



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Chequeo operacional del sistema de alerta de despegue (Take Off Warning System),
mediante el uso de información técnica aplicable en el simulador de la aeronave Boeing
737-500, perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE**

García Rey, Daniel Alexander

Departamento de Energía y Mecánica

Carrera de Tecnología en Mecánica Aeronáutica Mención Aviones

Monografía previa a la obtención del título de Tecnólogo en Mecánica Aeronáutica Mención
Aviones

Tlgo. Inca Yajamin, Gabriel Sebastián

Latacunga, 19 / agosto / 2021



DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE TECNOLOGÍA EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES

Certificación

Certifico que la monografía “**CHEQUEO OPERACIONAL DEL SISTEMA DE ALERTA DE DESPEGUE (TAKE OFF WARNING SYSTEM), MEDIANTE EL USO DE INFORMACIÓN TÉCNICA APLICABLE EN EL SIMULADOR DE LA AERONAVE BOEING 737-500, PERTENECIENTE A LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE**”, fue realizado por el señor **GARCIA REY, DANIEL ALEXANDER**, la cual ha sido revisada y analizada 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 autorizarla para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 19 de agosto del 2021.

Tlgo. Inca Yajamin, Gabriel Sebastián

C.C.: 1722580329

Reporte de verificación



Urkund Analysis Result

Analysed Document: TESIS FINAL URKUND.pdf (D111326918)
Submitted: 8/16/2021 7:58:00 AM
Submitted By: dagarcia9@espe.edu.ec
Significance: 3 %

Sources included in the report:

Monografia-Espin Diego.pdf (D111231890)
PROYECTO DE TITULACIÓN_CALASANZ_VÁSQUEZ_JHON_BRANDON.pdf (D111210107)
RUIZ_CHAUCA_LESLY_AMANDA.pdf (D111264975)
TESIS CHAPI CHALACAN SHERLAY PAOLA.docx (D54471818)
[https://portal.mtc.gob.pe/comision/ciaa/documentos/2016/OB-2047-P\(20-03-16\).pdf](https://portal.mtc.gob.pe/comision/ciaa/documentos/2016/OB-2047-P(20-03-16).pdf)

Instances where selected sources appear:

13

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Gabriel Inca".

Tlgo. Inca Yajamin, Gabriel Sebastián

C.C.: 1722580329



DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE TECNOLOGÍA EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES

Responsabilidad de autoría

Yo, **GARCIA REY, DANIEL ALEXANDER**, con cedula de identidad N°100386552-2, declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **“CHEQUEO OPERACIONAL DEL SISTEMA DE ALERTA DE DESPEGUE (TAKE OFF WARNING SYSTEM), MEDIANTE EL USO DE INFORMACIÓN TÉCNICA APLICABLE 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

Garcia Rey, Daniel Alexander

C.C.: 100386552-2



DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE TECNOLOGÍA EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES

Autorización de publicación

Yo, **GARCIA REY, DANIEL ALEXANDER** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE publicar la monografía: **“CHEQUEO OPERACIONAL DEL SISTEMA DE ALERTA DE DESPEGUE (TAKE OFF WARNING SYSTEM), MEDIANTE EL USO DE INFORMACIÓN TÉCNICA APLICABLE 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.

Garcia Rey, Daniel Alexander

C.C.: 100386552-2

Dedicatoria

Dedico este proyecto a dios, ya que él fue quien me supo guiar por el buen camino, y me dio fuerzas para afrontar cada obstáculo interpuesto en mi camino. Llenándome de bendiciones, en el transcurso de mi formación profesional y en mi vida; el cual me permitió llegar a ser la persona que soy actualmente.

A mis abuelitos, que, con su infinito amor y paciencia, me supieron aconsejar y transmitir todas sus enseñanzas. Para avanzar en cada etapa, desde mi niñez hasta la actualidad, sin perder el amor y orgullo que sentían hacia mí. Sin su ayuda y perseverancia no lo habría logrado, porque ellos son la fuerza que me permite seguir adelante.

A mis padres, a pesar de no estar cerca de mí, nunca dejaron de preocuparse y darme ese apoyo para seguir adelante. Me demostraron que, a pesar de la distancia, el amor de padres rompe cualquier barrera y siempre se encuentra lo más cerca de uno mismo. A mi tía, a pesar de ser un dolor de cabeza para ella, nunca me faltó el apoyo y amor hacia mí. Me demostró que en la vida con la perseverancia y el esfuerzo se puede llegar lejos, porque el camino que tengo que recorrer no es fácil y la vida es de valientes.

A mi novia, compañera de vida, Nathaly. Es una maravillosa persona, quien siempre estuvo en esos malos y buenos momentos. Nunca dejó de darme esos consejos, ánimos y amor que necesitaba para seguir adelante, Gracias a ella y a todo su esfuerzo de verme crecer soy lo que soy ahora. También a mis hermanos y a mis primos, que al ser el mayor de todos ellos siempre busqué la fuerza para ser el ejemplo a seguir de todos ellos. Y no existirá mayor felicidad el verlos crecer de la misma forma que logre hacerlo.

GARCIA REY, DANIEL ALEXANDER

Agradecimiento

Agradezco infinitamente a dios, que, con su infinita misericordia y bendición, me ha permitido llegar a donde estoy ahora. Disfrutando de la plena salud que me da todos los días y las fuerzas para seguir adelante. A demás me permitió llegar a concluir mi proyecto de titulación sin ningún percance y con la compañía de todos mis seres queridos.

A mis abuelitos Gerardo y Magdalena, son quienes más amo, agradezco que estén aún conmigo y me sepan guiar por el mejor camino, ya que sus consejos y enseñanzas me han permitido formarme en valores y como mejor persona.

A mis padres, Jenny y Fernando. A pesar de las muchas circunstancias en la vida, que no me han permitido estar con ellos debido a la distancia que nos separa, nunca dejaron de estar pendientes de mí, quiero agradecerles por haberme dado la vida y la oportunidad de llegar a este punto, donde demuestro quien soy realmente y hacia donde me dirijo.

A mi tía, a mis hermanos y a mis primos que nunca dejaron de creer en mí y lo que realmente podría llegar. También a mi novia a quien más amo, quiero agradecerle porque nunca dejó de apoyarme y velar por mí, a pesar de pasar por aquellos momentos, dónde nunca dejamos de apoyarnos.

Agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, que me brindó la oportunidad de formarme como persona y como profesional. De igual forma a la carrera de Mecánica Aeronáutica y a todos sus docentes que me supieron compartir sus conocimientos y enseñanzas, demostrándome su profesionalidad.

De igual forma quiero agradecer a mi tutor y amigo, Tlgo Gabriel Inca, quien supo guiarme por el buen camino y apoyándome en esos momentos más difíciles donde más necesitaba de su experiencia y sinceridad.

GARCIA REY, DANIEL ALEXANDER

Tabla de contenido	
Certificación	2
Reporte de verificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento	7
Tabla de contenido	8
Índice de figuras.....	11
Índice de tablas	14
Resumen	15
Abstract.....	16
Tema.....	17
Antecedentes	17
Planteamiento del problema.....	18
Justificación.....	19
Objetivos	20
<i>Objetivo General</i>	20
<i>Objetivos Específicos.....</i>	20
Alcance	20
Marco teórico.....	21
Historia y transformación del simulador de vuelo en el mundo.	21
Normativa de la OACI en el uso de dispositivos en simuladores de vuelo.	24
<i>RDAC 142.405. Dispositivos de instrucción para simulación de vuelo.....</i>	25

<i>RDAC 142.410. Clasificación y características de dispositivos de instrucción para simulación de vuelo.....</i>	25
Categorización y clasificación de los simuladores de vuelo.	27
<i>Categorización de los simuladores de vuelo.</i>	28
<i>Clasificación de los simuladores de vuelo.....</i>	29
Historia del Boeing 737.....	35
<i>Variaciones de la aeronave Boeing existentes hasta la actualidad.....</i>	37
Historia del Boeing 737-500, diseño, dimensiones, especificaciones técnicas de la aeronave.	44
<i>Diseño de la aeronave.....</i>	45
<i>Especificaciones técnicas de la aeronave Boeing 737-500 y dimensiones.</i>	48
Características de los sistemas que tiene la aeronave Boeing 737-500.....	49
Cabina de la aeronave, paneles de control e instrumentos.	50
<i>Paneles de la cabina de la aeronave.....</i>	50
Sistema de alerta y despegue. Componentes, descripción y operación.....	51
<i>Tipo de alertas.....</i>	51
<i>Sistema de alerta de despegue</i>	54
Tipos de software de simulación de vuelo: costo, operación, características técnicas del software.	60
<i>Características técnicas de los softwares de simulación de vuelo.....</i>	62
Selección del software de simulación X plane 11 y su respectivo lenguaje de programación.....	62
<i>Software de simulación x plane 11.</i>	63

<i>Lenguaje de programación:</i>	65
Programación de los componentes de simulación en X plane 11:.....	67
Desarrollo del proyecto	69
Introducción.....	69
Beneficiarios.....	69
Descripción del acondicionamiento de la cabina Boeing 737-500.....	70
Configuración y programación del sistema de alerta de despegue.....	75
Descripción y procedimiento de prueba del sistema de alerta de despegue.....	84
Conclusiones y recomendaciones:.....	104
Conclusiones:.....	104
Recomendaciones:.....	105
Glosario de términos	106
Abreviaturas	107
Bibliografía	108
Anexos	112

Índice de figuras

Figura 1. <i>Primer biplano motorizado</i>	21
Figura 2. <i>Entrenador barril Antoinette</i>	22
Figura 3. <i>Link Trainer</i>	23
Figura 4. <i>Simulador de vuelo virtual moderno</i>	24
Figura 5. <i>Clasificación de dispositivos de simulación.</i>	26
Figura 6. <i>Simulador de vuelo.</i>	27
Figura 7. <i>Simulador caza su-35 ruso.</i>	30
Figura 8. <i>Dispositivo de entrenamiento simulado</i>	31
Figura 9. <i>Simulación básica de entrenamiento.</i>	31
Figura 10. <i>Herramienta de simulación de vuelo y navegación</i>	32
Figura 11. <i>Simulación 3d en una cabina de entrenamiento.</i>	33
Figura 12. <i>Simulación de vuelo en una cabina FTD.</i>	34
Figura 13. <i>Material profesional de simulación de vuelo.</i>	35
Figura 14. <i>Primera aeronave de la línea Boeing 737</i>	36
Figura 15 <i>Primera aeronave de la compañía United del modelo B737</i>	37
Figura 16 <i>Salida de fábrica Boeing 737-100</i>	39
Figura 17 <i>Boeing 737-200 de la FAE – Ecuador</i>	39
Figura 18 <i>Modelo Boeing 737-300,400,500.</i>	40
Figura 19 <i>Primera aeronave de la tercera generación</i>	41
Figura 20 <i>Aeronave Boeing 737-700,800</i>	42
Figura 21 <i>Último modelo de la tercera generación B737-900.</i>	42
Figura 22 <i>Familia Boeing 737 max</i>	44
Figura 23 <i>Modelo Boeing 737-500.</i>	45
Figura 24 <i>Diseño de la aeronave Boeing 737-500.</i>	47
Figura 25 <i>Sistemas de la aeronave B737-500.</i>	49

Figura 26 <i>Panel de luces de emergencia</i>	52
Figura 27 <i>Sistema aural</i>	52
Figura 28 <i>Luz configuración de despegue</i>	53
Figura 29 <i>Panel de control del freno de velocidad</i>	55
Figura 30 <i>Centro de control de la palanca de flaps</i>	58
Figura 31 <i>Banda verde de indicación de despegue del Stab trim</i>	59
Figura 32 <i>Posiciones de la palanca de empuje o aceleración</i>	60
Figura 33 <i>Programa X plane 11 - inicio</i>	64
Figura 34 <i>Tarjeta principal de control para configuración</i>	68
Figura 35 <i>Flujograma de acondicionamiento de la cabina de simulación</i>	70
Figura 36 <i>Reparación estructural</i>	71
Figura 37 <i>Proceso de masillado en la reparación estructural.</i>	72
Figura 38 <i>Aplicación del fondo primer en la cabina de simulación</i>	72
Figura 39 <i>Aplicación de la pintura base en la estructura</i>	73
Figura 40 <i>Acabado final de pintura en la cabina de la aeronave</i>	74
Figura 41 <i>Instalación de las tomas eléctricas en el área del simulador</i>	74
Figura 42 <i>Flujograma de la configuración del sistema de alerta de despegue en la cabina de simulación.</i>	75
Figura 43 <i>Programación de los sistemas de simulación en arduino</i>	82
Figura 44 <i>Instalación de los paneles de simulación</i>	83
Figura 45 <i>Comprobación de los equipos de simulación del B737</i>	84
Figura 46 <i>Suministro de energía eléctrica e hidráulica a la aeronave B737.</i>	85
Figura 47 <i>Preparación para la prueba del sistema de alerta de despegue</i>	86
Figura 48 <i>Preparación del panel de control central para la prueba de palancas</i>	87
Figura 49 <i>Potencia 1 adelante y luz Take off encendida</i>	87
Figura 50 <i>Prueba de potencia 1 terminada</i>	88

Figura 51 Inicio de la prueba de la palanca de potencia nro 2.....	89
Figura 52 Fin de la prueba de la palanca de potencia nro2	89
Figura 53 Colocación del Stab trim en la banda verde dentro del rango de despegue.	90
Figura 54 Prueba de palanca de flap en 0 grados	91
Figura 55 Luz roja de Take off apagada sin potencia de las palancas y flap 0 grados	91
Figura 56 Flaps en tránsito y luz roja de Take off encendida.....	92
Figura 57 Luz roja de alerta de despegue apagada a 10 grados de flaps	93
Figura 58 Flaps a 30 grados y fuera del rango de despegue.....	93
Figura 59 Colocación de las palancas de flaps y potencias para la siguiente prueba.....	94
Figura 60 Luz roja de Take off encendida y Stab trim fuera de la banda verde.....	95
Figura 61 Luz roja apagada y Stab trim dentro de la banda verde	95
Figura 62 Stab trim fuera de la banda verde (nose up) y luz roja t/o encendida.....	96
Figura 63 Stab trim regresando a la banda verde y luz roja apagada.....	97
Figura 64 Extremo inferior de la banda, la luz roja de alerta T/O no se enciende	97
Figura 65 Configuración del stab trim en el extremo superior de la banda verde.....	98
Figura 66 Freno de velocidad fuera del retenedor de la posición Abajo	99
Figura 67 Freno de velocidad ubicado en la posición Abajo.....	100
Figura 68 Retorno de la palanca de freno de velocidad a su posición normal.....	101
Figura 69 Freno de estacionamiento activado	102
Figura 70 Freno de estacionamiento desactivado	102

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Clasificación de la familia B737 en sus generaciones</i>	38
Tabla 2 <i>Especificaciones técnicas de la aeronave B737-500</i>	48
Tabla 3 <i>Características técnicas de los simuladores de vuelo</i>	62
Tabla 4 <i>Clasificación del lenguaje de programación de alto nivel</i>	66
Tabla 5 <i>Equipos, herramientas y materiales usados en etapas de desarrollo</i>	78

Resumen

En el presente trabajo se da a conocer cada uno de los ítems en el que describe como se realizó el proceso de habilitación estructural y del sistema de alarmas de la cabina de simulación, perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. El que conlleva el mejoramiento y renovación de la cabina de la aeronave, realizando trabajos de restauración en toda la parte externa e interna de la cabina de simulación, en el que se adaptarían componentes eléctricos y electrónicos, con la finalidad de realizar el tema correspondiente a la prueba del sistema de alerta de despegue, como se indica en el ATA 31 del manual de mantenimiento de la aeronave Boeing 737-500. Para la configuración y programación de los circuitos electrónicos y componentes eléctricos, se focalizo en el interfaz de programación HCSCI, para habilitar y programar todos los componentes que se utilizan para simular la tarea de mantenimiento a seguir. En este caso se utilizaron potenciómetros para las palancas de potencia y flaps, leds para notificar las alertas visuales y pulsadores. Todo esto está conectado a una tarjeta de control-arduino, el cual permite su conexión y control mediante el software de simulación X plane 11. De esta forma logrando obtener resultados muy preciosos al momento de realizar procedimientos de despegue, en los que interviene una luz roja de alerta y una bocina intermitente, que se enciende, indicando cuando los procedimientos de alerta de despegue, fueron mal configurados, conjuntamente operados por palancas de potencia, flaps, freno de velocidad, Stab Trim y freno de estacionamiento.

Palabras clave:

- **SISTEMA DE ALERTA DE DESPEGUE**
- **SIMULADOR DE VUELO**
- **HCSCI**
- **X PLANE 11**

Abstract

In the present work, each one of the items in which is described how the process of structural habilitation and the alarm system of the simulation cabin, belonging to the University of the Armed Forces ESPE, was carried out. The one that entails the improvement and renovation of the aircraft cabin, carrying out restoration works in all the external and internal part of the simulation cabin, in which electrical and electronic components would be adapted, with the purpose of carrying out the item corresponding to the test of the take-off warning system, as indicated in the ATA 31 of the maintenance manual of the Boeing 737-500 aircraft. For the configuration and programming of the electronic circuits and electrical components, we focused on the HCSCI programming interface, to enable and program all the components used to simulate the maintenance task to be performed. In this case potentiometers were used for the power levers and flaps, leds to notify visual alerts and push buttons. All this is connected to an Arduino-control board, which allows its connection and control through the simulation software X plane 11. In this way achieving very precious results when performing takeoff procedures, which involves a red warning light and a flashing horn, which lights up, indicating when the takeoff warning procedures were misconfigured, jointly operated by power levers, flaps, speed brake, Stab Trim and parking brake.

Keywords:

- **TAKE OFF SYSTEM**
- **FLIGHT SIMULATOR**
- **HCSCI**
- **SOFTWARE X PLANE 11**

Capítulo 1

1. Tema

Chequeo operacional del sistema de alerta de despegue (Take off Warning System), mediante el uso de información técnica aplicable en el simulador de la aeronave Boeing 737-500, perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE

1.1. Antecedentes

En los inicios de la aviación, las aeronaves estaban conformadas por instrumentos básicos como: Tacómetro, Indicador de velocidad y Altimetro. Posteriormente la tecnología fue avanzando, y se añadieron a los sistemas ciertos instrumentos más modernos y sofisticados que daban lectura con mayor precisión en cuanto a las condiciones del motor y de la aptitud de la aeronave.

No obstante, resultaba imposible verificar los sistemas durante el vuelo en caso de algún fallo, resultando peligroso la realización de procedimientos de emergencia en dichas condiciones. Es por ello que se desarrolló la idea de elaborar simuladores de vuelo, cuya finalidad es la de salvaguardar la vida de la tripulación y la protección de la aeronave. La existencia de dichos programas de simulación de vuelo al pasar el tiempo, han ido evolucionando tanto en su diseño como en su funcionalidad (FSX, X PLANE, etc.).

El simulador de vuelo no solo tiene la función de capacitar a pilotos y tripulantes de vuelo, sino también, la de simular situaciones de mantenimiento y de emergencia en las aeronaves durante las operaciones tanto en tierra como en vuelo. Sin embargo, dichas operaciones resultan un costo elevado. Es por ello, que gracias a que en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, contaba con un simulador de vuelo en condiciones inoperativas perteneciente a la aeronave Boeing 737-500. Éste en su

debido tiempo llegó a ser una herramienta de uso por los estudiantes como material de apoyo en la enseñanza y condicionamiento en este tipo de aeronaves.

1.2. Planteamiento del problema

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, creada el 16 de junio de 1922, ha ofrecido una educación superior de calidad, eficiencia a sus nuevos y futuros estudiantes. Por lo cual, es plenamente identificada como la única en capacitar al personal técnico, mediante la carrera de mecánica aeronáutica, ofreciendo de esta forma un alto nivel de enseñanza y capacitación tanto practica como teórica, a sus futuros técnicos en mantenimiento de aeronaves.

Sin embargo, en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, debido a la falta de un simulador de vuelo con estas características tanto estructurales como funcionales, permite la preparación del alumnado en este tipo de aeronaves como el Boeing 737-500. Se implementará uno, el cual, se desarrolle habilidades técnicas tanto en el chequeo operacional de los sistemas de alerta de despegue como en otros procedimientos. De esta forma, obteniendo la verificación de los diferentes tipos de alertas que existen tanto visuales como audibles dentro de la cabina de un avión, por lo que realizar este tipo de tareas de mantenimiento resulta muy costosas para su preparación mediante equipos altamente tecnológicos.

Por lo tanto, al disponer de esta valiosa herramienta en la universidad, se ampliará y complementará los conocimientos de los estudiantes en cuanto a aviones comerciales. Permitiendo de esta manera una mayor preparación y capacitación en la manipulación de equipos altamente sofisticados para la formación de personal técnico, utilizando principalmente información técnica, la cual facilitará el uso del simulador de vuelo y logrando así, mayor exigencia al momento de capacitar a los alumnos de esta honorable institución y al no tenerlo todo este espacio de conocimiento que

proporcionará el simulador quedara en un vacío y no permitirá una capacitación completa al futuro personal técnico aeronáutico.

1.3. Justificación

El propósito de este proyecto es aportar con un material o herramienta de aprendizaje indispensable para la completa formación de los estudiantes de la carrera de Mecánica Aeronáutica, dónde el alumnado se convierta en el principal favorecido del mismo. Implementando sistemas de alta tecnología, que simulen tareas de mantenimiento tanto en escenarios de emergencia como en la vida real.

Mediante el uso de esta herramienta de simulación, se accederá a una óptima visualización de las operaciones de la aeronave, como también una mayor comprensión de sus sistemas. Obteniendo como beneficio una formación de calidad para los/las estudiantes, desarrollando así aptitudes de responsabilidad y disciplina, las mismas que cumplen con los altos estándares requeridos, y a su vez permitirán desenvolverse de la mejor manera en el campo laboral.

Es por ello que la realización de este proyecto aprobará elevar el prestigio de la universidad y conformándola como unos de los centros principales en la formación de técnicos aeronáuticos altamente calificados en la republica del Ecuador, mediante sus laboratorios y sus equipos de última tecnología, el cual, fue tomado en cuenta debido a que en la actualidad el uso de estos equipos permite mayor reconocimiento, tanto para profesores como estudiantes. Sin embargo, realizarán ejercicios reales mediante el empleo de una simulación virtual y esto proporcionara la familiarización del estudiante a este tipo de aeronaves. De esta manera aprovechando todo conocimiento otorgado por cada uno de los docentes y el uso de esta herramienta de aprendizaje generara mayor perspicacia en los estudiantes para su completa formación en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Realizar el chequeo operacional del Sistema de Alerta de Despegue (Take off Warning System), mediante el uso de información técnica aplicable en el simulador de la aeronave Boeing 737-500, perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Recopilar información técnica del Take Off Warning System de la aeronave Boeing 737-500, correspondiente a la tarea de mantenimiento a ejecutar.
- Recrear los procedimientos de ajuste para el sistema de Alerta de despegue, posterior al chequeo operacional.
- Realizar la tarea de Mantenimiento del Take off Warning System de acuerdo a los manuales técnicos referentes a la operación técnica en el simulador de la aeronave.

1.5. Alcance

La realización del proyecto permitirá el uso del simulador de vuelo de la aeronave Boeing 737-500, en el chequeo operacional del sistema de alerta de despegue (Take off Warning System), mejorando las condiciones de preparación de los futuros Técnicos de la carrera de Mecánica Aeronáutica perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Capítulo 2

2. Marco teórico

2.1. Historia y transformación del simulador de vuelo en el mundo.

La historia de la aviación habla de los primeros proyectos que se desarrollaron en el siglo pasado, para los cuales cada invención desarrollada tecnológicamente fue muy sofisticada en el siglo XX. Grandes inventos comenzaron a desarrollarse, pero el 17 de diciembre de 1903, Orville Wright lanzó su gran creación, llamada "Wright Biplane", despegando de esta manera desde Kitty Hawk, en Carolina del Norte, por solo doce segundos, permitiéndose alcanzar el primer vuelo sostenido, controlado y motorizado en la historia.

Figura 1.

Primer biplano motorizado



Nota. En el gráfico se observa uno de los biplanos motorizados creado por los hermanos Wright, dando a conocer el nacimiento de la aviación (Guerra, 2017).

La aeronave o de igual forma conocida como "Biplano Wright" usaba dos tipos de controles de vuelo: "pitch" (inclinación de arriba y abajo) y "roll" (movimiento izquierda y derecha). Consecutivamente a este diseño, es creado el "Monoplano Antoinette", el cual utilizaba un dispositivo de control de vuelo, pero con la diferencia era

que contenía dos ruedas a cada lado del piloto, una para “pitch o cabeceo” y otra para “roll o alabeo”.

Uno de los primeros simuladores de vuelo, reconocido como tal en la historia fue llamado en aquel entonces como “entrenador de vuelo”, inventado en 1909, para poder entrenarse apropiadamente en prácticas de vuelo del “Antoinette”.

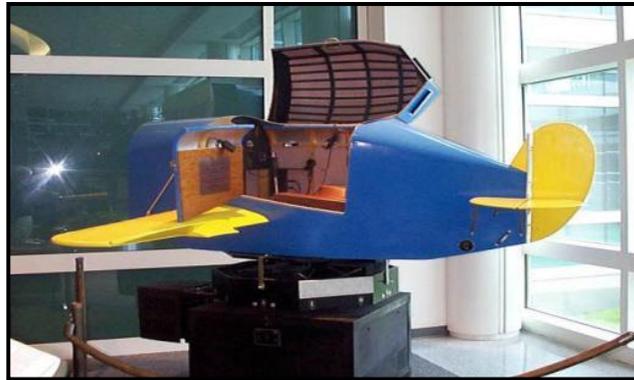
Figura 2.

Entrenador barril Antoinette



Nota. El gráfico da a conocer unos de los primeros diseños controlados de un simulador de vuelo en el año 1909 (Guerra, 2017).

Sin embargo, en 1929 llegó un dispositivo, cuando Edwin A. Link, con la fascinación de aprender a volar y el no poseer la cantidad de dinero para pagar sus horas de vuelo, recurrió a diseñar su propio entrenador de vuelo. De esta forma, surgió el Link Trainer.

Figura 3.*Link Trainer*

Nota. El gráfico muestra uno de los primeros simuladores de vuelo conocido mundialmente debido a su color azul y estructura diseñado en 1929 (Guerra, 2017).

Actualmente, los simuladores de vuelo ya no son como lo eran hace años, debido a su sofisticado equipo de alta tecnología, estableciendo una conexión entre Man-Machine y, por lo tanto, estableciendo capacitación tanto con sus controles como con sus sistemas a través de un conocimiento específico. de todos los aviones existentes en el simulador. El uso de representaciones dinámicas y gráficos da a conocer el comportamiento de la aeronave donde el ser humano actúa como el operador principal que los ejecuta en entornos extremos y, por lo tanto, evita escenas de emergencia (Guerra, 2017).

Además de establecer comportamientos idóneos tanto en vuelo como en tierra, el simulador de vuelo incorpora en si sistemas de alta seguridad, permitiendo resguardar la vida tanto del piloto u operario como de la misma máquina. Por lo tanto, la elaboración de estos simuladores da a conocer la actitud de la aeronave en vuelo, y de todos los escenarios posibles donde el ser humano pueda cometer errores y de esta forma salvaguardando y protegiendo lo más valioso del ser humano que es la vida (Guerra, 2017).

Figura 4.

Simulador de vuelo virtual moderno.



Nota. En el gráfico se observa uno de los simuladores de vuelo fabricados en la actualidad y utilizados por varias compañías profesionales de aviación (Guerra, 2017).

2.2. Normativa de la OACI en el uso de dispositivos en simuladores de vuelo.

Conforme a las regulaciones de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) (publicados en el documento No. 9625), manifiesta la clasificación y las características de los dispositivos de instrucción de simulación de vuelo, estipulado en LAR 142.410, donde explica más detalladamente esta clasificación sin alteración del documento de la OACI (ICAO, 2015).

Sin embargo, en LAR 142 establece que el uso de estos dispositivos de simulación de vuelo tanto para su certificación como para su regulación se registra en los documentos contenidos en cada agencia reguladora de cada país (DGAC-Ecuador, parte 142), que indica los requisitos y reglas de operación de los CEAC (Centro de Entrenamiento Aviación Civil), dirigidas a entrenar a la tripulación de vuelo, mecánicos aeronáuticos, pilotos de transporte de línea aérea (ICAO, 2015)

2.2.1. RDAC 142.405. Dispositivos de instrucción para simulación de vuelo.

Según LA RDAC 142.405 (DGAC Ecuador, 2019, pág. 24), nos da a conocer la normativa que explica sobre los dispositivos de instrucción para simulación de vuelo en donde la CEAC (centro de entrenamiento aviación civil), establece ciertos criterios a demostrar para el uso de estos equipos. Entre ellos está establecido que, para cada dispositivo, esté ciertamente aprobado por la AAC, su tamaño sea una copia de igual tamaño a la cabina de pilotaje a la aeronave a utilizar; teniendo en cuenta, la valides de los equipos y controles, el cual permiten tener control del sistema y maniobrabilidad de la aeronave simulada.

Sin embargo, no solo es importante demostrar la fiabilidad de los equipos para poder simular las condiciones el cual el piloto o personal aeronáuticos necesita para su formación, sino también necesita la aprobación y calificación de la AAC, el cual sea válido para dar entrenamiento o instrucción. Conjuntamente con el control adecuado, nos permita dar mantenimiento a los equipos, sistemas y demás componentes que conforman al simulador de vuelo. Tomando todo esto en cuenta los sistemas deben permanecer operativos específicamente para una aeronave hasta que la AAC, exprese lo contrario. **VER ANEXO 1**

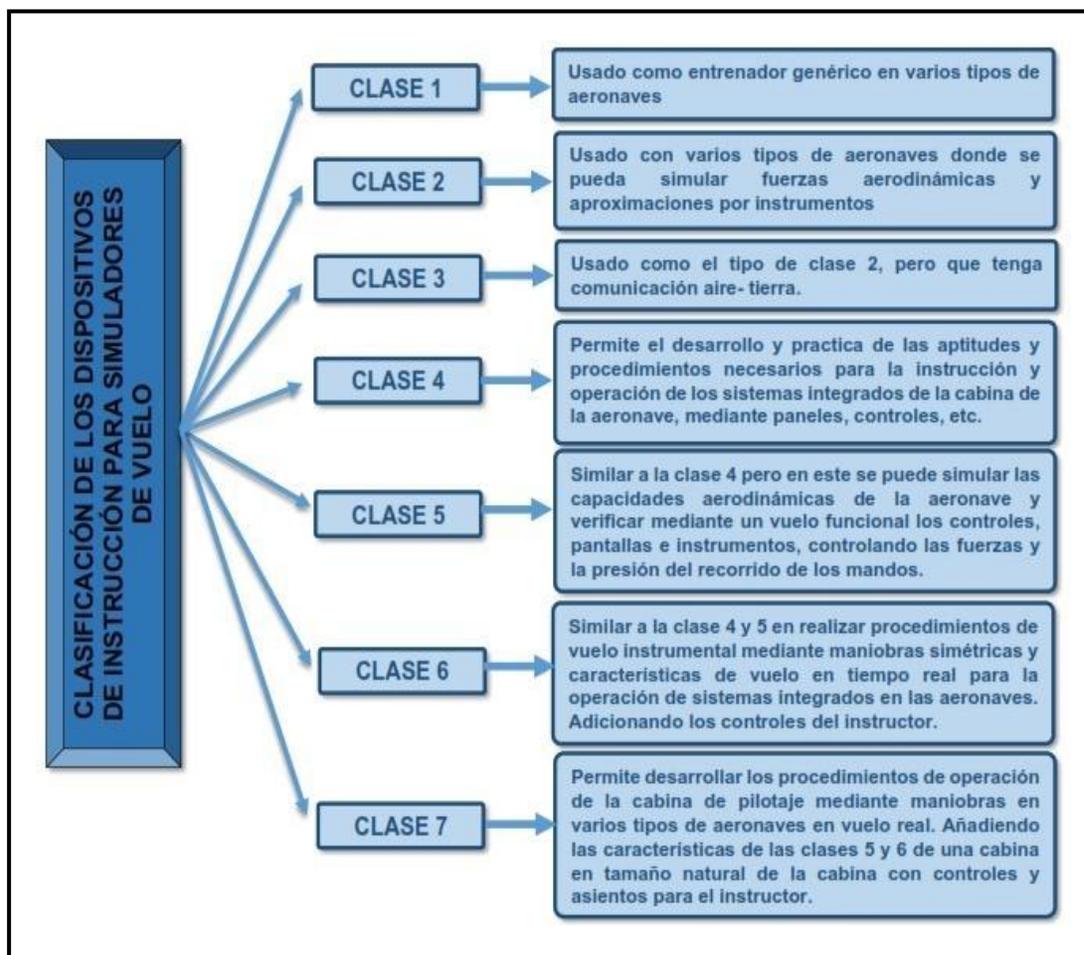
2.2.2. RDAC 142.410. Clasificación y características de dispositivos de instrucción para simulación de vuelo.

Acorde a la información proporcionada por la OACI, en la RDAC 142, nos explica sobre la clasificación en función de las características de los dispositivos de instrucción, el cual toma en cuenta las partes físicas, hardware, software, movimiento y clasificándolo en función de su propósito y la utilidad la cual va a tener dentro de la instrucción.

Según la normativa (DGAC Ecuador, 2019), su clasificación se dio mediante 7 clases diferentes y cada una con su respectivo propósito tanto desde la clase 1 hasta las clases 7. A su vez también lo clasifica en diferentes niveles desde la A, hasta la D donde detalla los requerimientos mínimos para la cual fueron desarrollados para el uso respectivo de los simuladores de vuelo (págs. 25-29). **VER ANEXO 1**

Figura 5.

Clasificación de dispositivos de simulación.



Nota. El gráfico representa la clasificación de los dispositivos de instrucción para simuladores de vuelo, que se dan a conocer según la normativa de la FAA o la DGAC del país que lo regula (DGAC Ecuador, 2019).

2.3. Categorización y clasificación de los simuladores de vuelo.

La creación de los simuladores de vuelo se realizó con la finalidad de poder recrear situaciones o eventos a partir de modelos diferentes de tipos de aeronaves y recrear ambientes de vuelo con y sin movimientos, controles de vuelo y características meteorológicas como viento, nubosidad, tormentas, estaciones, etc. Simulando mediante gráficos en 3D la cabina de las aeronaves, las situaciones adversas donde el personal a piloto, tripulación de vuelo o mecánicos pueda tomar acciones mediante este tipo de sistemas.

Sin embargo, la institución principal que se encarga de evaluar y certificar a estos simuladores es la Administración Federal de Aviación Civil de los EEUU (FAA) y las direcciones de Aviación Civil correspondiente de cada país (DGAC), tanto para uso e instrucción mediante equipos altamente sofisticados (Arraiz, 2014).

De igual forma se encargan de categorizar a estos simuladores por niveles: A, B, C Y D y de esta forma poder demostrar sus características específicas para el vuelo de acuerdo las especificaciones de la aeronave en la cual fue desarrollada este dispositivo de simulación (Arraiz, 2014).

Figura 6.

Simulador de vuelo.



Nota. Este gráfico demuestra la estructura que contiene un simulador de vuelo tanto para instrucción como uso persona (Arraiz, 2014).

2.3.1. Categorización de los simuladores de vuelo.

Según la RDAC 142.410, Sección (b) (DGAC Ecuador, 2019), nos permite conocer los varios niveles existentes, el cual describe las características de cada uno y el uso que se da para los diferentes tipos de instrucción en la aeronave simulada.

- **Nivel A:**

Permite el perfeccionamiento y practica de las capacidades necesarias para la ejecución de tareas de operaciones de vuelo, de acuerdo con una norma establecida de competencia del personal aeronáutico, en una aeronave y posición de trabajo específica. Sin embargo, los simuladores del tipo nivel A, pueden ser utilizados para los requerimientos de experiencia reciente de un piloto en específico. Además, cuenta con representaciones de sistemas, interruptores y controles, los cuales son requeridos para el diseño del tipo de aeronave (DGAC Ecuador, 2019, pág. 27).

- **Nivel B:**

Permite el perfeccionamiento y practica de las capacidades necesarias para la ejecución de tareas de operaciones de vuelo, de acuerdo con una norma establecida. Además, los simuladores de vuelo pueden ser utilizados para la instrucción inicial y equipos nuevos en eventos específicos y para realizar despegues y aterrizajes nocturnos y aterrizajes en verificación de competencia. De esta forma cuenta con interruptores, controles y el programa de instrucción aprobado que responden apropiadamente a los interruptores y controles con precisión (DGAC Ecuador, 2019, págs. 27-28).

- **Nivel C:**

En este tipo de simulador logran ser utilizados para los requerimientos de experiencia reciente en pilotos para la correspondiente instrucción de tareas de operaciones de vuelo durante la instrucción de transición, ascenso. También pueden ser utilizados para todos los eventos de instrucción y ser conducidos en simuladores nivel C para aquellos tripulantes de vuelo que han sido calificados anteriormente como PIC o SIC con aquel explotador, mediante sistemas, interruptores, controles que son requeridos en el diseño de la aeronave mediante una escala normal de la cabina de pilotaje de la aeronave simulada (DGAC Ecuador, 2019, pág. 28).

- **Nivel D:**

Permite el perfeccionamiento y la práctica de las aptitudes necesarias para efectuar las tareas de operaciones de vuelo de acuerdo con la norma determinada de competencia, ya que este tipo de simuladores Nivel D tiene la finalidad de mantener la vigencia de pilotos bajo la RDAC 121 y para todas las instrucciones de tareas de operaciones de vuelo para la instrucción de aeronave estática. De esta forma sus sistemas responden apropiadamente y con precisión a los controles e interruptores de la aeronave simulada. Sin embargo, al ser una réplica a escala de la cabina de pilotaje de la aeronave a ser simulada, muestra una correcta representación de las características aerodinámicas, incluyendo el efecto tierra y de las condiciones ambientales, simulándolo de la forma más real en el que el piloto podría encontrar (DGAC Ecuador, 2019, págs. 28-29).

2.3.2. Clasificación de los simuladores de vuelo.

- **Entrenador de procedimientos de cabina (CPT).**

Este tipo de simulador por sus siglas en inglés Cockpit procedures trainer, es usado para practicar procedimientos del tipo básicas de cabina como: Listas de chequeo de emergencia y familiarización de la cabina. Además, al ser un tipo de

simulador genérico, éste no es regulado bajo la Dirección General de Aviación Civil (DGAC) de dicho país. Su estructura es muy básica (Arraiz, 2014)

Figura 7.

Simulador caza su-35 ruso.



Nota. Esta imagen representa un modelo simulado a escala del caza SU-35 de Rusia para entrenamiento (Randommization, 2013).

- **Dispositivo de entrenamiento de aviación (ATD).**

Este modelo de simulador por sus siglas en inglés Aviation training device, es usado para entrenamiento básico de conceptos y procedimientos de vuelo que es importante conocer antes de realizar cualquier vuelo de forma real o simulada. Es por ello que el ATD incorpora un modelo de vuelo genérico, el cual es representado por medio de una familia de aeronaves que permiten realizar operaciones en las mismas y también simula muchos sistemas de vuelo (Arraiz, 2014).

Figura 8.

Dispositivo de entrenamiento simulado.



Nota: Esta imagen representa un modelo genérico de un simulador de vuelo ATD (Mag, 2015).

- **Dispositivo de entrenamiento de instrumentos básicos (BITD).**

Este tipo de dispositivos por sus siglas en inglés Basic instrument training device, son usados principalmente para un tipo de entrenamiento o capacitación básica o única, el cual se enfoca principalmente a los distintos procedimientos genéricos en el tipo de vuelo instrumental existentes en las operaciones en simulación de vuelo (Arraiz, 2014).

Figura 9.

Simulación básica de entrenamiento.



Nota. Esta imagen muestra un modelo de simulación básica para entrenamientos en áreas específicas (*Ebrahimi Advance Simulation Company, 1999*).

- **Entrenador de procedimientos de vuelo y navegación (FNPT).**

La elaboración de estos dispositivos de entrenamiento tanto para simulaciones de vuelo y navegación por lo que sus siglas en ingles Flight and navigation procedures trainer, permite efectuar entrenamientos de manera sustancial. Para esto es necesario un modelo preciso exhaustivo y genérico que contenga una variedad de ambientes y sistemas, desarrollando experiencia en vuelo y uso de estos dispositivos, logrando así una mejor preparación en estos instrumentos de vuelo (*Arraiz, 2014*).

Figura 10.

Herramienta de simulación de vuelo y navegación.



Nota. Esta imagen representa una los diferentes tipos de simuladores utilizado para entrenamiento genérico (*Reiser-Simulation Training, 2019*).

- **Entrenador de procedimientos integrados (IPT).**

El uso de este dispositivo por sus siglas en ingles Integrated procedures trainer, es muy diferente en comparación con los demás anteriormente mencionados, ya que éste sistema contiene una área o cabina simulada en una realidad espacial 3D con una distribución gráfica combinada por una variedad de pantallas sensitivas al tacto, que es

capaz de mostrar paneles simulados al mismo tamaño que los paneles reales 1:1, junto con algunos paneles reproducidos en hardware (Arraiz, 2014)

Es por ello que este tipo de simulación considerada altamente competente para la realización de tareas o simulaciones de vuelo considerando la realidad existida. Hoy en día muchas aerolíneas utilizan este tipo de sistemas para entrenar a su personal de vuelo o pilotos antes de que logren ingresar al Full flight simulator (FFS).

Figura 11.

Simulación 3d en una cabina de entrenamiento.



Nota. Esta imagen representa a uno de los dispositivos usados para entrenamiento tanto en aerolíneas como en centros de entrenamiento a pilotos profesionales (AVIK AVIATION, 2012).

- **Dispositivo de entrenamiento de vuelo (FTD).**

Este tipo de dispositivo por sus siglas en inglés Flight training device, contiene una réplica completa de una cabina abierta o cerrada, el cual contiene de forma detallada los sistemas, software en sus respectivas computadoras de la aeronave y ambientaciones que contiene una cabina de vuelo para simular un vuelo real. Este es

usado para realizar prácticas de entrenamiento genérico o de cualquier aeronave (Arraiz, 2014).

Figura 12.

Simulación de vuelo en una cabina FTD.



Nota. Esta imagen da a conocer la magnitud de los componentes de simulación de una aeronave para entrenamiento o capacitación de su personal de vuelo/tierra (GROUP, 2007).

- **Simulador de vuelo completo (FFS).**

Este dispositivo de simulación reconocido por sus siglas en inglés Full flight simulator, es usado para ciertos entrenamientos específicos bajo la normativa de la autoridad aeronáutica civil nacional, siguiendo la composición de un simulador de vuelo tanto en sus sistemas como en dichas operaciones tanto en tierra como en aire y manteniendo una proporción similar a una réplica exacta de tamaño completo de una cabina de vuelo de alguna aeronave en específico.

Por lo tanto, se categoriza a estos simuladores a partir del nivel A, hasta el nivel D. Siendo el nivel D, el más completo y el que domina todos los requerimientos que exige la AAC como la ambientación completa de las condiciones de vuelo y los ejes el cual permitirá moverse en los mismos según la aeronave simulada lo requiera.

Figura 13.

Material profesional de simulación de vuelo.



Nota. Esta imagen da a conocer una de las grandes tecnologías conocidas en la actualidad para la formación de personal de vuelo y tierra, manteniendo en su estructura a los sistemas, software de computadoras y ejes de movimiento, logrando de esta forma una simulación más real (NEWS, 2019).

2.4. Historia del Boeing 737.

El Boeing 737 fue diseñado originalmente en 1964 y se puso en uso a fines de la década de 1960. La idea era volar más lejos y transportar más pasajeros (hasta 100) que el actual Boeing 727. La competencia de mercado de compañías como BAC-111, DC-9 y Fokker F28 es feroz y están ansiosas por mantener su participación en el mercado. Con este fin, aceleraron el proyecto de \$ 150 millones, utilizando el 60% de los mismos componentes en el plan 727 (Javier, 2019).

El modelo B737 era insuperable en ese entonces, porque tenía la distribución de los motores bajo las alas debido a su diseño, y de esta forma facilitar el mantenimiento e inspección, permitiendo que el casco fuera más ligero.

Sin embargo, conllevó a aumentar la capacidad de seis asientos dentro de la cabina de la aeronave, y así agrandando la capacidad total. En la actualidad este diseño aún se mantiene en los jets modernos (Javier, 2019).

Esta aeronave B737 denominado así por la OACI, fue diseñada para el transporte de pasajeros del tipo comercial con un modelo derivado del 707 y 727, el cual consta de dos motores(turbina)-bimotor, con un fuselaje estrecho y con un alcance de corta y media distancia, desarrollada por la compañía americana Boeing Commercial Airplane.

Figura 14

Primera aeronave de la línea Boeing 737.



Nota. Esta imagen representa la primera compra de la compañía Lufthansa del modelo 737 (Javier, 2019).

Uno de los principales clientes que obtuvo una de las aeronaves Boeing fue Lufthansa, por lo tanto, se convirtió en el cliente número uno del lanzamiento de la aeronave, y posterior la compañía United logro obtener unas leves modificaciones para crear la primera variante: el 737-200 (Javier, 2019).

Figura 15

Primera aeronave de la compañía United del modelo B737.



Nota. Esta imagen representa unas de los primeros activos el cual United modifico para poner en vuelo al modelo B737 (Javier, 2019).

Sin embargo, estas modificaciones no fueron beneficioso para Boeing, y para ello tenían que decidir si cancelar el programa 737 por completo era la mejor decisión, pero gracias a la ayuda la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, el cual con gran consideración ordenaron 19 modelos militares T-43 de la aeronave cuya misión de este tipo de aviones seria para la navegación, la formación y el transporte bussines (Javier, 2019).

Gracias a estas exitosas primeras ventas nos transportaron al próximo modelo del 737, el cual es 737-300, y es el ejemplar de la aeronave más exitosas y generada por la gran compañía Boeing. Desde ese momento, Boeing ha generado una gran cantidad de variaciones, el cual se categorizo cada una en cuatro generaciones (Javier, 2019).

2.4.1. Variaciones de la aeronave Boeing existentes hasta la actualidad.

Todas las variaciones existentes del modelo Boeing 737 se clasifican en 4 de acuerdo a su generación:

Tabla 1

Clasificación de la familia B737 en sus generaciones.

	MODELO AERONAVE	TIPO DE MOTOR
PRIMERA GENERACIÓN	Boeing 737-100	Pratt & Whitney JT8D-7
	Boeing 737-200	
SEGUNDA GENERACIÓN	Boeing 737-300	CFM International 56-3B-2C
	Boeing 737-400	
	Boeing 737-500	
	Boeing 737-600	
TERCERA GENERACIÓN	Boeing 737-700	CFM 56-7B26
	Boeing 737-800	CFM 56-7B27
	Boeing 737-900	CFM 56-7
CUARTA GENERACIÓN O NEXT GEN	Boeing 737 MAX 7	CFM International LEAP-1B
	Boeing 737 MAX 8	
	Boeing 737 MAX 9	
	Boeing 737 MAX 10	

Nota. En la tabla muestra la clasificación de los modelos existentes en la actualidad. La información fue obtenida en (BOEING, 2020).

2.4.1.1. Primera generación.

- **Boeing 737-100:**

Este tipo de aeronave es la primera fabricada por la compañía Boeing dando inicio a la familia 737 con un tamaño muy pequeño y bimotor con una capacidad máxima de 124 pasajeros. Llegó a tomar servicio en el año 1968 por la compañía Lufthansa, y en la actualidad esta aeronave ya no se encuentra circulando los cielos de ningún país (Boeing, 2020).

Figura 16

Salida de fábrica Boeing 737-100



Nota. Esta imagen muestra el inicio de la familia Boeing 737 saliendo de fabrica (Aire, 2017).

- **Boeing 737-200:**

Este tipo de aeronave fue mejorada a partir del diseño inicial que es el B737-100, por lo cual decidieron hacerlo más largo en su estructura para que tenga mayor capacidad de llevar personas. Su capacidad máxima es de 136 personas, y con dos motores JT8D-7 bajo sus alas que contiene un sistema de reversa (Boeing, 2020).

Contiene 4 puertas principales las mismas que funcionan como puertas de emergencia. Dos en cada lado, tanto en la parte de adelante como en la parte de atrás de la aeronave. En la zona trasera de la aeronave contiene dos toboganes en caso de emergencia (Boeing, 2020).

Figura 17

Boeing 737-200 de la FAE – Ecuador.



Nota. Esta imagen muestra el diseño de la aeronave Boeing 737-200 usado por la Fuerza Aérea Ecuatoriana (LARENAS, 2020).

2.4.1.2. Segunda generación.

- **Boeing 737-300,400,500:**

Este modelo de segunda generación salió de fábrica el 17 de enero de 1984, donde realizó su primer vuelo como aeronave comercial el 24 de febrero de 1984. La primera compañía de obtener esta aeronave fue USAir el 28 de noviembre de 1984 y la última en obtenerlo fue Air New Zealand, el 17 de diciembre del 1999 (Boeing, 2020).

Esta aeronave-400, tiene una capacidad máxima hasta 168 pasajeros con un único pasillo. Lo que le hace de la siguiente generación comparando con los modelos antiguos -200, es el uso de dos motores bajo sus alas CFM 56-3B (EMPTYLEG, 2019).

Figura 18

Modelo Boeing 737-300,400,500.



Nota. Esta imagen representa a una de las aeronaves más utilizadas a nivel internacional y las más vendidas en la historia de Boeing (EMPTYLEG, 2019).

2.4.1.3. Tercera generación.

- **Boeing 737-600:**

Esta aeronave de tercera generación fue reemplazo del modelo 737-500, el cual lanzó por primera vez en la aerolínea Scandinavian Airlines System (SAS) en 1999 y siendo esta la principal competencia del Airbus 319 y 318. Su estructura es la más

pequeña de su generación con bimotor debajo de sus alas y lo que le hace diferente a la anterior generación es el motor CFM56-7B, tiene una capacidad hasta 132 pasajeros, la cuales son ordenados en dos diferentes clases y con una longitud de 33.2m (BOEING, 2020).

Figura 19

Primera aeronave de la tercera generación.



Nota. Esta imagen represente la evolución de la aeronave y su capacidad de lograr mayores distancias de vuelo (*Aviacion al dia, 2012*).

- **Boeing 737-700,800:**

Este modelo de aeronave es competidor principal del Airbus 319, donde su estructura presenta un tamaño diferente al -600 por lo cual le permite obtener más pasajeros a bordo desde 126 hasta 189 con una división de dos clases, permitiéndose tener mayor prestigio al momento de ir en primera clase. Su longitud es de 33.6m hasta 39.5 m conjuntamente con dos motores debajo de cada ala CFM56-7B (BOEING, 2020).

Figura 20

Aeronave Boeing 737-700,800



Nota. Esta imagen representa la capacidad de las aeronaves fabricadas en la tercera generación de la familia B737 (*Aviacion al dia, 2020*).

- **Boeing 737-900:**

Este modelo de aeronave representa el final de la línea de tercera generación, siendo la principal competencia del Airbus 320 y con una dimensión más larga a los modelos anteriores, con una capacidad hasta 220 pasajeros y una longitud de 42.1 m. Tiene dos motores CFM56-7B, distribuidos uno en cada ala y manteniendo muchos detalles del modelo -800 de la familia B737 (BOEING, 2020).

Figura 21

Último modelo de la tercera generación B737-900.



Nota. Esta imagen representa el gran crecimiento de las aeronaves Boeing de la tercera generación fabricadas por el ser humano y una de las primeras aeronaves de la aerolínea (*ALASKA AIRLINES, INC., 2020*).

2.4.1.4. Cuarta generación.

- **Boeing 737 MAX 7,8,9,10:**

Este tipo de aeronaves de última generación se han desarrollado con sistemas altamente sofisticados debido a que se han enfocado en experiencias de viaje mencionadas por sus pasajeros, ya que su principal objetivo es reducir la emisión de CO₂, reducir el gasto de combustible, y ofrecer un vuelo con alto confort. Este tipo de aeronaves contiene un motor silencioso CFM International LEAP-AB, lo que le permite llegar a mayores distancias, winglets de alta tecnología y un sistema que contiene grandes pantallas en la cabina de vuelo llamado Boeing Sky Interior.

Todas estas aeronaves MAX, se diseñaron para reemplazar a los modelos de la versión anterior con más ventas a nivel mundial y estos fueron los modelos 737-700,800,900, proporcionando una extensión al número de pasajeros y asientos a bordo y un incremento del fuselaje para dar mayor longitud al mismo, ya que todo esto se realizaba con la finalidad de competir con la familia Airbus A320neo

Sin embargo, el Boeing 737 MAX 10 es el más representativo ya que este se diseñó para que fuera la principal competencia de las nuevas generaciones de la aerolínea Airbus A321neo con sus 230 asientos.

Figura 22

Familia Boeing 737 max



Nota. Esta imagen representa las dimensiones que contiene cada una de las aeronaves que conforma la familia Boeing 737 MAX y su diseño mejorado (737, 2020).

2.5. Historia del Boeing 737-500, diseño, dimensiones, especificaciones técnicas de la aeronave.

El diseño de la aeronave Boeing 737-500, es registrado como un modelo de segunda generación o también reconocida como B737 Classic. Después de que reconocieron a los modelos -600 hasta -900, llegó a ser un reemplazo del modelo anterior 737-200. Estas aeronaves se originaron entre 1984 – 2000, como un modelo tipo jet bimotor turboreactor el cual fue denominado como CFM56-3, debido a su capacidad de alcanzar medianas distancias. En su diseño contiene una única vía que divide en dos secciones a sus filas de asientos.

Figura 23

Modelo Boeing 737-500.



Nota. Esta imagen representa la grandeza en ingeniería del modelo B737-500 (DEBREGABOR, 2020).

2.5.1. Diseño de la aeronave.

El diseño de esta aeronave se basa en la aerodinámica y estructuralmente para soportar las fuerzas que se originan debido a su operación. Para entender su diseño se clasifica en 5 grupos:

- **Grupo del fuselaje.**

La función de este grupo es la de proporcionar alojamiento a los pasajeros, tripulantes, equipaje y carga.

- **Grupo alar.**

Esta sección se encarga de soportar las mayores cargas la cual permite mantenerse en vuelo a la aeronave tomando en cuenta la elasticidad y composición de sus materiales en construcción y diseño. Debajo de las alas soporta a dos motores CFM56-3B.

- **Grupo de empenaje.**

La función del empenaje es la de estabilizar a la aeronave en los ejes lateral y de guiñada, es por ello que en este grupo empenaje se encuentra dos divisiones:

Estabilizador vertical y horizontal

Estabilizador vertical: Esta sección contiene el timón de dirección y al amortiguador de guiñada (Yaw Damper).

Estabilizador horizontal: Esta sección contiene a los timones de profundidad o elevadores.

- **Grupo motor propulsor.**

En este grupo se basa principalmente en el uso de los motores que producen el empuje y purga de aire para el sistema neumático, aire acondicionado, presurización y sistema de hielo y lluvia de las alas y el motor. Estos motores CFM56-3B del tipo turbofán o turborreactor proporcionan un empuje hasta 20mil libras de empuje.

- **Grupo de tren de aterrizaje.**

Este grupo es considerado como uno de los principales en funcionamiento de la aeronave, ya que su función principal es dar movimiento a la aeronave en la pista de aterrizaje y de absorber las cargas de impacto al momento de aterrizar, debido a su peso y velocidad de impacto. Este grupo está conformado por tren principal y tren de nariz.

Figura 24

Diseño de la aeronave Boeing 737-500.



Nota. Esta imagen representa los diferentes grupos que contiene el modelo 737-500 para poder desplazarse en el aire y en la tierra.

2.5.2. Especificaciones técnicas de la aeronave Boeing 737-500 y dimensiones.

La compañía Boeing especifica en el AMM, ciertas especificaciones técnicas en la cual describe como está diseñada la aeronave y de esta forma conociendo la magnitud de estas dimensiones. Según el AMM, Incluyen las dimensiones del ala, alerones, flaps, superficies estabilizadoras horizontales, superficies estabilizadoras verticales y cuerpo es por ello que incluyen áreas para las superficies del ala y del estabilizador (The Boeing Company, 2015, pág. 9). **VER ANEXO 2**

Tabla 2

Especificaciones técnicas de la aeronave B737-500.

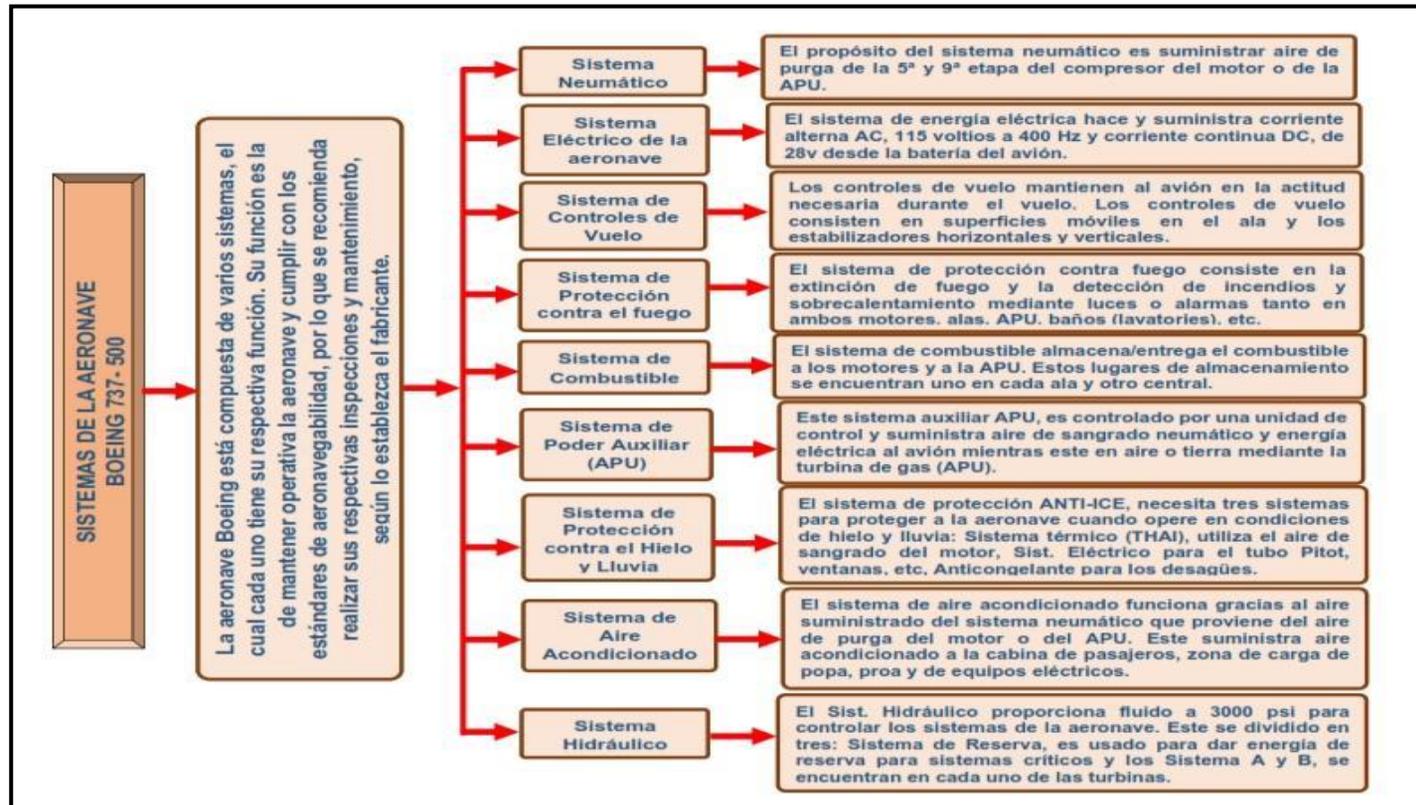
ESPECIFICACIONES	INFORMACIÓN
MODELO DE AERONAVE	BOEING 737-500
FABRICANTE	THE BOEING COMPANY
VELOCIDAD CRUCERO	840 KM/H.
ALTITUD MAX DE OPERACIÓN	11278m (37000 ft)
TRIPULANTES	2 PILOTOS, 3 SOBRECARGOS
PASAJEROS	130 - 132
LONGITUD DEL FUSELAJE	32,18m (105,7 ft)
LONGITUD DE LA AERONAVE	33,4m (109,7 ft)
ALTURA	11,13m (36,6 ft)
ENVERGADURA ALAR	28,91m (94,10 ft)
ENVERGADURA ESTABILIZADOR HORIZONTAL	12,7m (41,8 ft)
ANCHO DEL FUSELAJE	3,76m (12,4 ft)
ALTO DEL FUSELAJE	4,01m (13,2 ft)
DISTANCIA ENTRE RUEDAS PRINCIPALES	5,23m (17,2 ft)
DISTANCIA ENTRE TRENES DE ATERRIZAJE	12,445m (40,10 ft)
MOTOR TURBOFAN DE LA AERONAVE	CFM56-3B (20K LB-EMPUJE)

Nota. Esta tabla da a conocer información técnica especialmente en el modelo B737-500, cuya información fue recopilada en el Manual de entrenamiento de Boeing 737-500 (FlightSafety Boeing Company International, Inc., 1999).

2.6. Características de los sistemas que tiene la aeronave Boeing 737-500.

Figura 25

Sistemas de la aeronave B737-500.



Nota. Esta imagen representa todos los sistemas que estarán habilitados para el control adecuado y la realización de los procedimientos de mantenimiento de la aeronave (Company, 2015)

2.7. Cabina de la aeronave, paneles de control e instrumentos.

La cabina de la aeronave o pilotos tiene una prioridad en su diseño visual como ergonómico, ya que su única función es la de brindar la mayor información necesaria mediante los instrumentos de vuelo y para que sus tripulantes puedan controlar la aeronave de la manera más eficiente. Para todo esto, el personal es entrenado rigurosamente y poder llevar estas máquinas voladoras a surcar los cielos. **VER ANEXO 3.**

2.7.1. Paneles de la cabina de la aeronave.

Estos son los paneles principales que se encargan del mejor rendimiento de la aeronave en vuelo, tomando en cuenta el funcionamiento de todos los instrumentos que lo conforman: **VER ANEXO 4**

- **Panel de instrumentos del capitán (P1).**
- **Panel central de instrumentos (P2).**
- **Panel de instrumentos del primer oficial (P3).**

Los paneles superiores, los cuales permiten el funcionamiento de la mayoría de sistemas se encuentran en la parte superior de los pilotos y cada uno aporta de manera distinta en la funcionalidad de la aeronave.

- **Panel superior posterior (P5-1).**
- **Panel superior delantero (P5-2).**
 - Panel superior izquierdo 1y2.
 - Panel superior central - Forward overhead panel.
 - Panel superior derecho 1y2.
- **Panel de instrumentos (P7):**

Está panel se encuentra ubicado sobre los paneles de instrumentos principales y lo que le destaca es sus sistemas para activar el piloto automático de la aeronave y las

luces de emergencia el cual están divididos según la ubicación de la falla existente en la aeronave.

- **Panel eléctrico posterior (P8).**
- **Panel electrónico delantero P9 y Panel de control.**

2.8. Sistema de alerta y despegue. Componentes, descripción y operación.

2.8.1. Tipo de alertas.

Existen tres tipos de alertas que se toman en cuenta dentro del análisis para el buen funcionamiento en el sistema de Alerta de despegue:

- **Aviso aural o sonora.**
 - **Aviso de vibración.**
 - **Aviso visual.**
- **Aviso visual o luces de emergencia (master caution).**
- Este sistema recibe señales de tierra de diferentes sistemas de la aeronave, permitiendo encender las luces del panel de luces de emergencia y del panel anunciador mediante un voltaje de 28 VDC de la batería o de la barra 1, dando a conocer mediante una alerta visual de color ámbar la falla existente. Todos los componentes que conforman el sistema de luces de emergencia, se encuentran en el compartimiento de vuelo en el panel P7. Los componentes que lo conforman son: 1) Luces de emergencia (master caution). 2) sistema anunciador derecho e izquierdo (SAS Technical Training, 2011).

Figura 26

Panel de luces de emergencia



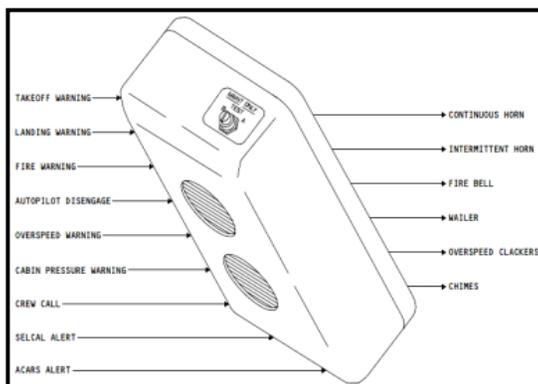
Nota. Esta imagen muestra uno de los paneles anunciadores de emergencia que indica la existencia de falla en algún sistema (Brady, 2011).

- **Aviso aural o sonoro.**

El sistema de aviso aural o sonoro es el único componente en recibir señales de todos los sistemas de la aeronave informando la alerta de un fallo existente mediante un sonido procedente del componente en la cabina de vuelo. El voltaje que alimenta este sistema es de 28 VDC proveniente de la caja de interruptores (SAS Technical Training, 2011).

Figura 27

Sistema aural



Nota. Este componente alerta en caso de fallo en algún sistema de la aeronave (SAS Technical Training, 2011).

- **Luz de alerta de despegue:**

Esta alerta se enciende en una tonalidad roja cuando existe una mala configuración en el sistema de alerta de despegue y se encuentra ubicado en el panel principal derecho e izquierdo (P1 y P3) tanto del capitán como del primer oficial (Lufthansa LAN Technical Training, 2005).

Este sistema se enciende en estas circunstancias:

- Cuando la aeronave está en tierra y al avanzar los aceleradores más de 30 grados en cabina y este no se encuentra configurado correctamente para el despegue.
- El freno de velocidad no se encuentra abajo detenido.
- Los flaps se encuentran fuera del rango de despegue.
- Los estabilizadores se encuentran fuera del rango de la banda verde.
- Los LE flaps no se encuentran extendidos.
- Cuando el freno de aparcamiento se encuentra instalado o activado.

Figura 28

Luz configuración de despegue



Nota. Esta imagen indica la ubicación y la representación en el panel principal de la luz roja de configuración de despegue.

2.8.2. Sistema de alerta de despegue

Este sistema nos permite verificar y tener mayor control en la aeronave que se encuentra en un estado inseguro durante el despegue. La función de advertencia de despegue emitirá sonidos de advertencia e instrucciones visuales. Si la válvula de enclavamiento de alerones de tierra permanece abierta después del despegue, también emitirá sonidos de advertencia e instrucciones visuales (Lufthansa LAN Technical Training, 2005).

El sistema de advertencia o alerta de despegue advierte al piloto que los flaps Leading Edge (L.E) o Trailing Edge (T.E), que el estabilizador y la palanca del freno de velocidad no están en sus respectivas posiciones de despegue, o que el freno de estacionamiento se ha puesto antes del despegue, lo muestra en el panel P1 Y P3 (Lufthansa LAN Technical Training, 2005). **VER ANEXO 5.**

2.8.2.1. Componentes del sistema de alerta y despegue.

➤ **Spoilers:**

Los paneles de los spoilers se instalan para complementar los alerones para el control lateral y proporcionar una mayor resistencia y una elevación reducida cuando se utilizan como freno de velocidad. En cada ala se instalan cinco paneles de spoilers accionados hidráulicamente. Están numerados de izquierda a derecha para su identificación: el ala izquierda es del 0 al 4 y el ala derecha es del 5 al 9. Los spoilers de vuelo son 2, 3, 6 y 7, y los seis restantes son spoilers terrestres (Lufthansa LAN Technical Training, 2005). **VER ANEXO 6**

➤ **Freno de velocidad:**

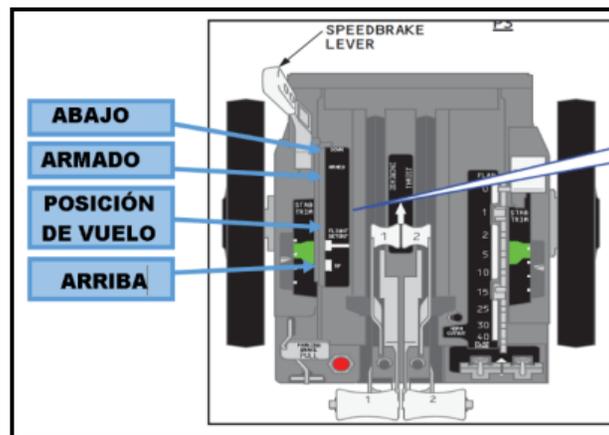
La palanca del freno de velocidad o también conocido como speed-brake en inglés, proporciona al piloto el control del funcionamiento del freno de velocidad. La palanca del freno de velocidad se encuentra en el lado izquierdo del puesto de mando en el compartimento de vuelo. Los frenos de velocidad son muy eficaces para reducir la

sustentación generada por las alas y añadir resistencia, y suelen desplegarse parcialmente durante el descenso, o totalmente al aterrizar. El conjunto de control delantero se encuentra en el compartimento inferior del morro (Lufthansa LAN Technical Training, 2005).

Posiciones de ubicación de la palanca de freno de velocidad según el tipo de requerimientos:

Figura 29

Panel de control del freno de velocidad



Nota. Este panel permite la operación de muchos componentes que ayudan al funcionamiento de la aeronave (Lufthansa LAN Technical Training, 2005).

ABAJO (retenida). Todos los paneles del spoiler de vuelo y de tierra están en posición de carenado.

ARMADO. Sistema de freno automático de velocidad armado. Todos los paneles de los spoilers de vuelo y de tierra se extienden al tocar tierra (la palanca del freno de velocidad se mueve a la posición ARRIBA).

POSICIÓN DE VUELO. Todos los spoilers de vuelo se extienden a su posición máxima para su uso en vuelo.

ARRIBA. Todos los spoilers de vuelo y tierra se extienden a su posición máxima para su uso en tierra.

➤ **Freno de parqueo:**

El freno de parqueo, puede activarse o desactivarse activando (levantando) o desactivando (empujando hacia abajo) la palanca de parqueo. Se encuentra ubicado en el lado izquierdo inferior del cuadrante de control de vuelo en el panel 9, y de esta forma asegurando la aeronave en tierra y evitar movimientos innecesarios (Lufthansa LAN Technical Training, 2005).

➤ **TE flaps:**

El sistema de flap de borde de fuga, también conocido por su abreviatura en inglés de flap de borde de salida, proporciona una sustentación adicional durante el despegue y el aterrizaje al aumentar la inclinación del ala. Los flaps se retraen de su posición normal de crucero y los flaps del borde de salida se conectan para formar una superficie continua (Lufthansa LAN Technical Training, 2005). **VER ANEXO 7.**

Los flaps se amplían para el despegue y el aterrizaje, aumentando así el área efectiva del ala. La posición de los flaps durante el despegue proporciona una gran sustentación y una resistencia relativamente baja. Los flaps de aterrizaje producen una gran sustentación y alta resistencia, lo que ayuda a desacelerar a bajas velocidades de aproximación (Lufthansa LAN Technical Training, 2005).

➤ **LE flaps**

Los flaps y los slats del borde de ataque (LE) aumentan el área y la curvatura del ala. Esto aumentará la sustentación para ayudar a mejorar el rendimiento de la aeronave durante el despegue y el aterrizaje. El sistema LE incluye dos flaps Kruger y cuatro slats en el borde de ataque de cada ala (Lufthansa LAN Technical Training, 2005).

Durante el crucero, estas superficies se retraen por completo. Estas superficies se extienden durante el despegue para aumentar la sustentación, reduciendo así la

velocidad de rotación de la aeronave. Durante el aterrizaje, los LE slats se extienden completamente para aumentar la sustentación y ayudar a evitar pérdidas. Durante el funcionamiento normal, los LE flaps y los slats se controlan mecánicamente. Durante el funcionamiento alternativo se controlan eléctricamente (Lufthansa LAN Technical Training, 2005). **VER ANEXO 8.**

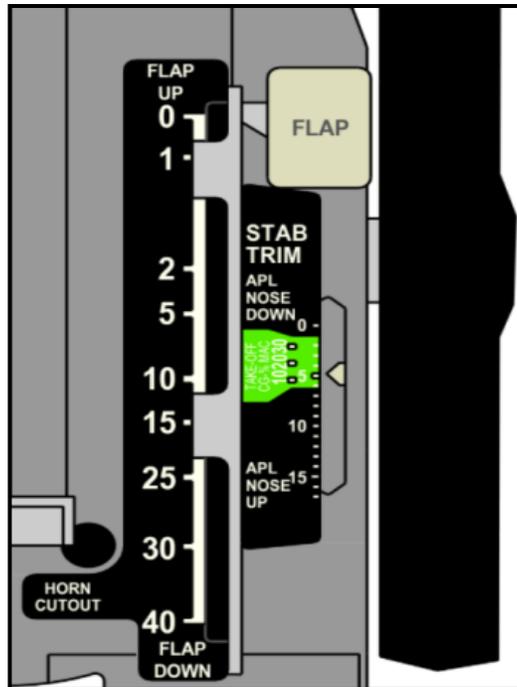
➤ **Palanca del flap:**

La palanca de control de los flaps proporciona a los pilotos una forma de utilizar energía hidráulica para ajustar la posición de los flaps del borde de fuga. La palanca de control del flap se encuentra en la plataforma de mando del piloto. La unidad de control del flap y la unidad de potencia del flap se encuentran en el hueco de la rueda del tren principal. Los transmisores de posición están instalados en cada larguero trasero y los indicadores están ubicados en la cabina de vuelo (Lufthansa LAN Technical Training, 2005).

Es necesario levantar la palanca para liberar el bloqueo y permitir la rotación. En los cuadrantes contienen puertas en los soportes de la unidad 1 y 15 para evitar el movimiento accidental. De esta forma generando un buen desplazamiento de los flaps accionados por los pilotos al mando de la aeronave (Lufthansa LAN Technical Training, 2005).

Figura 30

Centro de control de la palanca de flaps



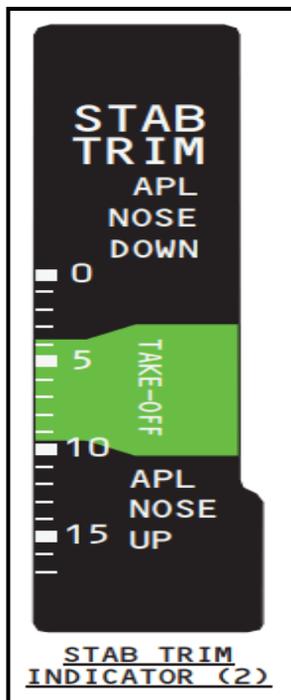
Nota. Esta imagen muestra la ubicación de la palanca de flaps en el control de mando en la cabina de la aeronave (Lufthansa LAN Technical Training, 2005).

➤ **Estabilizador horizontal**

El sistema de control de compensación del estabilizador horizontal proporciona el ajuste longitudinal de la aeronave cambiando el ángulo de ataque del estabilizador horizontal. El límite de recorrido máximo del estabilizador es de 17 unidades. La escala del indicador de posición está calibrada entre 0 y 17 unidades, siendo la mediana de 3 unidades. Esto puede proporcionar hasta 3 unidades de ajuste de nariz hacia abajo para aviones y 14 unidades de ajuste de nariz hacia abajo para aviones. El cardán debe estar ubicado en el área verde del indicador de posición de despegue, de lo contrario se emitirá una alarma de despegue (Lufthansa LAN Technical Training, 2005).

Figura 31

Banda verde de indicación de despegue del Stab trim



Nota. Esta imagen muestra el rango adecuado para el procedimiento de despegue (Lufthansa LAN Technical Training, 2005).

➤ **Palanca de empuje o acelerador.**

Este componente conocido por sus siglas en inglés “Thrust levers”, está conectada eléctricamente permitiendo así el control de la potencia del motor. Este componente es necesario en los procedimientos de despegue, ya que, al moverlo más de 33 grados, aumenta la potencia del motor y logra que la alarma de la configuración de despegue suene al no realizarse este procedimiento respectivo (The boeing company, 2015).

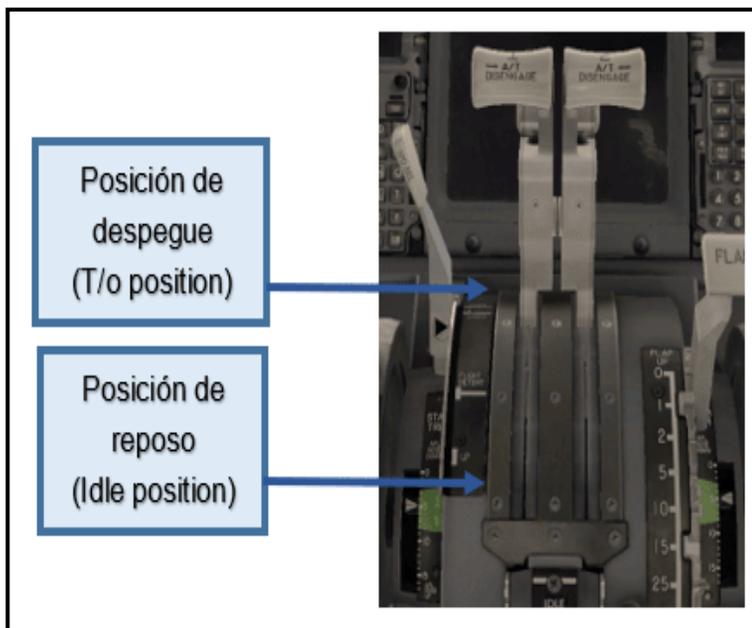
Hay dos palancas independientes para controlar el empuje hacia adelante. Cuando la reversa está habilitada, no podrán avanzar. Cuando se selecciona A / T (AUTO-Thrust), la palanca de empuje se moverá automáticamente en respuesta a los

comandos de MCP o panel principal de control (Main control panel) y FMC o computadora de control de vuelo (Flight management computer) (The boeing company, 2015)

Este componente es un conjunto de palancas de empuje, una para cada motor, conectado a cada control del motor principal mediante cables de control, un tambor de control del motor y un cable de empujar y tirar. El sistema de control de empuje hacia adelante regula el flujo de combustible del motor y, por lo tanto, el empuje hacia adelante (The boeing company, 2015).

Figura 32

Posiciones de la palanca de empuje o aceleración



Nota. Esta imagen indica uno de los componentes principales de la aeronave, el cual permite acelerar y desacelerar la aeronave tanto en tierra como en vuelo.

2.9. Tipos de software de simulación de vuelo: costo, operación, características técnicas del software.

Dentro de la variedad de software de simulación usados a nivel internacional por muchas personas u empresas que se enfocan al entrenamiento de pilotos y de personal

y con la capacidad de realizar tareas de mantenimiento. Se desenvuelven en una recreación del ambiente y manteniendo una visión real según la aeronave que se vaya a establecer.

La empresa Microsoft ha desarrollado un tipo de lenguaje que es capaz de realizar programas de simulación con mucha facilidad y fluidez, cuyo nombre es conocido como metalenguaje (XML), y su función es definir lenguajes de programación, también desarrollaron el (SDK- Sim kit device). Gracias a esas habilidades destacadas por Scott Wiltamuth y Anders Hejlberg Csharp, dieron un gran avance en la programación en Microsoft (Microsoft, 2015).

Alrededor del mundo se han usados estos tres tipos de simuladores de vuelo que fueron perfeccionados para aquellos amantes de la aviación, sea profesional o para uso doméstico y han destacado uno más que otro por su diseño y sus capacidades de desarrollar tareas en el mismo programa, según lo requiera el usuario.

- Microsoft Flight Simulator – versión 2006.
- X-plane 11 – versión 2011.
- Flight Gear.

De estos tres mencionados anteriormente, el que más destaca es el X plane 11 debido a su diseño, capacidad de manipulación de los elementos en el programa, fluidez, capacidad gráfica y es aquel que tiene la certificación como simulador de entrenamiento de vuelo otorgado por la FAA de los EEUU.

2.9.1. Características técnicas de los softwares de simulación de vuelo.

Tabla 3

Características técnicas de los simuladores de vuelo

Características recomendadas	Software de simulación de vuelo		
	Microsoft Flight Simulator X	X Plane 11	FlightGear
Sistema operativo (SO)	Windows 7, vista, XP con service pack 2	Windows 8 o 10 de 64 bits	Windows 7 o 10
Procesador	2,0 GHZ, single core	Intel Core i5 6600K a 3,5 GHZ o más rápido	Intel i5 cuatro núcleos con ~ 2 GHZ de 64 bits
Memoria	2 GB de memoria	16 - 24 GB de memoria	2 - 4 GB de memoria
Espacio disco duro	Hasta 30 GB	De 30 GB o más.	5 - 100 para los mapas.
Gráficos	256 MB RAM compatible con iluminación y transformación por hardware	DirectX 12 de NVIDIA, AMD o Intel con al menos 4 GB de VRAM (GeForce GTX 1070 o mejor o similar de AMD)	Tarjeta de video 3D acelerada por hardware compatible con OpenGL 2.1 o GTX 1060
DirectX	Direct X 9.0	DirectX 12	Direct X 11 - GPU
Red	Conexión a internet	Conexión a internet	Conexión a internet
Precio	Versión estándar \$30	Versión estándar \$64	Versión estándar \$15

Nota. Esta tabla muestra todas las especificaciones técnicas que debe tener estos softwares de simulación para un rendimiento adecuado. Esta información fue recopilada en (VANDAL, 2020).

2.10. Selección del software de simulación X plane 11 y su respectivo lenguaje de programación.

El software seleccionado para la elaboración del proyecto tomo muchas partes importantes para que pueda demostrar una mayor funcionalidad al momento de ser empleado en tareas de mantenimiento. Este software es llamado X plane 11.

2.10.1. Software de simulación x plane 11.

El software de simulación X-plane es el simulador de computadora personal más poderoso y completo del mundo, que puede proporcionar el modelo de vuelo más realista de la actualidad. Este sistema no es un videojuego, sino una herramienta de ingeniería que puede usarse para predecir las capacidades de vuelo de cualquier avión de ala fija o helicóptero con una precisión asombrosa (GmbH, 2017).

Dado que X plane puede predecir el rendimiento y la maniobrabilidad de cualquier avión, es una herramienta asombrosa para los pilotos reales porque les facilita entrenar en el simulador, haciéndolos volar como un avión real. Para los ingenieros, porque les permite predecir cómo volará el avión y brinda asistencia a los fanáticos de la aviación que desean explorar el mundo de la dinámica de vuelo (GmbH, 2017).

En este mundo, de aviones (ya sean propulsados, jet, monomotor o multimotor), así como veleros, helicópteros o VTOL (despegue y aterrizaje vertical). X-Plane incluye dinámicas de vuelo subsónicas y supersónicas, brindando a los usuarios la posibilidad de predecir las características de vuelo de cualquier tipo de aeronave: desde la más lenta hasta la más rápida. La instalación predeterminada del software incluye más de 15 aviones como equipo estándar, cubriendo partes importantes de la industria y la historia de la aviación. Estos incluyen modelos que van desde el Sikorsky S-76 y Cessna 172 hasta el transbordador espacial o el bombardero B-52 (GmbH, 2017).

Figura 33

Programa X plane 11 - inicio



Nota. Esta imagen da a conocer la estructura del programa de simulación X plane 11.

Las versiones de este tipo de software de simulación existen dos principales que se usan de forma domestica u profesional:

- **Versión global o estándar:**

La versión estándar del simulador es la versión comercial o la versión normal. Para que funcione, debe proporcionar una copia del disco DVD 1 o una clave de producto de descarga digital para cada copia del programa. Por las siguientes razones, la FAA o cualquier otra agencia no puede certificar que el sistema registra el tiempo de vuelo. El sistema no verifica si hay control de vuelo o una tasa de cuadros aceptable (número de cuadros por segundo) (GmbH, 2017).

- **Versión profesional:**

Esta versión es adecuada para uso comercial y simuladores aprobados por la FAA. Cada copia requiere una llave USB X-Plane Professional. Esta versión es muy similar a X-Plane 11 Global, pero se puede utilizar con fines comerciales, verificación FAA y posibilidad de utilizar GPS real. Esta versión está destinada a reemplazar Microsoft ESP. La llave USB debe usarse con fines comerciales o para entrenamiento de vuelo en un simulador aprobado por la FAA (GmbH, 2017).

2.10.2. Lenguaje de programación:

Es un lenguaje formal que permite a los programadores escribir un conjunto de comandos, acciones secuenciales, datos y algoritmos utilizando una serie de instrucciones para crear programas que controlen el comportamiento físico y lógico de la máquina de esta forma.

A través de este lenguaje, el programador y la máquina se comunican, por lo que se puede especificar con precisión lo siguiente:

- Qué datos deben ser ejecutados por software específico.
- Cómo almacenar o transferir datos.
- El software tomará medidas de acuerdo con diferentes situaciones.

Para explicarlo mejor (es decir, con menos palabras), un lenguaje de programación es un sistema de comunicación estructurado que consta de un conjunto de símbolos, palabras clave, reglas semánticas y sintácticas que permiten a los programadores comunicarse con las máquinas.

Tipo de lenguaje de programación:

- **Lenguaje de máquina:** Es el código más primitivo y se basa en números binarios (todos 0 y 1).
- **Lenguaje de programación de bajo nivel:** Este es un lenguaje fácil de interpretar, pero variará según la máquina o computadora que se esté programando.
- **Lenguaje de programación de alto nivel:** En esta categoría, el más utilizado. El uso de palabras en inglés es más fácil de intervenir para las personas que las palabras anteriores, y se clasifican en orden cronológico y orden cronológico

Tabla 4

Clasificación del lenguaje de programación de alto nivel

Clasificación	Información	Ejemplos
Primera generación	Este tipo de lenguaje es desde el ensamblador a la maquina	ALGORITMOS 0 y 1
Segunda generación	Son los primeros lenguajes de alto nivel.	FORTRAN Y COBOL
Tercera generación	Se encuentra los lenguajes de programación de alto nivel imperativo y vigentes en la actualidad.	ALGOL 8, PL/I, PASCAL, MODULA
Cuarta generación	Se encuentran en aplicaciones de gestión y manejo de base de datos	NATURAL, SQL
Quinta generación	Son los más avanzados y pensados para uso en inteligencia artificial y procesamiento de lenguaje natural	LISP, PROLOG

Nota. Esta tabla da a conocer los diferentes lenguajes de programación desde los más antiguos hasta los más actuales (*Rockcontent, 2020*).

Dentro de algunos lenguajes de programación se pueden detallar algunos de ellos debido a su complejidad tanto baja como elevada en su escritura como en su composición y algunos de ellos se puede dar a conocer:

- **Java.**

Con este lenguaje de programación, puede crear programas en varios dispositivos para poder ejecutar la misma aplicación en varios sistemas operativos. Utiliza un lenguaje más simplificado que C ++, que es más fácil de aprender que otros lenguajes debido a su orientación a objetos (*SEAS, 2019*).

- **C++.**

Conocido por el nombre C Plus Plus. Este lenguaje de programación está orientado a objetos y aparece como una continuación y extensión del lenguaje C. Hay

muchos programas escritos en este lenguaje de programación, como los paquetes de software de Adobe (ACDeS Digital, 2019).

- **Python.**

Además de ser universal, este es un lenguaje de programación multiplataforma y multiparadigma. Esto significa que admite programación orientada a objetos, imperativa y funcional. Su sencillez, legibilidad y semejanza con el inglés lo convierten en una lengua informática excelente para principiantes (ACDeS Digital, 2019).

2.11. Programación de los componentes de simulación en X plane 11:

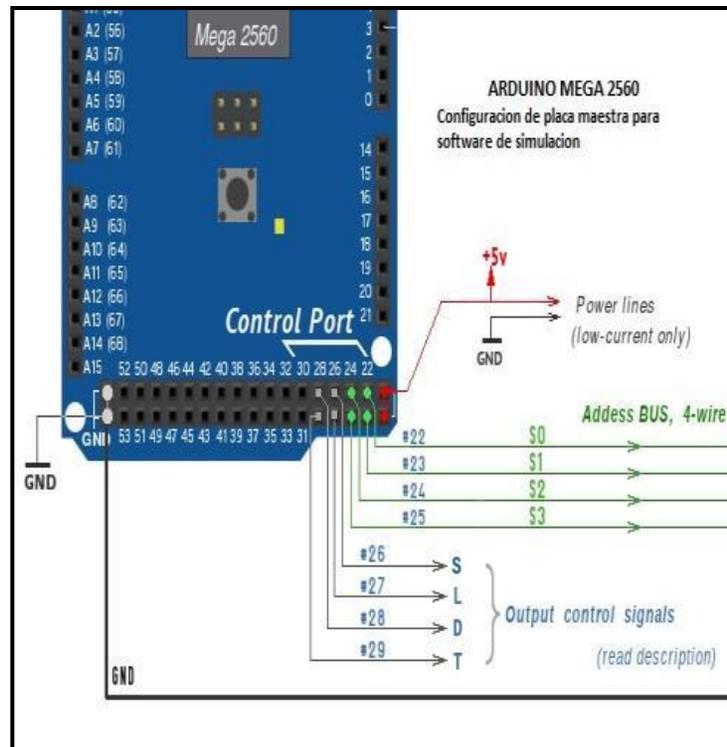
La importancia del uso de un software que permite la distribución de todos los sistemas mediante un interfaz de control, la configuración de cada uno de los sistemas que se requieran habilitar dentro de una cabina de simulación. Esta herramienta es práctica, sencilla y eficaz para los constructores de simuladores de vuelo domésticos, y de no poseer conocimientos de programación avanzada para su configuración.

Esta interfaz HCSCI, es un configurador que necesita conexión a internet, y consta para su desarrollo, mapas, cuya representación es de cada uno de los sistemas y componentes que tiene una aeronave, dependiendo de su modelo, diseño y función y para cada una de estas configuraciones realizadas las llama parámetros. Estos parámetros necesitan principalmente el archivo data.cfg, el cual contiene información de su configuración programada para su verificación en el software de X plane (HCSCIS, 2012).

Para la configuración del hardware, utiliza una tarjeta central principal (mega 2560), el cual utiliza, dependiendo de los sistemas a habilitar en una aeronave, multiplexores lógicos, potenciómetros, luces leds, pero la que se encarga de hacer todas estas funciones es la tarjeta secundaria la cual es específica para la aplicación de estos componentes electrónicos (HCSCIS, 2012).

Figura 34

Tarjeta principal de control para configuración



Nota. Esta tarjeta es donde distribuye cada uno de sus componentes lógicos electrónicos para la configuración de X plane.

Sin embargo, para la instalación de palancas, se utiliza potenciómetros de paso variable el cual regula la resistencia por cada movimiento según la trayectoria a seguir. Permitiendo de esta forma un control mediante potenciómetros 1-5k ohm de resistencia con la finalidad de reducir el ruido que proporciona cada cable distribuidor de corriente hacia el componente electrónico.

Capítulo 3

3. Desarrollo del proyecto

3.1. Introducción.

En este capítulo se describe todos los procedimientos que se procedió tanto para el acondicionamiento de la cabina, como el chequeo operacional del sistema de alerta de despegue en la aeronave Boeing 737-500, que se efectuó en la cabina de simulación perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, siguiendo cada una de las tareas descritas en el AMM 31-26-00 y en la Task card 31-026-02-01, pertenecientes al fabricante Boeing.

Mediante el chequeo, tiene como objetivo principal ver el funcionamiento y operación apropiado de los componentes que conforman este sistema de alerta de despegue y así poder garantizar el trabajo del sistema previo al vuelo. Sin embargo, este proyecto de titulación se lo realizó para efectuar trabajos de mantenimiento dentro de la cabina mediante el uso de un software especializado en simulaciones de aeronaves y mejorar la preparación de los técnicos de la carrera de Tecnología en Mecánica Aeronáutica en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE- campus Belisario de Quevedo.

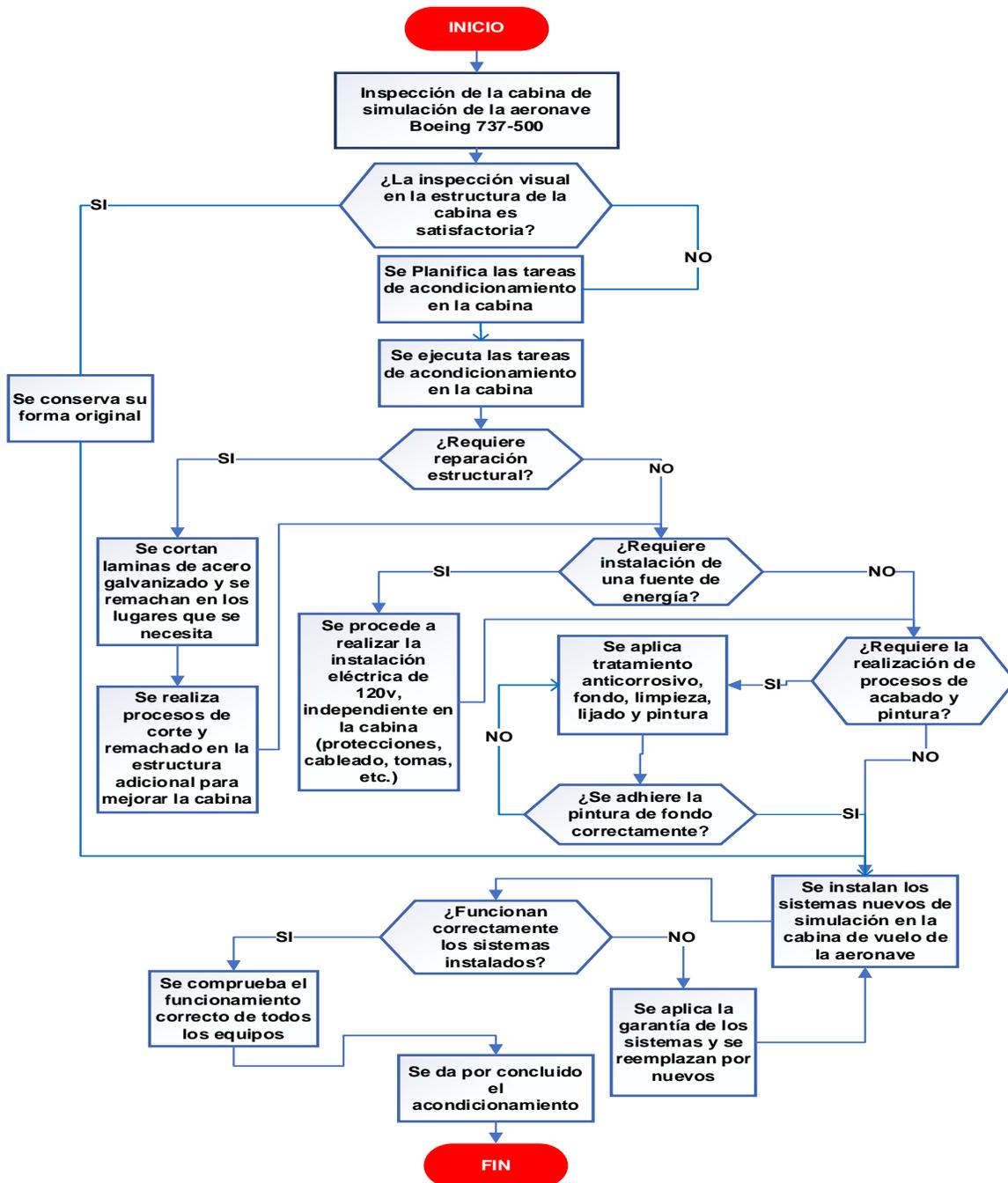
3.2. Beneficiarios.

Este proyecto es acondicionado para entrenamiento favorable para los estudiantes de la carrera de mecánica aeronáutica y docentes de la misma, por el que, el uso de todos los sistemas que contiene una cabina de vuelo mejorará el rendimiento y preparación mediante el desarrollo de tareas de mantenimiento.

3.3. Descripción del acondicionamiento de la cabina Boeing 737-500.

Figura 35

Flujograma de acondicionamiento de la cabina de simulación



Nota. Esta imagen representa los procedimientos que se elaboró para desarrollar la tarea de acondicionamiento en la cabina de simulación de la aeronave Boeing 737-500.

Para su acondicionamiento se tomó en cuenta una inspección visual para revisar los desperfectos que contiene la cabina. Es importante tomar en cuenta que dentro del acondicionamiento se realizó diferentes tareas, tanto dentro como fuera de la cabina. En la parte estructural se encontraron varios desperfectos, por lo cual se empezó agregando láminas de acero galvanizado, adicionales en la estructura, donde se hizo procesos de corte y remachado para acoplarles en la estructura.

Figura 36

Reparación estructural



Después de realizar los acoplamientos adicionales en la cabina, se hizo una tarea de masillado, cuya finalidad era, darle un mejor acabado y no presente deformaciones en las uniones hechas en la cabina y ocultando toda deformidad que contiene la estructura.

Figura 37

Proceso de masillado en la reparación estructural.



Luego de haber realizado la tarea de masillado en toda la cabina, se procedió a lijar toda la cabina, dar tratamiento anticorrosivo a las láminas acopladas y dar una limpieza fondo, eliminando de esta forma todo polvo, impureza que pueda alterar cualquier proceso de pintado y verificando el trabajo bien hecho. Después de limpiar la cabina se ejecutó la elaboración de las respectivas mezclas en donde contenía como elemento principal el Primer.

Figura 38

Aplicación del fondo primer en la cabina de simulación



Al momento de haber aplicado el primer correctamente, se deja secar para que se adhiera correctamente a la superficie, y se procede a lijar el mismo y con lijas finas y darle un asentamiento más fino a la pintura. A continuación, se procede a pintar la pintura base en la superficie dejando un lugar para el bate piedra, el cual es ideal por su efecto impermeabilizante.

Figura 39

Aplicación de la pintura base en la estructura



Para el acabado final se aplicó una pintura de color blanco, el cual brinda una estética muy buena a la cabina de la aeronave y sus propiedades de protección a las variaciones climatológicas del lugar conjuntamente con todos sus diseños que le permiten a la cabina tener un aspecto más real.

Figura 40

Acabado final de pintura en la cabina de la aeronave



Posteriormente al culminar los trabajos de acondicionamiento en la estructura de la cabina, se procedió a instalar las tomas eléctricas de 120 voltios con sus debidas protecciones, provenientes de la universidad y proporcionando de esta forma una fuente de energía propia en el lugar de trabajo.

Figura 41

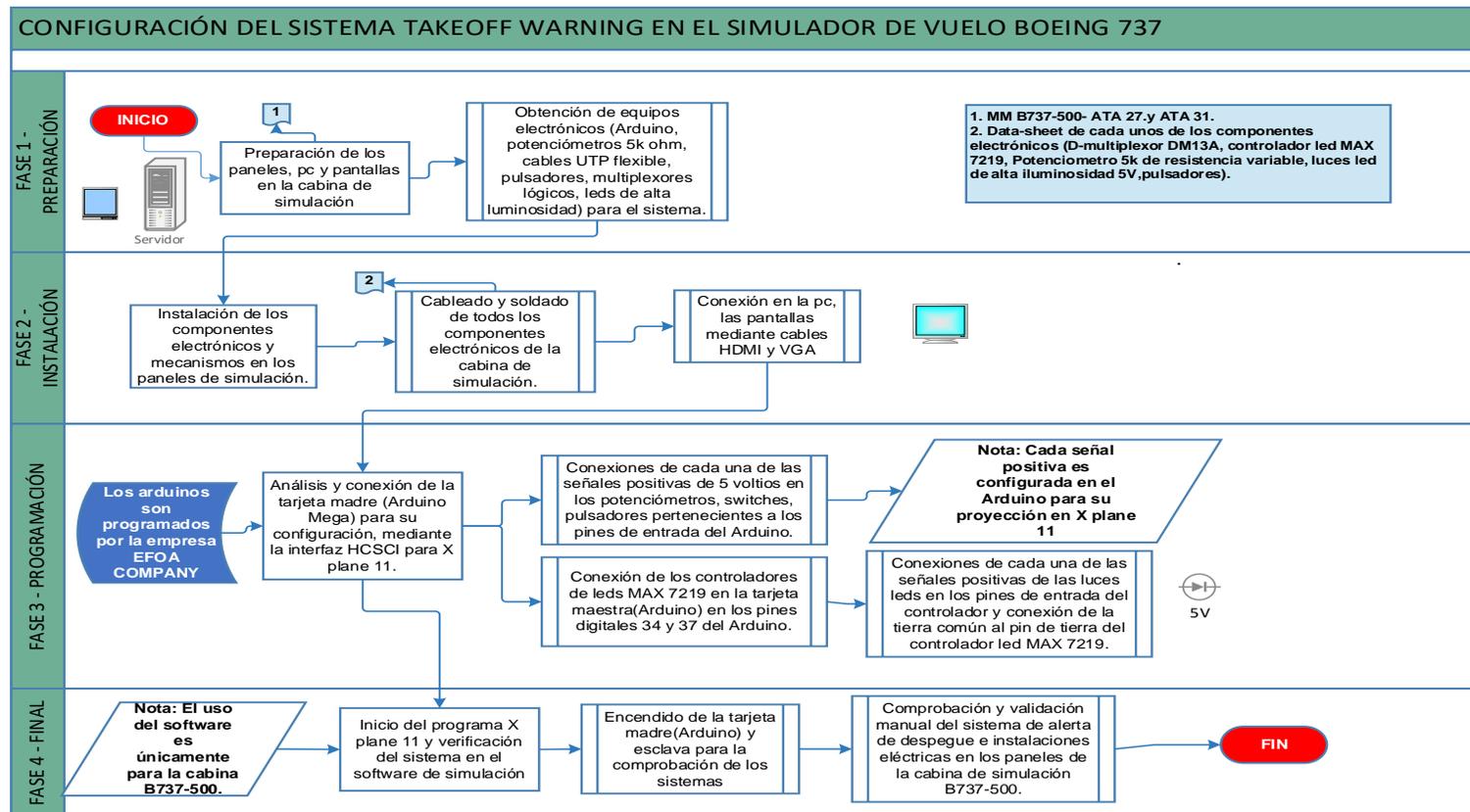
Instalación de las tomas eléctricas en el área del simulador



3.4. Configuración y programación del sistema de alerta de despegue.

Figura 42

Flujograma de la configuración del sistema de alerta de despegue en la cabina de simulación.



Nota. Esta imagen indica el orden en el que se realizó las tareas para poder configurar el sistema de alerta de despegue.

El proceso de acondicionamiento de la cabina de simulación de la aeronave Boeing 737, tomo en cuenta la diferencia de factores, el cual permitió obtener resultados que se dieron a conocer en cada uno de los procesos establecidos en la cabina de simulación.

Etapa 1: Se dio a conocer los parámetros en los cuales se intervino para mejorar el aspecto externo de la cabina de simulación y para esto se necesitó las herramientas adecuadas y el conocimiento de la forma en la que quedaría para empezar a trabajar en su estructura. Tomando en cuenta las condiciones atmosféricas, temporales de 3-4 meses y estéticas para su desarrollo.

Etapa 2: Uno de los grandes dilemas para el funcionamiento de la cabina fue el porvenir de una fuente de energía que alimentara toda la cabina de simulación, y para ello se organizó mediante personal encargado de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE para su desarrollo. Para esta instalación se tomó en cuenta la distancia desde la fuente del edificio principal a la cabina de simulación ubicándolo bajo tierra y el tipo de voltaje que necesitaría para su funcionamiento, el cual es de 110v.

Etapa 3: La importancia de la protección de la cabina de simulación por factores atmosféricos es muy importante para su permanencia, es por ello que se procedió a darle tratamiento anticorrosivo y acabado de pintura con su respectivo fondo el cual se tardó aproximadamente 30 días. De esta forma mejorando su aspecto deseado y protegiéndolo de aspectos externos el cual deterioraría la estructura de la cabina de simulación, su aspecto final fue el deseado.

Etapa 4: En esta etapa se concluyó el trabajo ya que fue importante determinar cada aspecto, el cual permitiría el funcionamiento adecuado de los sistemas para la simulación de vuelo en la cabina de la aeronave. Todo lo utilizado en esta etapa fueron equipos, software de simulación y componentes electrónicos, los cuales cada uno de ellos tendrían su función en específico para simular lo deseado en la cabina de

simulación. Se utilizó pantallas de visualización gráfica, CPU el cual dirigía y organizaba toda la información, tarjetas Arduinos mega, software X Plane 11, potenciómetros 5K ohm de resistencia y varias luces leds, y otros. Gracias a la interfaz de programación HCSCI, se logró programar, ordenar y proyectar una correcta instalación para su simulación en el software X Plane 11.

Tabla 5

Equipos, herramientas y materiales usados en etapas de desarrollo

ETAPAS DE DESARROLLO			
EQUIPOS O HERRAMIENTAS			
ETAPA 1	NOMBRE	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
Acondicionamiento externo de la cabina	Taladro	1	Uso para perforación de superficies
	EPP	1	Protección personal
	Moladora	1	Uso de corte de superficies
	Cierra de corte	1	Herramienta de corte manual
	Pistola de pintura	1	Utiliza presión para el acabado de pintura
	Martillo	1	Herramienta de golpe
	Desarmadores	NA	Herramienta de ajuste
MATERIALES			
ETAPA 1	NOMBRE	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
Acondicionamiento externo de la cabina	Lijas 80,240 y 400	NA	Papel abrasivo
	Disco de corte	6	Facilita el corte de superficies.
	Tiñer	5 lts	Diluyente químico
	Planchas de aluminio	1	Material de acondicionamiento superficial en la cabina de simulación de vuelo
	Remaches 1/8, 5/32.	NA	Material de fijación en superficies planas
	Mcilla M. S. Willyams	1 lts	Pasta idónea para reparar o mejorar superficies lisas.
	Brocas 1/8, 5/32	15	material metálico para perforación de superficies

MATERIALES			
ETAPA 2	NOMBRE	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
Instalación de fuente de energía eléctrica en la cabina de simulación	Cable eléctrico 110V	15 mts	Cable altamente resistente a cargas eléctricas para instalaciones en edificaciones.
	Tubos de PVC	10	Material resistente para uso en conexiones eléctricas y protección bajo agentes corrosivos atmosféricos
	Caja Térmica	1	Elemento de protección indispensable en el cableado eléctrico
	Caja de enchufes	3	Permite obtener energía de diferentes puertos con el mismo voltaje 110v
EQUIPOS O HERRAMIENTAS			
ETAPA 2	NOMBRE	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
Instalación de fuente de energía eléctrica en la cabina de simulación	Desarmadores	NA	Herramienta de ajuste
	Multímetro	1	Permite conocer el voltaje y continuidad dentro de las conexiones eléctricas
	EPP	1	Elementos indispensables para la protección del individuo en el trabajo
EQUIPOS O HERRAMIENTAS			
ETAPA 3	NOMBRE	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
Acabado y pintura en la cabina de simulación de vuelo	Pistola de pintura	1	Herramienta importante para la dispersión de pintura sobre superficies
	Masilla de filtro de partículas	1	Equipo de protección facial
	Lijadora eléctrica	1	Herramienta de lijado y acabado para procesos de pintura
	Telas de limpieza	4	Ayuda a la limpieza de la superficie sin dejar residuos
	Overol	1	Protege a la persona de material química irritante a la piel

MATERIALES			
ETAPA 3	NOMBRE	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
Acabado y pintura en la cabina de simulación de vuelo	Fondo gris de acabado	1 gal	Protege a las superficies de corrosión
	Fondo verde	2 lts	Protege a las superficies de corrosión
	Lijas 80,120	10 unid	Material abrasivo para tratamiento de superficies planas
	Tiñer	2 lts	Compuesto químico para limpieza o diluyente químico
	Pintura blanca Sherry W.	1 gal	Pigmento orgánico para recubrir y proteger las superficies
	Bate piedra mate	1 gal	Material de protección contra humedad y agentes atmosféricos
EQUIPOS O HERRAMIENTAS			
ETAPA 4	NOMBRE	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
Instalación de equipos, configuración y programación de paneles en la cabina de simulación de vuelo	Cautín para soldar	1	Herramienta electrónica que une circuitos electrónicos mediante una suelda
	Pinzas de corte	2	Herramienta manual para cortar materiales delgados
	Pinza de punta o playo de sujeción	1cd/u	Herramienta manual para sujetar piezas pequeñas en sus puntas alargadas
	Taladro	1	Herramienta manual para hacer agujeros en superficies.
	Multímetro	1	Equipo de medición de magnitudes eléctricas
	Desarmadores	NA	Herramienta manual de ajuste o desajuste de tornillos
	Llaves hexagonales 5/32, 1/8.	2 cda /u	Herramienta en forma de L que sirve para ajustar o aflojar tornillos que contengan ese tipo de ranura
	Pantallas planas o TV	6	Equipo que permite visualizar imágenes en tiempo real

EQUIPOS O HERRAMIENTAS			
	NOMBRE	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
	Computadora o PC	1	Dispositivo electrónico o informático que sirve para procesar o almacenar información.
	Mouse o ratón	1	Dispositivo que facilita el manejo de un PC
	Teclado	1	Equipo que facilita la escritura y control en el PC.
MATERIALES			
ETAPA 4	NOMBRE	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
Instalación de equipos, configuración y programación de paneles en la cabina de simulación de vuelo	Estaño de soldar	5 m	Material usado para unir piezas con estaño fundido
	Pasta de soldar	2	Material de apoyo en proceso de soldadura eléctrica
	Brocas 1/8, 5/32	10 cda/u	Material indispensable para realizar agujeros en superficies duras
	Cable flexible UTP	30 m	Material conductor eléctrico para circuitos electrónicos
	Pegamento epóxico	4 u	Pegamento fortalecido para ajuste y sujeción de piezas.
	Arduino mega compartido	1	Componente electrónico o microcontrolador
	Potenciómetros 5K	3	Componente electrónico con resistencia variable
	Pulsadores	6	Componente electrónico de dos posiciones ON/OFF
	Multiplexores lógicos	1	Circuito combinacional de una o varias señales de entrada
	Luces leds	33	Led o diodo conductor que emite luminosidad
Switch de doble y triple posición	3	Circuito que permite y cierra el paso de la señal.	

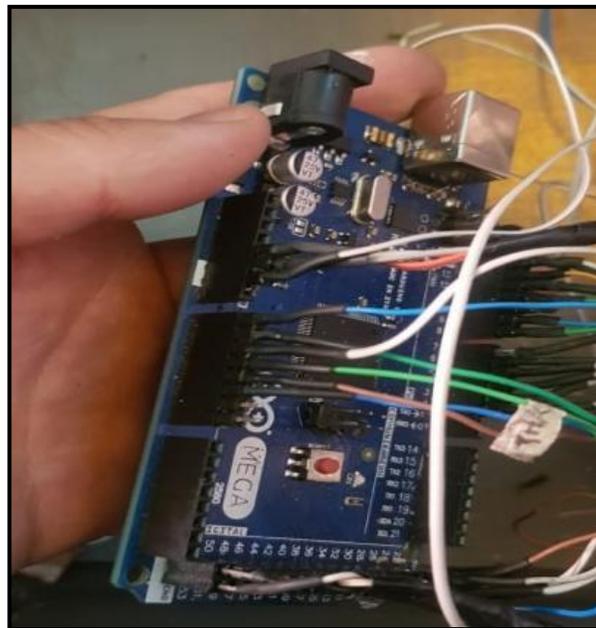
Nota. En esta tabla se da a conocer todo lo que se utilizó en cada una de las etapas.

Se procedió a realizar la programación y configuración de varios sistemas de la aeronave, el cual consiste en la instalación de equipos electrónicos como: Arduino, D-multiplexores, controladores led, etc. Estos componentes electrónicos permiten el control del software de los equipos instalados en la cabina de simulación Boeing 737. Sin embargo, estas placas son divididas entre tarjetas maestra y esclava, el cual accede a tener mayor organización al momento de la instalación de los sistemas en la aeronave, controlando de esta forma luces led, interruptores, lcds y servomotores, potenciómetros, etc, el cual fueron necesarios para su funcionamiento.

Para su funcionamiento adecuado, los Arduinos o placas maestras deben estar energizados y conectados con el cable de datos dirigido directamente al puerto USB de la computadora, el cual facilita la lectura del Arduino en el software de simulación X Plane 11.

Figura 43

Programación de los sistemas de simulación en arduino

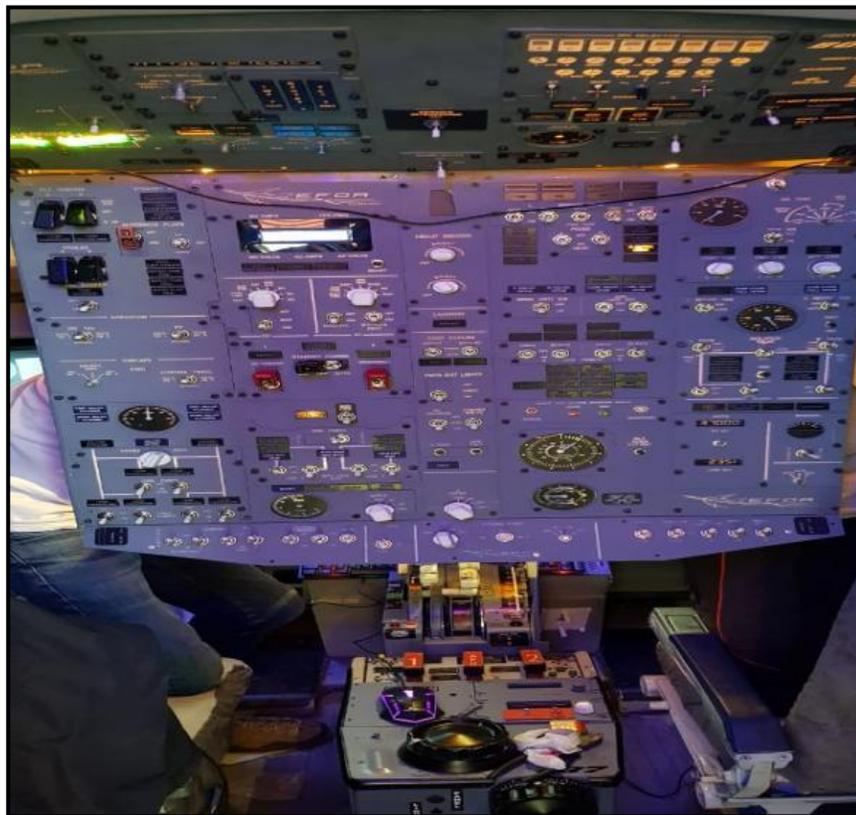


Nota. En esta imagen indica la conexión de uno de los Arduino instalados dentro de los sistemas que conforman la cabina de simulación.

Una vez concluida las instalaciones eléctricas y electrónicas, se procedió a instalar dentro de la cabina los paneles de simulación de los sistemas de la aeronave Boeing 737-500, el cual funcionarán para realizar tareas de mantenimiento simuladas para un mayor entrenamiento de los estudiantes y docentes de la Carrera de Mecánica Aeronáutica.

Figura 44

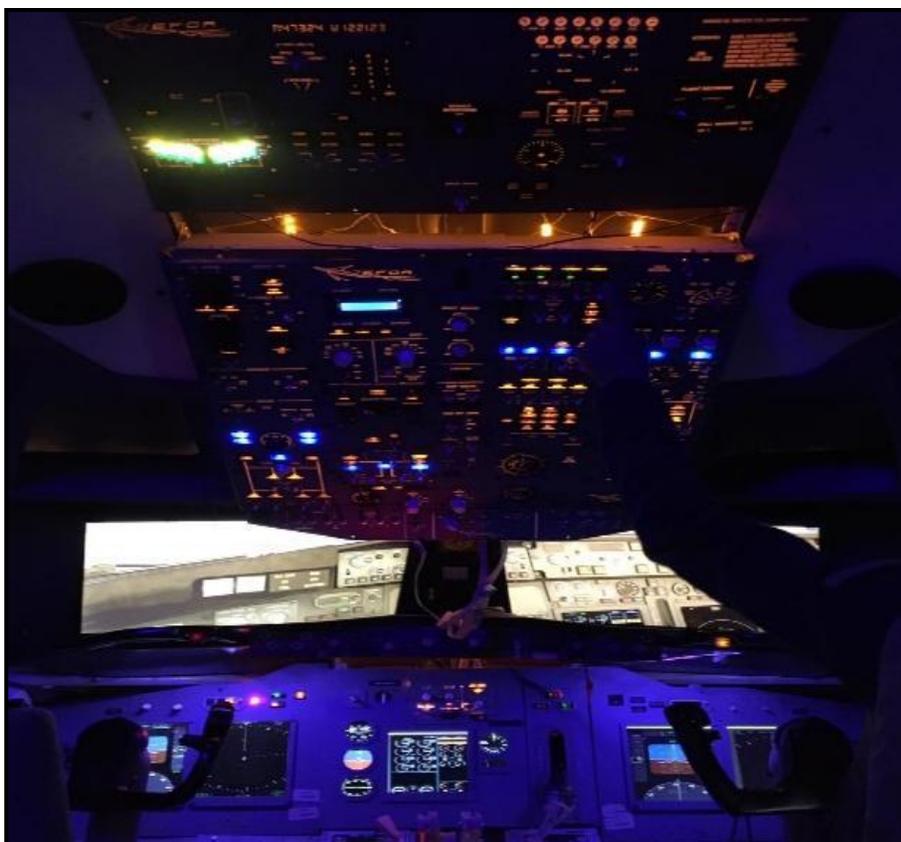
Instalación de los paneles de simulación



Finalizada la tarea de instalación de los paneles de simulación en la cabina, se procedió al encendido de la cabina y comprobar el funcionamiento de los sistemas y equipos mediante el manual de operación del simulador de vuelo.

Figura 45

Comprobación de los equipos de simulación del B737



3.5. Descripción y procedimiento de prueba del sistema de alerta de despegue

Este sistema de alerta de despegue es importante dentro de la comprobación de los sistemas previo al vuelo, ya que su operación correcta permitirá tener un vuelo en buenas condiciones. Su comprobación se lo realiza en tierra con el personal técnico y también en vuelo con el personal de vuelo a cargo.

Para su funcionamiento correcto, este trabaja con el sistema de luces de emergencia y con el sistema aural el cual notifican cuando existe una mala configuración del sistema mediante avisos aurales y visuales de color rojo en el panel del 1 y 3 del comandante y primer oficial.

Procedimiento de prueba según la Task card #31 del Boeing 737.

Task card #31-026-02-01

Prueba del sistema de alerta de despegue:

A. Procedimiento:

NOTA: Las tareas que siguen a continuación son pasos de preparación para la prueba. Se debe realizar estos pasos antes de cada prueba individual.

1. Tareas de Preparación para la prueba:

- (a) Se procedió a encender y preparar la cabina de simulación de vuelo. **VER ANEXO 12, MANUAL DE OPERACIÓN (Proceso de encendido de la aeronave).**
- (b) Se suministro energía eléctrica y se encendió la aeronave mediante planta externa y se alimentó el sistema hidráulico A y B.

Figura 46

Suministro de energía eléctrica e hidráulica a la aeronave B737.



Nota. Esta imagen indica la conexión del GPU y del sistema hidráulico, suministrando energía eléctrica y fuerza hidráulica en la aeronave.

- (c) Se colocó las dos palancas de empuje en posición de reposo(idle) y se ajustó el indicador de posición del estabilizador al centro de la banda verde +/- 1 unidad.
- (d) Se extendió los flaps al rango de despegue (1, 2, 5, 10, o 15 unidades).
- (e) Se extendió los flaps al rango de despegue (5, 10, or 15 unidades) y se puso la palanca de control del freno de velocidad en la posición (ABAJO) y se detuvo.

- (f) Finalmente se colocó las palancas de arranque del motor ubicado en el panel central en la posición (CUTOFF).

Figura 47

Preparación para la prueba del sistema de alerta de despegue



Nota. Esta imagen representa la culminación de la preparación previo a las pruebas a realizar en el proyecto.

2. Haga una prueba de los interruptores de alerta de despegue operados por las palancas de empuje, la palanca de empuje N°1 (S814) y la palanca de empuje N°2 (S815).

- (a) Se realizó las tareas de preparación para la prueba en el apartado 1 y se aseguró de que las palancas de empuje están en la posición de reposo (Idle) y ubicado el estabilizador en una posición fuera del rango de la banda verde.

Figura 48

Preparación del panel de control central para la prueba de palancas

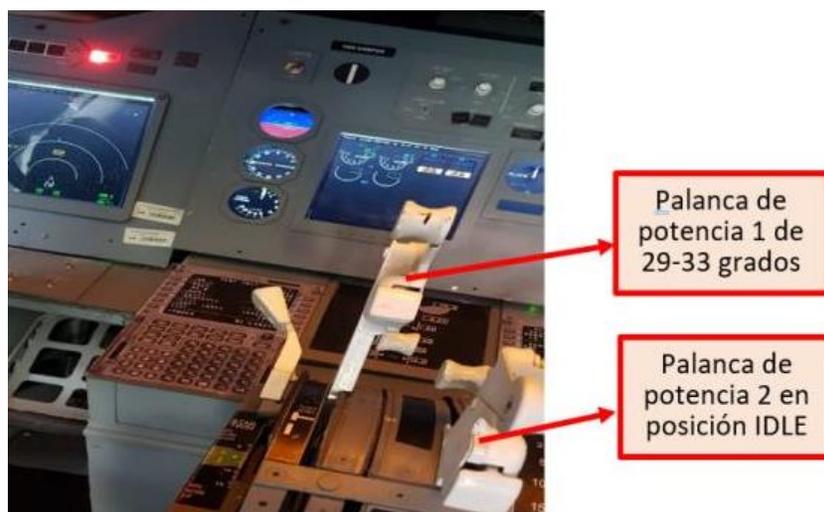


Nota. Esta imagen muestra una preparación previa a la prueba a realizar.

- (b) Se movió la palanca de empuje nº1 hacia delante y se procedió a escuchar la bocina intermitente cuando la palanca de empuje haya estado entre 29 y 33 grados hacia adelante de la posición de reposo, se aseguró que la luz "Roja" de TAKEOFF CONFIG en el panel P2-2 está encendida.

Figura 49

Potencia 1 adelante y luz Take off encendida



Nota. La luz roja de Take off encendida, indica que la prueba de potencia 1 está correcto

- (c) Se movió la palanca de empuje lentamente hacia atrás y luego se aseguró de que la bocina se detuvo en o antes de que la palanca de empuje haya estado entre 29 - 33 grados por delante de la posición de reposo. También se aseguró que la luz "Roja" de TAKEOFF CONFIG en el panel P2-2 está APAGADA en o antes de que la palanca de empuje haya estado entre 29 grados por delante de la posición de reposo.

Figura 50

Prueba de potencia 1 terminada



Nota. Esta imagen representa la culminación de la prueba nro1 en palanca de potencia de los motores.

- (d) Se colocó la palanca de empuje en la posición de reposo.
- (e) Se realizó nuevamente los mismos pasos de prueba para la palanca de empuje n°2.
- (f) Se movió la palanca de empuje n°2 a una posición más de 33 grados desde la posición de reposo y se aseguró de escuchar la bocina intermitente y a su vez se aseguró de que la luz "roja" de TAKEOFF CONFIG en el panel P2-2 está encendida.

Figura 51

Inicio de la prueba de la palanca de potencia nro 2



Nota. El encendido de la luz roja de Take off, representa el correcto funcionamiento de la palanca de potencia nro2.

(g) Se volvió a colocar la palanca de empuje en la posición de reposo.

(h) Se aseguró nuevamente de que la bocina intermitente permanezca apagada y de que la luz "roja" de TAKEOFF CONFIG en el panel P2-2 esté apagada.

Figura 52

Fin de la prueba de la palanca de potencia nro2



Nota. En este paso da a conocer la prueba exitosa en la comprobación del funcionamiento de la palanca de potencia nro2 con la luz roja de Take off apagada.

(i) Finalmente se procedió a colocar el estabilizador en el rango de la banda verde.

Figura 53

Colocación del Stab trim en la banda verde dentro del rango de despegue.



Nota. Esta imagen representa el fin de la prueba en las palancas de potencia 1 y 2.

3. Realice una prueba del interruptor de alerta de despegue de flaps (S130), del diodo de aislamiento M2580 y de los circuitos de alerta sonora de flaps L/E y T/E.

Nota: Se realizó esta prueba con el sistema de flaps correctamente ajustado y con los sistemas hidráulicos A y B presurizados.

- a. Se realizó las tareas de preparación para la prueba.
- b. Se movió una de las palancas de empuje completamente hacia adelante.
- c. Se retrajo completamente los flaps.
 - (c.1) Se aseguró de escuchar la bocina intermitente.
 - (c.2) Se aseguró de que la luz "Roja" de TAKEOFF CONFIG en el panel P2-2

está encendida.

Figura 54

Prueba de palanca de flap en 0 grados



Nota. Esta imagen indica que, en la posición de 0 grados, la luz de alerta de despegue no es la adecuada para el procedimiento de despegue.

d. Se movió las palancas de empuje a la posición de reposo.

(d.1) Se aseguró de que la bocina intermitente se detenga y que la luz "roja" de TAKEOFF CONFIG en el panel P2-2 está apagada.

Figura 55

Luz roja de Take off apagada sin potencia de las palancas y flap 0 grados

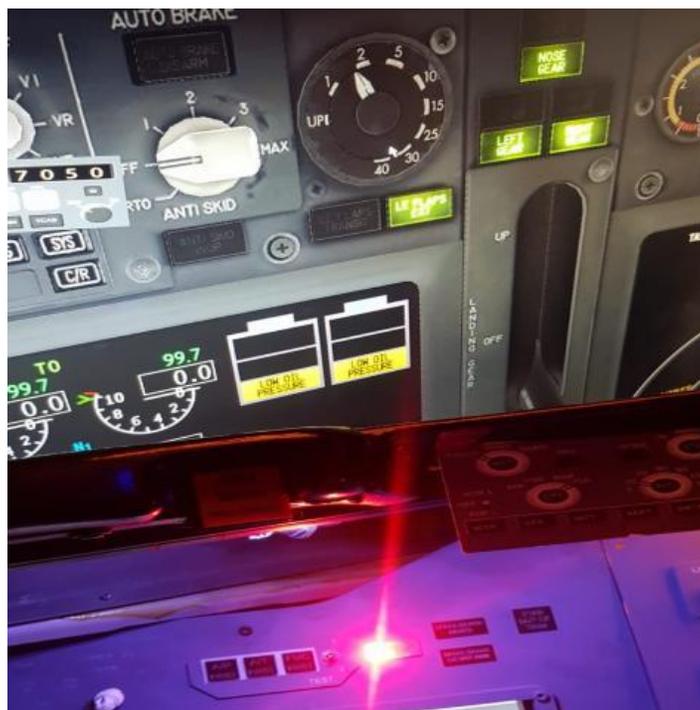


Nota. Esta imagen indica la posición de 0 grados de los flaps y las palancas de potencia en reposo, el cual la luz roja no está encendida.

- e. Se movió una de las palancas de empuje completamente hacia adelante. Y se aseguró de escuchar la bocina intermitente cuando este cambiando el grado de los flaps, verificando que la luz "Roja" de TAKEOFF CONFIG en el panel P2-2 esté encendida.

Figura 56

Flaps en tránsito y luz roja de Take off encendida.



Nota. La luz roja indica los flaps en tránsito hasta que logre acoplarse correctamente.

- f. Se movió una de las palancas de empuje hacia adelante y se aseguró de no escuchar la bocina intermitente cuando los flaps estaban acoplándose entre 1 y 25 grados, verificando que la luz roja de TAKEOFF CONFIG en el panel P2-2 no esté encendida.

Figura 57

Luz roja de alerta de despegue apagada a 10 grados de flaps



Nota. Esta imagen representa el acoplamiento de los flaps dentro del rango entre 1 y 25 grados permitidos para despegue de la aeronave.

- g. Se mantuvo una de las palancas de empuje hacia adelante y se aseguró de escuchar la bocina intermitente y que la luz roja de TAKEOFF CONFIG en el panel P2-2 este encendida cuando este entre 0, 30 y 40 grados.

Figura 58

Flaps a 30 grados y fuera del rango de despegue

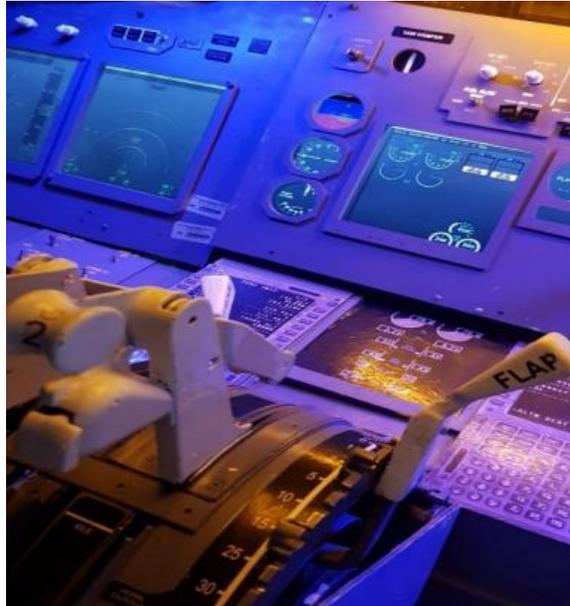


Nota. Los flaps cuando están fuera del rango de despegue alertan mediante la luz roja a la tripulación de que existe una mala configuración en la aeronave

- h. Se volvió a colocar los flaps a 1 grado y se ubicó la palanca de empuje en posición de reposo, verificando la que luz roja de TAKEOFF CONFIG en el panel P2-2 y la bocina intermitente estén apagados.

Figura 59

Colocación de las palancas de flaps y potencias para la siguiente prueba



Nota. En esta imagen represente la forma en la que se deja todos los componentes del panel de control central para las siguientes pruebas.

4. **Se hizo una prueba de los interruptores de alerta de despegue del estabilizador S546 (nariz abajo) y S132 (nariz arriba).**
 - a. Se realizó las respectivas tareas de preparación para la prueba.
 - b. Se movió una de las palancas de empuje completamente hacia adelante.
 - c. Se movió el estabilizador en la dirección (APL NOSE DOWN), empezando en el rango de la banda verde y se aseguró escuchar la bocina cuando el puntero esté fuera de la banda verde (+/- media unidad). Y se aseguró de que la luz "Roja" de TAKEOFF CONFIG en el panel P2-2 está encendida cuando la aguja haya estado fuera de la banda verde (+/- media unidad).

Figura 60

Luz roja de Take off encendida y Stab trim fuera de la banda verde.



Nota. Esta imagen muestra la verificación del stab trim en dirección APL NOSE DOWN, colocando una de las potencias hacia adelante.

- d. Se movió el estabilizador en la dirección APL NOSE UP y se aseguró de que la bocina se haya detenido cuando el puntero ha llegado a la banda verde (+/- media unidad). También se aseguró de que la luz "Roja" de TAKEOFF CONFIG en el panel P2-2 esté apagada cuando el puntero llegue a la banda verde (+/- media unidad).

Figura 61

Luz roja apagada y Stab trim dentro de la banda verde



Nota. La luz roja de take off se apaga, ya que el stab trim se encuentra dentro de la banda verde, el cual es importante para este procedimiento.

- e. Se continuó moviendo el estabilizador en la dirección APL NOSE UP hasta el otro extremo de la banda verde, afirmando de oír la bocina cuando el puntero esté fuera de la banda verde (+/- media unidad). También se aseguró de que la luz "Roja" de TAKEOFF CONFIG en el panel P2-2 está encendida cuando la aguja está fuera de la banda verde (+/- media unidad).

Figura 62

Stab trim fuera de la banda verde (nose up) y luz roja t/o encendida.



Nota. Esta imagen representa el funcionamiento del stab trim, ubicándose fuera de la banda verde en dirección Nose up.

- f. Se movió el estabilizador en la dirección (APL NOSE DOWN).
- g. Se aseguró de que la bocina se detiene cuando el puntero se sitúa en la banda verde (+/- media unidad) y que la luz "Roja" de TAKEOFF CONFIG en el panel P2-2 se haya apagado cuando el puntero llega a la banda verde (+/- media unidad).

Figura 63

Stab trim regresando a la banda verde y luz roja apagada



Nota. La luz roja de take off esta apagada ya que se encuentra dentro del rango de margen de despegue en la banda verde.

- h. Se movió el estabilizador en todo su rango y se aseguró de que no se escuchó la bocina mientras la aguja está entre los dos extremos (+/- media unidad) de la banda verde y de que la luz "Roja" de TAKEOFF CONFIG en el panel P2-2 esté apagada mientras la aguja haya estado entre los dos extremos (+/- media unidad) de la banda verde.

Figura 64

Extremo inferior de la banda, la luz roja de alerta T/O no se enciende



Nota. Esta imagen muestra el buen funcionamiento del stab trim, cuando este se encuentra en los límites inferiores de la banda verde y la luz roja de alerta no se enciende.

- i. Se escuchó la bocina cuando la aguja estaba fuera de la banda verde (+/- media unidad) en uno de los dos extremos y se aseguró que la luz "Roja" de TAKEOFF CONFIG en el panel P2-2 está encendida cuando la aguja esté fuera de la banda verde (+/- media unidad) en uno de los dos extremos.

Figura 65

Configuración del stab trim en el extremo superior de la banda verde.



Nota: La luz roja de alerta, se enciende cuando la configuración del stab trim se encuentra fuera del rango de despegue.

- j. Se colocó el puntero de posición del estabilizador de nuevo en el centro de la banda verde y ponga la palanca de control de los flaps en el retén de cinco unidades.

5. Se hizo una prueba del Interruptor de Advertencia de Despegue del Freno de Velocidad (S651).

- a. Se realizó las tareas de preparación para la prueba de la misma forma que en los procedimientos anteriores.

- b. Se movió una de las palancas de empuje completamente hacia adelante y se levantó la palanca del FRENO DE VELOCIDAD fuera del retenedor hacia abajo, pero no se movió la palanca después del retenedor.
- c. Se volvió a colocar la palanca en el retén y se aseguró de oír la bocina cuando la palanca esté fuera del retenedor de ABAJO y que la luz "roja" de TAKEOFF CONFIG en el panel P2-2 esté encendida cuando la palanca haya estado fuera del retenedor hacia abajo.

Figura 66

Freno de velocidad fuera del retenedor de la posición Abajo



Nota. Esta imagen indica la activación del freno de velocidad cuando está fuera de la posición abajo.

- d. Se aseguró de que la bocina se detenga cuando se volvió a colocar la palanca en el retén y que la luz "roja" de TAKEOFF CONFIG en el panel P2-2 esté apagada cuando haya vuelto a poner la palanca en el retenedor.

Figura 67

Freno de velocidad ubicado en la posición Abajo



Nota. Esta imagen muestra la configuración de despegue donde su freno de velocidad esta abajo y no se activa la luz roja de alerta.

- e. Se procedió a levantar la palanca del Freno de Velocidad para sacarla del retén hacia abajo, asegurándose de escuchar la bocina intermitente y de que la luz "Roja" de TAKEOFF CONFIG en el panel P2-2 está encendida.
- f. Se movió la palanca a través de su rango completo y luego se regresó al tope de ABAJO.
 - (f.1) Se aseguró de que la bocina intermitente permanezca encendida mientras la palanca está fuera del retén DOWN, y de que la luz "Roja" de TAKEOFF CONFIG en el panel P2-2 permanece encendida mientras la palanca está fuera del retén de DOWN.

Figura 68

Retorno de la palanca de freno de velocidad a su posición normal

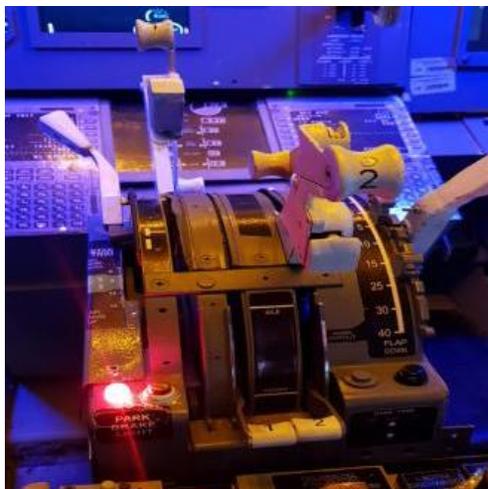


Nota. La imagen indica que durante todo el trayecto hasta la posición armado y regresando a la posición abajo, la luz de alerta de despegue roja permanece encendida hasta llegar a su posición Abajo.

- g. Se retrajo los flaps hasta el retén de la unidad 0.
 - h. Se volvió a colocar la palanca de empuje en la posición de reposo y se aseguró que la alarma intermitente y la luz "Roja" de TAKEOFF CONFIG en el panel P2-2 este apagada.
- 6. Realice una prueba de la advertencia del freno de estacionamiento.**
- a. Se realizó las tareas de preparación para la prueba.
 - b. Se movió una de las palancas de empuje completamente hacia adelante.
 - c. Se colocó la palanca de control de los flaps en el retén de cinco unidades.
 - d. Se empujó los pedales de freno para activar los frenos de estacionamiento, asegurándose de que se encienda la luz de FRENO DE ESTACIONAMIENTO CONECTADO o ACOPLADO, escuchándose la bocina intermitente.

Figura 69

Freno de estacionamiento activado



Nota. El freno de estacionamiento se activa al presionar los frenos y este indica que no se puede mover la aeronave mediante la luz roja de indicación.

- e. Se soltó los frenos de estacionamiento, asegurándose de que la luz de FRENO DE ESTACIONAMIENTO CONECTADO se apague y la bocina intermitente se detenga.

Figura 70

Freno de estacionamiento desactivado



Nota. Esta imagen indica que los frenos de velocidad están desactivados cuando los frenos se hayan soltado.

- f. Vuelva a poner el avión en su estado habitual si no son necesarias más pruebas.

7. Devuelva la aeronave simulada a su estado habitual:

- a. Ponga los frenos de velocidad, el estabilizador, los flaps, las palancas de empuje y los disyuntores en sus posiciones habituales.
- b. Ponga los frenos de estacionamiento si es necesario.
- c. Quite la energía hidráulica, si no es necesario.
- d. Quite la energía eléctrica de la aeronave mediante la planta externa. Si no es necesario.
- e. Si se requiere apague del software de simulación y des energice la cabina de simulación de vuelo Boeing 737. **VER ANEXO 12. MANUAL DE OPERACIÓN (Proceso de apagado del software y cabina de simulación).**

La tarea de mantenimiento, realizada con seguridad en la cabina de simulación de X plane 11, dio a conocer con exactitud el funcionamiento adecuado del sistema de alerta de despegue, donde influenciaron todos sus componentes como las palancas de potencia, flaps, freno de velocidad, freno de estacionamiento, stab trim. De tal forma, se logró percibir con fidelidad de forma visual y audible todas sus alarmas, mostrando un proceso erróneo de despegue, en la cual, la luz de alerta roja de TAKEOFF exponía con precisión el fallo existente, acompañado con la alarma intermitente. Todos estos procesos realizados son importantes para el desarrollo de tareas de mantenimiento y familiarización con la aeronave y todos sus componentes orientados para el personal técnico de aviación.

Capítulo 4

4. Conclusiones y recomendaciones:

4.1. Conclusiones:

- Mediante la información técnica recopilada que son los manuales de mantenimiento, y la Task card #31-026-02-01, referente a la aeronave Boeing 737-500, se logró ejecutar la tarea de mantenimiento y de igual forma, analizar los diferentes tipos de simuladores existentes mediante documentos generados por la DGAC, los cuales especifican como categorizar un simulador de vuelo según los estándares ya establecidos; tomando en cuenta la información de programación analizada para el funcionamiento del sistema en el software de simulación X plane 11.
- Todos los procedimientos realizados con respecto al tema de ajuste y prueba del sistema de alerta de despegue, se los realizo con éxito, gracias a los estándares de requisitos generales establecidos en el APENDICE 1, tabla 1-IA del documento de la RDAC 60, y al software de simulación de vuelo, permitiendo realizar este tipo de tareas, recreando como si fuera una aeronave de verdad y tomando en cuenta los manuales de operación y de seguridad generados para una operación más efectiva.
- La realización de la tarea de mantenimiento se lo realizo siguiendo la normativa establecida por el fabricante para el ajuste y prueba del sistema de alerta y de despegue, referente a la aeronave Boeing 737-500, el cual se evidenció en el capítulo 3 de este proyecto siguiendo apropiadamente cada procedimiento establecido según la task card #31-026-02-01 y la RDAC 60.

4.2. Recomendaciones:

- Es recomendable siempre trabajar dentro del simulador con toda la información técnica (Manuales de mantenimiento, manual de operación, seguridad, checklist de la aeronave), el cual facilita el trabajo y entendimiento de los sistemas que conforman la cabina de simulación.
- Es recomendable para la verificación más precisa del sistema de alerta de despegue adaptar un mecanismo que se acople al mecanismo actual y pueda indicar los movimientos del Stab Trim de manera manual.
- Es recomendable no manipular los equipos sin conocimiento previo y sin objetos eléctricos u electrónicos el cual pueda dañar los equipos produciendo estática entre la persona y los circuitos y componentes eléctricos.

Glosario de términos

Firmware: Es un soporte lógico inalterable que controla los circuitos electrónicos de cualquier dispositivo.

Arduino mega: Componente lógico digital capaz de procesar instrucciones de un lenguaje de programación, mediante microcontroladores.

Programación: Proceso de codificación de algoritmos capaz de resolver problemas estructurados para la ejecución de programas codificados para diferente aplicación.

Aeronave: Cuerpo aerodino capaz de poder sustentarse por el aire, mediante fuerzas que ejercen sobre él para poder sobrevolar los cielos.

Simulador de vuelo: Es un medio físico y virtual, el cual permite mediante componentes electrónicos u eléctricos y programas de simulación, simular procedimientos realizados en una aeronave de verdad.

Puntas de ala: Por sus siglas en inglés winglet, es un ala pequeña ubicada en la punta de ala, cuya principal función es la de reducir la protuberancia y resistencia generada por una variación de presiones, el cual produce los vórtices en las puntas de ala.

Luz de emergencia: Por sus siglas en inglés, master caution. Es un sistema de alerta visual que permite identificar la presencia de alguna falla en la aeronave, el cual requiere toma de medidas correctivas instantáneamente.

Software: Es aquella parte no física representada por medio de soportes lógicos que normalmente representa una variedad de ordenes guiadas por una computadora mediante programas de información.

Primer: Es aquella primera capa ubicada sobre una superficie desnuda, cuyas funciones principales es la de proteger y dar mayor rendimiento a la pintura.

Planta externa: También conocido como GPU, es un medio de alimentación móvil de energía AC, de 115-120 voltios, con una frecuencia de 400 hrz, el cual permite suministrar a las aeronaves desde tierra para alimentar todos sus sistemas.

Abreviaturas

A

AC: Corriente Alterna.

AAC: Autoridad de aviación civil.

AMM: Manual de mantenimiento de la aeronave.

APU: Unidad de potencia auxiliar de la aeronave.

D

DC: Corriente Continua.

DGAC: Dirección general de aviación civil del estado miembro

F

FTD: Por sus siglas en inglés (Flight Training Device), significa dispositivo de entrenamiento de vuelo.

FAA: por sus siglas en inglés (Federal Aviation Administration), y esto significa Administración federal de aviación de los Estados Unidos de América.

G

GPU: Unidad de potencia auxiliar en tierra.

O

OACI: Organización de aviación civil internacional

Q

QPS: Estándares de calificación de rendimiento en simuladores de vuelo.

T

T/O: Por sus siglas en inglés (Take Off), significa despegue.

Bibliografía

- 737, E. s. (18 de Abril de 2020). Recuperado el 22 de Octubre de 2020, de <http://www.b737.org.uk/737max.htm>
- ACDeS Digital*. (28 de Mayo de 2019). Recuperado el 15 de Abril de 2021, de <https://acdesdigital.org/lenguajes-de-programacion-que-son-y-los-mas-utilizados/>
- Aire, E. e. (18 de Abril de 2017). Recuperado el 28 de Marzo de 2021, de <http://enelaire.mx/un-vistazo-a-fondo-al-primer-737-construido-por-boeing/>
- ALASKA AIRLINES, INC. (2020). *ALASKA AIRLINES*. Recuperado el 28 de Marzo de 2021, de <https://www.alaskaair.com/content/travel-info/our-aircraft/737-900>
- Arraiz, J. S. (28 de Marzo de 2014). *Jasa Aviation*. Recuperado el 15 de Febrero de 2021, de Aviación para todos: <http://jasaaviation.blogspot.com/search?q=simuladores+de+vuelo>
- Aviacion al dia*. (08 de Agosto de 2012). Recuperado el 11 de Marzo de 2021, de <https://aviacionaldia.com/2012/08/boeing-deja-de-producir-el-737-600.html>
- Aviacion al dia*. (07 de Mayo de 2020). Recuperado el 12 de Marzo de 2021, de <https://aviacionaldia.com/2020/05/copa-airlines-planea-retirar-flota-de-aviones-boeing-737-700.html>
- AVIK AVIATION*. (2012). Recuperado el 10 de Noviembre de 2020, de Pilot Recruitment Service: <https://avikvietnam.com/simulator/ipt.aspx>
- BOEING. (2020). *BOEING*. Recuperado el 15 de Enero de 2021, de <https://www.boeing.es/productos-y-servicios/commercial-airplanes/737ng.page>
- Boeing. (12 de Septiembre de 2020). *WIKIPEDIA*. Recuperado el 15 de Enero de 2021, de https://es.wikipedia.org/wiki/Boeing_737
- Brady, C. (12 de Septiembre de 2011). *Ingenieria Aerea*. Recuperado el 16 de Febrero de 2021, de <https://aircraftengineering.wordpress.com/2011/09/12/warning-systems-b727/>
- Company, B. (2015). *Aircraft Maintenance Manual*. Washington, EEUU: Boeing Comercial Airplanes Group. Recuperado el 18 de Diciembre de 2021
- DEBREGABOR. (07 de Febrero de 2020). *PLANEPHOTOS.NET*. Recuperado el 25 de Enero de 2021, de https://www.planephotos.net/photo/21977/Boeing-737-500_EW-290PA/
- DGAC Ecuador. (30 de Julio de 2019). *Aviacion Civil*. Recuperado el 29 de Noviembre de 2020, de RDAC Parte 142: <https://www.aviacioncivil.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/01/6-RDAC-Parte-142-30-Julio-20193.pdf>

- Ebrahimi Advance Simulation Company. (23 de Mayo de 1999). Recuperado el 21 de Enero de 2021, de <https://www.ebrahimisimco.com/index.php?page=Basic-Instrument-Trainig-Device>
- EMPTYLEG. (2019). *EMPTYLEG*. Recuperado el 09 de Noviembre de 2020, de <https://www.emptyleg.com/es/planes/boeing-737-300--400--500>
- FlightSafety Boeing Company International, Inc. (02 de 09 de 1999). *737-300/400/500 MAINTENANCE TRAINING MANUAL*. (F. Boeing, Ed.) Recuperado el 22 de Febrero de 2021
- GmbH, A. (2017). *X plane*. Recuperado el 09 de Abril de 2021, de https://www.x-plane.com/wp-content/uploads/2017/04/Manual_XPlane11_sp_web.pdf
- GROUP, E. (2007). *ECA GROUP*. Recuperado el 28 de Marzo de 2021, de <https://www.ecagroup.com/en/solutions/ftd-b737>
- Guerra, A. (07 de Febrero de 2017). *Hispaviación*. Recuperado el 19 de Marzo de 2021, de <http://www.hispaviacion.es/simulacion-de-vuelo-un-poco-de-historia/>
- HCSCIS. (2012). *hcscis.com*. Recuperado el 01 de Julio de 2021, de https://hcscis.com/index_t.html
- ICAO. (2015). *ICAO*. Recuperado el 16 de Abril de 2021, de <https://www.icao.int/isbn/Lists/Publications/Doc.aspx#InplviewHash09bda604-0b80-44a6-848d-58eb768a0b21=>
- Javier. (09 de Abril de 2019). *Buckerbook*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2020, de <https://www.buckerbook.es/blog/la-historia-del-boeing-737-el-avion-mas-vendido-del-mundo/#:~:text=El%20Boeing%20737%20fue%20dise%C3%B1ado,que%20el%20actual%20Boeing%20727.&text=Estos%20aviones%20se%20utilizar%C3%ADan%20para,formaci%C3%B3n%20y%20el%20trans>
- LARENAS, N. (28 de Marzo de 2020). Recuperado el 16 de Abril de 2021, de <https://www.nlarenas.com/2020/03/volando-boeing-737-200-fae/>
- Lufthansa LAN Technical Training. (03 de 08 de 2005). *ATA 27- Flight controls*. Recuperado el 03 de Mayo de 2021
- Mag, V. (16 de Enero de 2015). *Vertical*. Recuperado el 30 de Abril de 2021, de <https://www.verticalmag.com/news/faawithdrawsruleonaviationtrainingdevices/>
- Monniaux, D. (01 de Enero de 2007). Recuperado el 15 de Mayo de 2021, de https://es.wikipedia.org/wiki/CFM_International_CFM56#/media/Archivo:CFM56_P1220759.jpg

- NEWS, P. C. (22 de Febrero de 2019). *PILOT CAREER NEWS*. Recuperado el 21 de Mayo de 2021, de <https://www.pilotcareernews.com/klm-selects-13-for-boeing-787-full-flight-simulator/13-boeing-787-full-flight-simulator/>
- Randommization. (18 de Noviembre de 2013). Recuperado el 21 de Julio de 2021, de <https://randommization.com/2013/11/18/stunning-images-procedure-trainer-russias-su-35-fighter/>
- RAY, C. M. (2006). *BOEING 737-300/400/500SUPER GUPPY SIMULATOR CHECKRIDE*. TEMECULA, CALIFORNIA, EEUU: UNIVERSITY OF TEMECULA PRESS. Recuperado el 18 de Mayo de 2021
- Reiser-Simulation Training. (15 de Junio de 2019). *Reiser-Simulation Training*. Recuperado el 24 de Abril de 2021, de <https://www.reiser-st.com/simulators/flight-and-navigational-procedures-trainer/>
- Rockcontent. (13 de Marzo de 2020). *Blog rock content*. Recuperado el 16 de Junio de 2021, de <https://rockcontent.com/es/blog/tipos-de-lenguaje-de-programacion/>
- SAS Technical Training. (02 de Octubre de 2011). Recuperado el 19 de Mayo de 2021
- SEAS. (17 de Julio de 2019). *Blog Seas*. Recuperado el 21 de Junio de 2021, de <https://www.seas.es/blog/informatica/conoce-el-lenguaje-de-programacion-java/>
- The Boeing Company. (25 de 03 de 2015). ATA 06. En U. A. INC, *AIRCRAFT MAINTENANCE MANUAL*. WASHINGTON, EEUU: BOEING COMMERCIAL AIRPLANES GROUP. Recuperado el 03 de Julio de 2021
- The boeing company. (2015). Ata 76 - Engine controls. washington, Estados Unidos: Boeing Commercial airplanes group. Recuperado el 04 de Julio de 2021
- VANDAL. (18 de Mayo de 2020). *VANDAL.ELESPAÑOL*. Recuperado el 25 de Julio de 2021, de <https://vandal.elespanol.com/requisitos/pc/xplane-11/44757#p-13>

ANEXOS

Anexos

Anexo 1. "Rdac 142. – centro de entrenamiento de aeronáutica civil"

Anexo 2. "Áreas y dimensiones – Boeing 737 – 500"

Anexo 3 "Distribución de los paneles en la cabina de la aeronave"

Anexo 4. "Paneles principales de la cabina de la aeronave b737-500"

Anexo 5 "Funcionamiento del sistema de alerta de despegue"

Anexo 6 "Ubicación de los spoilers y frenos de velocidad"

Anexo 7 "Funcionamiento de los te flaps"

Anexo 8 "Funcionamiento de los le flaps y slats en la cabina de Vuelo"

Anexo 9 Task card #31-26-00 – pruebas del sistema de alerta de despegue

Anexo 10 Tabla de calificación de simuladores de vuelo según la Rdac 60

Anexo 11 Tabla de gastos en el proyecto Boeing 737-500

Anexo 12 Manual de operación de la aeronave

Anexo 13 Manual de seguridad de la cabina de simulación b737

Anexo 14 Manual de mantenimiento de la aeronave b737