



**Implementación del panel de control del sistema de protección contra incendios del motor y Apu,  
mediante el uso del manual de mantenimiento Ata 26, en el simulador de vuelo de la aeronave Boeing  
737-500, perteneciente a la universidad de las fuerzas armadas ESPE**

Chariguaman Bargas, Jairo Steeven

Departamento de Ciencias de Energía y Mecánica

Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Aeronáutica

Monografía, previo a la obtención del título de Tecnólogo en Mecánica Aeronáutica

Tlgo. Arellano Reyes, Milton Andrés

10 de enero del 2024

Latacunga

## Reporte de verificación de contenido



## Plagiarism and AI Content Detection Report

## TESIS-CHARIGUAMAN JAIRO - Capitul...

## Scan details

Scan time: November 29th, 2023 at 20:41 UTC      Total Pages: 56      Total Words: 13775

## Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	0.7%	99
Minor Changes	0.7%	100
Paraphrased	6.7%	921
Omitted Words	0%	0

## AI Content Detection



Text coverage		Words
AI text	0%	0
Human text	100%	13775

[Learn more](#)

### 🔍 Plagiarism Results: (11)

🌐 **ISO 15930 - Electronic document file format for prepress digital data exch...** **2.9%**

[https://www.x-plane.com/wp-content/uploads/2017/04/manual\\_xplane11\\_sp\\_web.pdf](https://www.x-plane.com/wp-content/uploads/2017/04/manual_xplane11_sp_web.pdf)

FLIGHT Handbuch\_XPlane11\_121x175\_de\_anke.indd 3 SIMUL ATOR 12.12.16 12:11 X-Plane 11 Développeur: Laminar Research Manual: Lamina...

🌐 **M-EPEL-CMA-0820.pdf** **2.5%**

<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/27246/1/m-espel-cma-0820.pdf>

AIS Latacunga

1 Chequeo operacional de parámetros en el arranque del motor cfm56-3 mediante el uso del manual de mantenimiento ata 71, en el simulador...

🌐 **TALLER SISTEMAS 3 DE LA ARONAVE | Ejercicios de Aerotecnia | Docsity** **1.2%**

Tlgo. Arellano Reyes, Milton Andrés

C.C.: 172306451-3



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

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Aeronáutica

#### Certificación

Certifico que la monografía: **“Implementación del panel de control del sistema de protección contra incendios del motor y Apu, mediante el uso del manual de mantenimiento Ata 26, en el simulador de vuelo de la aeronave Boeing 737-500, perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE”** fue realizada por el señor **Chariguaman Bargas, Jairo Steeven**, la misma que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisada y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se la sustente públicamente.

Latacunga, 10 de enero del 2024

Una firma manuscrita en tinta azul que parece leerse "Milton Arellano Reyes".

**Tlgo. Arellano Reyes, Milton Andrés**

C.C.: 172306451-3



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

**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica**

**Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Aeronáutica**

**Responsabilidad de Autoría**

Yo, **Chariguaman Bargas, Jairo Steeven** con cedula de ciudadanía N° 1726534587 declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de la monografía: **“Implementación del panel de control del sistema de protección contra incendios del motor y Apu, mediante el uso del manual de mantenimiento Ata 26, en el simulador de vuelo de la aeronave Boeing 737-500, perteneciente a la universidad de las fuerzas armadas ESPE”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, metodológicos establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas. Latacunga, 11 de agosto del 2021

Latacunga, 10 de enero del 2024

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir 'Jairo Steeven'.

**Chariguaman Bargas, Jairo Steeven**

C.C.: 1726534587



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Aeronáutica

#### Autorización de publicación

Yo, **Chariguaman Bargas, Jairo Steeven**, con cedula de ciudadanía N° 1726534587 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: **“Implementación del panel de control del sistema de protección contra incendios del motor y Apu, mediante el uso del manual de mantenimiento Ata 26, en el simulador de vuelo de la aeronave Boeing 737-500, perteneciente a la universidad de las fuerzas armadas ESPE”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad, respetando los derechos intelectuales de terceros y referencias de citas bibliográficas.

Latacunga, 10 de enero del 2024

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir "Jairo Steeven".

**Chariguaman Bargas, Jairo Steeven**

C.C.: 1726534587

### **Dedicatoria**

Dedico este proyecto a Dios, principio y fin de todas las cosas, mi gratitud se desborda al dedicar esta tesis a tu inmensa sabiduría y guía. En cada paso de este viaje académico, su presencia inspiradora y fortalecedora, agradezco humildemente por la fuerza que me has dado para superar desafíos y por la claridad de mente que has otorgado para entender las complejidades del conocimiento, que este trabajo refleje mi sincero reconocimiento de tu gracia y dirección en cada etapa.

A mi amada familia, cuyo amor incondicional ha sido mi ancla a lo largo de este arduo viaje académico. A mis padres María y Rodrigo, quienes con sacrificio y dedicación me han brindado las herramientas para forjar mi camino. A mis hermanos Flor y David, por su apoyo constante, gracias por ser mi red de seguridad. Este trabajo no solo representa horas de estudio y esfuerzo, sino también el reflejo del apoyo inquebrantable de mi familia. A ti, mi querida novia karlita, a quien agradezco por ser mi fuente de inspiración y motivación, tu paciencia, aliento y comprensión han sido mi refugio en los momentos desafiantes, compartir este logro contigo agrega un significado especial a esta culminación académica, gracias por ser la red de apoyo, por los momentos maravilloso y por celebrar, eres una grandiosa persona, gracias por acompañarme en esta etapa.

A todos ustedes, les dedico con gratitud esta tesis, como testimonio de nuestro trabajo conjunto y el amor que ha sido el motor de mi perseverancia. Gracias por ser mi constante fuente de fuerza y motivación. A cada uno de mis amigos, mi profundo agradecimiento por ser parte fundamental de este capítulo de mi vida académica.

**CHARIGUAMAN BARGAS JAIRO STEEVEN**

## **Agradecimiento**

Agradezco inmensamente a Dios, fuente eterna de sabiduría y guía, elevo mi más profundo agradecimiento, en este viaje académico, me ha proporcionado la luz que ha disipado la oscuridad en los momentos de confusión, cada paso en esta travesía está marcado por tu presencia inspiradora, y esta tesis es un testimonio de la dirección divina que ha iluminado mi camino.

A mi amada familia, cuyo apoyo ha sido el cimiento sólido sobre el cual he construido mi educación, les dedico con gratitud este capítulo culminante de mi viaje académico. A mis padres Rodrigo y María, quienes con amor y sacrificio han allanado el camino para que yo persiga mis metas, les debo una deuda de gratitud que no puede expresarse completamente con palabras. Su confianza inquebrantable y su ejemplo de perseverancia han sido mi inspiración constante. A mis hermanos Flor y David, compañeros de risas y cómplices en cada desafío, agradezco por su apoyo incondicional y por compartir este viaje conmigo, cada logro en esta tesis lleva consigo la influencia de nuestras experiencias compartidas y el lazo indestructible que nos une.

A ti, mi amada novia mi compañera karlita, este trabajo, tu paciencia, aliento y amor han sido mi refugio en los momentos difíciles. Gracias por comprenderme en la última etapa, por celebrar mis triunfos y por ser la luz que ilumina los desafíos. Compartir este logro contigo añade un valor especial a este logro académico, llegaste en el momento indicado.

Este logro no sería posible sin el respaldo constante de quienes más amo. Que estas palabras sirvan como un modesto tributo a la importancia monumental que ustedes tienen en mi vida y en mi éxito académico. Gracias por ser mi roca y mi inspiración a lo largo de esta travesía.

**CHARIGUAMAN BARGAS JAIRO STEEVEN**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula.....	1
Reporte de verificación de contenido .....	2
Certificación .....	3
Responsabilidad de Autoría.....	4
Autorización de publicación .....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento .....	7
Índice de contenidos .....	8
Índice de tablas.....	11
Índice de figuras.....	12
Resumen .....	14
Abstract.....	15
Capítulo I: Planteamiento del problema.....	16
Tema .....	16
Antecedentes.....	16
Planteamiento del problema .....	17
Justificación .....	18
Objetivos .....	18
<i>Objetivo general:</i> .....	18
<i>Objetivos específicos:</i> .....	18
Alcance .....	19
Capítulo II: Marco Teórico .....	20
Historia y creación de los simuladores de vuelo.....	20
Un aprendizaje real a través de simulación de vuelo.....	22
<i>Importancia acerca de la utilización de un dispositivo de instrucción .....</i>	<i>23</i>
Clasificación de simuladores de vuelo .....	24
<i>Aviation Training Device (ATD).....</i>	<i>24</i>
<i>Basic training device for aircraft (BATD) .....</i>	<i>25</i>
<i>Advanced Aircraft Training Device (AATD).....</i>	<i>26</i>
<i>Basic Instrument Training Device (BITD) .....</i>	<i>27</i>
<i>Flight and Navigation Procedures Trainer (FNPT) .....</i>	<i>28</i>
<i>Integrated Procedures Trainer (IPT).....</i>	<i>29</i>



<i>Flight Training Device (FTD)</i> .....	30
<i>Full Flight Simulator (FFS)</i> .....	31
Dispositivo de simulación de vuelo para entrenamiento (FSTD) .....	32
<i>Características de la simulación (FSTD)</i> .....	32
Niveles de fidelidad de las características de simulación en la actualidad (FSTD) .....	35
Fidelidad de los subsistemas de los dispositivos de simulación. ....	37
Historia de la aeronave Boeing 737-500 .....	40
<i>Dimensiones de la aeronave</i> .....	41
<i>Especificaciones de la aeronave</i> .....	41
Motor de la aeronave Boeing 737-500 .....	44
<i>Especificaciones del motor CFM56-3</i> .....	45
Unidad de Potencia Auxiliar de la aeronave Boeing 737-500 .....	46
<i>Especificaciones del APU Allied Signal GTCP85-129</i> .....	46
Interfaz del software de simulación de vuelo acorde a la aeronave Boeing 737-500 .....	48
<i>Software de simulación X plane 11</i> .....	48
<i>Versiones de X-Plane</i> .....	50
Lenguaje de propósito general de programación .....	51
<i>Lenguaje de simulación integrado</i> .....	53
Home Cockpit SimControl Interface (HCSCI) .....	54
<i>Complemente SimVimX para X-Plane destinado de (HCSCI)</i> .....	54
<i>Funcionamiento del complemento de HCSCI (SimVimX) destinado para X-Plane</i> .....	55
Sistema de protección y detección contra incendios de la aeronave B737-500 .....	56
Sistema de detección de incendios del motor y el APU de la aeronave B737-500.....	57
<i>Sistema de detección de incendios del motor</i> .....	57
<i>Operación del sistema de detección de incendios del motor</i> .....	60
<i>Sistema de detección de incendios del APU</i> .....	62
<i>Operación del sistema de detección de incendios del motor</i> .....	66
Sistema de extinción de incendios del motor y el APU de la aeronave B737-500 .....	69
<i>Sistema de extinción de incendios del motor</i> .....	69
<i>Operación del sistema de extinción de incendios del motor</i> .....	71
<i>Sistema de extinción de incendios del APU</i> .....	72
<i>Operación del sistema de extinción de incendios del APU</i> .....	74
Capítulo III: Desarrollo del tema .....	75

Descripción General .....	75
Descripción del procedimiento para la implementación del panel del sistema de protección contra inspección del Motor y APU.....	75
Inspección y desmontaje del panel para la implementación del nuevo panel .....	77
<i>Inspección del panel de sistema de protección de incendios del Motor y APU.....</i>	<i>78</i>
<i>Remoción y obtención de las dimensiones del panel.....</i>	<i>79</i>
Obtención del nuevo panel fabricado para la cabina de simulación.....	79
<i>Adquisición del nuevo panel para su instalación .....</i>	<i>80</i>
Conexión de los componentes del panel a la placa Arduino .....	81
<i>Conexión de las manijas de los switches de incendios del motor 1 y 2 y el APU.....</i>	<i>82</i>
<i>Conexión del switch de TEST de extinción de los motores .....</i>	<i>83</i>
<i>Conexión de los switches de detección de sobre temperatura de los motores y TEST .....</i>	<i>84</i>
<i>Conexión de leds .....</i>	<i>86</i>
<i>Conexión virtual y física de los componentes del panel.....</i>	<i>87</i>
Pruebas operativas del panel de protección contra el fuego del Motor y APU, conforme al Manual de mantenimiento ATA 26.....	88
<i>Prueba operática del sistema de detección de incendios del motor.....</i>	<i>88</i>
<i>Prueba operática del sistema de extinción de incendios del Motor .....</i>	<i>89</i>
<i>Prueba operática del sistema de extinción de incendios del APU .....</i>	<i>91</i>
Descripción y procedimiento de la prueba del sistema de extinción de incendios del motor .....	91
Capitulo IV: Conclusiones y recomendaciones.....	95
Conclusiones .....	95
Recomendaciones .....	96
Bibliografía .....	97
Anexos .....	101

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1</b> <i>Niveles de fidelidad de las características de simulación</i> .....	36
<b>Tabla 2</b> <i>Subsistemas del simulador acorde a su fidelidad</i> .....	37
<b>Tabla 3</b> <i>Características de los niveles de fidelidad de los subsistemas del simulador</i> .....	38
<b>Tabla 4</b> <i>Especificaciones de la aeronave</i> .....	42
<b>Tabla 5</b> <i>Especificaciones y características de la familia CFM56-3</i> .....	45
<b>Tabla 6</b> <i>Especificaciones del APU Allied Signal GTCP85-129</i> .....	47
<b>Tabla 7</b> <i>Requerimientos del Software X-Plane 11</i> .....	50
<b>Tabla 8</b> <i>Clasificación de lenguajes de programación más eficientes</i> .....	52
<b>Tabla 9</b> <i>Tabla Verdadera AND-Lógica Sistema Fuego/Sobrecalentamiento</i> .....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Simulador de vuelo Antionette</i> .....	21
<b>Figura 2</b> <i>Entrenador de vuelo Link</i> .....	22
<b>Figura 3</b> <i>Dispositivo de entrenamiento de aviación (ATD)</i> .....	25
<b>Figura 4</b> <i>Dispositivo de formación básica para aeronaves (BATD)</i> .....	26
<b>Figura 5</b> <i>Dispositivo avanzado de entrenamiento de aeronaves (AATD)</i> .....	27
<b>Figura 6</b> <i>Simulador de vuelo BITD aprobado por EASA Elite</i> .....	28
<b>Figura 7</b> <i>Entrenador de procedimientos de vuelo y navegación (FNTP)</i> .....	29
<b>Figura 8</b> <i>Entrenador de Procedimientos Integrados</i> .....	30
<b>Figura 9</b> <i>Dispositivo de Entrenamiento de vuelo de la aeronave Boeing 747</i> .....	31
<b>Figura 10</b> <i>Simulador de vuelo de alto nivel técnico</i> .....	32
<b>Figura 11</b> <i>Dimensiones de la aeronave Boeing 737-500</i> .....	41
<b>Figura 12</b> .....	44
<b>Figura 13</b> <i>Programa X-Plane 11 – Inicio</i> .....	49
<b>Figura 14</b> <i>Funcionamiento del complemento SimVimx destinado para X-plane</i> .....	55
<b>Figura 15</b> <i>Ubicación de los componentes del sistema de protección contra incendios de la aeronave B737-500</i> .....	57
<b>Figura 16</b> <i>Ubicación de los componentes del sistema de detección de incendios del motor</i> .....	58
<b>Figura 17</b> <i>Ubicación de componentes del Sistema de Detección de Incendios APU</i> .....	63
<b>Figura 18</b> <i>Panel de control de fuego del motor y APU</i> .....	64
<b>Figura 19</b> <i>Ubicación de los componentes del sistema de extinción de incendios del motor</i> .....	69
<b>Figura 20</b> <i>Diagrama de flujo del Sistema de Protección contra el fuego del Motor y APU en el simulador de vuelo</i> .....	76
<b>Figura 21</b> <i>Apariencia Interior del simulador Boeing 737-500</i> .....	77

<b>Figura 22</b> <i>Inspección de los componentes y conexiones eléctricas del panel P8</i> .....	78
<b>Figura 23</b> <i>Remoción y obtención de dimensiones del panel</i> .....	79
<b>Figura 24</b> <i>Referencia conforme al manual de mantenimiento del panel para su fabricación</i> .....	80
<b>Figura 25</b> <i>Adquisición del nuevo panel fabricado</i> .....	81
<b>Figura 26</b> <i>Arduino MEGA 2560 y Módulo MAX7219 listos para realizar su interfaz de conexión al panel</i> .....	82
<b>Figura 27</b> <i>Conexión de los switchs carrera a la placa Arduino</i> .....	83
<b>Figura 28</b> <i>Conexión del switch de test a la placa Arduino</i> .....	84
<b>Figura 29</b> <i>Conexión de los switches de sobre temperatura y TEST a la placa Arduino</i> .....	85
<b>Figura 30</b> <i>Conexión de leds mediante el Módulo MAX7219 y la placa Arduino MEGA</i> .....	86
<b>Figura 31</b> <i>Conexiones virtuales y físicas de los componentes del panel</i> .....	87
<b>Figura 32</b> <i>Operación del switch de TEST en la posición OVHT/FIRE</i> .....	88
<b>Figura 33</b> <i>Operación del switch de TEST en la posición FAULT/INOP</i> .....	89
<b>Figura 34</b> <i>Operación de la manija de extinción de los motores al tirarla</i> .....	89
<b>Figura 35</b> <i>Operación de la manija de extinción de los motores al girarla y descargar el agente extintor</i> .....	90
<b>Figura 36</b> <i>Operación de la luz de descarga de las botellas del agente extintor</i> .....	90
<b>Figura 37</b> <i>Prueba operativa del switch de Test de extinción del APU</i> .....	91
<b>Figura 38</b> <i>Suministro de energía eléctrica a la aeronave</i> .....	92
<b>Figura 39</b> <i>Operación del switch de EXT TEST en la posición 1</i> .....	93
<b>Figura 40</b> <i>Operación del switch EXT TEST al regresarlo a su normalidad</i> .....	93
<b>Figura 41</b> <i>Operación del switch de EXT TEST en la posición 2</i> .....	94
<b>Figura 42</b> <i>Operación del switch EXT TEST al colocarlo en su posición habitual</i> .....	94

## Resumen

El presente proyecto describe la implementación y chequeo operacional del panel de control del sistema de protección de incendios del motor y APU mediante el uso del manual de mantenimiento del ATA 26, en el simulador de vuelo Boeing 737-500 perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. El panel de protección contra incendios del motor y la APU está diseñado para detectar y controlar cualquier incendio que pueda ocurrir en el motor o la APU, este sistema puede detectar incluso pequeñas cantidades de humo o calor, lo que permite que la tripulación tenga la oportunidad de tomar medidas preventivas antes de que el fuego se propague, con la finalidad de habilitar y programar el sistema para obtener resultados precisos al momento del funcionamiento. Para la configuración entre los controles y salida con el software de simulación X-Plane 11 se usó el interfaz de programación como un joystick que permite ejecutar los datos de Arduino para llevar a cabo las funciones y comandos de X-Plane, logrando simular la lógica de los instrumentos, al punto de permitir la integración de los controles físicos en el software de simulación de vuelo, donde los usuarios podrán interactuar con la aeronave virtual y los controles de cabina. Finalmente se refuerza adjuntando la información referente a la aeronave Boeing 737-500 y la importancia del panel de control P8-1 fijando parámetros de operación, obteniendo conclusiones y recomendaciones que se adquieren durante el desarrollo del proyecto de grado.

*Palabras clave:* Sistema de protección contra incendios del motor y APU, Software x-plane, Simulador de vuelo, Aeronave Boeing 737-500

### **Abstract**

The present project describes the implementation and operational check of the engine and APU fire protection system control panel using the ATA 26 maintenance manual, in the Boeing 737-500 flight simulator belonging to the universidad de las fuerzas armadas ESPE. The engine and APU fire protection panel is designed to detect and control any fire that may occur in the engine or APU, this system can detect even small amounts of smoke or heat, allowing the crew the opportunity to take preventive measures before the fire spreads, in order to enable and program the system for accurate results at the time of operation. For the configuration between the controls and output with the X-Plane 11 simulation software, the programming interface was used as a joystick that allows to execute the Arduino data to carry out the functions and commands of X-Plane, achieving to simulate the logic of the instruments, to the point of allowing the integration of the physical controls in the flight simulation software, where users can interact with the virtual aircraft and cockpit controls. Finally, it is reinforced by attaching the information regarding the Boeing 737-500 aircraft and the importance of the P8-1 control panel setting operating parameters, obtaining conclusions and recommendations that are acquired during the development of the degree project.

*Key words:* Engine fire protection system and apu, X-plane software, Flight simulator, Boeing 737-500 aircraft.

## Capítulo I

### Planteamiento del problema

#### Tema

Implementación del panel de control del sistema de protección incendios del motor y Apu, mediante el uso del manual de mantenimiento Ata 26, en el simulador de vuelo de la aeronave Boeing 737-500, perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe.

#### Antecedentes

La Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) es una institución prestigiosa por la excelencia de profesionales que proyecta año a año, ofreciendo carreras de competencia nacional e internacional, a estudiantes nacionales y extranjeros. Una de las carreras que destaca es la carrera de Tecnología Superior en Mecánica Aeronáutica cuya sede se encuentra ubicada en la ciudad Latacunga bajo la dirección de la Unidad de Gestión de Tecnologías UGT, la misma que defiende una educación técnica de excelencia por los grandes profesionales Técnicos en Mantenimiento Aeronáutico.

La Carreta de Tecnología Superior en Mecánica Aeronáutica, dispone aeronaves escuela y un simulador de vuelo de la aeronave Boeing 737-500. El enfoque modular del simulador de vuelo reconoce la capacidad de llevar a cabo los componentes procedimentales de pilotaje, incluidas en las tareas de manejo correspondientes al manual de mantenimiento, en los (FSTD) con características como las señales de movimiento o la fidelidad de señales visuales, considerando los enfoques de entrenamiento más adecuados para la cualificación, habilitación o formación acorde a las normas de la (FAA) para las pruebas prácticas de mantenimiento.

La disponibilidad de la tecnología avanzada ha permitido un mayor uso de los (FTDS) para entrenamientos, pruebas de comprobación de los miembros de la tripulación de vuelo, estos pueden proporcionar una formación más profunda que la que puede realizarse en los aviones y brinda un



entorno de aprendizaje seguro y adecuado, su fidelidad es suficiente para permitir la evaluación del piloto con la garantía de que el comportamiento observado se transferirá al avión. El simulador de vuelo permitirá brindar una matriz maestra de condiciones adversas inmersas en el software demostrando capacidad de reacción mediante la aplicación y uso del sistema de protección contra incendios del motor y APU, siendo este necesario implementar para una debida instrucción y entrenamiento, definiendo la disposición y estructura de la cabina, el entorno y la presentación de los instrumentos, para su visualización en el Dispositivo de entrenamiento de simulación de vuelo (FSTD), comprendiendo propiedades como señales e indicaciones visibles, audibles y situaciones de fuego presentes.

### **Planteamiento del problema**

El simulador de vuelo de la aeronave Boeing 737-500, de la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) mediante la Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Aeronáutica, presenta disimilitudes al no contar con la implementación del panel del sistema de protección contra incendios del motor y APU, impide la monitorización e interpretación de señales de fuego, precauciones, alarmas u alertas de detección debido a sobre temperaturas, el aislar posibles incendios y la mitigación de riesgos, que son mostradas en las pantallas digitalizadas, para una eficiente ejecución de los diferentes procedimientos acorde al manual de mantenimiento,

Al no encontrarse implementado el panel, no permite la interacción con el sistema durante el proceso de entrenamiento y toma de decisiones al presentarse fallas u averías por presencia de fuego en los motores y APU, lo cual va de mano a mano con los procedimientos adecuados para conocer la extinción de incendios mediante la información técnica de la QRH y AFM, ya que brindan los métodos para condiciones normales y anormales de emergencia en un formato fácil, de desarrollar, ofreciendo un chequeo preciso y confiable para una operación segura segundo a segundo.

## **Justificación**

El proyecto otorgara a la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), especialmente a la Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Aeronáutica un simulador operativo a un 90%, al implementar el sistema del panel de control de incendios del motor y APU en el simulador de vuelo de la aeronave Boeing 737-500, permitiendo adquirir todos los insumos necesarios para proporcionar una retroalimentación sobre las acciones a tomar de la tripulación, confirmar el estado de cualquier reconfiguración del sistema, identificar los sistemas inoperativos y proporcionar limitaciones o restricciones asociadas, por ultimo logrando detectar una condición de falla, activar la luz de alerta de precaución o advertencia y mostrar los procedimientos relevantes, mediante fases sucesivas, adquiriendo la recuperación de los sistemas inoperativos y limitaciones de rendimientos asociadas para cumplir con los objetivos desafiantes al simulador durante el entrenamiento.

## **Objetivos**

### ***Objetivo general:***

Implementar el panel de control de incendios del motor y APU, mediante el uso de información técnica y legal del manual de mantenimiento ATA 26, en el simulador de vuelo Boeing 737-500 perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, para garantizar la interacción.

### ***Objetivos específicos:***

- Recopilar información técnica de la aeronave Boeing 737-500 que permita el diseño y construcción del panel del sistema de protección de incendios del motor y APU, identificando cada uno de los componentes pertenecientes al panel.
- Implementar el sistema de protección de incendios de motores y APU, de modo que brinde un acople adecuado al simulador para su correcto funcionamiento e interacción con el mismo.

- Verificar que el funcionamiento y la operación del panel de protección de incendios del motor y APU se encuentre en perfectas condiciones para el uso de la institución.

**Alcance**

El proyecto está determinado a proporcionar una interacción directa con el simulador de vuelo de la aeronave Boeing 737-500 con el propósito de desarrollar la implementación del sistema del panel de control de incendios del Motor y APU, permitiendo un test operativo del motor CFM56-3 y APU, obteniendo resultados sistemáticos y cronológicos de una manera satisfactoria por la activación del panel.

## Capítulo II

### Marco Teórico

#### Historia y creación de los simuladores de vuelo en el mundo.

Los grandes precursores de la aviación iniciaron a volar dando pequeños saltos, aumentaron gradualmente la longitud de los saltos hasta conseguir un vuelo concreto, pero la instrucción se delimitaba principalmente a los consejos brindados en tierra, por ende, se exigiría una formación eficiente de entrenamiento, en la que se permitiría simular condiciones de vuelos reales a la tripulación en suelo, permitiendo tomar acciones apropiadas para aprender sin peligros algunos, manteniendo la seguridad, debido a que el entrenamiento en un avión sería muy peligroso generando una demanda de tiempo y costos elevados.

Es relevante mencionar que el éxito de tuvieron los hermanos Wright en el desarrollo de la primera aeronave controlada y propulsada fue todo posible gracias al sacrificio y varios años de investigación y pruebas tanto en el campo de la aerodinámica y mecánica de vuelo. Construyeron su primer planeador en el año de 1899 gracias a eso mejoraron su economía y renovaron ideas hasta lograr el primer vuelo en 1903, este hito histórico tuvo un gran impacto en la industria aeronáutica, inspirando a varios a crear nuevos modelos y buscando la necesidad de instrucción para una nueva era de posibilidades.

El " Sanders Trainer " desarrollado en 1910, es uno de primeros simuladores introducidos en la aviación, constaba de una cabina que podía girarse hacia el viento dominante; si el viento era lo suficientemente fuerte, la cabina se movía en respuesta a las entradas del piloto. Ese mismo año, Walters y Antionette desarrollaron dispositivos similares, en los que el movimiento de la cabina era controlado por los instructores. (Allerton, 2009)

Uno de los primeros entrenamientos se dio lugar a lo largo de la Primera Guerra Mundial, este principalmente se realizó en aviones biplaza como el AVRO 504, esta aeronave tomo el privilegio a ser el entrenador básico de la Royal Air Force (RAF) desde el año 1916 hasta 1933. Durante su entrenamiento, el instructor enseñaba las maniobras que el estudiante debería efectuar hasta alcanzar un nivel eficiente que le permitiera volar solo.

### Figura 1

*Simulador de vuelo Antionette*



*Nota.* El grafico brinda un retrato de uno de los primeros simuladores de entrenamiento de vuelo Antionette hacia 1911. Tomado de (Allerton, 2009).

El dispositivo entrenamiento de vuelo de Link, famosamente conocido como "Pilot Trainer" era capaz de simular las condiciones de vuelo al reproducir los instrumentos de las aeronaves, llegando a ser reconocido como el fundador de la simulación moderna, ya que su entrenamiento brindo una parte fundamental en la formación de vuelo instrumental en tierra, sin embargo Link detecto varios problemas en su patente por lo cual decidió vender su simulador a un parque de diversiones, con el paso de los años y consecuencia de varias perdidas mortales en la Primer Guerra Mundial el "US Army Air Corps" se inclinó a comprar seis simuladores brindando a sus pilotos un sistema económico y seguro para su entrenamiento, a partir de entonces continuaron en constante evolución. (Allerton, 2009)

**Figura 2***Entrenador de vuelo Link*

*Nota.* El grafico muestra al entrenador "Link" durante un entrenamiento a pilotos de la Segunda Guerra Mundial, proporcionando una práctica por vuelo instrumental. Tomado de (Allerton, 2009).

Durante la Segunda Guerra Mundial los simuladores de vuelo llegaron a ser una parte fundamental en el entrenamiento de pilotos, gracias a las mejoras en su complejidad y sistemas de navegación, permitiendo a la tripulación entrenar en situaciones de emergencia y un manejo adecuado de los sistemas. A medida que la tecnología ha avanzado, los simuladores de vuelo modernos han incorporado una amplia gama de características, incluyendo gráficos en 3D de alta calidad, sistemas de sonido envolvente, pantallas panorámicas y dispositivos de retroalimentación háptica para proporcionar una experiencia de vuelo aún más realista.

**Un aprendizaje real a través de simulación de vuelo.**

Es fundamental tener en cuenta los requisitos de cualificación inicial y continua en relación con el uso de dispositivos de entrenamiento en simulador de vuelo (FSTD), que se utilizan para satisfacer los requisitos de formación, evaluación o experiencia de vuelo en los procesos de certificación o cualificación de vuelo de los miembros de la tripulación, es relevante recalcar que, el inicio de la instrucción de vuelo no sólo despertó el interés de pilotos, instructores y aviones. También puso de

manifiesto la necesidad de contar con instructores de tierra que permitieran la práctica segura y satisfactoria de operaciones específicas (Bernard, 2012).

También ha evolucionado el marco reglamentario de los entrenadores en tierra para aeronaves. Actualmente, la FAA clasifica estos dispositivos en tres categorías: simuladores de vuelo, dispositivos de entrenamiento de vuelo y dispositivos de entrenamiento de aviación. Casi todos los pilotos, desde los de formación en líneas aéreas y vuelos corporativos hasta los pilotos privados en aeronaves de aviación general, acabarán utilizando al menos uno de estos dispositivos para practicar y desarrollar habilidades de pilotaje o para ayudar en la transición a otra aeronave.

### ***Importancia acerca de la utilización de un dispositivo de instrucción***

La importancia de los simuladores de vuelo es elevada al proporcionar una plataforma adecuada para practicar los protocolos de colaboración de la tripulación y mejorar la formación de la misma, para responder a situaciones peligrosas, lo que les permite estar preparados para las crisis de vuelo del mundo real.

Muchas organizaciones de formación graban y examinan la respuesta de la tripulación de vuelo durante las sesiones informativas, por ende, tras los incidentes y accidentes aéreos, las lecciones aprendidas del examen de los registradores de datos de vuelo de la cabina y de los registradores de voz, se han integrado en los programas de formación en simuladores, como resultado, es probable que el sector de la aviación se haya situado a la cabeza del mundo en el uso de tecnologías de simulación para mejorar la formación y la seguridad. (Ivan Koblen, 2012)

Durante estos tiempos, el continuo crecimiento y evolución tecnológicos mejoraron los simuladores de vuelo, como resultado, se desarrollaron dispositivos de simulación de vuelo nuevos, mejorados y más avanzados. Actualmente se dispone de simuladores de vuelo de alta calidad que pueden simular de forma completa y realista todos los elementos del vuelo de una aeronave. Por

ejemplo, sucesos anómalos y de emergencia, así como una variedad de movimientos y efectos meteorológicos, fuerza, daños en el motor y muchos otros, llegando a ser muy destacado en el mundo de la aviación para brindar una mejor practica y aprendizaje a los pilotos y mecánicos en formación.

### **Clasificación de simuladores de vuelo**

Las autoridades internacionales de aviación establecen la clasificación de los simuladores de vuelo, así como las especificaciones de los equipos de entrenamiento utilizados en formación aeronáutica. Se establece directrices y reglamentos para garantizar que los simuladores cumplen las normas necesarias para una formación y verificación eficaces de la tripulación de vuelo. Estas normas son fundamentales para garantizar la seguridad y la normalización de la formación aeronáutica.

### ***Aviation Training Device (ATD)***

Los ATD son con diferencia la alternativa más popular para la formación de vuelo en aviación general. Estos dispositivos son utilizados por varias escuelas de vuelo para entrenar a los estudiantes para las certificaciones privadas, multimotor, de instrumentos y comerciales.

Se destacan al ser menos costosos de poseer y operar que los simuladores de vuelo completo de mayor fidelidad, permiten la actualización mediante cartas de autorización, así como los cambios de asignaciones de formación, contando con un nivel de cualificación básico o avanzado específico. La ATD consta básicamente de dos componentes: software(programación) y hardware (procesador central, monitor o pantalla, controles de vuelo y aviónica) (U.S. Department U.S. Department Federal Aviation Administration, 2014).



**Figura 3***Dispositivo de entrenamiento de aviación (ATD)*

*Nota.* El grafico muestra al "Dispositivo de entrenamiento de aviación (ATD)" el cual contiene los equipos de programas informáticos necesarios para la instrucción y toda gama de capacidades. Tomado de (Bernard, 2012).

***Basic training device for aircraft (BATD)***

Los "BATD" proporcionan una plataforma de entrenamiento y un diseño suficientes para las tareas operativas específicas de formación tanto en tierra como en vuelo, para la "Certificación de Piloto Privado" y la "Habilitación de vuelo por instrumentos" brindando así un marco adecuado de rendimiento tanto procedimentales como operativas requerida para la experiencia y tiempo de pilotaje.

Una de las grandes ventajas que brinda el "BATD" es que se encuentra equipada con un software y hardware para créditos específicos de formación, posibilitando que al obtener la habilitación instrumental la FAA permita completar todos los requisitos de divisas (6 aproximaciones, retenciones y aproximaciones perdidas en 6 meses).

**Figura 4***Dispositivo de formación básica para aeronaves (BATD)*

*Nota.* El gráfico muestra al “de formación básica de aeronaves (BATD)” con los dispositivos básicos de capacitación y habilitación por instrumentos. Tomado de (Gleim Aviation, 2023).

***Advanced Aircraft Training Device (AATD)***

Un dispositivo avanzado de aviación (AATD) es un tipo de dispositivo de entrenamiento más avanzado que el (BATD). Su objetivo es brindar a los pilotos una experiencia más realista y totalmente mejorada y actualizada, gracias a la gama más amplia de circunstancias de vuelo y componentes de la aeronave. La Administración Federal de Aviación (FAA) evalúa, califica y aprueba a los (AATD) para su uso en la formación y las pruebas de varios certificados y habilitaciones de piloto, por lo cual este dispositivo deberá cumplir con los requisitos tecnológicos y tener capacidades y sistemas específicos implementados en el mismo.

La potente suite de aviónica G100 utilizada en el (AATD) también facilita a los alumnos a familiarizarse con esta compleja tecnología cada vez más extendida (Universidad Aeronáutica Embry-Riddle, 2023).

**Figura 5***Dispositivo avanzado de entrenamiento de aeronaves (AATD)*

*Nota.* El grafico muestra al "Dispositivo avanzado de entrenamiento de aeronaves (AATD)" en el cual se encuentra un alumno de la "Universidad Aeronáutica de Embry-Riddle" completando el entrenamiento para la flota de aeronaves Cessna 172 Skyhawk. Tomado de (Universidad Aeronáutica Embry-Riddle, 2023).

***Basic Instrument Training Device (BITD)***

Los BITD son un dispositivo de formación en tierra que simula una clase específica de la aeronave. Se encuentra equipada con paneles de instrumentos en pantalla HMI simple y mandos de vuelo accionados por resorte. Simula las condiciones de vuelo instrumental y sirve de plataforma para que los pilotos aprendan operaciones instrumentales como navegación, aproximaciones y actividades relacionadas, proporcionan una representación realista para la formación y perfección de sus habilidades en un entorno seguro para los pilotos (European Aviation Safety Agency, 2012).

**Figura 6**

*Simulador de vuelo BITD aprobado por EASA Elite*



*Nota.* El grafico muestra al simulador de vuelo (Elite BITD) de nivel de entrada de EASA que ofrece créditos para la capacitación, de la misma manera, que brinda una guía de prueba de calificación relevante para el Cessna 172. Tomado de (Flight Simulators UK, 2023).

***Flight and Navigation Procedures Trainer (FNPT)***

El (FNTP) es un dispositivo de formación que imita con exactitud el entorno de la cabina de vuelo de una determinada clase, según la EASA. Incluye un equipo de programas informáticos necesarios para reproducir el funcionamiento de los sistemas durante las operaciones de vuelo. Proporciona un alto nivel de fidelidad y funcionalidad, a la vez que es más accesible a los simuladores completos, y, además, permitiendo a los pilotos entrenarse en procedimientos de vuelo y navegación en entorno realista (Petar Andraši, 2016).

**Figura 7***Entrenador de procedimientos de vuelo y navegación (FNTP)*

*Nota.* El grafico muestra al (FNTP) un sistema de base fija esencialmente para salvar la distancia en cuanto a la complejidad de diseño entre el dispositivo tradicional de creación objetiva y el simulador completo de base subjetiva, al ser uno de los simuladores más usados en las organizaciones de entrenamiento. Tomado de (Petar Andraši, 2016).

***Integrated Procedures Trainer (IPT)***

El entrenador de procedimientos integrados es un simulador tridimensional (3D) utiliza varias pantallas táctiles que muestran paneles simulados del mismo tamaño que los paneles reales de la aeronave aumentando la autenticidad de la experiencia de formación. Su adaptabilidad permite una formación eficaz en múltiples modelos de aeronaves sin necesidad de realizar modificaciones concretas en el hardware, además, con el equipo de pruebas integrado (BITE), el IPT puede utilizarse para la formación en el mantenimiento (CAE Simfinity, 2023).

**Figura 8***Entrenador de Procedimientos Integrados*

*Nota.* El gráfico muestra el Entrenador de Procedimientos Integrados (Airbus A320), una herramienta de formación con los procedimientos de Airbus, diseñado para cumplir con la (FAA Parte 60 Nivel 4).

Tomado de (Aviation Safety and Training PTE, 2021).

**Flight Training Device (FTD)**

El dispositivo de entrenamiento de vuelo (FTD) pretende aproximarse lo más posible al entorno real de una aeronave, cuenta con equipos más avanzados y completos para gestionar múltiples operaciones críticas durante el vuelo. El simulador se encuentra equipado con los sistemas completos de una aeronave real desde el arranque hasta la parada del motor. En general su sistema de techo es fundamental para simular las complejas funciones y conexiones que se ven en las aeronaves reales, de la misma manera, que permite a los pilotos entrenarse y adquirir experiencia en el manejo y gestión de sistemas vitales.

**Figura 9**

*Dispositivo de Entrenamiento de vuelo de la aeronave Boeing 747*



*Nota.* El grafico muestra al simulador Boeing 747 de la empresa (Nury Air Systems) listo para ser probado por varios pilotos de líneas comerciales para la verificación y comprobación de sus sistemas.

Tomado de (Daeil jo, 2017, pág. 10).

***Full Flight Simulator (FFS)***

El tipo de simulador de vuelo tecnológicamente más avanzado es el simulador de vuelo completo (FFS). Debe incluir una cabina completa que represente todos los controles, instrumentos y sistemas físicos de la aeronave real, para que los pilotos puedan interactuar con ello y manejarlos como lo harían en vuelo. Requiere un sistema informático capaz de modelar diversas maniobras de la aeronave en tierra como en vuelo, calcula y actualiza la simulación en tiempo real, lo que da como resultado una representación extremadamente precisa. Es capaz de mostrar con precisión las maniobras de la aeronave, incluyendo posición, actitud y movimientos también posee un sistema de movimiento para una experiencia completa.

**Figura 10**

*Simulador de vuelo de alto nivel técnico*



*Nota.* El grafico muestra al simulador de vuelo perteneciente al Helicóptero Cougar AS-352 diseñado por (HAVELSAN) para proporcionar experiencia y capacidades requeridas en una formación más realista en la plataforma de seis ejes. Tomado de (M. Taylan Das, 2019).

### **Dispositivo de simulación de vuelo para entrenamiento (FSTD)**

Los (FSTD) desempeñan un papel importante en la fase de formación de vuelo. Estos dispositivos permiten a los alumnos concentrarse en el desarrollo de habilidades aeronáuticas claves como el control de la aeronave, la navegación, interpretación de instrumentos y maniobras de vuelo en entorno rentable y controlado. Los alumnos pueden adquirir competencia y confianza en los principios fundamentales de vuelo, maximizando la utilización del tiempo y los recursos, de esta manera, se menciona a continuación puntos importantes para su mayor comprensión.

### ***Características de la simulación (FSTD)***

La organización de Aviación Civil Internacional (OACI) (publicado en el documento No. 9625), menciona que se decidió desglosar la (FSTD) en componentes importantes que llevarían a la construcción de la especificación, para ayudar en la definición de las misma y ofrecer un enfoque en el análisis de formación. Como resultado se desarrollaron doce características de la (FSTD) desde el punto



de vista de formación, además, se encuentran combinadas con una característica adicional “Miscelánea”, compuesta por una serie de piezas de competencia (OACI, 2015).

1. *Descripción y estructura de la cabina de vuelo*: Define la estructura física y la organización del área de la cabina, así como la disposición y presentación de los instrumentos, los controles y los asientos para el piloto, el instructor y el observador.
2. *Simulación de vuelo*: Define los modelos matemáticos, los datos que se utilizarán para definir las propiedades aerodinámicas y de propulsión que deben modelarse en el (FSTD).
3. *Manipulación en tierra*: Define los modelos matemáticos y los datos que se utilizarán para explicar las características de manejo en tierra y las circunstancias de la pista que deben modelarse en la (FSTD).
4. *Sistemas del avión*: Define los tipos de simulación de aeronaves que deben representarse en la (FSTD), es decir, profundizan varios aspectos de los capítulos de las “ATA”. La simulación de sistemas permitirá procesos normales, anormales y de emergencia.
5. *Controles y fuerza de vuelo*: Define los modelos matemáticos y los datos que necesarios que los acompaña para modelar los controles de vuelo, la fuerza y las características dinámicas en el (FSTD).
6. *Señales sonoras*: Define el tipo de señal auditiva que debe modelarse, estas incluyen las generadas externamente al entorno de la cabina, como la aerodinámica, la propulsión, la pisa y los efectos meteorológicos, así como las generadas internamente.
7. *Señales visuales*: Define el tipo de visualización de la imagen fuera de la cabina y el campo de visión (horizontal y vertical) que los pilotos que utilizan el (FSTD) deben ser desde su punto ocular de referencia.

8. *Señales de movimiento*: Define el tipo de señales de movimiento que deben modelarse, pueden ser creadas por la dinámica de la aeronave, así como otras influencias como el fuselaje, superficies de control, la meteorología y las actividades en tierra.
9. *Entorno – A TC*: Define la cantidad de sofisticación del entorno simulado del (Control de Tráfico Aéreo), interactúa con la tripulación de vuelo. Esta característica se centra en la fase de vuelo de maniobra terminal o área de control.
10. *Entorno – Navegación*: Muestra el grado de sofisticación de las ayudas, sistemas y redes de navegación simulados que los miembros de la tripulación de vuelo deben operar, como GPS, VOR, DME, ILS o NDB.
11. *Entorno – Atmosfera y meteorología*: Define el grado de sofisticación de las condiciones meteorológicas simuladas, que van desde la temperatura y la presión ambiental hasta el modelado completo de tormentas eléctricas, etc.
12. *Entorno - Aeródromos y terreno*: Define la complejidad y el nivel de detalle de la modelización del aeródromo simulado y del terreno. Incluye elementos como aeródromos genéricos y personalizados, además, incorpora requisitos visuales de la escena, elevación del terreno y base De datos EGPWS

*Miscelánea*. Define criterios para los siguientes requisitos técnicos de características varias de la (FSTD):

- Puesto de instructor
- Pruebas de autodiagnóstico
- Capacidad informática
- Instalaciones de pruebas automáticas
- Actualizaciones de hardware y software

- Documentación diaria previa al vuelo
- Integración del sistema (retraso en el transporte)

### **Niveles de fidelidad de las características de simulación en la actualidad (FSTD)**

Según la (OACI) los niveles de fidelidad ninguno, genérico, representativo y específico se utilizan para examinar y decidir el nivel mínimo de precisión requerido para cada elemento de simulación en las actividades de formación, sin embargo, se ha sugerido agruparse en las tres categorías (OACI , 2015).

(Véase la tabla 1).

- *Simulación de la aeronave*
- ❖ Disposición y estructura de la cabina de vuelo
- ❖ Modelo de vuelo (aerodinámica y motor)
- ❖ Asistencia en tierra
- ❖ Sistema del avión
- ❖ Controles y fuerza de vuelo
- *Simulación de señales*
- ❖ Señales sonoras
- ❖ Señales virtuales
- ❖ Señales de movimiento
- *Simulación de entorno*
- ❖ Entorno – ATC
- ❖ Entorno – Navegación
- ❖ Entorno – Atmosfera y meteorología
- ❖ Entorno – Aeródromos y terreno

**Tabla 1***Niveles de fidelidad de las características de simulación*

<b>Nivel</b>	<b>Simulación de la aeronave</b>	<b>Simulación de señales</b>	<b>Simulación del entorno</b>
Ninguna	No es necesario	No es necesario	No es necesario
Genérico	No específico de un modelo, tipo o variante de avión.	Genérico para un avión de su clase. Modelización sencilla de las principales características básicas de señalización.	Modelización sencilla de las principales características básicas del entorno.
		<i>Solo para señales visuales:</i> Entorno visual genérico con perspectiva suficiente para el vuelo de instrumentos y transición a visual desde aproximaciones por instrumentos en línea recta.	
Representativo	Representativo de un avión de su clase, por ejemplo, un avión cuatrimotor turboventilador. No tiene q ser específico de un tipo.	<i>Solo para señales sonoras y de movimiento:</i> Reproduce el avión específico en la mayor medida posible. Sin embargo, actualmente las limitaciones físicas solo proporcionan señales representativas, no específicas.	Representativo del entorno del mundo real.

Nivel	Simulación de la aeronave	Simulación de señales	Simulación del entorno
Específico	Reproduce el avión específico.	Aplicable únicamente a la señalización visual: Reproduce el entorno visual del mundo real y la perspectiva (infinita).	Replica el entorno real, en la medida necesaria para cumplir los objetivos de formación, para cualquier ubicación específica.

*Nota.* La tabla muestra los niveles de fidelidad para las categorías de características de los simuladores de vuelo. La información fue obtenida en (OACI, 2015).

#### **Fidelidad de los subsistemas de los dispositivos de simulación.**

Los factores de fidelidad mencionados en las tablas pueden ayudar a determinar los componentes del simulador necesarios permitiendo alcanzar un determinado nivel de autenticidad, la comparación de los entornos de simulación de vuelo es necesaria para garantizar que el simulador es una representación válida del mundo real y para encontrar cualquier diferencia entre ambos. Los datos de las tablas pueden ser usados para mejorar la fidelidad del simulador y en última instancia su eficiencia como herramienta de enseñanza o evaluación (Véase la tabla 2 y 3) (Dennis A. Vincenzi, 2009).

#### **Tabla 2**

*Subsistemas del simulador acorde a su fidelidad*

<b>Subsistemas del simulador</b>			
1	Cabina	7	Entorno
2	Audio	8	Asistencia en tierra
3	Video	9	Equipo de misión
4	Movimiento	10	Latencia del sistema
5	Sonido	11	Ambiente

Subsistemas del simulador			
6	Sistema de control	12	Visual

*Nota.* Esta tabla muestra la fidelidad de los subsistemas de los dispositivos de simulación mediante estudios realizados y los avances tecnológicos en general. Tomado de (Albert J. Rehmann, 1995).

**Tabla 3**

*Características de los niveles de fidelidad de los subsistemas del simulador*

Subsistemas del simulador		Características de fidelidad
(1)	Cabina	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ninguno</li> <li>- Simulado/instrumentos de tipo genérico               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cabina parcialmente simulada</li> <li>- Puesto de tripulación completo</li> </ul> </li> </ul>
(2)	Audio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ninguno</li> <li>- Sonidos significativos de la cabina               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sonidos incidentales                   <ul style="list-style-type: none"> <li>- Realista</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
(3)	Video	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ninguno</li> <li>- 2DOF (cabeceo y balanceo)</li> <li>- 3DOF (cabeceo, balanceo y guiñada)               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 6DOF</li> </ul> </li> </ul>
(4)	Movimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sin sensación de fuerza</li> <li>- Fuerza constante (muelle/amortiguador)</li> <li>- Duplicación parcial de la fuerza real</li> </ul>

Subsistemas del simulador		Características de fidelidad		
(5)	Sistema de control	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ninguna</li> <li>- 3DOF</li> <li>- 6DOF</li> <li>- 6DOF con rotor</li> </ul>		
(6)	Entorno	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aire limpio</li> <li>- Ráfagas discretas</li> <li>- Turbulencia filtrada de primer orden</li> <li>- Turbulencia muestreada rotacionalmente</li> </ul>		
(7)	Asistencia en tierra	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sin engranaje</li> <li>- Engranaje rígido</li> <li>- Modelo de engranaje simplificado               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Completo</li> </ul> </li> </ul>		
(8)	Equipo de misión	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ninguno</li> <li>- Solo comunicación</li> <li>- Comunicación/solo navegación               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Completo</li> </ul> </li> </ul>		
(9)	Latencia del sistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No en tiempo real (fuera de línea)               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Retraso significativo</li> <li>- Retraso mínimo</li> </ul> </li> </ul>		
(10)	Visual	Campo de visión	Rango dinámico	Detalle
		Estación de trabajo	Día	Bajo
		75°horiz/35°vert	Crepúsculo	Medio
		90°horiz/40°vert	Bruma/niebla	Alto
		más ancho	Noche	Muy alto

*Nota.* La tabla muestra los niveles de características de fidelidad objetiva de los subsistemas del simulador con el que se permite asociar el grado de sofisticación del equipo/software. Tomado de (Albert J. Rehmann, 1995).

## Historia de la aeronave Boeing 737-500

La compañía Boeing produce su primer modelo 737 para ser presentado oficialmente al público el 19 de febrero de 1965, con Lufthansa convirtiéndose el cliente de lanzamiento, siendo una aeronave de transporte de corto alcance impulsado por 2 motores a reacción para complementar al Boeing 727 en rutas cortas. La primera variante, el 737-100, voló por primera vez en abril de 1967.

Poco después, Boeing presentó el 737-200, con algunas modificaciones que beneficiaron a la aeronave, este modelo estaba equipado por motores JT8D y contaba con asientos de 85 a 130 pasajeros. En 1968 el modelo 737-200 realiza su primer vuelo y entra al servicio comercial.

En el año de 1980, Boeing da lanzamiento a la serie 737 Classic, que abarca las versiones -300, -400, -500, experimento mejoras sustanciales con respecto a sus modelos anteriores. Una de las principales mejoras fue la incorporación de motores turbofán CFM56-3 más potentes, que aumentaron la eficiencia de combustible y el rendimiento. Según el modelo y la disposición de las versiones 737 Classic oscilaba su capacidad de pasajeros entre 110 y 168. La serie -300 fue presentada en 1980 originalmente como la "New Generation". La serie -400 fue anunciada en 1986, alargó su fuselaje y aumentó la capacidad a 188 pasajeros. La serie -500 se lanza en el año de 1987, siendo la última serie de Boeing 737 Classic "Segunda Generación", incorporó mejoras permitiendo que las rutas con menos pasajeros fueran más económicas.

A lo largo de los años, Boeing con su serie 737 ha pasado por varias generaciones y ha conocido diversas iteraciones, en cada una de las cuales se han introducido mejoras y se han ofrecido distintas variantes, plasmando una historia de éxito desde su lanzamiento, logrando pasar de lo analógico a lo digital.

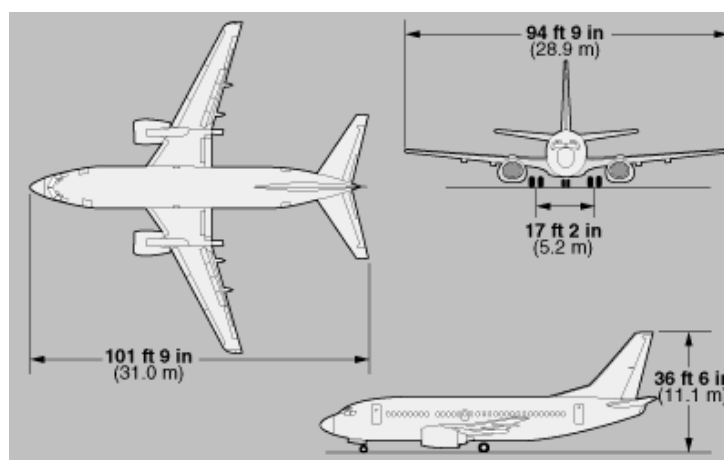


### ***Dimensiones de la aeronave***

El Boeing 737-500 es un sustituto moderno y directo del 737-200 que incorpora avances de la serie “Classic”. Este modelo está equipado con 2 motores CFM56-3 más modernos y rentables, cuenta con una estructura a base de aleaciones de aluminio y reforzada con materiales compuestos, que ofrecen una excelente combinación de resistencia, durabilidad y peso, permitiendo optimizar la seguridad de sus aviones.

### **Figura 11**

*Dimensiones de la aeronave Boeing 737-500*



*Nota.* El grafico muestra las dimensiones de la aeronave Boeing 737-500, presenta su perspectiva de sus diferentes lados de la aeronave. Tomado de (Blogspot, 2023).

### ***Especificaciones de la aeronave***

La aeronave Boeing 737-500 llego a ser uno de los modelos más vendidos en la historia de la aviación. Cuenta con especificaciones que mejoraron a lo largo de su desarrollo permitiendo ofrecer eficiencia y eficacia en sus vuelos de corta y media distancia. En la actualidad ha sido completamente renovada con los más altos estándares, tanto en el exterior como el interior, para aumentar el rendimiento y la autonomía de la aeronave (Véase la tabla 4).

Tabla 4

*Especificaciones de la aeronave*

CHARACTERISTICS	UNITS	MODEL 737-500				
		CFM56-3B1 ENGINES (18,500 LB SLST)			CFM56-3B1 ENGINES (20,000 LB SLST)	
<b>MAX DESIGN</b>	POUNDS	116,000	125,000	134,000	125,00	136.500
<b>TAKEOFF WEIGHT</b>	KILOGRAM S	52,617	56,699	60,781	56,699	61,915
<b>MAX DESIGN</b>	POUNDS	115,500	124,500	133,500	133,500	136,000
<b>LANDING WEIGHT</b>	KILOGRAM S	52,390	56,472	60,555	60,555	61,689
<b>MAX DESIGN</b>	POUNDS	110,000	110,000	110,000	110,000	110,000
<b>ZERO FUEL WEIGHT</b>	KILOGRAM S	49,895	49,895	49,895	49,895	49,895
<b>OPERATING</b>	POUNDS	69,030	69,030	69,030	69,030	69,030
<b>EMPTY WEIGHT (1)</b>	KILOGRAM S	31,312	31,312	31,312	31,312	31,312

CHARACTERISTICS	UNIT	MODEL 737-500				
		CFM56-3B1 ENGINES (18,500 LB SLST)			CFM56-3B1 ENGINES (20,000 LB SLST)	
<b>MAX STRUCTURAL</b>	POUNDS	33,470	33,470	33,470	33,470	33,470
<b>PAYLOAD}</b>	KILOGRAMS	15,182	15,182	15,182	15,182	15,182
<b>SEATING CAPACITY</b>	TWO-CLASS	108: 8 FIRST CLASS AND 100 ECONOMY				
	ALL ECONOMY	122 AT SIX ABREAST; FAA EXIT LIMIT: 149				
<b>MAX CARGO VOLUME</b>	CUBIC FEET	822	683 (2)	595 (3)	671 (4)	546 (5)
<b>- LOWER DECK</b>	CUBIC METERS	23.3	19.3 (2)	16.8 (3)	19.0 (4)	15.5 (5)
<b>USABLE FUEL</b>	US GALLONS	5,311	5,701 (2)	6,121 (3)	5,803 (4)	6,295 (5)
	LITERS	20,102	21,578(2)	23,168 (3)	21,964 (4)	23.827 (5)
	POUNDS	35,584	38,197 (2)	41,011 (3)	38,880 (4)	42,177 (5)
	KILOGRAMS	16,141	17,326 (2)	18,602 (3)	17,636 (4)	19,131 (5)

*Nota.* La tabla muestra las especificaciones de la aeronave Boeing 737-500, los parámetros y límites de operación. Tomado de (Boeing Commercial Airplanes, 2005).

### Motor de la aeronave Boeing 737-500

La aeronave Boeing 737-500 cuenta con 2 motores CFM56-3, tipo turbofán de flujo axial, doble rotor y alto bypass. Los dos rotores son mecánicamente independientes entre sí.

- *El sistema del rotor N1 se constituye de:* Un fan integrado y un booster de 3 etapas (compresor de baja presión LPC) accionado por una turbina de baja presión (LPT) de 4 etapas.
- El sistema del rotor N2 se constituye de: Una turbina de alta presión de una etapa (HPT) acciona el compresor de 9 etapas (HPC).

El aire que ingresa al motor se distribuye en una corriente de aire primario (interior) y una corriente de aire secundario (exterior). Luego de que la corriente de aire primaria haya sido comprimida por el LPC y el HPC, la quema del combustible en la cámara de combustión anular aumenta la velocidad del aire de descarga del HPC para accionar las turbinas de alta y baja presión. Un sistema de accionamiento del rotor N2 impulsa los componente y accesorios tanto del motor y la aeronave.

### Figura 12

*Motor CFM56-3*



*Nota.* El grafico muestra al motor CFM56-3 perteneciente a la aeronave Boeing 737-50. Tomado de (Dedienne Aerospace , 2022).

### **Especificaciones del motor CFM56-3**

El modelo CFM56-3 es un motor de régimen plano. El empuje nominal puede obtenerse durante un tiempo limitado (despegue max.5 min) hasta una temperatura ambiente de 30C. A temperaturas ambientes superiores a 30C el empuje debe reducirse, de lo contrario se excederá el límite EGT. (Véase la tabla 5).

Cojinetes del motor: Los rotores están soportados por 5 cojinetes montados en dos carteres del motor permitiendo sintetizar el sistema de lubricación.

- *Carter de aceite delantero:* Incluye los cojinetes N° 1, N° 2 y N° 3
- *Carter de aceite posterior:* Incluye los cojinetes N° 4, N° 5

**Tabla 5**

*Especificaciones y características de la familia CFM56-3*

<b>ENGINE MODELS</b>	<b>CFM56-3B1</b>	<b>CFM56-3B-2</b>	<b>CFM56-3C-1</b>
<b>Takeoff Thrust (lbs)</b>	18 500 – 20 000	20 000 – 22 000	18 500 – 23 500
<b>Bypass ratio</b>	5.1 – 5	5 – 4.9	5.1 – 4.8
<b>Air flow (lbs/sec)</b>	638 – 655	655 – 683	638 – 710
<b>Length (inch/mm)</b>	93 / 2366	93 / 2366	93 / 2366
<b>Fan diameter (inch/mm)</b>	60 / 1524	60 / 1524	60 / 1524
<b>Basic dry weight (lbs)</b>	4276	4301	4301
<b>Certification Redlines</b>			
<b>EGT (°C)</b>	930	930	930
<b>N1 (RPM)</b>	5 490	5 490	5 490
<b>N2 (RPM)</b>	15 183	15 183	15 183
<b>Applications</b>	B737-300/500	B737-300/400	B737-300/400/500

*Nota.* La tabla muestra las especificaciones y características de la familia del motor CFM56-3, necesarias para su correcto funcionamiento. Tomado de (Lufthansa, LAN, 2005).

### **Unidad de Potencia Auxiliar de la aeronave Boeing 737-500**

La Unidad de Potencia Auxiliar (APU) de la aeronave B737-500 modelo "Allied Signal GTCP85-129" está destinada a proporcionar:

- Energía eléctrica al sistema eléctrico del avión en tierra o en vuelo.
- Aire comprimido para el arranque del motor.
- Aire comprimido para el sistema de aire acondicionado en tierra o en vuelo.

Su funcionamiento inicia cuando el aire estático entra en el impulsor de primera etapa desde el compresor, en el cual, se comprime el aire. El aire comprimido se desplaza a través de los conductos difusores y cruza hasta el compresor de segunda etapa, en el que también, se comprime el aire. Este aire comprimido se desplaza por el segundo difusor hasta el pleno de la turbina. Parte del aire fluye a la cámara de combustión. El atomizador de combustible suministra el combustible a la cámara de combustión, la bujía proporciona una chispa para la ignición y mezcla de combustible y aire. Los gases calientes se dirigen hasta la rueda de la turbina, donde la hacen girar, para, transformar la energía de combustión en energía mecánica, permitiendo girar los compresores, generador eléctrico y otros componentes necesarios para su funcionamiento.

La Unidad de Potencia Auxiliar se encuentra en un compartimiento en la sección de la cola y se encuentra controlada por la Unidad de control de la APU.

### ***Especificaciones del APU Allied Signal GTCP85-129***

El APU de la aeronave Boeing 737-500 toma un papel relevante en situaciones sumamente importantes y críticas en las que la aeronave pueda funcionar como se espera en cada etapa de vuelo e incluso mientras se encuentre en tierra, por ende, cuenta con especificaciones relevantes mencionadas, a continuación. (Véase la tabla 6).

Tabla 6

Especificaciones del APU Allied Signal GTCP85-129

<b>MODEL DESIGNATION: ALLIED SIGNAL GTCP 85-129</b>			
	<b>Sea Level to 10,000 FT (3050 M)</b>	<b>10,000 to 17,000 FT (3050 to 5200 M)</b>	<b>17,000 to 35,000 FT (5200 to 10,700 M)</b>
<b>BASIC ALTITUDE LIMITATION:</b>	Both electrical and pneumatic power can be used	Either electrical or pneumatic power can be used	Electrical power only can be used
	<b>RATED SPEED</b>	<b>FUEL FLOW</b>	
<b>RATINGS AT S.L.</b>	No Loads - Steady State 41 700 RPM Output Speed 6000 RPM at Generator Drive	Max Load at Standard Day 340 PPH	
	<b>EGT</b>	<b>OIL</b>	
<b>APU TEMPERATURES AT S.L.</b>	Sustained Maximum 650°C Starting or Transient Condition 760°C	Maximum 140°C	
<b>UNIT WEIGHT</b>	313 LBS/142 Kg		
<b>STARTS OR TRIES TO START IN ONE HOUR</b>	<b>OPERATION (STARTER" ON" TIME)</b>	<b>COOL DOWN (BEFORE YOU TRY TO START AGAIN)</b>	
1	0-90 SEC (MAX)	0 MINUTES	
2	0-90 SEC (MAX)	5 MINUTES (MIN	
3	0-90 SEC (MAX)	60 MINUTES (MIN)	

*Nota.* La tabla muestra las especificaciones del APU Allied Signal GTCP85-129. Tomado de (Rivera, 2023).

## **Interfaz del software de simulación de vuelo acorde a la aeronave Boeing 737-500**

### ***Software de simulación X plane 11***

El Software de simulación X plane 11, es simulador de vuelo por ordenador personal más completo y potente en el mundo, proporcionando el modelo de vuelo más preciso que existe en la actualidad. La herramienta de ingeniería X-Plane puede utilizarse para anticipar las características de vuelo de aeronaves de ala fija y rotatoria con una precisión asombrosa; no es un juego (Aerosoft GmbH, 2017).

Es una herramienta fantástica para que los pilotos mantengan su destreza en un simulador que permite realizar vuelos como un avión real, para que los ingenieros predigan como volara un nuevo avión y para que a los entusiastas de la aviación se le permita explorar el mundo de la dinámica de vuelo de aeronaves, ya que predice el rendimiento y el manejo de casi cualquier aeronave.

X-plane 11 presenta el mundo aeronaves (ya sea planeadores, jets, aviones monomotor y multimotor) helicópteros o VTOL (despegue y aterrizaje vertical. La dinámica de vuelo subsónica y supersónica de X plane permite usuarios brindar las características vuelo de las aeronaves más rápidas o más lentas. La instalación por defecto de X-Plane incluye más de 15 aviones de todas las épocas de aviación. Entre los modelos incluidos figuran desde el Sirkorsky S-76 y el Cessna 172 al transbordador espacial o el bombardero B-52 Bomber (Aerosoft GmbH, 2017).



**Figura 13**

*Programa X-Plane 11 – Inicio*



*Nota.* La imagen muestra el interfaz del software de simulación X-Plane 11. Recuperado del software de simulación virtual X-Plane 11.

Desde la latitud 74 norte hasta la 60 sur, todo el paquete de paisajes de X-Plane ofrece una cobertura de resolución impresionante de todo el planeta. Los usuarios pueden poner a prueba sus habilidades en portaaviones, plataformas petrolíferas, fragatas o helipuertos en lo alto de estructuras, además de aterrizar en uno de los más de 35.000 aeropuertos de todo el mundo.

El Software X-Plane cuenta con un específico sistema de fallos, lo cual permite que un gran número de sistemas pueda fallar manualmente, por indicación del instructor o aleatoriamente cuando el usuario menos se lo espera. También es posible que alguna persona externa (localmente o a través de internet, trabajando como una Estación de Operaciones del instructor), provoquen fallos sin conocimiento del piloto, permitiendo un aprendizaje más profundo para el desarrollo profesional del usuario. (Véase la tabla 7). (Aerosoft GmbH, 2017).

**Tabla 7***Requerimientos del Software X-Plane 11*

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>MÍNIMO</b>	<b>RECOMENDADO</b>
<b>Sistema Operativo</b>	Windows 7, 8.1 o 10, 64 bits	Windows 7, 8.1 o 10, 64 bits
<b>Procesador</b>	CPU Intel Core i3, i5 o i7 con 2 o más núcleos, o equivalente de AMD	Intel Core i5 6600K a 3,5 ghz o más rápido
<b>GPU</b>	NVIDIA o AMD con 512 MB de VRAM	NVIDIA o AMD con 4 GB de VRAM
<b>Espacio de alta definición</b>	20 GB	65 RAM
<b>RAM</b>	8GB RAM	16GB RAM
<b>DirectX</b>	Versión 11	Versión 12

*Nota.* La tabla muestra los requerimientos de instalación del Software de simulación X-Plane 11.

Tomado de (Flight Sim Wiki, 2023).

**Versiones de X-Plane**

Desde el uso doméstico hasta el entrenamiento de vuelo comercial, X-Plane puede utilizarse en una gran variedad de contextos, a continuación, se explica detalladamente las versiones.

- **X-Plane 11 Global o estándar**

La versión comercial es la versión estándar del simulador X-Plane de venta al público en general. Para su funcionamiento es necesario obtener un DVD de X-Plane 11 Disc 1 o una clave de producto de descarga digital. La conexión de red X-Plane permite ejecutar múltiples copias en varios ordenadores y limitar su uso a vistas externas, cabina virtual, estaciones del instructor y similar. Esta versión no auto comprueba la presencia de controles de vuelo ni una frecuencia de imagen aceptable, por lo que no puede ser certificado por la FAA ni por ninguna otra autoridad para registrar las horas de vuelo.

- **X-Plane 11 Professional**

Esta versión está destinada a fines comerciales y simuladores aprobados por la FAA. Cada copia de X-Plane debe instalarse mediante una llave USB de X-Plane Professional. Aunque existen muchas similitudes entre esta versión con la de X-Plane Global, la versión Professional admite los usos comerciales, las comprobaciones de certificación de la FAA y el uso de un GPS autentico. Microsoft ESP será sustituido por esta versión (Aerosoft GmbH, 2017).

Además, el uso de la llave permite a X-Plane que los dispositivos GPS Garmin G430 y G1000 reales puedan ser manejados. Debe tenerse en cuenta que los usuarios deben obtener primero un simulador de G430 o G1000 de Garmin antes de crear los mazos de cables necesarios para conectarlos a los cables serie o Ethernet del ordenador con el fin de interactuar con un G430 o G1000 autentico.

### **Lenguaje de propósito general de programación**

El lenguaje de programación está diseñado para brindar instrucciones a una computadora y darle la capacidad de desarrollar tareas específicas. Es un medio de comunicación entre humanos y computadoras, lo que permite a los programadores escribir conjuntos de códigos, comandos, datos y algoritmos que la computadora pueda ser capaz de comprender y ejecutar.

Permite reducir el riesgo asociado a la creación de nuevos sistemas o introducción de cambios a los existentes, los programas juntos con las técnicas de análisis estadísticos de programación han evolucionado para ofrecer a los responsables de la toma de decisiones herramientas para desarrollar un análisis preciso. A medida que el mundo se tecnifica y la necesidad de precisión se hace más importante el margen de error seguirá reduciendo. (McHaney, 2009)

Numerosas aplicaciones de modelado pueden realizarse utilizando lenguajes de simulación, que son clases de software de simulación flexibles y de uso general. Estos lenguajes presentan algunas

similitudes con FORTRAN, C++, Visual Basic.net o Java, pero también tienen características únicas diseñadas para facilitar el modelado de la programación. (Véase la tabla 8).

**Tabla 8**

*Clasificación de lenguajes de programación más eficientes*

<b>ROSSETA CODE GLOBAL RANKING</b>		
<b>POSITION</b>	<b>LANGUAGE</b>	<b>ENERGY (J)</b>
1	C	0.05
2	Pascal	0.02
3	Ada	0.06
4	Rust	0.03
5	C++, Fortran	0.03 – 0.035
6	Chapel	2280.27
7	OCaml, Go	0.05 - 0.11
8	Lisp	0.15
9	Haskell, JavaScript	0.10 - 1.73
10	Java	1.73
11	PHP	0.30
12	Lua, Ruby	0.69 – 0.51
13	Perl	0.64
14	Dart, Racket, Erlang	1.98 – 1.97 – 2.36
15	Python	63.58

*Nota.* La tabla muestra la clasificación de los lenguajes de programación más eficientes basados en Rossetta Code. Tomado de (Rui Pereiraa, 2021)

Los lenguajes de propósito general son aquellos que pueden admitir de una manera práctica variedad de casos de uso. A continuación, se pueden detallar los lenguajes de programación más relevantes en la actualidad gracias a sus niveles de complejidad como su escritura, comandos y algoritmos.

- **Java.**

Java es un lenguaje de programación orientado a objetos y de propósito general con menos dependencias de implementación que otros lenguajes. Es uno de los lenguajes de programación más populares del mundo por su alto nivel de fiabilidad y libertad de plataforma, su diseño ayuda a los desarrolladores a lograr una fluidez en el lenguaje y evitar errores de programación que podrían dar lugar a vulnerabilidades. Su especificación se distingue fácilmente entre los errores de compilación que pueden y deben detectarse en tiempo de compilación y lo que sucede en tiempo de ejecución (Corbo, 2022).

- **Python.**

Python es un lenguaje de propósito general, lo que significa que puede utilizarse para realizar una amplia gama de aplicaciones, automatizar tareas y realizar análisis de datos, automatización o secuencia de comandos, pruebas y prototipos de software. Con Python los desarrolladores pueden aprender relativamente fácil, en el caso de pruebas y prototipos de software este lenguaje brinda ayuda como control de compilación, seguimiento de errores y pruebas (Coursera, 2023).

### ***Lenguaje de simulación integrado***

El lenguaje de simulación permite crear una multitud de aplicaciones de modelado, lo que le diferencia del lenguaje tradicional es que incluyen características específicas para facilitar el proceso de programación modelado, integrando marcos de desarrollo más amplios, paradigmas de modelos discretos, continuos y basados en agentes (McHaney, 2009).

### **Características del lenguaje de simulación**

- Reloj de simulación o mecanismo de avance del tiempo simulado.
- Métodos para programar la ocurrencia de eventos.

- Herramientas para recopilar y analizar estadísticas relativas a la utilización de diversos recursos y entidades.
- Métodos para representar los recursos limitados y las entidades que los utilizan.
- Herramientas para informar de los resultados.
- Herramientas de depuración y detección de errores.
- Generadores de números aleatorios y herramientas relacionadas.
- Marcos generales para la creación de modelos.

### **Home Cockpit SimControl Interface (HCSCI)**

La interfaz del software “Home Cockpit SimControl Interface” (HCSCI) provee un protocolo diseñado para permitir la configuración entre una cabina doméstica y el software de simulación de vuelo que se ejecuta mediante una computadora de X-Plane. El propósito de (HCSCI) está destinado a permitir la integración de los controles físicos en el software de simulación de vuelo, donde los usuarios podrán interactuar con la aeronave virtual y los controles de cabina, actuando como medio entre los varios dispositivos de entrada (Home Cockpit Simulator Interface, 2023).

#### ***Características principales de HCSCI***

- *Asignación de entradas:* El HCSCI permitiría a los usuarios vincular determinadas operaciones o funcionalidades del software de simulación de vuelo a las entradas físicas de la cabina de simulación.
- Ahorra mucho tiempo y dinero al permitirle concentrarse en el proceso de construcción en sí, ya que no se requieren conocimientos de programación.

#### ***Complemente SimVimX para X-Plane destinado de (HCSCI)***

El complemento SimVimX es un complemento muy importante de la interfaz del (HCSCI); es una pieza considerable de código de programa que es más que una interfaz de E/S para ejecutar los

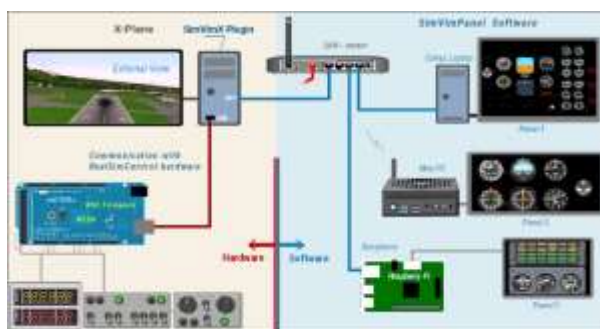
comandos de X-Plane; es también un “simulador de cabina “con funciones personalizadas para la cantidad de entrada/ salida de los sistemas. El sistema está construido de tal manera que permita la conexión de cualquier cantidad de computadoras con los diferentes paneles de instrumentos a la computadora principal que ejecuta X-Plane (Home Cockpit Simulator Interface, 2023).

### ***Funcionamiento del complemento de HCSCI (SimVimX) destinado para X-Plane***

Para la visualización de paneles de instrumentos en otros ordenadores, el plugin SimVimx ofrece la interfaz de comunicación que funciona con el SimVimPanel. La aplicación del panel muestra todas las lecturas de los instrumentos después que el plugin procese los datos del simulador y proporcione los resultados. Además, recibe datos de entrada de las zonas de entrada de SimVimPanel en pantalla para llamar a funciones de X-plane logrando simular la lógica de los instrumentos (Home Cockpit Simulator Interface, 2023).

### **Figura 14**

#### ***Funcionamiento del complemento SimVimx destinado para X-plane***



*Nota.* La imagen muestra el complemento SimVimX destinado a X-Plane 11, explica como es la conexión de los paneles de instrumentos e interfaces a la computadora principal. Tomado de (Home Cockpit Simulator Interface, 2023).

El complemento tiene alrededor de 350 funciones diferentes programadas a medida que van más allá de lo que ofrece X-Plane en términos de datos y funcionalidad. Estas funciones ofrecen una simulación avanzada de funcionalidad de equipos de radio basada en el tipo de equipo de radio,

implementación de controles de cabina exclusivos de ciertos tipos de aeronaves para hacerlos más adecuados para la salida multipropósito y así sucesivamente.

### **Sistema de protección y detección contra incendios de la aeronave B737-500**

El sistema de protección contra incendios de la aeronave B737-500 está enfocado en la extinción de incendios y la detección de incendios/sobrecalentamiento.

Los sistemas de detección están destinados a advertir de fuego o sobrecalentamiento en cada motor, unidad de potencia auxiliar (APU), bahía de la rueda principal, alas, cuerpo inferior de la popa y lavabos. Por otro lado, las luces del módulo de control de incendios del motor y del APU, las luces de advertencia principales del módulo del escudo de luces y una alarma proporcionan indicaciones de incendio (Boeing, 2015).

Las indicaciones adicionales para el APU son la luz de advertencia de incendio en el panel de control de tierra de la APU y una bocina de advertencia en la bahía de la rueda principal derecha. Las luces en el módulo de aire acondicionado y las luces de precaución principales en el módulo del escudo de luces proporcionan indicación del sobrecalentamiento del ala y el cuerpo de la aeronave.

Los sistemas de extinción son un sistema fijo de extinción de incendios del motor, un sistema fijo de extinción del APU, un sistema fijo de extinción de incendios del aseo y extintores portátiles (Boeing, 2015).

#### **1. Sistema fijo de extinción de incendios de motores**

Consta de dos botellas extintoras que brindan dos disparos de extinción en cada motor. Las botellas se encuentran conectadas a cada motor mediante colectores y tuberías, hay un interruptor para cada motor en el módulo de control de incendios de motores y APU.

#### **2. Sistema fijo de extinción de incendios del APU**



Consta de una botella extintora conectada mediante tubos a la cubierta del APU. Los interruptores de descarga se ubican en el módulo de control de incendios de motores y APU y en el panel de control de tierra del APU.

### 3. Sistema fijo de extinción de lavabos

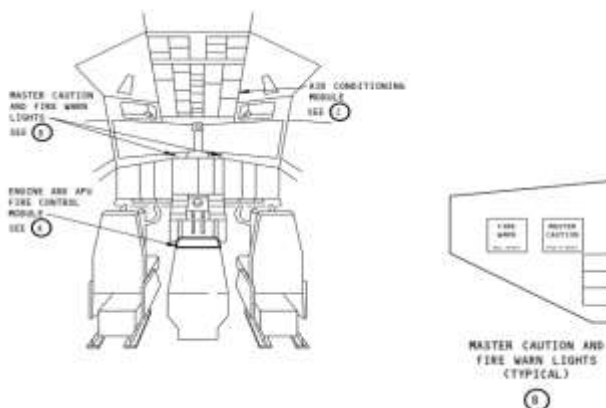
Consta de una botella extintora activada por calor en cada lavabo para extinguir incendios debajo de la encimera del lavabo y en el conducto de toallas.

### 4. Extintores portátiles

Están situados en las cabinas de la tripulación y pasajeros. Proporcionan capacidad de extinción de incendios en dichas cabinas y otras áreas accesibles desde ellas.

## Figura 15

*Ubicación de los componentes del sistema de protección contra incendios de la aeronave B737-500*



*Nota.* La imagen muestra la ubicación de los componentes del sistema de protección contra incendios de la aeronave B737-500 en los diferentes paneles. Tomado de (Boeing, 2015).

## Sistema de detección de incendios del motor y el APU de la aeronave B737-500

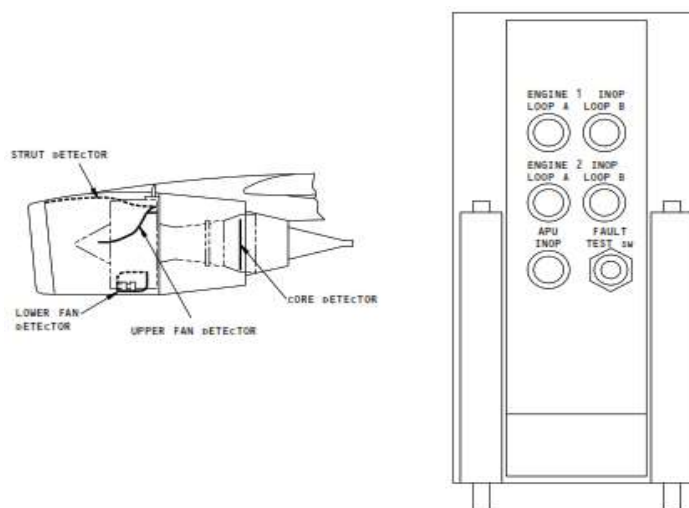
### *Sistema de detección de incendios del motor*

El sistema de detección de incendios del motor supervisa la temperatura del motor y de la góndola para detectar condiciones de incendio y sobrecalentamiento, por lo cual existen detectores de incendio/sobrecalentamiento de doble loop en cada zona del motor. El sistema utiliza energía del bus de

batería de 2 VDC. Los circuit breakers se encuentran en el panel P6. Los componentes con los que cuenta el sistema de detección son detectores de incendios, unidad accesoria de detección de incendios del motor y APU, y el panel de control de incendios (Boeing, 2015).

**Figura 16**

*Ubicación de los componentes del sistema de detección de incendios del motor*



*Nota.* La imagen muestra la ubicación de los componentes del sistema de detección contra incendios de del motor de la aeronave B737-500. Tomado de (Boeing, 2015)

### 5. Detectores de incendio/sobrecalentamiento del motor

El detector consta de dos elementos sensores idénticos fijados a un tubo de soporte mediante abrazaderas de montaje rápido. Cada elemento sensor forma parte de un bucle continuo de resistencia eléctrica, donde la resistencia varía inversamente en función de la temperatura.

A medida que aumenta la temperatura del elemento disminuye la resistencia. Cuando la resistencia desciende hasta el primer ajuste de alarma, se envía una señal de sobrecalentamiento a la tarjeta de control. Cuando la resistencia sigue bajando hasta el segundo ajuste, se envía una señal de alarma de incendio.

Los detectores se encuentran ubicados en las áreas del strut, parte superior e inferior del fan y el núcleo del motor. Los detectores son idénticos excepto por la longitud, el disparo por temperatura y los ajustes de los switches de presión.

## **6. Unidad Accesorio de Detección de Incendios en Motores y APU**

El sistema de la unidad accesorio de detección de incendios cuenta con las tarjetas de control del motor 1 y 2, y las lógicas de interfaz. La unidad se encuentra en el estante E-3 del rack de electrónica.

- *Tarjetas de control:* Cada motor cuenta con su tarjeta de control correspondiente. Estas tarjetas permiten la monitorización y procesamiento constante de las señales producidas por los lazos detectores. Las tarjetas brindan señales de alarma o avería a la tarjeta de control de accesorios.
- *Tarjetas lógicas de interfaz:* Interpretan las señales de la tarjeta de control de detección, proporcionan pruebas y envían señales de aviso de incendio/sobrecalentamiento e indicación de avería al panel de control de incendios.
- **Panel de control de incendios de motores y APU**

A. Los componentes del sistema de detección de fuego del motor y APU del panel de control son dos interruptores selectores de fuego/sobrecalentamiento, interruptor de prueba, luces de sobrecalentamiento del motor 1 y 2, luz de falla del motor y manijas de los interruptores de fuego del motor 1 y 2. El panel se encuentra en el panel electrónico de control de popa.

B. Hay un detector de fuego/sobrecalentamiento para cada motor. Colocando el interruptor en normal permite que ambos loops funcionen en lógica AND. Colocando el interruptor en A o B se activa un loop y se desactiva el otro.

C. Al colocar el interruptor TEST en OVH/FIRE se comprueba la continuidad del detector, la continuidad del circuito de alarma y la integridad de los circuitos de detección y advertencia a una resistencia de bucle equivalente al nivel de temperatura de alarma. Se activan las luces de la manija del interruptor de incendio del motor, las luces de OVERHEAT (sobrecalentamiento), las luces principales de FIRE WARN (advertencia de incendio) y el sonido.

D. Al colocar el interruptor TEST en FAULT/INOP se verifica el circuito de discriminación de fallas. Las luces FAULT y MASTER CAUTION se encienden.

E. Las luces de incendio, sobrecalentamiento y falla se encienden cuando se envían las señales apropiadas desde la unidad accesorio.

#### ***Operación del sistema de detección de incendios del motor***

A. Con la alimentación de 28 VDC aplicada al sistema, se proporciona corriente desde cada tarjeta de control a los detectores del loop correspondiente. Cada elemento detector tiene un valor de resistencia, por ende, está en serie con los demás elementos de su loop.

B. Cuando la temperatura aumenta, la resistencia del elemento detector de incendio disminuye y la tarjeta detectora percibe el cambio de tensión, brindando una indicación de incendio/sobrecalentamiento. Por otro lado, si el detector está en cortocircuito, se produce una caída inesperada de la resistencia del loop de detección, hasta llegar a un nivel por debajo del rango de fuego/sobrecalentamiento, disparando un fallo. Si el loop detector se encuentra en circuito abierto, el sistema seguirá funcionando normalmente, pero fallará la prueba de FIRE/OVHT. (Boeing, 2015).

C. La tarjeta de control de accesorios configura las señales de cada detector en lógica AND y determina la salida apropiada. (Véase la tabla 9).

Tabla 9

Tabla Verdadera AND-Lógica Sistema Fuego/Sobrecalentamiento

<b>INDICATION – BOTH LOOPS OPERATIVE</b>						
<b>LOOP A</b>						
	<b>CONDITION</b>	<b>FIRE</b>	<b>OVHT</b>	<b>NORMAL</b>	<b>FAULT</b>	<b>POWER FAILURE</b>
<b>LOOP</b>	FIRE	FIRE/OVHT	OVHT	NONE	FIRE/OVHT	FAULT
<b>B</b>	OVHT	OVHT	OVHT	NONE	OVHT	FAULT
<b>INDICATION – BOTH LOOPS OPERATIVE</b>						
	NORMAL	NONE	NONE	NONE	NONE	FAULT
	FAULT	FIRE/OVHT	OVHT	NONE	FAULT	FAULT
	POWER FAILURE	FAULT	FAULT	FAULT	FAULT	FAULT
<b>INDICATION - SINGLE LOOP OPERATIVE (A OR B)</b>						
	CONDITION	FIRE	OVHT	NORMAL	FAULT	POWER FAILURE
	INDICATION	FIRE/OVHT	OVHT	NONE	FAULT	FAULT

*Nota.* La tabla muestra la verdadera AND-Lógica Sistema Fuego/Sobrecalentamiento. Tomado de (Boeing, 2015).

D. Un incendio se muestra de la siguiente manera:

Se ilumina y desbloquea la manija del interruptor de incendio correspondiente (motor 1 o motor 2) en el puesto de control P8.

Se encienden las luces principales de advertencia de incendio en el panel de protección contra luces P7. Suena la alarma de incendios.

E. Un sobrecalentamiento se indica de la siguiente manera:

- Se enciende la luz de sobrecalentamiento del motor correspondiente - ENG 1 o ENG 2 OVERHEAT - en el puesto de control P8.
- Se encienden las luces principales de precaución y OVHT/DET en el panel lightshield P7.

F. Una avería se muestra de la siguiente manera

- Se enciende la luz de fallo en el puesto de control P8

G. La campana puede silenciarse y las luces de FIRE WARN pueden apagarse pulsando cualquiera de las luces de FIRE WARN o el interruptor BELL CUTOUT.

H. Las luces maestras de PRECAUCIÓN y OVHT/DET pueden apagarse pulsando cualquiera de las luces de precaución.

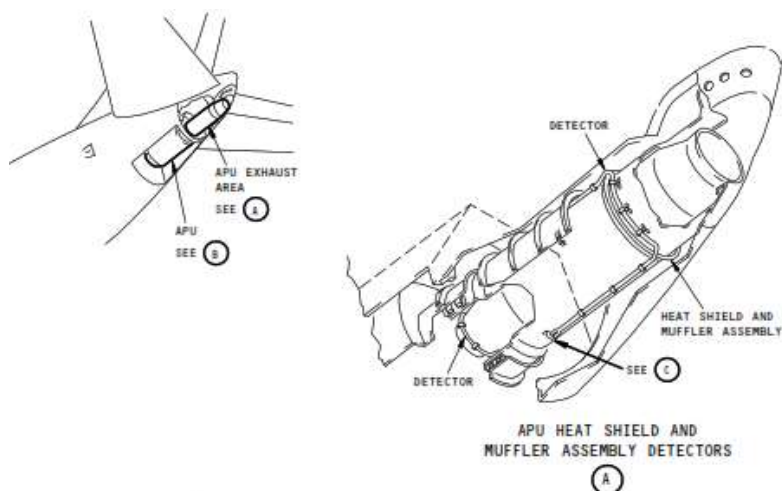
I. El switch de fuego, las luces de fuego, sobrecalentamiento y falla permanecen encendidas hasta que las mismas se eliminan del sistema.

### ***Sistema de detección de incendios del APU***

El sistema de detección de incendios del APU se encarga de monitorear la temperatura en el compartimiento y responde al sobrecalentamiento o incendio activando las luces de advertencia, la alarma de la campana, la bocina y apagando el APU. Utiliza energía del bus de batería de 28 VDC. El circuit breaker del sistema se encuentra en el panel de circuit breaker P6-2. Las señales del loop detector están configuradas en lógica OR. Por otro lado, las indicaciones de incendio de la APU son luces en el motor y en el panel de control de incendio de la APU, luces de advertencia principales en el escudo de luces y una alarma de la campana. Cuando la aeronave se encuentra en tierra las indicaciones adicionales de incendio del APU son una luz de advertencia en el panel de control de tierra del APU y una bocina en la bahía de la rueda principal (Boeing, 2015).

**Figura 17**

*Ubicación de componentes del Sistema de Detección de Incendios APU*



*Nota.* La imagen muestra la ubicación de los componentes del sistema de detección de incendios APU de la aeronave B737-500. Tomado de (Boeing, 2015).

- **Panel de control de incendios del motor y APU**

El panel de control de fuego de motor y APU P8-1 se encuentra ubicado en el puesto de control de los pilotos. Los componentes de P8-1 aplicables a la detección de incendios de APU son la luz APU DET INOP, la luz de advertencia de la manija del interruptor de incendios, el interruptor TEST y el interruptor BELL CUTOUT.

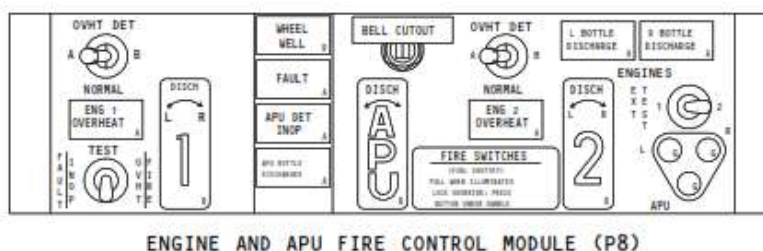
1. La luz DET INOP proporciona una indicación de cortocircuito. El circuito de la luz DET INO- también está conectado a las luces de precaución maestras.
2. La luz DET INOP indica un fallo de cableado o una pérdida de presión del sensor. El circuito de la luz DET INOP también está conectado a las luces de precaución maestras.
3. Una luz de advertencia de incendio presente en la manija del interruptor de incendio del APU proporciona advertencia de incendio en el área. La luz de advertencia de incendio está conectada a la tarjeta de detección de incendios de la APU. Una condición de

incendio o sobrecalentamiento en el área del APU causará la iluminación constante de la luz de advertencia. La luz de advertencia de incendio consta de varias bombillas cubiertas por una tapa de lente de plástico translúcido rojo en la manija del interruptor de incendio.

4. El interruptor TEST tiene tres posiciones: FAULT/INOP-off- FIRE/OVHT; El interruptor está cargado por resorte a la posición de apagado. El interruptor permite probar el sistema de detección de incendios de la APU comprobando la continuidad del sensor y simulando una condición de incendio cuando se coloca en FIRE/OVHT. Durante la prueba de fuego/sobrecalentamiento se inhibe el circuito de apagado automático de la APU. Cuando se encuentra en la posición FAULT/INOP, se prueba el circuito de discriminación de fallas de la tarjeta de detección de incendios del APU y se encenderá la luz de inoperativo.
5. Se proporciona un interruptor para el control de la alarma de campana. Al pulsar el interruptor se suministran 28 VDC a la tarjeta de control de condiciones de señal en la unidad accesoria de detección de incendios. El circuito de control silencia la campana y apaga las luces maestras de advertencia de incendio en P7.

**Figura 18**

*Panel de control de fuego del motor y APU*



*Nota.* La imagen muestra El Panel de Control de fuego del motor y APU de la aeronave B737-500.

Tomado de (Boeing, 2015).



- **Elementos detectores de incendios del APU**

A. Los elementos detectores están ubicados en las áreas del motor y de escape del APU.

B. Los elementos de detección están encerrados en un tubo perforado y se apoyan en bloques espaciadores de asbesto. Cada elemento sensor está relleno de un material termistor cuya resistencia varía en función de la temperatura.

C. Los elementos de detección se fijan a un tubo de soporte mediante abrazaderas de montaje rápido. Cada elemento de detección contiene un gas inerte, un material de núcleo emisor de gas y un respondedor en un extremo. El respondedor contiene dos interruptores de presión, alarma e integridad, y proporciona la interfaz eléctrica con el cableado del avión.

- **Unidad accesoria de detección de incendios en motores y APU M279**

A. La unidad accesoria de detección de incendios de motores y APU M279 se encuentra en el rack de equipos electrónicos E3. Los componentes de M279 aplicables a la detección de incendios de APU son la tarjeta de detección de incendios de APU y la tarjeta de control de accesorios.

B. *Tarjeta de detección de incendios APU:* El loop de detección tiene su correspondiente tarjeta de control de detección. La tarjeta monitorea y procesa constantemente las señales producidas por el loop. La tarjeta envía señales de alarma o avería a la tarjeta de control de accesorios.

C. *Tarjeta de control del estado de las señales:* Interpreta las señales de la tarjeta de detección y envía señales de advertencia de incendio e indicación de falla, y señal de apagado automático de la APU.

- **Campana de alarma**

Advierte de fuego o sobrecalentamiento en la APU con un timbre constante. La campana es controlada por la tarjeta de control de condición de señal de la unidad accesoria de detección de fuego del motor y APU, se encuentra en la caja de avisadores aurales.

- **Bocina remota**

Advierte de incendio o sobrecalentamiento en la APU. Se encuentra en la bahía de la rueda principal derecha, junto al panel de control de tierra de la APU. La bocina es encendida y apagada por la tarjeta de control de condición de señal de la unidad accesoria de detección de fuego del motor y APU, funcionará sólo cuando el avión esté en tierra.

## **7. Luces maestras de advertencia de incendio**

A. Se encuentran ubicadas en el módulo de pantalla de iluminación P7. Cuando ocurre una condición de incendio, las luces de advertencia de incendio se encienden.

B. Son controladas por la tarjeta de control de condición de señal de la unidad accesoria de detección de incendio del motor y APU. Cualquiera de las luces puede ser presionada para apagar la campana o la bocina remota y apagar las luces.

### ***Operación del sistema de detección de incendios del motor***

## **8. Operación Normal**

A. La detección normal de incendios es automática cuando se aplica corriente al avión y se cierran los circuit breakers de detección de incendios y de aviso aural (Boeing, 2015).

B. Durante el funcionamiento normal, la tarjeta de control APU supervisa la resistencia de los circuitos del detector.

1. Una luz de detector APU inoperante se encenderá si el elemento sensor del circuito de monitoreo tiene una falla a tierra (cortocircuito). Cuando esto se produce, la resistencia

del bucle de detección cae instantáneamente por debajo de la resistencia de disparo por incendio, lo que acciona el circuito discriminador de cortocircuitos, desarmando el circuito de aviso de incendio. El circuito discriminador de cortocircuito en la tarjeta de control proporciona una vía de tierra para la luz de APU inoperativo en el módulo del sistema de protección contra incendios.

2. Cuando ocurre un incendio, la resistencia del loop de detección cae relativamente despacio y, después de alcanzar la resistencia de disparo de incendio, activa un retardo de tiempo, desarmando el circuito discriminador de cortocircuitos y energizando el circuito de advertencia de incendio. Debe tenerse en cuenta que la mayoría de los cortocircuitos son intermitentes, y el sistema es capaz de detectar fuego durante la ausencia del cortocircuito.
3. En el caso de un cortocircuito constante, el detector falla de forma segura; es decir, queda inoperativo, pero no da una falsa alarma.
4. *NOTA:* Si el sistema de detección de incendios no realiza la prueba, controle la luz de inoperativo del detector APU antes de realizar cualquier otra prueba.
5. Si se produce un incendio o un sobrecalentamiento en la zona de la APU, el sensor se ve sometido a un aumento de temperatura, esto hará que la válvula de resistencia del sensor disminuya. En una válvula de resistencia predeterminada correspondiente a la temperatura de alarma, la tarjeta de control del detector APU disparará una señal de advertencia de incendio y la señal activará los circuitos indicadores.

C. Durante la operación normal, la tarjeta de control APU monitorea continuamente la integridad de los detectores y el cableado de la aeronave.

1. Si un elemento detector pierde presión, el interruptor de integridad del responder proporciona una señal a la tarjeta de control para encender la luz de detector

inoperativo. Del mismo modo, si la tarjeta de control detecta un fallo en el cableado, se encenderá la luz de detector inoperativo.

2. Si se produce un incendio o una condición de sobrecalentamiento en la zona de la APU, el sensor es sometido a un aumento de temperatura. A un valor de presión predeterminado correspondiente a la temperatura de alarma, el interruptor de alarma de respuesta se cerrará enviando una señal a la tarjeta de control, por ende, la señal activará los circuitos indicadores.

*D.* Los circuitos indicadores hacen que suenen la campana de incendios y la bocina de advertencia, que se desbloquee el interruptor de incendios de la APU, que se enciendan las luces de advertencia de incendios y que se apague la APU. La bocina de advertencia de incendio sonará sólo si el avión está en tierra. Cuando se encienden las luces de advertencia de incendio, se supone que hay un incendio y debe extinguirse. Cuando el fuego se extinga, la temperatura y el sensor deben volver a la normalidad. La señal de incendio desaparecerá y los componentes indicadores de advertencia de incendio se apagarán.

## **9. Test Operacional**

*A.* Se puede realizar una prueba de continuidad del sistema de detección de incendios colocando el interruptor TEST en la posición OVHT/FIRE. Los componentes de indicación de advertencia de incendio deben encenderse y luego apagarse cuando se suelta el interruptor. Cuando se activa el interruptor, se simula un incendio causando una condición de alarma.

*NOTA:* La APU no se apagará cuando se accione el interruptor de prueba de incendio.

*B.* Se puede realizar una prueba del circuito de discriminación de fallas moviendo el interruptor TEST a FAULT/INOP. La luz inoperante del detector APU debe encenderse y luego apagarse cuando se suelta el interruptor.

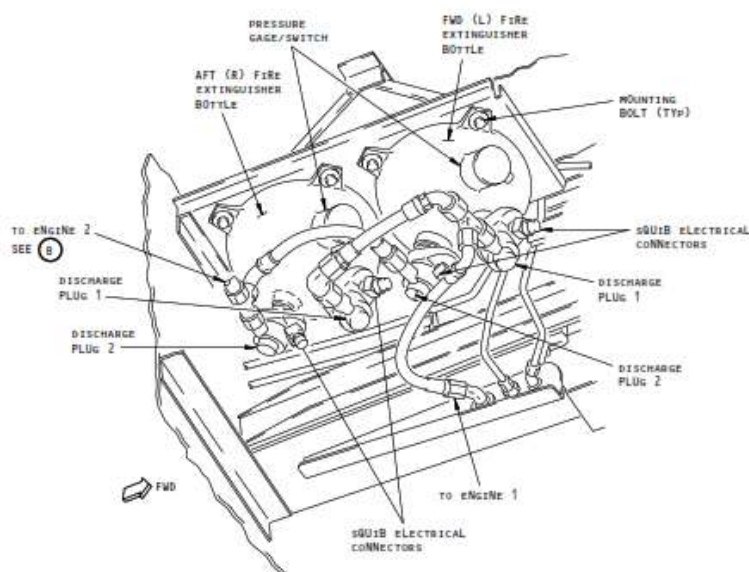
## Sistema de extinción de incendios del motor y el APU de la aeronave B737-500

### *Sistema de extinción de incendios del motor*

El sistema de extinción de incendios del motor tiene controles que liberan una o dos aplicaciones de agente extintor a cualquiera de los motores. Consta de dos botellas extintoras de incendios de motores y un panel de control de incendios de motores y APU. El sistema recibe energía del bus de la batería caliente de 28 VDC a través de los disyuntores L FIRE EXT BOTTLE (2 lugares) y R FIRE EXT BOTTLE (2 lugares) del panel P6 (Boeing, 2015).

### Figura 19

*Ubicación de los componentes del sistema de extinción de incendios del motor*



*Nota.* La imagen muestra la ubicación de los componentes del sistema de extinción de incendios del motor de la aeronave B737-500. Tomado de (Boeing, 2015).

### 10. Botella extintora de incendios del motor

Las botellas del extintor de incendios del motor se ubican en la bahía de la rueda del tren de aterrizaje principal. La botella extintora incluye dos cartuchos squib, un interruptor de presión, un manómetro, dos puertos de descarga y un puerto de llenado.

- a. Dos cartuchos squib están en los puertos de descarga de cada botella extintora. La tubería de cada puerto de descarga a cualquiera de los motores es directa. Al detonar, el cartucho rompe un disco de retención en el puerto liberando el agente extintor.
- b. El interruptor de presión se cierra y activa las luces de descarga de la botella cuando ésta se descarga o la presión de la botella disminuye.
- c. El puerto de llenado está taponado por un disco de acero inoxidable que actúa como dispositivo de alivio de seguridad primario. El disco se rompe cuando la presión de la botella es de 2050 a 2150 psi a 70°F.

#### **11. Panel de control de incendios de motores y APU**

A. Los componentes del sistema de extinción de incendios de motores del panel de control de incendios de los motores son las manijas de los switches de incendios de los motores 1 y 2, las luces de descarga de las botellas izquierda y derecha, el switch de prueba y la luz de prueba de las botellas izquierda y derecha.

#### **B. Interruptores de incendio del motor**

12. Cuando se detecta un incendio en el motor, se enciende la luz de la manija del switch de incendio del motor. Un solenoide se energiza, liberando un enclavamiento mecánico en el eje de la manija del interruptor de incendio, al liberar el enclavamiento mecánico, la manija del interruptor de incendios se puede accionar tirando de la manija hacia afuera y girándola. Al girar la palanca libera el agente extintor de la botella indicada. Para volver a empujar la manija, debe estar en la posición central. La manija del switch de incendios se puede desbloquear manualmente pulsando el botón situado detrás de la manija.

### C. Luces de descarga de botellas

- Las luces son activadas por los presostatos. Cuando la botella se descarga o la presión de la botella disminuye, el presostato se cierra y se enciende la luz de descarga de la botella.

### D. Interruptor de prueba y luces de prueba

- El interruptor de prueba comprueba la continuidad de la botella del extintor. Cuando se ajusta a 1 o 2, además comprueba la continuidad del circuito a través del squib y las luces de prueba L y R se encienden si la prueba se ha realizado correctamente.

## ***Operación del sistema de extinción de incendios del motor***

A. Cuando se detecta un incendio en un motor, se enciende la luz de la manija del switch de incendios correspondiente. Un solenoide se energiza, liberando un enclavamiento mecánico en el eje de la manija. La manija es entonces operable. Cuando se tira de la manija del switch de incendio del motor, las botellas de extinción se arman para ese motor, el relé de campo del generador del motor y el circuit breaker del generador se disparan, la válvula de cierre de combustible del motor se cierra, la válvula de cierre hidráulica del motor se cierra, la válvula de aire de purga se cierra, la energía a la válvula de aislamiento del inversor de empuje del motor se corta, y las luces de advertencia hidráulicas se encienden. (Boeing, 2015)

B. Después de tirar de la manija del switch de incendios, al girarla se descarga el agente extintor en el motor correspondiente. Al girar la manija en sentido contrario a las agujas del reloj se descarga la botella izquierda. Si se gira en el sentido de las agujas del reloj, se descarga la botella derecha. Al disminuir la presión de la botella se activa el interruptor de presión, que enciende la luz de DESCARGA DE BOTELLA L o R correspondiente.

C. El agente extintor de incendios del motor puede descargarse a cualquiera de los motores desde cualquiera de las botellas; cada botella tiene un squib y un puerto de descarga para cada motor. Los tubos van desde las botellas a cada motor a través de los largueros de las alas. El agente extintor se descarga desde las boquillas de salida por encima del centro del motor.

### ***Sistema de extinción de incendios del APU***

El sistema de extinción de incendios de la APU tiene controles en dos ubicaciones que liberan una aplicación de agente extintor de incendios en el compartimiento de la APU. El sistema incluye la botella del extintor de incendios, el panel de control de incendios del motor y del APU, y el panel de control de tierra del APU. Este sistema recibe energía del bus de la batería caliente de 28 VDC a través del circuit breaker de la botella externa de extinción de incendios del APU en el panel de distribución de energía principal P6 (Boeing, 2015)

- **Botella extintora del APU**

A. La botella del extintor de APU se encuentra en la parte inferior derecha de la sección del empenaje. Incluye un squib, un interruptor de presión, un puerto de llenado y un puerto de descarga.

B. Al detonar, el squib rompe un disco de retención en el puerto de descarga liberando el agente extintor.

C. El agente extintor no es corrosivo y no dañará la APU. No se requieren procedimientos especiales de inspección o limpieza si el agente se descarga en el compartimiento de la APU cuando no hay fuego.

D. El interruptor de presión activa las luces de descarga de la botella cuando ésta se descarga o cae la presión.

E. El tapón del puerto de llenado es un tapón metálico con un núcleo metálico fusible que actúa como válvula de alivio de seguridad. Desde la válvula de alivio de seguridad en la botella, un tubo conduce a la piel inferior del fuselaje cerca de la botella donde está tapado con un disco indicador rojo.



Si la temperatura de la botella sube a aproximadamente 266°F, el núcleo fusible se fundirá y la presión de la botella romperá el disco indicador, vertiendo el agente extintor por la borda.

- **Panel de control de incendios del motor y APU**

A. Los componentes del sistema de extinción de incendios de la APU del panel de control de incendios del APU son la manija del switch de incendios, el switch de prueba del extintor, la luz de descarga de la botella y la luz de prueba del extintor de la APU.

Cuando se detecta un incendio en el compartimiento del APU, se enciende la luz de la manija del switch de incendio del APU. Un solenoide se energiza, liberando un enclavamiento mecánico en el eje de la manija del switch de incendio. Cuando se libera el enclavamiento, la manija del interruptor de incendios se puede accionar tirando de la manija hacia afuera y girándola. Al girarla, se libera el agente extintor. La manija del interruptor de incendios puede desbloquearse manualmente pulsando el botón situado detrás de la manija.

El interruptor de prueba del extintor, cuando se ajusta a 1 o 2, comprueba la continuidad del squib. La luz de prueba del extintor APU se ilumina si hay continuidad.

La luz de descarga de la botella APU está conectada al interruptor de presión. Cuando la presión de la botella cae, el interruptor de presión se cierra y la luz de descarga de la botella APU se enciende.

- **Panel de control de tierra del APU**

A. El panel de control de tierra del APU se encuentra en la bahía de la rueda derecha. Los componentes del panel de control en tierra del APU son la luz de incendio del APU, el interruptor de incendio y el interruptor de descarga de la botella. Cuando se detecta un incendio en el compartimiento de la APU, se enciende la luz de incendio de la APU y suena una bocina de advertencia. Al accionar el

interruptor de incendio se apaga la APU y se activa el interruptor de descarga de botellas. Al pulsar el interruptor de descarga de la botella se descarga la botella de incendios de la APU (Boeing, 2015).

### ***Operación del sistema de extinción de incendios del APU***

A. Cuando se detecta un incendio en el compartimiento de la APU, la manija del switch de incendio de la APU se desbloquea, por ende, se enciende y suena la campana de advertencia de incendio. La luz roja de incendio del APU en el panel de control de tierra del APU también se enciende.

B. Cuando se presiona la manija del switch de incendio de la APU, la APU se apaga automáticamente y la botella de extinción se arma; el relé de campo del generador de la APU y el disyuntor del generador se disparan; la válvula de cierre de combustible de la APU se cierra; la puerta de entrada de la APU se cierra; y la válvula de aire de purga se cierra.

C. Cuando la palanca del switch de incendios de la APU se gira en cualquier dirección (durante al menos un segundo), se dispara el squib, rompiendo el diafragma de sellado y liberando el agente extintor, fluyendo el agente extintor de la botella a la cubierta de la APU. La presión del agente extintor en la línea de descarga hace que el disco amarillo del indicador de descarga se desprenda, mostrando que el sistema se ha activado. Cuando la presión de la botella se aproxima a aproximadamente 250 psi, la luz de descarga de la botella del APU se ilumina, indicando que la botella del APU está descargada e inactiva.

- **Prueba del sistema de extinción APU**

*Prueba Squib:* Al presionar el interruptor EXT TEST se envía una señal al squib. Si el squib y la continuidad del circuito son buenos, se encenderá la luz de prueba del extintor APU en el panel.

## Capítulo III

### Desarrollo del tema

#### Descripción General

En el presente capítulo se describe los procedimientos que se llevaron a cabo para la implementación del panel de control del sistema de protección contra incendios del Motor y APU, como el chequeo operacional del sistema para su correcto funcionamiento en el simulador de vuelo de la aeronave Boeing 737-500, perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, siguiendo la tarea descrita en el AMM 26-21-00 conforme a su Task Card 26-21-00-715-001, literal D

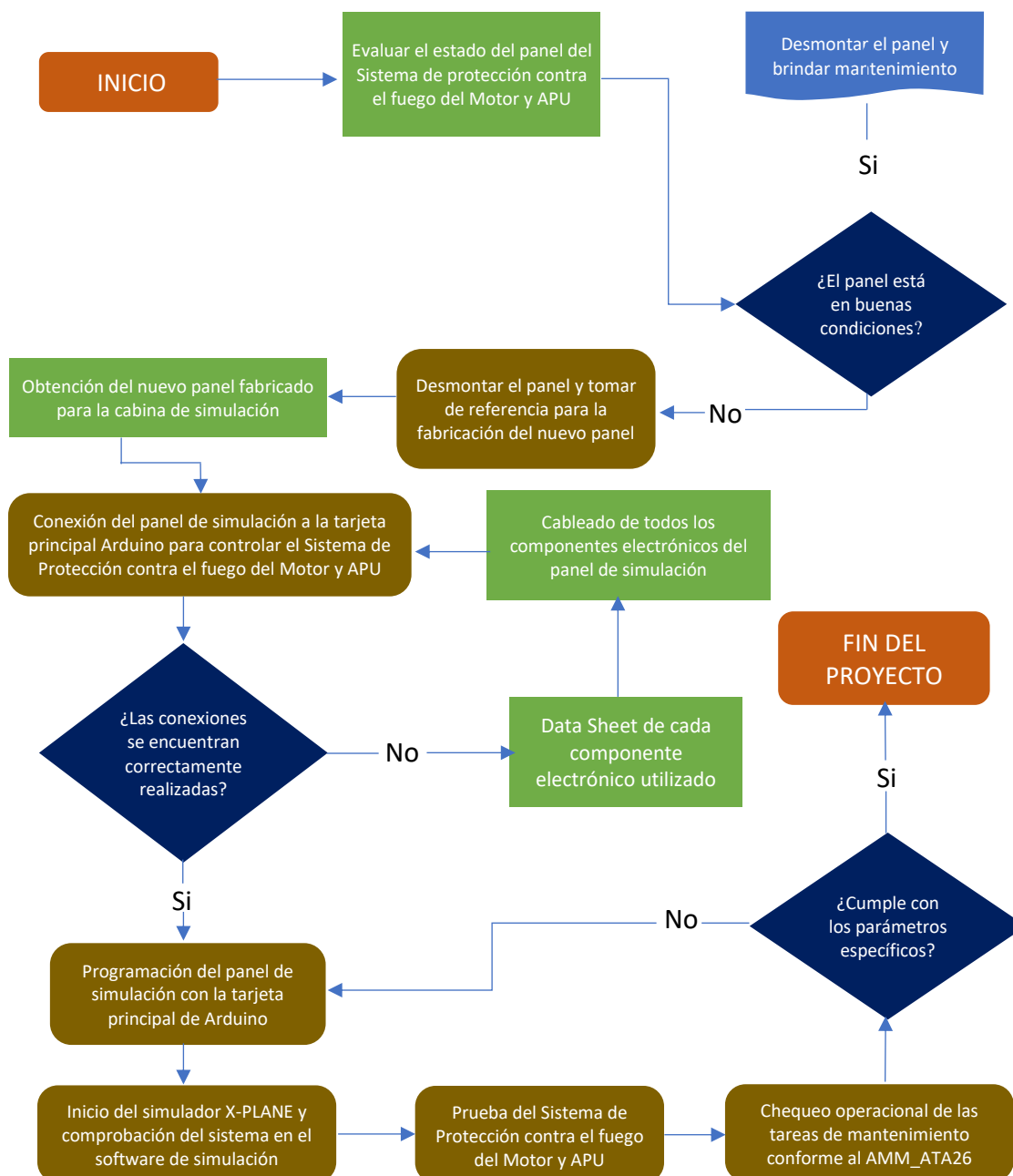
A través del chequeo operacional, se tiene por objetivo comprobar el funcionamiento adecuado de los componentes de conforman el sistema de detección y extinción del motor, logrando garantizar el trabajo apropiado del sistema, manteniendo un régimen adecuado de funcionamiento en el caso de presentarse situaciones de fuego, sobrecalentamiento, que lleguen a causar problemas tanto en vuelo como en tierra. Por lo tanto, este proyecto de titulación se lo desarrollo para lograr una interacción directa con el simulador de vuelo, tanto física como virtualmente, obteniendo resultados sistemáticos y cronológicos de una manera satisfactoria para la activación del panel.

#### **Descripción del procedimiento para la implementación del panel del sistema de protección contra inspección del Motor y APU.**

Para realizar el procedimiento de implementación del panel se tomó en cuenta, primero realizar un diagrama de flujo para conocer cómo se encuentra el panel y dar inicio a realizar los pasos adecuados de una manera sistemática evitando errores en su funcionamiento.

Figura 20

Diagrama de flujo del Sistema de Protección contra el fuego del Motor y APU en el simulador de vuelo



*Nota.* El diagrama de flujo muestra el procedimiento llevado a cabo para la implementación del Sistema de Protección contra el fuego del Motor y APU al simulador de vuelo Boeing 737-500.

### **Inspección y desmontaje del panel para la implementación del nuevo panel**

En primer lugar, se procede a realizar con una limpieza interior completa de cada uno de los componentes instalados en el simulador Boeing 737 y se verifica el esta físico como operativo del simulador y se dio constancia de que los componentes se encuentran en un estado adecuado. Lo que se pudo constar fue humedad en el interior debido a que la cabina se encuentra sometida a varias condiciones climáticas que varían constantemente.

#### **Figura 21**

*Apariencia Interior del simulador Boeing 737-500*



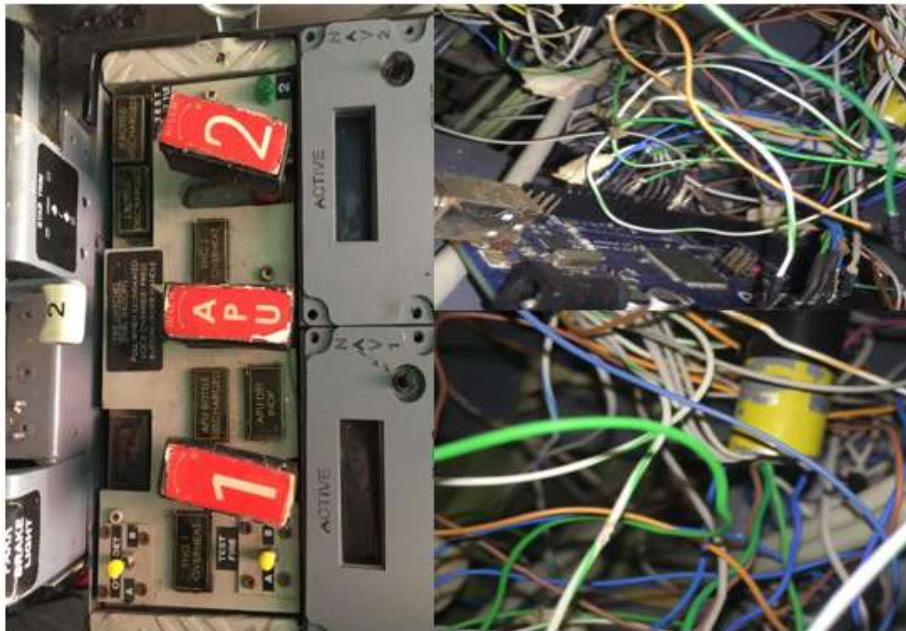
*Nota.* La imagen indica el interior de la cabina del simulador de vuelo Boeing 737-500 en un principio, en donde se pudo observar el adecuado estado de cada uno de los paneles y los equipos, la anomalía que se presentó fue la cabina es la presencia de humedad.

### ***Inspección del panel de sistema de protección de incendios del Motor y APU.***

Se da inicio con la inspección del panel del sistema de protección de incendios del Motor y APU en la que se puede observar el mal estado del panel, en que se encontró conexiones empatadas entre varios pedazos de cables, en deterioro, soldadura de componentes no adecuada, además de la ausencia de algunas conexiones, por lo cual, se ve necesario el remplazo del panel por completo ya que resultan todos los componentes obsoletos para el sistema y para los requisitos del mismo.

### **Figura 22**

*Inspección de los componentes y conexiones eléctricas del panel P8*



*Nota.* La imagen muestra el estado en el que se encuentra el Panel de protección contra incendios del Motor y APU, se evidencia conexiones empatadas, soldaduras de componentes inadecuada y ausencias de cables.

### ***Remoción y obtención de las dimensiones del panel***

Para que la cabina de simulación opere de una manera adecuada, se ve necesario remover el panel de una manera cuidadosa para evitar dañar sistemas a lados, a continuación, se toman las medidas adecuadas para adquirir un panel nuevo en excelentes condiciones que se encuentre su sistema más actualizado y cumpla con un nivel adecuado a los requerimientos de la cabina de simulación. El panel cuenta con las dimensiones de 26 cm x 11 cm, esto se procede enviar para su fabricación y la obtención de uno más actualizado.

### **Figura 23**

#### *Remoción y obtención de dimensiones del panel*



*Nota.* En la imagen se puede observar la obtención de las medidas del panel para la fabricación de uno nuevo que cuente con requerimientos adecuados y muestra cómo se desmonta el panel para liberar el espacio.

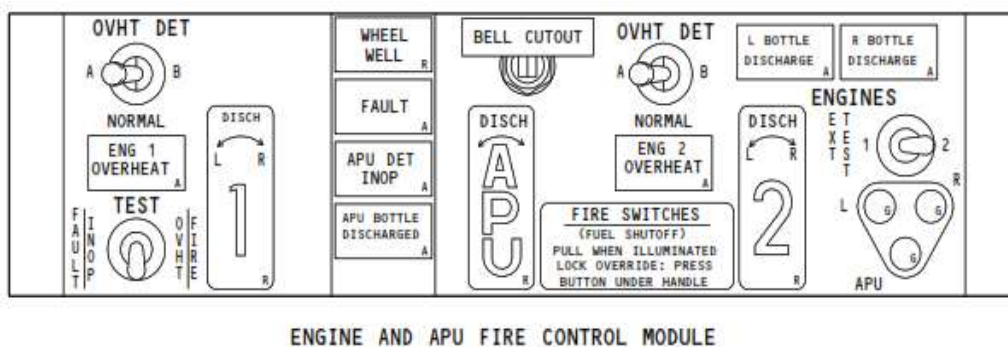
### **Obtención del nuevo panel fabricado para la cabina de simulación**

Para la fabricación de panel del sistema de protección de incendios del Motor y APU se tomó en referencia los manuales de mantenimiento acorde AMM\_26-00-00\_PAG\_1-2\_ DESCRIPCIÓN Y

OPERACIÓN. **VER ANEXO 1.** El manual menciona que debe contener específicamente los componentes para supervisar los sistemas de detección de incendios y sobrecalentamiento, para controlar y probar el sistema de extinción de incendios, haciendo más fácil su entendimiento para la fabricación del mismo.

**Figura 24**

*Referencia conforme al manual de mantenimiento del panel para su fabricación*



*Nota.* La imagen representa el panel de protección contra incendios del Motor y APU, conforme al manual de mantenimiento, tomado como referencia para la adquisición del nuevo panel a fabricar.

Tomado de (Boeing, 2015).

#### ***Adquisición del nuevo panel para su instalación***

El panel adquirido está fabricado de material acrílico de 2mm de espesor, este cuenta con todos sus componentes conforme al manual de mantenimiento, sus conexiones se presentan con los requerimientos adecuados y por último se adquiere el panel totalmente programado y desarrollado su prueba operacional antes de ser conectado los pines a la placa de Arduino MEGA 2560.



**Figura 25**

*Adquisición del nuevo panel fabricado*



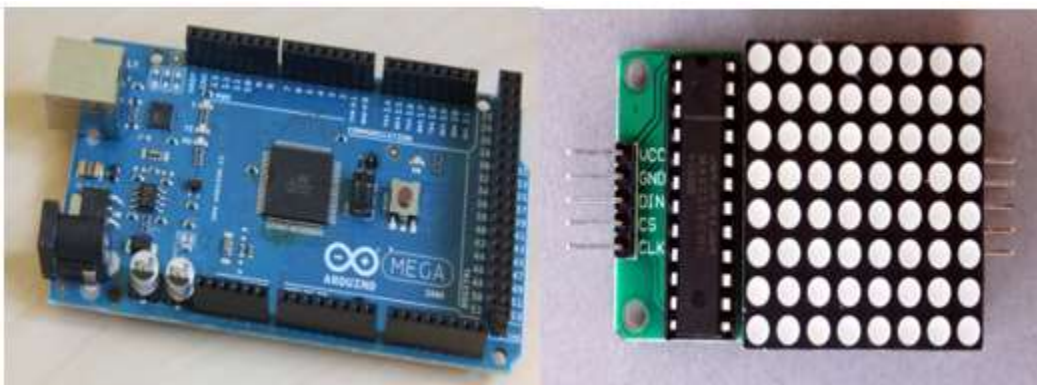
*Nota.* La imagen ilustra al panel de protección contra incendios del Motor y APU fabricado y probado por el fabricante, mostrando sus conexiones con los requerimientos adecuados para su instalación a la placa Arduino MEGA 2560.

### **Conexión de los componentes del panel a la placa Arduino**

Se procedió a realizar la instalación y conexión de los equipos electrónicos como el Arduino MEGA 2560 y el Módulo MAX7219 para permitir el control del software de los equipos instalados en la cabina de simulación y brindar la interfaz de comunicación virtual con la parte física. Estas serán las encargadas de controlar los componentes del panel de protección contra incendios. Para un funcionamiento adecuado, el Arduino y el módulo, deben estar energizados y conectados el cable de datos directo al puerto USB de la computadora, el cual facilita la lectura del Arduino en el software de simulación X-Plane 11 para brindar una adecuada operación del sistema.

**Figura 26**

*Arduino MEGA 2560 y Módulo MAX7219 listos para realizar su interfaz de conexión al panel*



*Nota.* La imagen muestra a los equipos electrónicos Arduino MEGA 2560 y Módulo MAX7219 para realizar la conexión con cada uno de los componentes del panel y facilitar la comunicación con X-Plane

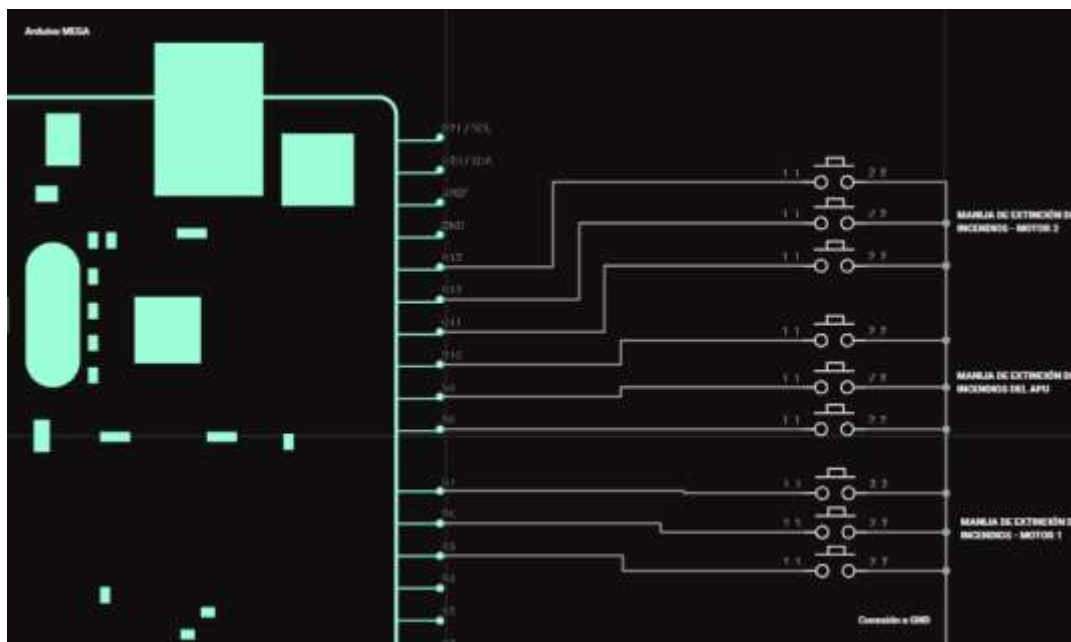
### ***Conexión de las manijas de los switches de incendios del motor 1 y 2 y el APU***

Para la conexión de los interruptores tipo carrera acorde a cada manija se toma en cuenta que por cada posición que se mueva la manija de los motores es una conexión de pin a la placa de Arduino, en este caso son 3 posiciones, la primera para accionar la manija al jalarla y desbloquearla, la segunda para descargar la botella derecha y la tercera para descargar la botella izquierda del agente extintor, en el caso del interruptor carrera del APU, la primera posición es para accionar la manija al jalarla y desbloquearla, la segunda y tercera posición en el caso del interruptor se podrá mover hacia la derecha o izquierda y descargar el agente extintor de solo una botella.

Al tener en claro sobre la operación de las manijas se procede a la conexión de los interruptores tipo carrera con el Arduino MEGA 2560, para el motor 1 desde el pin "D5, D6, D7" para el APU se conectan a los pines "D8, D9, D10" y por último para el motor 2 a los pines "D11, D12, D13" y por supuesto necesita una línea de "tierra común" esta se conecta a la placa Arduino que es el pin GND.

Figura 27

### Conexión de los switches carrera a la placa Arduino



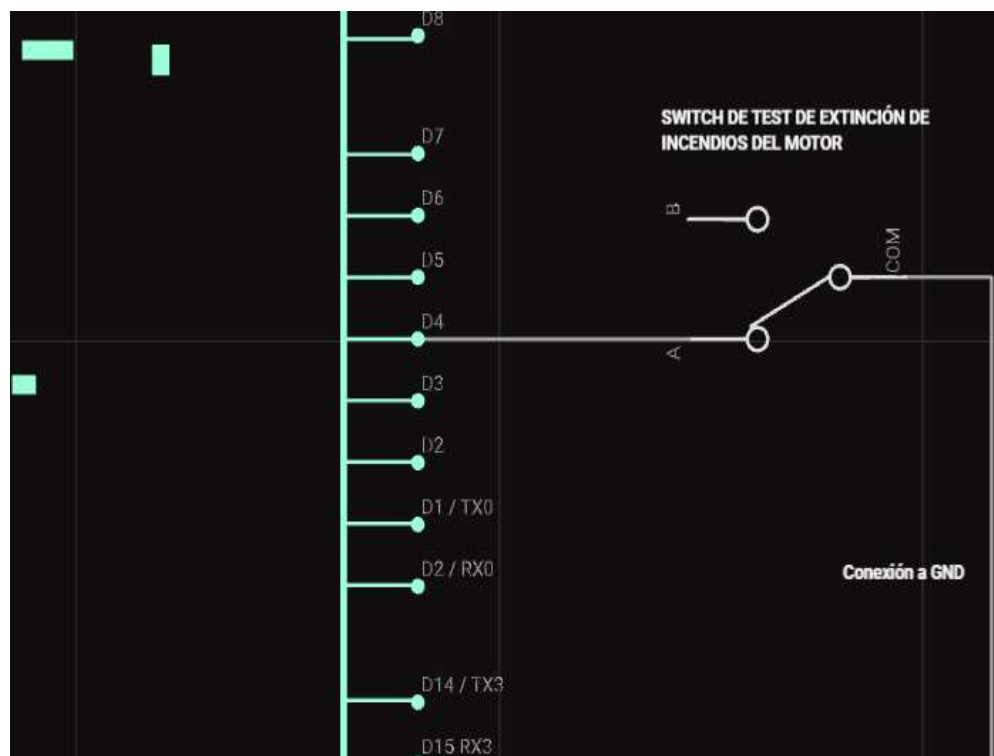
*Nota.* La imagen muestra el esquema de conexión entre los interruptores carrera y la placa Arduino en la que cada entrada corresponde a un pin diferente y cumpla con su función específica.

### Conexión del switch de TEST de extinción de los motores

Para la conexión se utiliza un switch de 2 posiciones. En el caso del switch de TEST de extinción de los motores la posición 1 para el motor 1 y la posición 2 para el motor 2. Al tener en claro sobre la operación del switch se procede a la conexión con el Arduino MEGA 2560. El switch se conecta al pin "D4" de la placa y a la tierra común que es el pin GND.

**Figura 28**

*Conexión del switch de test a la placa Arduino*



*Nota.* La imagen ilustra el esquema de conexión del switch de 2 posiciones que es el de TEST de extinción de los motores a la placa Arduino para su interfaz de comunicación.

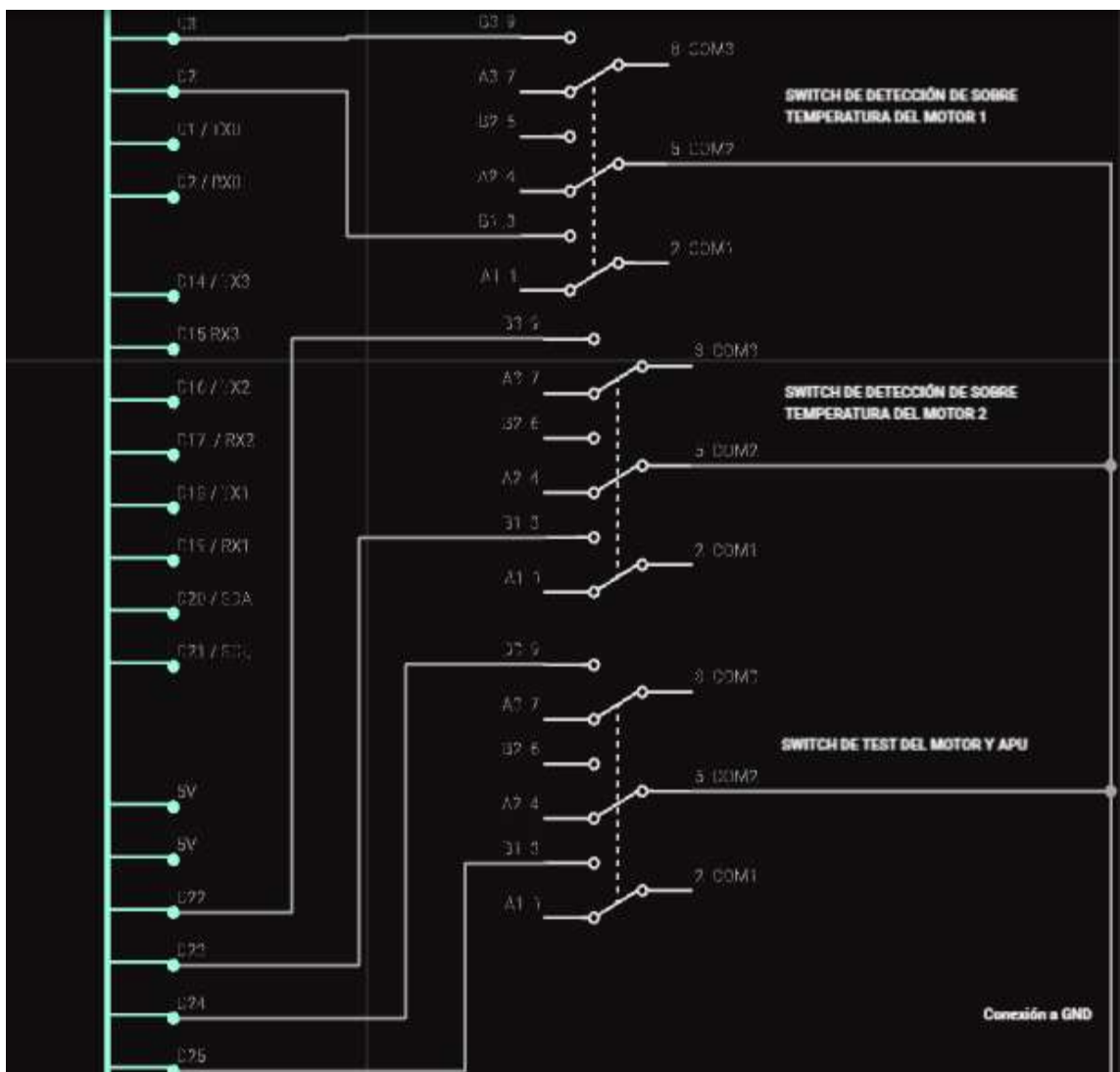
### ***Conexión de los switches de detección de sobre temperatura de los motores y TEST***

Para su conexión se utiliza un switch de 3 posiciones, estos 2 switch de detección de sobre temperatura se manejan de una forma similar, lo único que les diferencia es que uno es para el motor 1 y el otro para el motor 2. Para el motor 1 la posición 1 es Normal que permite que ambos loops funciones en lógica AND, la posición 2 es A y la posición 3 es B lo que realiza es que se activa un loop y se desactiva el otro. El mismo caso en el switch del motor 2. Para la conexión del switch del TEST del Motor y APU se utiliza uno de 3 posiciones la posición 1 es off la posición 2 es FAULT/INOP y la posición 1 es OVHT/FIRE.

Se procede a la conexión con de los switches con el Arduino MEGA, el switch de detección de sobre temperatura del Motor 1 se conecta el pin "D3, D2", el switch de detección de sobre temperatura del Motor 2 se conecta al pin "D22, D23", el switch de TEST se conecta al pin "D24, D25" y por último se le conecta los switches a la tierra común que es el pin GND.

**Figura 29**

*Conexión de los switches de sobre temperatura y TEST a la placa Arduino*



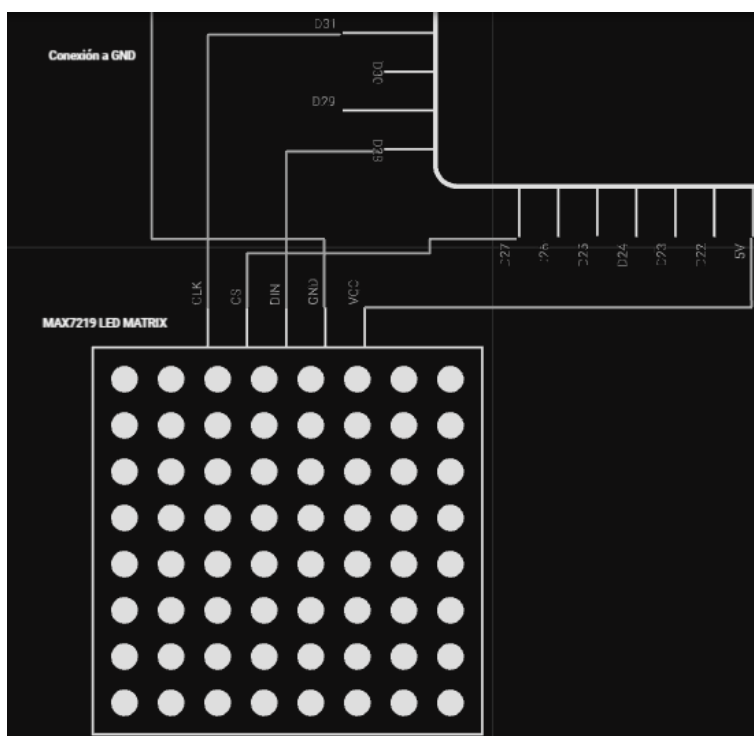
*Nota.* La imagen indica la conexión esquemática de los switches de detección de sobre temperatura de los motores y TEST, para una interfaz de comunicación con la placa Arduino.

### Conexión de leds

Los leds son componentes utilizados para indicar el encendido y apagado de las luces del sistema de protección contra el fuego del Motor y APU, que se mencionan a continuación, (ENG 1 OVERHEAT, WHEEL WELL, FAULT, APU DET INOP, APU BOTTLE DISCHARGE, BELL CUTOUT, ENGINE 2 OVERHEAT, L BOTTLE DISCHARGE, R BOTTLE DISCHARGE, luz de descarga de la botella del agente extintor del motor 1 y 2 y del APU).

### Figura 30

Conexión de leds mediante el Módulo MAX7219 y la placa Arduino MEGA



*Nota.* La imagen representa el diagrama de la conexión entre el controlador MAX7219 y la placa Arduino Mega, para permitir la activación de leds del sistema de protección contra incendios del Motor y APU.

Para su conexión se utiliza un controlador (MAX7219), su circuito integrado nos permite brindar una interfaz de control para que se permita el manejo mediante la tarjeta Arduino MEGA. El controlador proporciona 2 pines de alimentación, el primero es la línea de voltaje de 5V, la segunda línea es su tierra

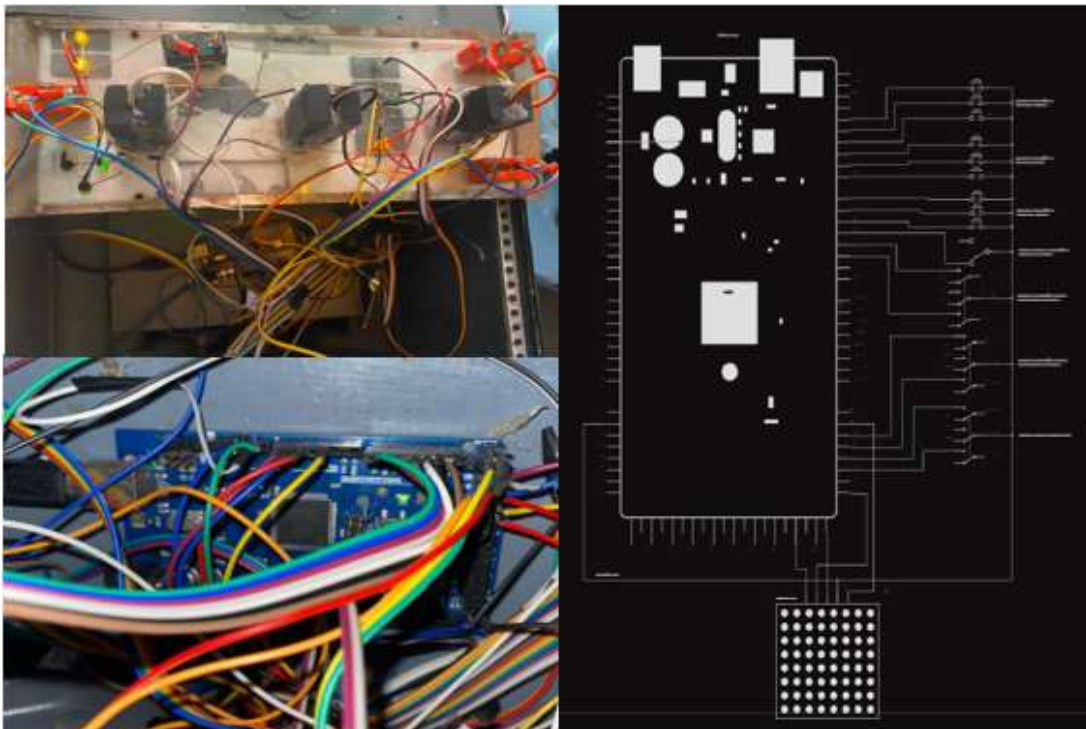
común GND, también cuenta con 3 pines de comunicación, la línea (DIN) se conecta al pin 28 de la placa, la línea (CS) se conecta al pin 27 y la línea (CLK) al pin 31 de la placa Arduino MEGA, esto permite controlar la matriz led mediante la comunicación maestro esclavo, donde la tarjeta Arduino es el maestro y la matriz es el esclavo.

### ***Conexión virtual y física de los componentes del panel***

Para el sistema de protección contra el fuego del motor y APU, se dio el uso del programa (FLUX AI) que brinda los esquemas completos para poder realizarlos de manera física las conexiones permitiendo la interfaz de comunicación del simulador física y virtualmente, para iniciar con sus pruebas respectivas.

### **Figura 31**

*Conexiones virtuales y físicas de los componentes del panel*



*Nota.* La imagen muestra el esquema virtual y las conexiones físicas que se realizaron a los componentes del panel para su simulación.



## Pruebas operativas del panel de protección contra el fuego del Motor y APU, conforme al Manual de mantenimiento ATA 26

Las pruebas operativas están ligadas a las tareas en las cuales los componentes del panel deben reflejar los parámetros reales de una forma fiel, conforme a los lineamientos establecidos en el manual de mantenimiento AMM – ATA26. El simulador estará ligado a pruebas funcionales para conocer fallos que puedan presentarse y corregirse en caso de ser necesario.

### *Prueba operativa del sistema de detección de incendios del motor*

A. Se puede realizar una prueba de continuidad del sistema de detección de incendios colocando el switch de TEST en la posición OVHT/FIRE. Los componentes de indicación de advertencia de incendio deben encenderse y luego apagarse cuando se suelta el interruptor. Cuando se activa el interruptor, se simula un incendio causando una condición de alarma.

**Figura 32**

*Operación del switch de TEST en la posición OVHT/FIRE*



*Nota.* La imagen muestra el test operativo del sistema de detección de incendios del motor, al colocar el switch de TEST en la posición OVHT/FIRE.



B. Se puede realizar una prueba del circuito de discriminación de fallas moviendo el interruptor TEST a FAULT/INOP. La luz inoperante del detector APU debe encenderse y luego apagarse cuando se suelta el interruptor.

**Figura 33**

*Operación del switch de TEST en la posición FAULT/INOP*



*Nota.* La imagen indica el test operativo del sistema, al colocar el switch de TEST en la posición FAULT/INOP.

***Prueba operativa del sistema de extinción de incendios del Motor***

A. Se puede realizar una prueba al sistema de extinción de los motores al tirar de la manija del switch de incendio del motor, las botellas de extinción se arman para ese motor, el relé de campo del generador del motor y el circuit breaker del generador se disparan.

**Figura 34**

*Operación de la manija de extinción de los motores al tirarla*



*Nota.* La imagen muestra, como se comporta la manija de extinción de los motores 1 y 2 al tirarla.

B. Después de tirar de la manija del switch de incendios, al girarla se descarga el agente extintor en el motor correspondiente. Al girar la manija en sentido contrario a las agujas del reloj se descarga la botella izquierda. Si se gira en el sentido de las agujas del reloj, se descarga la botella derecha.

**Figura 35**

*Operación de la manija de extinción de los motores al girarla y descargar el agente extintor*



*Nota.* La imagen indica como opera la manija de extinción al girarla a la izquierda o la derecha para descargar el agente extintor del motor 1 y 2.

C. Al disminuir la presión de la botella se activa el interruptor de presión, que enciende la luz de DESCARGA DE BOTELLA L o R correspondiente.

**Figura 36**

*Operación de la luz de descarga de las botellas del agente extintor*



*Nota.* La imagen muestra la operación de las luces de descarga de las botellas del agente extintor tanto izquierda como derecha del motor 1 y 2.



Procedimiento de prueba según la Task Card TASK #26 literal D de la aeronave Boeing 737.

### TASK CARD 26-21-00-715-001 – LITERAL D

#### Prueba de los circuitos Squib del motor

##### 1. Tareas de preparación para la prueba

- a. Se procedió a encender la aeronave mediante la planta externa y preparar la cabina de simulación de vuelo. **(VER ANEXO 2, MANUAL DE OPERACIÓN, (Proceso de encendido de la aeronave)).**
- b. Se alimenta todos los sistemas de la aeronave para iniciar con las pruebas y se verifica que todas las luces del panel P8-1 se encuentren apagadas.

#### Figura 38

*Suministro de energía eléctrica a la aeronave*



*Nota.* Esta imagen indica la conexión de la GPU para suministrar la energía eléctrica a la aeronave y además la prepara para iniciar con la prueba respectiva.

##### 2. Realice la prueba de los circuitos del squib del motor

- a. Se coloca y se mantiene presionado el interruptor EXT TEST en el panel de control de fuego del motor y APU P8-1, en la posición 1.

b. Se asegura de que sólo estas luces del panel P8-1 se encienden: R (verde), L (verde) y APU (verde)

**Figura 39**

*Operación del switch de EXT TEST en la posición 1*



*Nota.* La imagen muestra que luces se encienden al colocar el switch de EXT TEST en la posición 1.

a. Después de haber verificado que las luces se encuentren operando correctamente se procede a soltar el interruptor EXT TEST.

b. Nos aseguramos de que todas las luces del panel P8-1 se apagan.

**Figura 40**

*Operación del switch EXT TEST al regresarlo a su normalidad*



*Nota.* La imagen indica la operación del switch de EXT TEST al regresarlo a su normalidad, nos demuestra que las luces del panel P8-1 se apagan.

a. Al realizar la primera prueba, nos procedemos a situar en la posición 2 y mantener pulsado el interruptor EXT TEST del panel P8-1.

b. Nos aseguramos de que sólo se enciendan estas luces en el panel P8-1: R (verde), L (verde), APU (verde).

### Figura 41

*Operación del switch de EXT TEST en la posición 2*



*Nota.* La imagen muestra que luces se enciendan al colocar el switch de EXT TEST en la posición 2.

a. Al verificar que las luces operan correctamente, soltamos el switch de EXT TEST, de la posición 2.

b. Nos aseguramos de que todas las luces del panel P8-1 se apagan.

### Figura 42

*Operación del switch EXT TEST al colocarlo en su posición habitual*



*Nota.* La imagen indica la operación del switch de EXT TEST al regresarlo a su normalidad, se puede observar que las luces del panel P8-1 se apagan.

## Capitulo IV

### Conclusiones y recomendaciones

#### Conclusiones

- Por medio de la información técnica necesaria de los manuales de mantenimiento en el ATA 26, se logró indagar y analizar el diseño del panel y su operación, en el cual brindo procedimiento adecuados de emergencia, practicas seguras para tomar en cuenta al momento de realizar las pruebas necesarias, lo que refleja la prioridad de garantizar vuelos seguros, y por último el manual proporciono una información estructurada y detallada que respalde el aprendizaje continuo y necesario para optimizar la eficiencia operativa del simulador.
- La implementación del panel de protección contra incendios del Motor y APU en el simulador de la aeronave Boeing 737-500 se realizó con éxito, al lograr la interacción virtual - física, ofrece una plataforma muy valiosa para un entrenamiento específico, realista y efectivo, la mejora constante y la preparación para situaciones de emergencia, permitiendo recrear escenarios específicos y más adaptados para adquirir experiencias practicas al contribuir a la mitigación rápida y eficiente de ya sea incendio, sobrecalentamiento en los motores y APU.
- Para finalizar se realizaron las pruebas operacionales correspondiente al Panel P8 conforme al manual de mantenimiento AMM 26-21-00 acorde a la Task Card 26-21-00-715-001, en el simulador de la aeronave Boeing 737-500, en el cual al momento de realizar una verificación detallada opera conforme a lo esperado, las pruebas demostraron que el panel cumple con los requisitos necesarios para operarlos y su funcionalidad efectiva aseguro una respuesta rápida ante posibles amenazas de incendios o sobrecalentamiento en el motor y la APU, confirmando que el sistema está en perfectas condiciones para el uso de la institución.



## Recomendaciones

- Es importante mantener un registro de todas las sesiones de entrenamiento y de cualquier problema que se llegue a presentar durante las pruebas, la documentación recopilada será muy importante para realizar el seguimiento del rendimiento del simulador, para realizar mejoras continuas en el caso que se requiera, garantizando mantener con la última tecnología y procedimiento operativos.
- Se recomienda realizar un programa de mantenimiento preventivo al simulador y al panel P8, debido a que se encuentra humedad, lo cual, llegaría a dañar a varios componentes electrónicos, estas actividades permitirían garantizar un funcionamiento continuo y confiable, proporcionando un entrenamiento seguro y realista.
- Se debe seguir de una manera rigurosa todos los procedimientos dictados por el manual de mantenimiento, para evitar errores en el sistema y se facilite una operación segura y una mejor comprensión del sistema de protección contra el fuego del Motor y APU, esto brindará un óptimo funcionamiento del sistema y dará la facilidad de aprovechar sus beneficios en términos de entrenamiento y preparación.



## Bibliografía

- Aerosoft Gmbh. (2017). *Flight Simulator X-Plane 11*. Obtenido de X-Plane 11 Desktop Manual:  
<https://www.x-plane.com/wp-content/uploads/2017/04/X-Plane-11.0-Desktop-Manual.pdf>
- Albert J. Rehmann, M. C. (16 de Diciembre de 1995). *A HANDBOOK OF FLIGHT SIMULATION FIDELITY REQUIREMENTS FOR HUMAN FACTORS RESEARCH*. Obtenido de U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA303799.pdf>
- Alina Hang, F. H. (10 de Septiembre de 2012). *USER BEHAVIOR*. Obtenido de An overview of current research dealing with user behavior:  
<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=9c2ec6cd187c66dbc7a54d8d558e4ce47a7e5b94#page=71>
- Allerton, D. (2009). *Principles of Flight Simulation*. West Sussex: A John Wiley and Sons, Ltd.
- Aviation Safety and Training PTE. (11 de Septiembre de 2021). *Avik Aviation Consulting - Pilot Recruitment Service*. Obtenido de Training Device: Airbus A320 IPT: <https://haite.com.sg/wp-content/uploads/2021/11/Haite-IPT-SPEC.pdf>
- Bernard, M. (2012). Real Learning through Flight Simulation. *The ABCs of ATDs*, 3.
- Blogspot. (13 de Junio de 2023). *Aviation*. Obtenido de Boeing 737-500: <http://aviation-zone.blogspot.com/2007/09/boeing-737-500.html>
- Boeing. (25 de Marzo de 2015). *Fire Protection - ATA 26*. Obtenido de Boeing: <https://www.boeing.com/>
- Boeing Commercial Airplanes. (01 de Octubre de 2005). *737 Airplane Characteristics*. (Boeing, Ed.)  
 Recuperado el 13 de Junio de 2023, de 737 Airplane Characteristics for Airport Planning:  
[https://archive.aoe.vt.edu/mason/Mason\\_f/B737.pdf](https://archive.aoe.vt.edu/mason/Mason_f/B737.pdf)

CAE Simfinity. (17 de Mayo de 2023). *Manualzz the universal manuals library*. Obtenido de CAE Simfinity  
- Integrated Procedures Trainer: <https://manualzz.com/download/43361764>

Corbo, A. (29 de Diciembre de 2022). *Built in*. Obtenido de What Is Java?: <https://builtin.com/software-engineering-perspectives/java>

Coursera. (15 de Junio de 2023). *Coursera*. Obtenido de What Is Python Used For? A Beginner's Guide:  
<https://www.coursera.org/articles/what-is-python-used-for-a-beginners-guide-to-using-python>

Daeil jo, Y. J. (17 de Mayo de 2017). Desarrollo del sistema aéreo Jet Training FTD. *Revista mundial de ingeniería y tecnología*, 13.

Dedienne Aerospace . (16 de Agosto de 2022). *Dedienne Aerospace* . Obtenido de CFM56-3 ENGINE  
STAND: <https://dedienne-aero.com/p-i/cfm56-3/>

Dennis A. Vincenzi, J. A. (2009). *Human Factors in Simulation and Training*. Boca Raton: by Taylor &  
Francis Group, LLC .

European Aviation Safety Agency. (12 de Julio de 2012). *Certification Specifications for Aeroplane Flight  
Simulation*. Obtenido de EASA PRO: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/agency-decisions/ed-decision-2012010r>

Flight Sim Wiki. (25 de Julio de 2023). *Flight Simulator*. Obtenido de X-Plane 11:  
[https://flight.fandom.com/wiki/X-Plane\\_11#:~:text=6.3%20SteamOS%20%2B%20Linux-,Summary,lighting%2C%20sounds%2C%20and%20explosions.](https://flight.fandom.com/wiki/X-Plane_11#:~:text=6.3%20SteamOS%20%2B%20Linux-,Summary,lighting%2C%20sounds%2C%20and%20explosions.)

Flight Simulators UK. (16 de Mayo de 2023). *Flight Simulators UK*. Obtenido de Simulador de vuelo BITD  
aprobado por EASA Elite: <https://flight-simulators.co.uk/acatalog/Elite-EASA-Approved-BITD-Flight-Simulator-380.html>

- Gleim Aviation. (2023). *Logging Time In The Gleim Virtual Cockpit® BATD*. Gainesville: Gleim Publications.
- Home Cockpit Simulator Interface. (29 de Julio de 2023). *RealSim Control Software*. Obtenido de Input/Output Control Interface for Simulator Cockpits: <https://realsimcontrol.com/index.html>
- INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. (2015). *Manual of Criteria for the Qualification of Flight Simulation Training Devices* (Vol. Fourth). Montreal, Quebec, C nada :   ICAO 2015.
- Ivan Koblen, J. K. (2012). Selected information on flight simulators - main requirements, categories and their development, production and using for flight crew training in the both Slovak Republic and Czech Republic conditions. *INCAS BULLETIN*, 14.
- Lufthansa, LAN. (26 de Agosto de 2005). *Lufthansa Technical Training*. Obtenido de Boeing 737-300/400/500 ATA 71-80 Power Plant: <https://pdfcoffee.com/b737-3-71-80-b1-e-jun2005-cmp-pdf-free.html>
- M. Taylan Das, I. K. (11 de Enero de 2019). *Muhendislik Fakultesi*. Obtenido de Mathematical Modeling and Simulation of Full Flight Helicopter Simulator: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/649637>
- McHaney, R. (2009). *Understanding Computer Simulation*. BookBoon. Recuperado el 26 de 06 de 2023, de <https://library.ku.ac.ke/wp-content/downloads/2011/08/Bookboon/IT,Programming%20and%20Web/understanding.pdf>
- OACI . (2015). *Manual of Criteria for the Qualification of Flight Simulation Training Devices*. Quebec: INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION.
- OACI. (2015). *ICAO*. Obtenido de Manual of Criteria for the Qualification of Flight Simulation Training Devices: <http://www.icacc.org.cn/upload/file/20190102/Doc.9625->

EN%20Manual%20of%20Criteria%20for%20the%20Qualification%20of%20Flight%20Simulation  
%20Training%20Devices%20Volume%20I%20-%20Aeroplanes.pdf

Petar Andraši, D. N. (15 de Junio de 2016). *Institute Ruder Boskovic*. Obtenido de ERGONOMIC ASPECT  
OF LCD DISPLAY PANELS IN FLIGHT TRAINING DEVICES:

[https://www.bib.irb.hr/826537/download/826537.Andrasi\\_Petar\\_Paper.pdf](https://www.bib.irb.hr/826537/download/826537.Andrasi_Petar_Paper.pdf)

Rivera, E. R. (12 de Julio de 2023). *PDFCOFFEE*. Obtenido de ATA 49 GTCP85-129:

<https://pdfcoffee.com/ata-49-aps3200pdf-pdf-free.html>

Rui Pereira, M. C. (2021). *Ranking Programming Languages by Energy Efficiency*. Universidade do  
Minho, Portugal, Departamento de Ingenieria Informatica. Porto: Elseiver. Recuperado el 26 de  
07 de 2023, de <https://haslab.github.io/SAFER/scp21.pdf>

U.S. Department U.S. Department Federal Aviation Administration. (2014). *FAA Approval of Aviation  
Training Devices and Their Use for Training and Experience - AC 61-136A*. Washington D.C.: U.S.  
Department U.S. Department Federal Aviation Administration.

Universidad Aeronáutica Embry-Riddle. (15 de Abril de 2023). *Embry-Riddle Aeronautical University*.  
Obtenido de Advanced Flight Training Device: Paradigm Cessna 172 AATD:  
<https://prescott.erau.edu/about/fleet/paradigm-cessna-172-aatd>

## Anexos