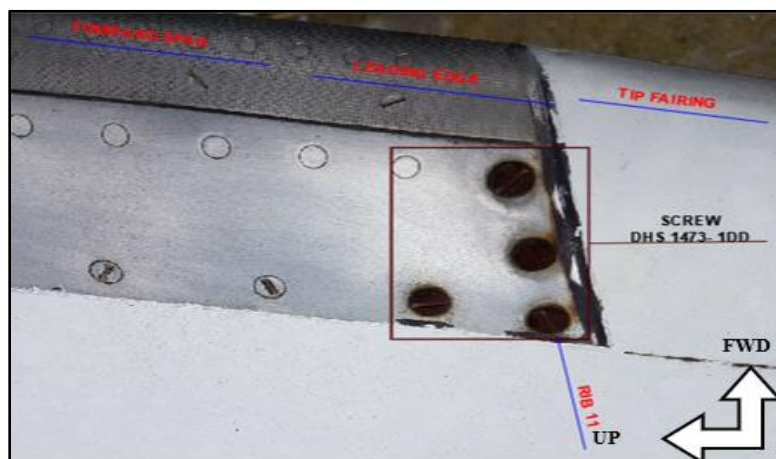


### 3.7.4 Discrepancias adicionales encontradas

#### a. Corrosión en los tornillos

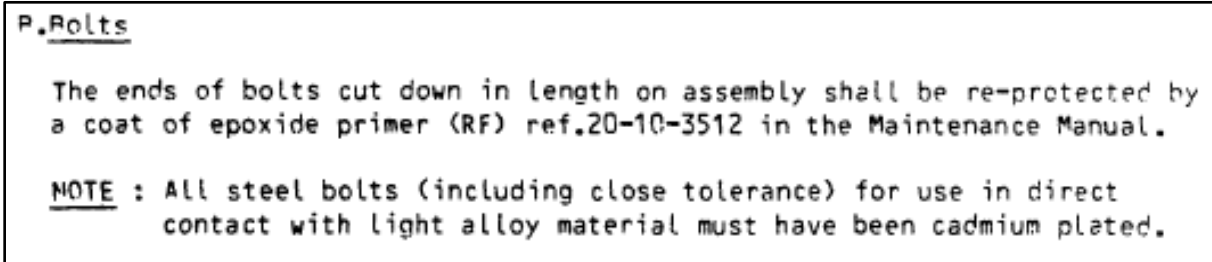
- **DISCREPANCIA 1:** LH HORIZONTAL STABILIZER, UPPER LEADING EDGE, FORWARD SPAR LH, RIB 10 – RIB11, TIP FAIRING (CORROSION SCREW DHS 1473- 1DD). La corrosión en los tornillos DHS 1473 1DD, está ubicada en la parte superior del estabilizador horizontal izquierdo. Entre la costilla 11, tip fairing del borde de ataque.

Para el ensamblaje respectivo con un perno cortado, debe estar protegido por una capa de primer epóxica. Ver la referencia en el manual de mantenimiento ATA 20 – 10 – 3512. En el caso que los pernos sean de acero que estén en contacto directo con el material de una aleación ligera, debe ser recubierto en cadmio. Ver figura 102 para mayor información o anexo 9.



**Figura 101.** Corrosión en los tornillos DHS 1473- 1DD.

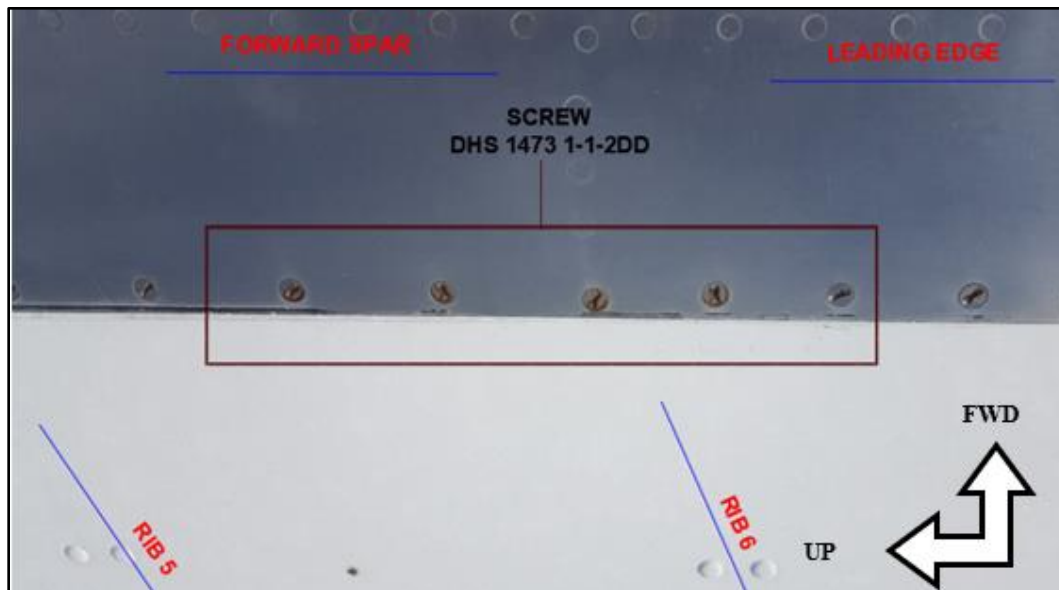




**Figura 102.** Hawker Siddely: SRM, ATA 51 – 30 – 61, pág. 1

- **DISCREPANCIA 2:** LH HORIZONTAL STABILIZER, UPPER LEADING EDGE, FORWARD SPAR LH, RIB 5 – RIB 6 – RIB - 7 (SCREW DHS 1473 - 1 – 1 - 2DD). La corrosión en los tornillos DHS 1473 1 – 1 - 2DD, está ubicada en la parte superior del borde de ataque. Entre la costilla 5, costilla 6 y costilla 7 en el estabilizador horizontal izquierdo.

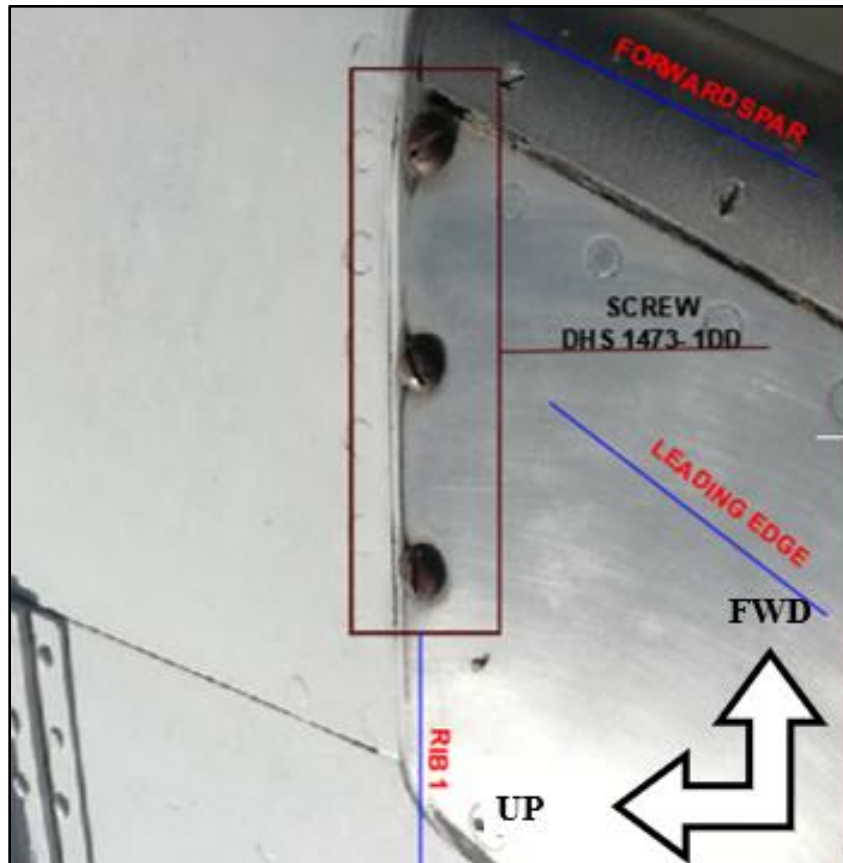
En la figura 102, se detalla el procedimiento que se debe realizar en los tornillos con corrosión. En el caso que los tornillos estén deteriorados, serán reemplazados con el mismo número de parte DHS 1473 1 – 1 – 2DD. Verificar en el área del tornillo, la propagación de la corrosión para prevenir y dar el tratamiento anticorrosivo, como se puede ver en la figura 108 y figura 109.



**Figura 103.** Corrosion en los tornillos DHS 1473-1-1-2DD.

- **DISCREPANCIA 3:** LH HORIZONTAL STABILIZER, UPPER LEADING EDGE, FORWARD SPAR LH, CENTRE LINE - RIB 1 (SCREW DHS 1473 - 1DD). La corrosión en los tornillos DHS 1473 - 1DD, está ubicada en la parte superior del borde de ataque. Entre la costilla 1 a lado de la línea centro del estabilizador horizontal izquierdo.

Uno de los procedimientos que se debe tomar a consideración, al momento de encontrar tornillos con corrosión, se detallan en la figura 102. Si en el caso que los tornillos estén muy deteriorados, se debe reemplazarlos, con el mismo número de parte. En la figura 104, se observa que el número de parte del tornillo es DHS 1473 1DD.

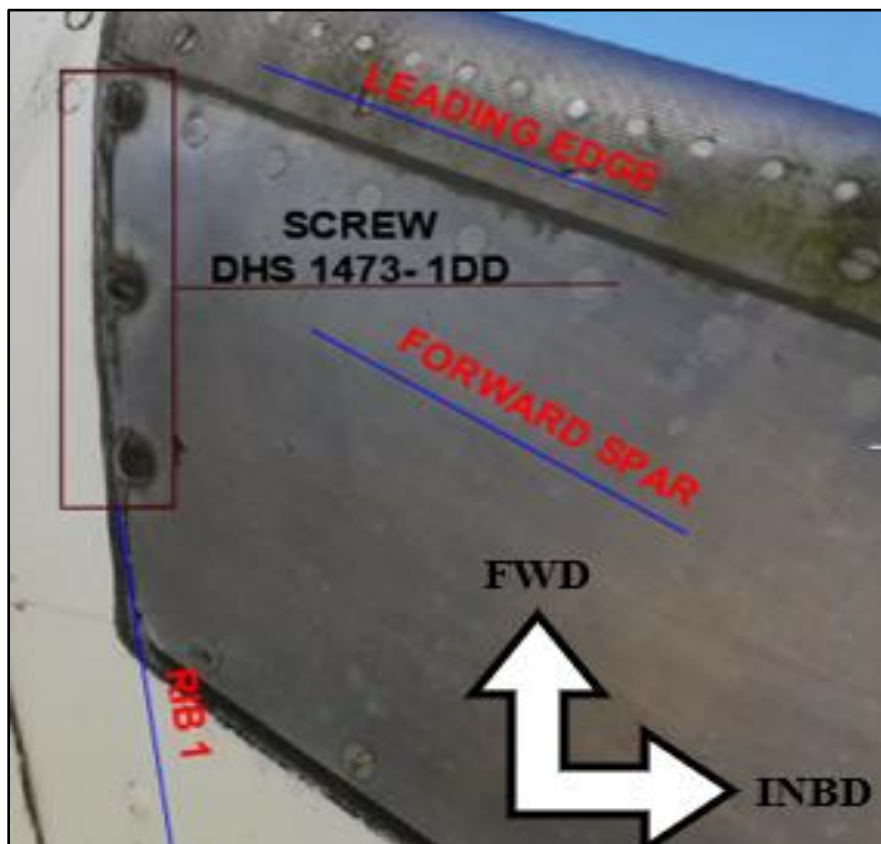


**Figura 104.** Corrosion en los tornillos DHS 1473 - 1DD.

- **DISCREPANCIA 4:** RH HORIZONTAL STABILIZER, LOWER LEADING EDGE, FORWARD SPAR LH, RIB 1 - RIB 2 (SCREW DHS 1473- 1DD). La corrosión en los tornillos DHS 1473 - 1DD, está ubicada en la parte inferior del borde de ataque. Entre las costillas 1 y la costilla 2 en el borde delantero del estabilizador horizontal derecho.

De acuerdo a la inspección realizada. El procedimiento que se debe ejecutar, lo describe en la figura 102 del manual de la aeronave Hawker Siddely: SRM, ATA 51 – 30 – 61, pág. 1. Verificar en el área del tornillo, la propagación de la corrosión para

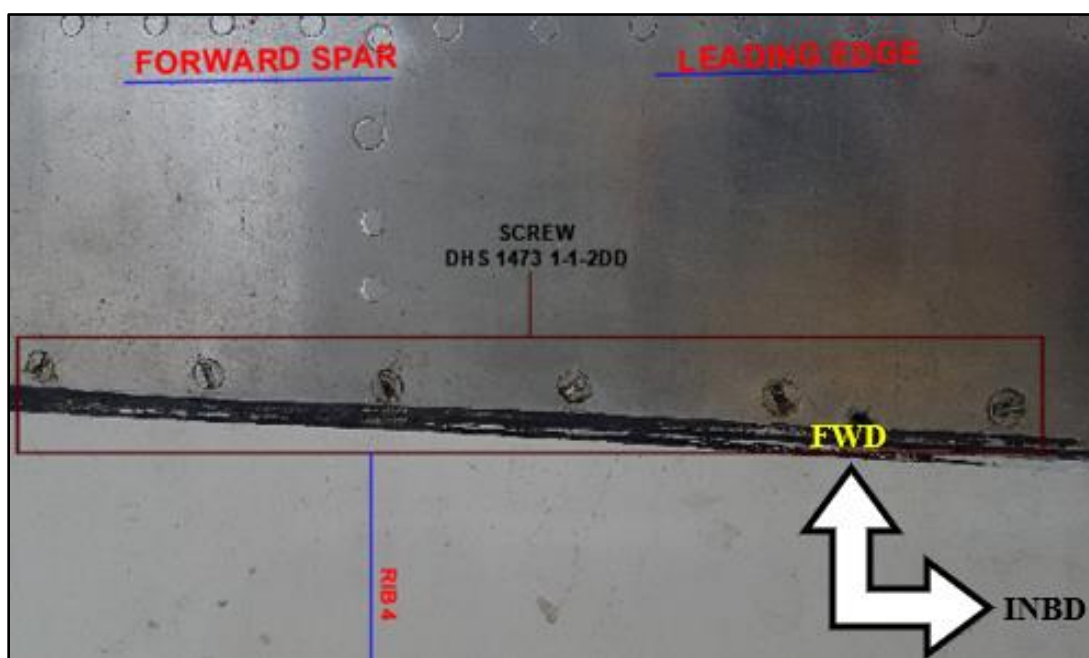
prevenir y dar el tratamiento anticorrosivo, como se puede ver en la figura 108 y figura 109.



**Figura 105.** Corrosión en el estabilizador horizontal derecho.

- **DISCREPANCIA 5:** RH HORIZONTAL STABILIZER, LOWER LEADING EDGE, FORWARD SPAR LH, RIB 3 - RIB 4 – RIB 5 (SCREW DHS 1473- 1DD). La corrosión en los tornillos DHS 1473 - 1DD, está ubicada en la parte inferior del borde de ataque. Entre la costilla 3, costilla 4 y la costilla 5 en el borde delantero del estabilizador horizontal derecho.

Una consideración muy importante, es verificar si el tornillo está en buenas condiciones al momento de realizar una inspección. En el caso que el tornillo este con presencia de corrosión, se verificara en la figura 102 del manual de la aeronave Hawker Siddely: SRM, ATA 51 – 30 – 61, pág. 1. Para dar solución a los casos encontrados, si en el caso lo amerite, ser reemplazados con el mismo número de parte del tornillo.



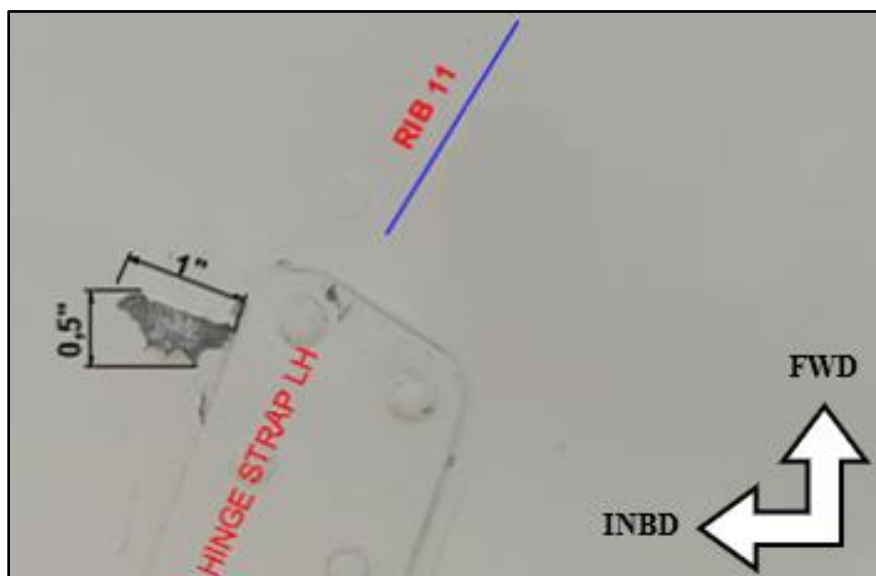
**Figura 106.** Corrosión en los tornillos del estabilizador horizontal RH.

**b. Corrosión en las láminas de aluminio del empenaje**

- **DISCREPANCIA 6:** RH HORIZONTAL STABILIZER, REAR SPAR LH, NEAR HINGE STRAP, RIB 11 – RIB 10 (CORROSION 1" x 0,5"). La corrosión tiene una dimensión

de 1" largo y 0,5" de ancho. Está ubicada entre la costilla 11 y costilla 10, lado de la reparación estructural hinge strap en el rear spar del estabilizador horizontal derecho.

De acuerdo al manual SRM, ATA 51 – 30 – 61, pág. 2, figura 101. Las partes reparadas deben ser anodizados para ser usados como una protección adicional contra la corrosión. En áreas donde se ha removido el tratamiento anticorrosivo, dejando al desnudo la superficie de la piel se procede a desengrasar el área incluyendo la existencia de pintura, aplicar alocrom y una capa de primer epóxica en toda el área de corrosión. En la figura 108 y 109, establece los procedimientos para dar un tratamiento anticorrosivo a las aleaciones de aluminio. Para mayor información ver anexo 10 y anexo 11.



**Figura 107.** Corrosión en el estabilizador horizontal RH.

**Aluminium alloy**

(1) Repair parts should be anodized (G) where this treatment is used as an additional precaution against corrosion. These are generally uncladded surfaces; skin surfaces and details inside the fuselage in the keel, toilet and battery areas and wing integral tank areas; aluminium alloy forgings, extrusions and castings.

Where anodizing is found impracticable apply Alocrom 1200 to Process Spec.S.26-4 (Maintenance Manual 20-10-4).

**CAUTION : DO NOT APPLY ALOCROM OVER EXISTING PAINT.**

(2) In areas where the existing protective treatment has been removed leaving a bared metal surface, proceed as follows :-

- Thoroughly degrease the area including the existing paint immediately adjacent.
- Apply Alocrom to completely cover the bared metal.
- Apply one coat of epoxide primer (RF) to BAe Spec.S.26-3512 (Maintenance Manual 20-10-3512) to overlap the existing paint.

The cut edges of existing structure must be similarly treated.

(3) All parts within the fuselage keel, toilet and battery areas and the surfaces of the wing front and rear spars and rib 18, outside the integral tank area, are to be given a final coat of Polyurethane finish (TX) to BAe Spec.S.26-3504 (Maintenance Manual 20-10-3504).

**Figura 108.** Hawker Siddely: SRM, ATA 51 – 30 – 61, pág. 2.

**Aluminium Alloy**

Having confirmed the extent of the cleaned out area does not exceed the allowable limits inhibit corrosion as follows:

- Wash surfaces with Aerokleen CD1.
- Wash with clean water.
- Dry.
- Solvent clean using C28/15 (Azko) or CN44 (Courtaulds) thinners and allow to dry.
- Inhibit the damage area with chromic acid solution (1/4 lb (114 g) chromic acid crystals to 1/2 gallon (2.27 l) of water) working the solution into the surface and allowing it to remain in contact for 10 minutes.

**WARNING: TO AVOID DANGER TO HEALTH, PERSONNEL HANDLING CHROMIC ACID SOLUTIONS MUST WEAR SUITABLE PROTECTIVE CLOTHING TOGETHER WITH RUBBER GLOVES AND GOGGLES; ANY OF THE SOLUTION IN CONTACT WITH THE SKIN MUST BE WASHED OFF IMMEDIATELY WITH WATER.**

- Wipe the excess acid solution away with a clean cloth moistened in water, and finally dry off with clean dry cloths. In pitted areas ensure thorough drying out by also blowing in warm dry air.
- Finally apply the correct protective treatment. In the instance of an exterior unpainted surface where its cladding has been penetrated locally apply Alocrom 1200 (see 51-30-61).

**Figura 109.** Hawker Siddely: SRM, ATA 51 – 10 – 41, pág. 2.

- **DISCREPANCIA 7:** RH HORIZONTAL STABILIZER, TRAILING EDGE, HINGE STRAP, RIB 11 (CORROSION 1,5" x 2"). La corrosión tiene una dimensión de 2" largo y 1,5" de ancho. Está ubicada entre la costilla 11, lado de la reparación estructural hinge strap en el rear spar del estabilizador horizontal derecho.

De acuerdo a la inspección realizada. La corrosión en la piel de la aeronave debe ser removidos y anodizados para ser usados como una protección adicional contra la corrosión. En áreas que se ha removido el tratamiento anticorrosivo, aplicar alocrom y una capa de primer epóxica en toda el área de corrosión. En la figura 108 y 109, establece los procedimientos para dar un tratamiento anticorrosivo a las aleaciones de aluminio.

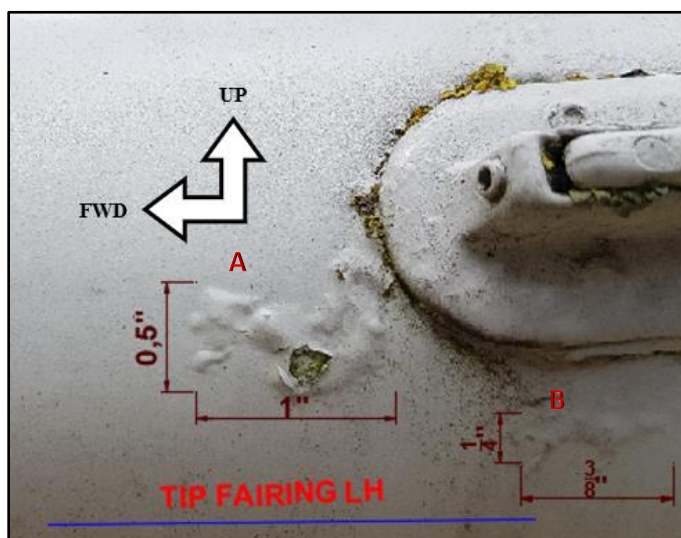


**Figura 110.** Corrosión en RH horizontal stabilizer.



- **DISCREPANCIA 8:** LH ELEVATOR, TIP FAIRING (CORROSION 1" x 0,5" – 1/4" x 3/8"). Se ha localizado en dos secciones la corrosión: la sección A tiene una dimensión de 1" largo y 0,5" de ancho, la sección B tiene una dimensión de 3/8" largo y 14" de ancho. Está ubicada en el tip fairing del elevador izquierdo.

En presencia de corrosión en la superficie de la piel de la aeronave, se procederá a dar un tratamiento anticorrosivo. Para precautelar la aeronavegabilidad continua de la aeronave. Por ello se establece los procedimientos a seguir, como se puede apreciar en la figura 108 y 109 para un tratamiento anticorrosivo.



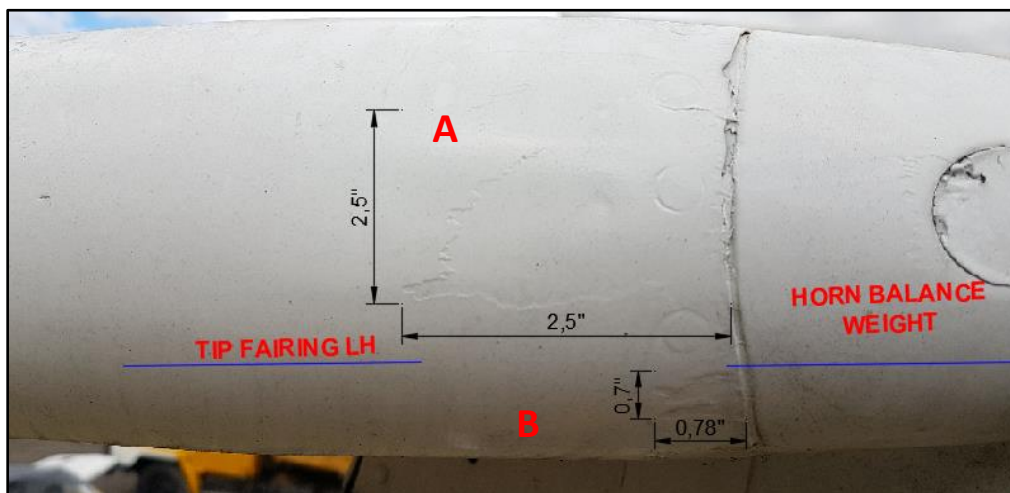
**Figura 111.** Corrosión en el elevador izquierdo.

**c. Desprendimiento de pintura**

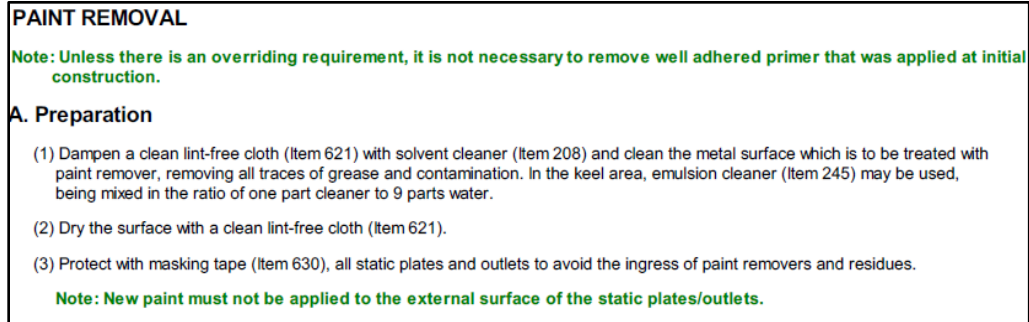
- **DISCREPANCIA 9:** LH ELEVATOR, TIP FAIRING, HORN BALANCE WEIGHT (SLIP PAINT 2,5" x 2,5" – 0,7" x 0,78"). El desprendimiento de pintura tiene las siguientes

dimensiones: sección A: 2,5" largo y 2,5" de ancho, sección B: 0,7" de ancho y 0,78" de largo. Está ubicada al costado del elevador izquierdo, junto al tip fairing y al horn balance weight.

De acuerdo con el manual SRM, ATA 20, 20 – 10 – 33- 201 de la aeronave Hawker Suddely, se debe humedecer con un paño limpio un solvente para limpiar el área afectada eliminando todo rastro de grasa y contaminantes antes de aplicar el removedor de pintura. Secar la superficie con un paño limpio. Con una cinta adhesiva proteger todas las placas estáticas y salidas para evitar la entrada del removedor de pintura y residuos como se puede ver figura 113. Y posteriormente dar un tratamiento anticorrosivo en las áreas afectadas como se puede ver en las figuras 107 y 108. Para el proceso de pintura, en la aeronave depende del fabricante de cada aeronave y de los fabricantes de los químicos a usar durante el proceso. Para mayor información ver anexo 12.



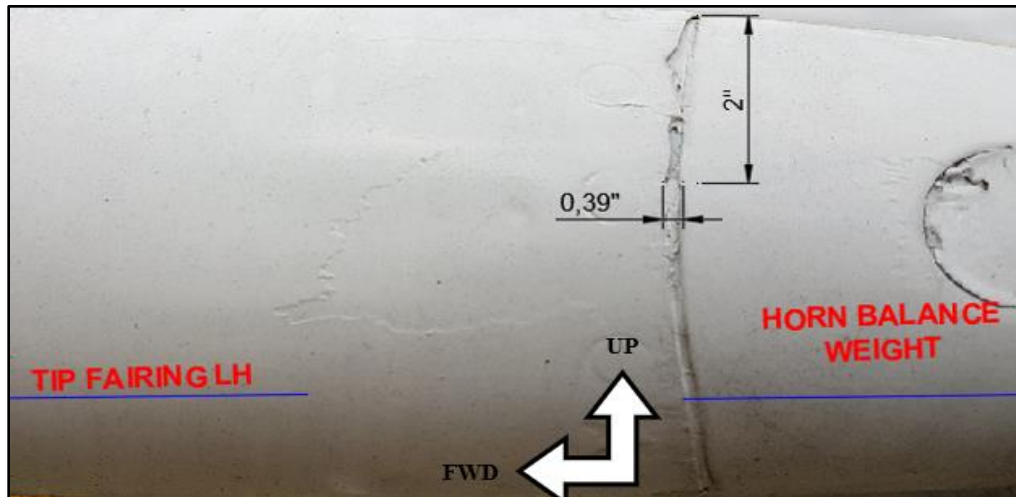
**Figura 112.** Desprendimiento de pintura en el elevador izquierdo.



**Figura 113.** HAWKER SIDDELY, SRM, ATA 20, 20 – 10 – 33- 201.

- **DISCREPANCIA 9:** LH ELEVATOR, TIP FAIRING, HORN BALANCE WEIGHT (SLIP PAINT 2" x 0,39"). El desprendimiento de pintura tiene la siguiente dimensión: 0,39" de ancho y 2" de largo. Está ubicada al costado del elevador izquierdo, junto al tip fairing y al horn balance weight.

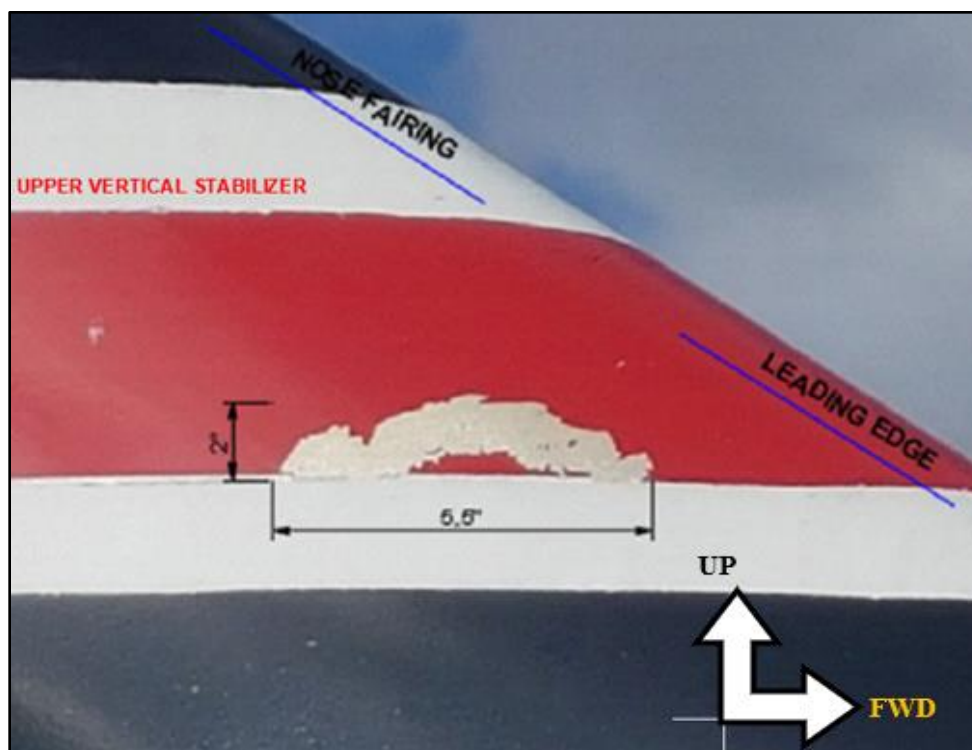
De acuerdo a la inspección realizada, en el área de desprendimiento de pintura se debe humedecer con un paño limpio un solvente para limpiar todo rastro de grasa y contaminantes antes de aplicar el removedor de pintura. Secar la superficie. Proteger todas las placas estáticas y salidas para evitar la entrada del removedor de pintura como se puede ver figura 113. Para el proceso de pintura en la aeronave, depende del fabricante de cada aeronave y de los químicos a usar durante el proceso.



**Figura 114.** Desprendimiento de pintura en el elevador LH.

- **DISCREPANCIA 10:** LH UPPER VERTICAL STABILIZER, LEADING EDGE, NOSE FAIRING, (SLIP PAINT 2" x 5,5"). El desprendimiento de pintura tiene la siguiente dimensión: 2" de ancho y 5,5" de largo. Está ubicada en la parte superior del estabilizador vertical izquierdo en el borde delantero cerca del nose fairing.

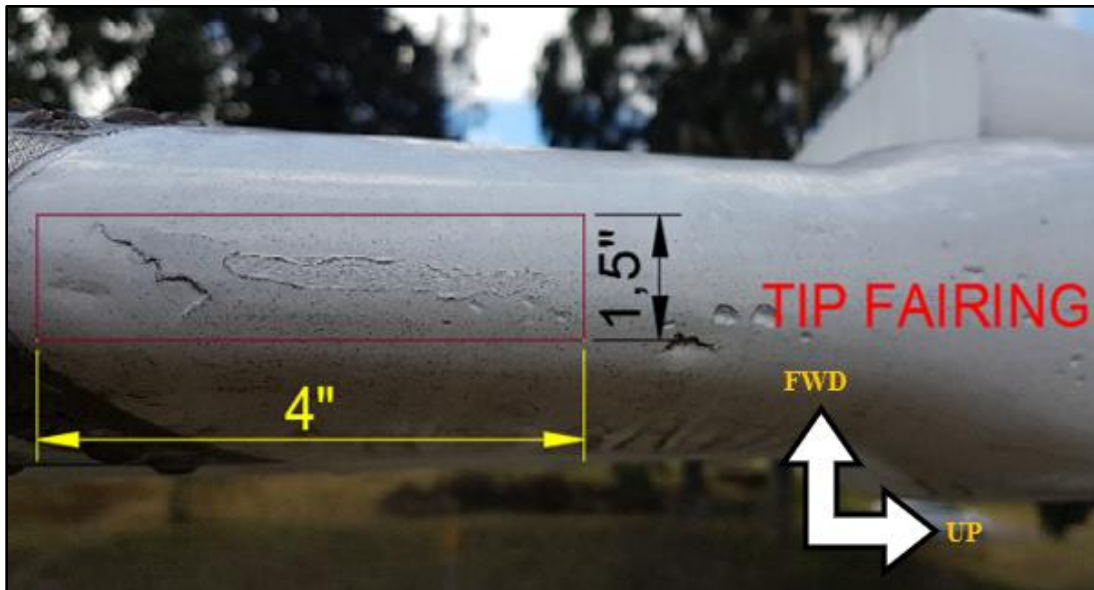
Con la inspección visual realizada con el cuadricóptero CFLM en el empenaje, se observó el desprendimiento de pintura en la parte superior del estabilizador vertical, para ello en la figura 113 establece los procedimientos que se debe llevar a cabo para remover la pintura. Y en la figura 108 y 109 establece los procedimientos para dar un tratamiento anticorrosivo. Para el proceso de pintura en la aeronave, depende del fabricante de cada aeronave y de los químicos a usar durante el proceso.



*Figura 115.* Slip paint en el rudder.

- **DISCREPANCIA 11:** RH HORIZONTAL STABILIZER, TIP FAIRING, (SLIP PAINT LOCATION 4" x 1,5"). El desprendimiento de pintura tiene la siguiente dimensión: 1,5" de ancho y 4" de largo. Está ubicada al costado del estabilizador horizontal derecho en el tip fairing.

Con la inspección visual realizada con el cuadricóptero CFLM en el empenaje, se observó el desprendimiento de pintura en la parte superior del estabilizador vertical, para ello en la figura 113 establece los procedimientos que se debe llevar a cabo para remover la pintura. Y en la figura 108 y 109 establece los procedimientos para dar un tratamiento anticorrosivo. Para el proceso de pintura en la aeronave, depende del fabricante de cada aeronave y de los químicos a usar durante el proceso.



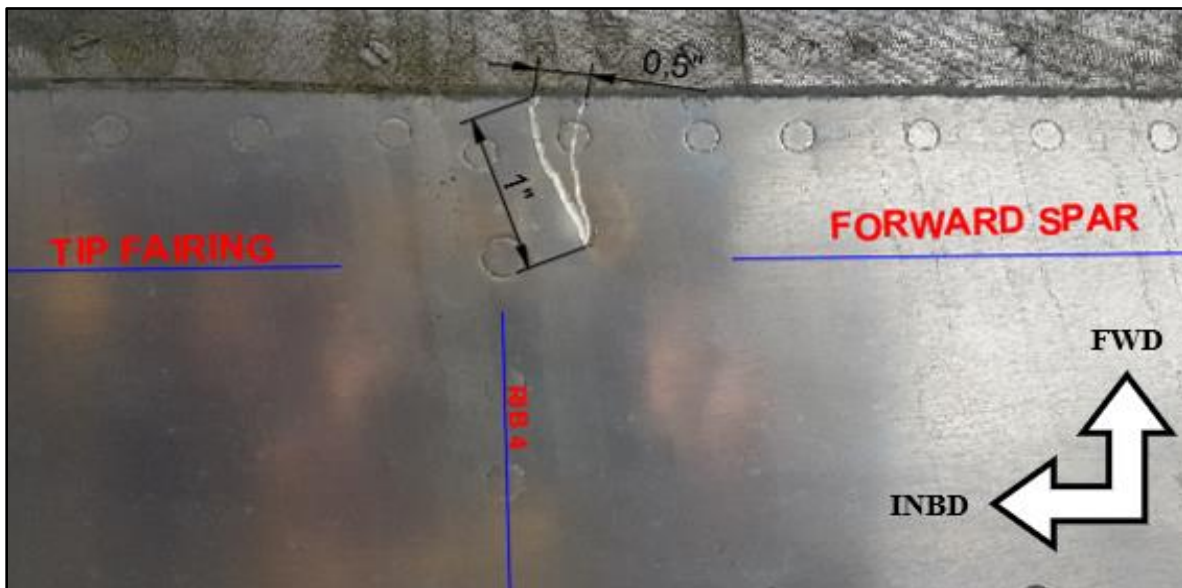
**Figura 116.** Slip paint en el estabilizador horizontal RH.

**d. Ralladuras**

- **DISCREPANCIA 12:** LH HORIZONTAL STABILIZER, FORWARD SPAR, TIP FAIRING, RIB 4 – RIB 3 (SCRATCH 1" x 0,5"). La ralladura está ubicada en el área entre el borde delantero y el tip fairing entre la costilla 4 el borde delantero del estabilizador horizontal izquierdo, tiene una dimensión de 0,5" de ancho y 1" de largo.

De acuerdo a la figura 118, SRM ATA 51 – 10 – 11; pág. 8. Para determinar si un rasguño o ralladura penetra una capa de aluminio, es necesario aplicar un control basado en una reacción química. Para ello se debe desengrasar y limpiar toda suciedad completamente del área a examinar con un paño de algodón humedecido con un disolvente limpiador. Aplicar durante dos minutos una solución de soda caustica con un paño limpio en el área afectada.

Durante la inspección se mostrará una decoloración gris a gris/verde en el centro de un área gris/blanca. Con otro paño limpio, aplicar el ácido nítrico sobre el área gris/verde, se disolverá dejando un parche gris blanco claro. Este procedimiento verifica que el material del núcleo de cobre ha sido descubierto y el revestimiento de aluminio ha sido penetrado. Lavar bien con agua destilada, secar y pulir a menos que sea una acción adicional. Para mayor información ver anexo 13.



**Figura 117.** Rayadura en el LH horizontal stabilizer.



## PENETRATION CHECK OF ALUMINUM CLADDING

To determine whether a scratch or abrasion penetrates the layer of pure aluminum on aluminum alloy sheet it will be necessary to apply a check based on a chemical reaction as described below.

### A. Material Required

**WARNING:** To avoid danger to health, personnel handling these solutions must wear suitable protective clothing together with rubber gloves and goggles. Any of the solution in contact with the skin must be washed off immediately with water.

The materials must be mixed as follows:

Caustic soda solution: 0.035 oz (1gm) of caustic soda to 0.70 oz (20 cc) of distilled water.

Nitric acid solution: 0.035 oz (1cc) of nitric acid to 0.70 oz (20 cc) of distilled water.

### B. Limitations

- (1) Penetration checks must not be conducted in close proximity to rivet and bolt holes, lap and butt-joints or any area from which the solutions cannot be readily removed.
- (2) On no account should these checks be carried out in areas of corrosion, unless the corrosion and its products have been completely removed.

### C. Procedure

- (1) Thoroughly degrease the area to be examined with a cotton wool pad dampened with cleaner solvent (Item 201). Make sure that all dirt is removed from the bottom of the scratch or pits.
- (2) Wet a small thin pad of cotton wool with caustic soda solution and apply to the area. If sufficiently wet the pad will stick to the metal surface. Care must be taken not to have the pad too wet and allowing any excess solution being squeezed out on to other areas.
- (3) Allow the pad to remain on the area for a maximum of two minutes, remove and inspect for penetration. This will be shown by a grey to grey/green discoloration in the center of a grey/white area.
- (4) Wet a pad of cotton wool with the nitric acid solution and apply it to the area. If the grey to grey/green discoloration is present it will dissolve in the nitric acid solution leaving a clear grey/white patch. This confirms that the copper bearing core material has been bared and the aluminum cladding has been penetrated.
- (5) Wash the are thoroughly with distilled water, dry and finally polish with metal polish unless further action is necessary.

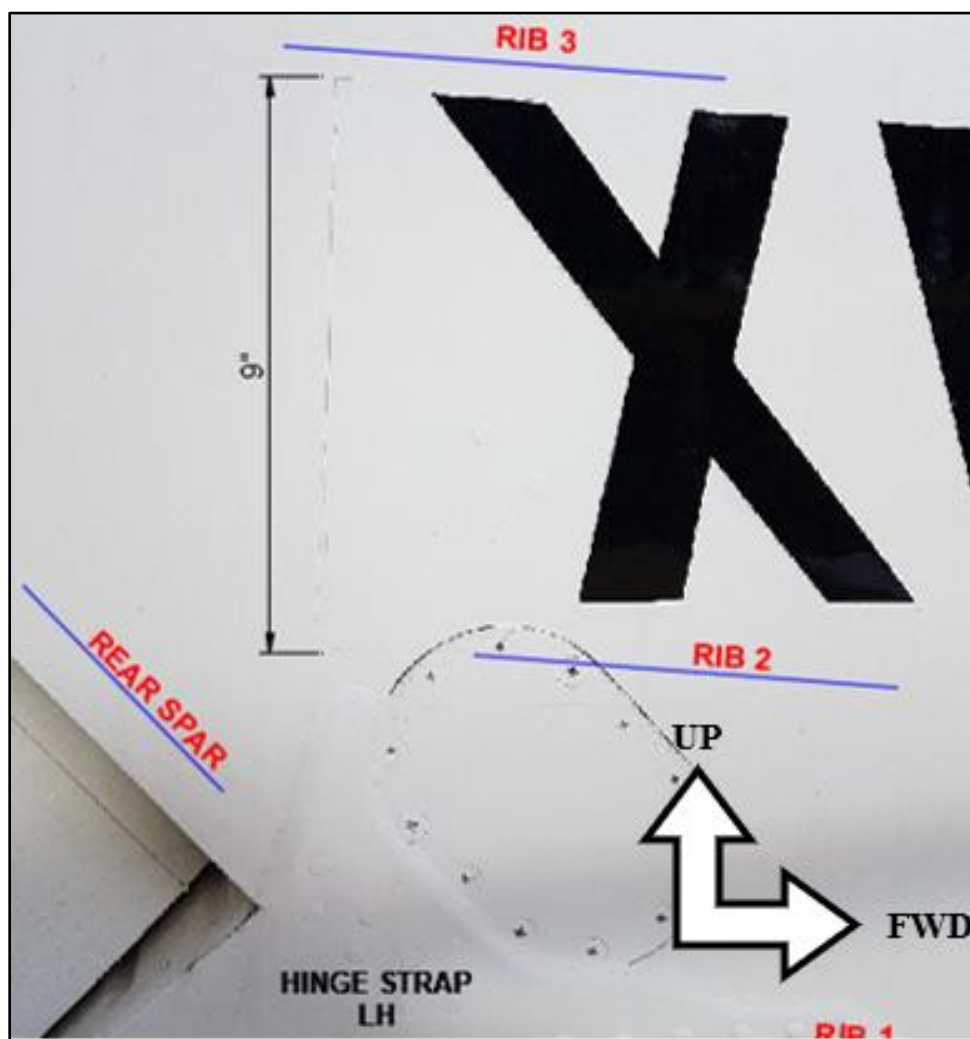
**Figura 118.** Hawker Siddely, SRM; ATA 51 - 10 - 11; pág. 8.

- **DISCREPANCIA 13:** LH VERTICAL STABILIZER, HINGE STRAP, REAR SPAR, RIB 2 – RIB 3 (SCRATCH 9”). La ralladura está ubicada cerca de la reparación del hinge



strap, entre la costilla 2 y costilla 3 en el rear spar del estabilizador vertical izquierdo, tiene una dimensión de 9" de largo.

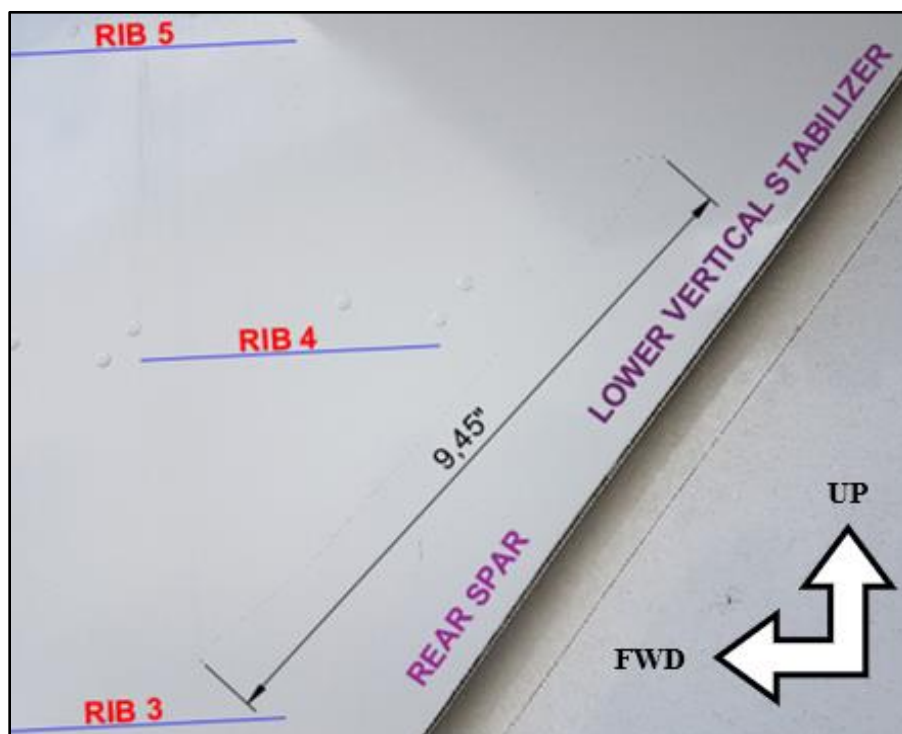
Con la inspección realizada con el cuadricóptero CFLM, se observó una rayadura en el estabilizador vertical izquierdo. Para lo cual, en la figura 118, establece los procedimientos que se debe llevar a cabo para dar solución a las discrepancias encontradas. Y si el caso lo amerita pulir el área afectada y dar un tratamiento anticorrosivo como lo establece en las figuras 108 y 109.



**Figura 119.** Rayadura en el LH vertical stabilizer.

- **DISCREPANCIA 14:** RH LOWER VERTICAL STABILIZER, REAR SPAR, RIB 3 – RIB 4 – RIB 5 (SCRATCH LOCATION 9,45”). La ralladura está ubicada entre la costilla 3, costilla 4 y costilla 5 en el rear spar del estabilizador vertical derecho, tiene una dimensión de 9,45” de largo.

En la figura 118, establece los procedimientos para dar solución a las discrepancias encontradas, en este caso las ralladuras. Dependiendo si el procedimiento no fue lo suficiente, se procederá a pulir el área afectada, dar un tratamiento anticorrosivo como se puede ver en la figura 108 y 109, y posteriormente a pintar el área pulida.



**Figura 120.** Rayadura en el RH vertical stabilizer.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- De acuerdo con la información técnica de los manuales de la aeronave Hawker Siddely HS125/400, todas las discrepancias encontradas en el empenaje, requiere realizar una acción correctiva y dar un tratamiento anticorrosivo en el área afectada para prolongar la aeronavegabilidad de dicha aeronave.
- La tarjeta DJI A3 permite la operación y control de los sistemas de comunicación y navegación del cuadricóptero CFLM, para ejecutar los vuelos de inspección visual de en el empenaje de la aeronave Hawker Siddely HS125/400.
- Mediante la inspección visual en el empenaje de la aeronave Hawker Siddely HS125/400, se verificó los límites permisibles de hundimientos y rajaduras, de acuerdo con el manual de reparaciones estructurales para dar solución a dichos daños encontrados en la aeronave.
- Las discrepancias encontradas en el empenaje, están dentro de los límites permisibles de acuerdo al manual de reparaciones estructurales de la aeronave Hawker Siddely HS125/400.

## 4.2 Recomendaciones

- No realizar las operaciones de vuelo en áreas de restricción aérea, para prevenir que el cuadricóptero no tenga interferencia al momento que este en procesos de vuelo.
- Contar con todos los manuales de la aeronave Hawker Siddely HS125/400, para encontrar toda la información técnica necesaria para dar solución a las discrepancias encontradas en el empenaje del avión.
- Revisar los manuales de mantenimiento y operación de la tarjeta DJI A3 para la operación y control de los sistemas de comunicación y navegación del cuadricóptero CFLM, para ejecutar los vuelos de inspección visual de manera segura y eficiente en el empenaje de la aeronave Hawker Siddely HS125/400.
- No intercambiar las baterías de una a más celdas para prevenir fallas en el módulo PMU durante las operaciones de vuelo.
- Mantener las baterías una carga del 50% para prevenir sus fallas durante su manipulación al momento de ejercer vuelos con el cuadricóptero CFLM.

### 4.3 Abreviaturas

- **A (Actitud):** El sistema de posicionamiento GPS y de visión no se utiliza para mantener la posición.
- **AMM:** Manual de mantenimiento de la aeronave.
- **BATT:** Batería.
- **CSC:** Combinación de Palanca de Control.
- **DJI:** Dajiang Innovation Technology.
- **ESC:** Electronic Speed Control.
- **FAA:** Administración Federal de Aviación.
- **FPV:** Vista en Primera Persona.
- **GPS:** Sistema de posicionamiento global.
- **Ion-Litio:** Iones de litio.
- **IPC:** Ilustración de partes catalogadas.
- **KV:** Constantes de número de revoluciones por minuto cuando se aplica un voltaje de tensión. (rpm/V).
- **LED:** Diodo emisor de luz.
- **Li-Po:** Polímero de litio.
- **MEL:** Lista de Equipos Mínimos.
- **MMEL:** Lista Maestra de Equipos Mínimos.
- **MTOW:** Maximum Take-Off Weight.
- **Ni-Cd:** Níquel-cadmio.
- **Ni-MH:** Níquel-metal-hidruro.
- **OACI:** Organización de Aviación Civil Internacional.
- **PMU:** Unidad de administración de energía.
- **RPA:** Aviones controlados de forma remota.
- **RPAS:** Sistema aéreo tripulado de forma remota.
- **RPV:** Red privada virtual
- **RTH:** Retorno a casa.
- **RTV:** Registro técnico de vuelo.

- **S:** Celdas.
- **SDK:** Kit de desarrollo de software.
- **SRM:** manual de reparaciones estructurales.
- **UAV:** Vehículo aéreo no tripulado.
- **UAS:** Sistema aéreo no tripulado.
- **UCAV:** Vehículos no tripulados de combate aéreo.
- **VANT:** Vehículo aéreo no tripulado.
- **Z:** Zenmuse.

#### 4.4 Glosario

##### A

- **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.
- **Aeromodelos:** Avión reducido para vuelos deportivos o experimentales.
- **Aéreo:** Del aire o relativo del espacio aéreo.
- **Aviación:** Navegación aérea en aparatos más pesados que el aire.
- **Acrónimos:** Palabra formada por las iniciales, y a veces por más letras.
- **Altitud:** Distancia vertical entre un nivel, punto u objeto considerado como punto, y el nivel medio del mar.
- **Arrastre:** Acción y resultado de llevar a una persona o cosa por el suelo, tirando de ella.
- **Área Restringida:** Área o zona en la cual el vuelo de una aeronave está sujeta a restricciones o limitaciones.
- **Ascenso:** Técnica de crucero de un avión, que resulta en un incremento neto de altitud a medida que disminuye la masa del avión.
- **Autonomía:** Capacidad máxima de un vehículo para efectuar un recorrido sin reposar.

##### B

- **Batería:** Instrumento de percusión compuesto de tambor, bombo platillos, etc.

##### C

- **Calibración:** Acción y efecto de calibrar.
- **Carbono:** Elemento químico sólido y no metálico que se encuentra en todos los compuestos orgánicos y en algunos inorgánicos.
- **Coaxiales:** Cuerpo o figura que comparte un mismo eje de simetría o de rotación con otro.

##### D

- **Discrepancias:** Diferencia, desigualdad o desacuerdo entre opiniones.

- **Drone:** Vehículo aéreo no tripulado.

### E

- **Elevación:** Levantamiento o alzamiento de algo.
- **Empuje:** Acción y resultado de empujar.
- **ESC:** Dispositivo electrónico que controla la potencia de un dispositivo.

### F

- **Factibilidad:** Casualidad o condición de factible.
- **Fibra:** Filamento obtenido por procedimientos químicos que se usa principalmente en la industria textil.

### G

- **Girodino:** Cuyos rotores están normalmente accionados por un motor para el despegue, vuelo estacionario y aterrizaje; y para vuelo hacia adelante en parte su rango de velocidades; y cuyo medio de propulsión consiste usualmente en hélices convencionales independientes del sistema rotor.

### H

- **Hélice:** Dispositivo impulsor de una aeronave que posee palas sobre un eje impulsado por un motor que cuando rota produce por su acción en el aire un empuje aproximadamente perpendicular a su plano de rotación.

### I

- **Inspección:** Reconocimiento exhaustivo.

### M

- **Mantenimiento:** Trabajos requeridos para asegurar el mantenimiento de la aeronavegabilidad de las aeronaves, lo que incluye una o varias de las siguientes tareas: reacondicionamiento, reparación, inspección, reemplazo de piezas, modificación o rectificación de defectos.
- **Módulo:** Pieza o conjunto unitario de piezas que se repite o encajan en una construcción de cualquier tipo.
- **Motores:** Motor empleado o cuya intención es impulsar una aeronave.

### P

- **Precisión:** Exactitud, puntualidad.



- **Propulsión:** Procedimiento empleado en motores de aviones, cohetes o proyectiles que se basa en producir movimiento por la expulsión a gran velocidad de los gases que se originan.

### R

- **Resolución:** Decreto, decisión o fallo de una autoridad gubernativa o judicial.
- **Resina:** Sustancia solida o de consistencia viscosa.
- **Rotores:** Rotor que suministra la sustentación principal a un giroavión.

### S

- **Sistemas:** Combinación de componentes y/o accesorios interrelacionados a distancias para desarrollar una función específica.
- **Software:** Termino genérico que se aplica a los componentes no físicos de un sistema informático.

### T

- **Tensión:** Fuerza que impide a las partes de un mismo cuerpo separarse unas de otras cuando se halla en dicho estado.

### V

- **Velocidad:** Rapidez y ligereza en el movimiento.

#### 4.5 Referencias bibliográficas

- ACRE. (s.f.). *ACRE*. Recuperado el 15 de Mayo de 2019, de Módulo de precisión DJI: <https://grupoacre.es/catalogo-productos/modulo-precision-dron-d-rtk-gnss/>
- Aerial insights. (03 de 05 de 2017). *Aerial insights*. Recuperado el 02 de Marzo de 2019, de Tipos de drones existen en el mercado: <http://www.aerial-insights.co/blog/tipos-de-drones/>
- Alejandro, G. (21 de 05 de 2013). *AMILARG*. Recuperado el 02 de Junio de 2019, de Hawker Siddeley 125-400: <http://www.amilarg.com.ar/hawker-125-400.html>
- Amazon. (2019). *GARTT 4PCS ML4112 400KV*. Recuperado el 11 de Agosto de 2019, de GARTT 4PCS ML4112 400KV Brushless Motor for Quadcopter Multicopter RC Drones: <https://www.amazon.com/GARTT-ML4112-Brushless-Quadcopter-Multicopter/dp/B01763M29K>
- DJI. (12 de 08 de 2017). *USER MANUAL*. Recuperado el 25 de Mayo de 2019, de A3 / A3 PRO: [https://dl.djicdn.com/downloads/a3/20170825/A3A3Pro\\_User\\_manual\\_En\\_v1.4.pdf](https://dl.djicdn.com/downloads/a3/20170825/A3A3Pro_User_manual_En_v1.4.pdf)
- DJI FORUM. (15 de 01 de 2017). *Flight controller*. Recuperado el 21 de Agosto de 2019, de A3 won't connect to Assistant 2: <https://forum.dji.com/thread-80564-1-1.html>
- DRONE, C. (06 de 08 de 2017). *TIPOS DE BATERÍAS*. Recuperado el 12 de Abril de 2019, de Baterías de Drones: <https://www.controldron.com/baterias-de-drones-2/>
- Dyna. (02 de 05 de 2016). *Evolución histórica de los vehículos aéreos no tripulados hasta la actualidad*. Recuperado el 23 de Febrero de 2019, de INVE MEM: [http://oa.upm.es/40803/1/INVE\\_MEM\\_2015\\_203893.pdf](http://oa.upm.es/40803/1/INVE_MEM_2015_203893.pdf)
- EL DRONE*. (29 de 05 de 2016). Recuperado el 14 de Enero de 2019, de ¿Qué es un drone?: <http://eldrone.es/que-es-un-drone/>
- ElectronicaRC.com*. (24 de 03 de 2012). Recuperado el 31 de Mayo de 2019, de Módulo PMU: <http://electronicarc.com/catalogo/modulo-pmu-para-a2-p-740.html>

- InfoRepuesto. (11 de 06 de 2017). *Como funcionan y vuelan los drones*. Recuperado el 11 de Mayo de 2019, de InfoRepuesto: <http://inforepuesto.com/como-funcionan-y-vuelan-los-drones/>
- Jorge. (16 de 01 de 2019). *NOVODRONE*. Recuperado el 28 de Febrero de 2019, de Tipos de drones: <https://novodrone.com/tipos-de-drones/>
- Lucas, M. (01 de 08 de 2016). *Edubcn.cat*. Recuperado el 10 de Marzo de 2019, de Drones, el cielo esta al alcance de todos: [https://www.edubcn.cat/rcs\\_gene/treballs\\_recerca/2015-2016-03-1-TR.pdf](https://www.edubcn.cat/rcs_gene/treballs_recerca/2015-2016-03-1-TR.pdf)
- Mabus. (26 de 04 de 2016). *Mabus*. Recuperado el 27 de Agosto de 2019, de ESC para drones, ¿para qué sirven?: <https://mobus.es/blog/esc-para-drones-para-que-sirven/>
- Nicolas, L. (28 de 03 de 2018). *Regulación de drones en Ecuador*. Recuperado el 12 de Mayo de 2019, de ¿Cómo operar o volar un dron en Ecuador?: <https://www.nlarenas.com/2018/03/como-operar-o-volar-un-dron-en-ecuador/>
- One Air. (20 de 05 de 2017). Recuperado el 25 de Marzo de 2019, de Uso de los drones: <https://www.oneair.es/uso-drones/>
- ProducTop10. (08 de 05 de 2017). *ProducTop10*. Recuperado el 25 de Febrero de 2019, de Las partes de un drone (para principiantes): <http://www.productop10.com/partes-de-un-drone/>
- PX4 Autopilot. (10 de 07 de 2019). *What Is PX4?* Recuperado el 25 de Julio de 2019, de PX4 LATEST STABLE RELEASE v1.9.2: <https://px4.io/>
- Samaniego, J. (28 de 04 de 2017). *AgroSintesis*. Recuperado el 11 de Marzo de 2019, de El uso de drones para la agricultura: <https://www.agrosintesis.com/uso-drones-la-agricultura/#.XHv4q7i23IU>
- TECNOLOGIA & INFORMATICA. (s.f.). *TECNOLOGIA & INFORMATICA*. Recuperado el 22 de Febrero de 2019, de ¿Que son los drones?¿Para que sirven los drones?: <https://tecnologia-informatica.com/que-es-drone-para-que-sirve-comprar/>
- Vilella, M. (16 de 06 de 2014). *Los selfies con drones*. Recuperado el 15 de Marzo de 2019, de computerhoy: <https://computerhoy.com/noticias/moviles/nueva-moda-que-cause-furor-selfies-drones-14417>

Xataka. (12 de 11 de 2015). *Los siete drones más completos para tomarte en serio tu nueva afición*. Recuperado el 26 de Abril de 2019, de Xataka: <https://www.xataka.com/drones/siete-drones-muy-completos-para-tomarte-en-serio-tu-nueva-aficion>

XDRONES. (04 de 12 de 2019). *Que es MAVlink?* Recuperado el 21 de Julio de 2019, de MAVLink: protocolo de comunicacion de drones: <https://www.xdrones.es/mavlink/>

# ANEXOS



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES

CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES

## CERTIFICACIÓN

Se certifica que la presente monografía fue desarrollada por el señor CHICAIZA TONATO  
BYRON ROBERTO

En la ciudad de Latacunga a los 17 días de diciembre del 2019.

Aprobado por:

Ing. Luis Angel Coello Tapia  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**



Ing. Rodrigo Bautista  
**DIRECTOR DE CARRERA**



Abg. Sarita Plaza  
**SECRETARIA ACADÉMICA**