



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 POR HUNDIMIENTO Y RAJADURAS EN
LA PIEL DE LAS ALAS DE LA AERONAVE FAIRCHILD FH-227,
MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FPV (VIDEO EN
TIEMPO REAL), EN EL CUADRICÓPTERO CFLM PARA LA UGT-ESPE”**

AUTOR: LUDEÑA LUDEÑA, JONNATHAN ALBERTO

DIRECTOR: ING. COELLO TAPIA, LUIS ANGEL

LATACUNGA

2020



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES
CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES

CERTIFICACIÓN

Certifico que la monografía, **“INSPECCIÓN VISUAL POR HUNDIMIENTO Y RAJADURAS EN LA PIEL DE LAS ALAS DE LA AERONAVE FAIRCHILD FH-227, MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FPV (VIDEO EN TIEMPO REAL), EN EL CUADRICÓPTERO CFLM PARA LA UGT-ESPE”** fue realizada por el señor **LUDEÑA LUDEÑA, JONNATHAN ALBERTO**, la misma que ha sido revisada en su totalidad, analizada 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 la sustente públicamente.

Latacunga, Enero 08 del 2020



Ing. Luis Angel Coello Tapia
DIRECTOR DEL PROYECTO

ING. COELLO TAPIA, LUIS ÁNGEL

C.C.: 0503128662



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES
CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **LUDEÑA LUDEÑA, JONNATHAN ALBERTO**, declaro que el contenido, ideas y criterios de la presente monografía: ***“INSPECCIÓN VISUAL POR HUNDIMIENTO Y RAJADURAS EN LA PIEL DE LAS ALAS DE LA AERONAVE FAIRCHILD FH-227, MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FPV (VIDEO EN TIEMPO REAL), EN EL CUADRICÓPTERO CFLM PARA LA UGT-ESPE”***, es de mí autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas. Consecuentemente el contenido de esta investigación es verás.

Latacunga, Enero 08 del 2020



LUDEÑA LUDEÑA, JONNATHAN ALBERTO
C.C.: 010474261-4



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES

CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **LUDEÑA LUDEÑA, JONNATHAN ALBERTO** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: **“INSPECCIÓN VISUAL POR HUNDIMIENTO Y RAJADURAS EN LA PIEL DE LAS ALAS DE LA AERONAVE FAIRCHILD FH-227, MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FPV (VIDEO EN TIEMPO REAL), EN EL CUADRICÓPTERO CFLM PARA LA UGT-ESPE”** en el Repositorio Institucional, en el registro bibliográfico, el resumen y la dirección web indexada a la revista académica, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, Enero 08 del 2020



LUDEÑA LUDEÑA, JONNATHAN ALBERTO
C.C.: 010474261-4

DEDICATORIA

El presente proyecto está dedicado en primer lugar a toda mi familia y en especial a mi abuelita, a mis padres y hermana por haber sido el soporte que nunca me ha dejado caer en momentos difíciles, por motivarme constantemente y lograr con eso que jamás me rinda ni deje soñar en grande. Por enseñarme que luchar por lo que uno quiere vale la pena y nunca nada ha valido tanto como eso. Aún queda mucho por hacer.

A mis amigos, Rommel G., Andrés A., Carlos B., Josué R., Byron C., Carolina M., Dalila F., Priscila F., Alonso G., por haber compartido conmigo buenos y malos momentos a lo largo mi vida, por hacerme desarrollar sobre todo paciencia, amor, solidaridad, comprensión, respeto y lealtad.

A mis colegas aeronáuticos que han sido mis maestros, compañeros, amigos, conocidos, personas a las que admiro mucho por todos sus conocimientos y su manera de trasmitírmelos, en especial al personal técnico de la OMA-DIAF (2017-2018), les dedico este proyecto porque quiero sirva de motivación y como fuente de información para que se desarrollen otros proyectos que vayan en beneficio y evolución de la aeronáutica en el Ecuador.

JONNATHAN ALBERTO LUDEÑA LUDEÑA

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios por darme la oportunidad de vivir, por estar conmigo siempre, por ser mi mejor amigo y maestro, por haberme dado a todas las personas necesarias para mi formación no solo académica sino también personal y espiritual. A toda mi familia por apoyarme en lo que les ha sido posible. Al personal del IFTH- Cuenca por colaborar a la distancia con todos los documentos y papeles necesarios para realizar mis estudios universitarios.

Al personal de la OMA-DIAF y en especial a los del área de estructuras, por enseñarme todo aquello que no me ensaaron en la Universidad. Gracias por darme la oportunidad no solo de hacer prácticas sino también de trabajar con ustedes y sobretodo hacer buenas amistades. Nunca me lo esperé pero siempre estuve atento a las oportunidades.

A mis compañeros de carrera, conocidos, personal docente y administrativo de la universidad, por enseñarme a seguir luchando por mí sueño. Cada vez que me dijeron “no”, forjaron mi carácter y disciplina, gracias a eso nunca me rendí ni me deje intimidar de nadie. Busqué constantemente oportunidades que me permitieran demostrar mis habilidades y conocimientos garantizando así el futuro profesional de muchos estudiantes que vienen detrás y el de la carrera.

Finalmente quiero agradecer a mi equipo de trabajo: Byron C., Carlos F., Andrés M., Diego L., Luis C., Alejandro E., Josué R.; sin duda este proyecto no se hubiera hecho realidad sin su ayuda y colaboración. Tengan siempre presente que dejamos un gran precedente en esta universidad y aunque muchas personas en algún momento representaron un obstáculo para cumplir con nuestro objetivo, lo hemos logrado. Nunca se rindan y siempre luchen por sus sueños.

JONNATHAN ALBERTO LUDEÑA LUDEÑA

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA

| | |
|---------------------------------|-----|
| CERTIFICACIÓN | I |
| AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD..... | II |
| AUTORIZACIÓN..... | III |
| DEDICATORIA | IV |
| AGRADECIMIENTO | V |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS | VI |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | XI |
| ÍNDICE DE FIGURAS | XII |
| RESUMEN | XX |
| ABSTRACT | XX |

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 | Alcance | 5 |

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

| | | |
|-------|--|---|
| 2.1 | Drones..... | 5 |
| 2.1.1 | ¿Qué es un Drone? | 6 |
| 2.1.2 | De los primeros aviones no tripulados a los drones actuales..... | 7 |
| 2.1.3 | Partes Básicas de un Drone | 9 |

| | | |
|-------|--|----|
| 2.1.4 | Tipos de Drones Profesionales..... | 19 |
| 2.1.5 | Uso de los drones Profesionales | 22 |
| a. | Uso militar de los drones..... | 22 |
| b. | Uso audiovisual de los drones..... | 23 |
| c. | Uso de los drones en Seguridad | 24 |
| d. | Uso de los drones en la Agricultura..... | 25 |
| e. | Uso de los drones en Entretenimiento..... | 26 |
| f. | Uso de los drones en Aviación | 28 |
| 2.1.6 | Características de los cuadricópteros | 33 |
| a. | Nivel de Autonomía..... | 33 |
| b. | Dimensiones y Peso | 35 |
| c. | Diferencias entre Fuentes de Energía..... | 36 |
| d. | Modelos de drones ampliamente utilizados | 39 |
| 2.1.7 | Física de un Cuadricóptero..... | 45 |
| 2.1.8 | Normativa de Operación de drones en el Ecuador | 48 |
| 2.2 | Sistema FPV | 52 |
| 2.2.1 | Lightbridge 1..... | 53 |
| 2.2.2 | Sistema DJI Lightbridge 2..... | 54 |
| a. | Subsistema de Aire..... | 55 |
| b. | Subsistema de Tierra..... | 56 |
| 2.3 | Aeronave Fairchild FH-227 | 58 |
| 2.3.1 | Dimensiones y Áreas..... | 59 |
| a. | Dimensiones de la Aeronave | 60 |
| b. | Secciones del Fuselaje (Fus. Sect.)..... | 61 |
| c. | Zonas del Fuselaje (Fus. Zone o F.Z.) | 62 |
| d. | Estaciones del Fuselaje (Fus. Sta. O F.S.) | 65 |
| e. | Línea longitudinal o línea de tope (B.L.)..... | 68 |
| f. | Línea flotante (W.L.) | 68 |
| g. | Estación del ala (W.S.) | 69 |
| h. | Estación del alerón (A.S.) | 70 |

| | | |
|-------|---|----|
| i. | Estación de la aleta (F.S.)..... | 70 |
| j. | Estación de la Barquilla (N.C. o Nac. Sta.)..... | 71 |
| 2.3.2 | Componentes de las alas Aeronave Fairchild FH-227 | 71 |
| a. | Sección central del ala | 72 |
| b. | Paneles Exteriores del ala | 73 |
| c. | Flaps interiores | 74 |
| d. | Flaps Exteriores..... | 75 |
| e. | Alerones | 75 |
| f. | Aleta de Centrado del Aleron | 76 |
| g. | Aleta de Centrado con resorte del Alerón | 77 |
| h. | Piel de las alas..... | 77 |
| 2.4 | Programas de Mantenimiento | 78 |
| 2.4.1 | Tipos de inspecciones | 79 |
| a. | Inspecciones Programadas..... | 80 |
| a1. | Inspecciones de Rutina (a tiempo fijo)..... | 81 |
| b1. | Inspecciones de No Rutina (ante eventos especiales) | 83 |
| b. | Inspecciones por fallas | 84 |

CAPÍTULO III

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

| | | |
|-------|---|----|
| 3.1 | Condiciones generales | 86 |
| 3.1.1 | Situación actual de la aeronave Fairchild FH-227..... | 86 |
| 3.1.2 | Descripción general..... | 88 |
| 3.2 | Implementación del sistema FPV | 89 |
| 3.2.1 | Estudio de alternativas para el sistema FPV..... | 91 |
| a. | Alternativa 1: Sistema básico de FPV | 91 |
| b. | Alternativa 2: Sistema DJI Lightbridge 2 | 93 |
| c. | Alternativa 3: Sistema OcuSync..... | 94 |
| d. | Matriz de comparación de alternativas..... | 96 |

| | | |
|-------|---|-----|
| e. | Criterios de valoración | 96 |
| 3.2.2 | Sistema FPV DJI Lightbridge 2..... | 97 |
| a. | Subsistema de Aire..... | 98 |
| b. | Subsistema de Tierra..... | 101 |
| c. | Fuentes de alimentación del cuadricóptero CFLM | 108 |
| c1. | Fuente de Alimentación del sistema FPV..... | 110 |
| 3.2.3 | Interacción de los sistemas del cuadricóptero CFLM..... | 112 |
| 3.3 | Ensamblaje del cuadricóptero CFLM..... | 114 |
| 3.3.1 | Estructura del cuadricóptero CFLM | 116 |
| 3.3.2 | Ensamblaje del sistema FPV | 118 |
| 3.3.3 | Operación del sistema FPV | 122 |
| 3.4 | Calibración del cuadricóptero CFLM para ejecutar una inspección visual | 124 |
| 3.4.1 | Drone listo para volar | 127 |
| 3.5 | Proceso de Inspección Visual en la piel de las alas del avión Fairchild | 129 |
| 3.5.1 | Reparaciones | 130 |
| 3.5.2 | Rajaduras..... | 132 |
| 3.5.3 | Hundimientos | 133 |
| 3.6 | Análisis de resultados | 134 |
| 3.6.1 | Análisis de Reparaciones | 135 |
| 3.6.2 | Análisis de Rajaduras..... | 138 |
| 3.6.3 | Análisis de Hundimientos | 144 |
| 3.6.4 | Análisis de Discrepancias adicionales | 148 |
| 3.6 | Pruebas de vuelo realizadas..... | |

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | | |
|-----|----------------------------------|-----|
| 4.1 | Conclusiones..... | 173 |
| 4.2 | Recomendaciones..... | 174 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 175 |

ANEXOS.....180

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----|
| Tabla 1 <i>Valor del mercado por industria.....</i> | 22 |
| Tabla 2 <i>Ventajas y desventajas de los drones en la Agricultura.....</i> | 25 |
| Tabla 3 <i>Especificaciones del DJI Lightbridge 2.....</i> | 54 |
| Tabla 4 <i>Características principales del Lightbridge 2.</i> | 57 |
| Tabla 5 <i>Dimensiones principales del avión Fairchild FH-227.</i> | 60 |
| Tabla 6 <i>División en zonas de aeronaves grandes de acuerdo a la ATA.....</i> | 63 |
| Tabla 7 <i>División del servicio en línea de una aeronave.....</i> | 81 |
| Tabla 8 <i>Revisiones por clasificación de tiempo en una aeronave.</i> | 82 |
| Tabla 9 <i>Matriz de decisión.</i> | 97 |
| Tabla 10 <i>Componentes de la unidad aérea Lightbridge 2.</i> | 99 |
| Tabla 11 <i>Cables y antenas del subsistema de aire.</i> | 99 |
| Tabla 12 <i>Luces de indicación de control del subsistema de aire.</i> | 100 |
| Tabla 13 <i>Luces de indicación de video.</i> | 100 |
| Tabla 14 <i>Componentes superiores del control remoto.</i> | 102 |
| Tabla 15 <i>Luces de indicación de estado.</i> | 103 |
| Tabla 16 <i>Luces de indicación de retorno al punto de inicio (RTH).....</i> | 103 |
| Tabla 17 <i>Componentes posteriores del control remoto.</i> | 105 |
| Tabla 18 <i>Componente inferiores del control remoto.</i> | 106 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Evolución de los drones. | 5 |
| Figura 2: Vehículos aéreos no tripulados o drones. | 6 |
| Figura 3: Ejemplos de UAV's. Marcas y país de fabricación. | 7 |
| Figura 4: UAV's más utilizados durante la Guerra Fría. | 9 |
| Figura 5: Estructura, marco o fuselaje de un dron. | 10 |
| Figura 6: Motores eléctricos de un drone. | 12 |
| Figura 7: Hélice con paso mínimo & Hélice con paso variable. | 13 |
| Figura 8: Hélices para drones. | 13 |
| Figura 9: Control electrónico de velocidad. | 13 |
| Figura 10: Batería de Níquel-Cadmio. | 14 |
| Figura 11: Batería de Níquel-Metal-Hidruro. | 14 |
| Figura 12: Batería de Ion-Litio. | 15 |
| Figura 13: Batería de Polímero de Litio. | 15 |
| Figura 14: Controlador de vuelo DJI "A3. | 16 |
| Figura 15: Control de vuelo tiburón X6 multirotor & Módulo GPS. | 17 |
| Figura 16: Control remoto con pantalla integrada. | 18 |
| Figura 17: Mini Drone; Holy Stone HS170 Predator. | 19 |
| Figura 18: Black Hornet Nano. | 20 |
| Figura 19: Drones tácticos lanzados con catapulta. | 20 |
| Figura 20: Northrop Grumman RQ-4 Global Hawk. | 21 |
| Figura 21: Reaper Drone USA. | 21 |

| | |
|---|----|
| Figura 22: MQ-9 Reaper USA. | 23 |
| Figura 23: Drone Parrot Bebop 2..... | 23 |
| Figura 24: Drone de video-vigilancia. | 24 |
| Figura 25: Dron fumigador..... | 26 |
| Figura 26: Parque temático Disney, California..... | 26 |
| Figura 27: Primera competencia de drones en Holanda..... | 27 |
| Figura 28: Publicidad con drones. | 28 |
| Figura 29: Inspección de un A320 en la fábrica de Airbus. | 29 |
| Figura 30: Drone de inspección de interior de Airbus. | 29 |
| Figura 31: Hangar del futuro, Airbus..... | 30 |
| Figura 32: Lufthansa Technik prueba el uso de drones. | 31 |
| Figura 33: Hexacóptero realizando una prueba en la aerolínea EasyJet. | 32 |
| Figura 34: Cuadricóptero de hidrógeno. | 34 |
| Figura 35: Drone insecto más pequeño del mundo. | 35 |
| Figura 36: La NASA preparan el avión Ikhana..... | 35 |
| Figura 37: Drone Predator norteamericano. | 36 |
| Figura 38: Drone cuadricóptero DJI Phantom 4 PRO V2.0..... | 37 |
| Figura 39: Drone Stalker. | 38 |
| Figura 40: El prototipo 'Helios'. | 38 |
| Figura 41: Delfly Explorer..... | 39 |
| Figura 42: Hubsan x4. | 40 |
| Figura 43: Parrot AR drone. | 41 |
| Figura 44: Familia Phantom: desde el Phantom 2 hasta el Phantom 4..... | 41 |

| | |
|---|----|
| Figura 45: RQ-11 Drone Raven..... | 42 |
| Figura 46: UK Royal Navy launches ScanEagle UAV..... | 43 |
| Figura 47: Drone Agras MG-1S..... | 43 |
| Figura 48: Drone Matrice 600 Pro. | 44 |
| Figura 49: Sentido de giro de las hélices en un cuadricóptero..... | 46 |
| Figura 50: Fuerzas que originan momento en el eje..... | 46 |
| Figura 51: Comportamiento de los rotores. | 47 |
| Figura 52: Tabla de valores para la contratación de seguros. | 51 |
| Figura 53: Choque de un drone con el borde de ataque de un ala. | 52 |
| Figura 54: Sistema Lightbridge..... | 53 |
| Figura 55: Control remoto con transmisor integrado..... | 55 |
| Figura 56: Subsistema de aire..... | 55 |
| Figura 57: Subsistema de tierra..... | 56 |
| Figura 58: Transmisión profesional en HD. | 57 |
| Figura 59: Avión Fairchild FH-227 con matrícula HC-BHD. | 58 |
| Figura 60: Ejemplo del ATA 06 del avión Fairchild FH-227..... | 59 |
| Figura 61: Body Station Diagram [Diagrama de Estaciones del Fuselaje] .. | 62 |
| Figura 62: Estaciones de fuselaje y barquilla..... | 65 |
| Figura 63: Designaciones utilizadas en los manuales. | 67 |
| Figura 64: Button Line del avión Fairchild FH-227..... | 68 |
| Figura 65: Water Line del avión Fairchild FH-227..... | 69 |
| Figura 66: Wing Stations del avión Fairchild FH-227. | 69 |
| Figura 67: Aileron Station del avión Fairchild FH-227..... | 70 |

| | |
|---|-----|
| Figura 68: Flaps Stations del avión Fairchild FH-227. | 70 |
| Figura 69: Nacelle Station del avión Fairchild FH-227. | 71 |
| Figura 70: Componentes de las alas del avión Fairchild FH-227. | 72 |
| Figura 71: Sección central del ala del avión Fairchild FH-227. | 73 |
| Figura 72: Paneles exteriores del ala del avión Fairchild FH-227. | 74 |
| Figura 73: Flaps interiores de la aeronave Fairchild FH-227. | 74 |
| Figura 74: Flaps Exteriores del avión Fairchild FH-227. | 75 |
| Figura 75: Alerón derecho del avión Fairchild FH-227. | 76 |
| Figura 76: Aleta de centrado del alerón. | 76 |
| Figura 77: Aleta de Centrado con resorte del Alerón. | 77 |
| Figura 78: Diseño de piel fatigada. | 78 |
| Figura 79: Chequeos recomendados por el fabricante Boeing. | 80 |
| Figura 80: Aeronave en inspección. | 81 |
| Figura 81: Mantenimiento Piramidal. | 83 |
| Figura 82: Ejemplo de una tarjeta de trabajo de no rutina. | 85 |
| Figura 83: Situación actual de la aeronave Fairchild FH-227. | 87 |
| Figura 84: Cuadricóptero CFLM. | 89 |
| Figura 85: Flujograma del sistema FPV. | 90 |
| Figura 86: Control Turnigy TGY-i6. | 92 |
| Figura 87: Sistema DJI Lightbridge 2. | 94 |
| Figura 88: DJI Mavic Pro, dotado con el sistema OcuSync. | 95 |
| Figura 89: Subsistema de aire. | 98 |
| Figura 90: Flujograma de operación del sistema de aire. | 101 |

| | |
|---|-----|
| Figura 91: Componentes superiores del Control Remoto. | 101 |
| Figura 92: Componentes posteriores del Control remoto. | 104 |
| Figura 93: Componentes inferiores del Control remoto. | 105 |
| Figura 94: Flujograma de operación del subsistema de aire. | 107 |
| Figura 95: Diagrama de fuentes de energía del cuadricóptero CFLM..... | 108 |
| Figura 96: Control remoto cuadricóptero CFLM..... | 109 |
| Figura 97: Fuente de alimentación del sistema FPV. | 110 |
| Figura 98: Subsistema de tierra..... | 111 |
| Figura 99: Diagrama de interacción de los sistemas. | 113 |
| Figura 100: Diagrama de ensamblaje del cuadricóptero CFLM. | 115 |
| Figura 101: Cuadricóptero CFLM. | 117 |
| Figura 102: Transmisión de video mostrada en la aplicación DJI GO..... | 118 |
| Figura 103: Proceso de ensamblaje del sistema FPV. | 119 |
| Figura 104: Montaje del subsistema de aire. | 120 |
| Figura 105: Transmisión de video en tiempo real en la aplicación DJI GO. | 121 |
| Figura 106: Transmisión de video. | 122 |
| Figura 107: Operación del sistema FPV..... | 123 |
| Figura 108: Calibración del drone CFLM previo a una inspección visual. . | 125 |
| Figura 109: Procedimientos para realizar una inspección visual. | 128 |
| Figura 110: Ejecución de inspecciones visuales de reparaciones. | 131 |
| Figura 111: Ejecución de inspecciones visuales de rajaduras. | 132 |
| Figura 112: Ejecución de inspecciones visuales de hundimientos..... | 134 |
| Figura 113: Reparación estructural #1..... | 135 |

| | |
|--|-----|
| Figura 114: Reparación estructural #2..... | 136 |
| Figura 115: Reparación estructural #3..... | 136 |
| Figura 116: Reparación estructural #4..... | 137 |
| Figura 117: Reparación estructural #5..... | 137 |
| Figura 118: Reparación estructural #6..... | 138 |
| Figura 119: Rajadura #1..... | 139 |
| Figura 120: SRM (57-1); Avión Fairchild FH-227..... | 140 |
| Figura 121: Rajadura #2..... | 141 |
| Figura 122: Rajadura #3..... | 141 |
| Figura 123: Rajadura #4..... | 142 |
| Figura 124: Rajadura #5..... | 143 |
| Figura 125: Rajadura #6..... | 143 |
| Figura 126: Rajadura #6..... | 144 |
| Figura 127: Hundimiento #1. | 145 |
| Figura 128: SRM (57-3); Avión Fairchild FH-227..... | 146 |
| Figura 129: Hundimiento #2. | 147 |
| Figura 130: Hundimiento #3. | 147 |
| Figura 131: Hundimiento #2. | 148 |
| Figura 132: Discrepancia adicional 1..... | 149 |
| Figura 133: Discrepancia adicional 2..... | 150 |
| Figura 134: Remoción de sujetadores con corrosión, AC 43-4B. | 150 |
| Figura 135: Discrepancia adicional 3..... | 151 |
| Figura 136: Discrepancia adicional 4..... | 152 |

| | |
|---|-----|
| Figura 137: Discrepancia adicional 5..... | 152 |
| Figura 138: Procedimiento de tratamiento para superficies, AC 43-4B..... | 153 |
| Figura 139: Discrepancia adicional 6..... | 154 |
| Figura 140: Discrepancia adicional 7..... | 154 |
| Figura 141: Discrepancia adicional 8..... | 155 |
| Figura 142: SRM 57-2; página (1); Avión Fairchild FH-227. | 156 |
| Figura 143: Discrepancia adicional 9..... | 157 |
| Figura 144: Discrepancia adicional 10..... | 158 |
| Figura 145: Discrepancia adicional 11..... | 158 |
| Figura 146: Discrepancia adicional 12..... | 159 |
| Figura 147: Discrepancia adicional 13..... | 160 |
| Figura 148: Discrepancia adicional 14..... | 161 |
| Figura 149: Discrepancia adicional 15..... | 162 |
| Figura 150: Discrepancia adicional 16..... | 162 |
| Figura 151: Discrepancia adicional 17..... | 163 |
| Figura 152: AC 43-4B; página (4-32); numeral (4.13.6)..... | 164 |
| Figura 153: Discrepancia adicional 18..... | 165 |
| Figura 154: Discrepancia adicional 19..... | 166 |
| Figura 155: Discrepancia adicional 20..... | 166 |
| Figura 156: Discrepancia adicional 21..... | 167 |
| Figura 157: Discrepancia adicional 22..... | 168 |
| Figura 158: Discrepancia adicional 23..... | 169 |
| Figura 159: Discrepancia adicional 24..... | 169 |

| | |
|---|-----|
| Figura 160: SRM (57-2); página (11); numeral (7)..... | 170 |
| Figura 161: Daño adicional 25..... | 170 |
| Figura 162: Primer vuelo del cuadricóptero CFLM, (2019-04-15). | 172 |
| Figura 163: Accidente del cuadricóptero CFLM, (2019-05-08). | 172 |

RESUMEN

La inspección visual en aeronáutica se define como un examen visual de un área interior o exterior, instalación o montaje para detectar daños evidentes, fallas o irregularidades. Se ejecuta desde una distancia prudente con las condiciones disponibles, a menos que se especifique lo contrario. No es una técnica precisa porque no todos los daños son detectables a simple vista. Los dispositivos de obtención de imágenes juegan un papel cada vez más importante en este proceso. Dado que el 70% de todas las inspecciones en el mantenimiento aeronáutico tienden a ser visuales, es fundamental que se desarrolle de manera efectiva, eficiente y constante a lo largo del tiempo. Con la implementación del sistema FPV (video en tiempo real) en el cuadricóptero CFLM para ejecutar tareas de inspección visual de hundimientos y rajaduras en la piel de las alas de la aeronave Fairchild FH-227 se busca alcanzar este objetivo en la ESPE. El sistema FPV es un transmisor de video HD inalámbrico que permite la transmisión en una amplia variedad de dispositivos móviles, el control completo del cuadricóptero y su cámara, de manera eficiente con una velocidad más alta. Las imágenes obtenidas pueden verse perfectas, con baja latencia en un rango máximo y sin contaminación por baja resolución e interferencia de ruido.

PALABRAS CLAVE:

- **AERONAVE FAIRCHILD FH-227**
- **DRONES**
- **CUADRICÓPTERO**
- **AERONAVE - INSPECCIÓN VISUAL DE DISCREPANCIAS**

ABSTRACT

Aeronautical visual inspection describes as a visual examination of an interior or exterior area, installation, or assembly to detect obvious damage, failure, or irregularity. It performs from an appropriate distance with the conditions available, unless otherwise specified. Approximately 90% of all inspection in aircraft maintenance tends to be visual it is critical that this visual inspection will performed effectively, efficiently and consistently over time. Implementation of First Person View system in the CFLM quadcopter to perform visual inspection of cracks and dents tasks in the wings skin of Fairchild FH-227 aircraft, it searches to achieve this objective at ESPE. The FPV system is a wireless HD video transmitter that allows visualization to wide variety mobile devices, the complete quadcopter and camera control, efficiently with a higher speed. The images obtained may look perfect, with low latency in a maximum range and without contamination by low resolution and noise interference.

KEYWORDS:

- **FAIRCHILD FH-227 AIRCRAFT**
- **AIRCRAFT WING**
- **QUADCOPTER**
- **ARCRAFT - DISCREPANCES VISUAL INSPECTION**
- **AIRCRAFT WING SKIN**

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 ANTECEDENTES

La Unidad de Gestión de Tecnologías UGT-ESPE anteriormente llamada Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico - ITSA hace la creación de la carrera de mecánica aeronáutica basados en la necesidad de aportar a la industria aeronáutica en el Ecuador para proveer técnicos encargados del mantenimiento de una aeronave, ofreciendo nuevos campos laborales en esta industria.

El Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico–ITSA, una Institución de Educación Superior, fue creada el 08 de Noviembre de 1999 y reconocido por el CONESUP el 22 de Septiembre del año 2000, desde entonces cuenta con algunos laboratorios totalmente equipados y dos aviones escuela los cuales son adecuados para realizar tareas de inspección, remoción, mantenimiento de componentes, permitiendo de esta manera que los estudiantes de Mecánica Aeronáutica puedan poner en práctica sus conocimientos teóricos.

Aprovechando la necesidad de ejecutar algunas tareas de inspección visual en la piel de alas de avión Fairchild FH-227 y tomando en cuenta las nuevas tecnologías que existen se decidió implementar el sistema FPV en el cuadricóptero CFLM, que se encargará de efectuar estas tareas de mantenimiento con mayor eficiencia, rapidez y seguridad.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ejecución del presente proyecto se debe a que en las instalaciones de la UGT-ESPE se realizan diferentes tareas de mantenimiento en el avión Fairchild FH-227; es necesario mencionar que esta aeronave se encuentra a la intemperie desde hace mucho tiempo, por lo que ha sufrido un deterioro considerable en su estructura y la universidad no cuenta con equipos de seguridad necesarios ni con un equipo que facilite realizar una inspección visual de hundimientos y rajaduras en la piel de las alas; por ende se ha visto la necesidad de efectuar esta inspección usando el cuadricóptero CFLM con sistema FPV (video en tiempo real), para descartar daños mayores.

Los docentes y estudiantes necesitan cumplir diferentes actividades, para ello suelen subirse a las alas y a la corona del avión sin considerar los riesgos que se corren. En la actualidad el avión se encuentra alzado en gatas hidráulicas que le sirven de soporte. La falta de accesibilidad con las escaleras para cumplir con esta actividad y la dificultad de llevar herramientas consigo hace que el trabajo se vuelva complejo y se desperdicie mucho tiempo.

Este proyecto ayudará a desempeñar las tareas de inspección visual en la piel de las alas del avión de forma segura en una menor cantidad de tiempo, obteniendo datos mucho más precisos y sin poner en riesgo a los estudiantes y docentes, contribuyendo al desarrollo de otro tipo de habilidades que pondrán a la vanguardia a los futuros mecánicos aeronáuticos del Ecuador.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La UGT-ESPE cuenta con una certificación como centro de instrucción aeronáutica civil que la avala para la formación de mecánicos en célula (fuselaje) y sistemas moto propulsores (motores), por tal razón al implementar el cuadricóptero CFLM se ayudará a la innovación tecnológica en la Universidad; sus docentes y estudiantes se beneficiarán con información técnica y un equipo de última tecnología, mejorando así la formación académica, práctica e integral de los involucrados.

El desarrollo del presente proyecto contribuirá a una mejor comprensión de una inspección visual de hundimientos y rajaduras en la piel de las alas del avión Fairchild FH-227 con ayuda del sistema DJI LIGHTBRIDGE 2, por lo tanto los estudiantes de mecánica aeronáutica y el personal docente podrán cumplir de forma óptima las tareas de mantenimiento necesarias para preservar estos componentes, mejorando la enseñanza en las materias que se relacionan con el estudio de la estructura de una aeronave.

Este proyecto es factible porque garantizará la calidad de la educación con la implementación de nuevas tecnologías acorde a los avances que se dan día a día en el campo aeronáutico; además contribuirá a una mejor comprensión de los temas relacionados al mapeo estructural en una aeronave, se minimizarán los tiempos en la ejecución de los trabajos y los riesgos que supone trabajar en zonas altas de una aeronave.

1.4 OBJETIVO GENERAL

Inspeccionar visualmente por hundimiento y rajaduras la piel de las alas de la aeronave Fairchild FH-227, mediante la implementación de un sistema FPV (video en tiempo real) en el cuadricóptero CFLM, para la UGT-ESPE.

1.4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar la documentación técnica necesaria para realizar la inspección visual de hundimientos y rajaduras en la piel de las alas de la aeronave Fairchild FH-227.
- Implementar el sistema FPV DJI Lightbridge 2 en el cuadricóptero CFLM, para realizar la inspección visual de hundimientos y rajaduras en la piel de las alas de la aeronave Fairchild FH-227.
- Determinar los límites permisibles de rajaduras y hundimientos mediante el procesamiento de imágenes obtenidas en la inspección visual.

1.5 ALCANCE

La implementación del sistema FPV en el cuadricóptero CFLM; el cual permite ejecutar tareas de inspección visual de hundimientos y rajaduras en la aeronave Fairchild FH-227, contribuirá a dar una educación de calidad innovando constantemente y aplicando las nuevas tecnologías existentes. Los estudiantes de la Carrera de Mecánica Aeronáutica desarrollarán los conocimientos teóricos y prácticos aprendidos en las aulas y laboratorios.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Drones

Existe una serie de hechos históricos y figuras relevantes que poco a poco han ido dando representación a lo que hoy conocemos como una nueva forma letal de matar a distancia y que además ha originado el crecimiento del drone o UAV¹ como una tecnología potente a desarrollar también en el sector civil en diferentes ámbitos. En este nuevo mundo que incorpora paulatinamente a los drones o aeronaves pilotadas de forma remota, es imprescindible conocer más sobre todos los avances que se dan en este campo de la aeronáutica buscando el beneficio de la sociedad en cuanto a rendimiento, seguridad y confiabilidad. Utilizar la tecnología de forma equivocada acarrea consecuencias fatales para la humanidad.

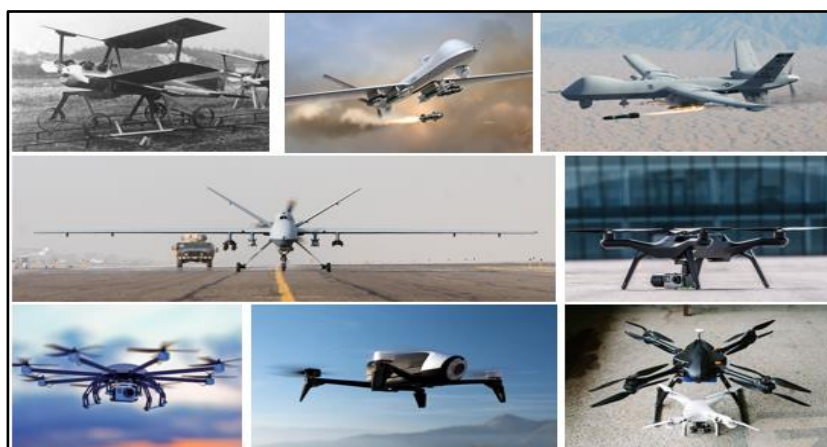


Figura 1. Evolución de los drones.

¹ UAV: Unmanned Aerial Vehicle

2.1.1 ¿Qué es un Drone?

Los pequeños sistemas de **Vehículos Aéreos no Tripulados** (VANT) por sus siglas en español, o **Unmanned Aerial Vehicle/ Unmanned Aerial System** UAV/UAS por sus siglas en inglés, más conocidos como drones, se han convertido en un pilar de las operaciones militares actuales, proporcionando a las tropas de combate y los tomadores de decisiones inteligencia vital, vigilancia y reconocimiento (ISR). Un UAV es un avión reutilizable que normalmente emplea sensores y procesamiento a bordo para estimar su estado cinemático actual controlando automáticamente su vuelo.



Figura 2. Vehículos aéreos no tripulados o drones.
Fuente: (GEO innova, s.f.)

Un drone es una aeronave capaz de volar sin una tripulación a bordo, controlado a distancia en computadora o por un piloto en tierra, capaz de seguir una ruta por GPS. Se puede establecer una clasificación de acuerdo al tipo de alas que utilizan: los de ala fija, tienen la ventaja de planear, por ende consumen menos combustible y los drones multimotor, suelen ser cuadricópteros, en los que se centrará este trabajo, aunque existen drones con seis y hasta ocho grupos propulsores. Se pueden mantener en el mismo lugar sin variar su posición.

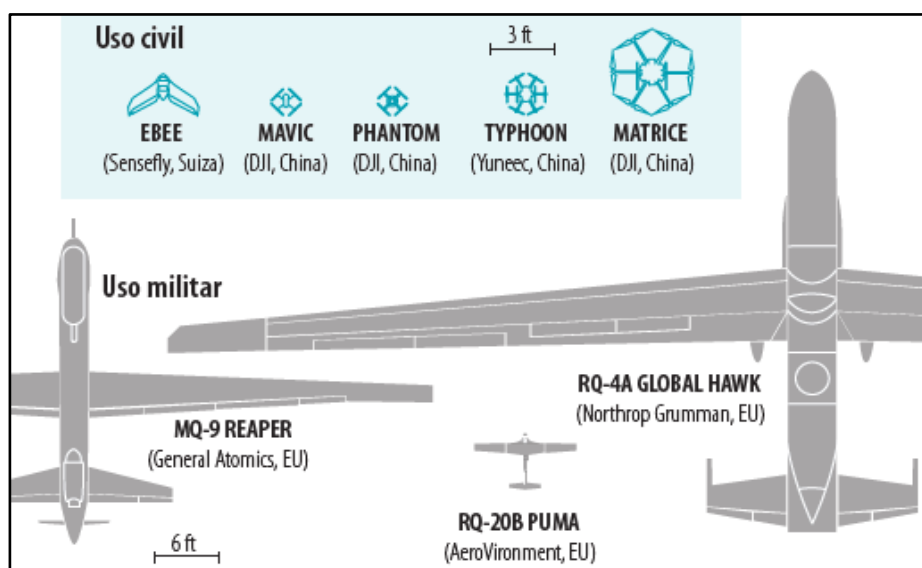


Figura 3. Ejemplos de UAV's. Marcas y país de fabricación.
Fuente: (Foro consultivo científico y tecnológico, AC, s.f.)

2.1.2 De los primeros aviones no tripulados a los drones actuales

Entender como han ido evolucionando los drones nos lleva a remontarnos a la primera mitad del siglo XIX, en dónde los primeros modelos fueron construidos y posteriormente volados por inventores como Du Temple, Stringfellow, y otros pioneros de la aviación. Cabe mencionar que lo hicieron mientras buscaban hacer volar una aeronave tripulada.

Durante la Primera Guerra Mundial la aviación no tripulada se veía frenada por la falta de un desarrollo tecnológico específico. Según Cristina Cuerno (2015), el inventor americano Elmer Ambrose Sperry logró dar solución a estos problemas creando una nave no tripulada viable. Éste logró realizar experiencias exitosas con giróscopos para aplicaciones marítimas que le llevaron a crear un giroestabilizador para un avión en 1909, aunque seguía siendo demasiado pesado. (Izquierdo Abreu & Mesa China, 2015)

En 1916 se construye el "Aerial Target" (Blanco o diana aérea) controlado mediante radiofrecuencia AM baja, para afinar la puntería de la artillería antiaérea. El desarrollo de los drones fue de la mano del de los misiles como forma de guiar los explosivos hacia un objetivo mediante el seguimiento de este. Justo después, el 12 de septiembre el "*Hewitt-Sperry Automatic Airplane*" conocido como la bomba volante realizó su primer vuelo de demostración en el que ya se podía apreciar el concepto de UAV. El control se conseguía mediante giróscopos. (Bonelli, 2015)

A finales del siglo XX cuando los "drones" comenzaron a ser operados mediante radiocontrol, obteniendo todas las características de autonomía. La Segunda Guerra Mundial significó un gran avance en lo que a aviones no tripulados se refiere. El Ejército de los Estados Unidos y La Marina pusieron en marcha algunos programas para lograr orientar a través de control remoto diferentes dispositivos. (Izquierdo Abreu & Mesa China, 2015)

En los años 60 con la llegada de los motores a reacción a la aviación militar, los drones también evolucionaron. Muchos fueron equipados con cámaras para efectuar reconocimiento, fotografía aérea, vigilancia y espionaje. Un ejemplo claro son los trabajos de espionaje en los años 60 y 70 en países como República Dominicana. En los años 70, se introducen UAV's de corto y largo alcance y de una elevada altitud.



Figura 4. UAV's más utilizados durante la Guerra Fría.
Fuente: (Aplicaciones y Operación con drones, 2015)

Una década después, en 1980 se producen grandes avances en los sistemas de control y la Fuerza Aérea de EEUU comienza a crear los primeros aviones no tripulados armados con misiles. Fue por fin, después del 11S, cuando se produce el renacimiento de los aviones no tripulados con armas de la era moderna, una tendencia que en la actualidad sigue evolucionando. Este hecho ha ocasionado un debate social que enfrenta diferentes opiniones a nivel mundial sobre la seguridad, la humanidad, la ética y la guerra. (Izquierdo Abreu & Mesa China, 2015)

2.1.3 Partes Básicas de un Drone

El objetivo general a la hora de fabricar un drone que tiene una compleja y delicada ingeniería detrás, es que sea ligero, fácilmente maniobrable y que sus materiales sean resistentes a elevadas altitudes, cambios de temperatura y velocidad. La estabilidad lograda por un drone multirrotor se da gracias a un elaborado sistema compuesto por tecnología avanzada que está cada vez más al alcance de todos. A continuación listamos e ilustramos las partes que constituyen a estos equipos:

a. *Estructura, Marco o Fuselaje*: Es la estructura que le da la apariencia y en donde todas las otras partes se instalan y sostienen. En dispositivos profesionales serán habitualmente de carbono; un material muy ligero y resistente, combinando tubos y placas, con elementos anti-vibraciones y tornillería especial. Existen fabricantes que desarrollan sus propios proyectos, añadiendo partes realizadas con impresión 3D² y algunos emplean directamente kits de otras empresas. (Ver Figura 5).



Figura 5. Estructura, marco o fuselaje de un dron.

Fuente: (3D JUEGOS, s.f.)

Para dar forma a un dron profesional hay que tener en cuenta lo siguiente:

- La capacidad interna para los elementos que irán colocados y las distintas partes de un dron.
- La rigidez estructural³ del marco de acuerdo a su forma.
- Características aerodinámicas que reduzcan lo máximo posible la resistencia que el aire genera sobre el dron. (Benítez Mantero, Marco o fuselaje, 2018)

² **Impresión 3D**: es un grupo de tecnologías de fabricación por adición dónde un objeto tridimensional es creado.

³ **Rigidez estructural**: es una medida cualitativa de la resistencia a las deformaciones elásticas producidas por un material, que contempla la capacidad de un elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones.

b. *Grupo moto propulsor*: Consiste en el conjunto de los motores, controles electrónicos de velocidad y hélices que permiten despegar, volar y aterrizar a nuestro dron.

- *Motores*: Los motores son una parte fundamental porque aportan movimiento al UAV. Pueden suministrarlo por sí mismos en el caso de turbinas o por medio de las hélices o rotores, que serán los encargados de producir la sustentación y desplazamiento del UAV respectivamente al transformar la energía giratoria del eje del motor en empuje o tracción.⁴

Los más usados en el mundo de los drones son los motores eléctricos, mediante una bobina por la que circula la corriente eléctrica. Estos pueden ser trifásicos⁵ (brushless) o bifásicos⁶ (brushed). Los primeros son más costosos, potentes, precisos y se consigue una mayor duración de las baterías para la misma potencia.

Son más comunes porque tienen más rango de velocidades de giro, menos interferencias electromagnéticas y mayor vida útil. Los motores bifásicos en cambio son más económicos, más pesados que los anteriores, las escobillas se gastan con el uso, generan corrientes parásitas, chispas y producen más calor.

⁴ **Tracción**: Acción de tender a mover una cosa hacia el punto de donde procede el esfuerzo.

⁵ **Trifásico**: Que tiene tres corrientes eléctricas alternas iguales, procedentes del mismo generador, cuyas fases respectivas se producen a la distancia de un tercio de período.

⁶ **Bifásicos**: Que tiene dos corrientes eléctricas alternas iguales, procedentes del mismo generador, cuyas fases respectivas se producen a la distancia de un cuarto de período.



Figura 6. Motores eléctricos de un drone.
Fuente: (DronProfesional.com, 2018)

- *Hélices:* Las hélices son unos de los componentes más importantes del UAV. De ellas dependerá la fuerza de empuje de cada uno de los sistemas propulsores; para un mismo motor seleccionado puede variar su eficiencia en función de la hélice que se asocie. Están compuestas habitualmente por fibra de carbono, plástico o nylon. Las hélices son caracterizadas por dos parámetros que indican su comportamiento de vuelo.
 - *La longitud de las hélices, o distancia entre las puntas:* Un tamaño de hélice mayor genera un mayor empuje, por consiguiente podremos soportar más carga.
 - *El paso de la hélice:* Indica la distancia teórica que la hélice avanzará a lo largo del eje de rotación en una revolución completa, es la capacidad de la hélice para mover el aire y generar empuje⁷. (RUIPÉREZ MARTÍN, 2016)

⁷ **Empuje:** es la fuerza con que la hélice tira del objeto hacia adelante. En el caso de los drones hacia arriba.

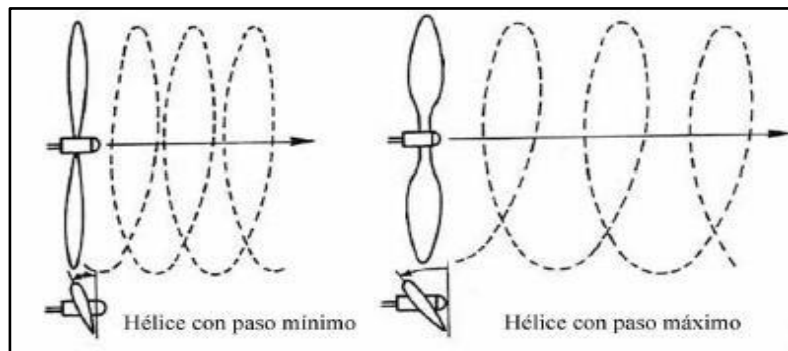


Figura 7. Hélice con paso mínimo & Hélice con paso variable.
Fuente: (RUIPÉREZ MARTÍN, 2016)



Figura 8. Hélices para drones.
Fuente: (FPVMAX, s.f.)

- *Control electrónico de velocidad (ESC):* Los ESC's, por sus siglas en inglés Electronic Speed Control, regulan la potencia eléctrica suministrada a los motores, por lo tanto la velocidad de giro del rotor que al girar a una velocidad determinada suspende el dron en el aire gracias al trabajo en conjunto con las hélices.



Figura 9. Control electrónico de velocidad.
Fuente: (PROMETEC, s.f.)

c. *Baterías*: Proporcionan la energía necesaria al drone para realizar todas sus funciones. Hay varios tipos de baterías utilizadas:

- **Ni-Cd**: Níquel-Cadmio, son las más antiguas en el mercado No toleran bien las cargas rápidas y tienen efecto memoria.⁸



Figura 10. Batería de Níquel-Cadmio.
Fuente: (allbatteries, s.f.)

- **Ni-MH**: Níquel-metal-hidruro. Sustituyen a las anteriores, pero tienen aún el efecto memoria y tienen incluso menor vida útil en cuanto a ciclos de carga y descarga.



Figura 11. Batería de Níquel-Metal-Hidruro.
Fuente: (allbatteries, s.f.)

⁸ **Efecto memoria**: es un fenómeno que reduce la capacidad de las baterías con cargas incompletas.

- **Ion-Litio:** Tienen casi el doble de capacidad, las baterías son mucho más ligeras, no poseen efecto memoria y se descargan menos cuando están almacenadas. Su inconveniente es que son más peligrosas, si se dañan o perforan son inflamables al reaccionar sus componentes con el oxígeno del aire.



Figura 12. Batería de Ion-Litio.
Fuente: (dealextrême, 2019)

- **Li-Po:** Polímero de Litio. Las más modernas y las más utilizadas. Precisan una carga más lenta que las antiguas de Ni-Cd o Ni-MH, pero se pueden fabricar en más formas que las de Ion-Litio por lo que se optimiza el espacio del fuselaje dedicado a las baterías. También tienen efecto memoria y son muy inflamables. (Benítez Mantero, Baterías, 2018)



Figura 13. Batería de Polímero de Litio.
Fuente: (Shopper Guatemala, 2019)

d. *Placa controladora o controlador de vuelo*: Es el cerebro del drone; recoge datos de todo el sistema, ubicación GPS⁹, velocidades de los motores, de los giróscopos y acelerómetros, los procesa y da las órdenes oportunas para mantener la estabilidad de la aeronave, además de transmitir convenientemente a cada motor las órdenes del piloto. Existen muchas en el mercado, de todos los precios y calidades; la ideal es aquella que se adapta a cada situación.

La placa puede integrar también un piloto automático, que tiene la capacidad de realizar vuelos programados sin necesidad de la intervención de un piloto humano, además de tomar el control en caso de pérdida del enlace de radio o nivel de batería bajo que no permita volar más tiempo, en cuyo caso conducirá al drone hasta el punto GPS que quedó grabado en el despegue.



Figura 14. Controlador de vuelo DJI “A3”.
Fuente: (DJI, s.f.)

⁹ **Ubicación GPS:** Del inglés Global Position System o en español sistema de posición global. Hace referencia a la posición de cualquier objeto o persona con una precisión de hasta centímetros (si se utiliza GPS diferencial), aunque lo habitual son unos pocos metros de precisión.

e. *Sistema de Posición Global*: El módulo GPS que incorporan gran variedad de drones permite a los pilotos establecer una ruta determinada e indicarle que la siga. Basta con seleccionar el área e indicar los puntos por los que se desea que vuele el dron; normalmente se lo hace desde el control remoto.

El sistema de posicionamiento del dron es fundamental, no solo para las grabaciones, sino para la estabilidad de navegación y la seguridad; la aeronave ha de saber en todo momento donde está y en qué lugar puede aterrizar en caso de pérdida del enlace de radio o falta de batería. Si el sistema de posicionamiento puede servirse de más de una red, mejorará su precisión, aunque será difícil que el margen de error sea menor de +/- 2 metros. Para precisiones de +/- 4 centímetros hay que usar tecnología RTK¹⁰ del Inglés (Real Time Kinematic) o Navegación cinética satelital en tiempo real, pero es muy costosa y no resulta necesaria para video y fotografía profesional. (Anónimo, GPS, 2019)



Figura 15. Control de vuelo tiburón X6 multirrotor & Módulo GPS.

Fuente: (hobbyking.com, 2019)

¹⁰ RTK: Es una técnica usada para la topografía y navegación marina basado en el uso de medidas de fase de navegadores con señales GPS, GLONASS y/o de Galileo

f. *Mando o control remoto*: Es un dispositivo con palancas multidireccionales (joysticks), a través de las cuales se puede introducir los movimientos necesarios para el vuelo del drone gracias a diferentes comandos¹¹ utilizados para transmitir éstos órdenes a la placa de control de vuelo.



Figura 16. Control remoto con pantalla integrada.
Fuente: (DJI Perú, 2019)

Los componentes electrónicos necesarios para la implementación del sistema de control remoto son:

- Un *microcontrolador* que actúe como cerebro del sistema.
- Una *IMU (Inertial Measurement Unit)* que incorpore un acelerómetro y un magnetómetro, necesarios para poder establecer la rotación de la mano.
- Un *sensor de ultrasonidos* para fijar la velocidad con la que se desplazará el drone.
- Dos *servos* para asegurar que el sensor de ultrasonidos esté siempre paralelo al suelo.

¹¹ **Comando(s)**: del Inglés command, que significa orden, mandato. Es una instrucción u orden que el usuario proporciona a un sistema informático.

- Un *módulo_RF* (Radio Frequency) para establecer la comunicación con el dron y así poderle enviar los valores para establecer el rumbo y la velocidad del cuadricóptero (pitch, roll, yaw y throttle). (CALLEJA HERNÁNDEZ, 2015-2016)

2.1.4 Tipos de Drones Profesionales

Existen diferentes tipos de UAV que, habitualmente, se suelen distribuir en tres grandes categorías, dependiendo de su tamaño, de la carga que pueden transportar y de su autonomía de vuelo: micro y mini UAV, tácticos, estratégicos y operacionales.

- a. *Micro y Mini UAV*: Son los más pequeños; están diseñados y equipados para moverse en las calles de una ciudad o dentro de edificaciones, no requieren espacios amplios. Pueden pesar entre 100 gramos y 30 kilos y vuelan a baja altitud (por debajo de 300 metros).



Figura. Mini Drone; Holy Stone HS170 Predator.

Fuente: (I92RC, 2019)

Además, se están probando los conocidos como “nano drones” que tienen el tamaño de un insecto.



Figura 17. Black Hornet Nano.

Fuente: (XATACA, 2016)

b. *Drones tácticos*: Son más pesados (entre 150 y 1.500 kilos), vuelan a una altitud entre los 3 mil y los 8 mil metros. Se usan, fundamentalmente, en operaciones militares y los de mayor autonomía usan tecnología más avanzada como conexiones vía satélite. Algunos modelos, pueden permanecer en el aire durante cuarenta horas con un rango de actuación de 3.000 kilómetros y, además, tienen la posibilidad de montar misiles guiados con sistemas de precisión. (Outeda, 2019)



Figura 18. Drones tácticos lanzados con catapulta.

Fuente: (actualidad.rt.com, 2013)

c. *Drones estratégicos*: Se utilizan para el reconocimiento de largo alcance en territorio hostil. Incluyen sistemas como el Global Hawk, que puede navegar a 20,000 metros sobre el nivel del mar durante 40 horas y recorrer 3,000 mn.



Figura 19. Northrop Grumman RQ-4 Global Hawk.
Fuente: (WIKIPEDIA, 2019)

d. *Drones Operacionales*: Los drones operacionales incluyen los sistemas Predator y Reaper, que pueden volar a 7,500 y 15,000 metros respectivamente. Se despliegan en el nivel de combate del teatro de operaciones y se pueden usar tanto para reconocimiento como para ataques.



Figura 20. Reaper Drone USA.
Fuente: (YOUTUBE, 2017)

2.1.5 Uso de los drones Profesionales

Los drones tienen muchas aplicaciones en el mundo. Pueden desplazarse ágilmente sobre un terreno y superar cualquier tipo de obstáculo, ofreciendo imágenes y varios tipos de información dependiendo los sensores que empleen. Se puede clasificar a los drones de acuerdo a sus usos en dos grandes grupos: los de uso militar y los de uso civil. En la tabla 1 se muestra su potencial según el sector, que se calculó tomando en cuenta el valor de los servicios y empleos actuales que pueden ser sustituidos usando drones.

Tabla 1

Valor del mercado por industria.

| Sector | 2015 Miles de millones de dólares (mmd) |
|------------------------|--|
| Infraestructura | 45.2 |
| Agricultura | 32.4 |
| Transporte | 13 |
| Seguridad | 10.5 |
| Medios de comunicación | 8.8 |
| Seguros | 6.8 |
| Telecomunicaciones | 6.3 |
| Minería | 4.3 |
| TOTAL | 127.3 |

Fuente: foroconsultivo.org.mx

a. Uso militar de los drones

Conocidos como “Unmanned Combat Air Vehicle (UCAV) o en español Vehículo No Tripulado de Combate Aéreo. Son de uso exclusivo de las fuerzas aéreas y de la CIA. Simplemente se les llama drones de combate, o drones militares.



Figura 21. MQ-9 Reaper USA.
Fuente: (DEFPOST, 2018)

b. Uso audiovisual de los drones

Este es sin duda uno de los usos más comunes de los drones. Su versatilidad hace de estos objetos voladores una gran herramienta a la hora de conquistar lo inimaginable. Las cámaras pueden ir perfectamente estabilizadas y aseguradas en su estructura, lo que ayuda a obtener imágenes de mucha precisión y tomas muy atractivas a la hora de crear una película, cortometraje, comerciales o cualquier material audiovisual requerido.



Figura 22. Drone Parrot BeBop 2.
Fuente: (IBEROBIKE.COM, 2016)

c. Uso de los drones en Seguridad

Actualmente el sector petrolero está haciendo uso de esta tecnología para seguridad del personal y la infraestructura utilizada en los hidrocarburos en el vecino país de Colombia, desde la fase de exploración sísmica hasta el período de transporte, cuidando grandes tramos del oleoducto en las zonas que representan el mayor riesgo para la operación. Los drones al estar bien equipados con cámaras muy sofisticadas y sensores que permitan un control óptimo del aparato se vuelven herramientas muy eficaces a la hora de combatir delitos como robos y ataques terroristas.



Figura 23. Drone de video-vigilancia.
Fuente: (EL CARRETE DEL SIGLO XXI, 2018)

Es la mejor solución de video vigilancia para la protección y vigilancia de grandes espacios, por su amplio campo de visión, por su velocidad y por su versatilidad. Gracias a los avances tecnológicos y al abaratamiento de costes, en pocos años estaremos familiarizados con el vuelo de los drones en urbanizaciones y comunidades de propietarios de gran extensión, desempeñando funciones de video vigilancia. Lo que hoy suena a ciencia ficción, mañana será una realidad.
(Anónimo, Seguridad y videovigilancia con Drones, 2019)

d. Uso de los drones en la Agricultura

La agricultura de precisión, cuyo objetivo es optimizar las cosechas, ya se ha abierto camino en el mercado de muchos países. Los datos juegan un papel importante en la agricultura de precisión; basado en la observación y la medición, un agricultor decide cuándo y cómo tratar cada cultivo. La agricultura de precisión involucra muchas técnicas y herramientas, y los drones pueden ser uno.

Tabla 2

Ventajas y desventajas de los drones en la Agricultura.

| Los drones en la Agricultura | |
|---|--|
| Ventajas | Desventajas |
| Detección más rápida de enfermedades agrícolas. | La legislación sobre drones limita las posibilidades. |
| Seguimiento más preciso del cultivo. | Los agricultores son bastante escépticos hacia las nuevas tecnologías. |
| Optimización de la cosecha en el futuro. | La mayoría de los agricultores tienen pequeñas parcelas y no sería rentable. |
| Estimación más precisa de la cosecha. | Autonomía de vuelo limitada con peso, en el caso de fumigación. |

Los drones pueden sobrevolar los campos de una forma rápida y captar información diversa gracias a sus sensores. Esto permite que aquellos que gestionan los cultivos tengan a su disposición una herramienta para controlar e incrementar la productividad. Un solo dron puede monitorizar cientos de hectáreas de forma precisa, evaluando las condiciones del terreno, con el fin de recoger información sobre la hidratación, la temperatura o el ritmo de crecimiento de los cultivos. Una de las funciones más importantes que se atribuyen a estos dispositivos es la localización prematura de enfermedades. (Bejerano G. , 2015)



Figura 24. Dron fumigador.

e. Uso de los drones en Entretenimiento

Disney acaba de registrar una patente que le permitiría utilizar los drones dentro de sus parques temáticos en California y Florida. La patente describe drones equipados con pantallas flexibles que actuarán como píxeles flotantes para crear una pantalla voladora. Los drones serían equipados con luces LED y serán capaces de crear imágenes abstractas simulando las figuras que se forman actualmente con fuegos artificiales. Los vuelos de los drones serían programados y podrían estar acompañados de música. (Ramirez L. , 2016)



Figura 25. Parque temático Disney, California.
Fuente: (DIGITAL TRENDS, 2019)

Entre los varios usos de los drones, uno de los más comunes es el entretenimiento. Consiste en comprar drones simplemente por el placer que produce volarlos y maniobrar con ellos. Volar sin más, es divertido. Sin embargo, el ser humano es ambicioso por naturaleza y siempre necesita demostrar sus habilidades; en este contexto surgen las competencias con drones que hoy en día se han convertido en un fenómeno a nivel mundial.

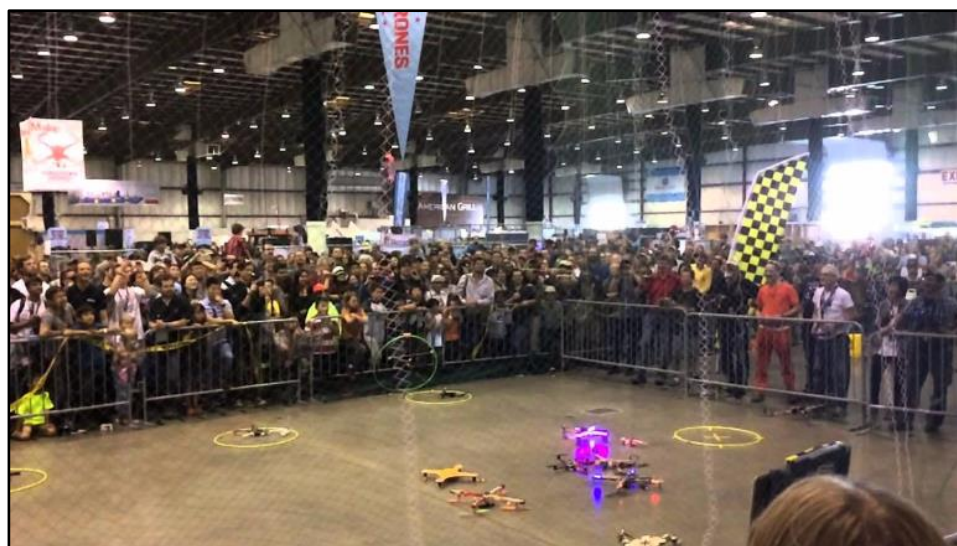


Figura 26. Primera competencia de drones en Holanda.
Fuente: (RPP NOTICIAS, 2017)

Los drones ofrecen una amplia gama de posibilidades para iniciativas de marketing innovadoras, que se ampliarán una vez que se les permita llevar objetos. Por ejemplo, los drones podrían usarse para distribuir muestras; imagínese las muestras de crema solar que se distribuyen en la playa. La tecnología de drones combinada con la tecnología de reconocimiento facial para dirigirse a audiencias específicas como niños, ancianos o personas con afecciones específicas de la piel aumentaría significativamente la propuesta de valor: una marca creativa combinada con una focalización más efectiva.



Figura 27. Publicidad con drones.

Fuente: (R.C TECNIC, s.f.)

f. Uso de los drones en Aviación

Los drones cada día evolucionan más al igual que la aviación. En vista de las capacidades que tienen estos objetos voladores, diferentes empresas relacionadas a la aviación comercial se han planteado desarrollar drones que sean útiles en este campo. Airbus está demostrando un nuevo sistema automatizado de inspección de aeronaves basado en aviones no tripulados que acelera y facilita las inspecciones visuales, lo que reduce considerablemente el tiempo de inactividad de las aeronaves y, al mismo tiempo, aumenta la calidad de los informes de inspección.

Presentado en la exposición MRO Americas en el estado de Florida, el “Advanced Inspection Drone”, está diseñado para usarse dentro de un hangar. Una vez lanzado por un operador, sigue una ruta de inspección predefinida, que captura imágenes de alta resolución de la estructura de la aeronave mientras mantiene una distancia segura a través de su sistema de detección de obstáculos y anticolidión integrado con láser.



Figura 28. Inspección de un A320 en la fábrica de Airbus.
Fuente: (AIRBUS, 2018)

Utilizar drones, agiliza y facilita la inspección visual en aeronaves de gran tamaño a las que se tiene difícil acceso y se emplea mucha infraestructura. Reducen considerablemente el tiempo en tierra de estas aeronaves y el costo que esto representa, incluyendo la confiabilidad de los informes una vez finalizada la inspección, lo asegura Airbus. Para poner en marcha una inspección, los operadores del drone predefinen la ruta del mismo vía GPS alrededor de la aeronave en cuestión. El drone seguirá esta ruta de forma autónoma gracias a un radar láser que es capaz de detectar obstáculos y modificar la ruta o detener el vuelo si es necesario.



Figura 29. Drone de inspección de interior de Airbus.
Fuente: (AIRBUS, 2018)

Además las imágenes se envían a ordenadores que las analizan con un algoritmo informático que localiza y mide cualquier daño en la superficie comparando las fotografías tomadas con un modelo virtual 3D de la aeronave, lo que permite realizar una evaluación precisa de los defectos, diferencias, variaciones o daños. El software genera automáticamente un informe de inspección. Las herramientas de imagen avanzadas permiten una evaluación precisa de los defectos, mientras que el software genera un informe para completar el ciclo de inspección completo. (IATA, 2018)



Figura 30. Hangar del futuro, Airbus.
Fuente: (AIRBUS, 2018)

La plataforma Advanced Inspection Drone es un elemento de la iniciativa "Hangar of the Future" de Airbus. Este ambicioso proyecto combina el uso de tecnologías innovadoras y equipos inteligentes conectados a 'Internet of Things' como drones, robots colaborativos (o cobots) y sensores no destructivos con documentación técnica de aeronaves y datos en servicio de aeronaves recopilados a través de los datos abiertos de Airbus. Plataforma, Skywise. El desarrollo del Advanced Inspection Drone se realizó en colaboración con la filial de Airbus, Testia, que se especializa en pruebas no destructivas. (AIRBUS, 2018)

Por otro lado, aerolíneas comerciales como Lufthansa ha llegado a un acuerdo con el fabricante de drones chino DJI para desarrollar drones fusionando los conocimientos de ambas empresas. En este acuerdo, la aerolínea se encargará de aportar las soluciones tecnológicas mientras que DJI ofrecerá sus drones como soporte técnico para implementar dichas aplicaciones. Una de las aplicaciones llevadas a cabo es la inspección de control en aviones comerciales. Estas aeronaves deben soportar condiciones extremas en vuelo. Por ejemplo las turbinas, que se ven expuestas a fuertes vientos que pueden superar los 300 kilómetros por hora, lo que los hace susceptibles de sufrir desperfectos incompatibles con volar de forma segura. (Montero, 2016)



Figura 31. Lufthansa Technik prueba el uso de drones.
Fuente: (AIRCARGO WORLD, 2019)

Para este cometido, uno de los drones escogidos es el Matrice 100, un cuadricóptero profesional cuyo precio oscila entre los 3.600 euros de la versión básica hasta los 8.000 euros que alcanza con cámaras y equipos extras. Durante la inspección, el drone realiza ráfagas de fotos del fuselaje, turbinas y otras partes de la aeronave. (Montero, 2016)

Las imágenes captadas son filtradas mediante un software que se encarga de generar una imagen completamente digital. Los datos obtenidos tras el proceso de inspección son usados por Nordex, compañía productora de generadores de energía con la que Lufthansa tiene lazos comerciales, para determinar si, en este caso la turbina, necesita ser reparada. (Montero, 2016)

La compañía de aviación comercial EasyJet, famosa por ofrecer vuelos baratos. La aerolínea ha anunciado hace algunos meses que usará drones para inspeccionar sus aviones, convirtiéndose en la primera en utilizarlos para este fin. Según EasyJet ya han realizado varias pruebas triunfantes, por lo que es posible que veamos a los drones en cualquier momento sobrevolar en torno a sus grandes hermanos, los aviones.

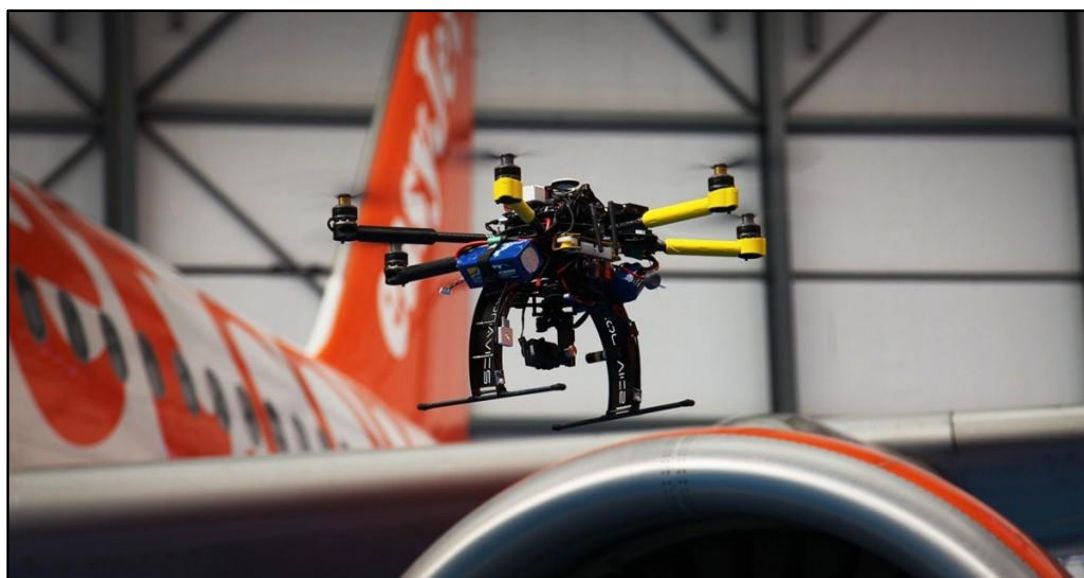


Figura 32. Hexacóptero realizando una prueba en la aerolínea EasyJet.
Fuente: (Torrente Digital, 2015)

2.1.6 Características de los cuadricópteros

La característica principal de estos drones es que tienen cuatro motores. La importancia de las características radica en el hecho de que las diferentes cargas útiles de los estos y las aplicaciones relacionadas dependen de (gradaciones dentro de) estas características. Además, los drones se clasifican generalmente utilizando características como su autonomía, tamaño, peso y fuentes de energía que emplean.

a. Nivel de Autonomía

La autonomía puede variar desde una operación totalmente autónoma hasta un control total por parte de un piloto. Debido a la ausencia de un piloto, los drones siempre tienen un cierto nivel de autonomía. Una distinción importante dentro del concepto de autonomía es la diferencia entre sistemas automáticos y autónomos.

Un sistema automático es un sistema completamente pre programado que puede realizar una asignación pre programada por sí mismo. Los sistemas autónomos, por otro lado, pueden hacer frente a situaciones inesperadas mediante el uso de un conjunto de reglas pre programadas para ayudarles a tomar decisiones. Se establecen ciertos niveles de autonomía para los drones. El nivel más básico de autonomía es un sistema operado por humanos en el que un operador humano en tierra toma todas las decisiones con respecto a la operación de la aeronave. Este sistema no tiene ningún control autónomo sobre su entorno.

Un mayor nivel de autonomía es un sistema humano delegado. Este sistema puede realizar muchas funciones independientes del control humano. Puede realizar tareas cuando está delegado para hacerlo, sin más aportes humanos. Algunos ejemplos son los controles del motor, los controles automáticos y otra automatización que debe ser activada o desactivada por un controlador humano.

El tercer nivel de autonomía es un sistema humano supervisado. Este sistema puede realizar varias tareas cuando un humano le da ciertos permisos e instrucciones. Tanto el sistema como el supervisor pueden iniciar acciones basadas en datos detectados. Sin embargo, el sistema solo puede iniciar estas acciones dentro del alcance de la tarea actual.

El último nivel de autonomía es un sistema totalmente autónomo. Este sistema recibe comandos ingresados por un humano y traduce estos comandos en tareas específicas sin más interacción humana. El secreto para aumentar la autonomía se llama hidrógeno.



Figura 33. Cuadricóptero de hidrógeno.
Fuente: (XATAKA, 2015)

b. Dimensiones y Peso

Otra característica destacable es la diferencia de tamaño entre drones. El tamaño puede variar de drones del tamaño de un insecto a drones del tamaño de un avión comercial.



Figura 34. Drone insecto más pequeño del mundo.
Fuente: (Clarín TECNOLOGÍA, 2017)

El peso también es una característica importante. El peso de los drones puede variar desde varios gramos hasta cientos de kilogramos dependiendo en ambos casos de la función que cumpla el drone.



Figura 35. La NASA preparan el avión Ikhana.
Fuente: (NASA, 2018)

c. Diferencias entre Fuentes de Energía

Existen cuatro fuentes de energía principales empleadas en drones: combustible tradicional de avión, celdas de batería, celdas de combustible y celdas solares.

- *Combustible de avión (keroseno)*: se utiliza principalmente en grandes aviones no tripulados de ala fija. Un ejemplo de este tipo de avión no tripulado es el avión militar Predator. Este avión es usado mucho por el ejército de los Estados Unidos y puede equiparse con varios sensores diferentes, pero también con cohetes y otros tipos de municiones.



Figura 36. Drone Predator norteamericano.

Fuente: (Diario de avisos.com, 2011)

- *Celdas de batería*: se utilizan principalmente en drones multirrotor más pequeños. Estos drones son de corto alcance y requieren menos tiempo de operación que los drones que usan queroseno. Estos drones a menudo son para uso recreativo, por lo que es más práctico que el drone se ejecute en una celda de batería recargable. Un ejemplo de tal avión no tripulado es el drone Phantom.



Figura 37. Drone cuadricóptero DJI Phantom 4 PRO V2.0.

Fuente: (DJI, s.f.)

Una celda de combustible es un dispositivo electroquímico que convierte la energía química del combustible directamente en energía eléctrica. Debido a la falta de conversiones en energía térmica y mecánica, esta conversión es eficiente y amigable con el medio ambiente. Las celdas de combustible rara vez se utilizan en aviones no tripulados.

Solo los drones de ala fija pueden equiparse con una célula de este tipo debido al peso relativamente alto de la célula. Una gran ventaja de usar una celda de combustible es el hecho de que los drones pueden volar distancias más largas sin recargarse. Por ejemplo, el avión no tripulado Stalker que usa una celda de combustible tiene un tiempo de vuelo de 8 h en lugar de 2 h.



Figura 38. Drone Stalker.
Fuente: (SCIENCE, 2012)

Los drones que usan células solares son raros en la industria actual de los drones. Los drones que utilizan células solares son principalmente drones de alas fijas. Debido a la baja eficiencia de las células solares actuales, estas células generalmente son adecuadas para muchos drones multirrotor. Sin embargo, las células solares son adecuadas para pequeños ornitópteros. Los drones de células solares atrajeron mucha atención de los medios cuando tanto Google como Facebook alcanzaron acuerdos con los fabricantes de estos drones. Su objetivo era permitir que los drones que funcionan con energía solar volaran en la atmósfera de forma permanente para que las personas puedan conectarse a Internet de forma más fácil y masiva.



Figura 39. El prototipo 'Helios'.
Fuente: (Colectando sol, 2017)

d. Modelos de drones ampliamente utilizados

Debido a la creciente popularidad de la tecnología de aviones no tripulados, los nuevos modelos se desarrollan a un ritmo rápido. Por lo tanto, es imposible describir aquí todos los modelos de drones existentes. En este documento solo se describen algunos modelos que han estado en los medios de comunicación en cierta medida y modelos que están ampliamente disponibles para los gobiernos, la industria y los ciudadanos. El orden en que se discuten es de pequeño a grande.

- Delfly Explorer

El Delfly Explorer es un drone ornitóptero que vuela como una libélula y está siendo desarrollado por la Universidad Tecnológica de Delft en los Países Bajos. El drone puede despegar y volar completamente autónomo dentro de un entorno cerrado durante solo nueve minutos debido a las restricciones de tamaño y peso de la batería.

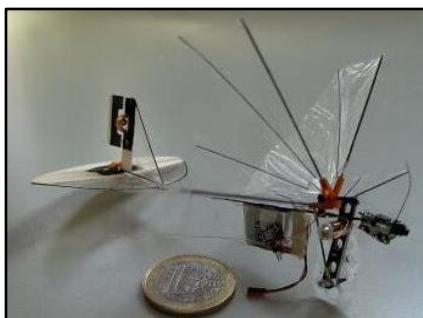


Figura 40. Delfly Explorer.
Fuente: (DELFLY, s.f.)

- Hubsan x4 Drone

Es un pequeño dron multirrotor desarrollado por la empresa china Hubsan, simple en diseño y operación. Tiene cuatro rotores y puede ser operado con un controlador. Tiene un peso de 30 g, un radio de alrededor de 100 m y puede funcionar durante 7 minutos con una batería completamente cargada.



Figura 41. Hubsan x4.
Fuente: (AZETA, 2019)

- Parrot AR Drone

Construido principalmente para fines recreativos, puede ser controlado por un dispositivo móvil, funciona entre 12–18 minutos, pesa unos 400 g, incorpora dos cámaras, tecnología Bluetooth y Wifi. Utiliza puntos de referencia GPS.



Figura 42. Parrot AR drone.
Fuente: (AMAZON, 2019)

- DJI Phantom

Es un drone multirrotor que incorpora una cámara y se controla con un teléfono inteligente o un controlador de Wifi. El Phantom puede volar a unos 54 km/h y operar durante unos 25 min. Con solo programar la altitud de vuelo y ciertos puntos de ruta, el drone puede despegar, aterrizar, hacer grabaciones y regresar automáticamente.



Figura 43. Familia Phantom: desde el Phantom 2 hasta el Phantom 4
Fuente: (Drone by Drone, 2016)

- Raven

El Raven es un dron de alas fijas desarrollado originalmente para el Ejército de los EE. UU en 2002. El propósito principal del Raven es la vigilancia y puede ser controlado de forma remota o pre programado para un funcionamiento autónomo. El Raven tiene un ancho de 1,4 m, pesa aproximadamente 2 kg y puede permanecer operativo durante 60 a 90 minutos dentro de un rango de 10 km. Está equipado con una óptica y una cámara de infrarrojos.



Figura 44. RQ-11 Dron Raven.

Fuente: (TIME, 2011)

- ScanEagle

El ScanEagle es un avión no tripulado de ala fija que data de 2004 y se utiliza principalmente como herramienta de vigilancia. Está equipado con una cámara óptica y / o infrarroja y puede funcionar durante más de 20h. Tiene 3,1m de ancho, 1,2m de largo, pesa 18 kg y tiene una velocidad de crucero de 89 km/h. El dron puede ser lanzado por presión neumática y puede aterrizar con un sistema de skyhook, arrancándolo del aire. Por lo tanto, una pista de aterrizaje no es necesaria.



Figura 45. UK Royal Navy launches ScanEagle UAV.
Fuente: (NAVAL TECHNOLOGY, 2014)

- Agras MG-1S

El Agras MG-1S integra una serie de tecnologías DJI de vanguardia, incluido el nuevo controlador de vuelo A3 y un sistema de detección de radar que brinda confiabilidad adicional durante el vuelo. Con un alcance de 5 Km y capaz de transportar hasta 10 kg de cargas útiles líquidas, el MG-1S es un avión de alto rendimiento capaz de ofrecer soluciones integrales para el cuidado agrícola.



Figura 46. Drone Agras MG-1S.
Fuente: (EL VUELO DEL DRONE, 2019)

- Matrice 600 Pro

El Matrice 600 Pro (M600 Pro) hereda todo, desde el M600. Los brazos y antenas preinstalados reducen el tiempo requerido para la configuración, y el diseño modular del sistema facilita el montaje de módulos adicionales. Equipado con las últimas tecnologías DJI, incluido el controlador de vuelo A3 Pro, el sistema de transmisión Lightbridge 2 HD, entre otros.

Tiene un peso máximo de despegue de 15.1 Kg, una altitud máxima de vuelo sobre el nivel del mar de 2500 m y una velocidad de 18 m/s (sin viento)¹², hacen de este equipo una herramienta excelente para la fotografía aérea y las diferentes aplicaciones industriales.



Figura 47. Drone Matrice 600 Pro.

Fuente: (DJI, s.f.)

¹² Datos obtenidos de: <https://www.dji.com/matrice600-pro>

2.1. 7 Física de un Cuadricóptero

Tanto un multirrotor como un avión ligero siguen la misma aerodinámica que la de un avión comercial. Resulta interesante entonces explicar que es lo que sucede con estas aeronaves. Antes de entrar a su estudio hemos de tener unas nociones básicas.

- a. Teorema de Bernoulli: Daniel Bernoulli comprobó experimentalmente que "la presión interna de un fluido (líquido o gas) decrece en la medida que la velocidad del fluido se incrementa", o dicho de otra forma "en un fluido en movimiento, la suma de la presión y la velocidad en un punto cualquiera permanece constante". (Muñoz, 2019)
- b. Efecto Venturi: Giovanni Battista Venturi comprobó experimentalmente que al pasar por un estrechamiento las partículas de un fluido aumentan su velocidad.
- c. 3a Ley de Newton: «Para cada acción existe una reacción igual y opuesta.»

Si un Quad es simétrico y los motores de este generan la misma fuerza, el sumatorio de fuerzas será únicamente vertical y pasará a la misma posición y altura. De esto entendemos la importancia de controlar el centro de gravedad y la velocidad de los motores. Si, además, $F=m \cdot g$, la aeronave se quedará a la misma posición y altura. Porque el sumatorio de las fuerzas ascendientes de cada rotor determina el movimiento del Quad. Por lo tanto, para generar sustentación la potencia tiene que ser como mínimo igual al peso. Un cuadricóptero tiene 4 hélices equidistantes, dos de ellas giran en sentido horario y las otras dos en sentido anti horario. (Mancioc, 2019)

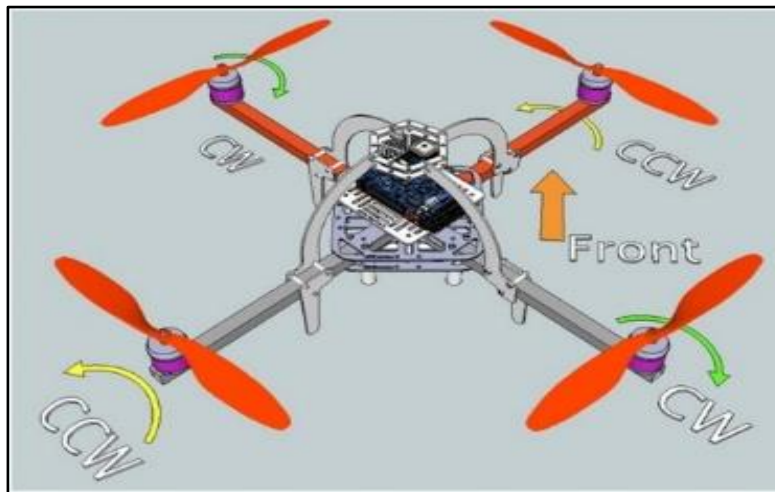


Figura 48. Sentido de giro de las hélices en un cuadricóptero.
Fuente: (Drone center, 2015)

La rotación en sentido opuesto de las hélices se debe a que la sumatoria de los momentos se debe equilibrar. Si todas las hélices giran en el mismo sentido los pares de fuerza se sumarían y el aparato tendría que girar en sentido contrario a las palas para mantenerse en armonía, obedeciendo la tercera ley de Newton. Explicado de otra forma, es lo que sucede cuando un helicóptero pierde su rotor de cola por cualquier motivo. La aeronave se vuelve ingobernable.

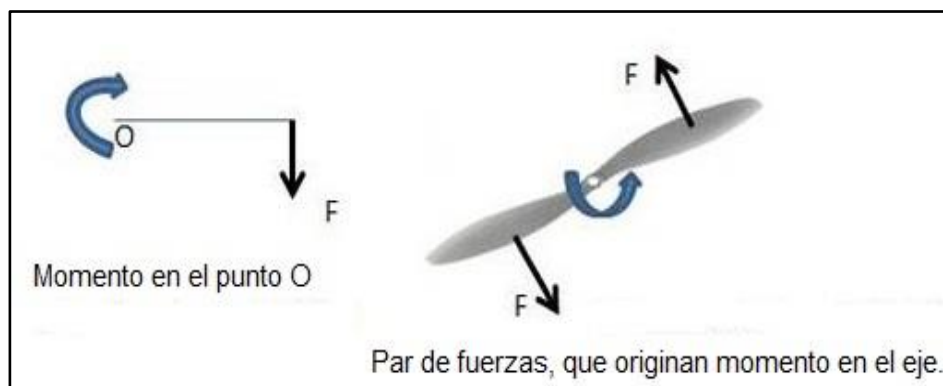


Figura 49. Fuerzas que originan momento en el eje.
Fuente: (HCYT Amazings, 2015)

Un dron se elevará cuando la aceleración de sus rotores conjuntamente con sus hélices generen sustentación vertical que sea igual o mayor al peso. En el primer caso lograremos mantener el dron en equilibrio a cualquier altura. En el segundo caso el dron seguirá ascendiendo. El peso total se divide entre los cuatro rotores, los cuales se modifican en pares para controlar el dron y hacer los movimientos necesarios.

Un cuadricóptero puede tener cuatro tipos de movimiento: guiñada (hacia la derecha o izquierda del eje vertical), alabeo (hacia la derecha o izquierda del eje longitudinal), cabeceo (rotación hacia delante o hacia atrás con respecto al eje transversal) y altitud (elevación en vertical). Estos movimientos están controlados por la variación o el ajuste de la propulsión en cada motor. Debe ser simultáneo y al mismo nivel, lo que producirá que la fuerza del vector se divida en dos componentes, la horizontal y la vertical.

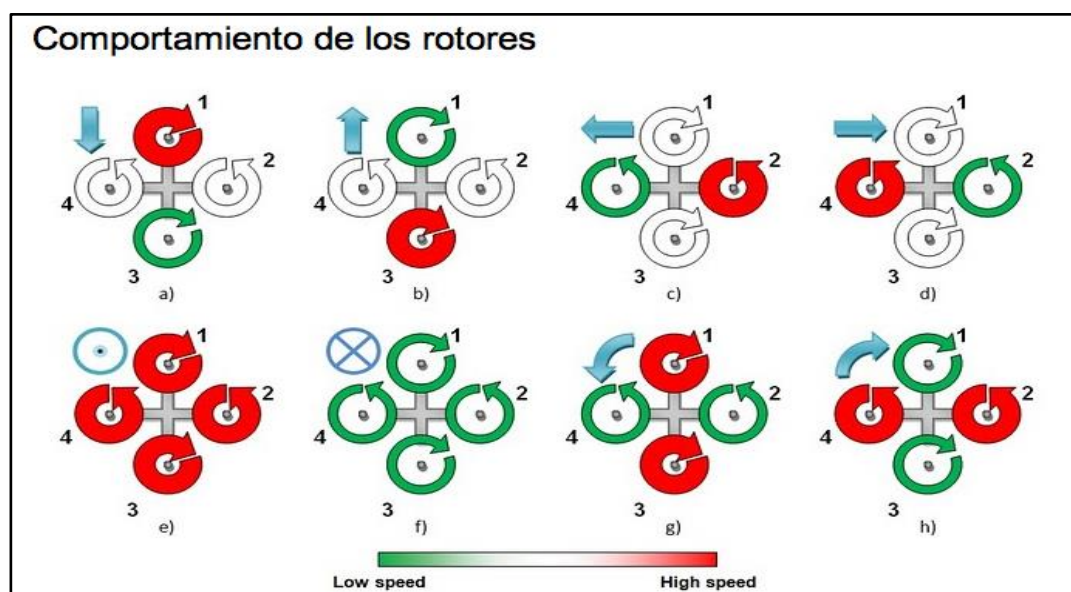


Figura 50. Comportamiento de los rotores.

Fuente: (Aeromodelismo fácil, 2019)

Se tendrá dos consecuencias: La primera es que el cuadricóptero empezará a volar en sentido contrario a la componente horizontal, y la segunda es que la componente vertical será más pequeña causada por la disminución de la fuerza. Esto provocará el descenso vertical. Para evitar esto es necesario incrementar la propulsión. (Roberto, s.f.)

2.1.8 Normativa de Operación de drones en el Ecuador

El día 17 de septiembre de 2015, la Dirección General de aviación Civil del Ecuador (DGAC) en uso de sus atribuciones legales hizo pública la resolución No. 251/2015, en donde se detallan las normativas que regulan la operación de sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) o conocidas como drones, o sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS); con el fin de precautelar la seguridad operacional en las actividades aéreas y de los ciudadanos, debido al incremento significativo de operaciones con esta aeronaves para distintos fines en el territorio nacional (Ver Anexo 1). A continuación se transcribe los artículos más relevantes de esta resolución:

Art. 1: Operaciones en la cercanía de un aeródromo

Se prohíbe la operación de las RPAS/UAS en espacios aéreos controlados. La operación de las RPAS/UAS se mantendrá durante toda la duración del vuelo, a una distancia igual o mayor a 9 kilómetros (5NM¹³) de las proximidades de cualquier aeródromo o base militar. (DAC Ecuador , 2015)

¹³ **NM:** Del Inglés Nautical Mile o en español Milla Náutica.

Art.2 Altura máxima de vuelo

La operación de las RPAS/UAS no excederá en ningún momento una altura de vuelo de 400 pies (122 m) sobre el terreno (AGL¹⁴). (DAC Ecuador , 2015)

Art. 3 Horas de operación

Las RPAS/UAS serán operadas solamente en las horas comprendidas entre la salida y la puesta del sol; y en condiciones meteorológicas de vuelo visual (VMC), libre de nubes, neblina, precipitación o cualquier otra condición que obstruya o pueda obstruir el contacto visual permanente con la RPAS/UAS. (DAC Ecuador , 2015)

Art. 4 Responsabilidad por la operación

La persona que opera los controles de las RPAS/UAS será responsable por la operación general de la misma durante todo el vuelo, en forma solidaria con el explotador o propietario de la aeronave. (DAC Ecuador , 2015)

Art. 5 Integridad fisiológica del operador de una RPA

Ninguna persona operara los controles de una RPAS/UAS sí:

- (a) Se encuentra fatigado, o si considera que pudiera sufrir los efectos de la fatiga durante la operación;

¹⁴ **AGL:** Del Inglés Above Ground Level o en español por encima del nivel del suelo.

(b) Se encuentra bajo el efecto del consumo de bebidas alcohólicas, o de cualquier droga que pudiera afectar sus facultades para operar los controles de manera segura. (DAC Ecuador , 2015)

Art. 6 Funciones de automatización

Si las RPAS/UAS tienen la capacidad de realizar vuelo automático, esta función podrá ser utilizada solamente si le permite al operador de los controles intervenir en cualquier momento para tomar el control de la aeronave. (DAC Ecuador , 2015)

Art. 7 Limitaciones

La persona que opera los controles de una RPAS/UAS es responsable por asegurarse que la misma sea operada de acuerdo con las limitaciones operacionales establecidas por el fabricante. (DAC Ecuador , 2015)

Art. 8 Seguros

El propietario o explotador de las RPAS/UAS están en la obligación de responder por los daños causados a terceros, como resultado de sus actividades de vuelo, para lo cual debe contratar la póliza de seguros de responsabilidad civil legal a terceros en los montos mínimos establecidos. (DAC Ecuador , 2015)


| | | |
|---|--|--------------|
|  | De 02 a 25 Kg. de masa máxima de despegue (MTOW) | USD 3.000,00 |
| | De más de 25Kg. masa máxima de despegue (MTOW) | USD 5.000,00 |

Figura 51. Tabla de valores para la contratación de seguros.

Fuente: Resolución 251/2015, DGAC Ecuador.

En conclusión todos los puntos son muy importantes, pero los descritos en este trabajo, son los que algunos pilotos de drone consultados han indicado como esenciales. Ante cualquier regulación vigente, siempre se debe volar de manera segura, tanto para el operador como para otras personas respetando la privacidad de terceros, y sin incurrir en actividades ilícitas como el transporte de mercancías prohibidas o el espionaje.

Actualmente, en Ecuador no se necesita contar con una licencia o tomar clases para poder operar un drone, sin embargo en otros países como Estados Unidos, es necesario estar bien capacitado para no provocar incidentes o accidentes. Cabe mencionar también que en nuestra constitución aún no hay una ley sobre responsabilidades penales al operar estas aeronaves de manera irresponsable y fuera de regulación, probablemente en un futuro cercano existirá. Por mencionar otro ejemplo, en varios aeropuertos de otros países han existido varios problemas por el uso indebido de estas aeronaves, es por eso que todas las autoridades aeronáuticas de las diferentes naciones trabajan en controlar y regular la operación correcta de esta tecnología.



Figura 52. Choque de un drone con el borde de ataque de un ala.
Fuente: (Aviation International News, 2018)

2.2 Sistema FPV

El sistema First Person View (FPV) o en español Vista en Primera Persona (VPP), se refiere al conjunto de componentes básicos que se utilizan actualmente para monitorear y controlar drones desde tierra. El piloto puede observar lo mismo que ve el drone como si estuviese sentado en la cabina del aparato. Este sistema permite realizar vuelos a mucha más distancia.

Existen numerosas ventajas de utilizar este sistema en drones, por ejemplo evitar los problemas de los vuelos LOS¹⁵. Por lo general las condiciones de luz suelen afectar considerablemente el monitoreo de un drone, por ejemplo el sol. Perder de vista al drone aunque sea por un tiempo mínimo resultará en una tragedia. Es decir este sistema contribuye a que el vuelo sea más seguro.

¹⁵ LOS (Line of Sight): Vuelo en tercera persona.

Para dotar al equipo de vuelo con un sistema completo FPV se deben distinguir varios elementos, entre ellos se tiene:

- Cámara: es la encargada de tomar las imágenes o a su vez grabar video a tiempo real y enviárselas al transmisor de video (VTX).
- Transmisor de video (VTX): este a su vez envía la señal a un receptor en tierra (VRX).
- Receptor en tierra (VRX): el receptor puede ser la pantalla de un celular, tablet, Televisión, computadora o incluso unas gafas FPV.

2.2.1 Lightbridge 1

Básicamente se trata de un sistema de comunicación y transmisión de datos que es capaz de transmitir vídeo en alta definición, OSD, señales de control y telemetría a través de un solo sistema, siempre y cuando, eso sí, exista visión directa entre el transmisor y el receptor. (Martín, s.f.)

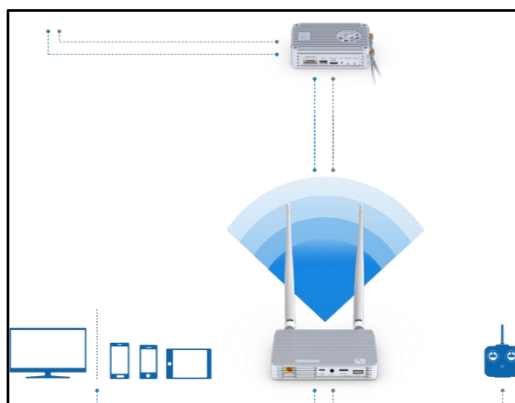


Figura 53. Sistema Lightbridge.

Fuente: (DJI, s.f.)

2.2.2 Sistema DJI Lightbridge 2

La compañía DJI ha lanzado al sucesor del Lightbridge 1, original para llevar la transmisión profesional en HD a otro nivel. Se han llevado a cabo muchas actualizaciones y mejoras (Ver tabla 3), consiguiendo un nuevo producto para capturar videos elegantes en alta definición. Por esta razón, el DJI Lightbridge 2, brinda alegría a los fotógrafos y videógrafos profesionales con su inigualable transmisión inalámbrica de imágenes HD.

Tabla 3
Especificaciones del DJI Lightbridge 2

| Especificaciones del DJI Lightbridge 2 |
|---|
| Creado para la radiodifusión profesional de alta definición. |
| Amplia compatibilidad con una amplia gama de dispositivos HDMI. |
| Incluye control remoto con transmisor integrado. |
| Ofrece transmisión de video 1080P en tiempo real. |
| Datos de vuelo en pantalla (OSD) |
| Características del modo maestro-esclavo. |
| Viene con la selección inteligente y dinámica de canales. |

El DJI Lightbridge 2, es un transmisor de video HD inalámbrico que permite la transmisión de video a una amplia variedad de dispositivos móviles como tablets, teléfonos inteligentes, televisores o cualquier otra pantalla compatible. Este sistema se compone de dos subsistemas que son: subsistema de aire y subsistema de tierra, (Ver Figura 55).



Figura 54. Control remoto con transmisor integrado.
Fuente: (DJI, s.f.)

a. Subsistema de Aire

Este subsistema se encuentra montado en la aeronave, la unidad aérea Lightbridge 2 se utiliza para recopilar señales de video aéreo, datos de vuelo y transmitirlos al sistema de tierra, así como enviar señales de salida al controlador de vuelo y otros equipos.

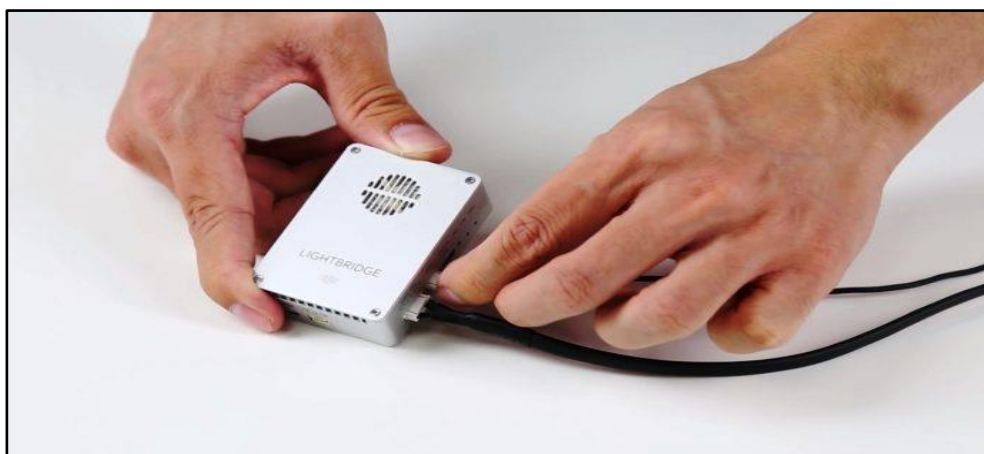


Figura 55. Subsistema de aire.
Fuente: (Brown, s.f.)

b. Subsistema de Tierra

DJI Lightbridge 2 es un enlace descendente de video de largo alcance capaz de transmitir video Full HD 1080p60 a distancias de hasta 3.1 millas (5Km). Integra el módulo de control remoto en el sistema de tierra, que viene con una serie de controles así como algunos botones personalizables. El soporte para múltiples sistemas terrestres permite que un operador controle el movimiento de la aeronave, mientras que el otro operador se enfoca en la captura de video. El video en tiempo real y la telemetría de vuelo se pueden observar en una amplia variedad de dispositivos móviles a través de la aplicación DJI GO.

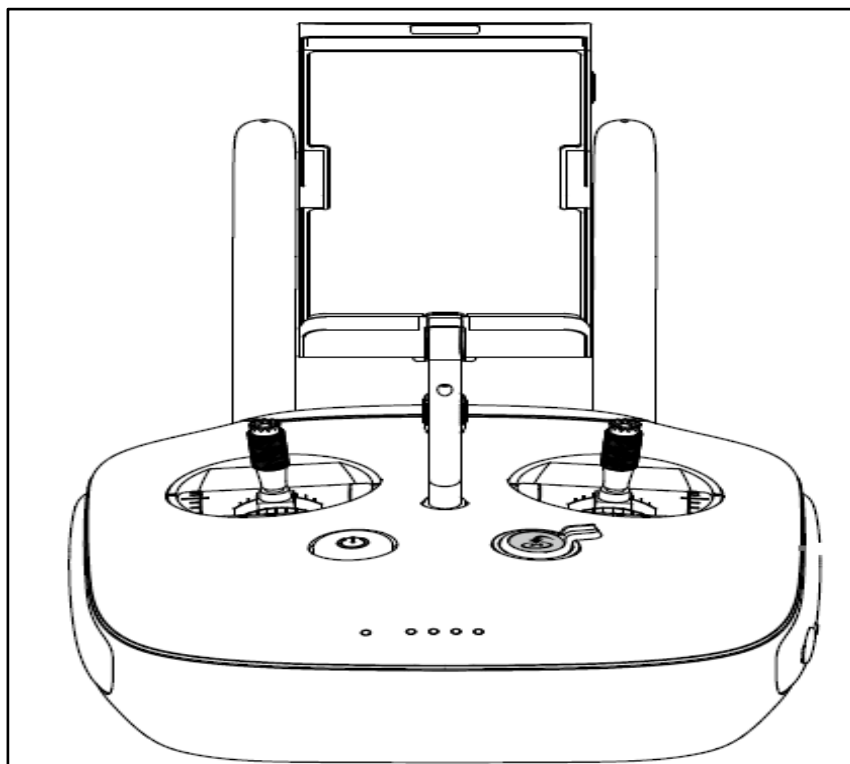


Figura 56. Subsistema de tierra.

Fuente: Manual del usuario DJI Lightbridge 2.

Tabla 4*Características principales del Lightbridge 2.*

| Características principales del Lightbridge 2 |
|--|
| Mando a distancia integrado. |
| Baja latencia, tan baja como 50m. |
| Increíble rango de transmisión de video de hasta 5km. |
| Puerto SDI agregado. |
| Doble transmisión de video. |
| Transmisión dinámica e inteligente. |
| Múltiples mandos a distancia. |
| Con 6000mAh de batería para mayor tiempo de operación. |

El transmisor DJI Lightbridge 2, viene con los puertos USB, 3G-SDI y mini-HDMI que admiten la salida de transmisión de 720p¹⁶ / 59.94 fps¹⁷ y 1080i¹⁸ / 50fps, la salida de video de hasta 1080p / 60fps (Ver tabla 16). La necesidad de acercarse a sus objetos se ve negada por el increíble alcance de 5 kilómetros. La calidad de las imágenes o videos no se verá afectada por la distancia, ya que DJI Lightbridge 2 puede transmitirlos con una latencia¹⁹ baja de 50 ms²⁰ que sus predecesores.

**Figura 57.** Transmisión profesional en HD.

Fuente: (DJI, s.f.)

¹⁶ **P:** Píxeles¹⁷ **FPS:** Fotogramas por segundo.¹⁸ **1080i:** Es el nombre corto para una categoría de un modo de vídeo.¹⁹ **Latencia:** Es el retardo introducido por el procesado de señales de audio y vídeo.²⁰ **ms:** Milisegundos

2.3 Aeronave Fairchild FH-227

El Fairchild F-27 y el Fairchild Hiller FH-227 fueron versiones del avión de pasajeros turbohélice de doble motor Fokker F27 Friendship, fabricado bajo licencia por la fusionada Fairchild Hiller Corporation en los Estados Unidos. El Fairchild F-27 era similar al Fokker F27 estándar, mientras que el FH-227 era una versión extendida desarrollada de forma independiente. Los dos modelos de aviones tienen ala alta, con tren tipo retráctil.



Figura 58. Avión Fairchild FH-227 con matrícula HC-BHD.

Los trabajos consistieron en el alargamiento del fuselaje para crear lo que sería el FH-227, teniendo como base el Fokker F27 y su planta motriz Rolls-Royce Dart. Se añadieron 1,98 m delante de la sección central de las alas, lo que contribuyó a que estas aeronaves pasaran de tener una capacidad de 40 pasajeros en los F27, a 52 pasajeros en los FH-227. En la parte exterior era fácil reconocerlos no solo por su mayor longitud comparada con el modelo anterior, sino que actualmente llevan 12 ventanas por cada lado, no así el F27 que solo tiene 10.

La producción de la serie Fairchild F27 / FH 227 terminó en 1968, aunque la última entrega no se realizó hasta 1972. La producción total de Fairchild fue de 128 F-27 y setenta y ocho FH-227. El final del programa terminó la producción de aviones en Hagerstown y también los esfuerzos estadounidenses en el campo del servicio local, ya que Fairchild decidió en junio de 1968 no desarrollar el avión de doble turbofan FH-228 basado en el Fokker F28. (M. Pattillo, 2001)

2.3.1 Dimensiones y Áreas

El ATA²¹ 06 del Manual de Mantenimiento de cualquier aeronave contempla las dimensiones y áreas de la misma. Proporciona las dimensiones principales para las alas, el fuselaje, los estabilizadores horizontales y el vertical. También muestra áreas para las superficies del ala y el empenaje. Hay diagramas de estaciones para el fuselaje, el ala, las superficies verticales de la cola, la góndola del motor, las puertas y paneles de acceso.

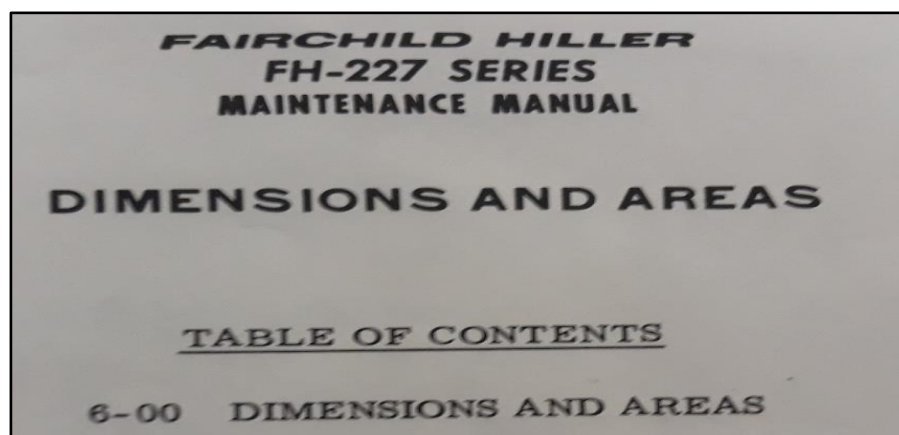


Figura 59. Ejemplo del ATA 06 del avión Fairchild FH-227.

²¹ **ATA:** Asociación de Transporte Aéreo.

a. Dimensiones de la Aeronave

Las dimensiones se muestran con información relacionada a las medidas de la aeronave y sus componentes mayores, que ayudan al operador a suministrar almacenamiento, pasar a través de las puertas del hangar e incluir otras áreas aisladas de la aeronave. En el caso de los aeropuertos ayuda para diseñar y construir las calles de rodaje y distribuir los pits de acuerdo a los modelos de aeronaves que operan.

Tabla 5
Dimensiones principales del avión Fairchild FH-227.

| Datos del avión Fairchild FH-227 | |
|---|---------|
| Envergadura | 95,2 ft |
| Longitud | 83,8 ft |
| Altura | 27,7 ft |

Fuente: (Airliners.net, 2017)

Esta información ayuda a la hora de movilizar la aeronave en tierra, construir puestos de mantenimiento o construir aeropuertos y señalética en los mismos. Las dimensiones están dadas en diferentes unidades dependiendo del país de fabricación. Las áreas de los conjuntos de las aeronaves se indican en pies cuadrados. Las dimensiones principales de toda aeronave son: envergadura, longitud y altura. El avión está dividido en secciones, zonas, estaciones, líneas de referencia como Datum, Body Waterline y Body Buttock Line. Estas líneas se miden en pulgadas. Ayudan a identificar rápidamente la ubicación de los componentes, el centro de gravedad y la distribución del peso en la aeronave.

b. Secciones del Fuselaje (Fus. Sect.)

Los fuselajes de tipo semimonocasco se construyen generalmente en dos o más secciones. En las aeronaves pequeñas se realizan de esta forma mientras que las aeronaves más grandes pueden constar de hasta seis secciones. Los mamparos, marcos, largueros y larguerillos facilitan el diseño y la construcción de un fuselaje aerodinámico y aumentan la resistencia y rigidez de la estructura. (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION F. , Airframe & Powerplant MECHANICS AIRFRAME HANDBOOK [Estructura del Fuselaje & Planta motriz MANUAL DE MECÁNICOS DE FUSELAJE]; Traducido por: Jonnathan A. Ludeña L.)

En consecuencia una sección en un avión es una parte del fuselaje que consta de mamparos, marcos, largueros y larguerillos, la piel y todo lo que contenga esa parte. Dependiendo del fabricante cada aeronave se dividirá en las secciones convenientes para su diseño, construcción y mantenimiento. En el caso de la aeronave Fairchild FH-227 perteneciente a la Unidad de Gestión de Tecnologías UGT-ESPE no se ha encontrado la información correspondiente; es por eso que, para fines didácticos se muestra un diagrama de secciones y estaciones del fuselaje del avión Boeing 737 300/400/500 obtenido por medios privados.

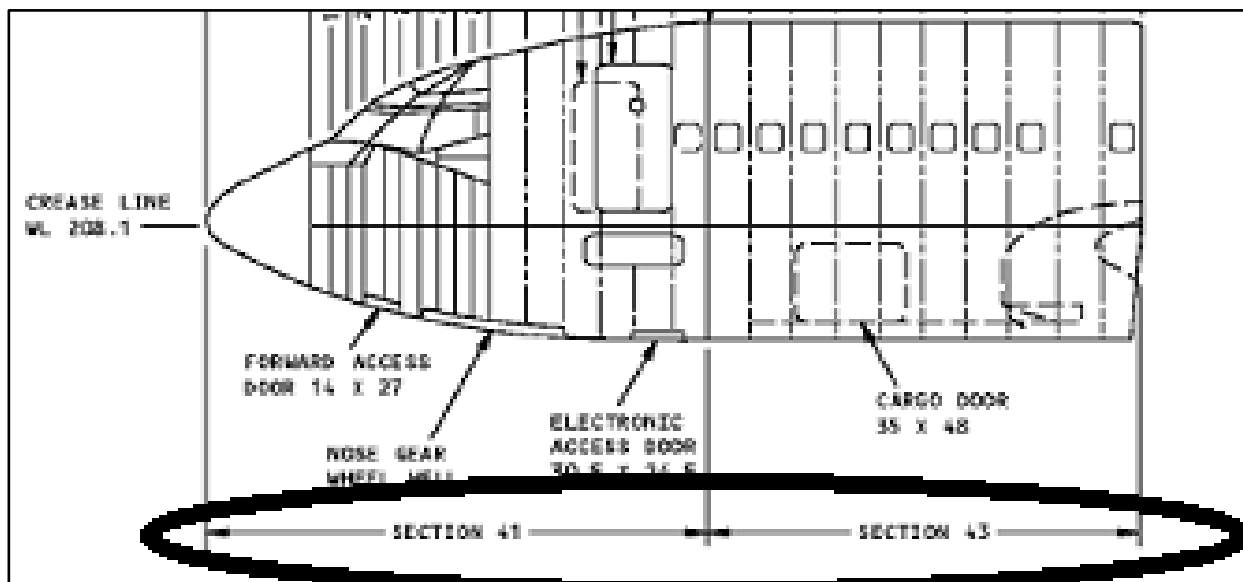


Figura 60. Body Station Diagram [Diagrama de Estaciones del Fuselaje]

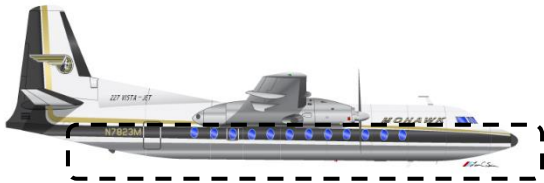
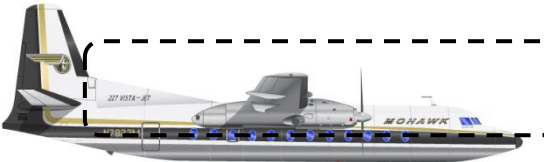
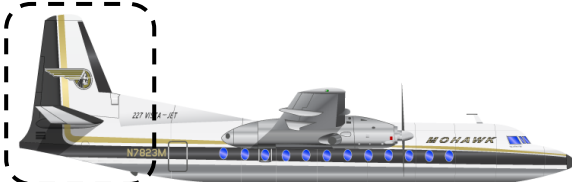
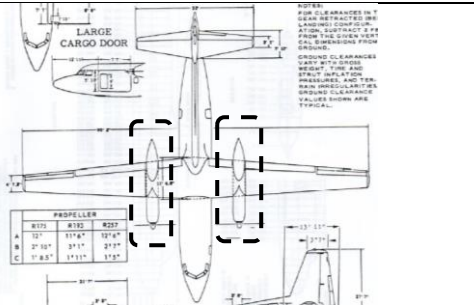
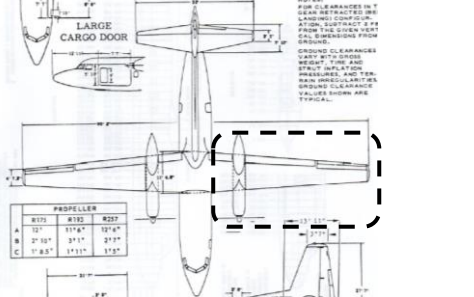
Fuente: Manual de Mantenimiento del avión Boeing 737 300/400/500

c. Zonas del Fuselaje (Fus. Zone o F.Z.)

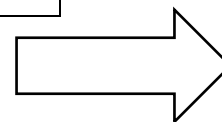
La división en zonas de las aeronaves grandes está especificada por la Air Transport Association of America [Asociación de Transporte Aéreo de América], en la Especificación ATA-100. Una zona se identifica por uno de los tres indicadores, dependiendo de si es una zona principal, una subzona principal o simplemente una zona. Las zonas principales se identifican mediante números de tres dígitos como sigue: (Pathirana, Aircraft Structure Zoning System [Sistema de zonificación de la estructura de la aeronave]; Traducido por: Jonnathan A. Ludeña L., 2011)

Tabla 6

División en zonas de aeronaves grandes de acuerdo a la ATA.

| Zonas principales de una aeronave grande | | |
|--|--|--|
| No. de zona mayor | Área | Imagen de referencia |
| 100 | Bajo la mitad del fuselaje hasta el mamparo trasero de presión (debajo de la cubierta principal de la cabina). |  |
| 200 | La mitad superior del fuselaje hasta el mamparo trasero de presión. |  |
| 300 | Empenaje, incluido el fuselaje después del mamparo de presión trasera. |  |
| 400 | Centrales eléctricas, soportes o pilones. |  |
| 500 | Ala izquierda |  |

CONTINÚA



d. Estaciones del Fuselaje (Fus. Sta. O F.S.)

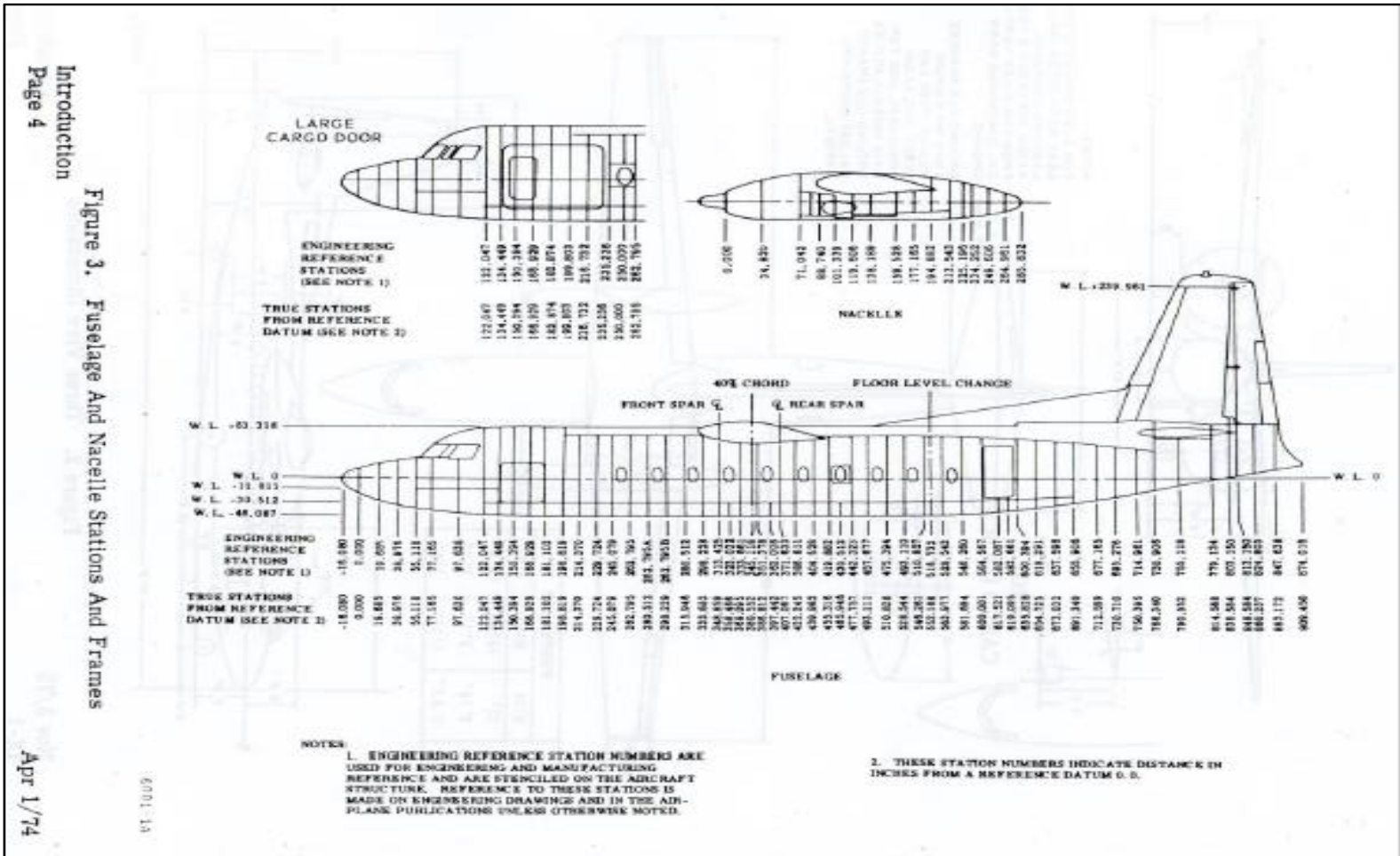


Figura 61. Estaciones de fuselaje y barquilla.
Fuente: Manual de Reparación Estructural del avión FH-227.

De acuerdo a la figura 62, existen varios sistemas de numeración en uso para facilitar la ubicación de marcos de alas específicos, mamparos de fuselaje, o cualquier otro miembro estructural en una aeronave. La mayoría de los fabricantes utilizan algún sistema de marcado de estaciones; por ejemplo, la punta de la aeronave puede ser designada como estación cero, y otras estaciones están ubicadas a distancias medidas en pulgadas detrás de la estación cero.

Para localizar estructuras a la derecha o izquierda de la línea central de una aeronave, muchos fabricantes consideran esta línea central como una estación cero para la ubicación estructural de los miembros a su derecha o izquierda. Con tal sistema la estructura de los estabilizadores puede ser designada siendo tantas pulgadas a la derecha o a la izquierda de la línea central de la aeronave. El sistema de numeración del fabricante aplicable y las designaciones o símbolos abreviados deberán siempre revisarse antes de intentar localizar un miembro estructural. (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION F. , 1972)

WL—Water line is a horizontal reference plane measured parallel to the aircraft longitudinal axis, beginning below the aircraft.

BL—Buttock line is a vertical reference plane measured parallel to the aircraft longitudinal axis, beginning at the aircraft centerline. Right or left is included to indicate the direction from aircraft centerline (i.e., RBL, LBL).

CL—Centerline is a horizontal reference plane that represents the aircraft centerline.

WS—Wing station is a vertical reference plane measured perpendicular to the wing datum plane and parallel to the longitudinal axis of the aircraft, beginning at the aircraft centerline.

SS—Stabilizer station is a horizontal reference plane measured perpendicular to the stabilizer datum plane and parallel to the longitudinal axis of the aircraft, beginning at the aircraft centerline.

Figura 62. Designaciones utilizadas en los manuales.
Fuente: Manual de entrenamiento, aeronave CITATION JET 3.

Como se puede observar en la figura 63, algunas de las denominaciones típicas utilizadas por muchos fabricantes son: Fuselage station [Estación del Fuselaje], Buttock line or butt line [Línea longitudinal o línea de tope], Water line [Línea flotante], Aileron Station [Estación del aleron], Flap Station [Estación del Flap], Nacelle Station [Estación de la góndola]. A continuación se explicará cada una de ellas por separado.

Para el caso de la aeronave Fairchild FH-227 tenemos dos tipos de estaciones para el caso del fuselaje, en este caso son las estaciones de referencia de ingeniería y las estaciones verdaderas desde la referencia datum (Ver Figura 62). Las primeras se utilizan para la referencia de ingeniería y fabricación y están estampados en la estructura de la aeronave. La referencia a estas estaciones se hace en los planos de ingeniería y en las publicaciones del avión, a menos que se indique lo contrario. Las segundas son distancias en pulgadas desde la referencia datum (0.0).

e. Línea longitudinal o línea de tope (B.L.)

Es una medida de ancho en paralelo al eje longitudinal de la aeronave, que comienza en la línea central de la aeronave. Derecha o izquierda se incluye para indicar la dirección desde la línea central de la aeronave.

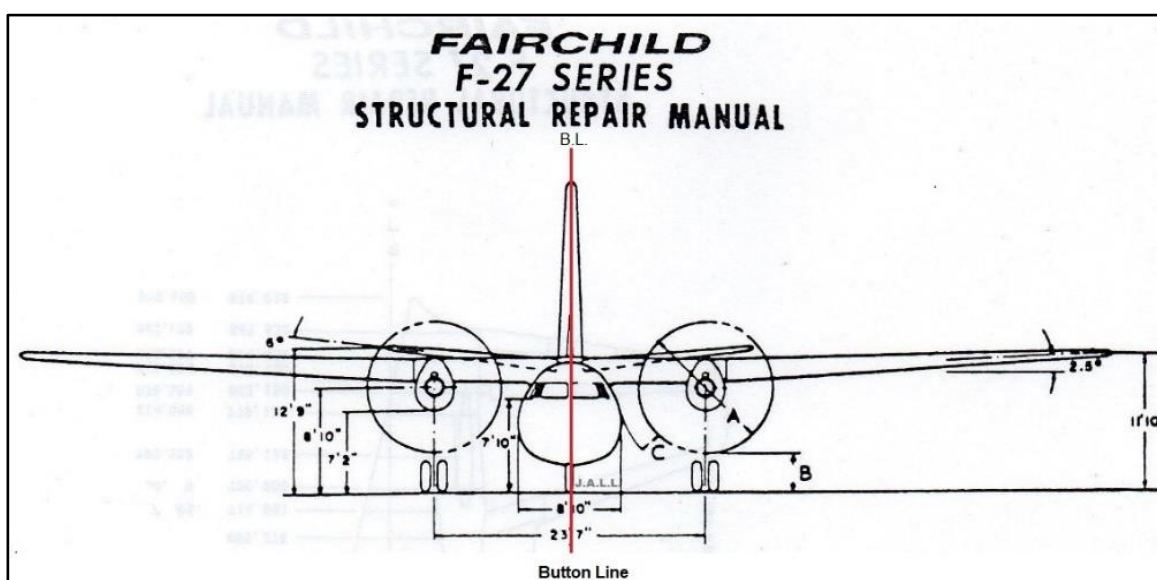


Figura 63. Button Line del avión Fairchild FH-227.

f. Línea flotante (W.L.)

Es la medida de la altura en pulgadas perpendicular a un plano horizontal situado a una distancia fija debajo de la parte inferior del fuselaje del avión.

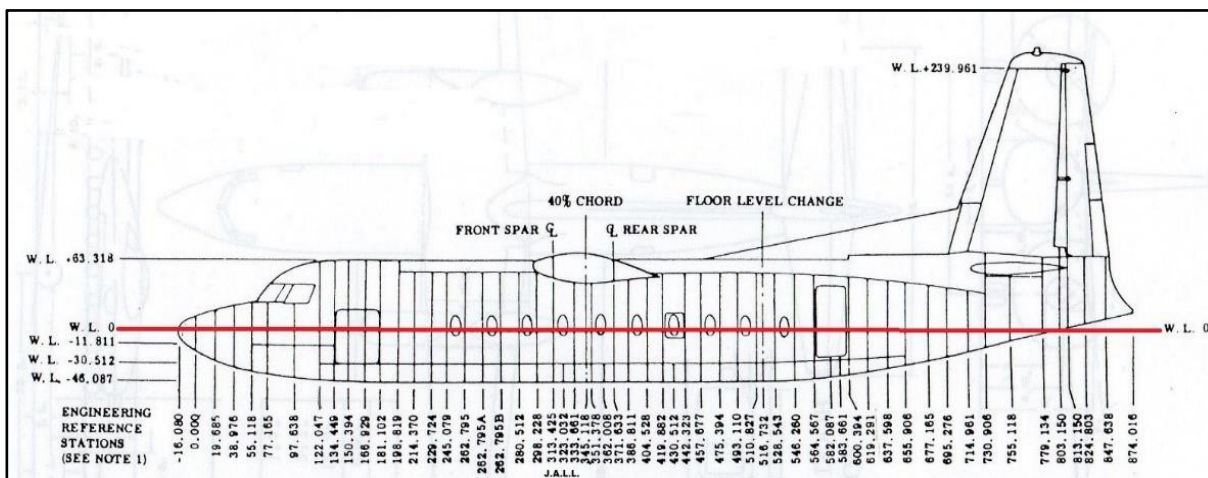


Figura 64. Water Line del aviod Fairchild FH-227.

g. Estación del ala (W.S.)

Es un plano de referencia vertical medido perpendicularmente al plano de referencia del ala y paralelo al eje longitudinal de la aeronave, que comienza en la línea central de la aeronave.

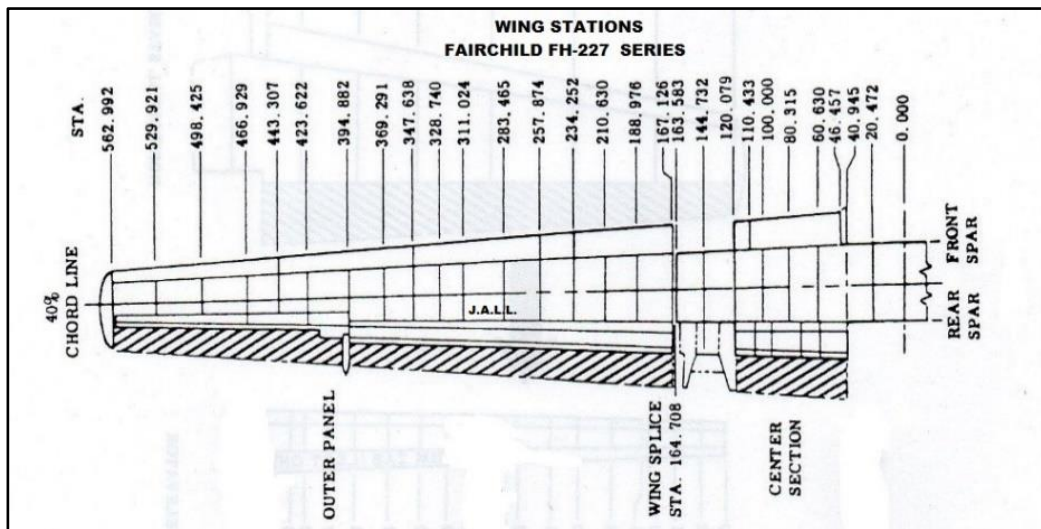


Figura 65. Wing Stations del avión Fairchild FH-227.

h. Estación del alerón (A.S.)

Se mide fuera del borde interior del alerón y paralelamente al mismo, perpendicular a la viga posterior del ala.

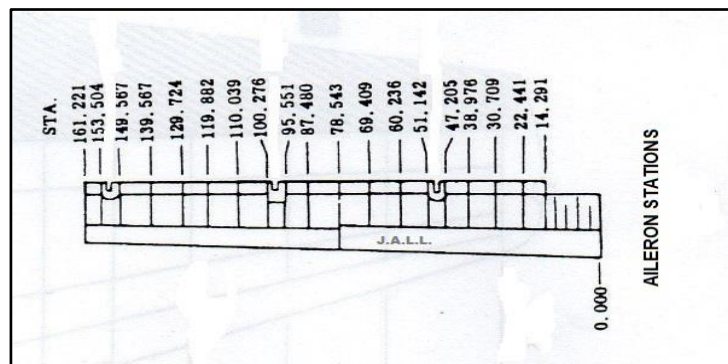


Figura 66. Aileron Station del avión Fairchild FH-227.

i. Estación de la aleta (F.S.)

Se mide perpendicularmente a la viga posterior del ala y paralelo al borde interior de la aleta y fuera de él.

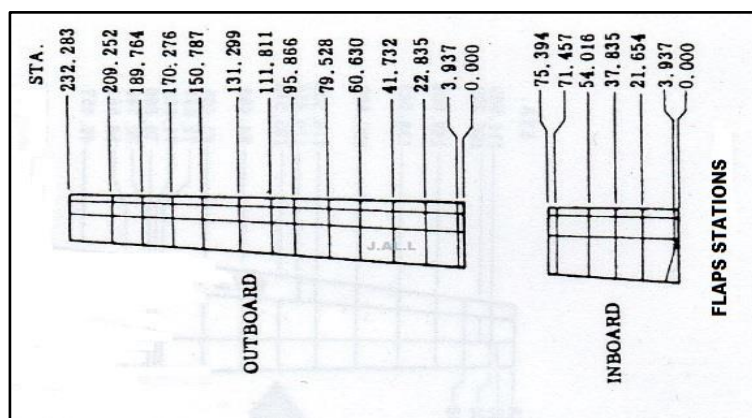


Figura 67. Flaps Stations del avión Fairchild FH-227.

j. Estación de la Barquilla (N.C. o Nac. Sta.)

Se mide por delante o por detrás del larguero delantero del ala y perpendicular a una línea de flotación designada.

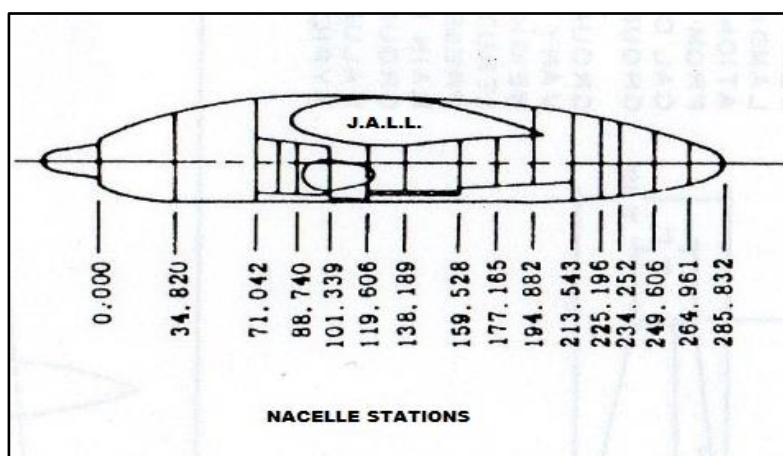


Figura 68. Nacelle Station del avión Fairchild FH-227.

2.3.2 Componentes de las alas Aeronave Fairchild FH-227

La estructura del ala entre los extremos izquierdo y derecho consiste básicamente en el ala izquierda, la sección central del ala y el ala derecha. Las cajas de ala izquierda y derecha son similares en estructura. Las cajas del ala izquierda y derecha están en voladizo desde la caja central del ala que lleva, y está encerrada dentro del fuselaje en la parte superior. El grosor y la cuerda de cada ala se reducen hacia la punta y, a simple vista, ambas alas retroceden desde la caja central del ala. Cada una de las alas de la aeronave Fairchild FH-227 consta de paneles exteriores, Flaps internos y externos, Alerones, Aletas de centrado de los alerones con y sin resorte.



Figura 69. Componentes de las alas del avión Fairchild FH-227.

a. Sección central del ala

La sección central del ala está compuesta por paneles superiores e inferiores, los cuales están compuestos de una piel de aleación de aluminio 2024 de espesor constante. Las láminas de la piel están sujetas a los largueros frontal, posterior y también a los larguerillos. Otro material utilizado es la lámina de plástico laminado que se utiliza para la piel del borde de ataque. La piel del borde de salida es un contrachapado de aleación de aluminio muy resistente. Todas las juntas de la piel con los larguerillos y otras láminas están selladas para evitar fugas de combustible. (FAIRCHILD HILLER, 1975)

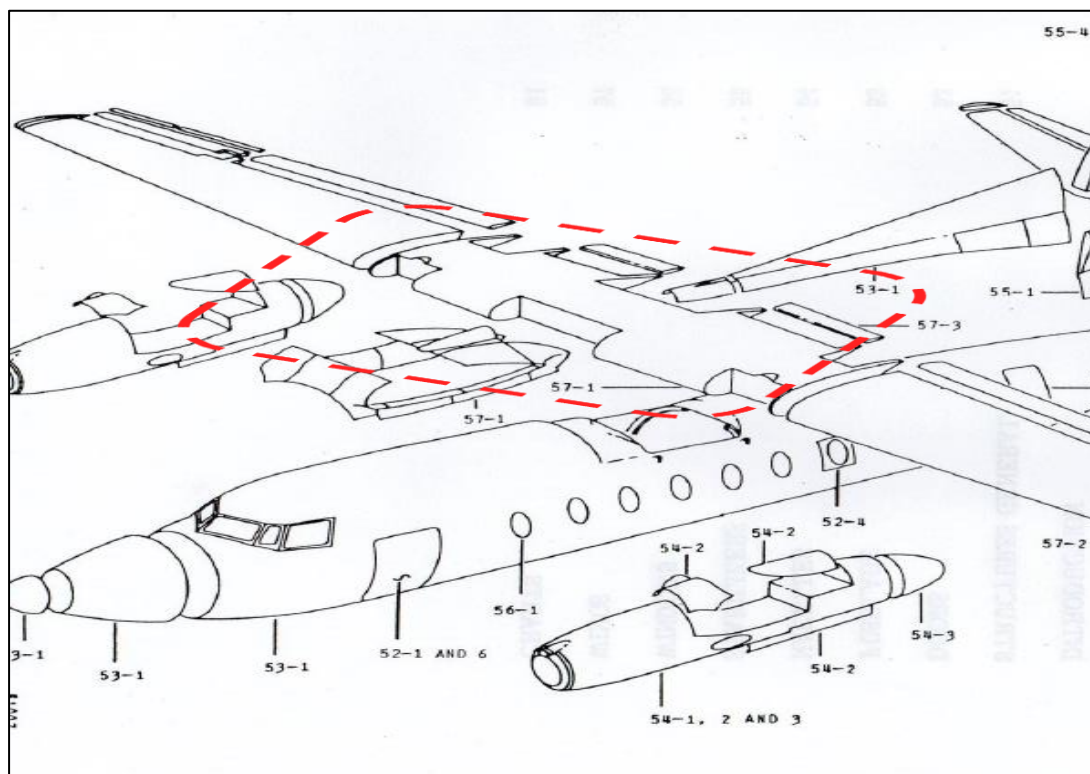


Figura 70. Sección central del ala del avión Fairchild FH-227.
Fuente: SRM del avión Fairchild FH-227.

b. Paneles Exteriores del ala

Los paneles exteriores del ala pertenecen al grupo de las estructuras primarias del ala²³ y están hechos de aleaciones de aluminio. Los largueros de aluminio superior e inferior refuerzan estos paneles porque se aseguran con diferentes sujetadores como remaches, Hi-locks, entre otros.

²³ **Estructuras primarias del ala:** aquellas que soportan cargas primarias.



Figura 71. Paneles exteriores del ala del avión Fairchild FH-227.

c. Flaps interiores

Los flaps interiores se refieren a las superficies aerodinámicas que se encuentran entre el fuselaje y la estación más cercana al fuselaje de los motores, en la parte posterior de las alas. Al ser desplegadas se aumenta la cuerda aerodinámica²⁴ y la curvatura del perfil alar; aumentan la sustentación y reducen la velocidad de la aeronave, evitando así que entre en pérdida en fases determinadas del vuelo como despegue y aterrizaje.

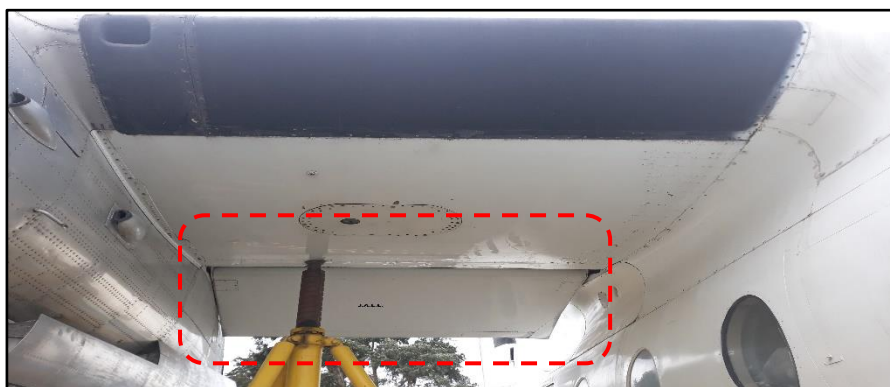


Figura 72. Flaps interiores de la aeronave Fairchild FH-227.

²⁴ **Cuerda aerodinámica:** Línea recta entre los puntos correspondientes del borde de ataque y de salida de un perfil aerodinámico.

d. Flaps Exteriores

Los flaps exteriores se refieren a las superficies aerodinámicas que se sitúan después de los motores (considerando la extensión del ala) y antes de los alerones, en la parte posterior de las alas. Cumplen la misma función que los flaps interiores.



Figura 73. Flaps Exteriores del avión Fairchild FH-227.

e. Alerones

Los alerones son las únicas superficies de mando y control de vuelo críticas para el equilibrio del avión. Gracias a ellos se puede realizar virajes en la aeronave dando como resultado el movimiento de alabeo. Están situados en los extremos de las alas.



Figura 74. Alerón derecho del avión Fairchild FH-227.

f. Aleta de Centrado del Aleron

Ayuda a reducir la fatiga del piloto y controla la entrada requerida para mantener un tipo particular de vuelo. Algunos aviones como el Apache tienen una pestaña de ajuste fija que se puede ajustar en el suelo para ayudar a mantener las alas niveladas en vuelo. Otros aviones (típicamente más grandes y más sofisticados) como el Twin Bonanza tienen aletas de ajuste de alerones que se pueden ajustar en vuelo.

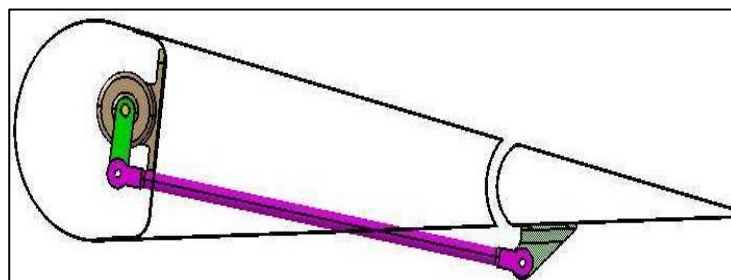


Figura 75. Aleta de centrado del alerón.

Fuente: (ResearchGate, s.f.)

g. Aleta de Centrado con resorte del Alerón

La aleta de centrado con resorte del alerón actúa como una aleta servo mecánica. Debido a que el centro de presión de la aleta de centrado está más alejado del eje de rotación de la superficie de control que el centro de presión de la superficie de control, el momento generado por la aleta puede coincidir con el momento generado por la superficie de control. La posición de la superficie de control en su eje cambiará hasta que los pares de la superficie de control y la superficie de corte se equilibren entre sí.

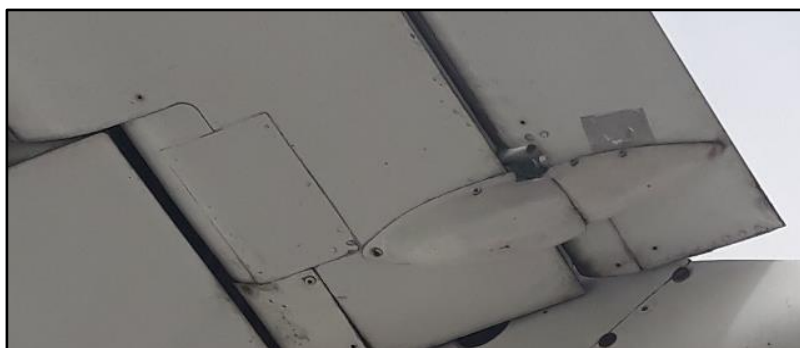


Figura 76. Aleta de Centrado con resorte del Alerón.

h. Piel de las alas

A menudo, la piel de un ala está diseñada para soportar parte de las cargas en vuelo y en tierra en combinación con los largueros y las costillas. Esto se conoce como un diseño de piel fatigada. La sección de ala totalmente metálica y en voladizo ilustrada en la Figura 58 muestra la estructura de uno de estos diseños. La falta de refuerzos internos o externos adicionales requiere que la piel comparta parte de la carga. Note que la piel está más rígida para ayudar con esta función.

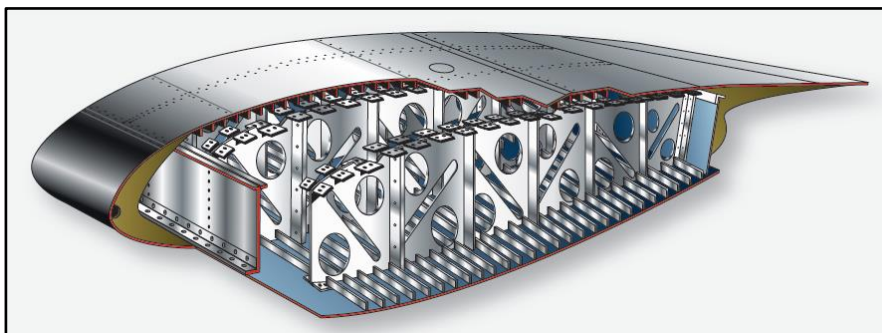


Figura 77. Diseño de piel fatigada.
Fuente: (Federal Aviation Administration, s.f.)

2.4 Programas de Mantenimiento

El objetivo de un Programa de Mantenimiento es prevenir y solucionar fallas, entendiendo por falla cualquier condición “no satisfactoria”. Las fallas pueden ser: Potenciales, Funcionales, Detectables o No Detectables, siendo estas últimas las más peligrosas. Las Regulaciones Federales de Aviación (FAR) requieren la inspección de todas las aeronaves civiles a intervalos específicos, para asegurar que la condición de la aeronave sea igual a su condición original o alterada apropiadamente con respecto a su función aerodinámica, resistencia estructural y resistencia a la vibración. Los requisitos de intervalos de inspección se establecen teniendo en cuenta el propósito para el que se utiliza la aeronave y su entorno operativo. (U.S. Department of Transportation FAA, 1978)

Los procesos actuales para el establecimiento de los intervalos de mantenimiento, inspección o verificación, están basados en los programas de mantenimiento recomendados por los fabricantes y en cierta medida por las tareas de mantenimiento establecidas por las unidades aéreas y de servicios que operan y mantienen el material aéreo.

Sin embargo estos intervalos han sido establecidos basándose en la filosofía tanto la FAA así como otros operadores aéreos, han realizado esfuerzos significativos por incrementar dichos intervalos de tiempo usando muestreos de información de confiabilidad y análisis de las partes desarmadas con el objeto de extender dichos intervalos de tiempo. (Ramirez R.)

2.4.1 Tipos de inspecciones

Los requisitos de intervalos de inspección se establecen teniendo en cuenta el propósito para el que se utiliza la aeronave y su entorno operativo. Algunas aeronaves deben ser inspeccionadas cada 100 horas de servicio, mientras que otras sólo deben ser inspeccionadas una vez cada 12 meses calendario. Las inspecciones de 100 horas y anuales requieren una inspección completa de la aeronave de una sola vez y una certificación de su aeronavegabilidad. Algunos aviones pueden ser inspeccionados de acuerdo con una inspección progresiva (FAR 91.171) o un programa de inspección aprobado (FAR 91.217) en el que partes de la aeronave son inspeccionadas de acuerdo con un programa predeterminado.

Considerando lo recomendado por el fabricante, las autoridades aeronáuticas competentes, los requisitos individuales de cada operador aéreo, además de las diferentes eventualidades que se pueden presentar durante la operación de una aeronave; las inspecciones se pueden clasificar en dos tipos básicamente que son: Inspecciones programadas e Inspecciones por fallas.

Algunas aeronaves deben ser inspeccionadas cada 100 horas de servicio, mientras que otras sólo deben ser inspeccionadas una vez cada 12 meses calendario. A continuación se describe de forma detallada cada una de ellas.

| BOEING | | 737-300/400/500 MAINTENANCE PLANNING DATA | | | | | | VALID FOR 60 DAYS |
|-----------------|-----|---|------|-------------------------|---------------|-----|-----------|--|
| MPD ITEM NUMBER | MRB | INTERVAL | ZONE | ACCESS | APPLICABILITY | | MAN-HOURS | 737-300/400/500 SYSTEMS MAINTENANCE PROGRAM |
| | | | | | APL | ENG | | TASK DESCRIPTION |
| | | | | | | | | ATA 57: WINGS |
| B57-00-00-A-1 | | 1C | 300 | S3001 S3002 S3003 | ALL | ALL | --- | VISUALLY CHECK THE LEFT WING EXTERIOR STRUCTURAL SURFACES FOR CONDITION AND SECURITY OF INSTALLATION. INSPECT THE FOLLOWING AREAS FOR CRACKS, DENTS, WEAR, ABRASIONS, CORROSION, DELAMINATION, LOOSE/MISSING FASTENERS AND OTHER OBVIOUS DAMAGE. INSPECT ALL COMPOSITE PROTECTIVE SURFACE COATINGS/ FINISHES FOR DETERIORATION AND RESTORE ANY DAMAGED COATINGS/FINISHES AS NECESSARY. 1. UPPER AND LOWER SURFACE SKIN PANELS, SKIN JOINTS AND ACCESS PANELS. 2. WING TIP, FORWARD AND AFT FAIRINGS. 3. FRONT SPAR INBOARD OF ENGINE INCLUDING LEADING EDGE FLAP ATTACHMENT AND ACTUATOR ATTACHMENT FITTINGS. 4. REAR SPAR AS VISIBLE INCLUDING EXPOSED FLAP, FLAP TRACK, SPOILER ANDAILERON ATTACHMENT FITTINGS. SEE TASK CARD 57-400-31-01. |

Figura 78. Chequeos recomendados por el fabricante Boeing.

Fuente: Manual de Mantenimiento, aeronave Boeing 737 300/400/500.

a. Inspecciones Programadas

El objetivo de estos controles tiene por objeto realizar un mantenimiento rutinario y no rutinario de la aeronave. El mantenimiento incluye la programación de la reparación de problemas conocidos; la sustitución de elementos después de una cierto tiempo de vuelo, número de ciclos o tiempo de calendario; reparación de defectos descubiertos previamente (por ejemplo, informes registrados por el piloto y la tripulación, inspección de línea, etc) y la realización de reparaciones programadas. Si un defecto es descubierto por el sistema de inspección, a menudo conduce a la reparación/mantenimiento del componente o parte involucrada.



Figura 79. Aeronave en inspección.

a1. Inspecciones de Rutina (a tiempo fijo)

Las verificaciones e inspecciones rutinarias se clasifican en: servicio de línea, inspecciones menores e inspecciones mayores.

- Servicio en Línea: Son todas las inspecciones que se realizan en la plataforma de un aeropuerto, incluyendo los hangares de operación, en busca de posibles fallas, daños en la piel causados por objetos extraños o animales que en la mayoría de los casos suelen ser aves, alteraciones de la condición normal y operativa de la aeronave. Se divide en tres inspecciones detalladas en la siguiente tabla.

Tabla 7

División del servicio en línea de una aeronave.

| Servicio en Línea | |
|--------------------------|---|
| Inspección pre-vuelo | Se efectúa un chequeo exterior de la aeronave en los hangares de operación antes del vuelo. |
| Inspección en tránsito | Son realizadas antes de cada vuelo incluyendo las escalas que se tenga o antes del vuelo de retorno a la base de cada aeronave. Consisten en una rápida inspección en la que se comprueban aspectos generales de la aeronave, tales como el estado de los neumáticos, el nivel de aceite, la existencia de algún daño en la estructura. |
| Inspección diaria | Es una observación que se debe realizar antes del primer vuelo del día. Se comprueba el estado normal del avión, considerando un tiempo adicional para diseñar cualquier acción correctiva si fuera necesario. No se debe exceder en ningún caso las cuarenta y ocho horas. |

- = Inspecciones menores: comprende las revisiones A y B con un intervalo de tiempo creciente, tomando en cuenta que las tareas a cumplir en el chequeo B son más complejas que las del anterior. Se necesitan en ambos casos de instalaciones adecuadas y personal capacitado (Ver Tabla 8).

Tabla 8

Revisiones por clasificación de tiempo en una aeronave.

| Revisiones por clasificación de tiempo en una aeronave | |
|---|---|
| Revisión A | Se realizan cada 400-600 horas o cada 200-300 ciclos (el despegue y el aterrizaje son considerados como un solo ciclo para la aeronave), en función del tipo de aeronave. Son necesarias entre 50 y 70 horas-hombre y, normalmente, son realizadas en los hangares en tierra. |
| Revisión B | Se realizan, aproximadamente, cada 6-8 meses. Son necesarias entre 160 y 180 horas-hombre, dependiendo del tipo de aeronave, y presentan una duración de entre 1 y 3 días, siendo dichas revisiones realizadas en los hangares de los aeropuertos. |
| Revisión C | Se realizan cada 20-24 meses, cuando la aeronave cumple con un número determinado de horas de vuelo ("Flight Hours" = FH), aunque la regularidad de este tipo de revisiones también puede ser fijada por el fabricante. Son mucho más profundas que las revisiones B, puesto que requieren la revisión de un número de partes mucho mayor. Estas revisiones dejan fuera de servicio a la aeronave, la cual no puede abandonar el lugar de mantenimiento hasta que la verificación haya sido completada. |
| Revisión D | Son las revisiones más completas y exigentes para la aeronave. Se trata de un tipo de chequeo efectuado, aproximadamente, cada 6 años, y consiste en una revisión en la que se trata, prácticamente, a la totalidad de la aeronave para su inspección y reparación. |

- = Inspecciones mayores: comprende las revisiones C y D con un intervalo de tiempo creciente. Al igual que en el caso anterior se requiere de instalaciones adecuadas para cumplirse. Este es el fin del programa de mantenimiento de la aeronave. Este programa define inspecciones interiores y exteriores de todos los miembros estructurales de la aeronave en cuestión. En la tabla 8 se detalla en que consiste cada revisión mencionada anteriormente.

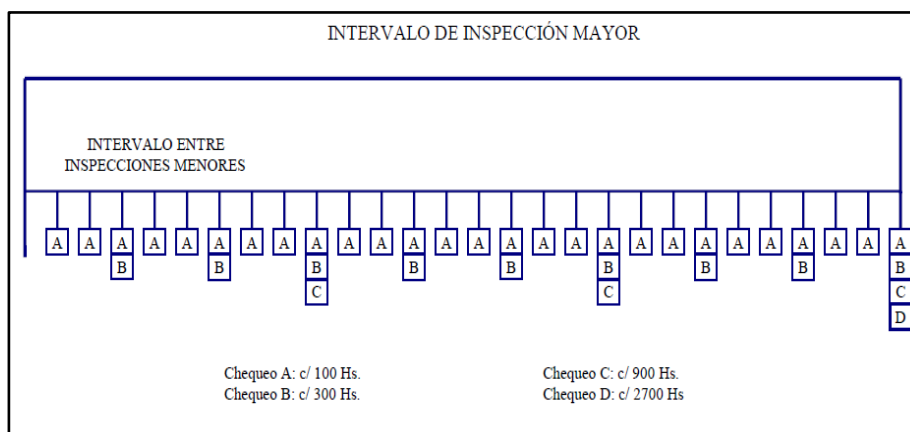


Figura 80. Mantenimiento Piramidal.
Fuente: (Anónimo, Inspecciones en aeronaves)

Como se muestra en la figura 81, las inspecciones programadas son progresivas y están distribuidas según un diagrama piramidal, donde las inspecciones se van acumulando hasta llegar al Chequeo D. La buena programación de las intervenciones reduce el tiempo en hangar y brinda una alta y confiable disponibilidad de aeronaves y componentes.

b1. Inspecciones de No Rutina (ante eventos especiales)

Son aquellas que se llevan a cabo cuando se detecta una avería que pone en peligro la aeronavegabilidad de la aeronave. Son llamadas también inspecciones eventuales o condicionales. Se realizan como consecuencia de hechos o eventos detectados por la tripulación, que son asentados en el registro técnico de vuelo (RTV), que pueden ser: aterrizaje brusco, vuelo en turbulencia severa, avión alcanzado por un rayo, vuelo en área de cenizas volcánicas, ingestión de objetos extraños, etc.

En estos casos, antes del próximo vuelo se deben realizar ciertas verificaciones de cumplimiento obligatorio, publicadas como procedimientos técnicos por ingeniería de mantenimiento. La verificación se divide en dos o tres fases. Primero se efectúan verificaciones externas, por ejemplo, en caso de aterrizaje brusco: paneles de carenado ala-fuselaje por ondulaciones pronunciadas, rajaduras en el recubrimiento, flojedad de fijación; inspecciones similares se hacen en el alojamiento de los trenes de aterrizaje y en su varillaje de accionamiento, también hay que determinar si hay pérdida de fluido.

Luego de efectuar estas inspecciones, si no hay novedades, el avión queda en servicio. En caso contrario se continúa con la segunda fase de inspecciones, siguiendo el mismo ejemplo: verificación de partes internas, desmontaje de conjuntos, verificación de cojinetes, inspección de amortiguadores, trenes de aterrizaje, mecanismos de accionamiento de flaps; complementando con pruebas funcionales y operacionales.

b. Inspecciones por fallas

Son 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. Todas las inspecciones (programadas A, B, C, D, Eventuales, Especiales y No Programadas) se realizan según planillas u hojas impresas donde se detallan cada uno de los trabajos realizados, en la cual el técnico que realiza el trabajo, el supervisor que lo verifica, y cuando corresponda, el inspector que lo controló, deben poner su sello y estampar su firma (Ver imagen 82).

Todos ellos deben contar con su correspondiente licencia y habilitación para realizar sus tareas. Todas las tareas relativas a sistemas que puedan afectar la seguridad requieren inspección duplicada, interviniendo un inspector en forma obligatoria en los trabajos realizados en los sistemas de controles de vuelo, oxígeno y protección contra el fuego.

| WORK ORDER | | | |
|--|--------------------------------|---|--------------------------|
| 1. CUSTOMER: | DGAC | | <input type="checkbox"/> |
| 2. AIRCRAFT MODEL/COMPONENT: | INAC | | <input type="checkbox"/> |
| 3. REGISTRATION No.: | DGAC PERU | OTHERS: _____ | <input type="checkbox"/> |
| 4. MANUFACTURER: | 5. PART No: | 6. SERIAL No: | |
| 7. WORK ORDER No: | 8. ESTIMATED MAN HOURS: | 9. REPORTED BY: | |
| 10. GENERATED BY: | 11. INCOMING DATE | 12. HIDDEN DAMAGE YES <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> | |
| 13. DISCREPANCY: | | <i>(Used for components only)</i> | |
| 14. CUSTOMER INSTRUCTION: _____ | | | |
| 15. CUSTOMER APPROVAL: _____ 16. DATE: _____ | | | |
| 17. STEPS IN PROCESS | | | |
| STEPS | DATE | MECHANIC | INSPECTED |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| 18. CORRECTIVE ACTION: | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Figura 81. Ejemplo de una tarjeta de trabajo de no rutina.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.1 Condiciones generales

3.1.1 Situación actual de la aeronave Fairchild FH-227

La aeronave Fairchild FH-227, perteneciente a la Unidad de Gestión de Tecnologías de la Universidad de las fuerzas Armadas ESPE, cuenta con algunos sistemas que no están operativos; alzado en gatos y aparcado desde hace varios años en los patios de la institución al aire libre. No cuenta con un mantenimiento adecuado para su preservación por diversos motivos, lo que ha causado que su estructura y componentes sufran daños considerables. Además no se cuenta con el equipo de seguridad suficiente para realizar tareas de mantenimiento en altura o en la corona del fuselaje de la aeronave; lo cual pone en riesgo a todas las personas que necesiten realizar algún trabajo. En consecuencia, se convierte en un limitante importante para que los docentes puedan explicar a los estudiantes estas partes de la aeronave; influye también en el aprendizaje de los alumnos porque no obtienen experiencia ejecutando tareas de inspección (Ver Figura 83).



Figura 82. Situación actual de la aeronave Fairchild FH-227.

La piel de las alas presenta hundimientos, rajaduras, grietas, cortes y golpes originados por diversas razones, los mismos que poco a poco han afectado la seguridad que debería presentar esta aeronave para la ejecución de las diferentes clases y casos prácticos que se imparten alrededor o dentro de la misma. Es preciso entonces realizar un mapeo considerando los detalles adecuados para efectuar esta tarea con el único objetivo de contribuir a la preservación de este avión escuela. Para ello se ha verificado que el área se encuentra libre de objetos extraños. Cabe mencionar que la universidad no cuenta con escaleras adecuadas ni en buen estado, tampoco equipos de seguridad, por lo que la implementación del cuadricóptero CFLM es idónea para ejecutar este tipo de inspecciones visuales sin poner en riesgo a terceros y obteniendo resultados fiables en el menor tiempo posible.

3.1.2 Descripción general

En el presente proyecto se implementa el cuadricóptero CFLM en fibra de carbono para ejecutar inspecciones visuales en la piel de las aeronaves de la UGT.ESPE. Esta aeronave cuenta con un sistema de control de vuelo preciso DJI A3; es ideal para aplicaciones industriales y cinematográficas exigentes donde la fiabilidad y la personalización son esenciales. Incorpora también un sistema de FPV (video en tiempo real) DJI Lightbridge 2 con un alcance de hasta 5Km. Para la obtención de imágenes y video se ha colocado una cámara GoPro Hero 7 Black que se constituye con sensores de estabilización por lo que no es necesario un gimbal. Por último se debe procesar las imágenes y obtener las dimensiones en reparaciones, rajaduras y hundimientos ejecutando un mapeo físico de los daños encontrados.

Tomando en cuenta las observaciones anteriores inspeccionará la piel de las alas de la aeronave Fairchild FH-227, para ello se utilizará el drone CFLM que cuenta con varios sistemas avanzados de comunicación, navegación, resolución fotográfica, una estructura y funcionalidad adecuada de acuerdo con el objetivo planteado. Es importante recalcar que este equipo de tecnología avanzada debe ser operado por pilotos experimentados y acreditados, considerando las condiciones de vuelo adecuadas, siguiendo a cabalidad todos los pasos que se detallan en el manual de operación y procedimientos.



Figura 83. Cuadricóptero CFLM.

3.2 Implementación del sistema FPV

Un sistema FPV ayuda a controlar la aeronave de forma eficiente y confiable en todas las fases del vuelo, de allí su importancia. Es como si existiera un piloto en tiempo real a bordo. En muchas ocasiones la luz solar, el viento, la distancia, obstáculos y otros factores pueden corroborar para que el vuelo se complique de forma significativa. Al estar dentro del cuadricóptero las direcciones de vuelo son las mismas en todo momento. La imagen que se transmite desde el dron es receptada por el equipo de control en tierra, quienes son los encargados de tomar las decisiones para completar el vuelo de forma segura.

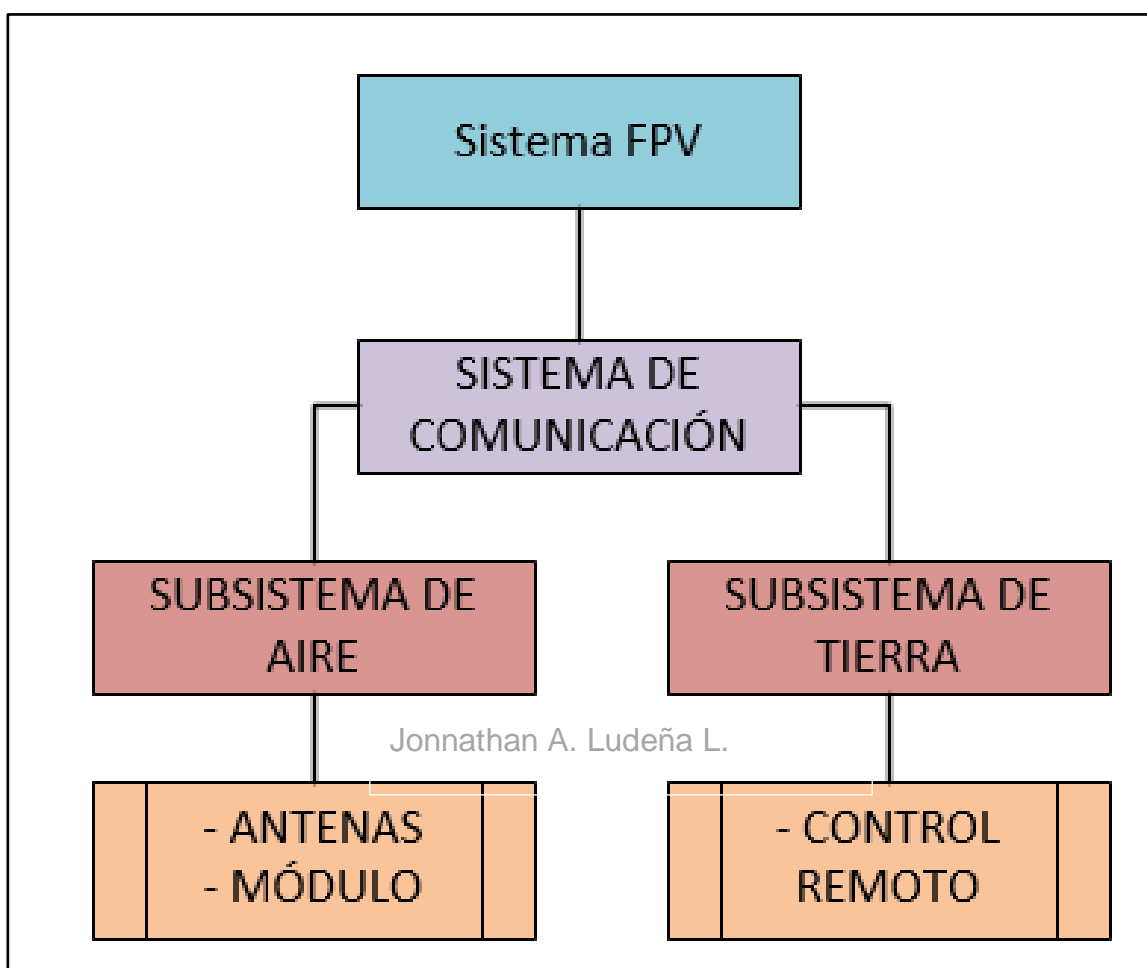


Figura 84. Flujograma del sistema FPV.

El sistema FPV DJI Lightbridge 2 es básicamente un sistema de comunicación que permite al operador en tierra, tener información de la actitud de la aeronave en vuelo. Este a su vez está compuesto por dos subsistemas que son el de aire y el de tierra. Una vez que se encuentra encendido el cuadricóptero los dos subsistemas deben estar obligatoriamente operativos. Cada uno de estos está integrado por diferentes componentes; en el caso del subsistema de aire se conforma por dos antenas y el módulo Lightbridge 2. En el caso del subsistema de tierra se conforma por el control remoto que está integrado por varios componentes que se detallarán más adelante.

3.2.1 Estudio de alternativas para el sistema FPV

Todos los sistemas de los drones han ido evolucionando desde simples juguetes hasta convertirse en unas potenciales aeronaves pilotadas a distancia con fines muy variados. La imaginación siempre va más allá. En el presente trabajo se presentan tres alternativas que se han analizado a fondo en una matriz de comparación buscando implementar la mejor en este equipo.

Se debe saber que: un sistema FPV para drone se compone de una cámara que será la que capta las imágenes y videos. Un transmisor de vídeo que será el que a través de radiofrecuencia envía esas señales de vídeo y un receptor con monitor o sistema de visión para observar las imágenes o videos captados. Existen varios fabricantes de diversos países que construyen estos componentes; ofrecen una amplia variedad de productos y están al alcance de todos.

a. Alternativa 1: Sistema básico de FPV

✓ Descripción

Un sistema básico de FPV sirve para poder realizar vuelos viendo de manera única la imagen que envía el drone. Todos los montajes de FPV requieren una cámara, un transmisor y un receptor, antenas y un monitor o gafas donde ver las imágenes. La mayoría de los sistemas FPV traen de serie unas antenas de tipo lineal (linear) que transmite la imagen de manera correcta siempre y cuando este alineada con receptor.

✓ Funcionalidad

Este sistema es muy funcional porque se pueden adaptar componentes de diversos costos y fabricantes.

✓ Factibilidad

Esta alternativa no es factible porque para realizar una inspección visual se requiere que el sistema sea muy preciso en cuanto a la captación de video e imágenes, así como su transmisión.



Figura 85. Control Turnigy TGY-i6.

Fuente: (hobbyking.com, 2019)

b. Alternativa 2: Sistema DJI Lightbridge 2

✓ Descripción

DJI Lightbridge 2 rompe límites técnicos, que le permite ver más y con más calidad. Un radio control integrado y un sistema de detección inteligente establece un nuevo estándar para la transmisión de imágenes de alta definición sin cables, todo al tiempo que reduce la latencia y aumenta al máximo el alcance y la fiabilidad.

✓ Funcionalidad

Es un sistema muy funcional porque se puede controlar absolutamente desde una aplicación, la misma que puede estar en cualquier dispositivo móvil. Además la salida de video en full HD es hacia casi cualquier dispositivo.

✓ Factibilidad

Este sistema es factible porque cumple con los requerimientos de precisión, eficiencia y seguridad. Tres puntos clave en nuestro afán de realizar el proyecto.



Figura 86. Sistema DJI Lightbridge 2.
Fuente: (RCI Innovations, s.f.)

c. Alternativa 3: Sistema OcuSync

- Descripción

A diferencia de Lightbridge que funcionaba en la banda de los 2,4Ghz, en cada vuelo la tecnología de OcuSync explora las frecuencias disponibles dentro de un rango determinado para localizar y utilizar la que tiene la menor interferencia para tener más control sobre el aparato. DJI ya lleva tiempo trabajando en esta tecnología, y desde su primera versión, las capacidades de transmisión de DJI han pasado desde los 1,7 km a los 5 km de alcance de los dispositivos vendidos en el último año. (Martín, s.f.)

- Funcionalidad

Una tecnología que, según DJI, es muy superior a las capacidades de cualquier sistema de transmisión Wi-Fi utilizado hasta ahora para este tipo de tareas.

- Factibilidad

Esta alternativa no es factible por su elevado costo en el mercado y por la baja fiabilidad puesto que es una versión muy nueva y por ende no ha sido probada a gran escala.



Figura 87. DJI Mavic Pro, dotado con el sistema OcuSync.

Fuente: (hipertextual, 2018)

d. Matriz de comparación de alternativas

Como se detalla en párrafos anteriores se ha estudiado tres alternativas de los sistemas de FPV. En consideración al uso que se le va a dar al cuadricóptero CFLM en la Unidad de Gestión de Tecnologías UGT-ESPE, la precisión, fiabilidad y el costo que se puede asumir; se ha optado por implementar el sistema DJI Lightbridge 2 para ejecutar las tareas de inspección de una forma segura y sin poner en riesgo a terceros.

e. Criterios de valoración

En la siguiente matriz de decisión se analizó algunos parámetros que se han tomado en cuenta para elegir la mejor alternativa de sistema FPV, a implementar en el cuadricóptero CFLM.

- **Ponderación:** Se asigna un valor comprendido entre 0 y 1, a cada uno de los parámetros críticos considerados en cada alternativa. La suma de los pesos en las tres alternativas no debe exceder a 1.

- **Calificación:** Se asigna un valor comprendido entre 0 y 10 a cada parámetro, considerando la relevancia de cada uno de ellos, asignándoles valores altos (10), si ellos representan un factor importante, o en su defecto valores menores, si representa un factor apremiante. La suma total de cada alternativa no debe exceder el valor de 60.

- **Calificación Ponderada:** Resulta de multiplicar la ponderación de cada parámetro por el valor de la calificación que se le ha dado dentro de cada alternativa.

Tabla 9*Matriz de decisión.*

| Parámetros | Ponderación | Calificación | | | Calificación ponderada | | |
|----------------------|-------------|--------------|-----------|-----------|------------------------|------------|------------|
| | | Altn.1 | Altn. 2 | Altn. 3 | Altn.1 | Altn. 2 | Altn. 3 |
| Transmisión de datos | 0.2 | 5 | 10 | 10 | 1 | 2 | 2 |
| Precisión | 0.2 | 3 | 9 | 9 | 0.6 | 1.8 | 1.8 |
| Alcance | 0.1 | 4 | 10 | 10 | 0.4 | 1 | 1 |
| Peso | 0.1 | 5 | 8 | 7 | 0.5 | 0.8 | 0.7 |
| Autonomía | 0.2 | 7 | 10 | 10 | 1.4 | 2 | 2 |
| Costo | 0.2 | 10 | 8 | 5 | 2 | 1.6 | 1 |
| Total | 1 | 34 | 46 | 51 | 5.9 | 9.2 | 8.5 |

En base a los requerimientos para ejecutar la inspección visual en la piel de las alas de la aeronave Fairchild FH-227 de la institución y considerando los parámetros más importantes que se han analizado, se concluye en que la alternativa más idónea para implementar en el cuadricóptero CFLM es el sistema Lightbridge 2 del fabricante DJI.

3.2.2 Sistema FPV DJI Lightbridge 2

DJI Lightbridge 2 rompe los límites técnicos porque nos permite viajar más lejos y ver más claramente. El controlador integrado y los algoritmos inteligentes establecen un nuevo estándar para la transmisión inalámbrica de imágenes HD al reducir la latencia y aumentar el alcance y la confiabilidad a un nivel aún más elevado. Este sistema es básicamente un sistema de comunicación que se conforma de dos subsistemas: el subsistema de aire y el subsistema de tierra.

a. Subsistema de Aire

El subsistema de aire tiene un peso de 70 g sin antenas, con las siguientes dimensiones: 68mm x 48mm x 21mm (L-W-H), y un voltaje de operación que oscila entre los 9 y 12 voltios. Dispone de entradas HDMI, AV para la transmisión de video desde que recibe las señales de la cámara hasta que las envía al subsistema de tierra. Este a su vez tiene la capacidad de transmitir el video o las imágenes obtenidas a otros dispositivos (Ver Figura 89)

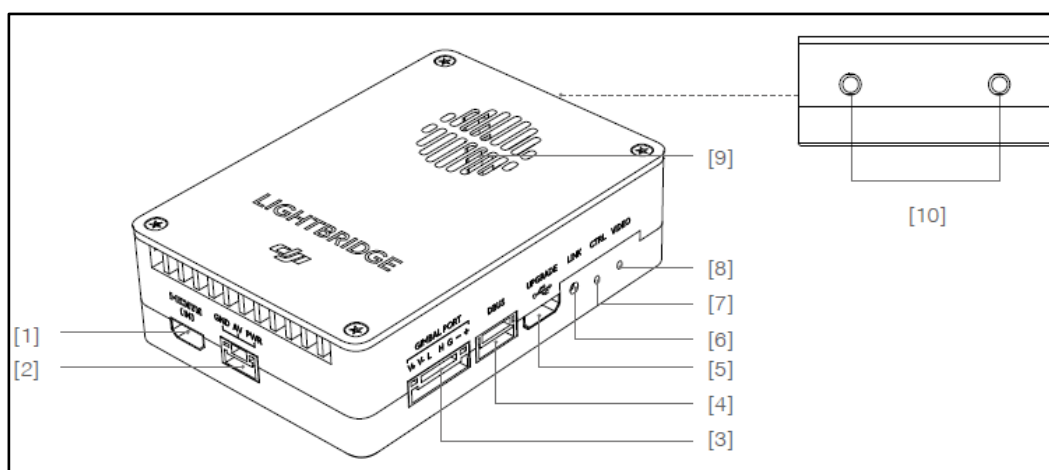


Figura 88. Subsistema de aire.




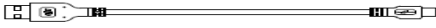
Fuente: Manual del Usuario DJI Lightbridge 2

En la tabla 10 se explican a detalle cada uno de los puertos, botones, salidas e indicadores de los que está integrada la unidad aérea Lightbridge 2. Este subsistema viene con un diseño integrado que permite emitir video en pocos segundos con la mínima latencia lograda hasta ahora. La necesidad de montar y configurar múltiples componentes ya no existe. En la tabla 11 se muestran las antenas y cables requeridos para el ensamblaje de este subsistema.

Tabla 10*Componentes de la unidad aérea Lightbridge 2.*

| Núm. | Denominación | Función |
|------|-------------------------|---|
| [1] | Entrada HDMI | Soporta hasta 1080p60 de resolución de entrada. |
| [2] | Entrada AV | Recibe entrada AV de la cámara. |
| [4] | Puerto DBUS | Envía la señal de control del sistema de tierra al controlador de vuelo DJI. |
| [5] | Puerto de actualización | Se conecta a su PC para actualizaciones de firmware a través del Asistente DJI Lightbridge 2. |
| [6] | Botón de enlace | Se utiliza para vincular el sistema de aire con el sistema de tierra. |
| [7] | Indicador de control | Indican el estado del sistema de aire y el sistema de tierra. |
| [8] | Indicador de video | Indican el estado de la transmisión del video |
| [9] | Salidas de aire | Manténgase alejado de obstrucciones. |
| [10] | Puerto de la antena | Se utiliza para conectar las antenas del sistema de aire. |

Tabla 11*Cables y antenas del subsistema de aire.*

| Componentes del subsistema de aire | |
|------------------------------------|--|
| Antenas del sistema de aire x 2 |  |
| DBUS Cable II x 1 |  |
| Cable HDMI x 1 |  |
| Cable USB X 1 |  |

La unidad aérea Lightbridge 2 cuenta con dos luces de indicación ubicadas al lado derecho de la unidad aérea que le permiten al operador identificar el correcto funcionamiento de este subsistema o en otros casos detectar visualmente las posibles fallas que se tienen de acuerdo con el color y la intensidad de cada luz. En las tablas 12 y 13 se describe a detalle que representa cada uno de los colores y los posibles patrones que pueden adoptar en diferentes circunstancias. Se recomienda verificar estas luces antes y después de cada vuelo; en caso de detectarse inconsistencias no proceder al despegue de la aeronave y realizar el chequeo correspondiente y/o mantenimiento correspondiente.

Tabla 12

Luces de indicación de control del subsistema de aire.

| Patrón del LED | Descripción |
|--|---|
| Rojo parpadeante | Botón de enlace presionado. El sistema de aire está intentando enlazar con el sistema de tierra. |
| Verde parpadeante | Señal detectada pero no vinculada al sistema de tierra. |
| Verde sólido | Con éxito vinculado al sistema de tierra. |
| Rojo sólido | Ninguna señal detectada. Verifique las conexiones de los cables y asegúrese de que el sistema de tierra esté encendido. |
| Parpadea amarillo y verde alternativamente | El sistema de aire y el sistema de tierra tienen diferentes versiones de firmware. Asegúrese de tener el último firmware instalado en ambos dispositivos. |

Tabla 13

Luces de indicación de video.

| Patrón del LED | Descripción |
|-----------------------|--|
| Verde sólido | Señal detectada de AV/HDMI |
| Verde parpadeante | Señal detectada de AV/HDMI pero falla la transmisión. Vuelva a conectar la fuente de alimentación del sistema de aire y verifique las conexiones de los cables. |
| Rojo sólido | No se detecta ninguna fuente de video compatible. Compruebe que el formato de salida de su cámara es compatible. Consulte el apéndice para obtener una lista de los formatos de video compatibles. |

Para verificar la operación correcta del subsistema de aire bastará con seguir los procedimientos descritos en el flujograma anterior (Ver Figura 90). El módulo Lightbridge 2 está montado en la placa de carbono #1, se encuentra sujeto con cinta doble faz. Este módulo recibe la energía para su funcionamiento a través del puerto DBUS, desde el controlador de vuelo A3. En el lado opuesto tenemos las dos salidas para las antenas. Están localizadas y aseguradas en los trenes de aterrizaje. Una vez energizado el sistema, verificar las luces de indicación de acuerdo con las tablas 9 y 10 según se requiera. En caso de que no se cumpla con los parámetros de indicación mantener la aeronave en tierra y realizar el pertinente mantenimiento correctivo.

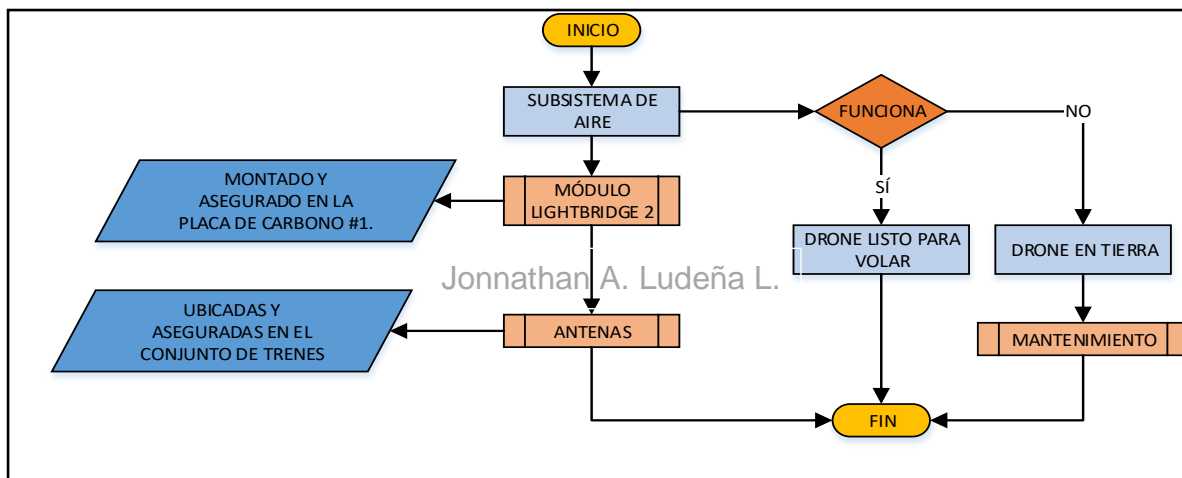


Figura 89. Flujograma de operación del sistema de aire.

b. Subsistema de Tierra

El sistema de tierra utiliza las mismas interfaces que el controlador remoto para el DJI Inspire 1, que se utiliza como una ilustración a continuación. Consulte el manual del usuario del controlador de vuelo A3 para obtener más información. Tiene un peso de 810 g incluyendo sus antenas, con las siguientes dimensiones: 182 mm x 167 mm x 104 mm (L-W-H) y un voltaje de operación de 7.4 voltios y una batería integrada de 6000mAh.

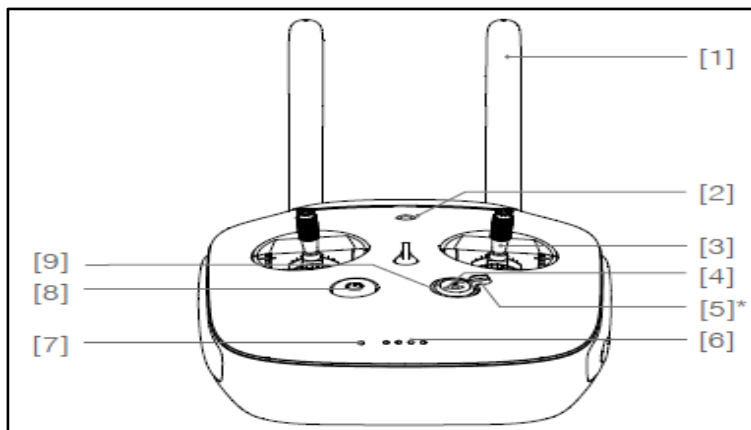


Figura 90. Componentes superiores del Control Remoto.

Fuente: Manual del Usuario DJI Lightbridge 2.

En las tablas 14,17 y 18 se explican a detalle cada uno de los puertos, botones, salidas e indicadores de los que está integrado el control remoto. Este subsistema viene con un diseño integrado que permite recibir video en pocos segundos con la mínima latencia lograda hasta ahora. La necesidad de montar y configurar múltiples componentes ya no existe, basta con abrir la aplicación DJI GO para visualizar el estado de todos los sistemas de la aeronave.

Tabla 14

Componentes superiores del control remoto.

| Núm. | Denominación | Función |
|-------------|--|---|
| [1] | Antenas | Transmite las señales de control y video de la aeronave. |
| [2] | Agujero del tornillo del soporte del dispositivo móvil | Se utiliza para montar el soporte del dispositivo móvil. |
| [3] | Palancas de control | Controlar el movimiento de la aeronave |
| [4] | Botón de volver al punto de inicio (RTH) | Inicia el procedimiento de regreso a casa. |
| [6] | Indicador del nivel de batería | Muestra el nivel actual de la batería. |
| [7] | Indicador de estado | Indica el estado de conexión entre el sistema de aire y el sistema de tierra. |
| [8] | Botón de encendido | Utilizado para encender / apagar el sistema de tierra. |
| [9] | Indicador de retorno al punto de inicio | Led circular alrededor del botón RTH que muestra el estado RTH. |

El subsistema de tierra cuenta con cinco luces de indicación ubicadas en la parte superior del control remoto que le permiten al operador identificar el correcto funcionamiento de este subsistema o en otros casos detectar visualmente las posibles fallas que se tienen de acuerdo con el color y la intensidad de cada luz. En las tablas 15 y 16 se describe a detalle que representa cada uno de los colores, los posibles patrones y sonidos que pueden adoptar en diferentes circunstancias.

Se recomienda verificar estas luces antes, durante y después de cada vuelo de acuerdo con las tablas antes mencionadas; en caso de detectarse inconsistencias no proceder al despegue de la aeronave, forzar el regreso a casa del drone, no volver a despegar dependiendo del caso y realizar el chequeo y/o mantenimiento correspondiente cuando lo amerite.

Tabla 15
Luces de indicación de estado.

| Patrón del LED | Sonido | Estado del sistema de aire |
|------------------|-----------|---|
| Rojo sólido | chime | El sistema de tierra está configurado como Maestro pero no está conectado al sistema de aire. |
| Azul parpadeante | D-D-D-... | El sistema de tierra está configurado como maestro e intenta conectarse al sistema de aire. |
| Verde sólido | Ninguno | El sistema de tierra se establece como maestro y está conectado al sistema de aire. |
| Morado sólido | D-D- | El sistema de tierra está configurado como esclavo pero no está conectado al sistema de aire. |
| Cyan sólido | Ninguno | El sistema de tierra está configurado como esclavo y está conectado al sistema de aire. |
| Rojo parpadeante | D-D-D-... | Error del sistema de tierra, ingrese la aplicación DJI GO para más detalles. |

Tabla 16
Luces de indicación de retorno al punto de inicio (RTH).

| Indicador de patrón | Sonido | Estado de la aeronave |
|---------------------|--------|--|
| Blanco sólido | chime | Procedimiento de regreso al punto de inicio... iniciado. |
| Blanco parpadeante | D... | Enviando el comando de retorno al inicio a la aeronave. |
| Blanco parpadeante | DD... | El avión regresa al punto de origen. |

El control remoto dispone de dos antenas que reciben el video y las imágenes desde el subsistema de aire. Tiene salidas HDMI, SDI, para transmitir a cualquier dispositivo con ayuda de los cables respectivos. Cuando se realice la transmisión se puede configurar desde la aplicación DJI GO el formato de video para las salidas correspondientes así como el canal.

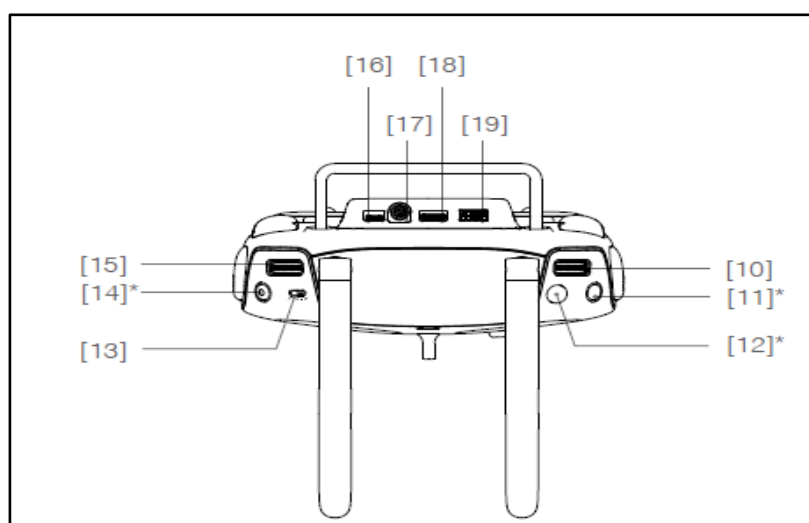


Figura 91. Componentes posteriores del Control remoto.
Fuente: Manual del Usuario DJI Lightbridge 2.

Como se puede observar en la Figura 92 el control remoto también tiene componentes en la parte posterior como las antenas, diferentes puertos que en su mayoría están reservados en este proyecto (inhabilitados), y dos salidas de video para diferentes dispositivos, con la salida SDI se puede enlazar con cualquier medio de comunicación para ejecutar transmisiones en vivo. En la siguiente tabla se explica a detalle que función cumple cada componente.

Tabla 17

Componentes posteriores del control remoto.

| Núm. | Denominación | Función |
|------|------------------------------|--|
| [10] | Puerto reservado | NINGUNA |
| [11] | Puerto reservado | NINGUNA |
| [12] | Puerto reservado | NINGUNA |
| [13] | Interruptor de modo de vuelo | Cambia entre modo: P (Posicionamiento); Atti (Actitud); F (Función) |
| [14] | Puerto reservado | NINGUNA |
| [15] | Puerto reservado | NINGUNA |
| [16] | Puerto reservado | NINGUNA |
| [17] | Salida SDI | Envía datos de video a un monitor SDI |
| [18] | Salida HDMI | Envía datos de video a un monitor HDMI |
| [19] | Puerto USB | Se conecta a su dispositivo móvil. El video HD en vivo y la telemetría de vuelo se pueden ver en la aplicación DJI GO. |

NOTA: Algunos puertos han sido reservados porque no se requieren en el presente proyecto. Está prohibido su uso de cualquier forma.

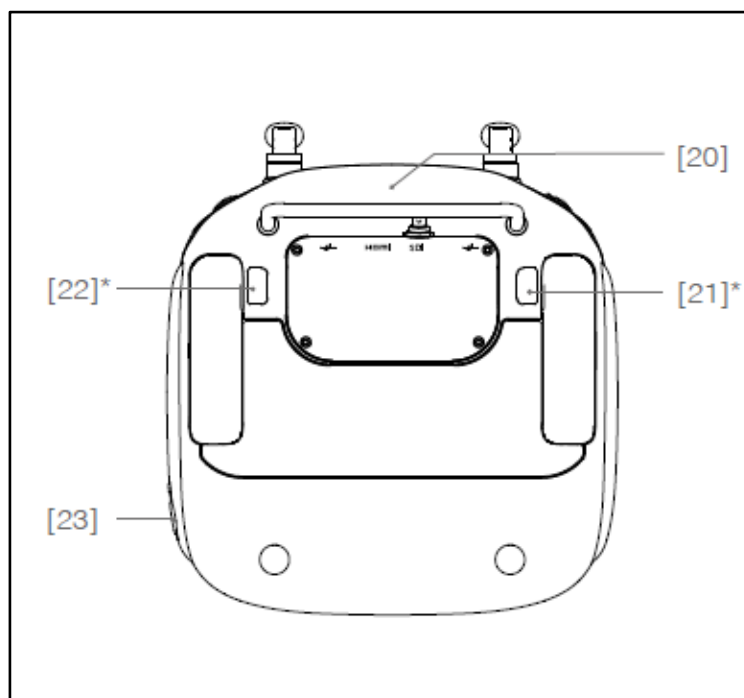


Figura 92. Componentes inferiores del Control remoto.

Fuente: Manual del Usuario DJI Lightbridge 2.

En la parte inferior del control remoto se encuentran dos componentes de suma importancia como el GPS y el puerto de poder eléctrico para cargar la batería; además dos botones personalizables que se encuentran reservados (Ver Tabla 18). En cualquier caso un golpe o caída del control afectaría considerablemente sus diversos componentes internos y externos. Se debe tener en cuenta que por la fuerte radiofrecuencia que emiten las antenas cuando los subsistemas están encendidos se recomienda que las personas se encuentren a más de 20 cm de distancia de las mismas.

Tabla 18

Componente inferiores del control remoto.

| Núm. | Denominación | Función |
|-------------|---------------------|--|
| [20] | Módulo GPS | Señala la posición del sistema de tierra |
| [21] | Botón C1 | Reservado |
| [22] | Botón C2 | Reservado |
| [23] | Puerto de poder | Se utiliza para cargar la batería interna del subsistema de tierra |

Cuando se necesite verificar la operación correcta del subsistema de tierra bastará con seguir los procedimientos descritos en el siguiente flujograma (Ver Figura 94). El control remoto está integrado por varias partes que se han descrito a detalle en las páginas anteriores, se encuentra a cargo del operador del cuadricóptero. Este subsistema tiene una batería propia y por ende un cargador exclusivo. Una vez energizado el sistema se debe verificar las luces de indicación de acuerdo con las tablas 15 y 16 como sea requerido. En caso de que no se cumpla con los parámetros de indicación mantener la aeronave en tierra y realizar el mantenimiento correctivo pertinente.

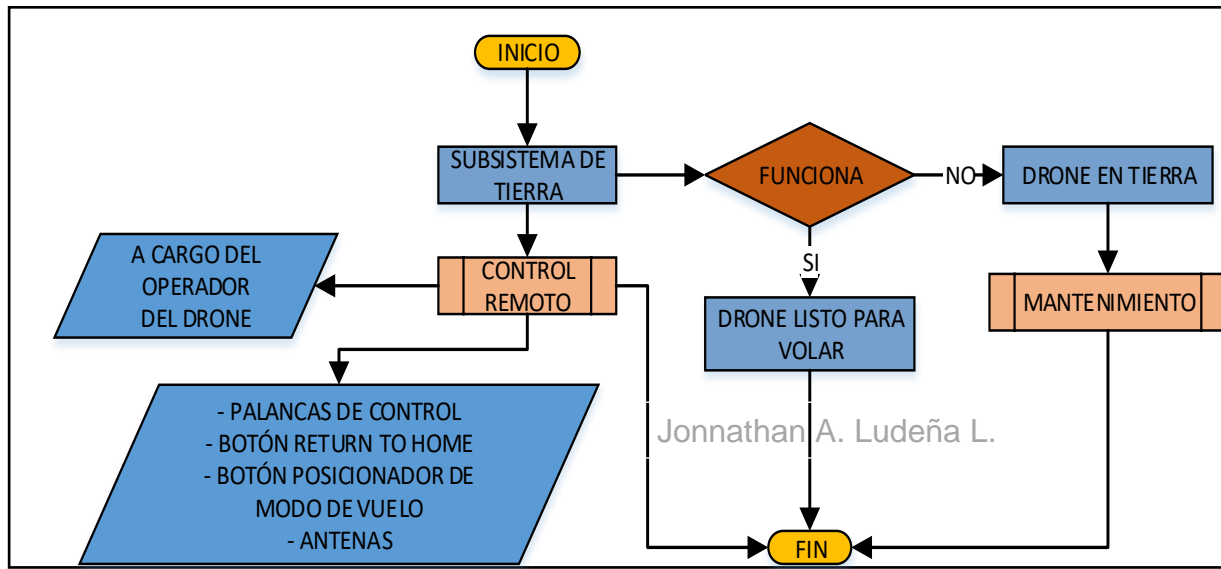


Figura 93. Flujograma de operación del subsistema de aire.

En la Figura 95 se observa la distribución de la energía eléctrica en los diferentes sistemas y subsistemas del cuadricóptero CFLM. La batería 1 suministra energía eléctrica a los subsistemas de navegación, propulsión y comunicación. Es una batería LiPo de cuatro celdas y de 8000 mAh. La energía se dirige directamente a los ESC's a través de dos cables: un cable rojo y un cable negro.

Además, del mismo lado salen dos cables más delgados: uno de color negro y otro de color blanco; estos se conectan en el controlador de vuelo A3. Del otro lado de los ESC's salen tres cables de color negro que se conectan a los cables de cada motor respectivamente. La energía de la batería 1 también pasa directamente al PMU, este suministra energía a todo el sistema de control de vuelo.

c. Fuentes de alimentación del cuadricóptero CFLM

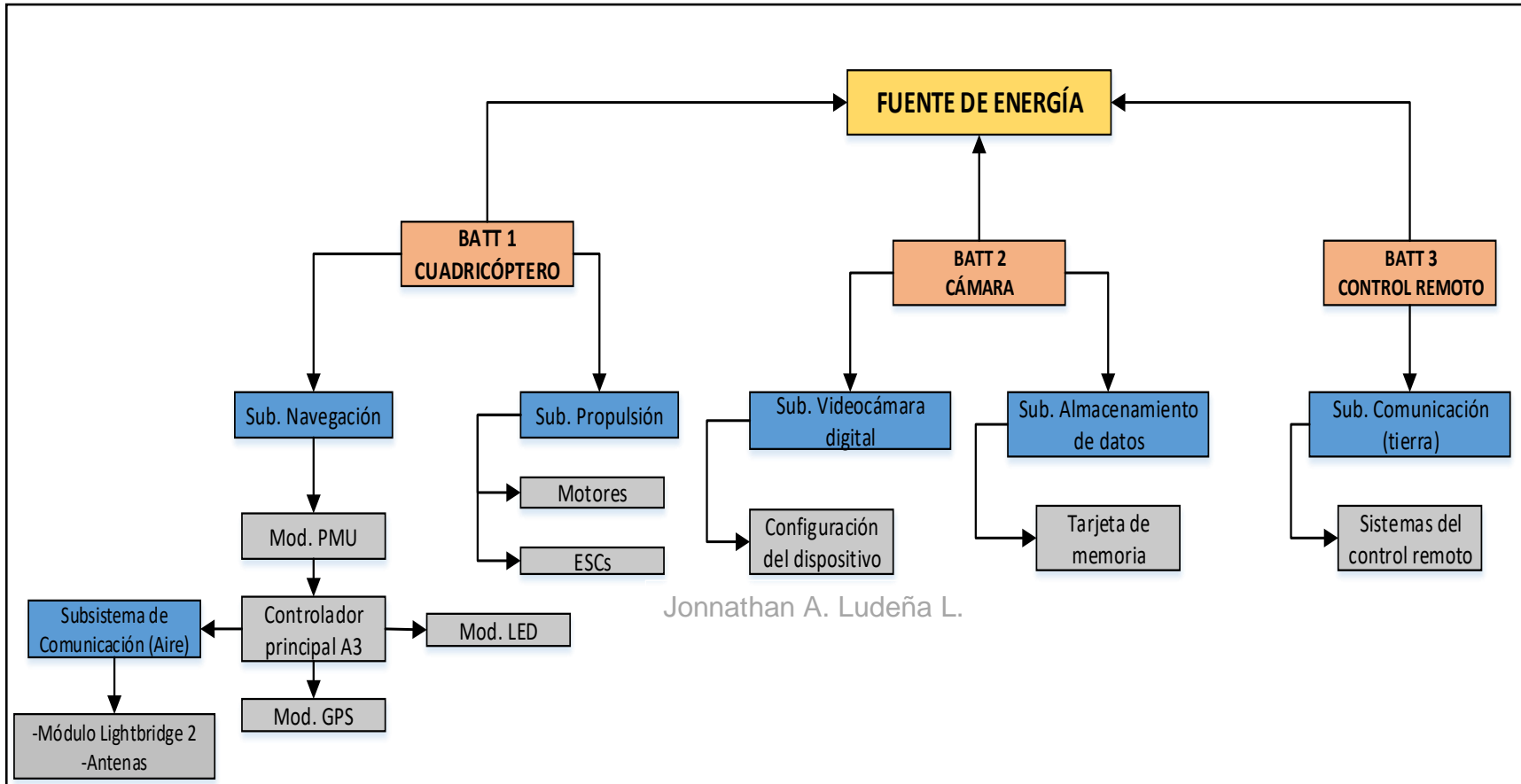


Figura 94. Diagrama de fuentes de energía del cuadricóptero CFLM.

En cuanto al subsistema de navegación una vez que el controlador de vuelo recibe la energía por el puerto PMU, distribuye la misma hacia el GPS a través del puerto CANT. El puerto de salida M1-M8 se dirige hacia el módulo LED. Por último el puerto de salida RF, suministra la energía adecuada al subsistema de comunicación (aire). Este subsistema recibe la energía a través del puerto de entrada DBUS.

La batería 2 suministra energía al subsistema de videocámara digital y al subsistema de almacenamiento de datos de la cámara GoPro Hero 7 Black. Es una batería recargable del tipo Li-ion de 1220 mAh. Por último, la batería 3 es una batería incluida en el subsistema de comunicación (tierra), en otras palabras es la batería que energiza al control remoto del cuadricóptero CFLM (Ver Figura 96).



Figura 95. Control remoto cuadricóptero CFLM.

c1. Fuente de Alimentación del sistema FPV

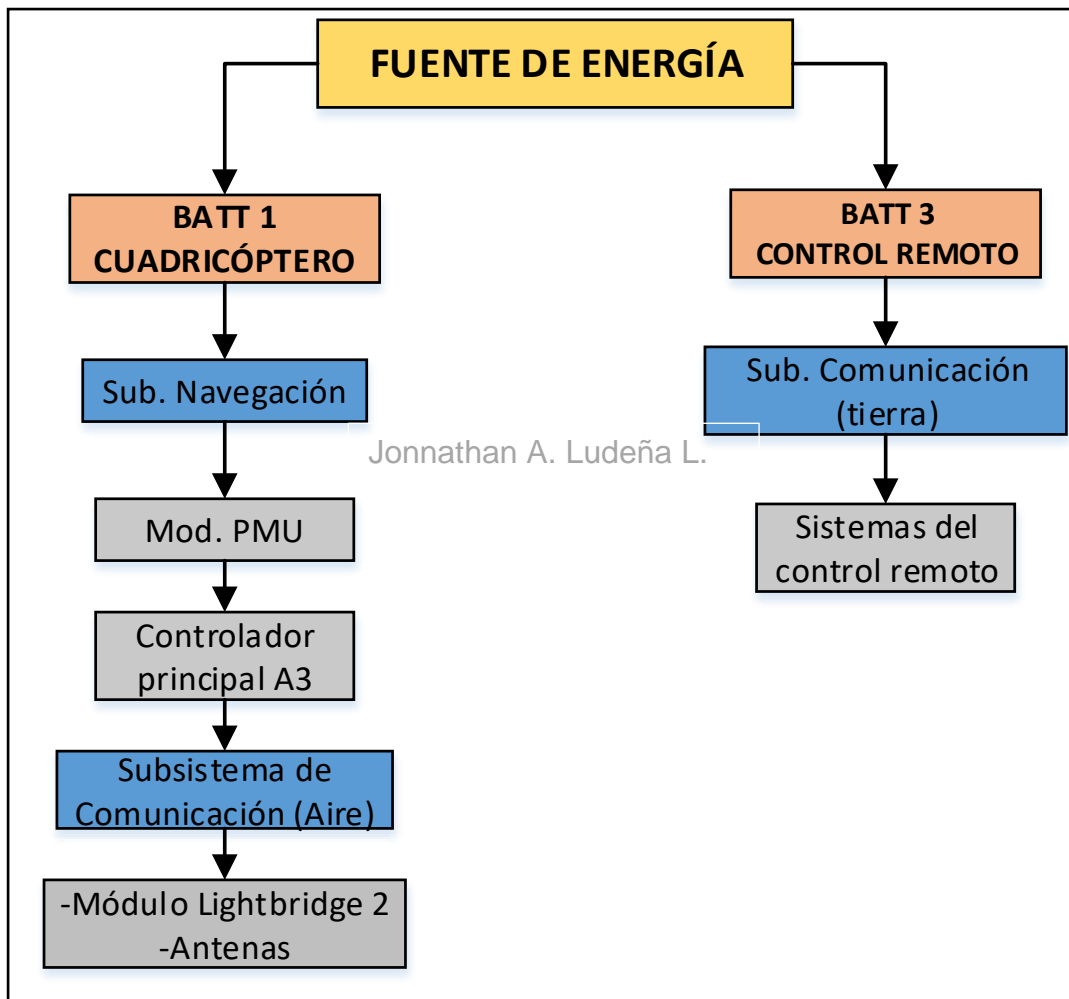


Figura 96. Fuente de alimentación del sistema FPV.

En la figura 97 se muestra el diagrama eléctrico del sistema FPV implementado en el cuadricóptero CFLM. En este caso como ya se ha explicado antes este sistema es de comunicación que consta de dos subsistemas: el primero es el de aire que como se observa en el diagrama recibe la energía desde el controlador de vuelo A3. Este controlador de vuelo es el encargado de enviar distintos voltajes de operación a los demás componentes. Trabaja en conjunto con los demás sistemas del drone.

El segundo es el subsistema de tierra alimentado por la batería 3 de tipo Li-Po que viene incorporada en el control remoto. Esta batería es de 6000 mAh. Al alimentar el módulo Lightbridge 2 se envía energía eléctrica a las antenas del subsistema de aire y estas empiezan a emitir ondas en una frecuencia de 5.725 GHz a 5.825 GHz ó 2400 GHz a 2.483 GHz. Por otro lado, cuando se ejecuta el procedimiento de encendido del control remoto sus antenas emiten ondas en los mismos rangos de frecuencia del subsistema de aire.



Figura 97. Subsistema de tierra.

3.2.3 Interacción de los sistemas del cuadricóptero CFLM

El cuadricóptero CFLM está integrado por cuatro sistemas esenciales que son el sistema de control DJI A3, el sistema FPV, el sistema de recepción y transferencia de imágenes y el sistema de procesamiento de imágenes; divididos en subsistemas (Ver Figura 98). El cuadricóptero tiene un alcance de hasta 5Km de operación y una altitud máxima de vuelo de 500m. Cuenta con un sistema de seguridad que no le permite volar en zonas restringidas.

El sistema de control DJI A3 es el encargado de distribuir las diferentes funciones necesarias para ejecutar un vuelo dentro de los parámetros. El subsistema de navegación involucra al sensor de la batería PMU, el GPS, la brújula y el módulo LED. En segunda instancia tenemos el subsistema estructural que se refiere básicamente a la estructura de carbono del cuadricóptero.

El subsistema de propulsión integrado por los motores, las hélices, los ESC's y la batería Li-Po de 4S. El sistema de FPV contribuye a la comunicación entre la aeronave y el operador gracias a sus dos subsistemas de tierra y aire que disponen de antenas. El operador es capaz de ejecutar los movimientos de alabeo, guiñada y cabeceo. El sistema de recepción y transferencia de imágenes ayuda a obtener y almacenar las imágenes desde la cámara en la memoria SD o a su vez, transmitir las vía Wifi o Bluetooth hasta el ordenador en donde serán analizadas de acuerdo con la información técnica para posterior el técnico aeronáutico pueda elaborar un informe de la inspección realizada.

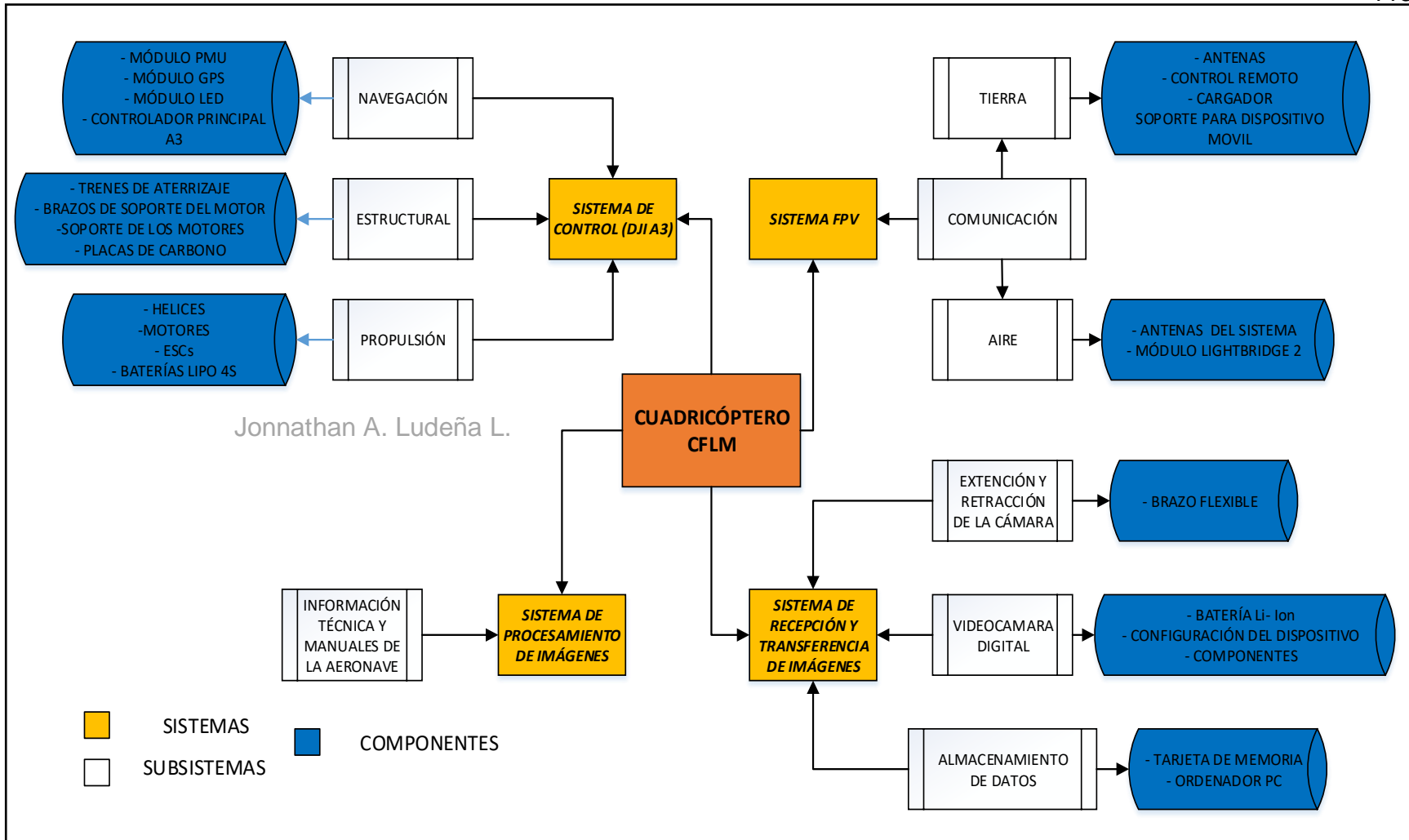


Figura 98. Diagrama de interacción de los sistemas.

3.3 Ensamblaje del cuadricóptero CFLM

Para ensamblar el cuadricóptero CFLM debemos revisar los manuales que vienen en cada uno de los sistemas. En el caso de la estructura se debe colocar primero la placa de carbono #1, para proceder a sujetar el conjunto de trenes. Los trenes de aterrizaje están conformados por dos tubos de carbono que se unen de forma perpendicular (en forma de T inversa), se deben sujetar con los pines de seguridad. Aseguramos en la placa de carbono #1. Posteriormente colocamos los tubos de carbono que sirven de soporte para los motores y las hélices. Después se debe colocar toda la ferretería de sujeción para asegurar las placas 2 y 3 respectivamente. A continuación se colocarán las placas que sirven de base para los motores junto con sus accesorios. Verificadas y aseguradas se procede a la sujeción de los motores e inmediatamente las hélices (Ver Figura 99).

Una vez que los motores están sujetos, se debe rutear los cables por el orificio de cada tubo de carbono hacia el centro del cuadricóptero; soldamos los pines a cada ESC y los ubicamos entre las placas 1 y 2, tratando de que no queden juntos porque se puede generar un campo magnético que afecta la operación de los mismos. Con la estructura armada se procede a colocar los equipos electrónicos de cada sistema, verificando los manuales de instalación del fabricante y el manual de procedimientos del cuadricóptero. El módulo Lightbridge 2 se colocará entre las placas de carbono 2 y 3. Sobre la placa 3 se coloca el controlador de vuelo DJI A3.

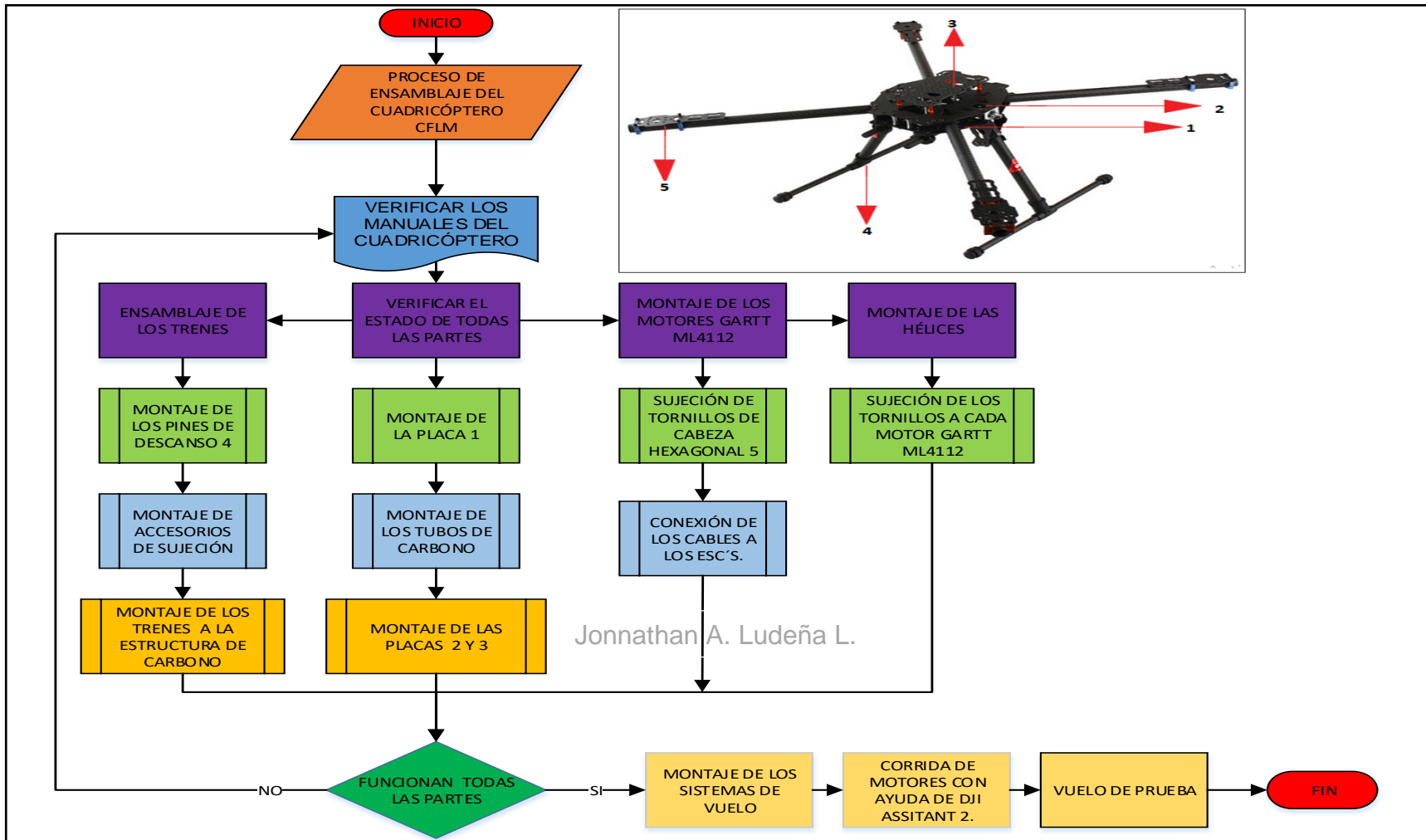


Figura 99. Diagrama de ensamblaje del quadricóptero CFLM.

En la parte izquierda de la placa se asegura el GPS y en la parte derecha el módulo LED. En la parte frontal de la placa 2 se ubica el PMU. Posterior a ello se puede armar el brazo flexible de la cámara y este será ubicado en la parte frontal de la placa de carbono 3. Se recomienda asegurar con correas plásticas; además se debe verificar el ajuste de cada perno que sirve como eje en el brazo de la cámara. Un ajuste inadecuado causará movimientos que por mínimos que sean afectarán considerablemente el peso y balance de la aeronave provocando una tragedia.

3.3.1 Estructura del cuadricóptero CFLM

La estructura del cuadricóptero CFLM está fabricada en un 90% de fibra de carbono, un 5% de aluminio y el 5% restante de plástico y otros materiales. Se ha elegido la fibra de carbono como material esencial ya que tiene propiedades mecánicas similares al acero y es tan ligera como la madera o el plástico. El cuadricóptero tiene un peso de 2.45 gr con todos los sistemas incluidos. Los brazos están diseñados para soportar fuertes impactos y están hechos de láminas de 3 mm en fibra de carbono. El tamaño del cuadro²⁵ es de 650 mm. Este dato tiene influencia en los siguientes factores:

- Momento de inercia del aparato
- Resistencia al aire
- Peso total
- Tamaño máximo de hélices

²⁵ **Tamaño del cuadro:** distancia en milímetros entre los ejes de dos motores en diagonal.

El marco también actúa como un tablero de distribución y permite conectar todo el cableado de la fuente de alimentación, el cableado eléctrico y otra transferencia de datos de una manera más eficiente. Es seguro y proporciona el espacio adecuado para la instalación de varios sistemas de control de vuelo. La estructura elegida es particularmente adecuada para la vigilancia, detección remota, mapeo, reconocimiento aerotransportado, observación de incendios, exploración de vida, línea de transmisión por cable, monitoreo de granjas y otras aplicaciones de vigilancia, inspecciones en aeronaves, etc.

Debido a que los motores están montados en los extremos de los brazos, cuanto más lejos están del centro, mayor es el momento de inercia de la aeronave. Cuanto mayor sea el momento de inercia de un cuerpo se requiere de mayor aceleración angular. Otro factor importante es que cuanto más grande es la estructura ofrece mayor resistencia al aire y mayor es su peso. Esto ayuda a la estabilidad del cuadricóptero, a su maniobrabilidad y precisión al momento de ejecutar inspecciones.



Figura 100. Cuadricóptero CFLM.

3.3.2 Ensamblaje del sistema FPV

El ensamblaje del sistema FPV se realiza de acuerdo con los manuales del fabricante DJI. En el caso del subsistema de tierra se debe verificar el estado del control remoto, que se encuentre sin marcas, rasguños o huellas de haber sufrido golpes o daños significativos; de ser el caso, reportar con la autoridad competente, no encender el control y mantener la aeronave en tierra. Después se debe posicionar las antenas correctamente.

Es necesario descargar e instalar la aplicación DJI GO en el dispositivo móvil que se utilizará como monitor para el sistema FPV. Colocar y asegurar el dispositivo en el soporte del control remoto, posicionarlo de forma óptima para la vista del piloto. A continuación se debe conectar el dispositivo al control remoto con ayuda del cable USB del teléfono. Abrir la aplicación y encender el control para verificar el estado de los sistemas (Ver Figura 102).

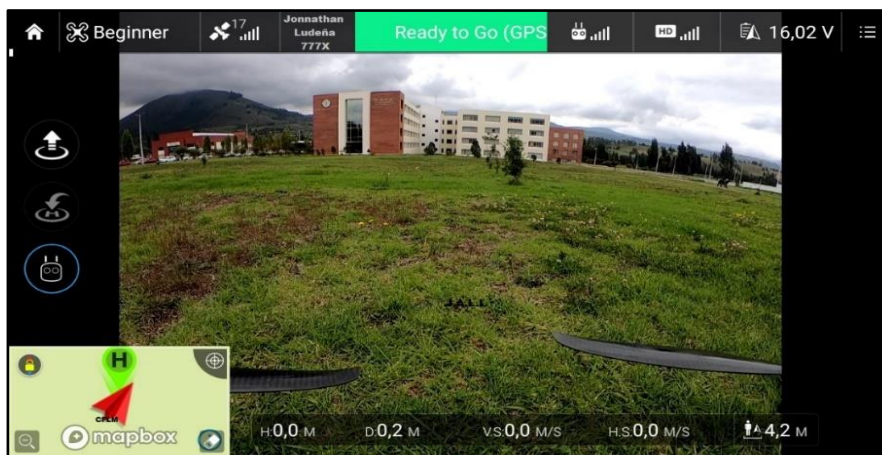


Figura 101. Transmisión de video mostrada en la aplicación DJI GO.

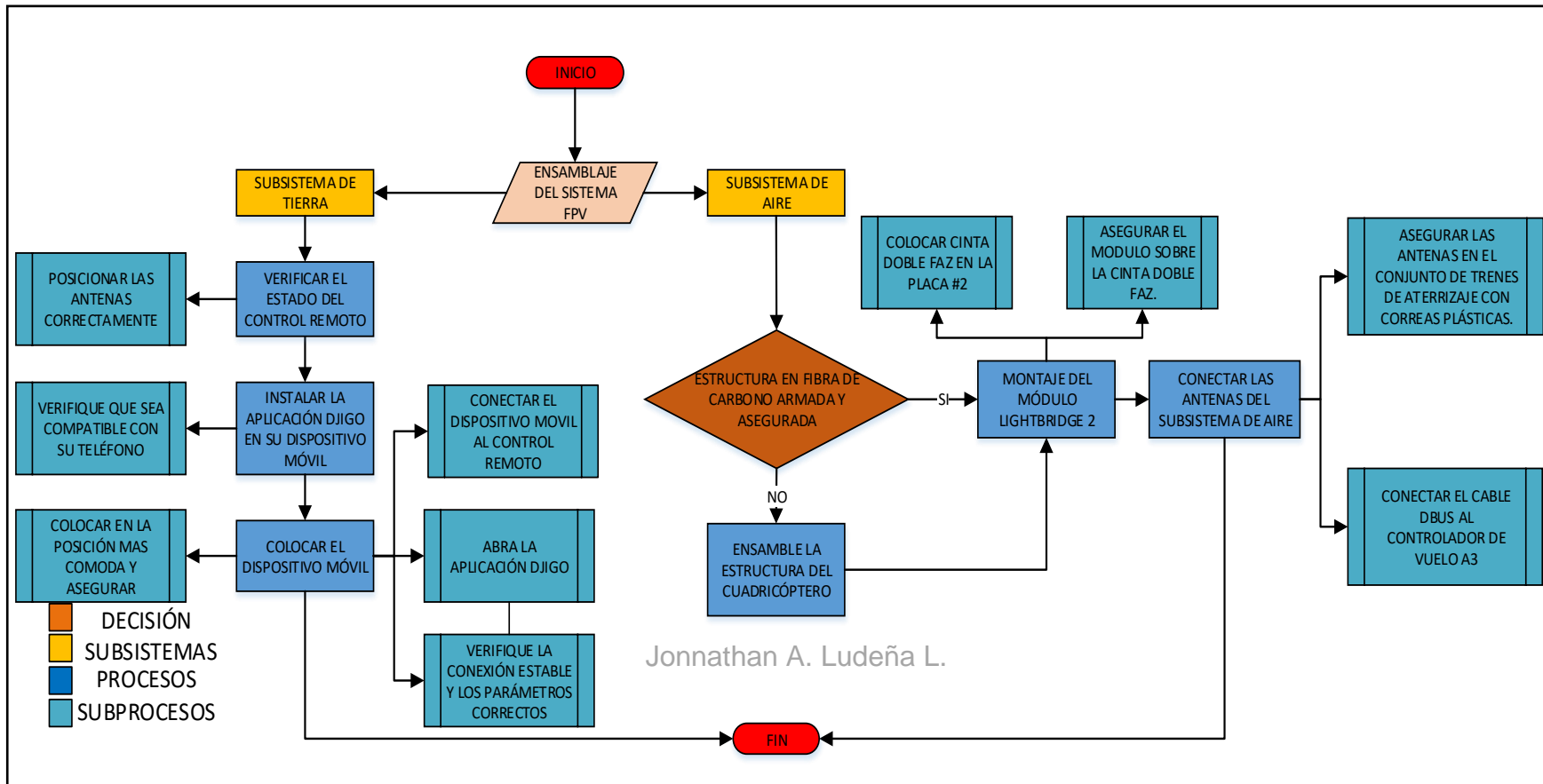


Figura 102. Proceso de ensamblaje del sistema FPV.

En el caso del subsistema de aire se debe verificar primero que toda la estructura de carbono se encuentre asegurada y colocada en la posición correcta. Con esa premisa procedemos a montar el módulo Lightbridge 2, para ello es necesario colocar cinta doble faz en la placa de carbono #2 y posicionar en el centro de la placa el módulo. A continuación conectamos las antenas y las aseguramos en cada uno de los trenes de aterrizaje del cuadricóptero con correas plásticas.

Por último, se debe conectar el cable DBUS hacia el controlador de vuelo DJI A3. Cuando se energice la aeronave se debe verificar las luces de indicación de acuerdo con la tabla 9. Para verificar el correcto funcionamiento del sistema FPV, debemos encender el cuadricóptero y el control remoto (CR). La primera luz de indicación, de izquierda a derecha del CR debe encenderse en verde. Esto significa que los dos subsistemas están funcionando correctamente y se encuentran conectados.

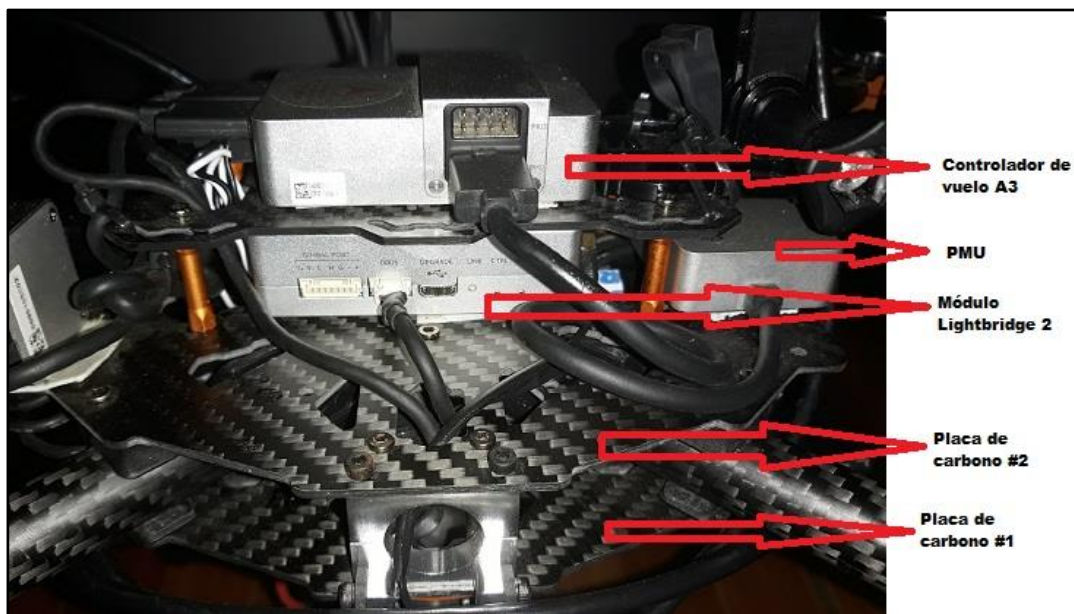


Figura 103. Montaje del subsistema de aire.

Para encender el CR se debe tener en consideración una distancia de mínimo 2m hacia el cuadricóptero para evitar interferencias entre los dispositivos y garantizar una conexión y transmisión óptima. En caso de estar conectada la cámara, el cable mini HDMI va conectado al módulo Lightbridge 2. Se debe esperar 4-5 segundos hasta que la imagen aparezca en su dispositivo móvil (Ver Figura 104); en caso de no aparecer, verifique la conexión del cable en los puertos de salida y entrada respectivamente.

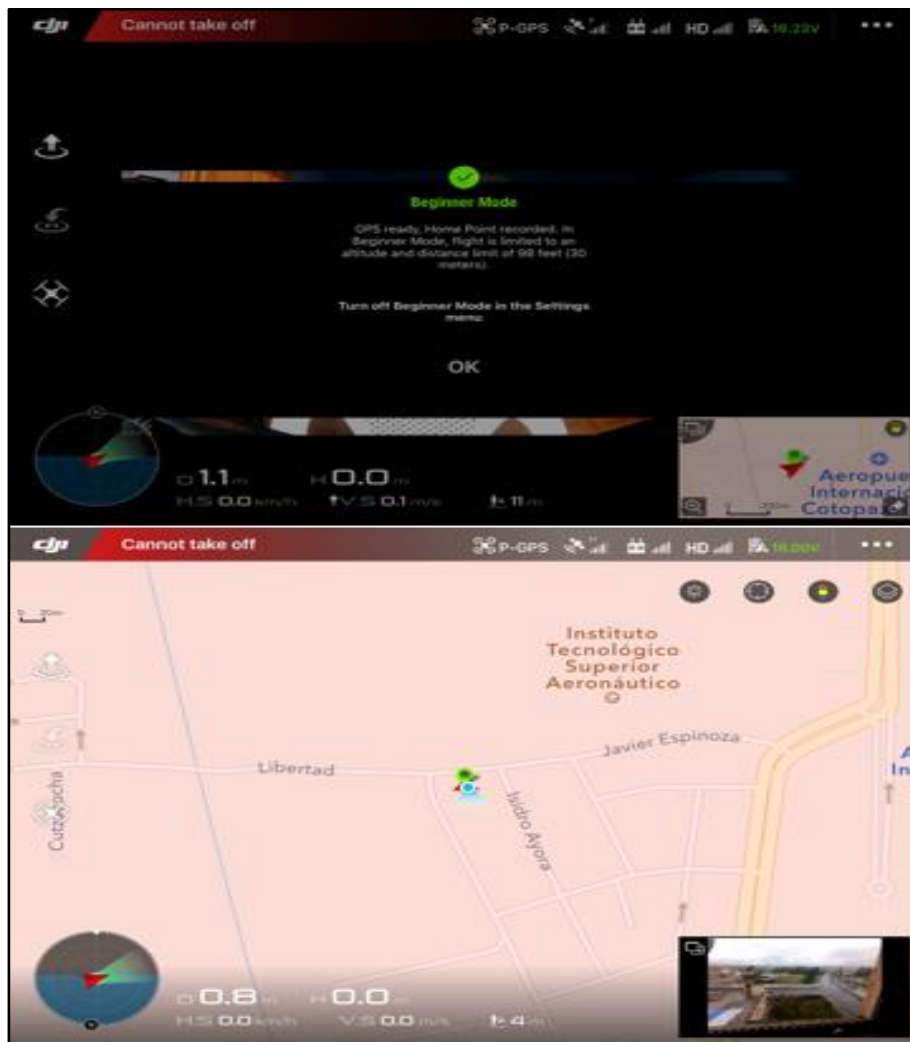


Figura 104. Transmisión de video en tiempo real en la aplicación DJI GO.

3.3.3 Operación del sistema FPV

El sistema FPV opera cuando se energizan sus dos subsistemas (Ver Figura 104). Se debe posicionar correctamente las antenas de cada uno, evitando interferencias con los demás componentes. Una vez que están encendidos los dos subsistemas, el control remoto envía señales al controlador de vuelo DJI A3 a través del módulo Lightbridge 2; el controlador de vuelo enviará las señales a los ESC's y estos a los motores provocando la aceleración respectiva para que se eleve el cuadricóptero.

Una vez en el aire se puede controlar el drone gracias a las palancas de control que con sus movimientos ligeros permiten al operador llevar la aeronave al destino deseado ejecutando las actividades necesarias, en este caso las inspecciones a la piel de las aeronaves. El subsistema de aire se enciende una vez que recibe la energía desde el controlador de vuelo A3. Cuando la aeronave está en el aire el módulo Lightbridge 2 soporta hasta 1080p60 de resolución de entrada de imágenes o video. Por el puerto DBUS, envía la señal de control del sistema de tierra al controlador de vuelo DJI.



Figura 105. Transmisión de video.

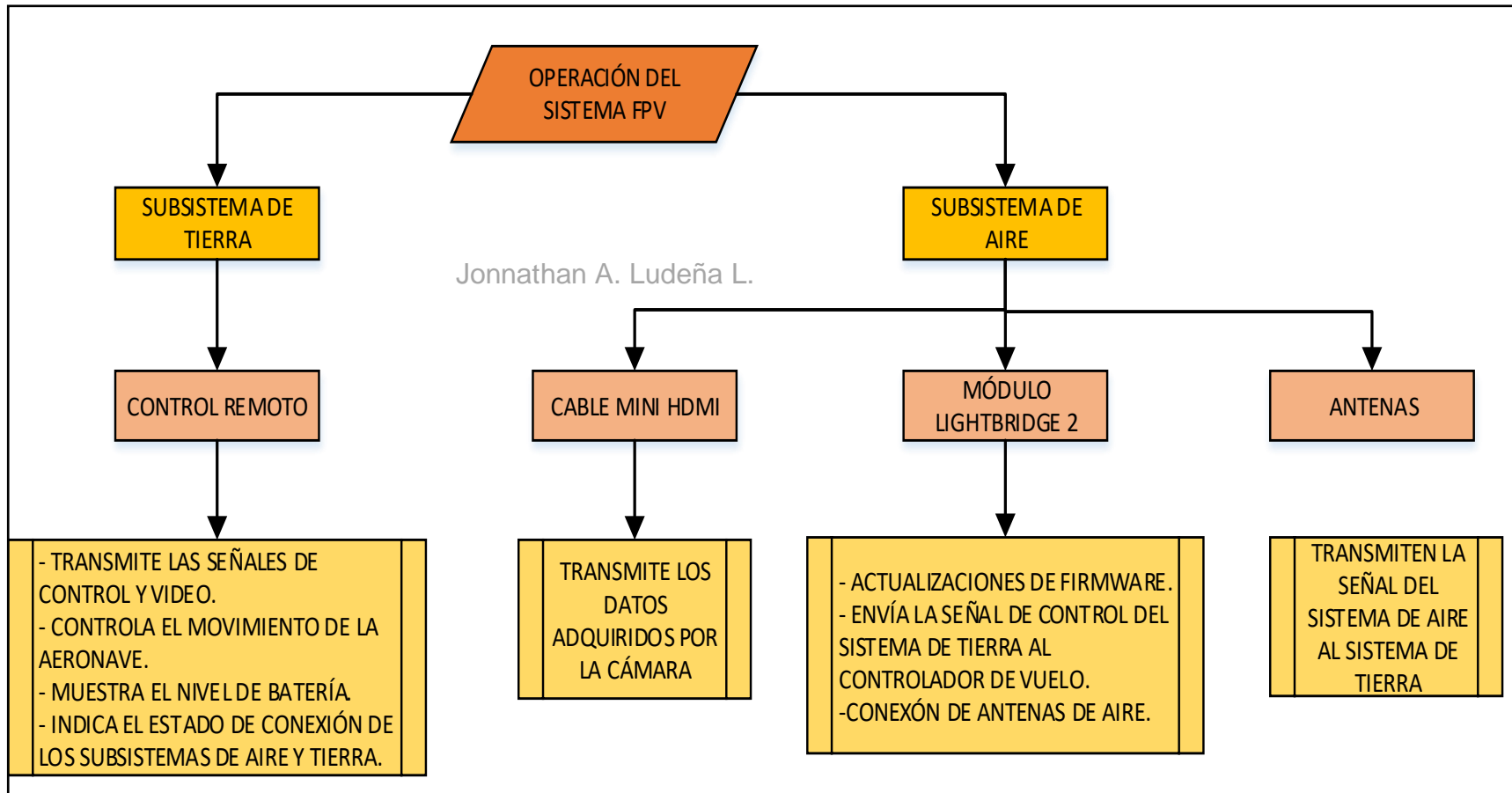


Figura 106. Operación del sistema FPV.

El módulo tiene un puerto de actualización que se puede conectar a una PC para actualizaciones de firmware a través del Asistente DJI Lightbridge 2. Con ayuda del botón de enlace se puede vincular el sistema de aire con el sistema de tierra. También cuenta con unas luces de indicación que muestran el estado de los subsistemas de aire y tierra (Ver Tabla 9). Por último, cuenta también con los puertos para las antenas del subsistema de aire.

3.4 Calibración del cuadricóptero CFLM para ejecutar una inspección visual

Los materiales con los que están hechos los drones, las partes de un drone y algunos consejos para su mantenimiento son una información que se debe tomar en cuenta para obtener el mejor rendimiento del equipo, prevenir accidentes y extender su vida útil con las mismas características que ha tenido desde el inicio. En las siguientes líneas se describen los procedimientos a seguir para ejecutar una inspección visual de la piel en una aeronave con seguridad y sin poner en riesgo a los operadores, personas que se encuentren cerca, aeronaves e instalaciones y al equipo.

De acuerdo con la Figura 108, lo primero que se debe hacer es verificar que los componentes se encuentren en su posición y asegurados. En el caso de la estructura se debe revisar que toda la ferretería de sujeción se encuentre ajustada correctamente. Respecto al sistema FPV se debe encender el control remoto y verificar las luces de indicación de acuerdo con la tabla 14.

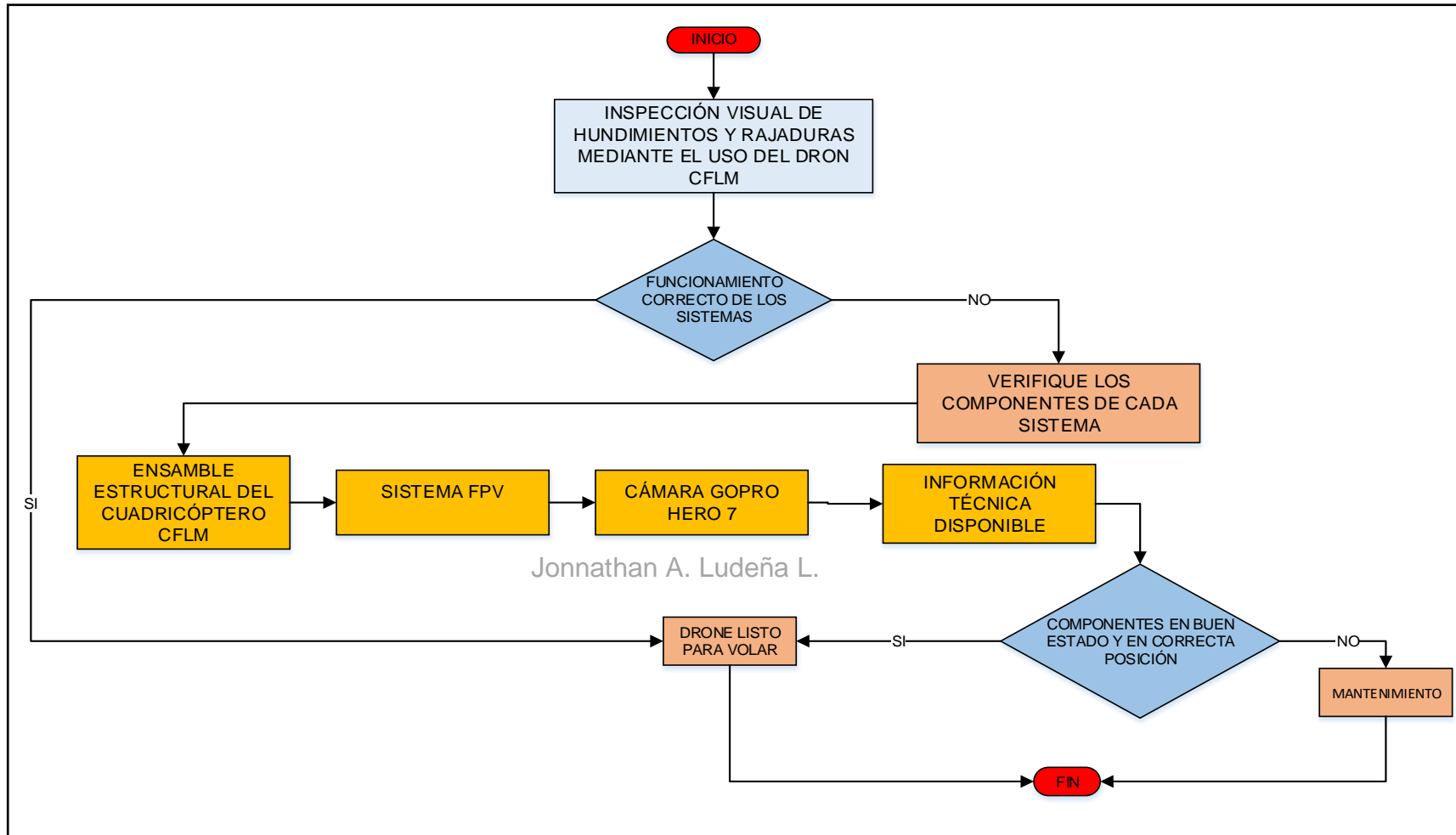


Figura 107. Calibración del drone CFLM previo a una inspección visual.

Por último, se debe encender el ordenador y verificar que se tenga la información técnica necesaria. También se requiere una buena conexión a internet y Bluetooth desde el ordenador, esto con el fin de que la transmisión de las imágenes y/o video sea óptima y eficiente. Una vez que se hayan cumplido los pasos descritos anteriormente, el drone estará listo para volar, caso contrario se debe realizar el mantenimiento respectivo.

En el caso de encontrar algún tipo de falla o inconsistencia en el aparato, se debe verificar que los componentes estructurales se encuentren ajustados, que no haya tornillos perdidos, etc. Lo más común en el sistema FPV es que se haya cambiado la posición del botón selector del modo de vuelo; en este caso el control remoto empieza a sonar de forma alarmante. Se debe reiniciar los sistemas del cuadricóptero desconectando y volviendo a conectar la batería #3.

En el caso de la cámara se puede presentar que la imagen en vivo mostrada en la aplicación DJI GO se corte, se congele, o se pierda; en cualquiera de los casos anteriores se debe reiniciar el control remoto. De persistir el problema se debe verificar las luces de indicación del subsistema de aire de acuerdo con la Tabla 10 y las conexiones desde la cámara hasta el módulo Lightbridge 2. Nunca se debe ejecutar ninguno de los procedimientos anteriores mientras el drone se encuentre en el vuelo, se perdería el control del cuadricóptero y la aeronave caerá en picada.

3.4.1 Drone listo para volar

Una vez realizado todos los procedimientos descritos anteriormente y si no se ha encontrado ninguna falla el drone está listo para volar. Se debe verificar que las condiciones meteorológicas sean las más adecuadas, por ejemplo: el viento no debe superar los 8 km/h, el área para iniciar un despegue es de mínimo 30 m a la redonda y 20 m hacia arriba en dónde no debe existir ningún objeto, persona o animal que ponga en riesgo la operación.

Se ejecuta el proceso de encendido y todos los sistemas de la aeronave se energizarán a excepción de la cámara que se debe encender mientras el drone está en tierra. Es recomendable posicionar el drone en una superficie regular para su despegue en especial cuando el piloto no tiene la suficiente experiencia. Encender el control remoto y verificar que se encuentren enlazados los subsistemas de tierra y aire.

Se inicia el ciclo de encendido de los motores. Una vez que se estabilicen las rpm de todos los motores se debe dar más potencia e iniciar el despegue. Con el drone en el aire se empieza a ejecutar la inspección visual en la piel de las partes que sean requeridas. Se debe pilotar con cuidado el cuadricóptero sin acercarse mucho a la aeronave en inspección, además no se debe realizar movimientos bruscos en las palancas de control, el cuadricóptero podría chocar con la aeronave y causar serios daños a la misma y a los sistemas que lo integran (Ver Figura 109).

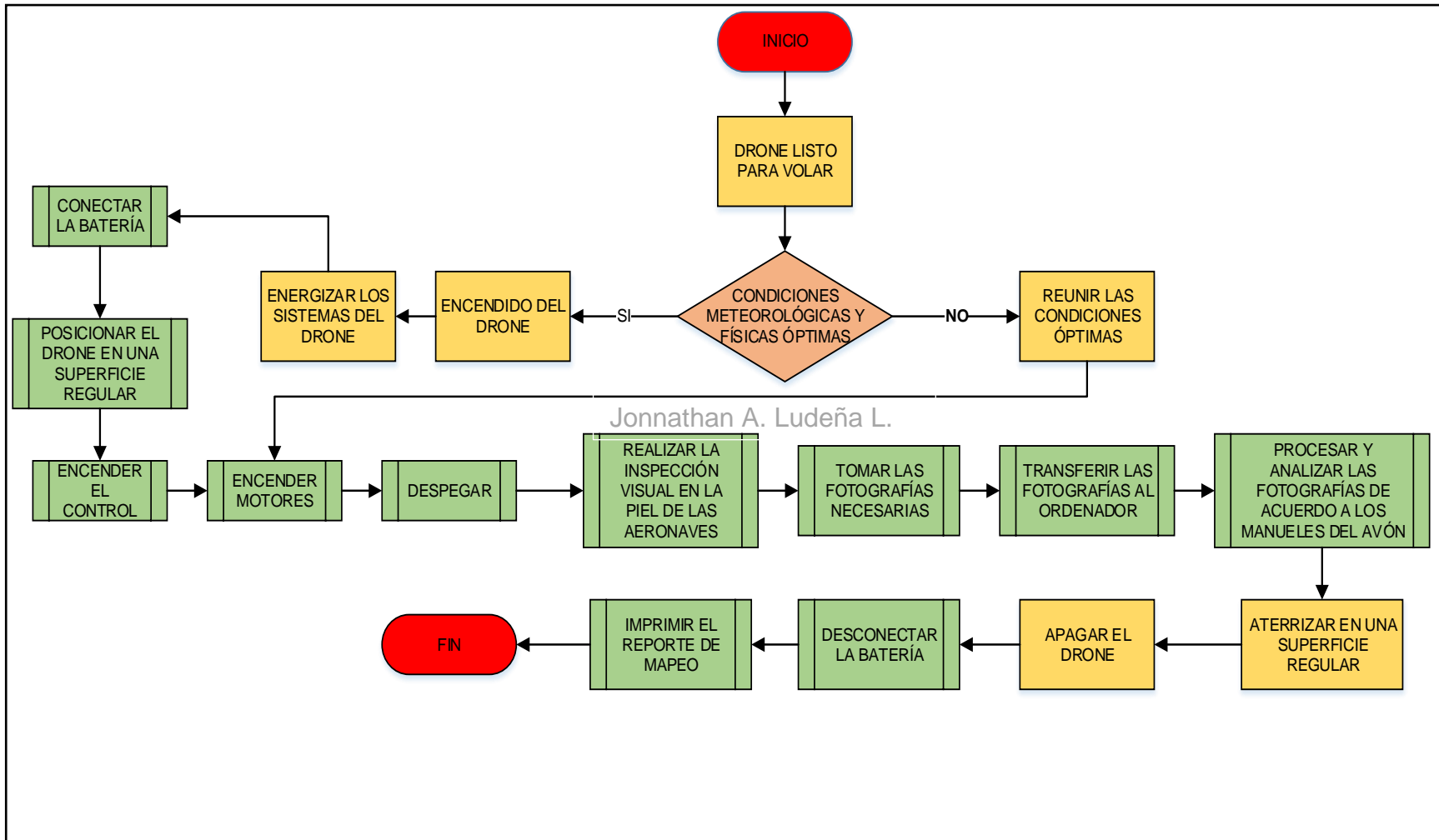


Figura 108. Procedimientos para realizar una inspección visual.

Se deben tomar las fotografías que sean necesarias con el fin de obtener las mejores características y no tener inconvenientes a la hora de procesarlas. Transferir las imágenes al ordenador. En caso de presentarse algún inconveniente con la transferencia de imágenes, verificar las conexiones de Bluetooth e internet; además se debe considerar que todas las fotografías y videos están respaldadas en la memoria SD de la cámara, por lo que una vez que el drone se encuentre en tierra se podrá acceder a ella.

Con las imágenes en el ordenador se inicia el procesamiento y el análisis de las mismas y físicamente dónde se obtendrán todas las dimensiones de las reparaciones, rajaduras y/o hundimientos encontrados. Cuando se haya agotado la batería del cuadricóptero se puede comprobar en la aplicación DJI GO, o si se ha culminado con la inspección se debe aterrizar el drone en una superficie regular y segura. Se apaga el drone y se desconecta la batería.

3.5 Proceso de Inspección Visual en la piel de las alas del avión Fairchild FH-227

Con ayuda del cuadricóptero CFLM se ejecutará la inspección visual de las alas de la aeronave Fairchild FH-227 para lo cual se debe seguir los siguientes esquemas tanto para reparaciones, hundimientos y rajaduras. Una vez completada la inspección se recomienda verificar el estado del equipo y posterior guardarlo en un lugar seguro.

3.5.1 Reparaciones

El funcionamiento satisfactorio de una aeronave requiere un continuo mantenimiento de la integridad estructural de la misma. Es importante que las reparaciones estructurales de los metales que la conforman se hagan de acuerdo a las mejores condiciones disponibles debido a que las técnicas de reparación inadecuadas pueden plantear un problema, peligro inmediato o potencial. La fiabilidad de una aeronave depende de la calidad del diseño, así como de la mano de obra usada para hacer las reparaciones y llevar el control de las mismas a lo largo de su vida útil. En el caso de los aviones de la carrera de Mecánica Aeronáutica, se iniciará con el control preventivo de la piel de las alas con ayuda del cuadricóptero CFLM.

Como se muestra en la Figura 110, para ejecutar las inspecciones visuales se debe iniciar con el “drone listo para despegar”; es decir, se debe haber cumplido con todos los procedimientos de calibración y verificación del equipo de acuerdo a sus manuales y los motores deben estar encendidos y todo en orden para efectuar un vuelo seguro. Se debe despegar el cuadricóptero e iniciar con la inspección de reparaciones estructurales, para ello será necesario posicionar el drone en la forma correcta durante el vuelo, efectuando movimientos suaves y tratanto de acercarse lo que más se pueda a la aeronave con una distancia que en caso de ráfagas de viento o cualquier corriente de aire que pueda afectar la trayectoria del aparato, el piloto tenga tiempo y espacio de reaccionar evitando colisiones.

Después se debe transferir las imágenes al ordenador durante el vuelo o a su vez cuando se haya aterrizado el cuadricóptero. Con las imágenes en el ordenador el técnico deberá identificar en dónde se encuentran las reparaciones de acuerdo a la información técnica de los manuales y físicamente se debe obtener las dimensiones de las mismas. Culminado este proceso se debe imprimir el reporte del mapeo realizado.

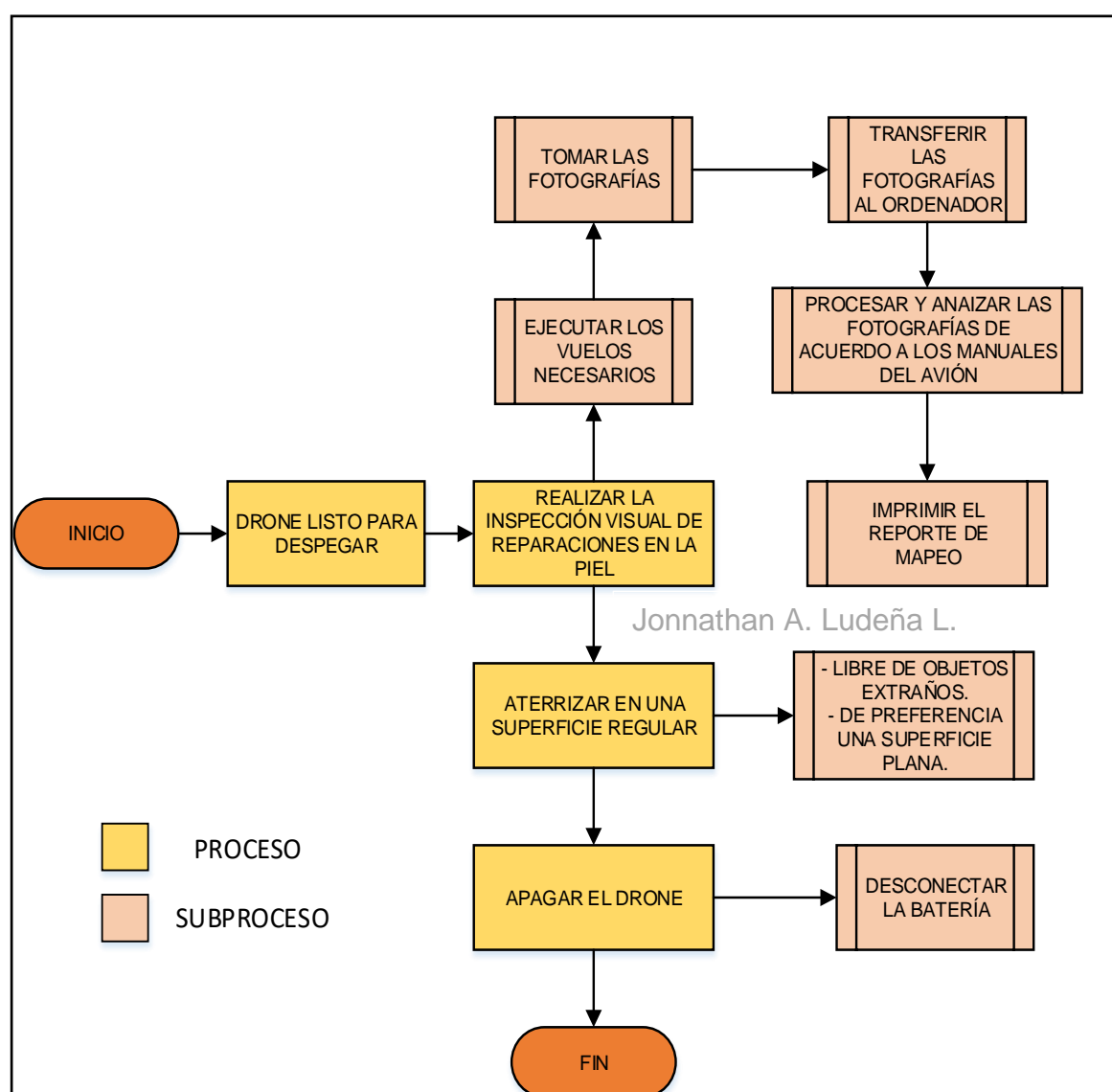


Figura 109. Ejecución de inspecciones visuales de reparaciones.

3.5.2 Rajaduras

Son aquellas fisuras que separan al material en dos partes si se elimina la ferretería de sujeción que soporta la piel, por lo general se originan en los bordes, orificios o puntos dónde se aplican las cargas concentradas o dónde se producen los cambios abruptos en el área de sección transversal. Este daño comúnmente se muestra como una línea irregular y es a menudo el resultado de la fatiga en el material.

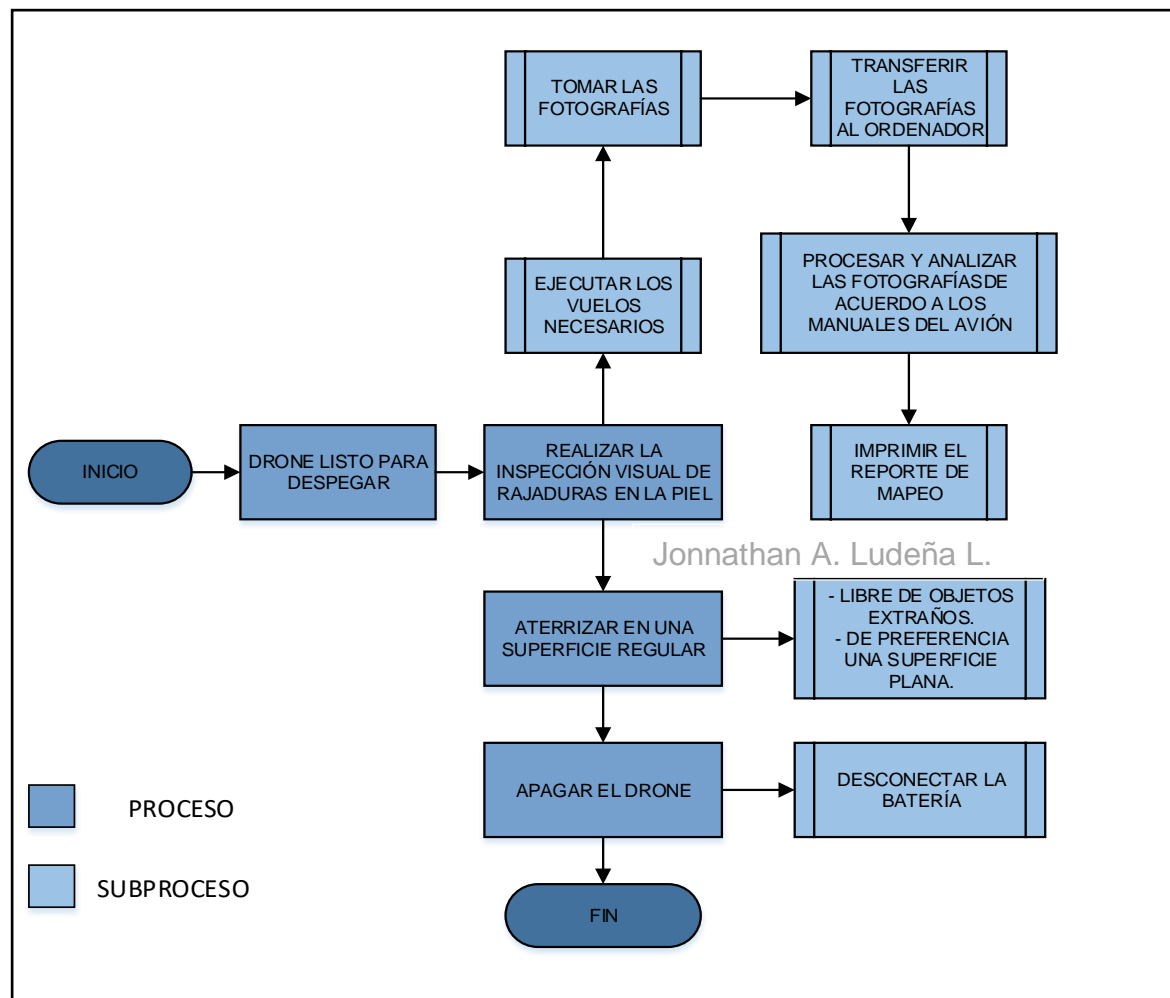


Figura 110. Ejecución de inspecciones visuales de rajaduras.

La longitud de las rajaduras que pueden ser toleradas en una aeronave varía ampliamente con el material, la estructura y la aplicación. Ninguna rajadura debe ser considerada como despreciable hasta que se haya verificado los límites permisibles en el manual de la aeronave. Para realizar la inspección visual de rajaduras en la piel de las alas de la aeronave en cuestión con ayuda del drone CFLM se debe cumplir lo descrito en la Figura 111.

3.5.3 Hundimientos

Un hundimiento o abolladura es una deformación hueca sin remoción de material metálico o cambio en el área de sección transversal. Una de las características principales de todo hundimiento es que deben tener una inmersión sobre la superficie y una profundidad mínima en dónde el metal no se desplazó, dobló o plegó. Generalmente son provocados por el impacto de un objeto suavemente contorneado.

En la mayoría de manuales de reparación estructural de aeronaves un hundimiento y/o abolladura se debe tratar como si fuese una grieta, es decir considerando los mismos límites permisibles. Para su evaluación se considera que la anchura del hundimiento es la segunda distancia más larga medida perpendicularmente respecto a la dirección de su longitud. En la Figura 112 se muestran los procedimientos a seguir para hacer la inspección visual de hundimientos en la piel de las alas de la aeronave Fairchild FH-227 con ayuda del cuadricóptero CFLM.

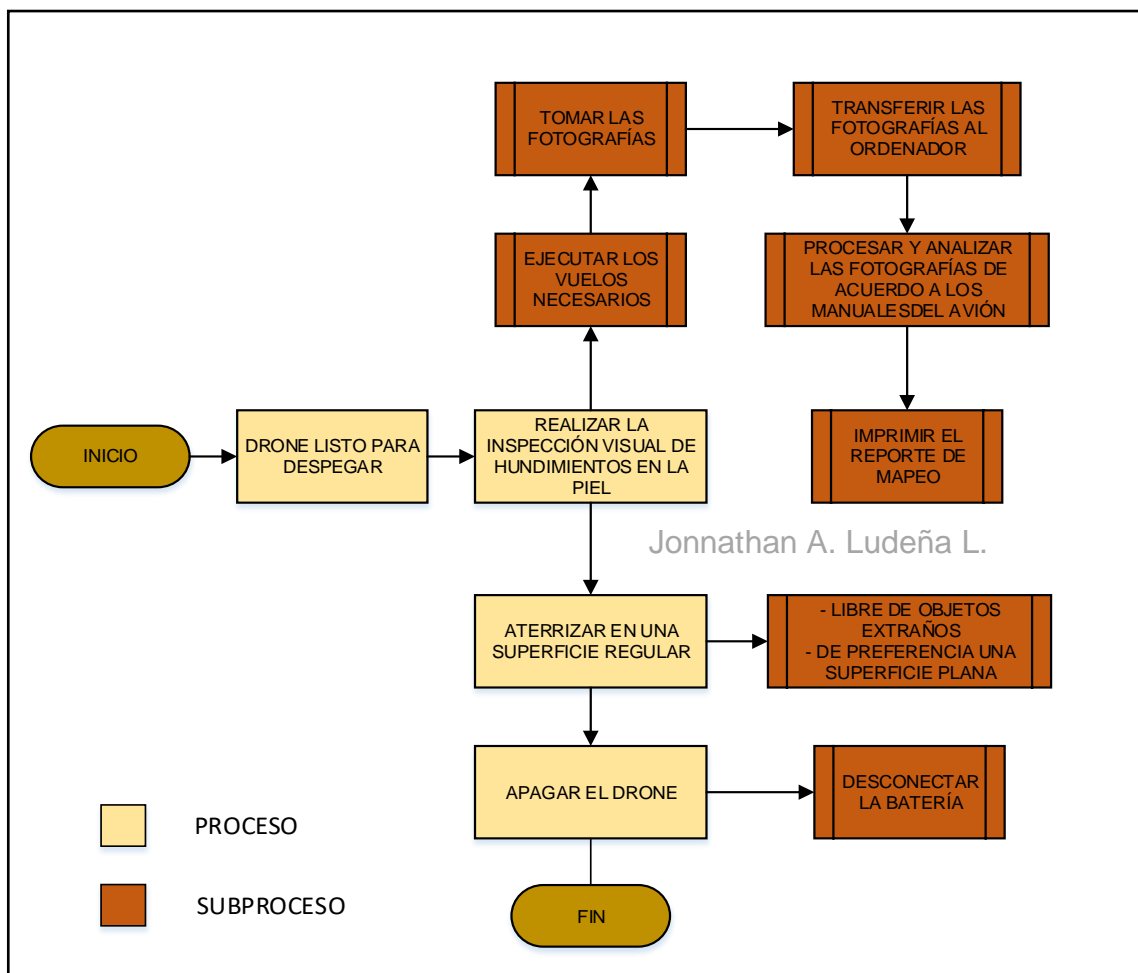


Figura 111. Ejecución de inspecciones visuales de hundimientos.

3.6 Análisis de resultados

Cuando se haya ejecutado la inspección visual, las imágenes obtenidas deben ser analizadas conforme la información técnica y los manuales del avión, posterior se obtendrán las dimensiones necesarias físicamente de las reparaciones, rajaduras y hundimientos, se localizarán y se comparará con los límites permisibles descritos en el SRM ATA 57 de la aeronave en cuestión. A continuación se muestran los resultados obtenidos en las alas del avión Fairchild FH-227 con matrícula HC-BHD.

3.6.1 Análisis de Reparaciones

De acuerdo a la inspección visual ejecutada en la piel de las alas de la aeronave Fairchild Hiller FH-227, se encontraron y se evaluaron las siguientes reparaciones de acuerdo a lo descrito en la información técnica del manual de reparaciones estructurales de la aeronave como se detalla a continuación. Para obtener más información sobre el trabajo realizado (Ver Anexo 2).

- **Reparación estructural #1:**

Se encontró una reparación (Doublor 4" * 5") en el Tab del alerón del ala izquierda de la aeronave Fairchild FH-227, ubicado en la A.S. 161.221 - 5". Se recomienda hacer el seguimiento correspondiente.



Figura 112. Reparación estructural #1.

- **Reparación Estructural #2:**

Se encontró una reparación (Doublor 7" * 2") en el Tab del alerón del ala derecha de la aeronave Fairchild FH-227, ubicado en la A.S. 161.221 -2". Se recomienda hacer el seguimiento correspondiente.

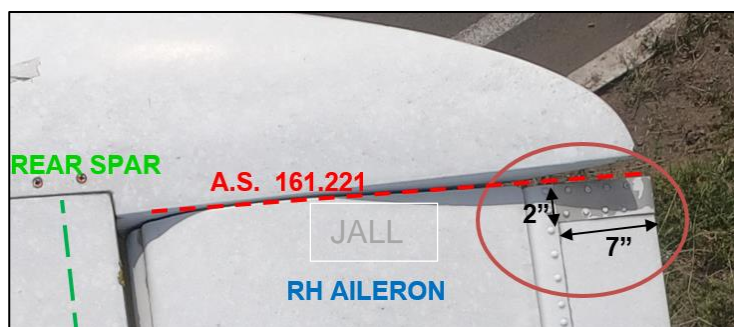


Figura 113. Reparación estructural #2.

- **Reparación Estructural #3:**

Se encontró una reparación (Doublor 8" * 4") en la piel superior del alerón del ala izquierda de la aeronave Fairchild FH-227, ubicado en la A.S. 14.291 -2". Se recomienda hacer el seguimiento correspondiente.



Figura 114. Reparación estructural #3.

- **Reparación Estructural #4:**

Se encontró una reparación (Doublar 2" * 2") en la piel inferior del alerón del ala izquierda de la aeronave Fairchild FH-227, ubicado en la A.S. 161.221. Se recomienda hacer el seguimiento correspondiente.



Figura 115. Reparación estructural #4.

- **Reparación Estructural #5:**

Se encontró una reparación (Doublar 5" * 3") en la piel inferior del ala derecha de la aeronave Fairchild FH-227, ubicado en la A.S. 167.126. Se recomienda hacer el seguimiento correspondiente.

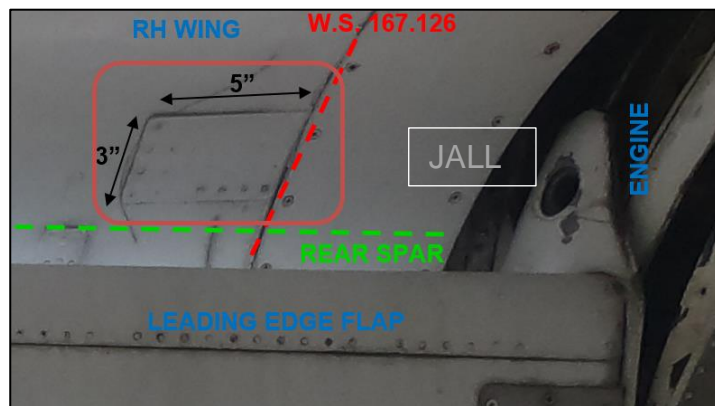


Figura 116. Reparación estructural #5.

- **Reparación Estructural #6:**

Se encontró una reparación (Doublar 2" * 1") en la piel inferior del ala derecha de la aeronave Fairchild FH-227, ubicado en la W.S. 167.126. Se recomienda hacer el seguimiento correspondiente.

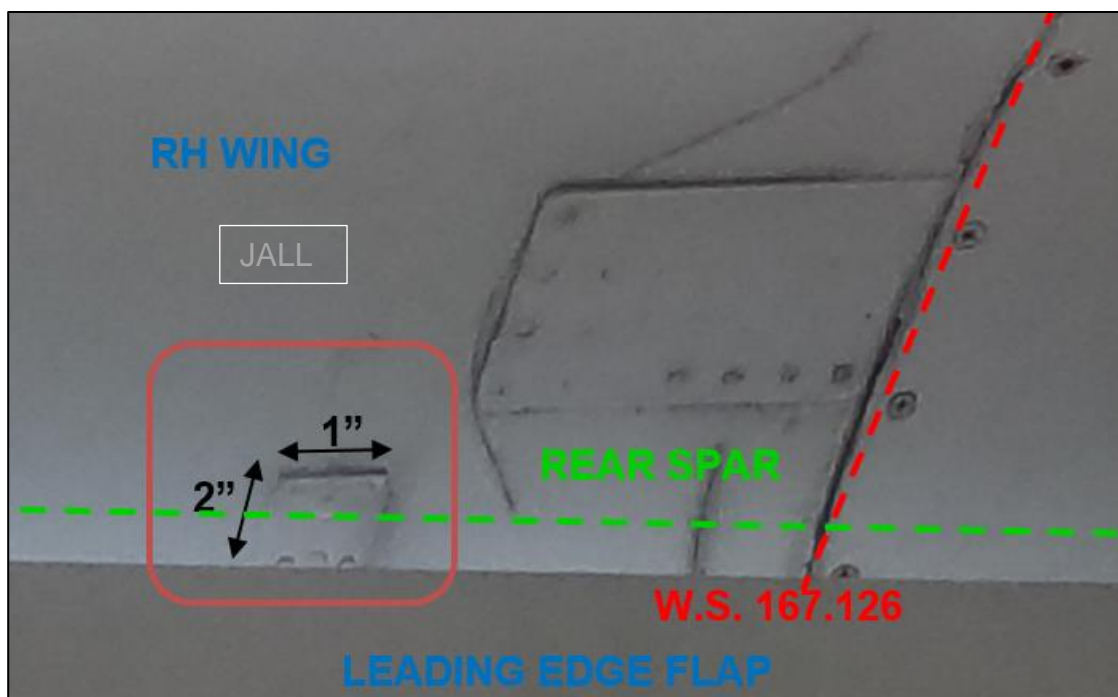


Figura 117. Reparación estructural #6.

3.6.2 Análisis de Rajaduras

De acuerdo a la inspección visual ejecutada en la piel de las alas de la aeronave Fairchild Hiller FH-227, se encontraron y se evaluaron las siguientes rajaduras de acuerdo a lo descrito en la información técnica del manual de reparaciones estructurales de la aeronave como se detalla a continuación. Para obtener más información sobre el trabajo realizado (Ver Anexo 3).

- **Rajadura #1:**

Esta rajadura se encuentra en el panel exterior, piel superior del ala izquierda. Está ubicada en la estación 60.630 y tiene una longitud de 18 pulgadas (Ver Figura 119), por lo que de acuerdo al SRM (57-1); página (1); numeral (1); literal (B), está fuera de los límites permisibles y se debe reparar mediante un parche (Ver figura 120).

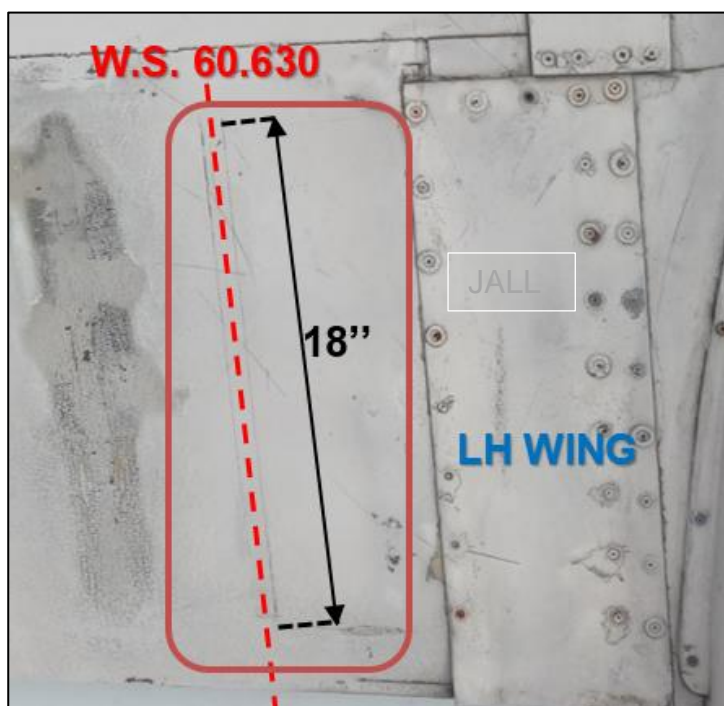


Figura 118. Rajadura #1.

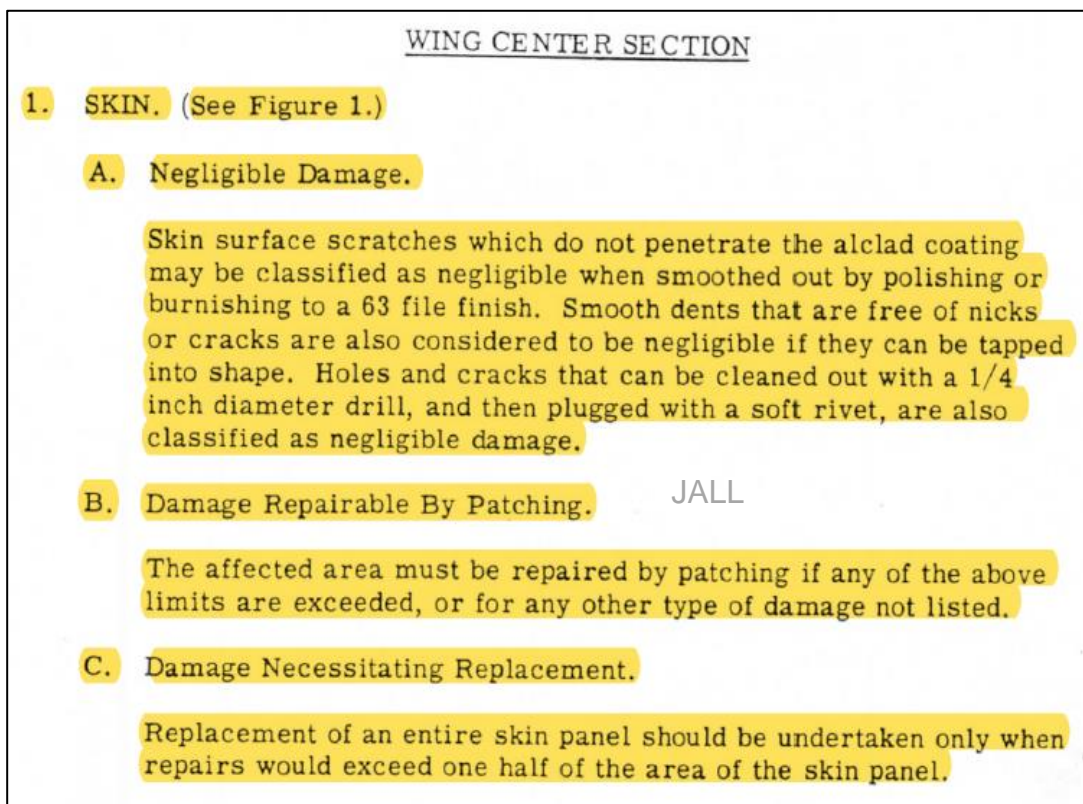


Figura 119. SRM (57-1); Avión Fairchild FH-227.

- **Rajadura #2:**

Esta rajadura se encuentra en el panel exterior de la caja de vigas, piel superior del ala izquierda. Está ubicada en la estación 311.024 y tiene una longitud de 7 pulgadas (Ver Figura 121), por lo que de acuerdo al SRM (57-1); página (1); numeral (1); literal (B), está fuera de los límites permisibles y se debe reparar mediante un parche (Ver Figura 120).



Figura 120. Rajadura #2.

- **Rajadura #3:**

Esta rajadura se encuentra en el panel exterior de la caja de vigas, piel superior del ala izquierda. Está ubicada en la estación 210.630 y tiene una longitud de 8 pulgadas (Ver Figura 122), por lo que de acuerdo al SRM (57-1); página (1); numeral (1); literal (B), está fuera de los límites permisibles y se debe reparar mediante un parche (Ver Figura 120).

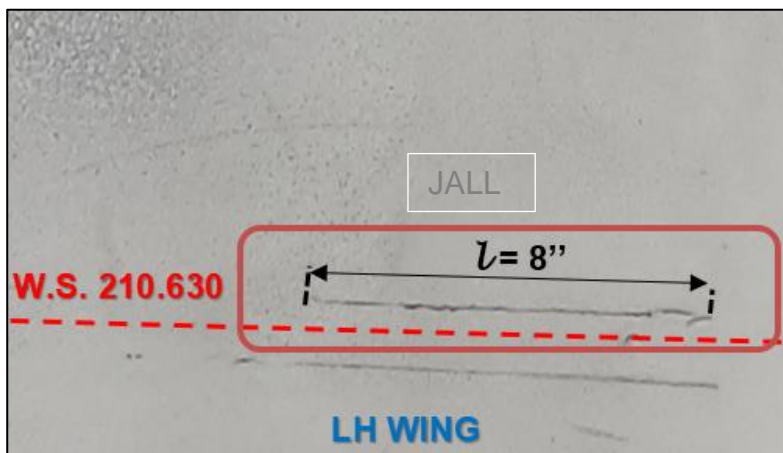


Figura 121. Rajadura #3.

- **Rajadura #4:**

Esta rajadura se encuentra en el panel exterior de la caja de vigas, piel superior del ala derecha. Está ubicada en la estación 210.630 y tiene una longitud de 9 pulgadas (Ver Figura 123), por lo que de acuerdo al SRM (57-1); página (1); numeral (1); literal (B), está fuera de los límites permisibles y se debe reparar mediante un parche (Ver Figura 120).

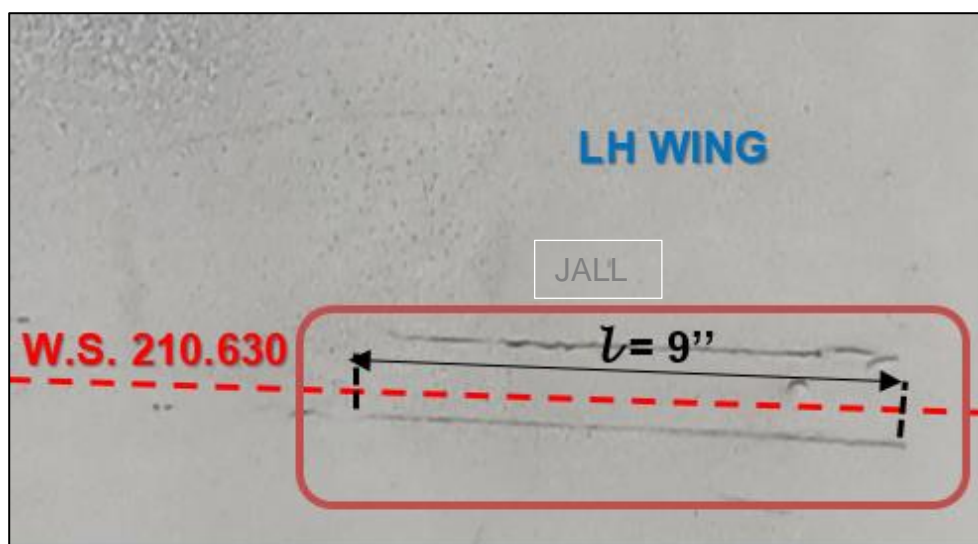


Figura 122. Rajadura #4.

- **Rajadura #5:**

Esta rajadura se encuentra en el panel exterior de la caja de vigas, piel superior del ala derecha. Está ubicada en la estación 188.976 y tiene una longitud de 17 pulgadas (Ver Figura 124), por lo que de acuerdo al SRM (57-1); página (1); numeral (1); literal (B), está fuera de los límites permisibles y se debe reparar mediante un parche (Ver Figura 120).

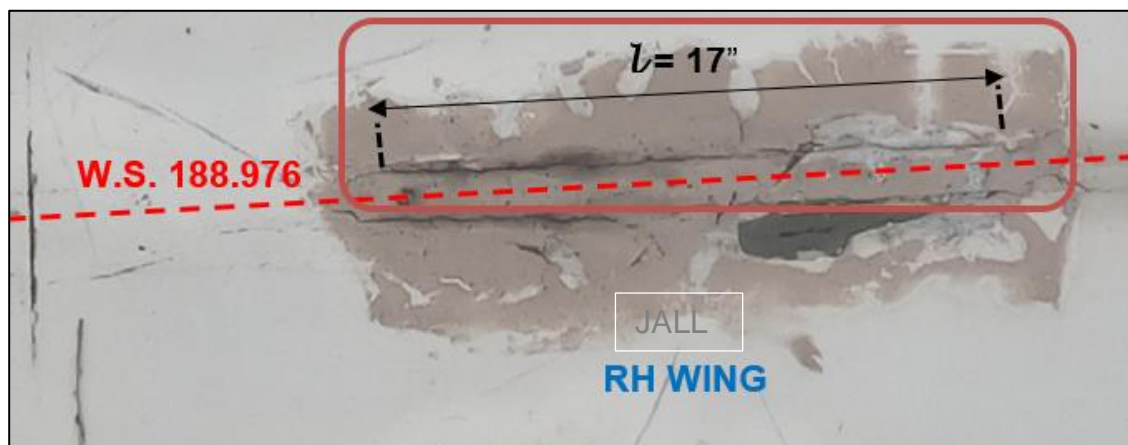


Figura 123. Rajadura #5.

- **Rajadura #6:**

Esta rajadura se encuentra en el panel exterior de la caja de vigas, piel superior del ala derecha. Está ubicada en la estación 188.976 y tiene una longitud de 15 pulgadas (Ver Figura 125), por lo que de acuerdo al SRM (57-1); página (1); numeral (1); literal (B), está fuera de los límites permisibles y se debe reparar mediante un parche (Ver Figura 120).

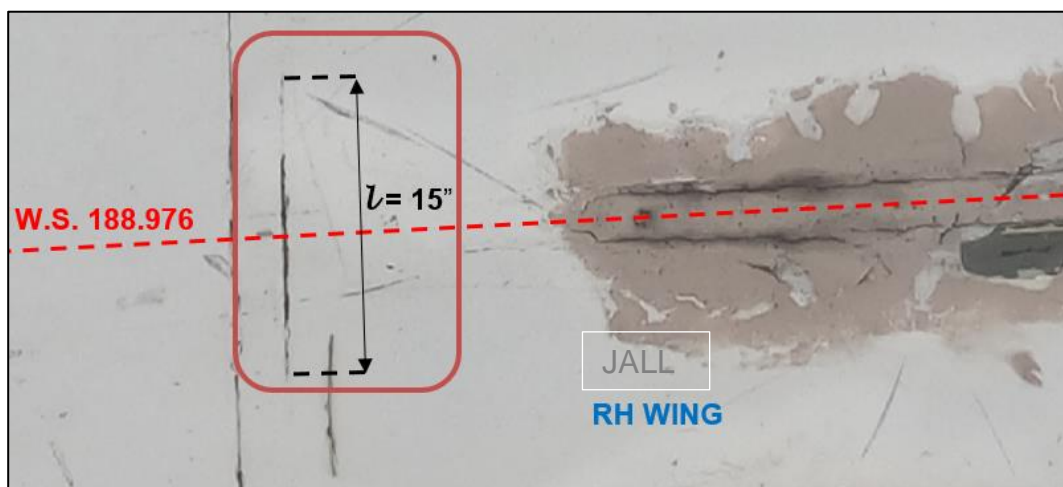


Figura 124. Rajadura #6.

- **Rajadura #6:**

Esta rajadura se encuentra en el panel exterior de la caja de vigas, piel superior del ala derecha. Está ubicada en la estación 188.976 y tiene una longitud de 5 pulgadas (Ver Figura 126), por lo que de acuerdo al SRM (57-1); página (1); numeral (1); literal (B), está fuera de los límites permisibles y se debe reparar mediante un parche (Ver Figura 120).

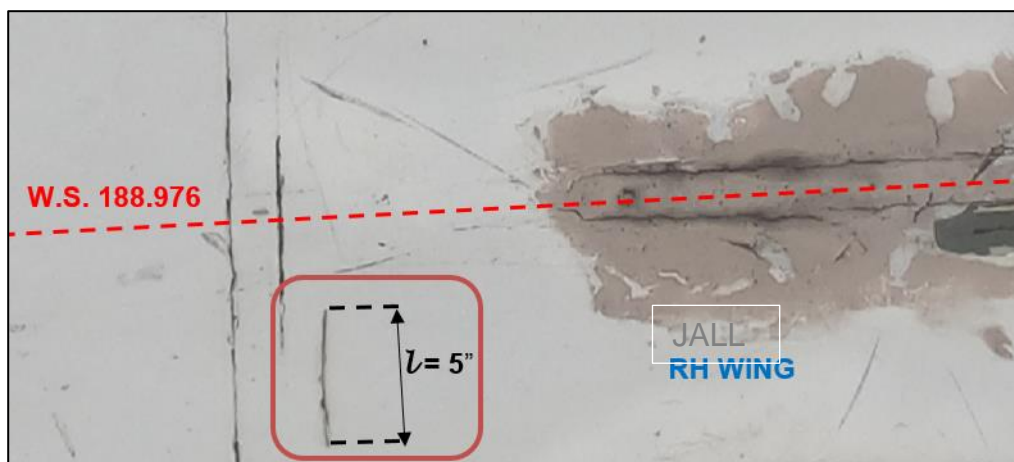


Figura 125. Rajadura #6.

3.6.3 Análisis de Hundimientos

De acuerdo a la inspección visual ejecutada en la piel de las alas de la aeronave Fairchild Hiller FH-227, se encontraron y se evaluaron los siguientes hundimientos de acuerdo a lo descrito en la información técnica del manual de reparaciones estructurales de la aeronave como se detalla a continuación. Para obtener más información sobre el trabajo realizado (Ver Anexo 4).

- **Hundimiento #1:**

Este hundimiento se encuentra en la piel superior del Flap interno del ala derecha. Está ubicado entre las estaciones del Flap F.S. 3.397 – F.S. 37.835 y tiene una longitud de 33 pulgadas y un ancho de 3 pulgadas (Ver Figura 127), por lo que de acuerdo al SRM (57-3); página (1); numeral (1); literal (C), está fuera de los límites permisibles y se debe reemplazar el panel (Ver Figura 128).

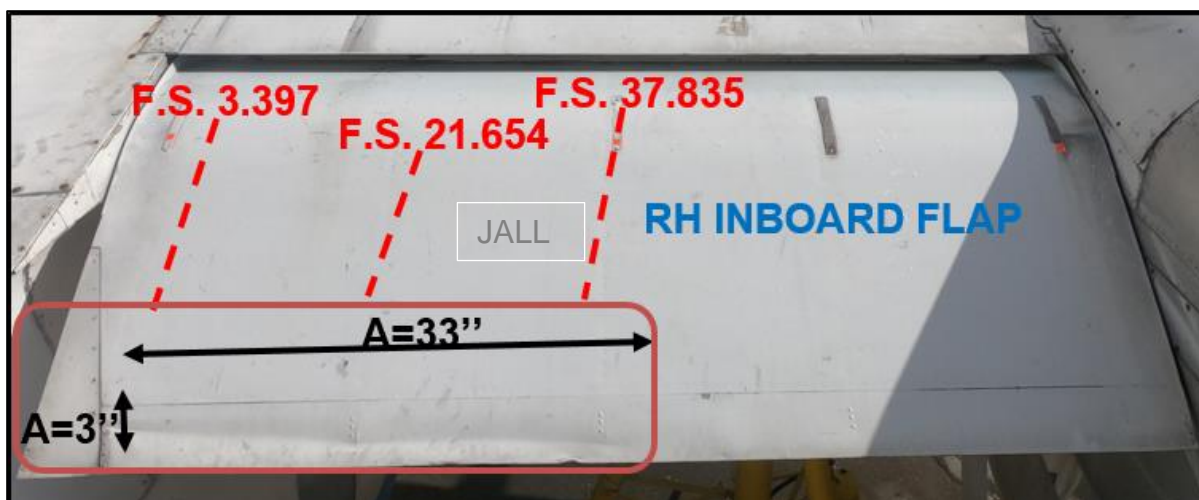


Figura 126. Hundimiento #1.

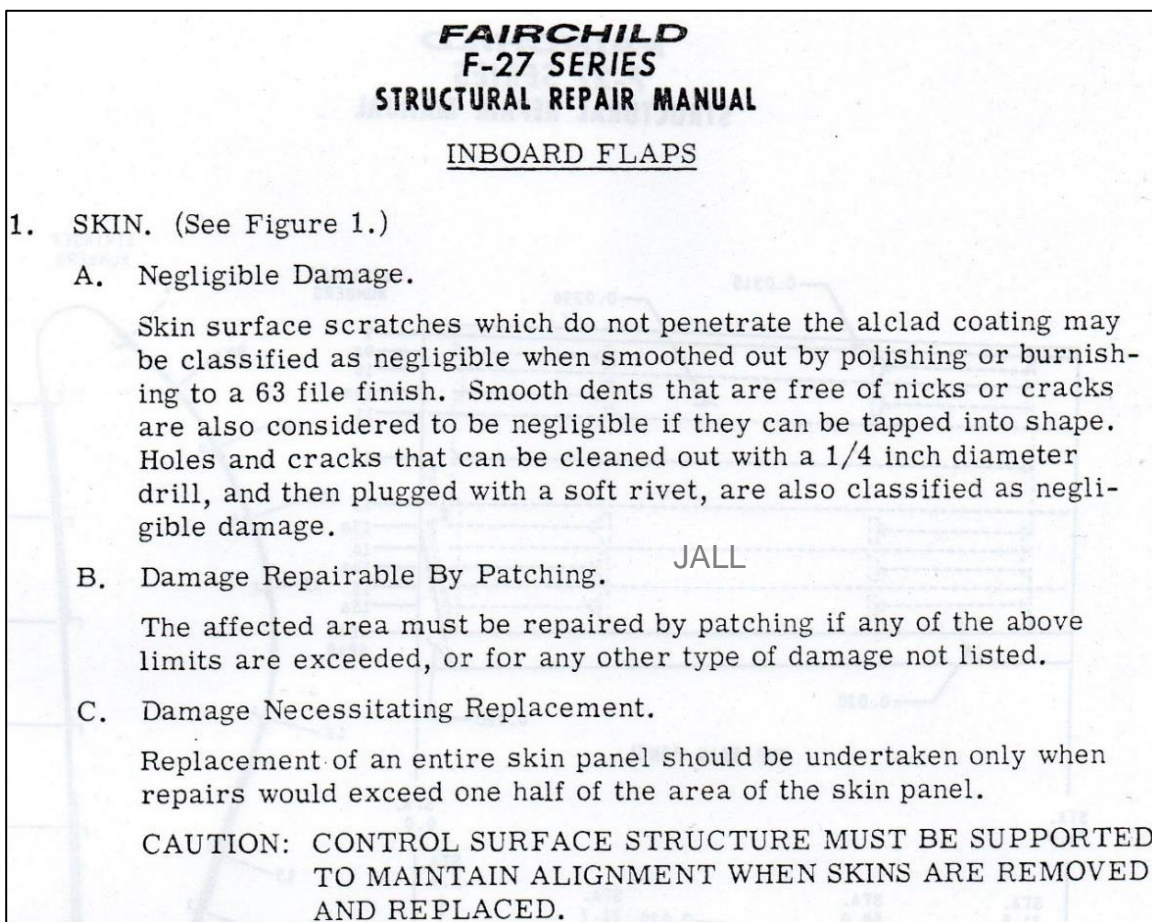


Figura 127. SRM (57-3); Avión Fairchild FH-227.

- **Hundimiento #2:**

Este hundimiento se encuentra en la piel superior del Flap interno del ala derecha. Está ubicado entre las estaciones del Flap F.S. 21.65+13.5" – F.S. 37.835 – 2" y tiene una longitud de 2 pulgadas y un ancho de 0.5 pulgadas (Ver Figura 129), por lo que de acuerdo al SRM (57-3); página (1); numeral (1); literal (B), y se debe reparar mediante un parche (Ver Figura 128).

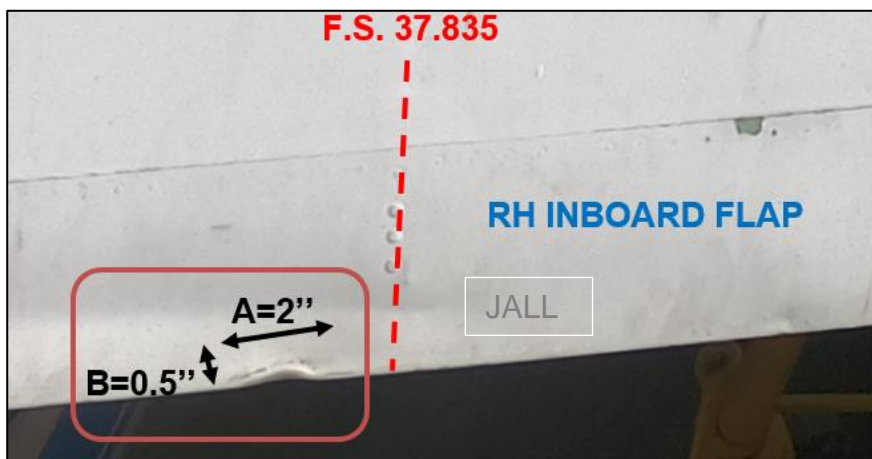


Figura 128. Hundimiento #2.

- **Hundimiento #3:**

Este hundimiento se encuentra en la piel superior del Flap externo del ala derecha. Está ubicado entre las estaciones del Flap F.S. 60.630+7.5" – F.S. 79.528-5" y tiene una longitud de 5.5 pulgadas y un ancho de 1 pulgada (Ver Figura 130), por lo que de acuerdo al SRM (57-3); página (1); numeral (1); literal (B), y se debe reparar mediante un parche (Ver Figura 128).

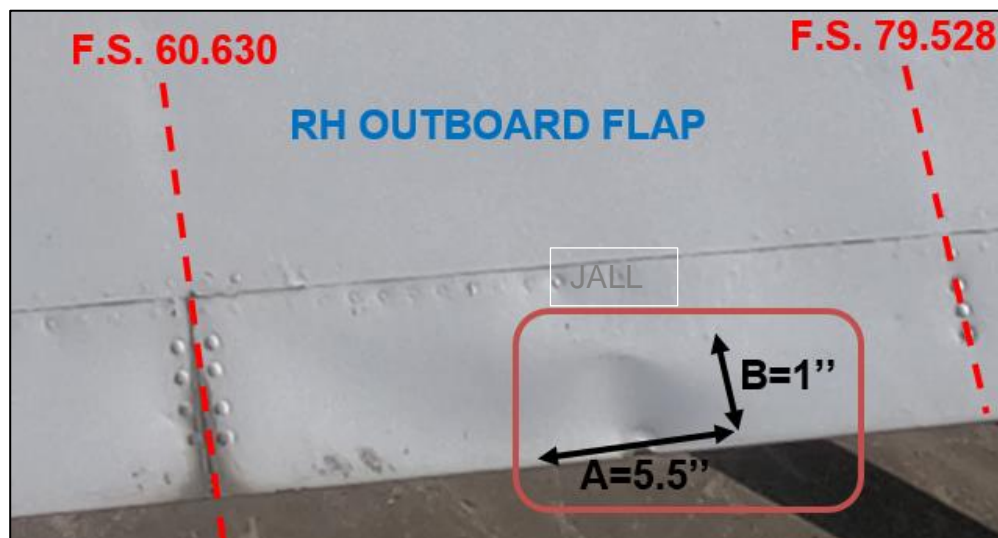


Figura 129. Hundimiento #3.

- **Hundimiento #4:**

Este hundimiento se encuentra en la piel superior del Flap externo, del ala derecha, ubicado entre las estaciones del Flap F.S. 111.811+6" – F.S. 131.299-8" y tiene una longitud de 5 pulgadas y un ancho de 0.5 pulgadas (Ver Figura 131), por lo que de acuerdo al SRM (57-3); página (1); numeral (1); literal (B), y se debe reparar mediante un parche (Ver Figura 128).

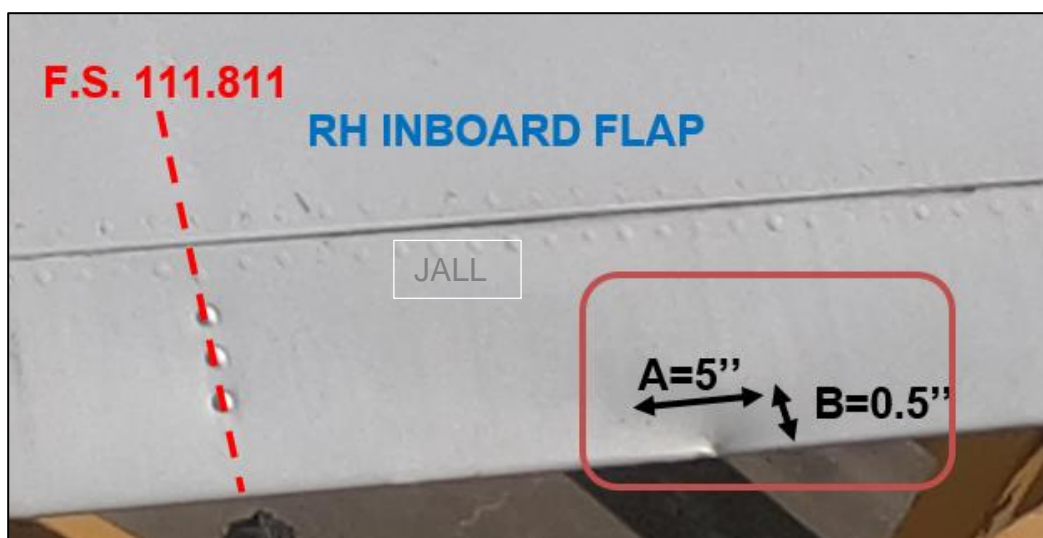


Figura 130. Hundimiento #2.

3.6.4 Análisis de Discrepancias adicionales

De acuerdo a la inspección visual ejecutada en la piel de las alas de la aeronave Fairchild Hiller FH-227, se encontraron y se evaluaron las siguientes discrepancias adicionales de acuerdo a lo descrito en la información técnica del manual de reparaciones estructurales de la aeronave como se detalla a continuación. Para obtener más información sobre el trabajo realizado (Ver Anexo 5).

- **Discrepancia adicional #1:**

Se encontraron tornillos con corrosión en la punta del ala, piel superior del ala izquierda. Este daño está ubicado en la estación 562.992+0.5", (Ver Figura 132). Se debe reemplazar la ferretería de acuerdo a la circular de asesoramiento AC 43-4B; página (6-28); numeral (6.53); (Ver Figura 134).



Figura 131. Discrepancia adicional 1.

- **Discrepancia adicional #2:**

Se encontraron tornillos con corrosión en las partes de anclaje del conjunto de montaje, piel superior del ala izquierda. Está ubicado en la estación 562.992 – 4", (Ver Figura 133). Se debe reemplazar la ferretería de acuerdo a la circular de asesoramiento AC 43-4B; página (6-28); numeral (6.53); (Ver Figura 134).

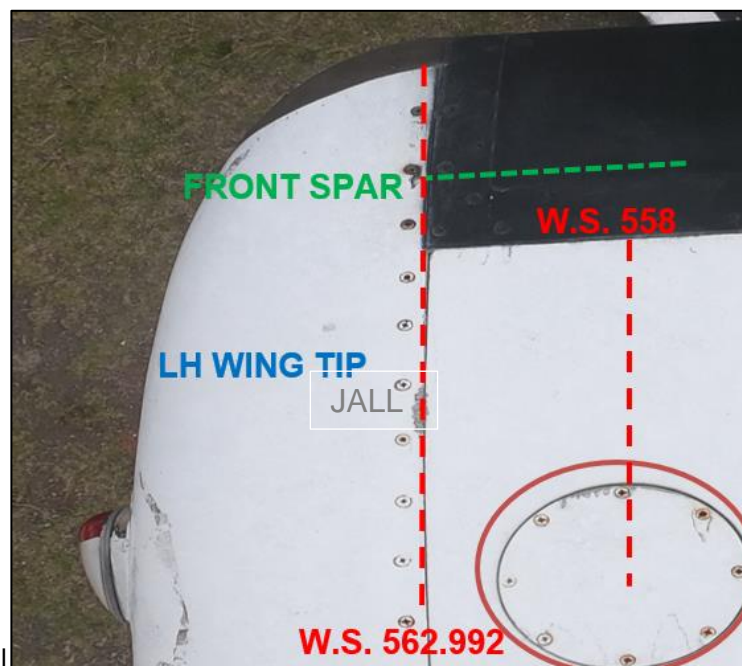


Figura 132. Discrepancia adicional 2.

| |
|---|
| <p>6.53 Corrosion Removal Around Countersunk Fasteners in Aluminum Alloy. In aluminum alloys, intergranular corrosion often originates at countersunk areas where steel fasteners are used. Corrosion removal in a countersink is impossible with the fastener in place.</p> <p>6.53.1 When corrosion is found around a fixed fastener head, remove the fastener to ensure corrosion removal, prevent further corrosion, and prevent loss of structural strength. To reduce the reoccurrence of corrosion, the panel should receive a chemical conversion coating, be primed, and have the fasteners installed wet with sealant.</p> <p>6.53.2 Each time removable steel fasteners are removed from access panels, inspect them for material condition, including the condition of the plating. If mechanical or plating damage is evident, replace the fastener. Upon installation, follow one of the below fastener installation methods:</p> <p style="text-align: center;">JALL</p> <p>6.53.2.1 A preferred method is to brush a corrosion preventive compound on the substructure around and in the fastener hole, start the fastener, apply a bead of sealant to the fastener countersink, then set and torque the fastener within the working time of the sealant;</p> <p>6.53.2.2 Apply the corrosion preventive compound to the substructure and fastener, set and torque the fastener; or</p> <p>6.53.2.3 Apply a coating of primer to the fastener, and, while wet with primer, set and torque the fastener.</p> |
|---|

Figura 133. Remoción de sujetadores con corrosión, AC 43-4B.

- **Discrepancia adicional #3:**

Se encontró desprendimiento de pintura en la piel superior del alerón izquierdo. Este daño está ubicado en la estación del alerón 161.221-1", (Ver Figura 134). Se debe realizar el proceso de decapado, tratamiento anticorrosivo y pintura de acuerdo a la circular de asesoramiento AC 43-4B; página (4-31, 4-32); numeral (4.13.5); (Ver Figura 137).



Figura 134. Discrepancia adicional 3.

- **Discrepancia adicional #4:**

Se encontró desprendimiento de pintura en el soporte del alerón izquierdo. Este daño está ubicado en la estación del alerón 153.504-1", (Ver Figura 136). Se debe realizar el proceso completo de pintura de acuerdo a la circular de asesoramiento AC 43-4B; página (4-31, 4-32); numeral (4.13.5); (Ver Figura 138).



Figura 135. Discrepancia adicional 4.

- **Discrepancia adicional #5:**

Se encontró desprendimiento de pintura en los tornillos que aseguran el descargador estático del alerón izquierdo. Este daño está ubicado en la estación del alerón 149.567", (Ver Figura 137). Se debe cambiar los tornillos y realizar el proceso de pintura correspondiente de acuerdo a la circular de asesoramiento AC 43-4B; página (4-31, 4-32); numeral (4.13.5); (Ver Figura 138).



Figura 136. Discrepancia adicional 5.

4.13.5 Surface Treatment.

4.13.5.1 An important step in the corrosion control process is surface treatment of a metal with a prescribed chemical to form a protective film. Chemical surface treatments, properly applied, provide corrosion resistance to the metal and improve the adhesion of subsequently applied paints. These surface treatments, also known as chemical conversion coatings, chromate conversion coatings, chemical films, or pretreatments, are aqueous acid solutions of active, inorganic compounds which convert aluminum or magnesium surfaces to a corrosion-resistant film.

4.13.5.1.1 Aluminum and aluminum alloy chemical conversion materials conform to MIL-SPEC [MIL-C-81706](#), Chemical Conversion Materials for Coating Aluminum and Aluminum Alloys.

JALL

4.13.5.1.2 Magnesium alloy chemical conversion materials conform to Aerospace Material Specification ([AMS](#))-[M-3171](#), Magnesium Alloy, Processes for Pretreatment and Prevention of Corrosion On.

4.13.5.1.3 Ferrous metals, stainless steel, and titanium treatment, prior to painting, are limited to corrosion removal and cleaning.

4.13.5.2 The surface should be prepared for application of the chemical conversion coatings.

Figura 137. Procedimiento de tratamiento para superficies, AC 43-4B.

- **Discrepancia adicional #6:**

Se encontró desprendimiento de pintura en el panel exterior de la caja de vigas del ala izquierda. Este daño está ubicado entre las estaciones del ala W.S. 516.992 – W.S. 529.921+4”, (Ver Figura 139). Se debe realizar el proceso de pintura correspondiente de acuerdo a la circular de asesoramiento AC 43-4B; página (4-31, 4-32); numeral (4.13.15); (Ver Figura138).

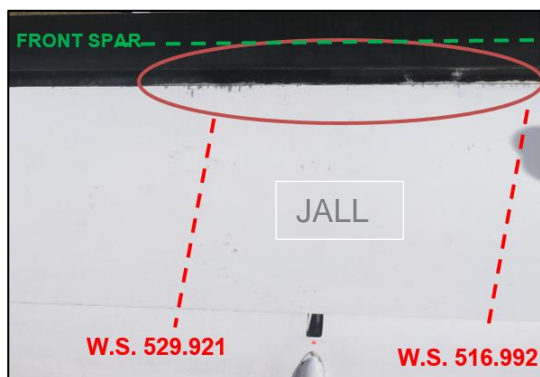


Figura 138. Discrepancia adicional 6.

- **Discrepancia adicional #7:**

Se encontró desprendimiento de pintura en el trim tab exterior del alerón izquierdo, además no se encontraron los tornillos de sujeción. Este daño está ubicado entre las estaciones del alerón A.S.95.551-A.S.100.276", (Ver Figura 140). Se debe cambiar los tornillos de acuerdo a la circular de asesoramiento AC 43-4B; página (6-28); numeral (6.53); (Ver Figura 134) y realizar el proceso de pintura correspondiente de acuerdo a la circular de asesoramiento AC 43-4B; página (4-31, 4-32); numeral (4.13.15); (Ver Figura 138), o reemplazar el trim tab.



Figura 139. Discrepancia adicional 7.

- **Discrepancia adicional #8:**

Se encontró desprendimiento de pintura en la parte delantera del panel exterior de la caja de vigas del ala izquierda, en el límite con las botas de deshielo. Este daño está ubicado entre las estaciones del ala W.S. 423.622+5" - W.S. 423.622 - 7", (Ver Figura141). Se debe realizar el proceso de pintura correspondiente de acuerdo a la circular de asesoramiento AC 43-4B; página (4-31, 4-32); numeral (4.13.15); (Ver Figura 138), o teniendo en cuenta los demás daños existentes cambiar el panel considerando los límites detallados en el SRM 57-2; página (1); numeral (1); literal (A-D); (Ver Figura 142), se debe reemplazar el panel.

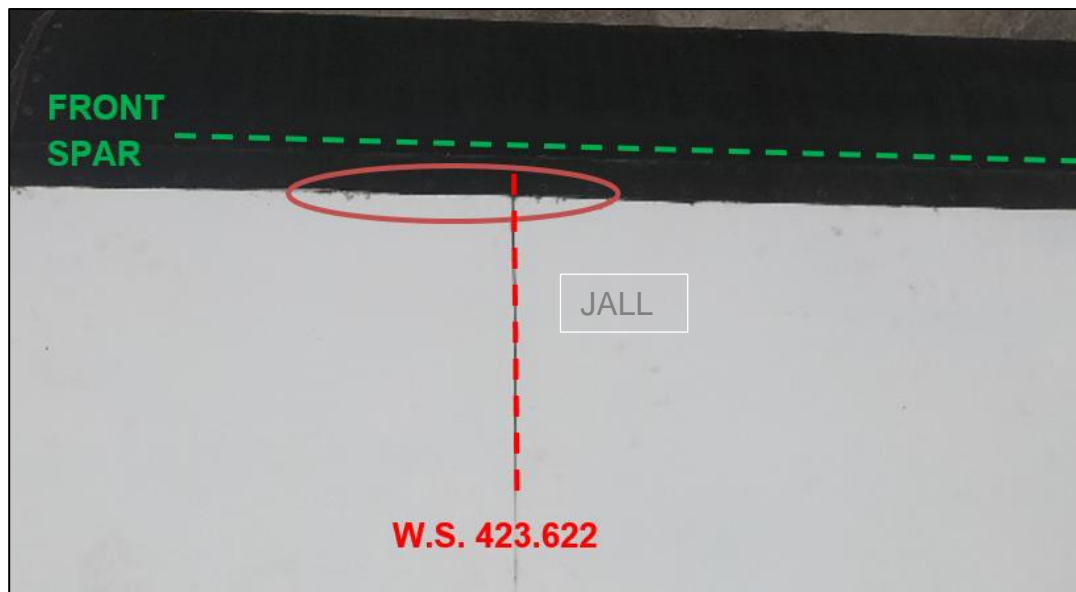


Figura 140. Discrepancia adicional 8.

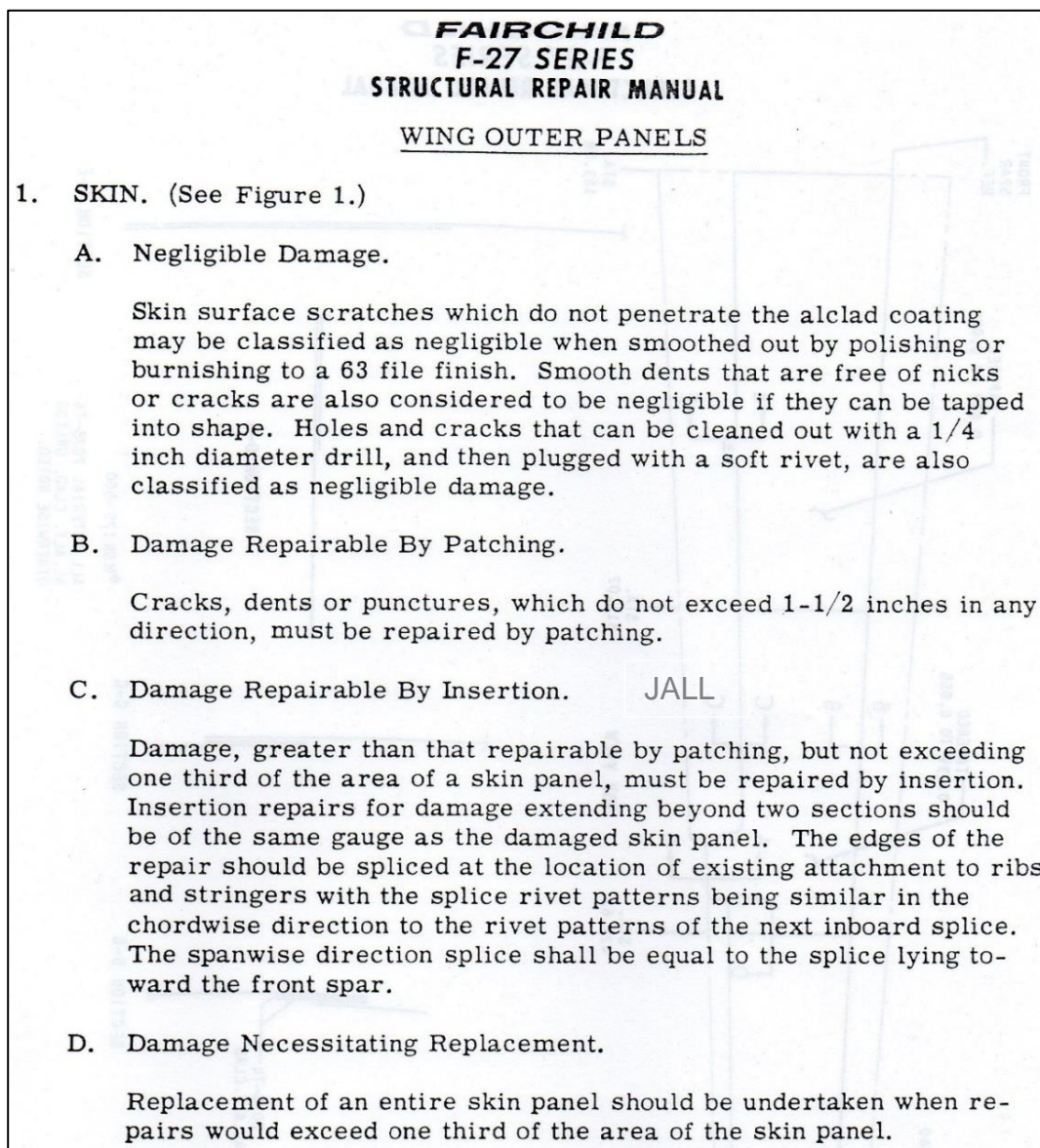


Figura 141. SRM 57-2; página (1); Avión Fairchild FH-227.

- **Discrepancia adicional #9:**

Se encontró el conjunto del trim tab con resorte del alerón izquierdo incompleto sin parte del cobertor y sin algunos tornillos. Este daño está ubicado en la estación A.S.14.291", (Ver Figura 143). Se debe reemplazar el conjunto del trim tab con resorte del alerón antes mencionado.

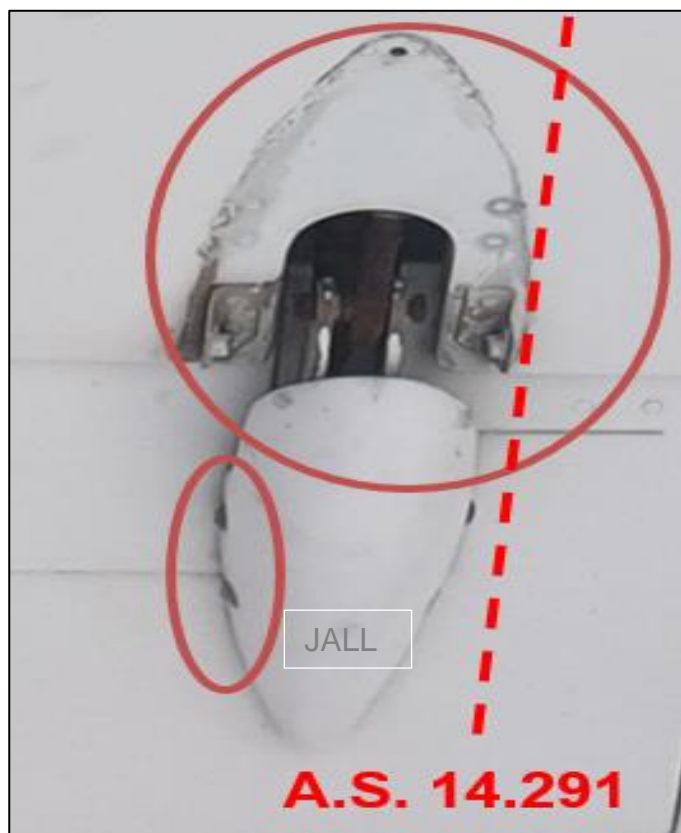


Figura 142. Discrepancia adicional 9.

- **Discrepancia adicional #10:**

Se encontró desprendimiento de pintura en la parte delantera del panel exterior de la caja de vigas del ala izquierda, en el límite con las botas de deshielo. Este daño está ubicado entre las estaciones del ala W.S. 369.291+5"- W.S. 369.291 - 4", (Ver Figura 144). Se debe realizar el proceso de pintura correspondiente de acuerdo a la circular de asesoramiento AC 43-4B; página (4-31, 4-32); numeral (4.13.15); (Ver Figura 138), o considerando los demás daños que se encuentran aquí cambiar el panel considerando los límites detallados en el SRM 57-2; página (1); numeral (1); literal (A-D); (Ver Figura 142).

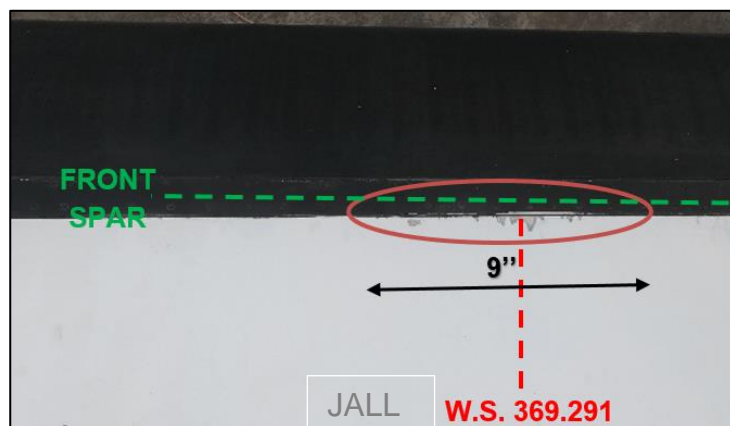


Figura 143. Discrepancia adicional 10.

- **Discrepancia adicional #11:**

Se encontró corrosión y desprendimiento de pintura en la parte delantera del panel exterior de la caja de vigas del ala izquierda, en el límite con las botas de deshielo. Este daño está ubicado entre las estaciones del ala W.S. 234.252 - W.S.210.63+10", (Ver Figura 145). Se debe cumplir con el tratamiento anticorrosivo correspondiente y el proceso de pintura de acuerdo a la circular de asesoramiento AC 43-4B; página (4-31, 4-32); numeral (4.13.15); (Ver Figura 138).

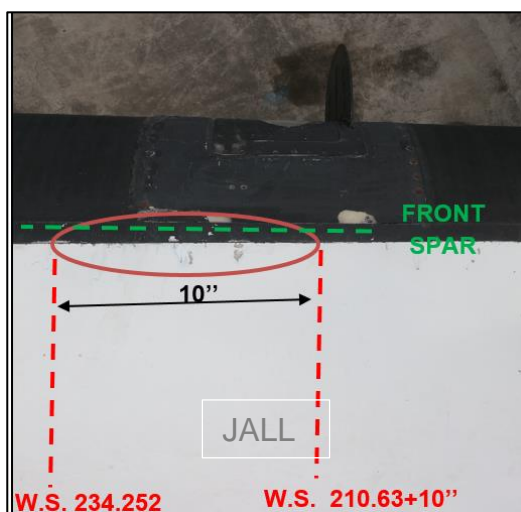


Figura 144. Discrepancia adicional 11.

- **Discrepancia adicional #12:**

Se encontró tronillos con corrosión y desprendimiento de pintura en el panel cobertor del borde de entrada del ala izquierda, cerca del motor #1. Este daño está ubicado entre las estaciones del ala W.S. 167.126" - W.S. 167.126 + 4", (Ver Figura 146). Se debe cambiar los sujetadores, completar el tratamiento anticorrosivo y el proceso de pintura correspondiente de acuerdo a la circular de asesoramiento AC 43-4B; página (4-31, 4-32); numeral (4.13.15); (Ver Figura 138). O a su vez, considerando los demás daños que se encuentran aquí cambiar el panel.

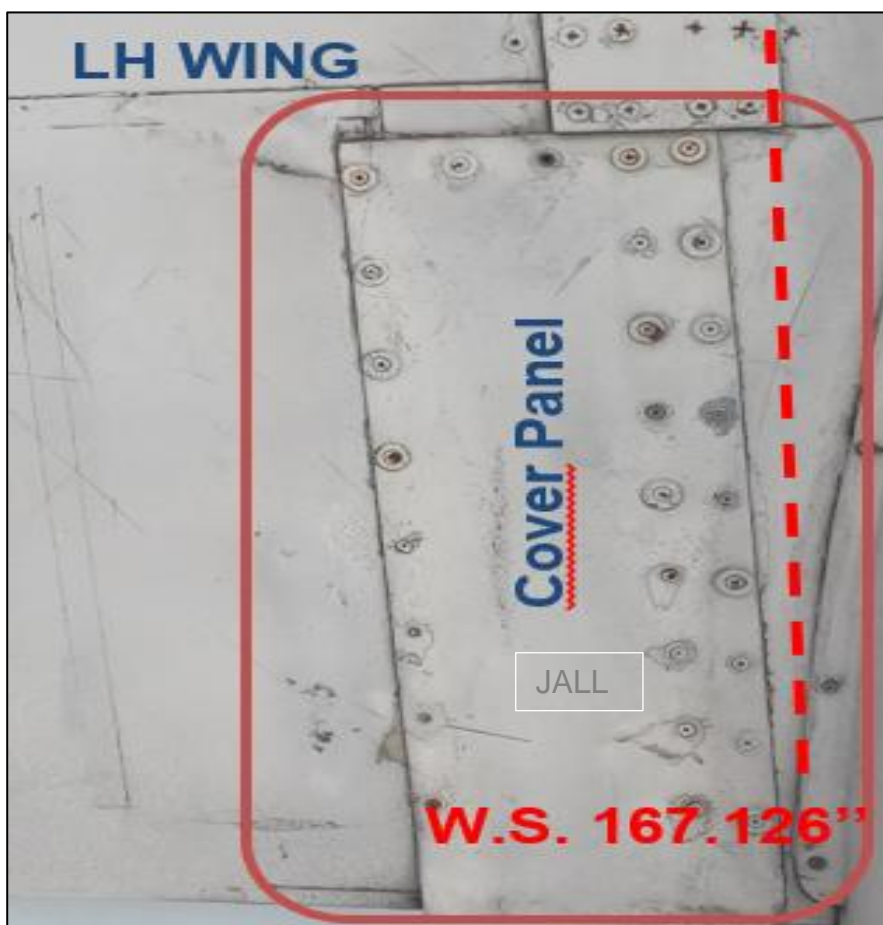


Figura 145. Discrepancia adicional 12.

- **Discrepancia adicional #13:**

Se encontró desprendimiento de pintura en el borde de entrada del panel cobertor del motor #1 del ala izquierda, en el límite con las botas de deshielo. Este daño está ubicado en la estación del ala W.S.163.583+3", (Ver Figura 147). Se debe completar el tratamiento anticorrosivo y el proceso de pintura correspondiente de acuerdo a la circular de asesoramiento AC 43-4B; página (4-31, 4-32); numeral (4.13.15); (Ver Figura 138).



Figura 146. Discrepancia adicional 13.

- **Discrepancia adicional #14:**

Se encontró corrosión y desprendimiento de pintura en la parte delantera del panel exterior de la caja de vigas del ala izquierda, en el límite con las botas de deshielo. Este daño está ubicado entre las estaciones del ala W.S. 100.000 – W.S.110.433+3", (Ver Figura148). Se debe completar el tratamiento anticorrosivo y el proceso de pintura correspondiente de acuerdo a la circular de asesoramiento AC 43-4B; página (4-31, 4-32); numeral (4.13.15); (Ver Figura 138).

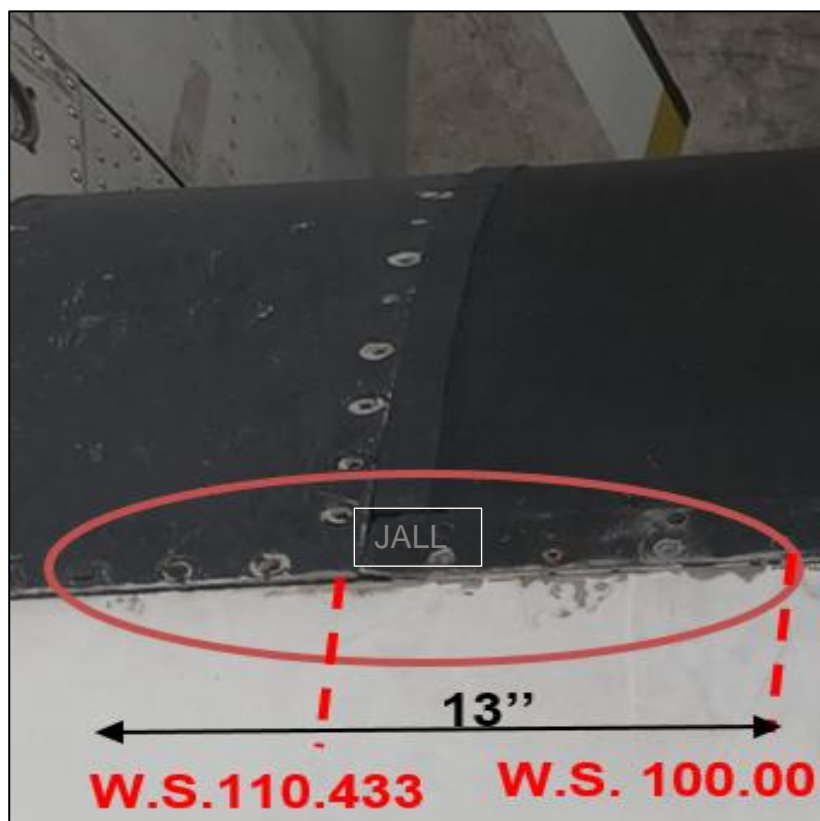


Figura 147. Discrepancia adicional 14.

- **Discrepancia adicional #15:**

Se encontró el panel exterior de la sección central del ala con masilla en mal estado; en la información técnica de la aeronave no se encuentra un literal que describa la aplicación de este producto. Este daño está ubicado en la estación del ala W.S. 60.630+2", (Ver Figura 149). Se debe limpiar el panel de fibra de vidrio con MEK, lijar para eliminar la masilla y realizar el proceso de pintura de acuerdo a la circular de asesoramiento AC 43-4B; página (4-31, 4-32); numeral (4.13.15); (Ver Figura 138).

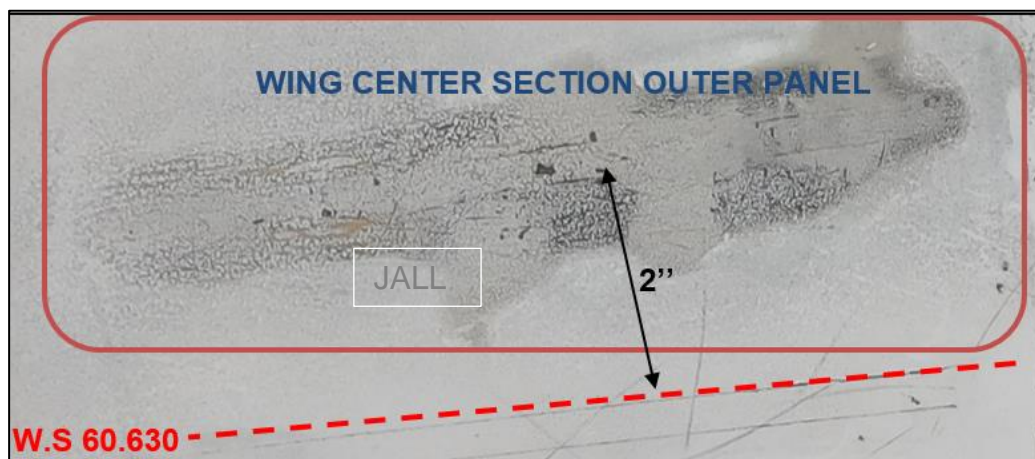


Figura 148. Discrepancia adicional 15.

- **Discrepancia adicional #16:**

Se encontró panel exterior de la sección central del ala con grietas, sin PRC, sin la mayoría de los tornillos, y los demás tienen corrosión. En conclusión y conforme la información técnica del SRM 57-2; página: 2; Núm. 1; Lit. D; (Ver Figura 142). El panel exterior de la sección central del ala no está dentro de los límites permitidos. Este daño está ubicado entre las estaciones del ala W.S. 0.000 - W.S. 40.945, (Ver Figura 150). Se debe reemplazar el panel de fibra de vidrio.

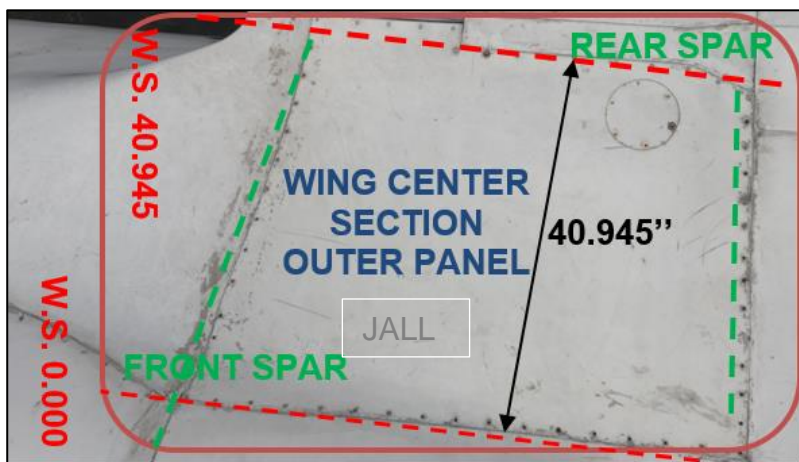


Figura 149. Discrepancia adicional 16.

- **Discrepancia adicional #17:**

Se encontró el panel exterior de la sección central del ala izquierda. Este daño está ubicado entre las estaciones del ala W.S. 0.000 - W.S. 40.945, (Ver Figura 151). Se debe limpiar el panel de fibra de vidrio con MEK o alcohol industrial y colocar PRC en las juntas de acuerdo a la circular de asesoramiento AC 43-4B; página (4-32); numeral (4.13.6); (Ver Figura 152).

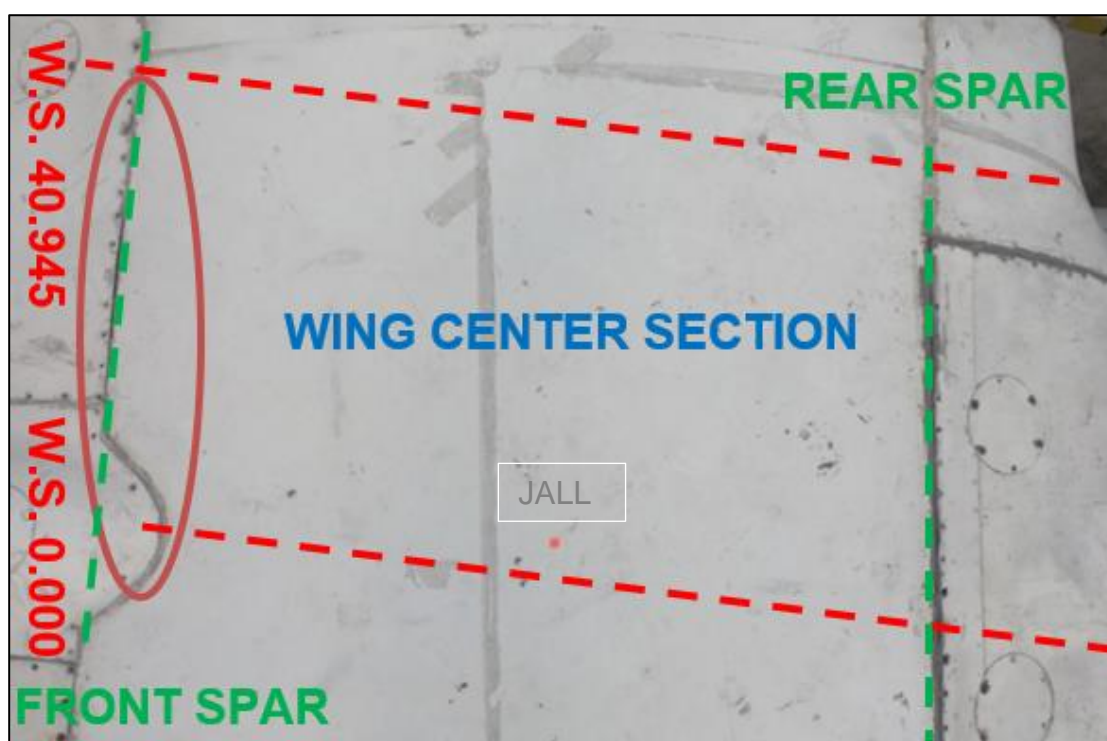


Figura 150. Discrepancia adicional 17.

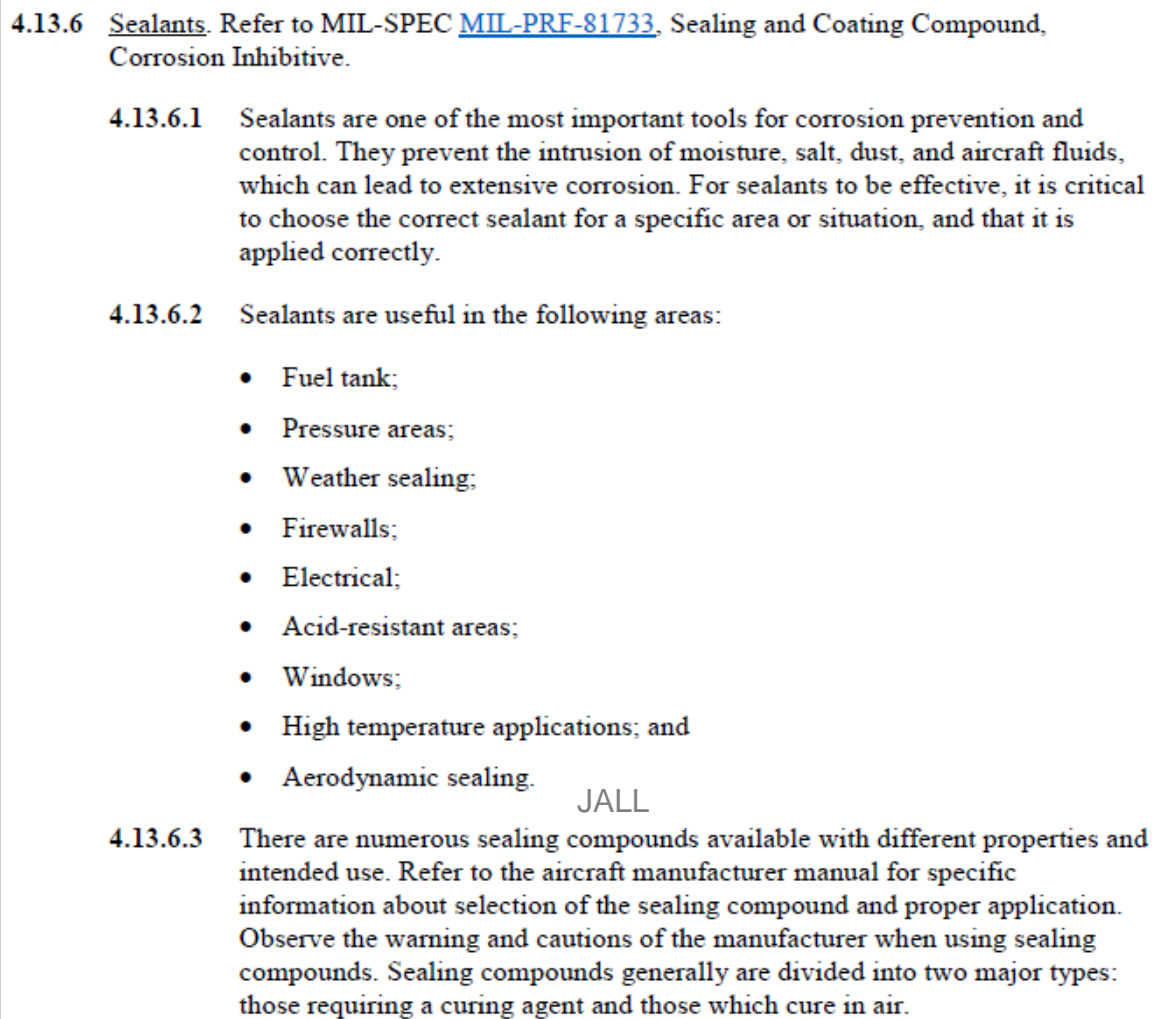


Figura 151. AC 43-4B; página (4-32); numeral (4.13.6).

- **Discrepancia adicional #18:**

Se encontró corrosión en los remaches de la piel entre vigas del ala izquierda. Este daño está ubicado en la estación del ala W.S. 40.945, (Ver Figura 153). Se debe limpiar la piel y cambiar los remaches. A continuación, aplicar el tratamiento anticorrosivo como se detalla en la circular de asesoramiento AC 43-4B; página (6-28); numeral (6.53); (Ver Figura 134).

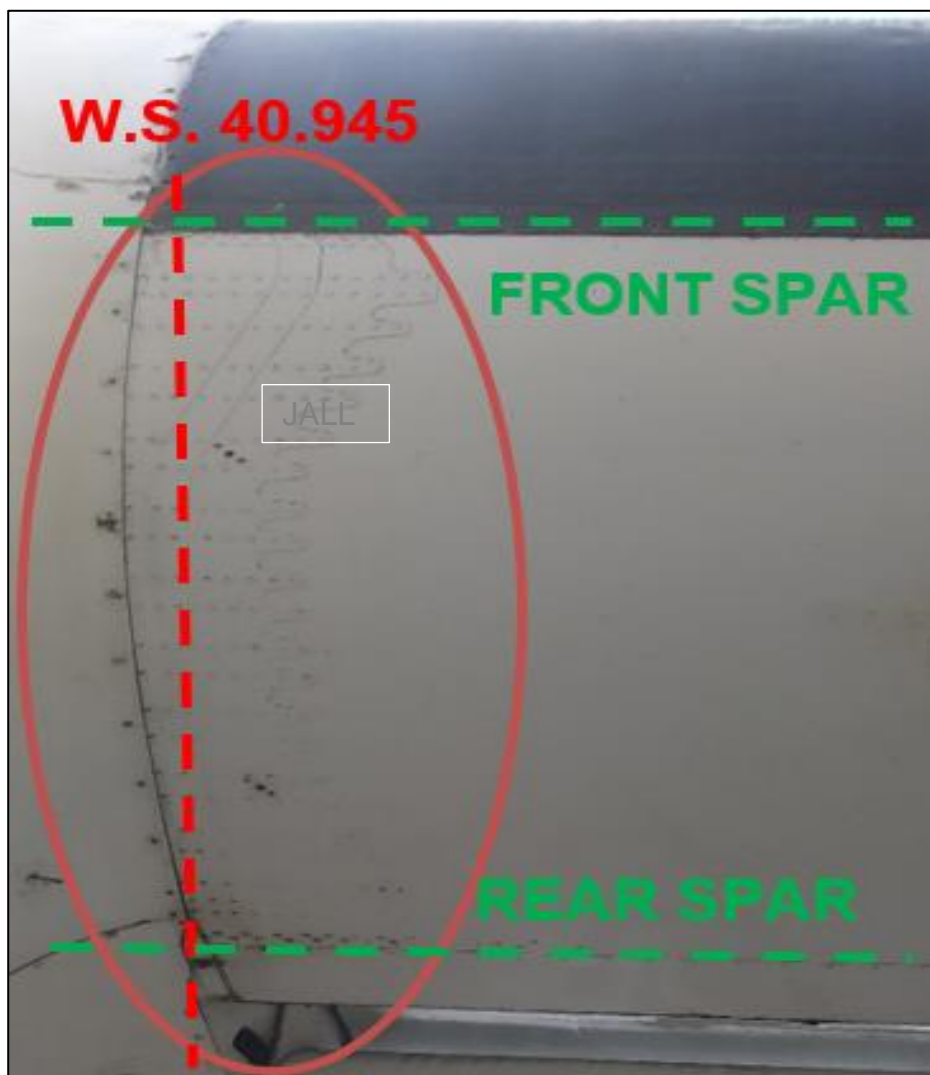


Figura 152. Discrepancia adicional 18.

- **Discrepancia adicional #19:**

Se encontró el panel de acceso al tanque de combustible del ala izquierda sin tornillos. Este daño está ubicado entre las estaciones del ala W.S. 60.630 – W.S. 80.315, (Ver Figura 154). Se debe reemplazar los tornillos del panel de acceso y dar tratamiento anticorrosivo de acuerdo a la circular de asesoramiento AC 43-4B; página (6-28); numeral (6.53); (Ver Figura 134).

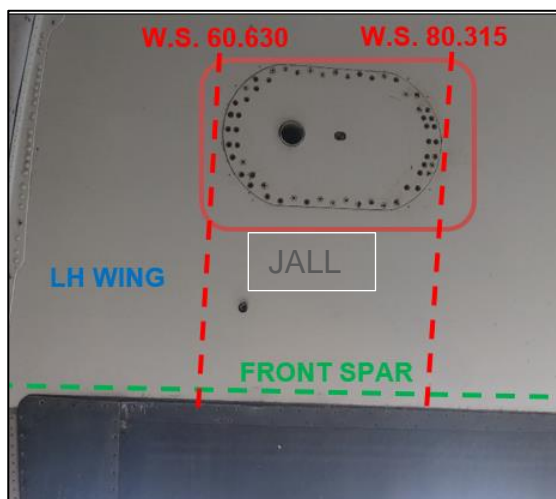


Figura 153. Discrepancia adicional 19.

- **Discrepancia adicional #20:**

Se encontró corrosión en el panel inferior de la sección central del ala izquierda. Este daño está ubicado entre las estaciones del ala W.S. 40.945 – W.S. 46.457, (Ver Figura 155). Se debe dar tratamiento anticorrosivo de acuerdo a la circular de asesoramiento AC 43-4B; página (6-28); numeral (6.53); (Ver Figura 134).



Figura 154. Discrepancia adicional 20.

- **Discrepancia adicional #21:**

Se encontró que el panel exterior-inferior de la sección central del ala izquierda con corrosión. Este daño está ubicado entre las estaciones del ala W.S. 40.945 – W.S. 60.630, (Ver Figura 156). Se debe realizar el proceso de decapado, tratamiento anticorrosivo y pintura de acuerdo a la circular de asesoramiento AC 43-4B; página (4-31, 4-32); numeral (4.13.15); (Ver Figura 138).

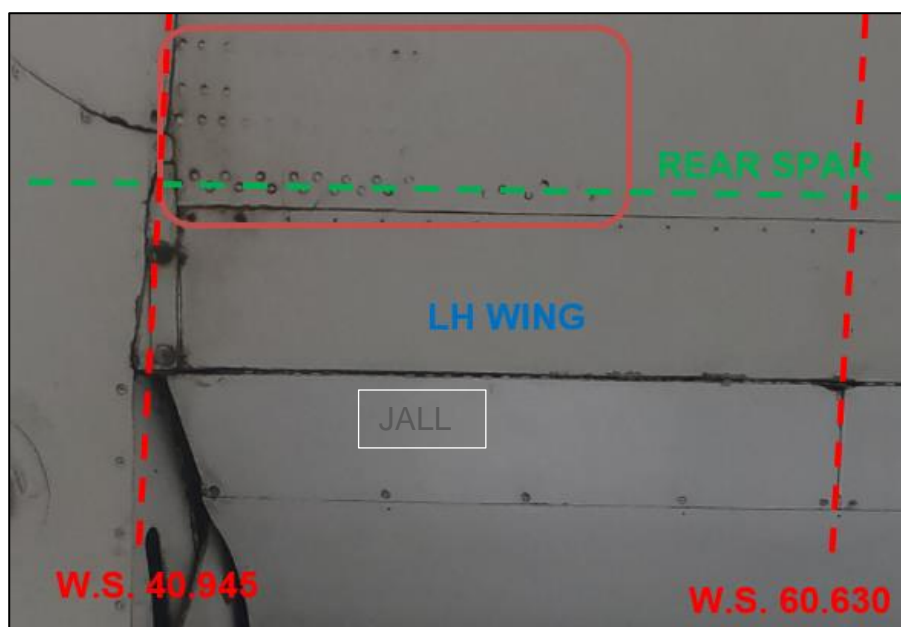


Figura 155. Discrepancia adicional 21.

- **Discrepancia adicional #22:**

Se encontró corrosión en la piel inferior del Flap interno izquierdo. Este daño está ubicado entre las estaciones del Flap interno F.S. 0.000 – F.S. 3.937, (Ver Figura 157). Se debe realizar el proceso de decapado, tratamiento anticorrosivo y pintura de acuerdo a la circular de asesoramiento AC 43-4B; página (4-31, 4-32); numeral (4.13.15); (Ver Figura 138).

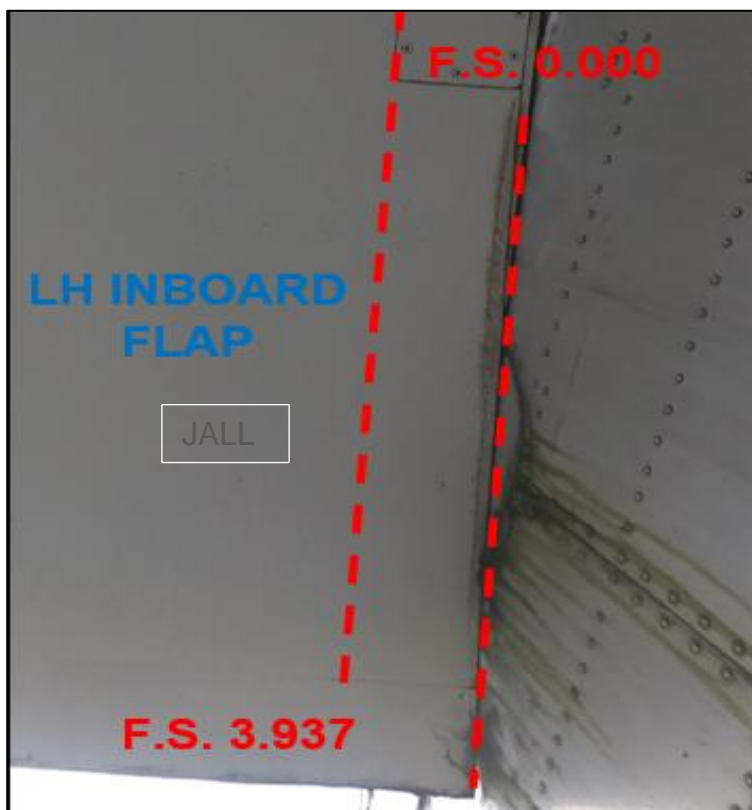


Figura 156. Discrepancia adicional 22.

- **Discrepancia adicional #23:**

Se encontró corrosión en la piel inferior del Flap interno izquierdo. Este daño está ubicado entre las estaciones del Flap interno F.S. 71.457 – F.S. 75.374, (Ver Figura 158). Se debe realizar el proceso de decapado, tratamiento anticorrosivo y pintura de acuerdo a la circular de asesoramiento AC 43-4B; página (4-31, 4-32); numeral (4.13.15); (Ver Figura 138).

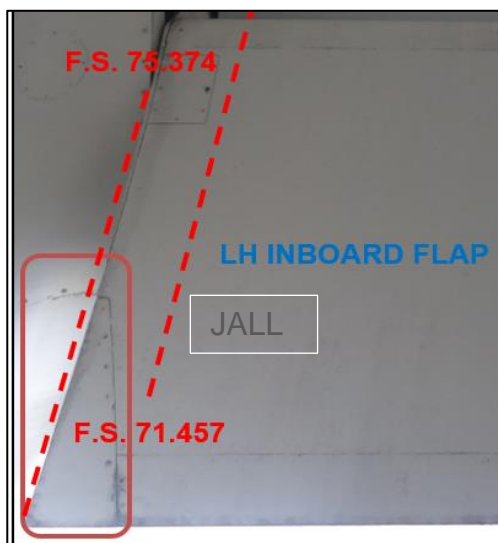


Figura 157. Discrepancia adicional 23.

- **Discrepancia adicional #24:**

Se encontró sin tornillos la bota de deshielo del ala izquierda. Este daño está ubicado entre las estaciones del ala W.S.110.433 – W.S. 120. 179, (Ver Figura 159). Se debe reemplazar la bota de deshielo conforme lo que dice en el SRM (57-2); página (11); numeral (7); (Ver Figura 160).

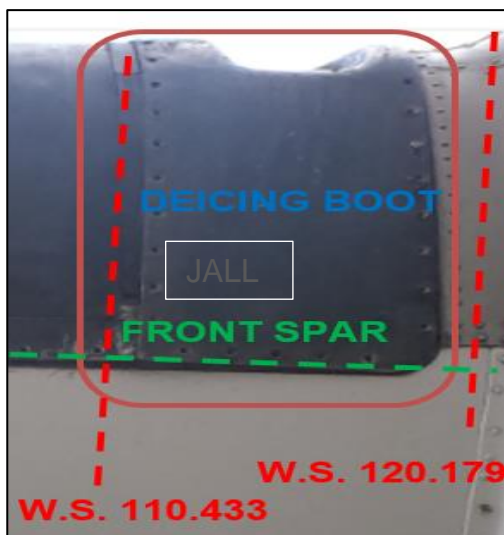


Figura 158. Discrepancia adicional 24.

7. LEADING EDGES. (See Figure 5.) JALL

The leading edges are of honeycomb core bonded between two metal sheets. Refer to typical honeycomb core repairs in 51-16 for applicable repairs. The deicing boots are replaced if damaged.

Figura 159. SRM (57-2); página (11); numeral (7).

- **Discrepancia adicional #25:**

Se encontró corrosión en los sujetadores del panel que asegura la unión del ala izquierda con la sección central del ala. . Este daño está ubicado en la estación del ala W.S. 164.708, (Ver Figura 161). Se debe realizar el proceso de decapado, tratamiento anticorrosivo y pintura de acuerdo a la circular de asesoramiento AC 43-4B; página (4-31, 4-32); numeral (4.13.15); (Ver Figura 134).

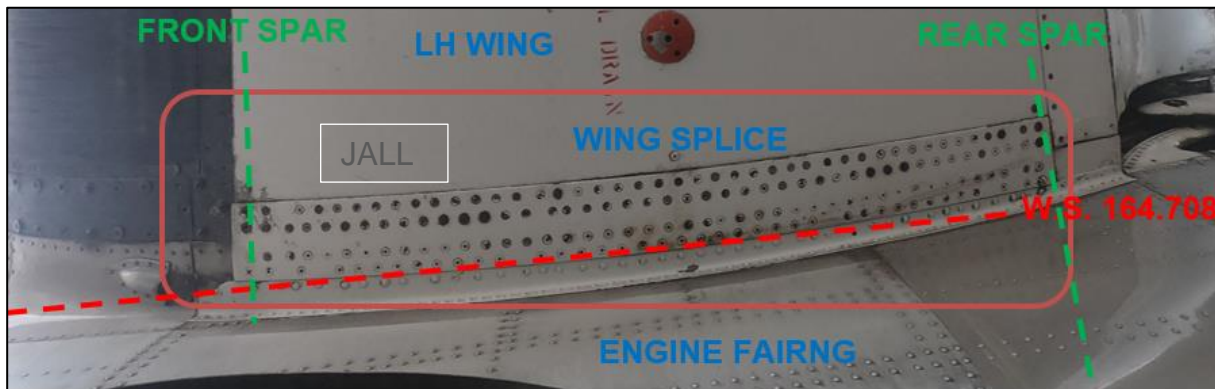


Figura 160. Daño adicional 25.

3.7 Pruebas de vuelo realizadas

En una aeronave se deben realizar varias pruebas de vuelo para verificar la eficiencia de sus componentes y sistemas; en este caso, se ejecutaron las pruebas de vuelo necesarias hasta plasmar la idea de este proyecto. En ellas se evaluó la transmisión de video en tiempo real, el comportamiento del drone al momento de cumplir con una inspección visual y acercarse a una aeronave, se comprobó las configuraciones del sistema de comunicación (Ver Figura 162).

Las pruebas de vuelo del cuadricóptero CFLM se llevaron a cabo en diversas fechas y varios lugares, tomando en cuenta las variaciones del clima, el desgaste de las baterías y los esfuerzos que iban soportando los demás componentes conforme avanzaban las pruebas. La aeronave tuvo accidentes e incidentes en algunas ocasiones sin tener que lamentar heridos o víctimas humanas. Las principales causas fueron las condiciones meteorológicas adversas como fuertes corrientes de viento, centro de gravedad alterado, fallas en el PMU, cortes en la señal del sistema de comunicación, etc.

El accidente más grave fue el resultado de haber incorporado al drone protecciones para las hélices. Al momento de realizar esta prueba con las protecciones incorporadas el drone se elevó tambaleándose como una hoja de papel a merced del viento, ascendió 4,3 m y de pronto cayó en picada al suelo, teniendo como consecuencia la ruptura del tren de aterrizaje derecho y todas las protecciones antes mencionadas, golpes en los motores y rajaduras en las hélices por la fuerza del impacto (Ver Figura 163).



Figura 161. Primer vuelo del cuadricóptero CFLM, (2019-04-15).



Figura 162. Accidente del cuadricóptero CFLM, (2019-05-08).

CAPITULO IV

4.1 CONCLUSIONES

- Se recopiló parte de la información técnica del Manual de Reparación estructural de la aeronave Fairchild FH-227 necesaria para ejecutar las tareas de inspección visual por hundimientos y rajaduras en las alas; sin embargo no se encontró información del ATA 57 del Manual de mantenimiento.
- Se implementó el sistema FPV DJI Lightbridge 2 en el cuadricóptero CFLM con resultados muy significativos; en base a los estudios, vuelos e inspecciones realizadas, se encontró ferretería de uso convencional no descrita en la información técnica y manuales de la aeronave, así como materiales no aprobados por el fabricante y los entes reguladores aplicados de forma inadecuada causando daños severos a la misma.
- Se encontraron rajaduras, hundimientos, daños y golpes en algunas superficies de las alas causados por el uso y posicionamiento inadecuado de las escaleras, la falta de mantenimiento, infraestructura y conservación; las diversas condiciones climáticas que soporta la aeronave Fairchild FH-227 han contribuido sustancialmente para el desgaste de sus componentes y pintura.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda completar los manuales así como la información técnica aplicable para la aeronave Fairchild FH-227 con matrícula HC-BHD.
- Se debe lavar la aeronave antes de ejecutar una inspección visual para obtener mayor detalle de los daños presentes en la misma tales como ferretería, paneles de las alas afectados con grietas, rajaduras y hundimientos.
- Se recomienda decapar, dar el tratamiento anticorrosivo y pintar la aeronave de acuerdo con la información técnica, utilizando los materiales recomendados por el fabricante y todos los equipos de protección necesarios.
- Se recomienda la implementación de una línea de vida para la aeronave en cuestión, ya que se deben ejecutar trabajos en altura lo que supone un riesgo potencial para los estudiantes, docentes y el personal técnico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 3D JUEGOS. (s.f.). Recuperado el 18 de Abril de 2019, de <https://www.3djuegos.com>
- Aced Fález, E. (Marzo de 2013). *Drones: una nueva era de la vigilancia y de la privacidad*. Recuperado el 27 de Marzo de 2019, de Dialnet: www.redseguridad.com/...de.../drones-una-nueva-era-de-la-vigilancia-y-de-la-privacidad
- actualidad.rt.com*. (24 de Noviembre de 2013). Recuperado el 28 de Marzo de 2019, de <https://actualidad.rt.com/ciencias/view/112254-drones-catapulta-guerra-electronica>
- Aeromodelismo fácil. (06 de Agosto de 2019). Recuperado el 21 de Septiembre de 2019, de http://www.aeromodelismofacil.com/cuadricoptero_primer
- AIRBUS. (Abril de 2018). Recuperado el 15 de Marzo de 2019, de <https://www.airbus.com>
- AIRBUS. (2018). Recuperado el 15 de Marzo de 2019, de <http://www.aviationnews-online.com>
- AIRBUS. (10 de Abril de 2018). *Airbus launches advanced indoor inspection drone to reduce aircraft inspection times and enhance report quality*. Recuperado el 2019, de Commercial Aircraft: https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2018/04/airbus-launches-advanced-indoor-inspection-drone-to-reduce-aircr.html#media-list-document-document-all_ml_0
- AIRCARGO WORLD. (2019). Recuperado el 15 de Marzo de 2019, de Lufthansa Technik: <https://aircargoworld.com/>
- Airliners.net. (2017). Recuperado el 30 de Marzo de 2019, de <https://www.airliners.net/aircraft-data/fokker-f-27-fairchild>
- allbateries*. (s.f.). Recuperado el 29 de Marzo de 2019, de <https://www.allbateries.es/searchengine/result/?q=bateria+de+niquel+cadmio+drones>
- AMAZON. (2019). *Parrot AR.Drone 2.0 Elite Edition Snow*. Recuperado el 24 de Marzo de 2019, de <https://www.amazon.es/Parrot-AR-Drone-Elite-Snow-cuadric%C3%B3ptero/dp/B00FS7SU7K>
- Anónimo. (s.f.). *Las Partes de un Drone*. Recuperado el 13 de Abril de 2019, de Dronepedia: <http://www.dronepedia.es/blog/las-partes-drone#comments>
- Anónimo. (29 de Mayo de 2016). *Historia de los drones*. Recuperado el 15 de Mayo de 2019, de ELDRONE: <http://eldrone.es/historia-de-los-drones/>
- Anónimo. (27 de Febrero de 2019). *GPS*. Recuperado el 16 de Abril de 2019, de Dronepedia: <http://www.dronepedia.es/blog/las-partes-drone#comments>
- Anónimo. (26 de 02 de 2019). *Grupo Motopropulsor*. Recuperado el 18 de Abril de 2019, de [Controldron.com](https://controldron.com) - Curso de Piloto de Drones: <https://controldron.com/.../CURSO-PILOTO-DE-DRONES.-GRUPO-MOTOPROPULS...>
- Anónimo. (27 de Febrero de 2019). *Seguridad y videovigilancia con Drones*. Recuperado el 17 de Marzo de 2019, de PREVENT: <https://www.prevent.es/servicios-de-seguridad/camaras-de-seguridad/empresas/seguridad-y-videovigilancia-con-drones>

- Anónimo. (27 de Febrero de 2019). *Transmisores y receptores de radio control*. Recuperado el 11 de Abril de 2019, de PROMETEC: <https://www.prometec.net/elegir-transmisor-receptor-radio/#>
- Anónimo. (s.f.). *Inspecciones en aeronaves*. Recuperado el 17 de Abril de 2019
- Aplicaciones y Operación con drones*. (09 de 07 de 2015). Recuperado el 17 de Abril de 2019, de <http://drones.uv.es/origen-y-desarrollo-de-los-drones/>
- Aviation International News. (03 de Octubre de 2018). *YOUTUBE*. Recuperado el 26 de Marzo de 2019, de <https://youtu.be/QH0V7kp-xg0>
- AZETA. (2019). *HUBSAN X4 Mini H107C+ Quadcopter with 720p Camera (White)*. Recuperado el 24 de Marzo de 2019, de <http://www.azeta.mx/tienda/producto/hubsan-x4-mini-h107c-quadcopter-with-720p-camera-white/>
- Bejerano G. , P. (22 de Febrero de 2015). *El uso de drones en agricultura*. Recuperado el 01 de Mayo de 2019, de TODRONE: <https://www.todrone.com/uso-drones-agricultura/>
- Benítez Mantero, E. (23 de Marzo de 2018). *¿Cuáles son las partes de un dron?* Recuperado el 01 de Mayo de 2019, de Dron Profesional.com: <https://dronprofesional.com/blog/cuales-son-las-partes-de-un-dron/>
- Benítez Mantero, E. (23 de Marzo de 2018). *Baterías*. Recuperado el 03 de Mayo de 2019, de Drones.com: <https://dronprofesional.com/blog/cuales-son-las-partes-de-un-dron/>
- Benítez Mantero, E. (23 de Marzo de 2018). *Grupo motopropulsor:*. Recuperado el 03 de Mayo de 2019, de Drones.com: <https://dronprofesional.com/blog/cuales-son-las-partes-de-un-dron/>
- Benítez Mantero, E. (23 de Marzo de 2018). *Marco o fuselaje*. Recuperado el 02 de Mayo de 2019, de Dron Profesional.com: <https://dronprofesional.com/blog/cuales-son-las-partes-de-un-dron/>
- Bonelli, M. (28 de Mayo de 2015). *Historia de los Drones*. Recuperado el 26 de Mayo de 2019, de Mundo Drone: <http://mundrone.blogspot.com/p/historia-de-los-drones.html>
- Brown, J. (s.f.). *DRONES ACCESSORIES*. Recuperado el 26 de Marzo de 2019, de DJI LightBridge 2: Professional HD Broadcasting Made Easy: <https://www.mydronelab.com/accessories/dji-lightbridge-2.html>
- CALLEJA HERNÁNDEZ, J. (2015-2016). *DISEÑO DEL SISTEMA*. Recuperado el 04 de Mayo de 2019, de CONTROL REMOTO DE UN DRONE: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/.../jesus-mario.calleja_113968.pdf?...1...
- Clarín TECNOLOGÍA*. (03 de Julio de 2017). Recuperado el 09 de Mayo de 2019, de https://www.clarin.com/tecnologia/video-funciona-drone-insecto-pequeno-mundo_0_SkUj34efb.html
- Colectando sol. (26 de Febrero de 2017). *FACEBOOK*. Recuperado el 23 de Marzo de 2019, de <https://es-la.facebook.com/Colectando.Sol/photos/helios-un-prototipo-de-avi%C3%B3n-solar-desarrollado-por-la-nasafuente-httpbitly2Inu5/1243958272360394/>

- DAC Ecuador . (17 de Septiembre de 2015). *Resolución 251/2015*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2018, de Dirección General de Aviación Civil - Ecuador: <http://www.aviacioncivil.gob.ec/wp-content/plugins/download-monitor/download.php?id=5214&force=0>
- dealextrême*. (02 de Mayo de 2019). Recuperado el 28 de Mayo de 2019, de <https://www.dx.com/s/bateria%20de%20ion%20litio%20drones?catId=0>
- DEFPOST*. (14 de 06 de 2018). Recuperado el 20 de Mayo de 2019, de U.S. Air Force Conducts Three Demonstration Flights of MQ-9 Reaper UAV with AgilePod: <https://defpost.com/us-air-force-conducts-three-demonstration-flights-mq-9-reaper-uav-agilepod/>
- DELFLY*. (s.f.). *DELFLY*. Recuperado el 24 de Marzo de 2019, de <http://www.delfly.nl/>
- Diario de avisos.com*. (11 de Septiembre de 2011). Recuperado el 12 de Mayo de 2019, de <http://www.diariodeavisos.com/2011/09/un-avion-no-tripulado-de-eeuu-habria-matado-a-un-mando-de-al-qaeda-en-pakistan/>
- DIGITAL TRENDS*. (09 de Agosto de 2019). Recuperado el 14 de Mayo de 2019, de Disney utilizará drones en su parque de diversiones: <https://es.digitaltrends.com/entretenimiento/disney-utilizara-drones-parque-tematico/>
- DJI*. (s.f.). Recuperado el 25 de Marzo de 2019, de <https://www.dji.com/a3>
- DJI*. (s.f.). *LIGHTBRIDGE 2*. Recuperado el 26 de Marzo de 2019, de <https://www.dji.com/lightbridge-2>
- DJI Perú*. (17 de Mayo de 2019). Recuperado el 24 de Mayo de 2019, de <https://www.dji.pe/producto/control-remoto-con-pantalla-phantom-4-pro/>
- Drone by Drone*. (28 de Abril de 2016). Recuperado el 24 de Marzo de 2019, de Familia Phantom: desde el Phantom 2 hasta el Phantom 4: <https://www.dronebydrone.com/noticias/161/familia-phantom-desde-el-phantom-2-hasta-el-phantom-4.html>
- Drone center*. (11 de Noviembre de 2015). *HÉLICES O PROPELAS*. Recuperado el 25 de Marzo de 2019, de <http://dronecenter.blogspot.com/2015/11/helices-o-propelas.html>
- DronProfesional.com*. (23 de Marzo de 2018). Recuperado el 25 de Abril de 2019, de ¿Cuáles son las partes de un dron?: <https://dronprofesional.com/blog/cuales-son-las-partes-de-un-dron/>
- EL CARRETE DEL SIGLO XXI*. (11 de Abril de 2018). Recuperado el 29 de Mayo de 2019, de Drones: <https://elcarretedelsigloxxi.wordpress.com/2018/04/11/drones/>
- EL VUELO DEL DRONE*. (2019). *Drone agrícola DJI Agras MG-1S RTK*. Recuperado el 26 de Marzo de 2019, de <https://elvuelodeldrone.com/drones-profesionales/drones-dji/drone-dji-agras-mg-1s/>
- Esenziale*. (27 de Febrero de 2019). *Clasificación de los drones*. Recuperado el 2019, de *ESENZIALE*: <https://esenziale.com/tecnologia/tipos-drone/>
- FAIRCHILD HILLER, C.* (1975). ATA 57: ALAS. En F. H. Corporation, *MANUAL DE MANTENIMIENTO DEL AVIÓN FH-227*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2018
- Federal Aviation Administration. (s.f.). *FAA-H-8083-31A*. Recuperado el Abril 25 de 2019, de <https://www.faa.gov/regulations>

- Foro consultivo científico y tecnológico, AC.* (s.f.). Recuperado el 23 de Mayo de 2019, de <http://foroconsultivo.org.mx/>
- FPVMAX.* (s.f.). Recuperado el 07 de Mayo de 2019, de <http://fpvmax.com/2017/02/10/helices-drones-tipos-tamanos/>
- García Mateu, L. (01 de Marzo de 2016). *ESC´s.* Recuperado el 06 de Mayo de 2019, de Drones, el cielo está al alcance de todos: https://www.edubcn.cat/rcs_gene/treballs_recerca/2015-2016-03-1-TR.pdf
- García Mateu, L. (27 de Febrero de 2019). *Mando o control remoto.* Recuperado el 06 de Mayo de 2019, de Drones, el cielo está al alcance de todos: https://www.edubcn.cat/rcs_gene/treballs_recerca/2015-2016-03-1-TR.pdf
- GEO innova.* (s.f.). Recuperado el 09 de Mayo de 2019, de <https://geoinnova.org/blog-territorio/los-drones-y-sus-infinitas-aplicaciones/>
- HCYT Amazings. (02 de Marzo de 2015). *Actuaciones en vuelo de drones.* Recuperado el 25 de Marzo de 2019, de <https://noticiasdela ciencia.com/art/12949/actuaciones-en-vuelo-de-drones>
- hipertextual. (2018). *DJI Mavic Pro.* Recuperado el 18 de Mayo de 2019, de <https://hipertextual.com/>
- hobbyking.com.* (16 de Mayo de 2019). Recuperado el 17 de Mayo de 2019, de https://hobbyking.com/es_es/shark-x6-multi-rotor-flight-control-and-autopilot-system-w-gps.html
- hobbyking.com.* (23 de Mayo de 2019). Recuperado el 17 de Mayo de 2019, de https://hobbyking.com/es_es/turnigy-tgy-i6-mode-2-afhds-transmitter-and-6ch-receiver.html
- 192RC.* (17 de Mayo de 2019). Recuperado el 28 de Mayo de 2019, de <https://www.192rc.com/product/holy-stone-hs170-predator-mini-rc-helicopter-drone-2-4ghz-6-axis-gyro-4-channels-quadcopter-good-choice-for-drone-training/>
- IATA. (20 de 06 de 2018). *Cómo Airbus utiliza drones para inspeccionar sus aviones.* Recuperado el 19 de Abril de 2019, de ALN AEROLATIN NEWS: <http://aerolatinnews.com/curiosidades/como-airbus-utiliza-drones-para-inspeccionar-sus-aviones/>
- IBEROBIKE.COM.* (21 de Octubre de 2016). Recuperado el 05 de Mayo de 2019, de Test: Drone Parrot Bebop 2. En bici desde el aire: <https://www.iberobike.com/drone-parrot-bebop-2-en-bici-desde-el-aire/>
- Izquierdo Abreu, L., & Mesa China, V. (18 de Mayo de 2015). *Google.* Recuperado el 01 de Junio de 2019, de riull.ull.es/.../Los+Drones.+Su+Aplicacion+en+el+mundo+de+la+comunicacion.+pdf
- M. Pattillo, D. (2001). *Pushing the Envelope: The American Aircraft Industry; [Empujando el sobre: La Industria Aeronáutica Americana]; Traducido por: Jonnathan A. Ludeña L.* Michigan: University of Michigan. Recuperado el 05 de Junio de 2019
- Mancioc, E. (28 de Febrero de 2019). *Constitución del trabajo.* Recuperado el 04 de Junio de 2019, de Física de un quadróptero: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjLzoPRtt_gAhVPM6wKHRX7BYwQFjAAegQICChAC&url=h

- https://www.vedrunacatalunya.cat/recerques/treballs/2017/2/tarrega/2TR_estefania_mancioc.pdf&usg=AOvVaw3Mxwy0
- Martín, A. (s.f.). *Así es como logra DJI emitir vídeo 1080p a 7 km desde un drone*. Recuperado el 07 de Junio de 2019, de hipertextual.com: <https://hipertextual.com/2016/09/ocusync-dji>
- Montero, J. (03 de Agosto de 2016). *Lufthansa utilizará drones de DJI para inspeccionar aviones*. Recuperado el 27 de Junio de 2019, de TODRONE: <https://www.todrone.com/lufthansa-utilizara-drones-de-dji-para-inspeccionar-aviones/>
- Muñoz, M. (28 de Febrero de 2019). *Principios aerodinámicos; Teorema de Bernoulli*. Recuperado el 07 de Junio de 2019, de Manual de Vuelo: <http://www.manualvuelo.com/PBV/PBV12.html>
- NASA. (12 de Junio de 2018). Recuperado el 08 de Junio de 2019, de Ken Ulbrich: <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-flies-large-unmanned-aircraft-in-public-air-space-without-chase-plane-for-first>
- NAVAL TECHNOLOGY. (23 de Junio de 2014). Recuperado el 25 de Marzo de 2019, de UK Royal Navy launches ScanEagle UAV from HMS Somerset: <https://www.naval-technology.com/news/newsuk-royal-navy-launches-scaneagle-uav-from-hms-somerset-4300598/>
- Outeda, P. (27 de Febrero de 2019). *Tipos de drones*. Recuperado el 28 de Junio de 2019, de DRONES: <https://sites.google.com/site/fgtce0408tgi/referencias-bibliograficas>
- Pathirana, Y. (08 de Febrero de 2011). *Aircraft Maintenance Engineering-Mechanical*. Recuperado el 25 de Marzo de 2019, de Aircraft Structure Zoning System: <https://aviamech.blogspot.com/2011/02/aircraft-structure-zoning-system.html>
- Pathirana, Y. (08 de Febrero de 2011). *Aircraft Structure Zoning System [Sistema de zonificación de la estructura de la aeronave]; Traducido por: Jonnathan A. Ludeña L.* Recuperado el 29 de Junio de 2019, de Aircraft Maintenance Engineering-Mechanical: <https://aviamech.blogspot.com/2011/02/aircraft-structure-zoning-system.html>
- Pilar Chacón. (27 de Febrero de 2019). *Drones con GPS: las funciones de un cuadricóptero con sistema de navegación*. Recuperado el 05 de Junio de 2019, de JUGUETRÓNICA, LOS JUGUETES DEL FUTURO, HOY: <https://www.juguetronica.com/blog/drones-con-gps-funciones-sistema-navegacion/>
- PROMETEC. (s.f.). Recuperado el 09 de Junio de 2019, de <https://www.prometec.net/esc-para-drones/>
- R.C TECNIC. (s.f.). Recuperado el 14 de Junio de 2019, de Publicidad con drones: https://www.rctecnic.com/blog/45_Publicidad-con-drones.html
- Ramírez, L. (08 de Octubre de 2016). *Disney utilizará drones en su parque de diversiones*. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de DIGITAL TRENDS ES: <https://es.digitaltrends.com/entretenimiento/disney-utilizara-drones-parque-tematico/>

- Ramirez, R. (s.f.). *SCRIBD*. Recuperado el 10 de Junio de 2019, de Diseño del programa de mantenimiento de un avión: <https://es.scribd.com/document/277026642/43-Diseno-del-Programa-de-Mantenimiento-de-un-Avion-doc>
- RCI Innovations. (s.f.). *Lightbridge 2*. Recuperado el 12 de Junio de 2019, de <https://rc-innovations.es/>
- ResearchGate. (s.f.). *Trim Tab*. Recuperado el 19 de Junio de 2019, de <https://www.researchgate.net>
- Roberto. (s.f.). *Funcionamiento de un Drone – Cuadricóptero*. Recuperado el 19 de Junio de 2019, de MuyDrones: <https://www.muydrones.com/funcionamiento-del-cuadricoptero/>
- RPP NOTICIAS. (31 de Marzo de 2017). Recuperado el 25 de Junio de 2019, de Drone Clash, la primera competencia oficial de drones: <https://rpp.pe/tecnologia/gadgets/video-drone-clash-la-primer-competencia-oficial-de-drones-noticia-1040762>
- RUIPÉREZ MARTÍN, P. (2016). *Hélices. Recuperado el 20 de Junio de 2019, de DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN DRON*: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=18&ved=2ahUKEwi04c-rhNvgAhUCrVvKkHRbHDywQFjARegQIABAC&url=https%3A%2F%2Friunet.upv.es%2Fbitstream%2Fhandle%2F10251%2F73170%2FRUIP%25C3%2589REZ%2520-%2520Dise%25C3%25B1o%2520y%2520fabricaci%25C3%>
- Salgado Garciglia, R. (s.f.). *DRONES: TECNOLOGÍA A CONTROL REMOTO*. Recuperado el 12 de Junio de 2019, de Saber Más: <https://www.sabermas.umich.mx/archivo/tecnologia/150-numero-1957/301-drones-tecnologia-a-control-remoto.html>
- SCIENCE. (16 de Julio de 2012). Recuperado el 23 de Marzo de 2019, de https://www.huffpost.com/entry/laser-powered-drone-aircraft-stalker_n_1677455
- Shopper Guatemala*. (02 de Mayo de 2019). Recuperado el 18 de Julio de 2019, de https://www.google.com/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=0ahUKEwjvqKLb0KfmAhVOUt8KHcU1B8sQMwhAKAAwAA&url=https%3A%2F%2Fwww.shopper.com.gt%2Fbateria-inteligente-dji-para-drone-matrice-600-pro-tb47s.html&psig=AOvVaw1-M5gfKO_zv9PFGTO6BzVW&ust=15
- TIME. (29 de Junio de 2011). *RQ-11 Raven Drone*. Recuperado el 24 de Marzo de 2019, de http://content.time.com/time/specials/packages/article/0,28804,2074830_2080103_2080115,00.html
- Torrente Digital*. (28 de Junio de 2015). Recuperado el 28 de Marzo de 2019, de EasyJet Volando Drones?: <https://torrentedigital.com/easyjet-volando-drones/>
- U.S. Department of Transportation FAA, F. S. (01 de Abril de 1978). *AC 20-106*. Recuperado el 28 de Mayo de 2019, de AIRCRAFT INSPECTION FOR THE GENERAL AVIATION AIRCRAFT OWNER [INSPECCIÓN DE AERONAVES PARA EL PROPIETARIO DE AERONAVES DE AVIACIÓN GENERAL]; Traducido por: Jonnathan A. Ludeña L.: https://www.faa.gov/documentLibrary/media/.../AC_20-106.pdf

- U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, F. (1972). *Airframe & Powerplant MECHANICS AIRFRAME HANDBOOK [Estructura del Fuselaje & Planta motriz MANUAL DE MECÁNICOS DE FUSELAJE]*; Traducido por: Jonnathan A. Ludeña L. Washington: U.S. Government Prinling Office. Recuperado el 21 de Abril de 2019
- U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, F. (1972). *Location Numbering Systems [Sistemas de numeración de localización]*; Traducido por: Jonnathan A. Ludeña L. Washington: U.S. Government Prinling Office. Recuperado el 21 de Abril de 2019, de Airframe & Powerplant.
- U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, F. (s.f.). *Airframe & Powerplant MECHANICS AIRFRAME HANDBOOK [Estructura del Fuselaje & Planta motriz MANUAL DE MECÁNICOS DE FUSELAJE]*; Traducido por: Jonnathan A. Ludeña L. Washington: U.S. Government Prinling Office. Recuperado el 03 de Junio de 2019
- WIKIPEDIA. (09 de 11 de 2019). Recuperado el 19 de Abril de 2019, de https://es.wikipedia.org/wiki/Northrop_Grumman_RQ-4_Global_Hawk
- XATAKA. (02 de Agosto de 2016). Recuperado el 12 de Abril de 2019, de <https://www.xataka.com/drones/black-hornet-es-un-dron-militar-con-tamano-de-colibri>
- XATAKA. (21 de Mayo de 2015). Recuperado el 17 de Abril de 2019, de Hycopter es el dron que puede volar durante 4 horas: <https://www.xataka.com/accesorios/hycopter-es-el-dron-que-puede-volar-durante-4-horas-gracias-a-su-pila-de-combustible-de-hidrogeno>
- YOUTUBE. (10 de Mayo de 2017). Recuperado el 20 de Abril de 2019, de The New Predator : US Reaper Drones Get New 500-Pound Bombs: <https://www.youtube.com/watch?v=drUcrbcrJSw>

ANEXOS



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

CERTIFICACIÓN

Se certifica que la presente monografía fue desarrollada por el señor:

LUDEÑA LUDEÑA, JONNATHAN ALBERTO

En la ciudad de Latacunga a los 10 días del mes de Diciembre del 2019.

Aprobado por:


Ing. Luis Angel Coello Tapia
DIRECTOR DEL PROYECTO


Ing. Rodrigo Bautista
DIRECTOR DE CARRERA




Abg. Sarita Plaza
SECRETARIO ACADÉMICO

