



**Chequeo operacional del sistema eléctrico del Motor CFM56-3 mediante el uso del Manual de Mantenimiento ATA- 24, en el simulador de la aeronave Boeing 737-500, perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.**

Ruiz Chauca, Lesly Amanda

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Tecnología en Mecánica Aeronáutica Mención Aviones

Monografía, previo a la obtención del Título de Tecnología en Mecánica Aeronáutica

Mención Aviones

Ing. Inca Yajamín, Gabriel Sebastián


19 de agosto del 2021



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES**  
**CERTIFICACIÓN**

Certifico que la monografía **“Chequeo operacional del sistema eléctrico del Motor CFM56-3 mediante el uso del Manual de Mantenimiento ATA- 24, en el simulador de la aeronave Boeing 737-500, perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE”** fue realizado por la señorita **Ruiz Chauca, Lesly Amanda** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 19 de agosto del 2021

  
\_\_\_\_\_  
**Ing. Inca Yajamín, Gabriel Sebastián**

C.C.: 1722580329

**REPORTE DE VERIFICACIÓN****Urkund Analysis Result**

Analysed Document: RUIZ\_CHAUCA\_LESLY\_AMANDA.pdf (D111264975)  
Submitted: 8/14/2021 12:04:00 AM  
Submitted By: laruiz2@espe.edu.ec  
Significance: 1 %

**Sources included in the report:**

Monografia-Espin Diego.pdf (D111231890)  
JARRIN CAMPOVERDE DANIEL FRANCISCO.pdf (D111261141)  
<https://docplayer.es/24642595-Sistema-electrico-de-los-aviones.html>

**Instances where selected sources appear:**

5

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Gabriel Sebastián Inca Yajamín". The signature is written in a cursive style and is positioned above a horizontal line.

**Ing. Inca Yajamín, Gabriel Sebastián**

C.C.: 1722580329



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES**  
**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo **Ruiz Chauca, Lesly Amanda**, con cedula de ciudadanía **N°1004544860**, declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **“Chequeo operacional del sistema eléctrico del Motor CFM56-3 mediante el uso del Manual de Mantenimiento ATA- 24, en el simulador 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, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 19 de agosto del 2021

---

**Ruiz Chauca, Lesly Amanda**

C.C.: 1004544860



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES**  
**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

Yo **Ruiz Chauca, Lesly Amanda**, con cedula de ciudadanía N° **1004544860** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía **“Chequeo operacional del sistema eléctrico del Motor CFM56-3 mediante el uso del Manual de Mantenimiento ATA- 24, en el simulador 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.

Latacunga, 19 de agosto del 2021

---

**Ruiz Chauca, Lesly Amanda**

C.C.: 1004544860

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a Dios, a mi familia en especial a mi madre y a mi hermano, y a todas las personas que me han apoyado y han hecho que esto sea posible.

**Ruiz Chauca, Lesly Amanda**

## **AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento a Dios por todo en mi vida, a mi madre por su esfuerzo diario, su dedicación, su gran ejemplo, su amor y por brindarme la herramienta más importante para enfrentar la vida, la educación, a mi hermano quien siempre ha estado a mi lado apoyándome, a mis maestros y compañeros quienes fueron un gran aporte para mi formación.

Gracias.

**Ruiz Chauca, Lesly Amanda**

<b>Tabla de contenidos</b>	
<b>Carátula.....</b>	<b>1</b>
<b>Certificación.....</b>	<b>2</b>
<b>Reporte de verificación.....</b>	<b>3</b>
<b>Autoría de responsabilidad .....</b>	<b>4</b>
<b>Autorización de publicación.....</b>	<b>5</b>
<b>Dedicatoria.....</b>	<b>6</b>
<b>Agradecimiento .....</b>	<b>7</b>
<b>Tabla de contenidos.....</b>	<b>8</b>
<b>Índice de figuras.....</b>	<b>11</b>
<b>Índice de tablas .....</b>	<b>13</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>14</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>15</b>
<b>Planteamiento del problema de investigación .....</b>	<b>16</b>
<b>Antecedentes .....</b>	<b>16</b>
<b>Planteamiento del problema .....</b>	<b>17</b>
<b>Justificación.....</b>	<b>18</b>
<b>Objetivos .....</b>	<b>19</b>
<b><i>Objetivo General.....</i></b>	<b>19</b>
<b><i>Objetivos Específicos .....</i></b>	<b>19</b>
<b>Alcance.....</b>	<b>19</b>
<b>Marco Teórico.....</b>	<b>20</b>



Orígenes de los Simuladores de Vuelo .....	20
Tipos de simuladores de vuelo .....	22
<i>(CPT) Cockpit Procedures Trainer</i> .....	22
<i>(ATD) Aviation Training Device</i> .....	23
<i>(BITD) Basic Instrument Training Device</i> .....	24
<i>(FNPT) Flight Navigation Procedures Trainer</i> .....	24
<i>(FTD) Flight Training Device</i> .....	25
<i>(FFS) Full Flight Simulator</i> .....	26
Normativa de los simuladores de vuelo .....	27
Orígenes del sistema eléctrico en aeronaves .....	28
Generalidades del sistema eléctrico .....	29
Sistema Eléctrico de la Aeronave Boeing 737-500 .....	31
Sistema de generación de potencia .....	33
<i>Sistemas de generación alterna</i> .....	33
<i>Sistemas de corriente continua</i> .....	36
Sistema de distribución de potencia .....	39
<i>Distribución de energía de 115 voltios AC</i> .....	40
<i>Distribución de energía de 28 voltios AC</i> .....	40
<i>Distribución de energía de 28 voltios DC</i> .....	41
<i>Sistema de energía STANDBY</i> .....	41
Unidades de protección y control del sistema eléctrico .....	41

<i>Unidad de control del generador (GCU)</i> .....	41
<i>Controles manuales del sistema eléctrico</i> .....	42
Operación del sistema eléctrico .....	47
Softwares de simulación de vuelo.....	48
<i>X-Plane 11</i> .....	48
<i>Microsoft Flight Simulator X</i> .....	49
<i>FlightGear Flight Simulator (FGFS)</i> .....	50
Desarrollo del tema .....	52
Introducción .....	52
Selección del Software de Simulación .....	52
Restauración de la cabina de simulación. ....	53
<i>Adecuación externa e interna de la cabina de simulación.</i> .....	55
<i>Configuración de paneles de la cabina de simulación</i> .....	58
Prueba funcional del sistema eléctrico de los generadores AC.....	62
Conclusiones y recomendaciones.....	84
Conclusiones .....	84
Recomendaciones .....	86
Bibliografía.....	92
Anexos .....	94

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> <i>Simulador de vuelo “Sanders Teacher”</i> .....	21
<b>Figura 2</b> <i>Simulador de vuelo “Link Trainer”</i> .....	21
<b>Figura 3</b> <i>(CPT) Cockpit Procedures Trainer</i> .....	23
<b>Figura 4</b> <i>(ATD) Aviation Training Device</i> .....	24
<b>Figura 5</b> <i>(FNPT) Flight Navigation Procedure Trainer</i> .....	25
<b>Figura 6</b> <i>(FTD) Flight Training Device</i> .....	26
<b>Figura 7</b> <i>(FFS) Full Flight Simulator</i> .....	27
<b>Figura 8</b> <i>Esquema del Sistema Eléctrico Simplificado</i> .....	31
<b>Figura 9</b> <i>Esquema del Sistema Eléctrico de la Aeronave Boeing 737 -500</i> .....	32
<b>Figura 10</b> <i>Sistema CSD</i> .....	34
<b>Figura 11</b> <i>Sistema VSCF</i> .....	35
<b>Figura 12</b> <i>Sistema de Generación AC Boeing 737-500</i> .....	36
<b>Figura 13</b> <i>Sistema de Generación DC y Unidades de Conversión de Energía</i> .....	39
<b>Figura 14</b> <i>Electrical Meters/Galley Power Module (P5-13)</i> .....	44
<b>Figura 15</b> <i>Generator Drive and Standby Power Module (P5-5)</i> .....	45
<b>Figura 16</b> <i>AC System Generator and Apu Module (P5-4)</i> .....	47
<b>Figura 17</b> <i>Proceso de Restauración de la Cabina de Simulación</i> .....	54
<b>Figura 18</b> <i>Proceso de Adecuación Externo de la Cabina De Simulación</i> .....	56
<b>Figura 19</b> <i>Proceso de Adecuación Interna de la Cabina de Simulación</i> .....	57
<b>Figura 20</b> <i>Estructura Simplificada del Sistema</i> .....	59
<b>Figura 21</b> <i>Selección de Entradas / Salidas y Extensiones</i> .....	60
<b>Figura 22</b> <i>Flujograma de Configuración Conexión y Evaluación</i> .....	61
<b>Figura 23</b> <i>Conexión de Planta Externa</i> .....	63

<b>Figura 24</b> <i>Evidencia de Encendido de Luces</i> .....	64
<b>Figura 25</b> <i>Valores de Voltaje y Frecuencia de la Potencia Externa sin cargas</i> .....	65
<b>Figura 26</b> <i>Encendido de la APU</i> .....	66
<b>Figura 27</b> <i>Valores de Voltaje y Frecuencia de la APU sin cargas</i> .....	66
<b>Figura 28</b> <i>Energización de las Barras AC con APU Gen No. 1</i> .....	67
<b>Figura 29</b> <i>Energización de las Barras AC con APU Gen No. 2</i> .....	67
<b>Figura 30</b> <i>Luces de Drive No. 1 Y 2 encendidas</i> .....	68
<b>Figura 31</b> <i>Valores de Voltaje y Frecuencia de la APU con Cargas</i> .....	69
<b>Figura 32</b> <i>Procedimiento de Prueba de circuitos de la APU</i> .....	70
<b>Figura 33</b> <i>Transferencia de Energía desde la de APU a la Energía Externa</i> .....	72
<b>Figura 34</b> <i>Valores de Voltaje y frecuencia de La GRD PWR con carga.</i> .....	72
<b>Figura 35</b> <i>APU GEN NO. 1 Y 2 en la posición encendido “ON”</i> .....	73
<b>Figura 36</b> <i>Luz Drive No 1 apagada</i> .....	74
<b>Figura 37</b> <i>Valores de Voltaje y Frecuencia de Gen 1 sin carga</i> .....	74
<b>Figura 38</b> <i>Luz de Drive No. 2 apagada</i> .....	75
<b>Figura 39</b> <i>Valores de Voltaje y Frecuencia de Gen 2 sin carga</i> .....	76
<b>Figura 40</b> <i>Conexión del Generador del motor 1</i> .....	76
<b>Figura 41</b> <i>Conexión del Generador del motor 2</i> .....	77
<b>Figura 42</b> <i>Prueba de los circuitos de control de los generadores principales.</i> .....	78
<b>Figura 43</b> <i>Conexión de planta externa “GRD PWR”</i> .....	80
<b>Figura 44</b> <i>GEN 1 en posición encendido “ON”</i> .....	80
<b>Figura 45</b> <i>GEN 2 a posición encendido “ON”</i> .....	81
<b>Figura 46</b> <i>Conexión del APU GEN No. 1</i> .....	81
<b>Figura 47</b> <i>Conexión del APU GEN No. 2</i> .....	82

**Índice de tablas**

<b>Tabla 1</b> <i>Características del Software de Simulación X-Plane 11</i> .....	49
<b>Tabla 2</b> <i>Características del Software de Simulación Microsoft Flight Simulator X</i> .....	50
<b>Tabla 3</b> <i>Características del Software de Simulación Flightgear Flight Simulator</i> .....	51
<b>Tabla 4</b> <i>Ponderación de las Características De Softwares De Simulación</i> .....	53
<b>Tabla 5</b> <i>Tabla de Materiales Equipos y Herramientas (adecuación interna y externa)</i> ...	55
<b>Tabla 6</b> <i>Tabla de Materiales (configuración de paneles)</i> .....	58

## Resumen

Este proyecto cuyo propósito es realizar el chequeo operacional del Sistema Eléctrico del motor CFM56-3, en el simulador de vuelo de la aeronave Boeing 737-500, perteneciente Universidad de las Fuerzas Armadas muestra información general sobre simuladores de vuelo y explica brevemente los equipos y componentes que forman parte del sistema eléctrico incluyendo los sistemas de generación y distribución de energía eléctrica en aeronaves, y de manera específica de la aeronave Boeing 737, también detalla el proceso de restauración de la cabina de simulación reparación estructural externa e interna, implementación de equipos y paneles de control y habilitación de los mismos mediante el configurador de SimVimCockpit / Hcsci un software de simulación que permite integrar el hardware con simulador de vuelo X-Plane haciendo posible la configuración de salidas simples de led, módulos led de 7 segmentos, servo motor, pantallas LCD así mismo elementos de entrada como interruptores y codificadores, permitiendo recrear cualquier panel de la cabina de una aeronave. Por otra parte, también detalla pruebas funcionales de la cabina de simulación y procedimientos de comprobación de la operatividad del sistema eléctrico de los generadores del motor, la unidad de potencia auxiliar APU y planta externa GPU de acuerdo al Manual de Mantenimiento de la aeronave simulada ATA 24-21-00.

Palabras clave:

- **ATA 24-21-00**
- **BOEING 737-500**
- **MOTOR CFM56-3**
- **SIMVIMCOCKPIT / HCSCI**
- **X-PLANE**

## **Abstract**

This project, whose purpose is to perform the operational check of the CFM56-3 Engine Electrical System, in the flight simulator of the Boeing 737-500 aircraft, belonging to the Universidad de las Fuerzas Armadas, shows general information about flight simulators and briefly explains the equipment and components that are part of the electrical system including the generation and distribution systems of electrical energy in aircraft, and specifically of the Boeing 737 aircraft, it also details the restoration process of the simulation cabin, external and internal structural repair, implementation of equipment and control panels and enabling them through the SimVimCockpit / Hcsci configurator, a simulation software that allows integrating the hardware with the X-Plane flight simulator, making it possible to configure simple LED outputs, 7-segment LED modules, servo motor , LCD displays as well as input elements such as switches and encoding res, allowing you to recreate any panel of the cockpit of an aircraft. On the other hand, it also details functional tests of the simulation cabin and procedures for checking the operation of the electrical system of the engine generators, the auxiliary power unit APU and external plant GPU according to the Maintenance Manual of the simulated aircraft ATA 24-21-00

Keywords:

- **ATA 24-21-00**
- **BOEING 737-500,**
- **CFM56-3 ENGINE**
- **SIMVIMCOCKPIT / HCSCI**
- **X-PLANE**

## Capítulo I

### 1. Planteamiento del problema de investigación

#### 1.1 Antecedentes

El uso de herramientas de simulación ha representado un elemento indispensable para el entrenamiento de pilotos y personal técnico dentro del campo aeronáutico puesto que permiten simular el funcionamiento de un sistema en condiciones específicas de falla y debido a que resulta casi imposible reproducir situaciones parecidas de manera directa debido al riesgo y al costo que esto involucra, al mismo tiempo permite analizar el comportamiento humano al momento de realizar las acciones requeridas para recuperar el control de la aeronave.

A lo largo de la historia se ha ido desarrollando un sin número de alternativas para subsanar el problema de exponer al personal y a la aeronave a riesgos reales, convirtiendo a los simuladores de vuelo en la mejor alternativa ya que son capaces de recrear condiciones de vuelo y funcionamiento de sistemas controlados desde cabina, similares a las de una aeronave real, uno de los primeros dispositivos de esta naturaleza fue The Sanders "Teacher" el cual fue construido con elementos reales de una aeronave, posteriormente apareció el primer simulador de vuelo comercial del mundo conocido "Link Trainer" el cual simulaba movimientos mecánicos permitiendo grandes avances en la evolución de los simuladores, por otra parte la llegada de las computadoras analógicas fue un paso importante para el campo de la aviación dando inicio a los primeros simuladores electrónicos, actualmente los simuladores comprenden complejos sistemas de control que simulan los movimientos de una aeronave y son capaces de replicar diferentes condiciones de vuelo hasta fallas técnicas y humanas.

La Universidad de las Fuerzas Armadas- ESPE posee una cabina de simulación de la aeronave Boeing la cual se encuentra inoperante por lo que se ha visto la



necesidad mejorar las condiciones operativas del mismo permitiendo reproducir la funcionalidad de los sistemas frente a diferentes condiciones de operación con el propósito de facilitar la instrucción a los estudiantes sobre tareas de mantenimiento, aplicación de procedimientos en la resolución de problemas para que se puedan enfrentar problemas reales aplicando las competencias desarrolladas.

## **1.2 Planteamiento del problema**

La Carrera de Mecánica Aeronáutica de la Unidad de Gestión de Tecnologías-ESPE la cual se desempeña como centro de capacitación aeronáutico para la formación de técnicos en Mantenimiento de Aeronaves está orientada a proporcionar al estudiante la capacitación necesaria, complementando el aprendizaje teórico con el práctico.

La institución es procuradora de capacitar a los estudiantes sobre procedimientos de mantenimiento a aeronaves en cuanto a la detección y resolución de fallas determinando la operatividad de los sistemas, y sin duda el sistema eléctrico es muy importante debido a que otros sistemas y dispositivos dependen de éste para su funcionamiento. El sistema eléctrico tiene la función de generar controlar y distribuir energía eléctrica en toda la aeronave en condiciones normales o de emergencia, las principales fuentes de generación de potencia comprenden de un generador situado en cada motor, una unidad de potencia auxiliar (APU) la cual suministra energía extra al sistema, fuentes de energía de emergencia como las baterías y una fuente de alimentación externa (GPU), para comprobar el adecuado funcionamiento del sistema eléctrico es necesario comprobar la operatividad de cada una de las unidades de generación de potencia.

No obstante realizar un chequeo operacional del sistema eléctrico del motor puede resultar difícil ser llevado a cabo de manera segura en una aeronave real, debido a las condiciones de operación que se requieren para validar su correcto funcionamiento, por lo que es necesario el uso del simulador de vuelo el cual permitirá

caracterizar diferentes situaciones que garantizan la correcta operación del sistema ayudando a la temprana detección de fallas y dar una resolución de las mismas, permitiendo de esta manera a los estudiantes involucrarse en una experiencia donde puedan adquirir conocimientos con resultados reales.

### **1.3 Justificación**

Con la finalidad de optimizar el conocimiento teórico/práctico de los estudiantes de la carrera de Mecánica Aeronáutica se ha evidenciado que la interacción con simulador de vuelo representa una herramienta estudio importante para la capacitación sin tener que recurrir a una aeronave real.

Mediante el uso de la cabina de simulación los estudiantes tendrán la posibilidad de interactuar con los sistemas de una aeronave entendiendo el modo de operación y comprobando la funcionalidad de un determinado sistema en el cual tendrán la posibilidad de simular diversas condiciones de falla, en los que se consideren los diferentes escenarios posibles a los que puede estar sometida una aeronave.

Esto permitirá analizar el comportamiento del Sistema Eléctrico del motor en tiempo real sin necesidad de poner en riesgo la integridad del personal y de la aeronave además podrán familiarizarse con los procedimientos a seguir y cómo actuar en determinadas situaciones, desarrollando de esta manera las habilidades y destrezas para la formación como técnico en mantenimiento.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

- Realizar el chequeo operacional del Sistema Eléctrico del motor CFM56-3, mediante el uso del Manual de Mantenimiento Ata-24, en el simulador de vuelo de la aeronave Boeing 737-500, perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Recopilar y analizar la información técnica necesaria para el desarrollo de la tarea de mantenimiento de la aeronave Boeing 737-500.
- Realizar los procedimientos de pruebas del sistema eléctrico del motor CFM56-3 según lo establecido en el manual de mantenimiento.
- Comprobación de la operatividad del sistema eléctrico del motor según la información técnica.

## **1.5 Alcance**

La finalidad del proyecto es que los estudiantes por medio de la cabina de simulación de la aeronave Boeing 737-500 experimenten situaciones idénticas a las reales sobre la operatividad del sistema eléctrico del motor de una aeronave con el fin de detectar fallas y aplicar los procedimientos correctos para solucionar el problema.

## Capítulo II

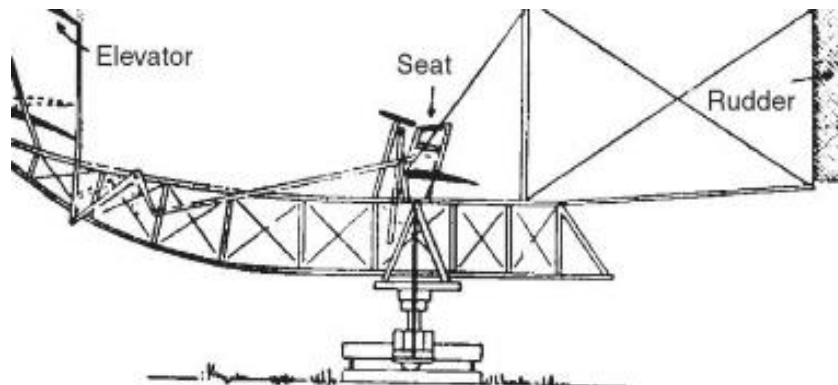
### 2. Marco Teórico

#### 2.1 Orígenes de los Simuladores de Vuelo

Los simuladores de vuelo originalmente aparecieron específicamente para el entrenamiento de pilotos, sin embargo, en la actualidad, son utilizados no solo para la tripulación de vuelo sino para la formación del personal de mantenimiento en tierra y para el desarrollo de nuevas aeronaves ya que permite simular posibles fallos técnicos en la aeronave permitiendo comprobar el comportamiento de la misma en tiempo real.

Los primeros simuladores estaban constituidos por una réplica de cabina de un avión que simulaba operaciones limitadas como la realización de vuelo instrumental y operaciones de despegue y aterrizaje, sin embargo, estos alcanzaron un gran éxito que las compañías aéreas consideraron necesario el uso de simuladores y en poco tiempo fueron apareciendo nuevos y sofisticados modelos de simuladores replicando casi un comportamiento real de una aeronave en diferentes condiciones de vuelo.

Alrededor de 1910, comenzaron a aparecer equipos de entrenamiento de vuelo fijos, los primeros simuladores en aparecer fue el “Sanders Teacher” y el “EardlyBilling Oscillator” los dos primeros simuladores de vuelo usaba el viento para enseñar el uso de controles. El “Sanders Teacher” en realidad era el fuselaje un aeroplano completo, expuesto hacia el viento, cuando éste soplabla, el fuselaje giraba con él, y la tripulación de la aeronave manipulaba las partes móviles como el elevador y el timón para obtener una respuesta neumática similar a la del vuelo real. Otro tipo de simulador que apareció fue el Antoinette Trainer su funcionamiento no se basaba en el uso del viento, sino que eran operados manualmente simulando el balanceo y cabeceo de un avión donde los pilotos tenían que responder a las diferentes situaciones que se les mostraba.

**Figura 1***Simulador de vuelo "Sanders Teacher"*

*Nota.* Uno de los primeros simuladores que usaba el viento para enseñar el uso de controles de vuelo. Tomado de (Riley, 2008).

El simulador más conocido apareció alrededor de 1930 fue el Link Trainer, replicaba una cabina completa que estaba equipada con un panel de instrumentos y controles que podían simular de manera realista casi todos los movimientos del avión, fueron muy utilizados para el entrenamiento de pilotos durante la segunda guerra mundial.

**Figura 2***Simulador de vuelo "Link Trainer"*

*Nota.* El entrenador de vuelo más conocido LINK TRAINER fue una herramienta imprescindible para la formación de pilotos durante la segunda guerra mundial Tomado de (Riley, 2008)

A partir de 1940 la mayoría de los avances tecnológicos con respecto a los simuladores de vuelo se basaron en la aplicación de métodos eléctricos y electrónicos. Con el uso de computadoras analógicas llevaron a nuevas mejoras los simuladores que replicaban con precisión la cabina de sus aviones, aunque estos no simulaban los movimientos se enfocaron en vuelo por instrumentos. En la década de 1950 y 1960 el desarrollo de las computadoras digitales supuso un gran progreso en la tecnología de simulación se comenzó a desarrollar simuladores de vuelo digitales para realizar simulaciones de vuelo en tiempo real y se volvió a integrar los sistemas de movimiento.

En la actualidad los simuladores de vuelo son una forma segura y eficaz de capacitar al personal aeronáutico, la complejidad de los simuladores ha aumentado como resultado de los avances tecnológicos, son capaces de replicar diferentes situaciones de vuelo de un modelo determinado de avión y de todos sus sistemas también permite ajustar el aeropuerto condiciones climáticas, fallas técnicas etc.

## **2.2 Tipos de simuladores de vuelo**

Los simuladores de vuelo son sistemas diseñados para reproducir el comportamiento de una aeronave en tiempo real, pudiendo recrear sensaciones y percepciones visuales y de movimiento que permite al personal aeronáutico obtener una mejor apreciación del funcionamiento y control de una aeronave y de las condiciones externas del aire sin poner en riesgo la integridad del personal y de la aeronave. El grado de realismo depende de la categoría en que está certificado cada simulador.

Las categorías de los simuladores de vuelo son:

### **2.2.1 (CPT) Cockpit Procedures Trainer**

El CPT es el dispositivo de simulación simple, generalmente es utilizado para formación inicial, efectúa procedimientos básicos para operar la aeronave de forma segura, permite el conocimiento necesario de instrumentos y pantallas y sobre todo la

familiarización de la cabina, enseña a los pilotos sobre los sistemas de la aeronave, ubicación de controles etc., normalmente no son certificados.

### **Figura 3**

*(CPT) Cockpit Procedures Trainer*



*Nota.* Lockheed L-1011 TriStar Instructor de procedimientos de cabina. Tomado de (Reedy, 2013).

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

Los ADT son utilizados para el entrenamiento básico de conceptos y procedimientos de vuelos genéricos, proporcionan una plataforma para el entrenamiento habilidades básicas de los pilotos.

**Figura 4**

*(ATD) Aviation Training Device*



*Nota.* Dispositivo de entrenamiento de aviación. Tomado de (Williams, 2011)

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

El BITD Es dispositivo de entrenamiento utilizado para procedimientos de vuelo de instrucción genéricos, proporcionan una plataforma de entrenamiento para procedimientos de vuelo por instrumentos.

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

El FNPT se lo utiliza principalmente para enseñar procedimientos básicos de vuelo, y navegación, es un dispositivo de entrenamiento genérico, aunque requieren simular todos los sistemas para efectuar los procedimientos necesarios además de las condiciones atmosféricas y del entorno.



**Figura 5**

*(FNPT) Flight Navigation Procedure Trainer*



*Nota.* Entrenador de Procedimientos de Vuelo y Navegación Frasca-242. Tomado de (ATPL, 2007).

**2.2.5 (FTD) Flight Training Device**

Un FTD es una versión más avanzada de simulador pueden ser de entrenamiento genérico o de una aeronave específica. Pueden simular modelos, sistemas y entorno de una forma más realista, aunque no suelen estar equipados con un sistema de visualización e imitación de movimiento. Los sistemas FTD se dividen en cuatro subcategorías aprobados por la FAA que van desde el nivel 4 hasta el nivel 7, siendo el nivel 7 el más sofisticado, su grado de realismo depende del nivel.

## Figura 6

*(FTD) Flight Training Device*



*Nota.* Dispositivo de entrenamiento de vuelo del SSJ100. Tomado de (SuperJet International, 2011)

### **2.2.6 (FFS) Full Flight Simulator**

Un FFS son utilizados para entrenamientos de vuelos específicos, básicamente es una réplica de la cabina de vuelo de un tipo, modelo o serie de una determinada aeronave que recrea todos sus sistemas, puede usarse para verificaciones de competencia y pruebas de habilidad. Los FFS están equipados de un sistema visual y sistema de actuadores que mueven la cabina simulando las sensaciones de vuelo. Los FFS se dividen en subcategorías de niveles aprobados por la FAA que van desde la A hasta la D.

**FAA- FFS Nivel A.** Solo aviones; son sistemas de movimiento los cuales requieren al menos tres grados de libertad, tiene el nivel más bajo de calificación de simuladores FFS.

**FAA- FFS Nivel B.** Para aviones y helicópteros; son sistemas que requieren de tres ejes de movimiento y un modelo aerodinámico de mayor fidelidad que el nivel A.

**FAA- FFS Nivel C.** Estos sistemas requieren una plataforma de movimiento con seis grados de libertad, y de un sistema visual con un campo de visión horizontal al menos de 75 grados para cada piloto.

**FAA- FFS Nivel D.** Es el nivel más alto de cualificación, disponen de una plataforma de movimiento con seis grados de libertad asimismo de un sistema visual con campo de visión horizontal de por lo menos 150 grados, sonidos realistas en la cabina del piloto y efectos especiales visuales y de movimiento.

### Figura 7

*(FFS) Full Flight Simulator*



*Nota.* Simulador de vuelo completo. Tomado de (Baltic Aviation Academy, 2012).

### 2.3 Normativa de los simuladores de vuelo

Los dispositivos de instrucción para simulación de vuelo FSTD utilizados en la formación, evaluación y calificación del personal aeronáutico deben ser aprobados y certificados bajo ciertos estándares, criterios y requisitos establecidos y definidos en los reglamentos pertinentes emitidos por las autoridades de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), y reglamentos aplicables por las Direcciones de Aeronáutica Civil de cada estado. En Ecuador los requisitos para la calificación de dispositivos de instrucción para la simulación de vuelo son aprobados por las autoridades de la

Dirección General de Aviación Civil- Ecuador (DGAC) bajo las Regulaciones de Aviación Civil (RDAC).

Los principales requerimientos para la certificación de un FSTD consisten en demostrar que las características técnicas y capacidad operacional se ajustan a las de la aeronave simulada según su categoría se certifican en niveles A, B, C, D, siendo D, el nivel máximo el cual garantiza el comportamiento de la aeronave con total realismo.

#### **2.4 Orígenes del sistema eléctrico en aeronaves**

Actualmente el sistema eléctrico en aeronaves es indispensable debido a que la mayoría de los sistemas requieren de energía eléctrica para su funcionamiento, en los inicios la necesidad de energía eléctrica se limitaba a generar la chispa en las bujías para el encendido del motor debido a que el único elemento eléctrico en una aeronave era el magneto, un generador de corriente diseñado para generar un alto voltaje que en conjunto con las bujías producía el encendido de los motores.

Durante la primera guerra mundial surge un sistema de comunicación de voz por radio, tierra-aire lo que hizo inevitable prescindir de energía eléctrica a bordo de la aeronave disponiendo de una pequeña batería la cual requería de un generador eléctrico para mantenerla cargada, el cual era impulsado por una turbina exterior que se movía por acción del aire. En el periodo de la posguerra el avión se convirtió en un medio de transporte que benefició principalmente al servicio de correos apareciendo después compañías aéreas dedicadas al transporte de personas, las aeronaves para ese entonces ya disponían de iluminación interna, externa y equipos de iluminación para la pistas, facilitando maniobras de aterrizaje y despegue durante vuelos nocturnos, además, con la intención de generar más potencia se instalaron generadores que funcionaban a partir de los motores. (López Crespo, 2014).

Tras la primera guerra mundial se consiguieron dar grandes pasos en el campo de la aviación se consideraron problemas que presentaban los aviones en ese entonces

como el peso, la resistencia aerodinámica y la insuficiente potencia de los motores llevándolos a diseñar modelos más sofisticados. Sin embargo, fue durante la segunda guerra mundial cuando la aviación alcanzó su mayor intensidad el gran desarrollo de la tecnología llevó a desarrollar sistemas de navegación bombas eléctricas, electroválvulas actuadoras motores de arranque instrumentación, por lo que el sistema eléctrico al bordo de la aeronave se volvió indispensable.

El sistema eléctrico representa uno de los principales sistemas en la aeronave ya que prácticamente está presente en la mayoría de los sistemas del avión, que requieren de energía para su funcionamiento como: luces instrumentos de navegación/comunicación, tren de aterrizaje, bombas combustible etc.

## **2.5 Generalidades del sistema eléctrico**

El sistema eléctrico es el encargado de generar controlar y distribuir energía eléctrica (corriente continua y corriente alterna) hacia a todos los demás sistemas y dispositivos de la aeronave. El equipo eléctrico consta básicamente de:

### ***Sistema de generación***

El sistema generador de potencia debe ser capaz de generar la potencia necesaria para el funcionamiento de los equipos de la aeronave, existen distintas fuentes de energía en las aeronaves para poder manejar cargas excesivas y situaciones de emergencia, estas incluyen los generadores accionados por el motor, el generador accionado por la Unidad de Potencia Auxiliar (APU), la Unidad de Alimentación a Tierra (GPU), algunas aeronaves están equipadas con la Ram Air Turbines (RAT) y la fuente final de energía de reserva las baterías.

***Sistema de distribución***

El sistema de distribución de energía es el encargado de distribuir la energía desde los sistemas de generación hacia los equipos que la requieran (sistemas consumidores), está conformado principalmente por: los cables de distribución, junto con las barras colectoras, las protecciones y otros elementos tales como los relés, contactores, etc.

***Sistema consumidor***

El sistema consumidor es el elemento que requiere alimentarse o proveerse de energía eléctrica para su funcionamiento, como: el sistema de combustible, sistema de iluminación, una bombilla una electroválvula, un actuador hidráulico etc.

***Sistema de transformación***

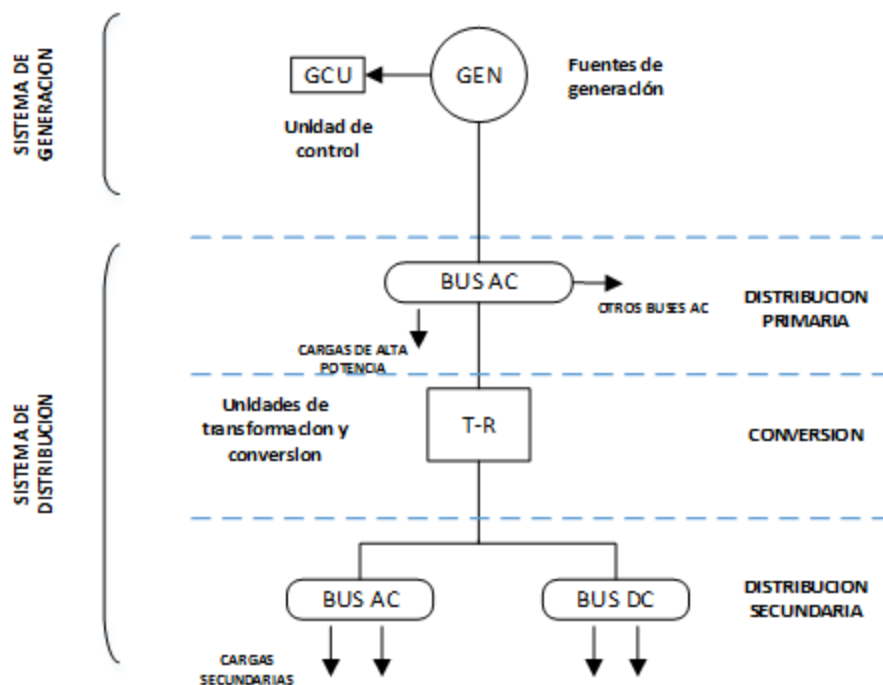
Los sistemas consumidores de un avión son alimentados con diferentes tipos de potencia el sistema de transformación de energía es encargado de proporcionar una corriente de salida compatible con las necesidades de los elementos.

***Sistema de indicación***

El sistema de indicación es el encargado de detectar e indicar el estado de los sistemas, debe informar del correcto funcionamiento o situación de fallo de algún sistema o dispositivo de la aeronave, las indicaciones de la mayoría de los sistemas se muestran en panel de instrumentos en cabina.

**Figura 8**

*Esquema del Sistema Eléctrico Simplificado*



*Nota.* La figura representa de manera simplificada la generación y distribución de la energía eléctrica en una aeronave.

## 2.6 Sistema Eléctrico de la Aeronave Boeing 737-500

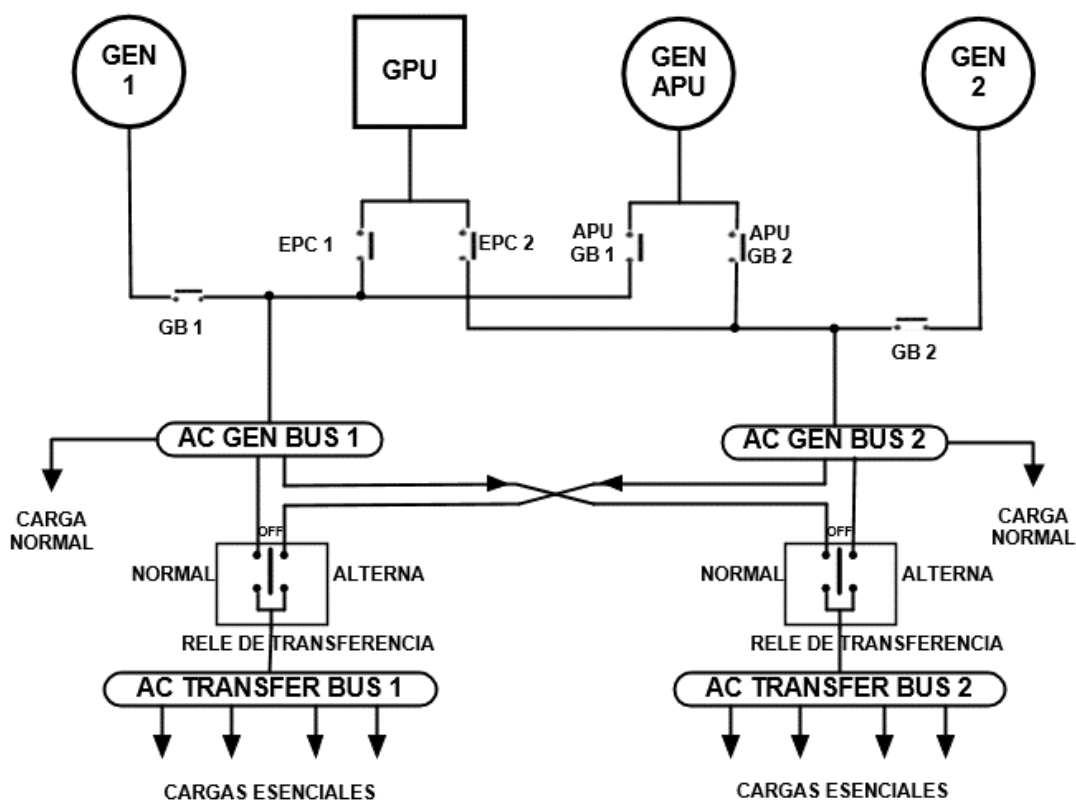
La aeronave Boeing 737-500 es un avión de pasajeros turbo-fan de fabricación americana entró en servicio desde 1990 es miembro de la familia de aviones Boeing 737classic nombre dado a la serie -300/400/500 se caracteriza por el rediseño del motor CFM56-3 de alta derivación aumentando de eficiencia de combustible y mejoras en la cabina del piloto.

La aeronave Boeing 737-500 esta propulsada por dos motores turbofan CFM 56-3 ubicados de bajo de las alas los cuales suministran el empuje necesario para que la aeronave se sustente en el aire, este incluye una unidad de accionamiento de velocidad constante, (CSD) y un generador el cual suministra la energía eléctrica a la aeronave.

El sistema eléctrico de esta aeronave es un sistema de generación doble completamente aislado es utilizado en aviones bimotores. Los generadores derecho e izquierdo alimentan sus propios buses o barras colectoras, a través de su respectivo GB (Generator Breaker), Si un generador falla, el GB asociado se abrirá aislándolo de su barra y el generador restante suministrará energía a la barra que se ha quedado sin energía. La GPU y APU también pueden alimentar a una y/o ambas barras del generador a través del EPB (External Power Contactor) o el GB de la APU para suministrar la energía requerida durante tareas específicas.

**Figura 9**

*Esquema del Sistema Eléctrico de la Aeronave Boeing 737 -500.*



*Nota.* La figura muestra el esquema simplificado del funcionamiento del sistema de generación de la aeronave Boeing 737 -500.



## 2.7 Sistema de generación de potencia

El sistema de generación de potencia eléctrica de la aeronave Boeing 737 está conformado por fuentes de generación principales auxiliares y de emergencia encargadas de suministrar energía eléctrica a toda la aeronave consta de sistemas de 28 voltios DC, 28 voltios AC y 115 voltios AC a 400 Hz.

### 2.7.1 *Sistemas de generación alterna*

La corriente alterna ha reemplazado significativamente a la corriente continua principalmente en aviación comercial adquiriendo una mayor importancia como parte del equipo de funcionamiento de la aeronave la mayoría de los equipos de las aeronaves se alimentan de AC.

El sistema de generación AC está dispuesto de:

**Generadores principales.** La energía para el funcionamiento de la mayoría de los sistemas operados eléctricamente en la aeronave depende principalmente de la energía eléctrica suministrada por los generadores principales los cuales son accionados por los motores, cada uno de ellos esta acoplado a una unidad de velocidad constante (CSD) para obtener una velocidad 6000 rpm, suministran una energía trifásica de 115/200 voltios, a 400 Hz, estos constituyen las principales fuentes de energía para las barras de AC y todo el sistema de energía eléctrica, una unidad de control (GCU) proporciona la operación automática de las funciones de control para cada generador.

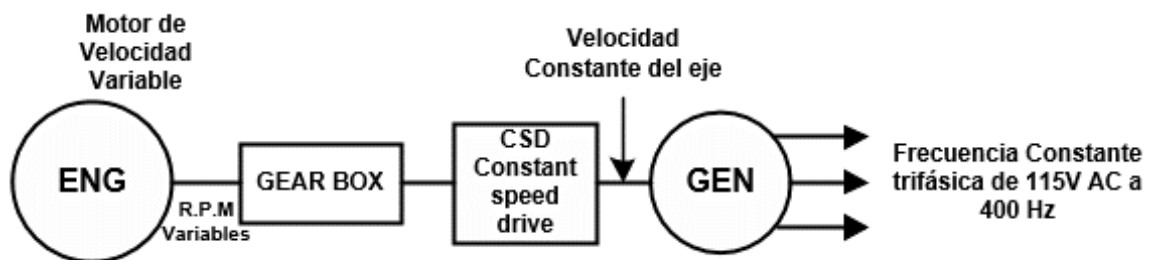
**Sistemas de regulación de frecuencia.** Para la generación de energía a bordo, los generadores son accionados por el motor principal de la aeronave, cuya velocidad varía en un amplio rango, si un generador está conectado directamente al motor, la frecuencia de salida variará con la velocidad del mismo y debido a que diversos dispositivos eléctricos que operan con AC están diseñados para operar a un cierto voltaje y a una determinada frecuencia, la velocidad de los generadores debe ser

constante. Por lo tanto, para ajustar la frecuencia de salida se debe controlar las RPM del motor a través de la transmisión de velocidad constante situada entre el generador y el motor. El mecanismo utilizado para este fin es el CSD (Constant Speed Drive).

**CSD (Constant Speed Drive).** El CSD (Constant Speed Drive) es una unidad de accionamiento de velocidad constante de funcionamiento hidromecánico, está situada entre el motor y el generador es encargada de convertir la velocidad variable de entrada del motor en velocidad de salida constante.

### Figura 10

Sistema CSD



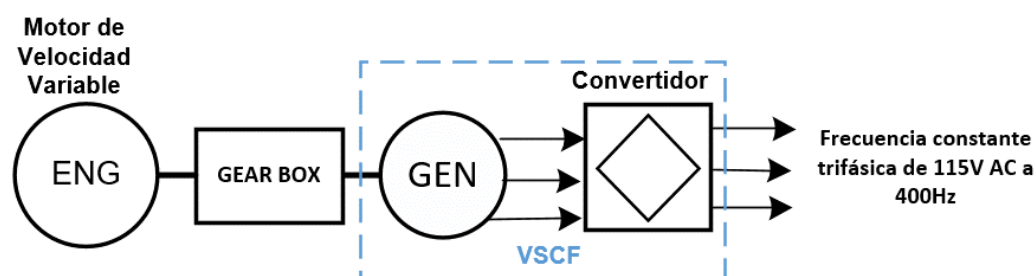
*Nota.* La figura muestra el esquema simplificado de generación de potencia del sistema de la unidad de velocidad constante (CSD). Adaptado de (Prieto, 2017)

Sin embargo, se pueden instalar dos tipos diferentes de generadores, otro mecanismo para suministrar potencia eléctrica alterna de frecuencia constante sin necesidad de controlar la velocidad del motor es el VS-CF (Variable Speed Constant Frequency).

**VS-CF (Variable Speed Constant Frequency).** Este sistema funciona sin necesidad de utilizar el CSD como mecanismo intermedio del motor y generador, sino que accionado directamente por la fuerza motriz del motor mediante la caja de cambios regulando la frecuencia de salida a 400 Hz mediante un inversor de alta potencia de estado sólido. El VSCF es intercambiable con el conjunto de generador y CSD.

**Figura 11**

Sistema VSCF



*Nota.* La figura muestra el esquema simplificado de generación de potencia del sistema de velocidad variable-frecuencia constante (VSCF). Adaptado de (Prieto, 2017).

**APU (Auxiliary Power Unit).** La unidad de potencia auxiliar es un motor de turbina de gas instalado a bordo de la aeronave en la zona de la cola es un sistema independiente su principal función es poner en marcha los generadores principales y proporcionar energía eléctrica y neumática a la aeronave durante las operaciones en tierra. También es utilizada durante el vuelo en emergencias en caso de fallo de los generadores principales.

El generador de la APU proporciona 115/200 voltios, a 400 Hz de energía y está regulado por una unidad de control del generador (GCU) proporcionando funciones de regulación y protección.

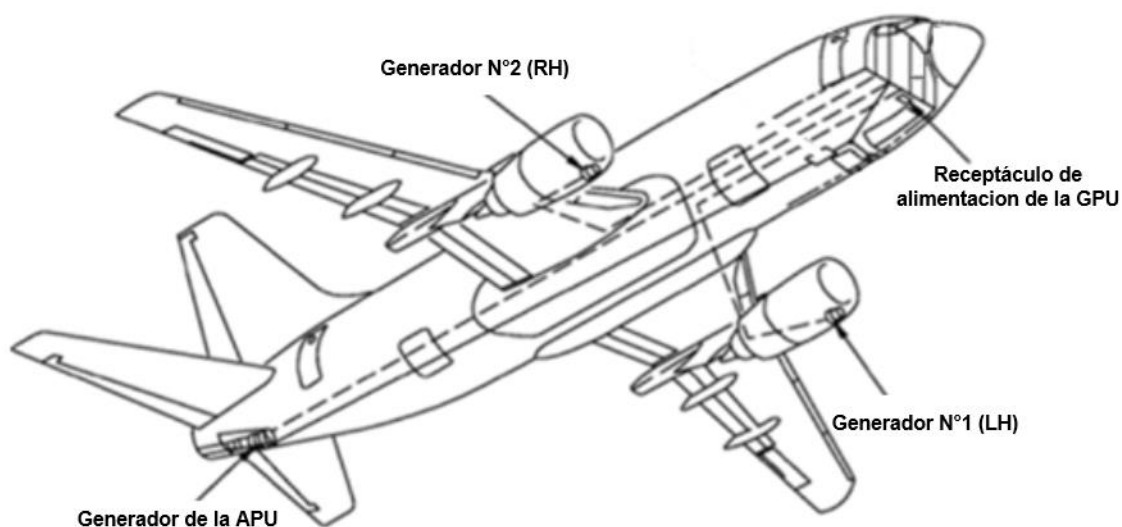
La APU se puede poner en marcha por medio de un generador eléctrico que se alimenta directamente desde la batería del avión, o desde el propio sistema eléctrico o, cuando está disponible, desde la unidad de potencia en tierra.

**GPU (Ground Power Unit).** El sistema de potencia externa GPU, proporciona energía eléctrica a través del receptáculo de alimentación en tierra, puede alimentar todo el sistema de energía eléctrica o solo a las barras de servicio terrestre, suministra energía trifásica 115/200 voltios, a 400 Hz.

La GPU suministra energía eléctrica para dar servicio en tierra, arranque de los motores y tareas de mantenimiento, no es seguro ni práctico encender rutinariamente los motores de las aeronaves para proporcionar energía eléctrica para realizar este tipo de tareas, debido a los costos de combustible y el desgaste de los motores por lo tanto, se incorpora un circuito separado a través del cual se pueda conectar la energía de la unidad de energía en tierra (GPU) hacia el sistema de barras de distribución de la aeronave este receptáculo de alimentación está ubicado en la zona del morro.

### Figura 12

*Sistema de Generación AC Boeing 737-500.*



*Nota:* La figura muestra la ubicación de los sistemas de generación de corriente AC de la aeronave Boeing 737-500.

#### 2.7.2 Sistemas de corriente continua

La corriente continua de 28 voltios DC utilizada para algunos sistemas de la aeronave se obtiene de la batería y de la conversión de energía AC.

**Batería.** La batería proporciona corriente continua que se la utiliza como fuente de alimentación de reserva para algunos circuitos necesarios y para cargas de DC de corta duración (hasta 30 minutos) cuando no hay disponible otra fuente de alimentación.

La batería es un dispositivo que convierte la energía química directamente en energía eléctrica que nos permiten tener disponible en cualquier momento corriente eléctrica. La aeronave está equipada con una batería la cual acumula electricidad que nos permiten realizar operaciones como:

- Proporcionar energía a la Unidad de Potencia Auxiliar o a los motores durante el arranque.
- Suministrar energía para cargas pesadas temporalmente cuando el generador o la energía en tierra no están disponibles (operaciones de mantenimiento).
- En condiciones de emergencia se la utiliza como sistema de generación. Sin embargo, debido a la pequeña capacidad de ésta solo se puede suministrar energía a los equipos eléctricos importantes de la aeronave para garantizar a los pilotos realizar un aterrizaje de emergencia con total seguridad.

**Unidades de conversión de energía.** En la aeronave existen muchos equipos e instrumentos que utilizan distintos tipos de alimentación y diferentes niveles del mismo tipo de alimentación por lo que es necesario disponer de dispositivos que conviertan la energía eléctrica de una a forma a otra y también que conviertan una forma de alimentación a un valor menor o mayor permitiendo proporcionar una corriente de salida que pueda satisfacer los requerimientos de diferentes equipos eléctricos estos incluyen principalmente: Transformadores/ Autotransformadores, transformadores-rectificadores (TRU) e inversor.

**Transformadores/ Autotransformadores.** Un transformador es un dispositivo estático que transfiere energía eléctrica de un circuito a otro, permitiendo variar el voltaje o la intensidad, pero manteniendo la misma frecuencia y potencia, a través de conductores eléctricos acoplados inductivamente. Mediante los transformadores, se convierte altos voltajes en bajos voltajes o viceversa según convenga. Los

Transformadores proporciona energía a las barras de 28 voltios AC reduciendo la energía de 115 voltios AC a 28 voltios AC.

En caso de que los circuitos solo necesiten pequeños valores de aumento o disminución se emplean autotransformadores, estos son más pequeños en tamaño y peso que los transformadores convencionales

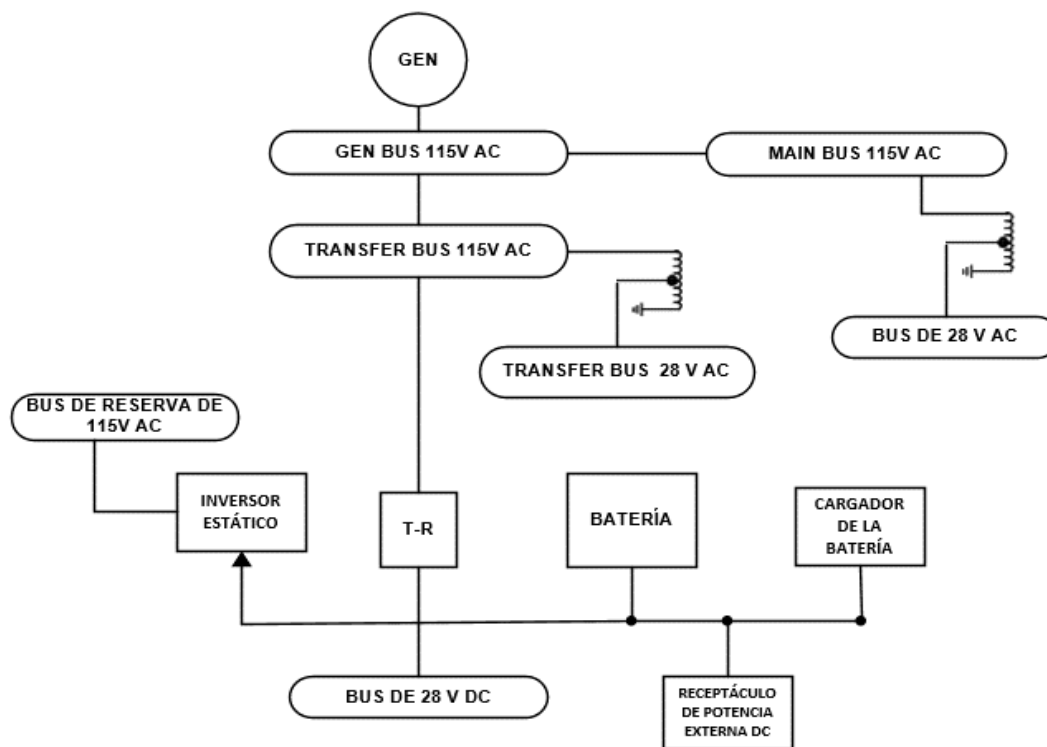
**Transformadores-rectificadores (TRU).** Las unidades TRU (Transformer Rectifier Unit) están conformadas por un sistema transformador y un rectificador en una sola unidad con el fin de proporcionar una señal de AC a un determinado voltaje DC. La corriente continua que requieren algunos equipos de la aeronave Boeing 737-500 normalmente es proporcionada por tres unidades de transformador-rectificador (T-R) encargados de convertir la energía de 115 voltios de AC de las barras de alterna en energía de 28 voltios de DC.

**Inversor estático.** Es un dispositivo eléctrico el cual a diferencia de los rectificadores convierte la potencia 28 voltios DC en 115 voltios AC. Suministra energía de reserva a las barras esenciales de AC en caso de pérdida de las fuentes generación principales y auxiliares. El inversor estático se energiza siempre que el interruptor de la batería esté en ON.

Otros componentes del sistema de generación de DC son el cargador de batería, que opera con 115 voltios, 400 Hz, de energía trifásica, la cual también funciona como transformador rectificador suministrando energía de 28 V DC; la potencia externa de DC que permite conectar un suministro de tierra de 28V DC al circuito de la batería.

**Figura 13**

*Sistema de Generación DC y Unidades de Conversión de Energía*



*Nota:* La figura muestra el esquema de distribución de energía simplificado del sistema de generación DC y unidades de conversión de energía de la aeronave Boeing 737-500.

## 2.8 Sistema de distribución de potencia

El sistema de distribución de potencia eléctrica asegura la transmisión y la distribución confiable de la energía eléctrica generada por el sistema de generación hasta a las diversas cargas de la aeronave a través de barras de corriente (bus) o barras colectoras las cuales son conductores que sirven como conexión común a varios circuitos consisten en tiras metálicas buenos conductores como latón, cobre o aluminio. Las barras pueden conectarse a diferentes fuentes de energía y entre sí. Esto depende de las fuentes de energía disponibles. Este sistema consta de barras de 115 voltios AC, barras de 28 voltios AC y barras de 28 voltios DC.

### **2.8.1 Distribución de energía de 115 voltios AC**

En condiciones normales de vuelo cada generador se encarga de alimentar a su propio bus o barra. El generador N°1 y el generador N°2 accionados por los motores suministran energía a las barras del generador GEN BUS N°1 y GEN BUS N°2 respectivamente y de manera independiente. EL GEN BUS 1 se encarga de suministrar energía a la barra principal 1 (MAIN BUS 1), la barra de transferencia 1 (TRANSFER BUS 1), mientras que el GEN BUS 2 se encarga de suministrar energía a la barra principal 2 (MAIN BUS 2), la barra de transferencia 2. Si alguno de los GEN BUS pierde energía, el otro GEN BUS suministra energía a ambos TRANSFER BUS. Para proteger al generador restante, las cargas de las galleys se desconectan automáticamente asegurando que el generador no se sobrecargue. Si se produce un fallo en ambos generadores principales durante el vuelo el generador impulsado por la APU puede suministrar energía a las barras de uno de los generadores.

La unidad de potencia externa GPU o la unidad de potencia auxiliar APU también pueden suministrar energía a la barra del generador 1 y/o a la barra del generador 2 durante las operaciones en tierra a través de los interruptores de control respectivos.

### **2.8.2 Distribución de energía de 28 voltios AC**

El sistema de distribución de 28 V AC recibe energía del sistema de 115 V AC a través de autotransformadores cada barra principal (MAIN BUS), barra de transferencia (TRANSFER BUS) y la barra de servicio en tierra (GROUND SERVICE BUS) suministran energía a las barras de 28 V CA este sistema consta de barra 1 y barra 2 de 28 V AC, barra de transferencia 1 y 2 de 28 V AC y barras de servicio terrestre de 28V AC.



### **2.8.3 Distribución de energía de 28 voltios DC**

Para sistemas que se alimentan de 28V DC cada TRANSFER BUS de 115 V AC suministra energía a las barras de 28 V DC a través de unidades de transformador-rectificador (T-R). Los T-R 1 y 2 reciben energía del TRANSFER BUS 1 y 2 y proporcionan energía directamente a la barra de DC 1 y 2, respectivamente, el T-R 3 recibe energía de la barra principal 2 (MAIN BUS 2) y proporciona energía a las barras de DC 1, y 2 y a la barra de la batería.

### **2.8.4 Sistema de energía STANDBY**

El sistema de distribución de la aeronave Boeing 737 cuenta con un sistema de reserva (STANDBY SYSTEM) encargado de suministrar energía a las cargas esenciales de AC y DC, la barra de AC de reserva recibe energía desde el TRANSFER BUS N°1 de 115 V AC y la barra de DC de reserva se energiza desde la barra de DC. En caso de perder la energía normal de AC o DC la barra de reserva de DC se conecta directamente a la barra de la batería y la barra de reserva de AC será alimentado por la batería a través de un inversor estático encargado de convertir y proporcionar energía de 115V AC.

## **2.9 Unidades de protección y control del sistema eléctrico**

Se utilizan varios componentes tanto para el control como para la protección del sistema de distribución de energía.

### **2.9.1 Unidad de control del generador (GCU)**

La GCU controla que la energía eléctrica suministrada por el generador se encuentre dentro de los parámetros aceptables, ajustando la unidad que genera la salida de corriente para disminuir o aumentar los niveles de salida manteniéndola de esta manera dentro de los límites especificados.

La GCU protege el sistema de generación contra condiciones de falla, como: sobre voltaje, bajo voltaje sobre frecuencia, baja frecuencia, sobre carga, fallas en el

alimentador etc.

En caso de existir alguna falla los datos se muestran en el panel anunciador informando a la tripulación del mal funcionamiento en el sistema de generación. Cuando se detecta una falla en el sistema de distribución los dispositivos de protección se encargan de proteger al circuito evitando daños por sobrecarga o sobrecalentamiento, estos dispositivos suelen ser fusibles y disyuntores CB (Circuit Breaker).

Los fusibles son dispositivos térmicos compuestos por un filamento o lamina de metal diseñado para quemarse, cuando la corriente que pasa por el mismo está muy elevada haciendo que aumente la temperatura de la lámina, por lo que se fundirá cortando de esta manera el paso de corriente eléctrica y evitando que llegue al circuito.

Los disyuntores de protección o CB está conformado de un conjunto de contactos que se mantienen cerrados durante el funcionamiento normal del circuito, tienen un mecanismo de disparo mecánico cuando fluye una corriente de sobrecarga, se activa el mecanismo de disparo, abriendo los contactos y cortando la energía del circuito. Un pulsador de control externo sobresale e indica que los dispositivos se han disparado al presionar el pulsador se restablece el CB, pero si la condición de falla persiste, el pulsador se disparará nuevamente. Además, se puede tirar manualmente del pulsador permitiendo que el disyuntor interrumpa el circuito para aislarlo esto se hace para tareas mantenimiento de la aeronave.

### **2.9.2 Controles manuales del sistema eléctrico**

El sistema también consta de controles manuales y dispositivos de monitoreo para el sistema de energía eléctrica, los módulos para el control manual están en el panel superior delantero P5:

- Medidores eléctricos / Módulo de alimentación de la galley (P5-13).
- Módulo de la transmisión de generador y de energía de standby (P5-5).
- Módulo del sistema del generador AC y de la APU (P5-4).

**Medidores eléctricos / Módulo de alimentación de la galley (P5-13).** Este módulo consta de:

**Medidores eléctricos.** El amperímetro de AC, el voltímetro de DC, el voltímetro de AC y el medidor de frecuencia monitorean la corriente, el voltaje y la frecuencia respectivamente de las fuentes seleccionadas por los interruptores selectores debajo de los medidores.

**Interruptor selector de medidores AC, DC.** Los selectores controlan lo que se muestra en los medidores, selecciona la fuente de energía eléctrica tanto para AC como para DC:

- Parámetros de AC (frecuencia, voltios).
- Parámetros de DC (amperios, voltios).

**Interruptor de la batería.** Es un interruptor de dos posiciones cuando la cubierta esta abajo está protegiendo la posición ON para cambiar a la posición OFF es necesario levantar la cubierta. Al colocar el interruptor de la batería a posición ON proporciona energía a las barras y componentes de la batería mientras que al colocarlo la posición las barras de la batería se desactivan.

**Interruptor de alimentación de la galley.**

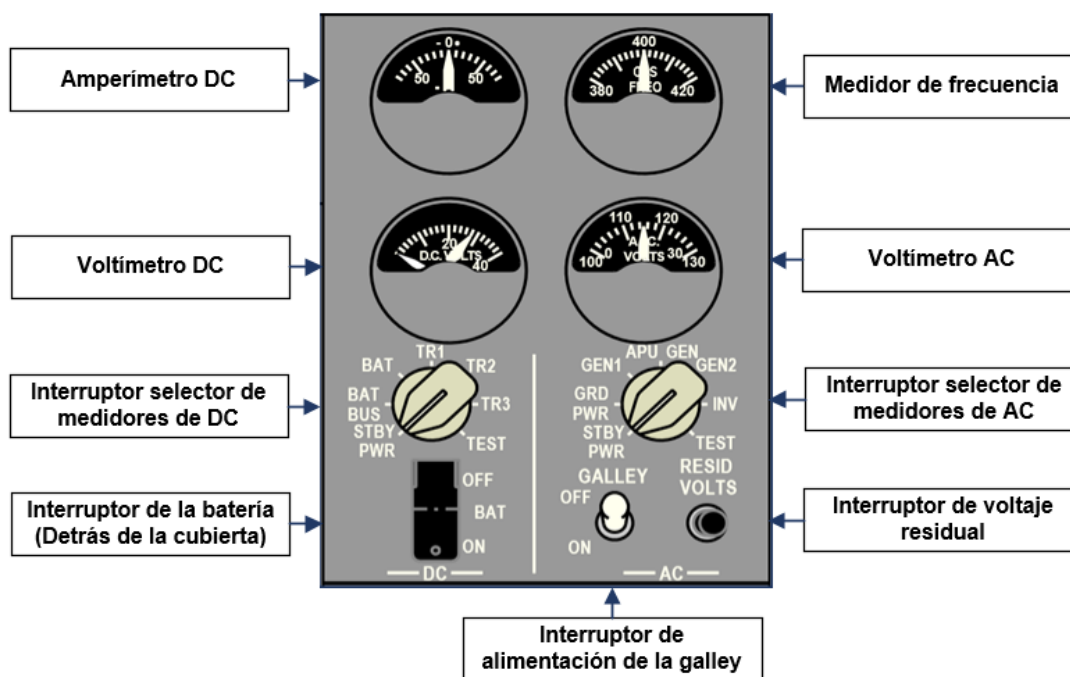
-Posición ON. – Cuando las barras generadoras están energizadas las galleys se encienden.

- Posición OFF. - Los galleys están sin energía.

**Interruptor de voltaje residual.** Al presionar el interruptor RESID VOLTS el voltímetro AC indica el voltaje residual del generador seleccionado por el interruptor selector del medidor.

Figura 14

*Electrical Meters/Galley Power Module (P5-13)*



*Nota.* La figura muestra los elementos que conforman el panel de control (P5-13) “Medidores eléctricos / Módulo de alimentación de la galley”.

**Módulo de la transmisión de generador y de energía de standby (P5-5).** Este módulo consta de:

**Luz Drive.** La luz ámbar se ilumina cuando la presión del aceite es menor que el límite mínimo de operación causada por una desconexión manual del CSD/VSCF; también se enciende por desconexión automática del CSD/VSCF por alta temperatura del aceite; cuando existe una baja de frecuencia mientras el motor está operando o parada del motor. Simultáneamente, se enciende la Master Caution Warning. Ambas luces deben estar apagadas durante el funcionamiento normal.

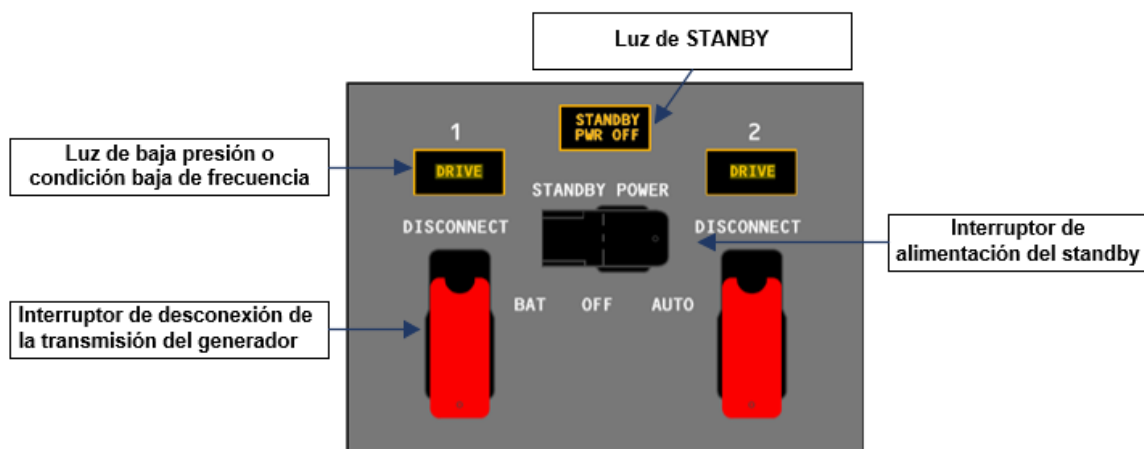
**Interruptor de desconexión de la transmisión del generador.** Desconecta el CSD de su respectivo generador evitando que estos proporcionen energía a las barras, en caso de falla de uno de los generadores.

**Interruptor de alimentación standby.** Controla las barras de standby. En la posición AUTO activa las barras de standby, la barra de standby de AC es alimentado por la barra de transferencia de AC 1 y la barra standby de DC es alimentado por la barra de DC 1, cuando estas fuentes no están disponibles la barra de standby AC es energizado por el inversor estático y la barra de standby DC es energizado por la barra de la batería. En la posición de OFF las barras de standby están desenergizadas y en la posición BAT las barras de la batería alimenta la barra de standby de DC y el inversor estático alimenta la barra de reserva de AC.

**Luz STANDBY PWR OFF.** La luz ámbar se enciende cuando las barra de standby de AC no está encendida.

### Figura 15

*Generator Drive and Standby Power Module (P5-5)*



*Nota.* La figura muestra los elementos que conforman el panel de control (P5-5) “Módulo de la transmisión del generador y de energía de Standby”.

**Módulo del sistema del generador AC y de la APU (P5-4).** Este módulo consta de:

**Interruptor de potencia en tierra.** Controla la alimentación externa es un interruptor de tres posiciones ON / OFF y colocado por resorte en posición central (neutral). En la posición encendido “ON” energiza a las barras AC del generador. En la

posición apagado "OFF" desconecta la alimentación externa de los buses del generador.

**Luz "Ground Power Available" (azul).** Se enciende cuando la potencia externa está conectada.

**Interruptor de la barra de transferencia.** Es un interruptor de dos posiciones AUTO y OFF. En la posición AUTO permite la transferencia automática de energía de la barra de transferencia del generador en buen estado a la barra del generador opuesto en caso de falla. En la posición OFF no es posible la transferencia.

**Luz "Transfer Bus Off" (ámbar).** Se enciende cuando la respectiva barra de transferencia AC no está energizada.

**Luz "Bus Off" (ámbar).** Se enciende cuando la barra del generador no está energizada.

**Luz "Generator Off Bus" (azul).** La luz se enciende cuando el generador respectivo no alimenta a la barra del generador.

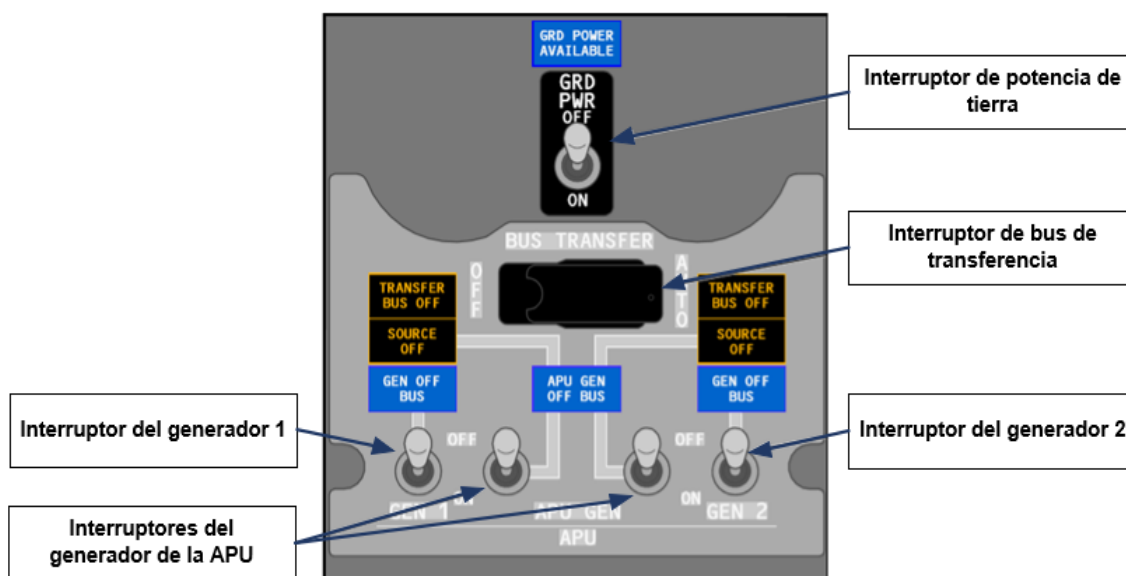
**Interruptor del generador.** Es un interruptor de tres posiciones ON / OFF y colocado por resorte en posición central (neutral). Las posiciones ON y OFF son momentáneas. Al colocarlo en la posición ON el GEN 1 y 2 activan los principales generadores energizando a las barras respectivas. En la posición OFF el generador asociado se desconecta de su barra.

**Interruptor del generador APU.** Son interruptores de tres posiciones ON /OFF y colocado en posición central (neutro). Las posiciones ON y OFF son momentáneas. En la posición ON activan el generador de la unidad de potencia auxiliar energizando a las barras del generador. En la posición OFF el generador de la APU se desconecta desenergizando las barras del generador.

**Luz "Apu Gen Off Bus" (azul).** Indica que la APU está funcionando, pero su generador no suministra energía a ninguna barra del generador.

**Figura 16**

*AC System Generator and Apu Module (P5-4)*



*Nota.* La figura muestra los elementos que conforman el panel de control (P5-4) “Módulo del sistema del generador AC y de la APU”.

## 2.10 Operación del sistema eléctrico

El sistema de generación suministra potencia eléctrica desde los generadores AC hacia las barras. La operación se realiza mediante control manual y cuando se cumplan las siguientes condiciones:

- Ninguna fuente de energía puede estar conectada en paralelo con ninguna otra fuente, es decir no pueden estar conectadas dos fuentes al mismo tiempo, el generador del motor no puede trabajar en paralelo con el generador de la APU o con la unidad de potencia externa GPU.
- Toda conexión de fuentes de energía debe encenderse manualmente las cuales energizaran las barras de AC solo cuando tenga el voltaje y la frecuencia adecuados y no haya fallas en el sistema.
- La fuente de energía encendida automáticamente tiene prioridad y apaga la fuente de energía previamente encendida. Si el generador principal es puesto en

marcha e intenta conectarse a su barra, la fuente de energía que esté conectada en ese momento se desconectará automáticamente de la barra permitiendo que esta sea alimentada por su propio generador el sistema de prioridad será el sistema de generación principal.

## **2.11 Softwares de simulación de vuelo**

En la actualidad es muy común la utilización de softwares de simulación de vuelo dentro de la industria aeronáutica para el entrenamiento de pilotos, personal técnico, para simulación de fallas y daños de sistemas en investigación de accidentes aéreos inclusive para diseño de nuevas aeronaves. Es por eso que instituciones dedicadas a la aviación tienen la necesidad de adquirir y adecuar softwares de simulación de vuelo no solo para el entrenamiento de personal aeronáutico sino como requerimientos necesarios dispuestos por las autoridades competentes.

Existe una gran variedad de softwares de simulación de vuelo algunos de ellos a continuación:

### **2.11.1 X-Plane 11**

Es un software de simulación de vuelo muy moderno y completo, se encuentran de uso personal, profesional y comercial, ofrece una experiencia de vuelo muy realista puede predecir el rendimiento y manejo de casi cualquier avión, convirtiéndolo en una muy buena herramienta para entrenamiento de pilotos y aspirantes a pilotos, también es utilizado para el diseño y desarrollo de nuevas aeronaves ya que permite predecir su funcionamiento durante el vuelo.



**Tabla 1***Características del Software de Simulación X-Plane 11*

<b>Características</b>	<b>Software de Simulación</b>
DENOMINACIÓN	X PLANE 11
SISTEMA OPERATIVO	Windows 7/8/10 de 64-bit
MEMORIA	16 GB de RAM
PROCESADOR	3.05 GHZ
ESPACIO DE DISCO	20 GB de espacio libre

*Nota.* La tabla muestra los requisitos recomendables del software de simulación X-Plane 11 para utilizar en PC

**2.11.2 Microsoft Flight Simulator X**

Microsoft Flight Simulator es una serie de simuladores más conocida y antigua, ha producido muchas versiones de softwares de simulación de vuelo incorporando mejoras en sus características con relación a los modelos de aeronaves y escenarios más completos. Una de las versiones más recientes de este simulador es Microsoft Flight Simulator X, es un software de simulación de vuelo, que nos ofrece la posibilidad de volar sobre cualquier región de la tierra con una calidad visual impresionante y lo suficientemente fiable que incluye nuevos aviones y más de 20.000 aeropuertos.

**Tabla 2**

*Características del Software de Simulación Microsoft Flight Simulator X*

<b>Características</b>	<b>Software de Simulación</b>
DENOMINACIÓN	Microsoft Flight Simulator X
SISTEMA OPERATIVO	Windows XP/ Windows Vista
MEMORIA	512 MB
PROCESADOR	2.8 GHZ
ESPACIO DE DISCO	14 GB de espacio libre

*Nota.* La tabla muestra los requisitos recomendables del software de simulación Microsoft Flight Simulator X para utilizar en PC.

### **2.11.3 FlightGear Flight Simulator (FGFS)**

Es un software de simulación de vuelo de código abierto y gratuito con una amplia variedad de aviones y escenarios, la simulación del vuelo está destinada a ser lo más realista posible, modela de forma precisa el comportamiento de los instrumentos y fallos de sistemas.

**Tabla 3**

*Características del Software de Simulación Flightgear Flight Simulator.*

<b>Características</b>	<b>Software de Simulación</b>
DENOMINACIÓN	FlightGear Flight Simulator (FGFS)
SISTEMA OPERATIVO	Linux Mac, Windows 7/8/10 de 64 bits
MEMORIA	2-4 GB de RAM libre
PROCESADOR	Dual Core/ Quad Core ~ 2.2GHZ cada uno.
ESPACIO DE DISCO	30 GB de espacio disponible

*Nota.* La tabla muestra los requisitos recomendables del software de simulación Flightgear Flight Simulator (FGFS) para utilizar en PC.

## Capítulo III

### 3. Desarrollo del tema

#### 3.1 Introducción

Este capítulo contiene la información sobre la selección del software de simulación que se utilizó para el desarrollo del presente proyecto, proceso de adecuación estructural de la cabina de simulación (externa e interna), configuración y habilitación de los paneles de control (condiciones operativas) y procedimientos del chequeo operacional del sistema eléctrico de los generadores del motor CFM56-3 en el simulador de vuelo de la aeronave Boeing 737-500 perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

#### 3.2 Selección del Software de Simulación

Para la selección del software de simulación adecuado que cumpla con requerimientos necesarios para la realización del presente proyecto, se evaluaron las siguientes características: interfaz manejable y sencilla, grado realismo, simulación precisa de los sistemas, aeronaves disponibles y costo. Puesto que el software de simulación será utilizado para la formación de los estudiantes como técnicos en Mantenimiento de Aeronaves se precisa de una interfaz sencilla y fácil de utilizar asimismo que sea capaz simular situaciones idénticas a las reales sobre la operación y fallos de sistemas frente a diferentes escenarios de operación a las que puede estar sometida la aeronave para proporcionar a los estudiantes una formación apropiada.

Existe una gran variedad de softwares de simulación de vuelo potenciales que poseen las características requeridas siendo el software de simulación X-Plane 11 el más apropiado para este fin.

**Tabla 4***Ponderación de las Características De Softwares De Simulación*

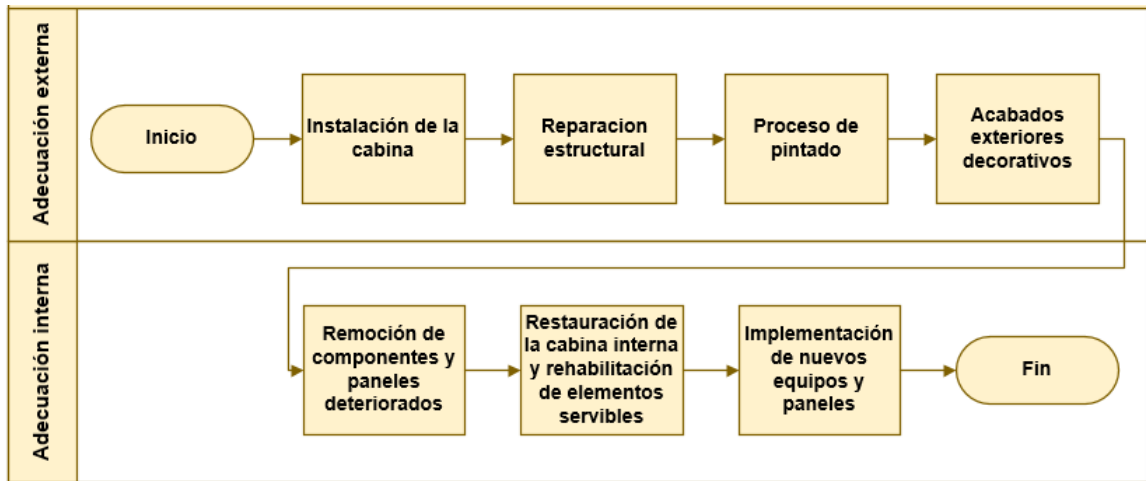
CARACTERISTICAS		X- PLANE		Microsoft Flight Simulator X		FlightGear Flight Simulator (FGFS)	
Grado de realismo	30%	5	1.5	4	1.2	4	1.2
Simulación precisa de sistemas	30%	5	1.5	4	1.2	5	1.5
Interfaz manejable y sencilla	20%	5	1	5	1	4	0.8
Disponibilidad de aeronaves	10%	4	0.4	4	0.4	4	0.4
Costo	10%	4	0.4	4	0.4	5	0.5
Resultados para selección		4.8		4.2		4.4	

*Nota.* La Tabla muestra datos de ponderación según criterio personal de las características para la selección del software de simulación.

### **3.3 Restauración de la cabina de simulación.**

Para el proceso de restauración de la cabina de simulación se evaluó los daños que presentaba la estructura con el fin de comprobar la funcionalidad y seguridad la misma para su posterior restauración.

Se detectó un deterioro de la estructura debido a la corrosión, así como también daños como: deformaciones rajaduras y perdida de material. Teniendo en cuenta estos puntos se procedió a realizar la restauración de la misma.

**Figura 17***Proceso de Restauración de la Cabina de Simulación*

*Nota.* La figura muestra de manera simplificada el proceso de adecuación externa e interna (hardware) de la cabina de simulación.

### 3.3.1 Adecuación externa e interna de la cabina de simulación.

**Tabla 5**

*Tabla de Materiales Equipos y Herramientas (adecuación interna y externa)*

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>
Cable ACSR	15 m	Conductor de aleación de aluminio.
Tubos PVC	10 uds	Diámetro: 2pulg.
Planchas de acero galvanizado	3 uds	Espesor: 0,9mm, Ancho: 1.22m, Largo: 2.44m
Pintura (Primer, Fondo)	3 lts c/u	Color: Verde y Gris
Pintura (Acabado)	2 lts c/u	Color : Blanco y Rojo
Pintura Bate Piedra	3 lts	Color: Negro
Macilla	1lts	Poliéster de relleno Mustang
Lijas (Papel abrasivo)	-	N° 80,150, 240, 400
Discos de Corte Metal	6	Grosor de disco:1/8
Tinher laca	5 lts	
Caja térmica	1	
Tomas o bases eléctricas dobles.	2	
<b>Equipos y herramientas</b>		
<b>Herramientas manuales:</b>		
Martillos Desatornilladores, Alicates, Llaves inglesas, Brocas, Llaves Allen, Pinzas, Limas, Remachadora, Sierra manual Tijeras.		
<b>Herramientas neumáticas:</b>		
Pulverizador de pintura.		
<b>Herramientas Eléctricas:</b>		
Taladro, Amoladora, Compresor, Soldadora.		
<b>Materiales de medición:</b>		
Regla graduada, Cinta métrica.		
<b>Materiales de Ferretería:</b>		
Pernos Tornillos Tuercas Arandelas Remaches Pop (1/8,5/32).		

*Nota.* La tabla muestra los materiales, herramientas y equipos utilizados para el acondicionamiento externo e interno de la cabina de simulación.

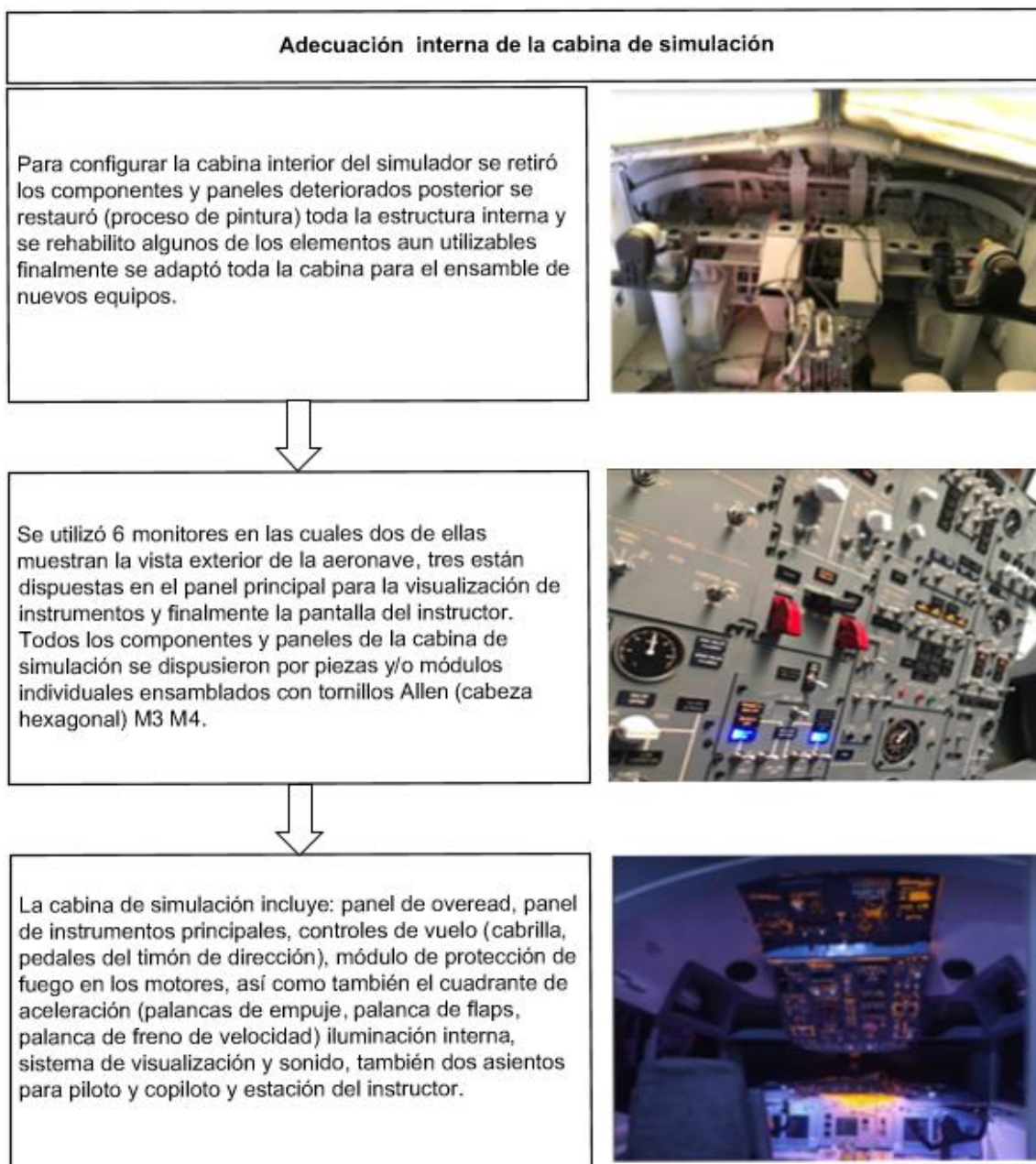
Figura 18

## Proceso de Adecuación Externo de la Cabina De Simulación.



*Nota.* La figura muestra el proceso simplificado del acondicionamiento externo de la cabina de simulación.



**Figura 19***Proceso de Adecuación Interna de la Cabina de Simulación*

*Nota.* La figura muestra el proceso simplificado del acondicionamiento interior de la cabina de simulación.

### 3.3.2 Configuración de paneles de la cabina de simulación

**Tabla 6**

*Tabla de Materiales (configuración y habilitación de paneles)*

<b>Materiales electrónicos:</b>	<b>Descripción:</b>
Placas de arduino mega	Microcontrolador mega 2560
Placas de arduino uno	Microcontrolador para Servos y Lcd
Tarjetas de extensión	Multiplexores CD74HC4067 (16 canales)
Matriz Led	Módulos de matriz de puntos 8X8 MAX7219
Pantallas LCD	LCD 2X16
Interruptores	Palanca, giratorios, pulsadores, codificadores
Servos	Servomotor de 180°
Indicadores Leds	Color: Ámbar, rojo verde azul.
Potenciómetros	De 5k Ohm
Resistencias	De 1 a 10k Ohm
<b>Materiales:</b> Estaño, Pasta para soldar, Termoencogible (aislante)	
<b>Materiales eléctricos:</b> Cautín (soldador eléctrico), Cables conductores (Bus de datos) Multímetro	

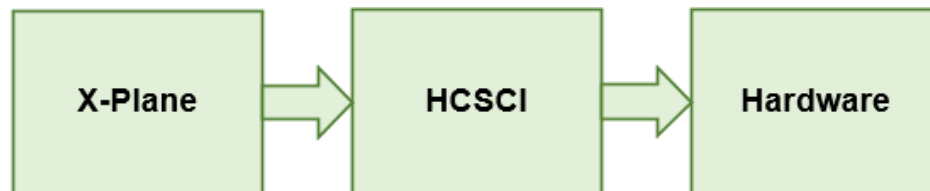
*Nota.* La tabla muestra los materiales usados para la configuración de paneles de la cabina de simulación.

Para implementar los paneles en la cabina de simulación se configuró los módulos de control, para que al manipular al hardware de manera directa el comportamiento de los elementos sea similar al mostrado en el simulador virtual este proceso se lo realizo mediante el configurador de SimVimCockpit / Hcsci.

El SimVimCockpit / Hcsci es una interfaz propia para X-Plane muy utilizada la cual cuenta con una herramienta de configuración muy fácil de usar que nos permite configurar casi cualquier panel de la cabina de una aeronave proporcionando una gran variedad de opciones de entradas y salidas, el sistema funciona con el complemento Hcsci, encargado de comunicar los datos del simulador configurados con el controlador de hardware.

### **Figura 20**

#### *Estructura Simplificada del Sistema*



*Nota.* En la figura se observa como la interfaz de Hcsci permite comunicar X-Plane con el hardware.

El configurador de HCSCI cuenta con mapas e imágenes que incluyen casi todos los elementos y dispositivos de control de los diferentes paneles de la cabina lo que permitió identificar fácilmente interruptores, luces y elementos asociadas al sistema y asignarlos automáticamente a los pines de la placa de arduino.

Para ampliar el número de entradas y salidas se utilizó tarjetas de extensión (multiplexores) y placas controladoras esclavas las cuales están disponibles en los pines del configurador.

**Figura 21**

*Selección de Entradas / Salidas y Extensiones.*



*Nota.* La figura muestra los pines de entrada/salida y las extensiones disponibles en el configurador para la respectiva asignación.

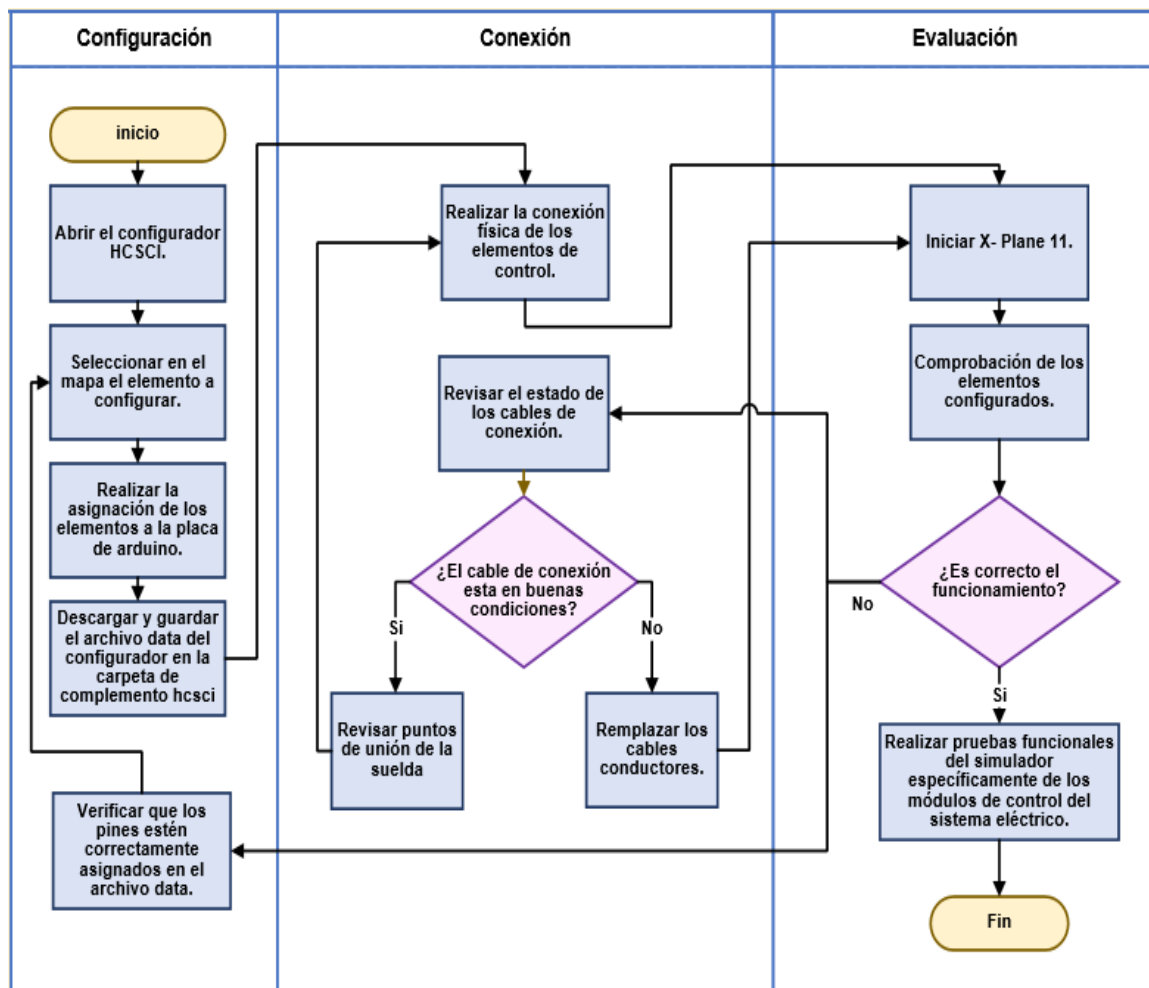
Una vez establecida la configuración se realizó la conexión de los componentes físicos (interruptores, luces y elementos asociados al sistema eléctrico). Cada elemento está conectado individualmente para que en caso de falla este pueda ser remplazado fácilmente.

Para la conexión de elementos a la placa de arduino se conectó los pines de entrada y/o salida a las los terminales de los mismos mediante tarjetas de extensión de entradas para interruptores, matriz de puntos para luces leds y placas controladoras esclavas para servos, la conexión de la pantalla de LCD se la realizo directamente a la placa de arduino según la configuración realizada. Ver conexión en anexo E.

Para comunicar X-Plane desde el ordenador con la placa de arduino se realizó mediante una interfaz de USB.

**Figura 22**

*Flujograma de Configuración Conexión y Evaluación*



*Nota.* En la figura se observa el proceso de configuración conexión y evaluación de los paneles del simulador de vuelo.

Una vez configurado y conectado todos los elementos pertenecientes a los módulos de control del sistema eléctrico de la aeronave se procedió a realizar las respectivas pruebas funcionales las cuales se detallan a continuación:

### **3.4 Prueba funcional del sistema eléctrico de los generadores AC.**

Previo al desarrollo de las pruebas funcionales del simulador de vuelo es necesario tener presente las normas de seguridad para la utilización de la cabina de simulación detalladas en el Manual Seguridad, de igual manera seguir los procedimientos establecidos en Manual de Operación “encendido de la cabina de simulación”. Ver Anexos F y G respectivamente.

Para la realización de las pruebas funcionales del sistema eléctrico de los generadores del motor se utilizó como guía los procedimientos establecidos en el manual de mantenimiento de la aeronave Boeing 737-500- ATA 24.

En esta tarea se realizará una prueba de los generadores impulsados por los motores, el generador de la APU, la energía externa y los sistemas de control del bus de transferencia.

Para llevar a cabo esta prueba fue necesario se comprobar que los motores y la Unidad de Potencia Auxiliar APU estuvieran operando correctamente. Asimismo, que los medidores eléctricos y luces funcionaban apropiadamente para la obtención de datos precisos.

Previamente a realizar la prueba se aseguró que:

- 1.- El interruptor STANDBY POWER en el panel P5-5 estaba en la posición AUTO.
- 2.- El interruptor BUS TRANS del panel P5-4 estaba en la posición AUTO.

#### ***Prueba de la energía externa***

La prueba de energía externa consiste en conectar la GPU al receptáculo de alimentación y comprobar que esta puede suministrar energía eléctrica a la aeronave sin embargo al ser un simulador de vuelo esta tarea es imposible realizarla de manera física por lo que el software de simulación provee de una función que permite simular la conexión que la planta externa.

Una vez que se conectó planta externa GPU se aseguró que la luz GND POWER AVAILABLE en el panel P5 se encendiera.

### Figura 23

*Conexión de Planta Externa*



*Nota.* En la figura se observa el encendido de la luz GND POWER AVAILABLE indicando que planta externa está disponible.

A continuación, se colocó el interruptor de la batería BAT en el panel P5-13 a posición encendido "ON" y se aseguró de que las siguientes luces se encendieran

- TRANSFER BUS OFF No. 1 y No. 2 (panel P5-4)
- BUS OFF No. 1 y No. 2 (panel P5-4)
- GEN OFF BUS No. 1 y No. 2 (panel P5-4)
- ELEC y MASTER CAUTION (panel P7) al presionar las luces se apagan.

## Figura 24

### *Evidencia de Encendido de Luces*



*Nota.* En la figura se observa las luces TRANSFER BUS OFF No. 1 y No. 2 BUS OFF No. 1 y No. 2 GEN OFF BUS No. 1 y No. 2 encendidas debido a que no tienen ninguna fuente de energía AC asignada.

Para comprobar la calidad de la alimentación externa sin cargas se giró el interruptor selector de los medidores de AC en el panel P5-13 a la posición GRD PWR y se aseguró de que el voltímetro y el medidor de frecuencia mostraba valores normales aceptados por el AMM (Manual de Mantenimiento de la Aeronave) de la aeronave simulada.



**Figura 25**

*Valores de Voltaje y Frecuencia de la Potencia Externa sin cargas*



*Nota.* En la figura se observa el valor del voltaje (113 voltios) y la frecuencia (398 Hz) de la potencia externa sin cargas dentro de los parámetros indicados en el AMM de la aeronave simulada.

***Prueba del generador de la unidad de potencia auxiliar (APU)***

Para realizar la prueba del generador de la APU se colocó el interruptor APU GEN No. 1 en posición encendido "ON", seguidamente, se inició la APU según el manual de mantenimiento de la aeronave simulada ATA 49, bloque de páginas 49-11-00/20 y se aseguró de que la luz APU GEN OFF BUS se encendiera.

## Figura 26

### Encendido de la APU



*Nota.* En la figura se muestra en el encendido de la luz APU GEN OFF BUS indicando que la potencia suministrada por la unidad de potencia auxiliar está disponible.

Para comprobar la calidad de la energía del generador de APU sin cargas, se colocó el interruptor del medidor de AC en el panel P5-13 a la posición APU GEN y se aseguró de que el voltímetro mostraba y que el medidor CPS FREQ indicaban los valores normales.

## Figura 27

### Valores de Voltaje y Frecuencia de la APU sin cargas



*Nota.* La figura muestra los valores de voltaje y frecuencia de la APU sin cargas dentro los parámetros normales indicados en el AMM de la aeronave simulada.

Posterior se colocó el interruptor APU GEN No. 1 a la posición apagado "OFF"

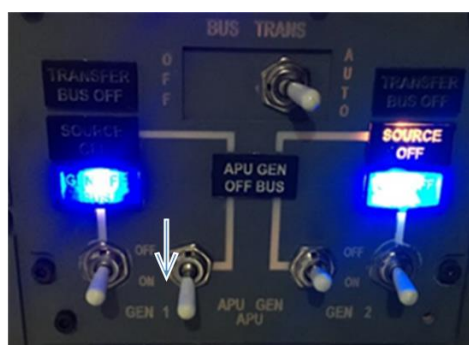
### **Suministro de energía a las barras de AC con el generador de la APU**

La prueba consiste en energizar las barras AC con la potencia suministrada por el generador de la APU para ello se colocó el interruptor APU GEN No. 1 en posición encendido “ON” y se aseguró que las siguientes luces se apagaran:

- APU GEN OFF BUS
- BUS OFF No. 1
- TRANSFER BUS OFF No. 1 y No. 2

#### **Figura 28**

*Energización de las Barras AC con Apu Gen No. 1*

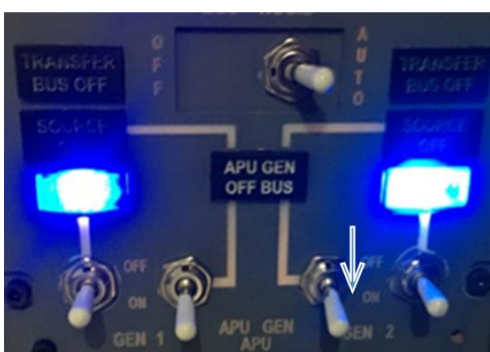


*Nota.* En la figura se muestra como el APU GEN No. 1 suministra energía ambas las barras de transferencia

Del mismo modo se colocó el interruptor APU GEN No. 2 en la posición encendido “ON” y se aseguró que la luz BUS OFF No. 2 se apagara.

#### **Figura 29**

*Energización de las Barras AC con Apu Gen No. 2*



*Nota.* En la figura se muestra como el APU GEN No. 1 y APU GEN No. 2 suministra energía a las barras de transferencia

También se aseguró que las luces de DRIVE No. 1 y 2 en el panel P5-5 se encendieran.

### **Figura 30**

*Luces de Drive No. 1 Y 2 encendidas*



*Nota.* La figura muestra que motor N°1 y N°2 están apagados.

### **Colocación de cargas en las barras de AC**

Para colocación de cargas se siguió los siguientes procedimientos:

- 1.-Se energizó todas las luces (excepto las luces de emergencia), galleys, aire acondicionado y bombas de refuerzo de combustible.
- 2.-Se colocó los interruptores HYD PUMPS - ELEC 1 y 2 en el módulo de bombas hidráulicas P5-8 a posición encendido "ON"
- 3.-Se colocó los interruptores FLT CONTROL A y B en el módulo de controles de vuelo P5-3 a posición encendido "ON"

Para comprobar la calidad de la energía del generador de APU con cargas se colocó el interruptor del medidor de AC a APU GEN y se aseguró de que el voltímetro de AC y el medidor CPS FREQ mostraban valores normales.

**Figura 31**

*Valores de Voltaje y Frecuencia de la APU con Cargas*




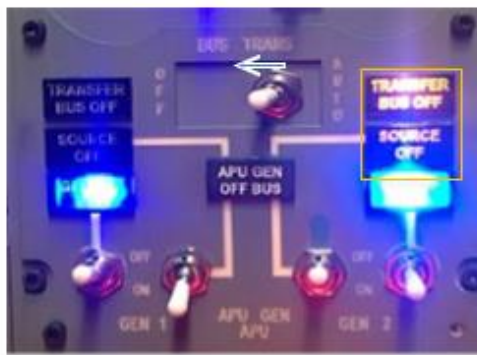

*Nota.* La figura muestra los valores de voltaje y frecuencia de la APU con cargas está dentro los parámetros normales indicados en el AMM de la aeronave simulada.

### Prueba de los circuitos de control del generador de la APU

Para realizar esta prueba se siguió los procedimientos mostrados en la figura.

#### Figura 32

##### Procedimiento de Prueba de circuitos de la APU

<p>1.- Se colocó el interruptor APU GEN No. 2 a la posición apagado "OFF" y se aseguró que la luz BUS OFF No. 2 se encendió</p>	
<p>2.-Se colocó el interruptor BUS TRANS a la posición apagado "OFF" y se aseguró que la luz TRANSFER BUS OFF No. 2 se encendiera.</p>	
<p>3.-Se colocó el interruptor APU GEN No. 2 en posición encendido "ON" y se aseguró de que las luces BUS OFF No. 2 y TRANSFER BUS OFF No. 2 se apagaron.</p>	

4.- Se colocó el interruptor APU GEN No. 1 a la posición apagado "OFF" y se aseguró que las luces BUS OFF No. 1 y TRANSFER BUS OFF No. 1 se encendieran.



5.- Se colocó el interruptor BUS TRANS a posición AUTO y se aseguró que la luz TRANSFER BUS OFF No. 1 se apagara.



*Nota:* La figura muestra los procedimientos de prueba de circuitos del generador de la APU.

### ***Transferencia de energía desde el generador de APU a la energía externa***

Para transferir la energía desde la planta externa se colocó el interruptor GRD PWR en el panel P5-4 a la posición encendido "ON" y se aseguró que la luz APU GEN OFF BUS se encendiera.

**Figura 33**

*Transferencia de Energía desde la de Apu a la Energía Externa*



*Nota.* En la figura muestra como GRD PWR en ON suministra energía a las barras del generador cortando automáticamente la energía suministrado por el generador de la APU.

Para comprobar la calidad de la alimentación externa con carga se colocó el interruptor de los medidores de AC a la posición GRD PWR y se aseguró que el voltímetro de AC y el medidor de frecuencia mostraba los valores aceptados en el AMM de la aeronave simulada.

**Figura 34**

*Valores de Voltaje y frecuencia de planta externa con carga.*





*Nota.* La figura muestra los valores de voltaje (115V) y frecuencia (398Hz) de la GRD PWR con cargas están dentro los parámetros normales indicados en el AMM de la aeronave simulada.

### ***Transferencia de energía desde planta externa al generador de la APU***

Para esta tarea se colocó el interruptor APU GEN No. 1 y 2 en la posición encendido “ON” y se aseguró que la luz APU GEN OFF BUS se apagara.

### **Figura 35**

*Apu Gen No. 1 Y 2 en la posición encendido “ON”*



*Nota.* La figura muestra como APU GEN No. 1 y 2 en la posición encendido “ON” suministra energía las barras del generador cortando automáticamente la potencia suministrada por planta externa.

### ***Prueba de los generadores accionados por los motores***

La energía de los generadores accionados por los motores suministra energía a todas las barras de AC y DC.

### ***Prueba de generador del motor N. ° 1***

Para esta prueba se colocó el interruptor GEN 1 en el panel P5-4 a posición encendido “ON” seguidamente se arrancó el motor No. 1 de acuerdo al manual de mantenimiento ATA 72-00-00 y se aseguró que la luz DRIVE No 1 en el panel P5-5 se apagara.

### Figura 36

*Luz Drive No 1 apagada*



*Nota.* La figura muestra luz drive N° 1 apagada que indica que el motor N°1 está encendido.

Para comprobar la calidad de la energía del motor generador No. 1 sin cargas se colocó el interruptor de los medidores de AC a la posición GEN 1 y se aseguró de que el voltímetro y el medidor de frecuencia mostraba los valores normales establecidos en el manual de mantenimiento de la aeronave simulada.

### Figura 37

*Valores de Voltaje y Frecuencia de Gen 1 sin carga.*



*Nota.* La figura muestra los valores de voltaje (112 V) y frecuencia (397 Hz) de la GEN 1 sin cargas está dentro los parámetros normales indicados en el AMM de la aeronave simulada.

A continuación, se colocó el interruptor GEN 1 a la posición apagado "OFF".

### ***Prueba del generador del motor N. ° 2***

Para realizar esta prueba se colocó el interruptor GEN 2 en el panel P5-4 a posición encendido "ON" posterior se arrancó el motor No. 2 de acuerdo la manual de mantenimiento de la aeronave simulada ata 71 bloque de paginas 71-00-00/201 y se aseguró de que la luz de DRIVE No. 2 se apagara.

### **Figura 38**

*Luz de Drive No. 2 apagada*



*Nota.* La figura muestra luz drive N° 2 apagada que indica que el motor N°2 está encendido.

Para comprobar la calidad de la energía del motor generador No. 2 sin cargas: se colocó el interruptor de los medidores de AC a la posición GEN 2 y se aseguró de que el voltímetro de AC y que el medidor de frecuencia mostraba los valores aceptados por el AMM de la aeronave simulada.

### Figura 39

Valores de Voltaje y Frecuencia de Gen 2 sin carga



*Nota.* La figura muestra los valores de voltaje y frecuencia de la GEN 2 sin cargas dentro los parámetros normales indicados en el AMM de la aeronave simulada.

A continuación, se colocó el interruptor GEN 2 a la posición apagado “OFF”.

### **Transferencia de energía desde el generador APU a los generadores de los motores**

Para esta tarea se colocó el interruptor GEN 1 a la posición encendido “ON” y se aseguró de que la luz GEN OFF BUS No. 1 se apagara.

### Figura 40

Conexión del Generador del motor 1



*Nota.* La figura muestra GEN 1 en ON suministra energía a su propia barra.

Para comprobar la calidad de la energía del generador del motor No. 1 con cargas. Se colocó el interruptor de los medidores de AC a posición GEN 1 y se aseguró de que el voltaje y la frecuencia estaban dentro de los parámetros aceptables 114 V y 398 HZ respectivamente.

A continuación, se colocó el interruptor GEN 2 a posición encendido "ON" y se aseguró de que la luz GEN OFF BUS No. 2 se apagara y la luz APU GEN OFF BUS se encendiera.

#### **Figura 41**

*Conexión del Generador del motor 2*



*Nota.* La figura muestra como cada generador alimenta a su propia barra y desconecta automáticamente el generador de la APU.





Para comprobar la calidad de la energía del generador del motor N. ° 2 con cargas se colocó el interruptor de los medidores de AC a posición GEN 2 y se aseguró de que el voltímetro de AC mostraba los voltios y la frecuencia dentro de los parámetros normales 114 V y 398 HZ respectivamente.

### **Prueba de los circuitos de control de los generadores de los motores**

Para la siguiente prueba se siguió los procedimientos mostrados en la imagen:

**Figura 42**

*Prueba de los circuitos de control de los generadores principales.*

<p>1.- Se colocó el interruptor GEN 2 a la posición apagado "OFF" y se aseguró que las luces BUS OFF No. 2 y GEN OFF BUS No. 2 se encendieran.</p>	
<p>2.- Se colocó el interruptor BUS TRANS a la posición apagado "OFF" y se aseguró que la luz TRANSFER BUS OFF No. 2 se encendió.</p>	
<p>3.- Se colocó el interruptor GEN 2 a posición encendido "ON" y se aseguró que las siguientes luces se apagaran:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• GEN OFF BUS No. 2</li> <li>• BUS OFF No. 2</li> <li>• TRANSFER BUS OFF No. 2</li> </ul>	
<p>4.- Se colocó el interruptor GEN 1 a la posición apagado "OFF" y se aseguró de que las siguientes luces se encendieran:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• GEN OFF BUS No. 1</li> <li>• BUS OFF No. 1</li> <li>• TRANSFER BUS OFF No. 1</li> </ul>	

5.- Se colocó el interruptor BUS TRANS a posición AUTO y se aseguró que la luz TRANSFER BUS OFF No. 1 se apagara.



6.- Se colocó el interruptor GEN 1 en posición encendido "ON" y se aseguró de que las luces BUS OFF No. 1 y GEN OFF BUS No. 1 se apagaran.



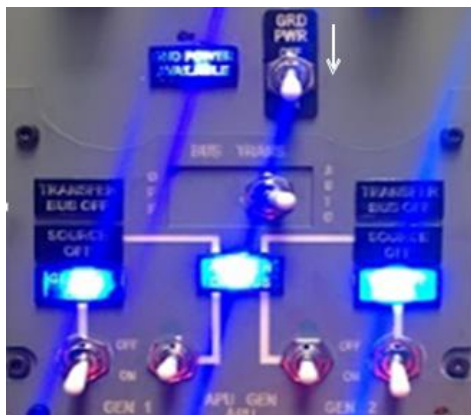
Nota: La figura muestra cada una de las configuraciones de operación para asegurar que los generadores del motor están funcionando correctamente

### ***Transferencia de energía de los generadores de los motores a la energía externa***

Se colocó el interruptor GRD PWR en posición encendido "ON" y se aseguró que las luces GEN OFF BUS No. 1 y GEN OFF BUS No. 2 se encendieran.

**Figura 43**

*Conexión de planta externa “GRD PWR”*



*Nota.* La figura muestra como al conectar planta externa las luces GEN OFF BUS No. 1 y 2 se encienden debido a que los generadores se han desconectado automáticamente de su barra.

***Transferencia de energía de la energía externa a los generadores de los motores.***

Se colocó el interruptor GEN 1 en posición encendido “ON” y se aseguró que la luz GEN OFF BUS No. 1 se apagara.

**Figura 44**

*Gen 1 en posición encendido “ON”*



*Nota.* La figura muestra como al colocar al GEN 1 suministra energía a su propia barra desconectando automáticamente la planta externa.

Posterior se colocó el interruptor GEN 2 a posición encendido “ON” y se aseguró que la luz GEN OFF BUS No. 2 se apagara.



### Figura 45

*Gen 2 a posición encendido "ON"*



*Nota.* La figura muestra la transferencia de energía de la energía externa a los generadores de motores.

### ***Transferencia de energía de los generadores de los motores al generador APU***

Se colocó el interruptor APU GEN No. 1 en posición encendido "ON" y se aseguró que la luz GEN OFF BUS No. 1 se encendiera y luz APU GEN OFF BUS se apagara.

### Figura 46

*Conexión del Apu Gen No. 1*



*Nota.* La figura muestra transferencia de energía del generador del motor 1 al generador APU.

Posterior se colocó el interruptor APU GEN No. 2 en posición encendido “ON” y se aseguró que la luz GEN OFF BUS No. 2 se encendiera

### Figura 47

*Conexión del Apu Gen No. 2*



*Nota.* La figura muestra transferencia de energía de ambos generadores de los motores al generador APU.

### ***Retorno a configuración normal y apagado de la cabina de simulación***

Para retronar la cabina de simulación a configuración normal se realizó los siguientes procedimientos:

- 1.- Se apagó los motores No 1 y No 2
- 2.- Se retiró las cargas eléctricas de los buses de AC.
  - (a) Se retiró la energía de las luces, cocinas, aire acondicionado y bombas de refuerzo de combustible.
  - (b) Se colocó los interruptores HYD PUMPS - ELEC 1 y 2 a la posición OFF.
- 3.- Se detuvo a la APU.
- 4.- Se colocó el interruptor BAT a la posición apagado “OFF”.
- 5.- Se desconectó la alimentación externa GPU.

Una vez finalizado el desarrollo de las pruebas funcionales del simulador se realizó el adecuado apagado de la cabina de simulación para esto siguió los procedimientos

establecidos en el Manual de Operación “apagado de la cabina de simulación”. Ver Anexo G.

Una vez que se comprobó todas las pruebas funcionales de los generadores de los motores, del generador de la APU, y la energía suministrada planta externa y sus diferentes configuraciones se determinó que la funcionalidad de los módulos de control del sistema eléctrico cumple con cada uno de los parámetros de evaluación según el manual de mantenimiento.

## Capítulo IV

### 4. Conclusiones y recomendaciones

#### 4.1 Conclusiones

- Para la realización del presente proyecto fue necesario la utilización de diferentes fuentes bibliográficas principalmente la información obtenida del Manual de Mantenimiento de la aeronave simulada (Boeing 737-500), ATA 24-21-00 y tarjetas de tarea aplicables a la aeronave “Tarjeta Boeing No. 24-021-00-01” donde se establece la información necesaria y procedimientos técnicos requeridos, para realizar la prueba operacional de los generadores impulsados por el motor, también ha sido necesario el estudio de temas referentes al ámbito de la simulación y conocimientos básicos en electrónica.
- El chequeo operacional realizado permitió determinar la funcionalidad general del simulador de vuelo, aplicando los procedimientos y tareas requeridas en especial pruebas funcionales del sistema eléctrico del motor CFM 56-3, asimismo se comprobó el correcto funcionamiento físico y visual de controles manuales y luces asociados al sistema eléctrico de la aeronave, siendo capaz de realizar todas las acciones de acuerdo a los requerimientos de evaluación especificados.
- El objetivo de comprobar la operatividad del sistema eléctrico en los generadores del motor CFM56-3 fue acreditar que el sistema de generación principal (generadores) funcionaba apropiadamente de acuerdo a los procedimientos especificados en el manual de mantenimiento garantizando la capacidad del simulador de vuelo de recrear la aptitud y actitud de la aeronave Boeing 737-500. El simulador de vuelo ha evidenciado ser una gran herramienta para la formación de los estudiantes como técnicos de ya que ha permitido realizar procedimientos bajo ciertas condiciones de operación que resultaría

complejo realizarlas de manera repetida en una aeronave real, permitiendo de esta manera adquirir experiencias valiosas para su formación.

## 4.2 Recomendaciones

- Se recomienda al momento de hacer uso del simulador de vuelo contar con la documentación técnica necesaria, Manual de Operación, Manual de Seguridad, Manual de Mantenimiento y/o materiales necesarios para la ejecución de las funciones en la cabina de simulación.
- Se recomienda dar el mantenimiento adecuado de la cabina de simulación software y hardware detallado en el Manual de Mantenimiento adjunto en este documento para evitar posibles daños técnicos y/o mecánicos, permitiéndole de esta manera continuar operando en las mismas condiciones calidad y seguridad que se mostró durante el proceso de pruebas funcionales y operativas del simulador de vuelo.
- Se recomienda mantener el software de simulación y sus complementos actualizados a su última versión, ya que las actualizaciones muchas veces permiten tener acceso a nuevas opciones y características además de corrección de fallos que puede tener la versión anterior. Si se realiza una actualización es necesario realizar las respectivas pruebas funcionales de los módulos de control del sistema y/o sistemas para asegurarse que estos siguen cumpliendo con los criterios de evaluación mostrados durante fase de pruebas.

## GLOSARIO

### A

**Aeronave.** Dispositivo diseñado para sustentarse en el aire y desplazarse de un lugar otro debido a la actuación de fuerzas horizontales y verticales.

**Amperímetro.** - Es un instrumento de medición usado para determinar la intensidad de corriente eléctrica suministrada por el sistema de generación.

**Arduino.** – Es una plataforma basada en una placa electrónica de hardware libre que utiliza un microcontrolador reprogramable con una serie de pines de entradas salidas analógicas y digitales que permite establecer conexiones entre el controlador y los diferentes sensores, diseñada para construir dispositivos digitales e interactivos que puedan detectar y controlar elementos reales.

### B

**Barra o bus.** - Son conductores de baja impedancia que sirven como conexión común a varios circuitos, consisten en platinas metálicas buenos conductores como latón, cobre o aluminio.

### C

**Componente.** -Es una unidad o conjunto de piezas que forman parte de un equipo o sistema.

### D

**Dispositivo.** - Es un aparato, instrumento, mecanismo, equipo o accesorio instalado en la aeronave y utilizado para operar y/o controlar a la misma

### E

**Equipo.** - Es un conjunto de componentes relacionados operacionalmente para realizar una función determinada.

**I**

**Interruptor.** - Son dispositivos que permiten pasar, cortar o desviar el paso de la corriente eléctrica en un circuito dependiendo de su tipo; su función es controlar la operación de un dispositivo y/o sistema.

**L**

**LCD.** - Es una pantalla de cristal líquido, sistema que utilizan algunas pantallas electrónicas para mostrar información visual.

**Luces led.** - Son indicadores que muestran la posición (encendido/apagado) del interruptor y/o el estado actual del sistema.

**S**

**Simulador de vuelo.** - Sistemas diseñados para reproducir el comportamiento de una aeronave en tiempo real, pudiendo recrear sensaciones y percepciones visuales y de movimiento que permite una mejor apreciación del funcionamiento y control de una aeronave y de las condiciones de entorno a la que puede estar sometida.

**Sistema.** - Es un conjunto que incluye equipos, componentes, instrumentos, controles, unidades, partes mecánicas, eléctricas y/o hidráulicas etc., relacionada entre sí para realizar una función específica.

**Software de simulación.** - Es un programa que permite al usuario recrear situaciones, fenómenos, o la operación de un sistema determinado con la finalidad de obtener posibles resultados de su comportamiento, anticipándose a evitar futuros problemas.

**R**

**Relé.** - Es un dispositivo eléctrico, electrónico o electromagnético controlado por un interruptor; que permite regular el paso y dirección de la corriente en un circuito.



**V**

**Voltímetro.** - Es un instrumento de medición utilizado para medir la tensión o voltaje en un circuito eléctrico.

**ABREVIATURAS**

<b>AC</b>	Alternating Current	Corriente Alterna
<b>AMM</b>	Aircraft Maintenance Manual	Manual de Mantenimiento de la Aeronave
<b>APU</b>	Auxiliar Power Unit	Unidad de Potencia Auxiliar
<b>ATA</b>	Air Traffic Association	Asociación de Tráfico Aéreo
<b>ATD</b>	Aviation Training Device	Dispositivo de Entrenamiento de Aviación
<b>BITD</b>	Basic Instrument Training Device	Dispositivo de Entrenamiento Básico de Instrumentos
<b>CB</b>	Circuit Breaker	Disyuntor
<b>CPT</b>	Cockpit Procedures Trainer	Entrenador de Procedimientos de Cabina
<b>CSD</b>	Constant Speed Drive	Unidad de Velocidad Constante
<b>DGAC</b>		Dirección General De Aviación Civil
<b>DC</b>	Direct Current	Corriente Continua
<b>EPC</b>	External Power Contactor	Contactador de energía externa
<b>FAA</b>	Federal Aviation Administration	Administración Federal de Aviación
<b>FFS</b>	Full Flight Simulator	Simulador de Vuelo Completo
<b>FGFS</b>	FlightGear Flight Simulator	
<b>FNPT</b>	Flight Navigation Procedures Trainer	Entrenador de Procedimientos de Navegación de Vuelo
<b>FSTD</b>	Flight Simulation Training Devices	Dispositivos de Entrenamiento de Simulación de Vuelo
<b>FTD</b>	Flight Training Device	Dispositivo de Entrenamiento de Vuelo

<b>GB</b>	Generator Breaker	Disyuntor de Generador
<b>GCU</b>	Generator Control Unit	Unidad de Control del Generador
<b>GPU</b>	Ground Power Unit	Unidad de Potencia en Tierra
<b>IATA</b>	International Air Transport Association	Asociación De Transporte Aéreo Internacional
<b>LCD</b>	Liquid Cristal Display	Pantalla de Cristal Líquido
<b>OACI</b>		Organización de Aviación Civil Internacional
<b>RAT</b>	Ram Air Turbine	Turbina de Aire de Impacto
<b>RDAC</b>		Regulaciones de Aviación Civil
<b>TRU</b>	Transformer Rectifier Unit	Unidad Transformadora Rectificadora
<b>VSCF</b>	Variable Speed Constant Frequency	Velocidad Variable- Frecuencia Constante

## Bibliografía

- ATPL. (18 de Julio de 2007). File:Flight and Navigation Procedures Trainer Frasca-242 1.jpg. Recuperado el 05 de enero 2021 de Wikimedia Commons:  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Flight\\_and\\_Navigation\\_Procedures\\_Trainer\\_Frasca-242\\_1.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Flight_and_Navigation_Procedures_Trainer_Frasca-242_1.jpg)
- Baltic Aviation Academy. (17 de Febrero de 2012). Baltic Aviation Academy Airbus B737 Full Flight Simulator (FFS). Recuperado el 12 de enero de 2021 de Wikimedia Commons:  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Baltic\\_Aviation\\_Academy\\_Airbus\\_B737\\_Full\\_Flight\\_Simulator\\_\(FFS\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Baltic_Aviation_Academy_Airbus_B737_Full_Flight_Simulator_(FFS).jpg)
- FlightGear - FlightGear wiki. (s.f.). FlightGear. Recuperado el 26 de enero de 2021 de <https://wiki.flightgear.org/FlightGear>
- FlightGear wiki. (s.f.). Es/Recomendaciones de hardware. Recuperado el 26 de enero de 2021 de [https://wiki.flightgear.org/Es/Recomendaciones\\_de硬件](https://wiki.flightgear.org/Es/Recomendaciones_de硬件)
- FlightSim Greenland. (24 de junio de 2016). Historia del Flight Simulator, introduccion. Recuperado el 05 de enero de 2021 de <https://flightsim.gl/flight-simulator-history/>
- Gago Burón, G. M. (2016). Sistema eléctrico de los aviones. (U. d. Industriales, Editor) Recuperado el 16 de febrero de 2021 de Universidad de Valladolid Repositorio Documental: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/18103>
- Jesus, M. R. (24 de Septiembre de 2019). Electricidad básica en aeronaves. Ediciones Paraninfo, S.A. Recuperado el 16 de febrero de 2021 de de Google Books.
- López Crespo, J. (2014). Módulo 3. Fundamentos de Electricidad. En S. Ediciones Paraninfo (Ed.). Recuperado el 16 de febrero de 2021 de Google Books.
- Prieto, V. A. (2017). Simulación del Sistema Eléctrico de una aeronave empleando OpenDSS. Recuperado 18 de marzo de 2021 de e- REDING.Biblioteca de la

Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla:

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/91273/>

Reedy. (16 de Marzo de 2013). File:L-1011 Tristar CPT National Airline History Museum, Kansas 2013-03-16 (02).jpg. Recuperado 12 de enero de 2021 de de

Wikimedia commons: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:L->

1011\_Tristar\_CPT\_National\_Airline\_History\_Museum,\_Kansas\_2013-03-

16\_(02).jpg

Riley, R. (2008). Manual of Simulation in Healthcare. (O. U. Richard Riley, Ed.)

Recuperado el 07 de enero de 2021 de Google Books.

SuperJet International. (2011 de Marzo de 2011). File:SSJ100 Flight Training Device

(5553139160) (2).jpg. Recuperado el 12 de enero de 2021 de Wikimedia

Commons:

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SSJ100\\_Flight\\_Training\\_Device\\_\(55531](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SSJ100_Flight_Training_Device_(55531)

39160)\_2).jpg

United States. Bureau of Naval Personnel. (1955). Aircraft Electrical Systems, Volumen

1. Bureau of Naval Personnel. Recuperado 03 de abril de 2021 de Google

Books.

Williams, B. (28 de diciembre de 2011). Scenario-Based Training with X-Plane and

Microsoft Flight Simulator: Using PC-Based Flight Simulations Based on FAA-

Industry Training Standards. Recuperado el 13 de abril de 2021 de Google

Books.

# Anexos