



Implementación del sistema de presurización y aire acondicionado, mediante información técnica del manual de mantenimiento ata 21, en el simulador de la aeronave boeing 737-800 perteneciente a la Universidad De Las Fuerzas Armadas-Espe

Implementation of the pressurization and air conditioning system, through technical information from the ata 21 maintenance manual, in the simulator of the boeing 737-800 aircraft belonging to the University Of The Armed Forces-Espe

Implementação do sistema de pressurização e ar condicionado, através de informações técnicas do manual de manutenção ata 21, no simulador da aeronave boeing 737-800 pertencente à Universidade das Forças Armadas-Espe

Daniel Francisco Jarrin-Campoverde ^I
dfjarrin1@espe.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-1687-184X>

Gabriel Sebastián Inca-Yajamín ^{II}
gsinca@espe.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-2309-6901>

Rodrigo Cristóbal Bautista-Zurita ^{III}
rcautista@espe.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-1545-8033>

Esteban Andrés Arévalo-Rodríguez ^{IV}
eaarevalo1@espe.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-4565-3406>

Miltón Andrés Arellano-Reyes ^V
maarellano3@espe.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-8217-3834>

Correspondencia: dfjarrin1@espe.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Revisión

***Recibido:** 25 de febrero de 2022 ***Aceptado:** 10 de marzo 2022 * **Publicado:** 26 abril de 2022

- I. Investigador de la Carrera Tecnológica en Electrónica mención Instrumentación & Aviónica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga, Ecuador.
- II. Ingeniero en Electromecánica, Tecnólogo en Mecánica Aeronáutica mención Motores. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Latacunga, Ecuador.
- III. Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Ingeniero Industrial, Tecnólogo en Mecánica Aeronáutica mención Motores. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Latacunga, Ecuador
- IV. Tecnólogo en Mecánica Aeronáutica mención Motores. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Latacunga, Ecuador.
- V. Tecnólogo en Mecánica Aeronáutica mención Aviones Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Latacunga, Ecuador.

Resumen

Los sistemas de presurización y aire acondicionado se encargan de mantener a la aeronave "a una temperatura y presión adecuada" desde el inicio del vuelo hasta que termine el mismo, el sistema de aire acondicionado de la aeronave es el sistema de apoyo a la vida a bordo y está diseñado para mantener la temperatura y la presión de aire de la cabina hermética en un nivel para asegurar el funcionamiento normal de los pasajeros y la tripulación. Se desarrolla un entorno de entrenamiento virtual de acuerdo lo indica la Regulación Técnica de Aviación Civil RDAC parte 060 Apéndice 1 aplicado a una aeronave Boeing 737 – 800, basado en programación, y un desarrollo de arquitectura de paneles de cabina, para posteriormente entrelazarse con los diferentes sistemas que compone la aeronave para cumplir con la función de entrenamiento para el personal técnico aeronáutico durante las fases de operación en tierra y en vuelo.

Palabras Clave: Simulador de vuelo; Boeing; COM/NAV; GPWS; HCSCI; XPLANE.

Abstract

The aeronautical communication systems are responsible for guiding the aircraft "on the ground" from the boarding gates to the active runway, through the taxiways (TWY), allowing to provide flight information continuously, Boeing aircraft have systems for proper communication with all means of reception and air transmission such as the air traffic control tower, On the other hand, navigation implies a precise trajectory control during the flight, starting from its configuration on the runway, takeoff until landing at its destination, by means of antennas, cockpit panels for data entry and an inertial platform. A virtual training environment applied to a Boeing 737 - 800 aircraft is developed, based on programming, and a development of cabin panel architecture, to later be intertwined with the different systems that compose the aircraft to fulfill the training function for the aeronautical technical personnel during the ground and in-flight operation phases.

Keywords: Flight simulator; Boeing; COM/NAV; GPWS; HCSCI; XPLANE.

Resumo

Os sistemas de pressurização e ar condicionado são responsáveis por manter a aeronave "em temperatura e pressão adequadas" desde o início do voo até o seu término. pressão do ar da cabine hermética em um nível que garanta o funcionamento normal dos passageiros e da tripulação. Um ambiente virtual de treinamento é desenvolvido de acordo com o que está indicado no Regulamento

Técnico da Aviação Civil RDAC parte 060 Anexo 1 aplicado a uma aeronave Boeing 737 - 800, baseado em programação, e desenvolvimento de arquitetura de painel de cabine, para posteriormente entrelaçar com o diferentes sistemas que compõem a aeronave para cumprir a função de treinamento de pessoal técnico aeronáutico durante as fases de operação em solo e em voo.

Palavras-chave: Simulador de voo; Boeing; COM/NAV; GPWS; HCSCI; XPLANE.

Introducción

Una aeronave para su funcionamiento se emplea de varios sistemas en conjunto entre ellos tenemos; Aire acondicionado y presurización. Piloto automático. Unidad de potencia auxiliar. Comunicaciones. Eléctrico. Motores. Protección y alerta de incendios. Controles para el vuelo del avión. Combustible. Hidráulico. Neumático. Protección contra hielo y lluvia. Instrumentación y navegación. Tren de aterrizaje.

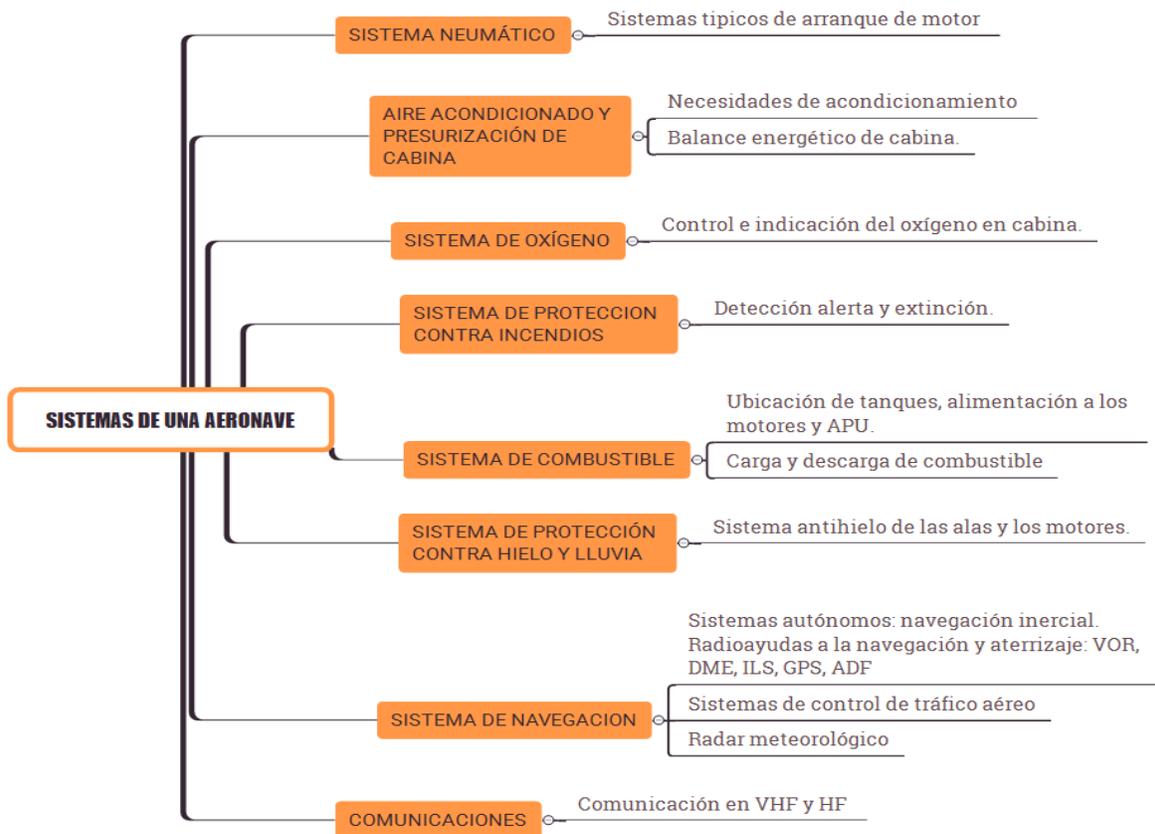


Figura1. Sistemas de una aeronave

Sistema de aire acondicionado

La atmósfera rodea a la tierra en forma de un manto gaseoso, que se conserva gracias a la gravedad. La altitud de la atmosfera es variable siendo mayor durante el verano que durante el invierno, y mayor en las bajas latitudes que en las grandes latitudes. El calor causa la expansión de los gases atmosféricos hacia el espacio, y es la interacción de esta fuerza y la gravitacional terrestre.

La presión atmosférica es el peso de los gases que rodean la tierra, esta es una función de altitud, densidad y fuerza de gravedad, el presente sistema de adquisición de imágenes está conformado por elementos comerciales que incluye los siguientes elementos:

El aire acondicionado es muy cómodo, pasa de una temperatura insoportable al ambiente más agradable.

- Controlar la temperatura.
- El aire circula constantemente.
- Disminuye la fatiga.
- Previene y combate la humedad ambiental.

El aire que se suministra a los pasajeros de un avión reactor proviene de los compresores de los motores. Este aire necesita estar a una presión determinada y para ello pasa por los PACKs (Pressure and Air Conditioning Kits), unos kits neumáticos de aire acondicionado situados en la parte inferior del avión entre las ruedas de aterrizaje. Al salir de ahí, el aire tiene la temperatura y presión adecuada para la cabina de pasajeros y tripulación.



Figura. 2. Aire acondicionado en cabina

El sistema de aire acondicionado proporciona aire que de tal manera en cabina se pueda respirar un entorno para los pasajeros y la tripulación, garantizando el confort y la seguridad.

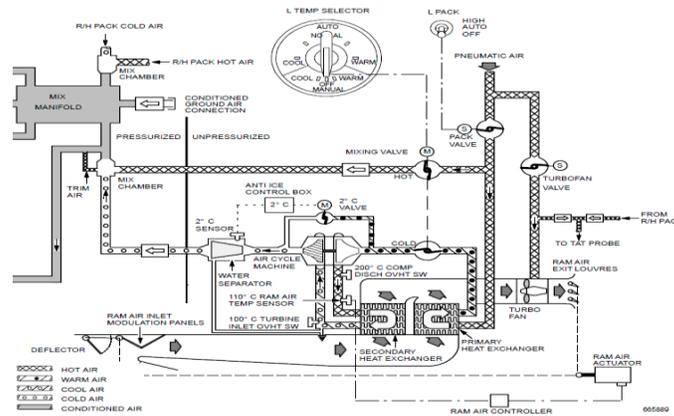


Figura. 3. Gráfico esquemático del sistema de presurización

Paquete de aire acondicionado

Las válvulas de control de flujo (válvulas de paquete) proporcionan un control de encendido/apagado del paquete, y uno de tres programas de flujo diferentes en respuesta al interruptor del paquete y a la selección del interruptor de purga de la APU en el panel P5.

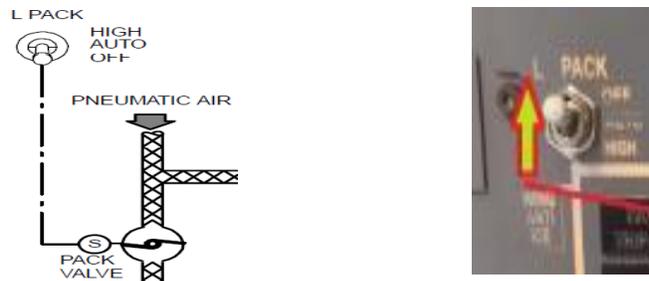


Figura. 4. Interruptor en cabina

Válvula de mezclas de aire caliente

La válvula de mezcla de aire, situada después de la válvula de empaquetamiento, regula la temperatura de la cabina permitiendo que una cantidad controlada de aire caliente pase por el sistema de ciclo de aire.

La válvula es un conjunto de doble carcasa con dos placas de disco montadas en un eje común 90 opuesto. Cuando un disco se mueve de abierto a cerrado, el otro se mueve de cerrado a abierto.

Una parte del aire se dirige a la placa de aire caliente de la válvula de mezcla, pasa por alto el paquete de refrigeración y se dirige a través de la cámara de mezcla.

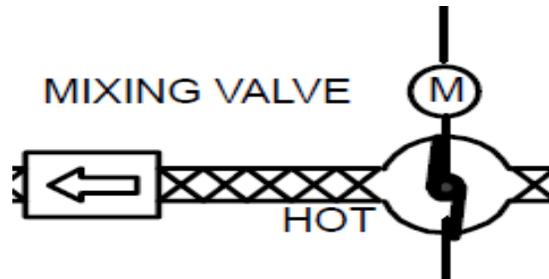


Figura. 5. Válvula de mezcla de aire caliente

Intercambiador de calor primario

El intercambiador de calor primario es del tipo aire-aire. El sistema de aire acondicionado emplea aire exterior como medio de refrigeración a través del intercambiador de calor. La cantidad de aire exterior que se permite que fluya a través de los intercambiadores de calor está determinada por los paneles de entrada y las válvulas de salida de aire del ariete. Durante los periodos de bajo suministro de aire de ariete, como el avión en tierra, el ascenso o el descenso, un turboventilador operado neumáticamente induce el flujo de aire exterior a través de los intercambiadores de calor. La cantidad de apertura se controla automáticamente para mantener una temperatura de 110°C (230°F) en la descarga del compresor.

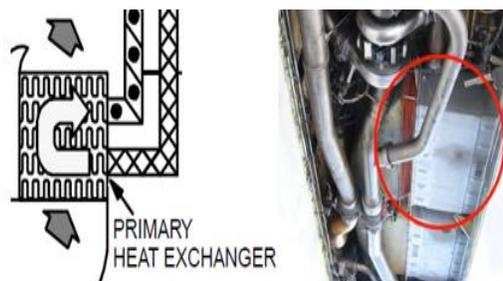


Figura. 6. Intercambiador de calor primario

Válvula mezcladora de aire frío

El disco de aire frío regula la cantidad de aire que pasa por el paquete de refrigeración. La válvula se controla en modo automático y manual. Cuando la válvula del pack está cerrada, la válvula de mezcla conduce a pleno frío como se observa en la Figura. 7.



Figura. 7. Válvula mezcladora de aire frío.

Máquina ciclo del aire

La máquina de ciclo de aire es una unidad de refrigeración que consta de un compresor y una turbina en un eje común. El aire entra en el compresor, donde se aumenta la presión y la temperatura del aire.

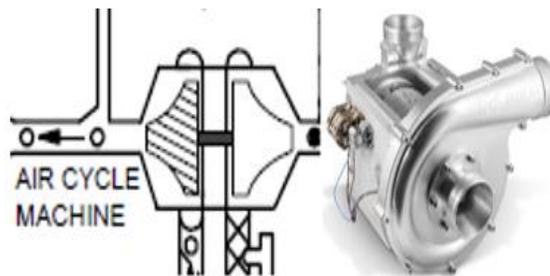


Figura. 8. Gráfico esquemático del sistema de presurización

Intercambiador de calor secundario

El aire entra en el intercambiador de calor secundario, donde la energía térmica es extraída por el aire de carnero que pasa alrededor del intercambiador de calor.

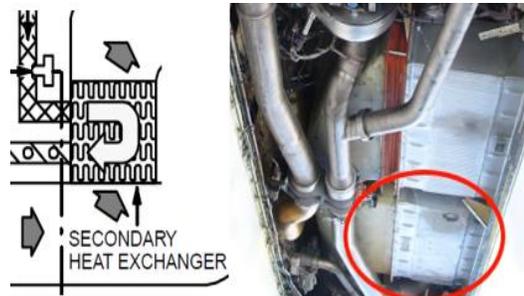


Figura. 9. Intercambiador de calor secundario

Separador de agua

A medida que el aire se enfría, su contenido de humedad se condensa. El separador de agua recoge esta humedad atomizada y la retira del sistema del ciclo de aire. Esta agua se pulveriza en el conducto de entrada de aire del ariete, antes del intercambiador de calor del paquete, a través de una boquilla de pulverización de agua. El sistema de control del separador de agua 2C desvía el aire caliente alrededor de la máquina de ciclo de aire, si es necesario, para evitar la congelación del agua en el separador.

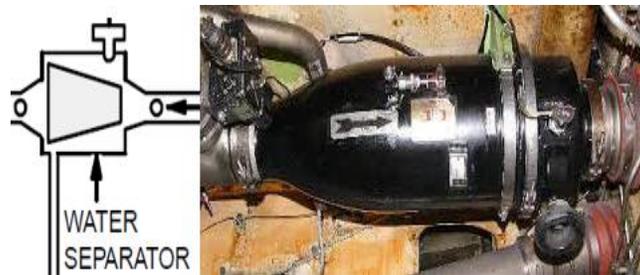


Figura. 10. Separador de agua

El sistema de presurización se aprecia en la Fig. 11, su funcionamiento se basa en el conjunto de elementos.

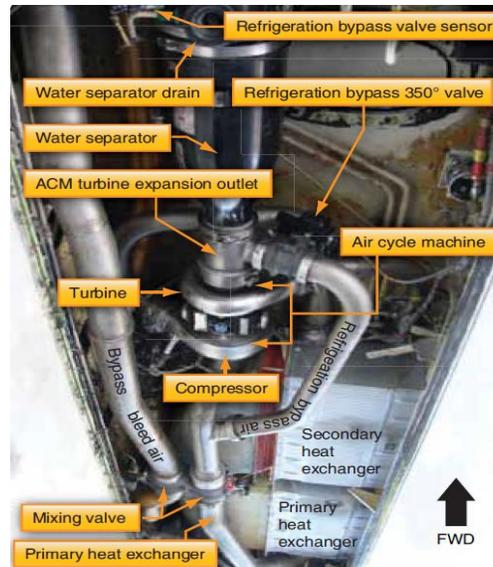


Figura. 11. Sistema de presurización y aire acondicionado.

Simulador de vuelo XPLANE-11

Es una herramienta de ingeniería que puede utilizarse para predecir las cualidades de vuelo de las aeronaves de ala fija y rotatoria con una precisión increíble.

X-Plane predice el rendimiento y el manejo de casi cualquier aeronave, es una gran herramienta para que los pilotos se mantengan al día en un simulador que vuela como el avión real, para que los ingenieros predigan cómo volará un nuevo avión y para que los entusiastas de la aviación exploren el mundo de la dinámica de vuelo de las aeronaves.



Figura. 12. Software XPLANE-11

X-PLANE 11 REQUISITOS

CPU:	Intel Core i5 6600K at 3.5ghz or faster
RAM:	16GB
SOFTWARE:	Windows7, 8, or 10, 64bit
VIDEO CARD:	DirectX 12- capable video card from NVIDIA, AMD w/4GB VRAM
PIXEL SHADER:	5.1
VERTEX SHADER:	5.1
SOUND CARD:	DEFAULT
FREE DISK SPACE	20GB
DEDICATED VIDEO RAM:	4GB

Tabla 1. Tabla de requisitos básicos para un ordenador.

Materiales y Métodos

La cabina de simulación corresponde a una aeronave Boeing 737 – 800 que incluye paneles de instrumentos de vuelo, navegación, comunicación y mandos de operación de los controles de vuelo como el joystick, pedales de timón de dirección y columna de control, entre otros.

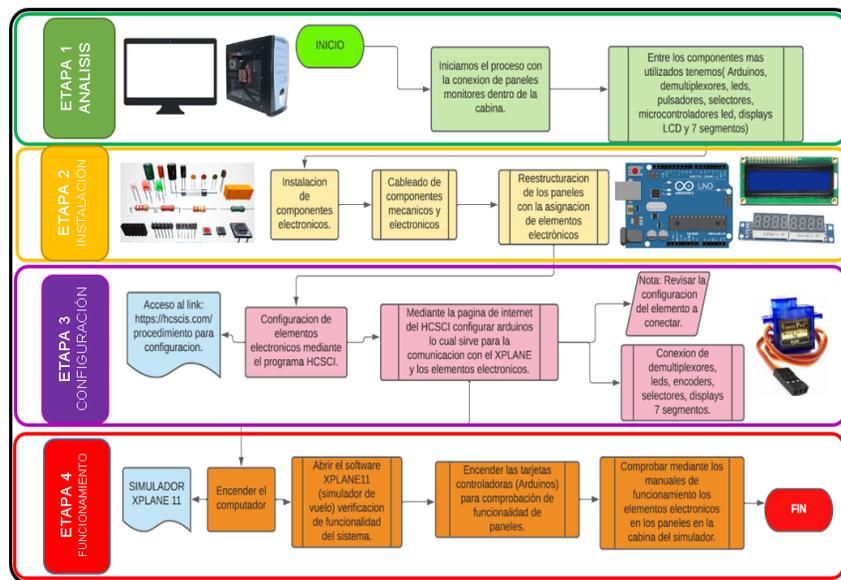


Figura. 13. Configuración general del simulador de vuelo Boeing 737-500

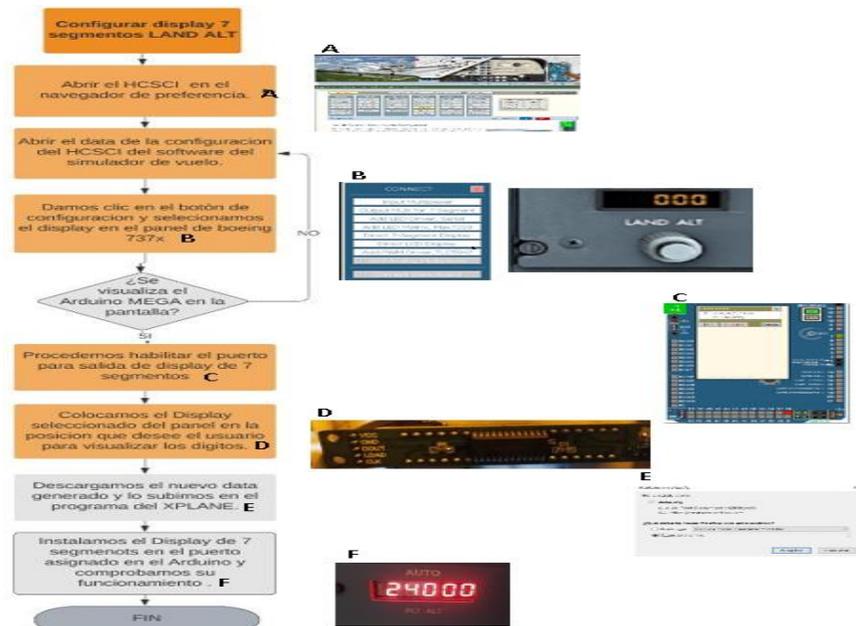


Figura. 14. Flujograma de instalación y configuración de un display de 7 segmentos.

Configuración de un Display 7 segmentos

En el buscador debemos colocar la palabra “HCSCI”, en el cual se nos abre la página de la interfaz de comunicación, nos dirigimos a la sección de configuración (CONFIGURATOR), y luego damos clic en Boeing 737x. Imagen A.

Se desplegará una imagen del Panel 5 del Overhead del Boeing 737, Imagen B. En el cual podemos asignar cualquier elemento que encontremos en este panel, a continuación, seleccionamos el cuadro verde que encontramos en el lado superior derecho, y veremos una ventana de la imagen de un arduino, Imagen C. Este a su vez sirve para asignar un elemento a los pines de alimentación.

Para la colocación del componente se debe ubicar correcta sin que haya contacto de los cables con las estructuras con observamos en la Imagen D.

Se procede a codificar el programa mediante la data Imagen E Se habrá descargado desde el software online y procedemos a instalar en el Xplane-11 en la carpeta de Plugins.

El funcionamiento del circuito se lo realiza mediante el encendido de los números en el Display Imagen F. Luego comprobar el funcionamiento del Sistema.

En el buscador debemos colocar la palabra “HCSCI”, en el cual se nos abre la página de la interfaz de comunicación, nos dirigimos a la sección de configuración (CONFIGURATOR), y luego damos clic en Boeing 737x. Imagen A.

Se desplegará una imagen del Panel 5 del Overhead del Boeing 737, Imagen B. En el cual podemos asignar cualquier elemento que encontremos en este panel, a continuación, seleccionamos el cuadro verde que encontramos en el lado superior derecho, y veremos una ventana de la imagen de un arduino, Imagen C. Este a su vez sirve para asignar un elemento a los pines de alimentación.

Para la colocación del componente se debe ubicar correcta sin que haya contacto de los cables con las estructuras con observamos en la Imagen D.

Se procede a codificar el programa mediante la data Imagen E Se habrá descargado desde el software online y procedemos a instalar en el Xplane-11 en la carpeta de Plugins.

El funcionamiento del circuito se lo realiza mediante el encendido de los números en el Display Imagen F. Luego comprobar el funcionamiento del Sistema.

Resultados

Presurización Del Sistema

Se realizó la prueba de funcionamiento del sistema de presurización y aire acondicionado mediante la tarea de mantenimiento ATA 21 sección 31-00-702-001. Figura. 15.



Figura. 15. Sistema de presurización y aire acondicionado

Controles de presión en cabina análogos

El sistema es operado y controlado eléctricamente. Hay cuatro modos de operación que pueden ser seleccionados en el panel de control de presión.

- Automático (AUTO)
- Semi-automático, standby (ALTN)
- Manual control eléctrico directo (MAN)



Figura. 16. Controles Análogos

Comprobación de válvula abierta

Colocar los interruptores de los PACK y RECIRC FAN de izquierda a derecha en OFF.



Figura. 17. Interruptores

Colocar el selector en la posición de AUTO como se observa en la Figura 21



Figura. 18. Selector en la posición AUTO

Para seleccionar el valor de altitud de la cabina se debe modificar el encoder (dispositivo de detección), CAB ALT en 500 pies sobre la altitud del campo, de esta manera se obtendrá el valor deseado.

En la imagen se observa una altitud de 1500 ft ya que el aeropuerto en el cual se encuentra la aeronave está a 1000 ft, lo cual cumple con la disposición de 500 pies sobre la altitud de campo.



Figura. 19. Altura de la aeronave

En la imagen Figura 20. Se observan los indicadores de vuelo (altitud) del simulador del panel 1 vista del capitán.



Figura. 20. Instrumento de vuelo altímetro

Se debe mover el selector de tres posiciones de modo a AUTO y comprobar que se producen los siguientes resultados:

- Se enciende la luz de AUTO FAIL.
- Se enciende la luz de ALTN.



Figura. 21. Funcionamiento de luces

Funcionamiento del sistema

Para comprobar el funcionamiento del sistema se debe observar que el indicador de la válvula de salida muestra que se abre de esta manera se comprueba que el indicador está funcionando.

- La válvula de salida permanece abierta



Figura. 22. Válvula de salida abierta.

Conclusiones

- Mediante la información técnica de la Regulación de Aviación Civil (RDAC) parte 060 Apéndice 1, la cual establece los requisitos de calificación de dispositivos de instrucción para simulación de vuelo, se ha logrado comprender y analizar la composición de un simulador de vuelo con lo cual se destaca su funcionamiento, su estructura y su importancia en el mundo aeronáutico, con lo cual se recrea ambientes en los que el personal de tripulación procede a su entrenamiento.
- Implementación de equipos tecnológicos, el simulador de vuelo contiene arduinos, interruptores, luces led, pantallas lcds, displays de 7 segmentos, encoders, pulsadores, multiplexores y servomotores, para la interfaz de comunicación se utilizó el Software online HCSCI (RealSimControl) este permite la comunicación de las placas arduino y el software XPLANE-11, se comprobó que la tarea de mantenimiento se pudo realizar con éxito en el simulador de vuelo Boeing 737-800, ya servirá para estudiantes y docentes dentro de la institución, se verifico el funcionamiento del sistema de presurización.
- Mediante el manual de mantenimiento ATA 21 sección 31-00-702-001, se comprobó la tarea de mantenimiento asignada por el entrenador de vuelo, la información que otorga el manual de mantenimiento es importante para la comprobación del funcionamiento del

sistema de presurización y aire acondicionado de la aeronave, de esta manera se puede observar mediante selectores manuales, displays de 7 segmentos e indicadores visuales (válvula de cierre).

- Los sistemas presurización y aire acondicionado, diseñados y adaptados en el simulador permiten lograr capacitar a los profesionales aeronáuticos a través de la repetición y la práctica con respecto a procedimientos de funcionamiento del sistema; además, se logra mejorar las competencias teóricas, e incrementar la experticia en temas de seguridad operacional de las aeronaves.
- El presente diseño y adaptación del sistema fortalece los apoyos educativos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, para su proceso de enseñanza-aprendizaje, logrando con ello fortalecer las competencias teóricas a través de la práctica; además, aumentando con ello el indicador de calidad educativa de la Institución. Por otro lado, con la implementación de los sistemas de presurización y aire acondicionado se puede extender la metodología a las diferentes Compañías de Aviación del país, logrando metas de cobertura y concientización del factor humano.

Referencias

1. Administration, F. A. (2009). *Advance Avionics Handbook*. (U. D. Transportation, Ed.) Washington, DC: United States Government Printing Office.
2. Aleksander Nawrat, K. J. (2021). *New Approach of Indoor and Outdoor Localization Systems*. Recuperado el 20 de Enero de 2022, de IntechOpen: <https://www.intechopen.com/chapters/39779>
3. Andrzej TOMCZYK, R. U. (Octubre de 2014). *TESTING OF THE ATTITUDE AND HEADING REFERENCE SYSTEM*. Recuperado el 20 de Enero de 2022, de Research Gate: <https://www.researchgate.net/publication/235298655>
4. Arduino. (2021). Recuperado el 20 de Diciembre de 2021, de Arduino: <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560>
5. Arduino. (2021). Recuperado el 20 de Diciembre de 2022, de Arduino DOCS: <https://docs.arduino.cc/static/5cc03ae8b580d9f4aab2bcd20e7c12a0/A000067-datasheet.pdf>

6. Boieng. (2015). *737 Aircraft Maintenance Training Manual* (Anual ed.). Seattle, WA, USA: Boeing Commercial Airplanes Group.
7. BOSE, B. A. (2013). *Fundamentals of Navigation and Inertial Sensors* (1er edición ed.). PHI Publisher.
8. Bose, K. W. (1981). *Aviation Electronics* (Fourth edition ed.). Indianapolis, US: Library of Congress Catalog Card Number.
9. Buckwalter, L. (2005). *Avionics Training: Systems, Installation and Troubleshooting* (2, ilustrada ed.). (2. Avionics Communications, Ed.) Leesburg, VA, USA : Library of Congress Cataloging-in-Publicati on Data.
10. Domingo, R. (2018). *Aviation Maintenance Technician Handbook—Airframe*. Oklahoma City, OK: U.S. Department of Transportation.
11. Duncan, J. S. (2018). *Aviation Maintenance Technician Handbook—General* . Recuperado el 25 de Enero de 2022, de Federal Aviation Administration: https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/
12. Guide, P. (2011). *Enhanced Ground Proximity Warning System (EGPWS) and Flight Safety Functions TSO C151b Class A TAWS* (Primera ed.). Redmond, WA 98073: Honeywell International Inc.
13. Helfrick, A. D. (2007). *Principles of Avionics* (Fourth Edition ed.). Leesburg, VA, USA: Library of Congress Cataloging in Publication Data.
14. Henderson, M. F. (1993). *Aircraft Instruments and Avionics* (ilustrada ed.). (1. Jeppesen Sanderson, Ed.)
15. Honeywell. (2022). Recuperado el 25 de 01 de 2022, de Honeywell Aerospace: <https://aerospace.honeywell.com/us/en/learn/products/terrain-and-traffic-awareness/mark-v-egpws>
16. HONEYWELL, I. (2019). Recuperado el 25 de Enero de 2022, de IATA: https://www.iata.org/contentassets/06377898f60c46028a4dd38f13f979ad/iata_guidance_performance_assessment_of_pilot_response_to_egpws.pdf
17. Ian Moir, A. S. (2013). *Civil Avionics System* (Second Edition ed.). (J. C. Peter Belobaba, Ed.) West Sussex, UK: Library of Congress Catalog in Publication Data.

18. ICAO, I. C. (2016). Recuperado el 25 de Enero de 2022, de https://www.icao.int/Meetings/a40/Documents/10075_es.pdf:
https://www.icao.int/Meetings/a40/Documents/10075_es.pdf
19. Internacional, O. d. (2018). *Base de datos* (Primera ed.). Lima: OACI.
20. IVAO. (2022). Recuperado el 20 de Enero de 2022, de IVAO WEBEYE:
<https://webeye.iviao.aero/supervisors>
21. Kenney, S. (2013). *Avionics: Fundamentals of Aircraft Electronics* (First Edition (August 19, 2013) ed.). Weyers Cave, VA, USA: Avotek Information Resources.
22. Morón, L. S. (2008). Recuperado el 20 de 12 de 2021, de ORGANIZACION DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL OFICINA REGIONAL SUDAMERICANA :
https://www.icao.int/SAM/Documents/2008/RPEA05/RPEA_5%20NE05.pdf
23. Organization, I. C. (2015). *Manual of Criteria for the Qualification of Flight Simulation Training Devices* (Fourth Edition ed.). Montréal, Quebec, Canada: Secretary General.
24. RealSimControl. (2021). Recuperado el 25 de Enero de 2022, de Home Cockpit Control:
<https://hscis.com/>
25. SkyVector. (2021). Recuperado el 20 de Enero de 2022, de Aeronautical Charts:
<https://skyvector.com/>
26. Wyatt, D. (2014). *Aircraft Flight Instruments and Guidance Systems: Principles, Operations and Maintenance* (1er edición ed.). Routledge.
27. XPLANE. (2021). Recuperado el 25 de Enero de 2021, de XPLANE 11: <https://www.x-plane.com/>