



**Chequeo operacional del sistema de comunicación y navegación mediante el uso del manual de mantenimiento ATA 23 y ATA 34, en el simulador de vuelo Boeing 737-800 perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE**

Moreira Rodríguez, Xavier Iván

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Tecnología en Electrónica Mención Instrumentación y Aviónica

Monografía, Previo a la Obtención del Título de Tecnólogo en Electrónica Mención Instrumentación y Aviónica

Ing. Inca Yajamín, Gabriel Sebastián

Latacunga, 20 de Agosto de 2021



## DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

### CARRERA DE ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN Y AVIÓNICA

#### CERTIFICACIÓN

Certifico que la monografía “**Chequeo operacional del sistema de comunicación y navegación mediante el uso del manual de mantenimiento ATA 23 y ATA 34, en el simulador de vuelo Boeing 737- 800 perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.**” Fue realizado por el señor **Moreira Rodríguez, Xavier Iván** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad, por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 20 de agosto del 2021

---

**Ing. Inca Yajamín, Gabriel Sebastián**

C.C.: 1722580329

## REPORTE DE VERIFICACIÓN



## Urkund Analysis Result

**Analysed Document:** MOREIRA RODRIGUEZ XAVIER IVAN.pdf (D111478182)  
**Submitted:** 8/19/2021 10:31:00 PM  
**Submitted By:** ximoreira@espe.edu.ec  
**Significance:** 3 %

## Sources included in the report:

FINAL.docx (D51067708)  
Monografia-Espin Diego.pdf (D111231890)  
JARRIN CAMPOVERDE DANIEL FRANCISCO.pdf (D111271537)  
TESIS FINAL URKUND.pdf (D111326918)  
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/3305/1/T-ESPEL-0116.pdf>  
<http://docplayer.es/29581269-Uso-y-fase-del-vuelo-el-mayor-enemigo-de-la-navegacion-aerea-es-la.html>

## Instances where selected sources appear:

14

Firma:

A handwritten signature in blue ink, written over a dotted line. The signature is stylized and appears to read "Gabriel Sebastián Inca Yajamín".

Ing. Inca Yajamín, Gabriel Sebastián

C.C.: 1722580329



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN Y AVIÓNICA**  
**RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Yo **Moreira Rodríguez, Xavier Iván**, con cédula de ciudadanía N° **0950249854**, declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **“Chequeo operacional del sistema de comunicación y navegación mediante el uso del manual de mantenimiento ATA 23 y ATA 34, en el simulador de vuelo Boeing 737- 800 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, 20 de Agosto del 2021

Firma

.....

**Moreira Rodríguez, Xavier Iván**

C.C: 0950249854



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN Y AVIÓNICA**  
**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

Yo **Moreira Rodríguez, Xavier Iván**, con cédula de ciudadanía 0950249854 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: **“Chequeo operacional del sistema de comunicación y navegación mediante el uso del manual de mantenimiento ATA 23 y ATA 34, en el simulador de vuelo Boeing 737-800 perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 20 de Agosto del 2021

Firma

.....

**Moreira Rodríguez, Xavier Iván**

C.C.: 0950249854

## **AGRADECIMIENTO**

Mi más sincera gratitud a dios por guiarme por el sendero correcto y haberme brindado la fuerza necesaria para lograr culminar con este objetivo.

Mi sincera gratitud a mis padres y mi hermano quienes me han brindado su apoyo en cada momento que lo he necesitado y guiado para cumplir mis metas siendo mi ejemplo de fuerza y superación en cada ocasión de la vida.

A mi hijo que fue mi motor para seguir adelante y no rendirme en ningún momento en este camino hasta poderlo culminar y así lograr cumplir los objetivos que me planteé durante estos años.

Por ultimo a mis compañeros con lo que realice el proyecto de titulación que con mucho esfuerzo, perseverancia y dedicación logramos cumplir con el objetivo de completar nuestro trabajo de titulación.

Moreira Rodríguez, Xavier Iván

## Tabla de contenidos

Carátula.....	1
Certificación.....	2
Reporte de verificación.....	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Agradecimiento .....	6
Tabla de contenidos.....	7
Índice de tablas .....	9
Índice de figuras.....	10
Resumen .....	13
Abstract.....	14
Planteamiento del problema de investigación.....	15
Antecedentes .....	15
Planteamiento del problema .....	16
Justificación.....	16
Objetivos.....	17
<i>Objetivo General</i> .....	17
<i>Objetivos Específicos</i> .....	17
Alcance.....	17
Marco teórico.....	18
Historia y Evolución del simulador de vuelo.....	18
Tipos de simuladores de vuelo.....	21
Aeronave Boeing 737 .....	23
<i>Variantes Aeronave Boeing 737</i> .....	24
<i>Características Boeing 737</i> .....	24
<i>Espectro Electromagnético</i> .....	25
<i>Frecuencias</i> .....	28
<i>HF (Alta Frecuencia)</i> .....	30
<i>VHF (Muy alta frecuencia)</i> .....	31
<i>Frecuencia ILS y VOR</i> .....	32
<i>Antenas</i> .....	33
Evolución de los sistemas de comunicación y navegación .....	35
Sistema de comunicación Boeing 737 .....	37
<i>Panel de control de audio</i> .....	39

<i>Auriculares y Altavoces</i> .....	40
<i>Micrófono</i> .....	40
<b>Sistemas de Navegación Boeing 737</b> .....	42
<i>ADF (Automatic Direction Finder)</i> .....	42
<i>ATC/TCAS</i> .....	43
<i>Radio Altimetro</i> .....	45
<i>GPWS (Sistema de advertencia de proximidad al suelo)</i> .....	45
<i>EGPWS (Sistema mejorado de advertencia de proximidad al suelo)</i> .....	47
<i>VOR (Very High Frequency Omnidireccional Range)</i> .....	63
<i>ILS (Instrument Landing System)</i> .....	64
<i>Glide Slope (Pendiente de planeo)</i> .....	66
<i>Localizador</i> .....	66
<i>Marker Beacons</i> .....	67
<i>DME (Distance Measurement Equipment)</i> .....	69
<i>IRS (Sistema de referencial inercial)</i> .....	70
<b>Mantenimiento Aeronáutico</b> .....	76
<i>Inspecciones periódicas</i> .....	77
<b>Software de simulación X-Plane 11</b> .....	78
<i>Requisitos de software X-Plane 11</i> .....	78
<b>HCSCI</b> .....	79
<b>IVAO</b> .....	80
<b>Desarrollo del tema</b> .....	82
<b>Descripción General</b> .....	82
<b>Generalidades del Simulador de vuelo Boeing 737-800</b> .....	82
<b>Instalación de las conexiones eléctricas para el simulador de vuelo</b> .....	89
<b>Rehabilitación estructural del Simulador</b> .....	89
<b>Instalación de los paneles</b> .....	91
<b>Chequeo Operacional Sistema de Navegación</b> .....	97
<b>Chequeo operacional del sistema comunicación.</b> .....	100
<b>Conclusiones y recomendaciones</b> .....	105
<b>Conclusiones</b> .....	105
<b>Recomendaciones</b> .....	106
<b>Bibliografía</b> .....	107
<b>Anexos</b> .....	111

**Índice de tablas**

<b>Tabla 1</b> <i>Características de las variantes del Boeing</i> .....	25
<b>Tabla 2</b> <i>Asignación de frecuencia ILS Y VOR</i> .....	33
<b>Tabla 3</b> <i>Características mejoradas del sistema EGPWS</i> .....	48
<b>Tabla 4</b> <i>Avisos o tonos del radio altitud</i> .....	56
<b>Tabla 5</b> <i>Tabla de alertas de los modos de operación del sistema GPWS</i> .....	60
<b>Tabla 6</b> <i>Posiciones del selector de display y su función</i> .....	74
<b>Tabla 7</b> <i>Denominación de inspecciones</i> .....	77
<b>Tabla 8</b> <i>Tabla de herramientas y materiales</i> .....	84

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> <i>Simulador de vuelo Sanders Teacher</i> .....	18
<b>Figura 2</b> <i>Simulador de vuelo Link trainer</i> .....	19
<b>Figura 3</b> <i>Simulador “Celestial Navigation Trainer”</i> .....	20
<b>Figura 4</b> <i>Interfaz de Microsoft Flight simulator 1980</i> .....	21
<b>Figura 5</b> <i>Boeing 737 Lufthansa</i> .....	24
<b>Figura 6</b> <i>Espectro electromagnético</i> .....	26
<b>Figura 7</b> <i>Propagación de ondas</i> .....	27
<b>Figura 8</b> <i>Tipos de onda según su propagación</i> .....	28
<b>Figura 9</b> <i>Frecuencias HF y VHF en una aeronave</i> .....	29
<b>Figura 10</b> <i>Aplicación de frecuencia HF</i> .....	30
<b>Figura 11</b> <i>Aplicación de las frecuencias VHF</i> .....	32
<b>Figura 12</b> <i>Antenas de un Boeing 737</i> .....	34
<b>Figura 13</b> <i>Tipos de antenas</i> .....	35
<b>Figura 14</b> <i>Primeras comunicaciones por voz</i> .....	36
<b>Figura 15</b> <i>Pantalla De datos digitales</i> .....	37
<b>Figura 16</b> <i>Uso de las frecuencias en aviación</i> .....	38
<b>Figura 17</b> <i>Panel de control de audio</i> .....	40
<b>Figura 18</b> <i>Componentes de comunicación</i> .....	41
<b>Figura 19</b> <i>Sistema ADF</i> .....	43
<b>Figura 20</b> <i>Sistema anticollisión TCAS</i> .....	44
<b>Figura 21</b> <i>Función del sistema de radio altímetro</i> .....	45
<b>Figura 22</b> <i>Componentes y principio de funcionamiento del GPWS</i> .....	46
<b>Figura 23</b> <i>Funciones básicas del Sistema de alerta y proximidad mejorado (EGPWS)</i> .....	49
<b>Figura 24</b> <i>Modo de operación 1 del EGPWS</i> .....	50
<b>Figura 25</b> <i>Modo 2<sup>a</sup></i> .....	51
<b>Figura 26</b> <i>Modo de operación 3</i> .....	52
<b>Figura 27</b> <i>Modo de operación 4<sup>a</sup></i> .....	53
<b>Figura 28</b> <i>Modo de operación 4B</i> .....	53
<b>Figura 29</b> <i>Modo de operación 4C</i> .....	54
<b>Figura 30</b> <i>Modo de operación 5</i> .....	55
<b>Figura 31</b> <i>Aviso de ángulo de banqueo del modo 6</i> .....	58
<b>Figura 32</b> <i>Umbral para la activación del modo 7</i> .....	59
<b>Figura 33</b> <i>Modo de operación 7</i> .....	60
<b>Figura 34</b> <i>VHF omnidireccional Range</i> .....	64
<b>Figura 35</b> <i>Sistema de aterrizaje por instrumentos</i> .....	65

<b>Figura 36</b> Señal de frecuencia de la senda de planeo .....	66
<b>Figura 37</b> Antena localizadora .....	67
<b>Figura 38</b> Marker Beacon .....	68
<b>Figura 39</b> Equipo de medición de distancia .....	70
<b>Figura 40</b> Panel IRS .....	70
<b>Figura 41</b> Componentes principales del ADIRS.....	71
<b>Figura 42</b> Componentes del MSU.....	73
<b>Figura 43</b> Componentes del ISDU .....	75
<b>Figura 44</b> Software de interfaz de control de cabina casero.....	80
<b>Figura 45</b> Entorno radar de IVAO .....	81
<b>Figura 46</b> Simulador de vuelo Boeing 737 .....	83
<b>Figura 47</b> Instalación de planchas metálicas en la parte trasera del simulador.....	90
<b>Figura 48</b> Instalación del cono de nariz del simulador.....	91
<b>Figura 49</b> Página HCSCI .....	92
<b>Figura 50</b> Menú del sistema.....	92
<b>Figura 51</b> Componentes del sistema a configurar.....	92
<b>Figura 52</b> Página HCSCI .....	93
<b>Figura 53</b> Menú del sistema de comunicación .....	93
<b>Figura 54</b> Interruptor del sistema de comunicación.....	93
<b>Figura 55</b> Página HCSCI .....	94
<b>Figura 56</b> Menú del sistema de navegación.....	94
<b>Figura 57</b> Pantalla LCD .....	94
<b>Figura 58</b> Página HCSCI .....	95
<b>Figura 59</b> Menú del sistema de navegación.....	95
<b>Figura 60</b> Configuración de encoder giratorio .....	95
<b>Figura 61</b> Página HCSCI .....	96
<b>Figura 62</b> Menú del sistema de alertas .....	96
<b>Figura 63</b> Luz LED del GPWS .....	96
<b>Figura 64</b> Panel indicador de energía eléctrica.....	97
<b>Figura 65</b> MSU del IRS en modo NAV.....	97
<b>Figura 66</b> Indicación de la luz INOP.....	98
<b>Figura 67</b> Comprobación de interruptores del GPWS .....	98
<b>Figura 68</b> Luz INOP encendida.....	99
<b>Figura 69</b> Pulsador SYS TEST presionado.....	99
<b>Figura 70</b> Luz INOP del GPWS apagada.....	100
<b>Figura 71</b> LCD de los Paneles centrales encendidas.....	101

<b>Figura 72</b> <i>Frecuencias en los paneles centrales</i> .....	101
<b>Figura 73</b> <i>Conexión del plugin IVAO</i> .....	102
<b>Figura 74</b> <i>Plugin de IVAO</i> .....	102
<b>Figura 75</b> <i>Mapa virtual de IVAO</i> .....	103
<b>Figura 76</b> <i>Frecuencia vinculada en software y hardware</i> .....	103
<b>Figura 77</b> <i>Comprobación de la activación de voz para comunicación</i> .....	104

## **RESUMEN**

El presente documento contiene información acerca de los simuladores de vuelo y la elaboración de estos mediante la utilización de nuevas tecnologías para el desarrollo académico tanto en el ámbito civil como militar, buscando que los estudiantes se desenvuelvan con mayor facilidad en la adquisición de conocimientos acerca de las aeronaves y los distintos sistemas que la componen sin que haya la necesidad de disponer de una. El proyecto en el cual se implementaron los distintos componentes tanto en hardware como en software para los sistemas de comunicación y navegación fue realizado basándose en los reglamento aeronáuticos del país que se encuentran en la RDAC parte 060 apéndice 1, mediante la utilización de distintos materiales electrónicos como lo fueron luces leds, potenciómetros, LCD, placas arduino, selectores de distintas posiciones e interruptores los cuales se instalaron en los paneles representativos de los sistemas a utilizar y con la utilización de softwares como HCSCI se logró la configuración de los microcontroladores para que funcionaran con los componentes de navegación del GPWS ubicados en los paneles, además de la utilización del software IVAO el cual permitiría la comprobación de la comunicación mediante un enlace virtual con un ATC a través de los plugin instalados en el software X-Plane 11.

### **PALABRAS CLAVES:**

- **HCSCI**
- **IVAO**
- **GPWS**
- **Honeywell**
- **Boeing 737**

## **ABSTRACT**

This document contains information about flight simulators and the development of these through the use of new technologies for academic development in both civil and military, looking for students to develop more easily in the acquisition of knowledge about aircraft and the various systems that compose it without the need to have one. The project in which the different components were implemented both in hardware and software for communication and navigation systems was carried out based on the aeronautical regulations of the country found in the RDAC part 060 appendix 1, using different electronic materials such as LED lights, potentiometers, LCD, arduino boards, The configuration of the microcontrollers to work with the GPWS navigation components located in the panels was achieved with the use of software such as HCSCI, in addition to the use of IVAO software, which would allow the verification of the communication through a virtual link with an ATC through the plugins installed in the X-Plane 11 software.

### **KEYWORDS:**

- **HCSCI**
- **IVAO**
- **GPWS**
- **Check-up**
- **Boeing 737**

## CAPITULO I

### 1. Planteamiento del problema de investigación

#### 1.2 Antecedentes

Actualmente la tecnología que se tiene en los simuladores de vuelo es más avanzada especialmente en los sistemas de comunicación y navegación donde se necesita tener estos equipos actualizados tanto en hardware como en software para que cumplan con los estándares adecuados para poder simular de forma eficiente.

En la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE contamos con el simulador de vuelo del Boeing 737-800 en el cual no se ha realizado ningún tipo de procedimiento de análisis en los sistemas de COM/NAV por lo cual esta práctica es fundamental para controlar que todos los parámetros obtenidos durante la simulación en los sistemas sean los adecuados acorde a la aeronave que se está simulando.

En el proyecto “Estudio, diseño e implementación de un sistema COM (VHF)/NAV (ADF) para simular controles de vuelo K-FIR C2 del ITSA” en el cual permite simular la utilización de los dispositivos básicos de control en comunicación y navegación como lo son el ADF, indicadores de rumbo, DME y GPS. Así permitir una familiarización adecuada que incentive la puesta en práctica de un sinnúmero de operaciones que complementen el conocimiento y estudio de los sistemas aviónicos (Haro Balseca & Benavides Montenegro, 2005)

Este tipo de chequeo es de gran importancia porque permitirá observar, verificar y corroborar que cada uno de los datos obtenidos en el sistema de comunicación y navegación del simulador serán los adecuados al momento realizar algún tipo de práctica o simulación en estos equipos.

### **1.3 Planteamiento del problema**

Los sistemas de COM/NAV del Simulador de Vuelo deben ser capaces de emular los sistemas de operación del avión, tanto en tierra como en vuelo. Estos sistemas deben estar operativos en el total de las condiciones normales, anormales y también para el caso de procedimientos de emergencia, de acuerdo a la aplicación para la cual el Simulador de Vuelo deba representar el avión simulado.

Las consecuencia de no tener operativos estos sistemas pueden ser varias, por ejemplo: pérdida al recibir o enviar información; lectura de datos erróneos; entre otros, cuyo resultado sería la deficiencia en la emulación de vuelo, las condiciones de los parámetros de vuelo no serían las correctas y por lo tanto el simulador de vuelo no sería eficiente.

### **1.4 Justificación**

El presente chequeo ayudará a comprobar la eficacia de los equipos que conforman el sistema de comunicación y navegación del simulador de vuelo verificando así que estos sistemas sean capaces de entregar una representación realista de todos los parámetros de una aeronave.

La revisión que se realizará tanto en hardware como en software del estado en el que se encuentra cada uno de los sistemas de comunicación y navegación, permitirá comprobar que su funcionamiento concuerden con el avión que representa dentro de los límites prescritos y con los niveles de exigencia aplicables.

Es por lo expuesto anteriormente que se requiere realizar las tareas de chequeo en los sistemas de comunicación y navegación del simulador de vuelo Boeing 737-800 y así mantener los equipos en perfectas condiciones para su utilización en la formación de los estudiantes.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo General**

Realizar el chequeo operacional de los sistemas de comunicación y navegación que se encuentran en el simulador de vuelo Boeing 737-800 para comprobar su funcionamiento mediante la utilización de los procedimientos recomendados por el Manual de mantenimiento para la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- Analizar la información recibida y transmitida desde los sistemas de comunicación y navegación.
- Realizar pruebas cualitativas en los sistemas para comprobar que se encuentren funcionando de manera adecuada.
- Ejecutar los procedimientos que se indica en los manuales para la comprobación de estos sistemas.

## **1.6 Alcance**

Este proyecto propone realizar pruebas operacionales en los sistemas de comunicación y navegación del simulador de vuelo Boeing 737-800 operativo de tal manera que los estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE puedan usarlo para su formación académica tanto teórica como práctica.

## CAPITULO II

### 2. Marco teórico

#### 2.1 Historia y Evolución del simulador de vuelo

En el año 1903 se logra esa gran hazaña de volar por primera vez, esto gracias a los hermanos Wright (Orville y Wilbur Wright) dando así el paso a nuevas tecnologías entre las cuales están los simuladores de vuelo, los cuales como al día de hoy eran utilizados para la formación de pilotos, dado que en los inicios de la aviación, los vuelos reales podrían llegar a ser peligrosos si no se contaba con el conocimiento adecuado de las partes del avión o controles de vuelo, por tal motivo los simuladores se utilizaron como herramientas que hicieran sentir a los pilotos la sensación de volar sin estar al mando de un avión real. Entre los primeros simuladores se encontraba The Sanders "Teacher" que fue construido con partes reales de aeronaves y era avión montado sobre un dispositivo en una posición expuesta que diera la posibilidad de inclinarse y girar libremente dando así una concepción clara de cómo funcionan las naturalezas del aire y el funcionamiento del control de un avión sin verse expuesto a riesgos personales. (Villamil Rico, Avella Rodríguez, & Tenorio Melo, Simuladores de Vuelo: Una Revisión, 2018)

#### **Figura 1.**

*Simulador de vuelo Sanders Teacher.*



*Nota:* La figura muestra uno de los primeros simuladores de vuelo que fueron creados.

Tomado de (Villamil Rico, Avella Rodríguez, & Tenorio Melo, Simuladores de Vuelo: Una Revisión, 2018)

Durante los años 1914 y 1930 se elaboraron un gran número de dispositivos para emular los vuelo por medio de dispositivos electromecánico, entre los cuales destaco el “Link Trainer” que fue creado por Edwin Link entre 1927 y 1929 el mismo que logro ser patentado en 1930 y contaba con funciones muy importantes como lo eran el control operado por timón y un motor que producía repetida mente una secuencia de perturbaciones dando así un ambiente muy realista a lo que sería estar en un vuelo a cierta altura. Llego a ser tan popular que se consiguió producir en varios países los cuales fueron: Inglaterra, Japón, URSS, Francia y Alemania. También fue comprado por American Airlines la cual fue una de las primeras aerolíneas en adquirir un simulador de vuelo para la formación de pilotos. (Villamil Rico, Avella Rodríguez, & Tenorio Melo, Simuladores de Vuelo: Una Revisión, 2018).

### **Figura 2.**

*Simulador de vuelo Link trainer.*



*Nota:* La figura permite observar uno de los simuladores que empezaban a emular los movimientos con dispositivos electromecánicos. Tomado de (Page, 2000).

La Segunda Guerra mundial dio paso para impulsar la industria de la aviación en el notablemente en el desarrollo de nuevas tecnologías para la simulación aérea mediante el uso de equipos analógicos que permitían resolver las ecuaciones de los

movimientos que tiene un avión durante el vuelo y así permitir la emulación de las fuerzas aerodinámicas en lugar de la duplicación de las mismas y sus efectos de manera empírica. Entre los simuladores que se desarrollaron se encontraba el "Celestial Navigation Trainer" que era una estructura de unos 14 metros para poder acomodar a una tripulación de un bombardero y puedan recibir el entrenamiento adecuado para realizar misiones nocturnas. (Page, 2000)

**Figura 3.**

*Simulador "Celestial Navigation Trainer".*



*Nota:* La imagen muestra uno de los simuladores utilizados para el entrenamiento de misiones nocturnas. Tomado de (Page, 2000).

En el año 1943 el Dr. Dehmel en su interés por la aviación, convenció a Curtiss Wright para que elaborara un simulador de vuelo por instrumentos. Curtiss siguiendo con su interés por la aviación contrato a una aerolínea comercial para la elaboración del primer simulador de vuelo completo de un Boeing 377 Stratocruiser, el primer simulador completo propiedad de una aerolínea.

En los años 60 las computadoras digitales habían mejorado considerablemente a tal punto que se podían considerar funcionales para el ejercicio de simulación de

vuelo, dando paso así a simuladores capaces de proporcionar hasta 6 grados o ejes de libertad (alabeo, cabeceo y balanceo para los movimientos angulares, horizontales, verticales y laterales). Los cuales se consideran esenciales para brindar la aceleración lateral necesaria para aviones del tipo Boeing. A partir de 1977, los simuladores especialmente los de aerolínea empezaron a instalar computadoras en el interior de las cabinas y obtener así la proyección de terrenos posteriormente en los 80 las imágenes proyectadas mejorarían su definición. Mediante la mejora en tecnología de aviación aumentaba también se empezarían a promover estándares para categorizar los distintos tipos de simuladores. (Page, 2000)

#### Figura 4.

*Interfaz de Microsoft Flight simulator 1980.*



*Nota:* La imagen muestra como era el entorno gráfico de los primeros software de simulación. Tomado de (Page, 2000).

## 2.2 Tipos de simuladores de vuelo

Los simuladores de vuelo o también conocidos como dispositivos para entrenamiento de vuelo son utilizados generalmente para el entrenamiento de pilotos ya sea para aeronaves ligeras o de gran envergadura en el ámbito civil como también lo

puede ser para el ámbito militar. De los simuladores de vuelo hay de distintos tipos por lo que se los categoriza de tres formas según la FAA (Federal Aviation Administration):

- **Simuladores de vuelo completo (FFS):** Este tipo de simuladores es el mejor categorizado o de categoría más alta porque en su autonomía como dispositivo de entrenamiento incluye movimiento y capacidad visual. Estos también poseen una sub-categoría o nivel que va de la D a la A, siendo la D la más alta:
  - Nivel A: Son sistemas de movimiento que requieren tener por lo menos 3º de libertad (Solo aviones).
  - Nivel B: Este requiere un modelo aerodinámico con 3 ejes de movimiento. (Aviones y Helicópteros).
  - Nivel C: Sus requisitos son superiores en movimiento ya que pide una plataforma de movimiento con 6 grados de libertad y un sistema visual horizontal fuera de la vista de al menos 75 grados para piloto y copiloto.
  - Nivel D: Es el nivel más alto con requisitos similares al del nivel c pero con mejoras como un campo visual de 150 grados con sonidos realistas y efectos especiales en movimiento como visualización.
  
- **Dispositivos de entrenamiento de vuelo (FTD):** Estos son dispositivos diseñados para realizar la representación una aeronave de manera específica. Este tipo de simulador no siempre lleva movimiento pero permiten ser usador para entrenamiento o certificaciones y son visto usualmente en escuela de pilotos, centros de enseñanza y universidades. También posee de 4 a 7 niveles que son:
  - Nivel 4: No requiere de un modelo aerodinámico pero si de un buen modelado de los sistemas.
  - Nivel 5: Debe poseer programación aerodinámica y sistemas modelados de manera precisa.

- Nivel 6: Requiere cabina física y posee control de movimiento, utilizado en modelos específicos.
- Nivel 7: Utilizado para modelos específicos de helicópteros con sistema visual, de vibración y controles de vuelo.
- **Dispositivos de formación de la aviación (ATD):** Son dispositivos para entrenamiento los cuales hacen réplica exacta de los controles, paneles, entre otros de la aeronave que simulan y deben encontrarse en una cabina cerrada con hardware y software que represente la aeronave. Este tiene dos sub-categorías que son:
  - Dispositivo de entrenamiento de aviación básica (BATD): Este tipo posee controles físicos y virtuales, los cuales deben tener similitud con los controles reales de la aeronave que simula.
  - Dispositivo de entrenamiento de aviación avanzada: Posee una similitud con el BATD con la diferencia de incluir sistema GPS y el piloto automático.  
(Villamil Rico, Avella Rodríguez, & Tenorio Melo, Ciencia y poder aereo, 2018)

### 2.3 Aeronave Boeing 737

La aeronave Boeing 737 es un avión a reacción de pasajeros fabricado por la compañía estadounidense Boeing Commercial Airplanes y la más vendida de la historia. La versión 737 se desarrolló a partir de 1964 esta derivada a las versiones 707 y 727, de menor costo, tamaño y es bimotor. La aeronave Boeing 737 realizó el primer vuelo en 1967 desde entonces ha sido fabricada continuamente y entro en servicio el 7 de Febrero de 1968 con la aerolínea alemana Lufthansa. (EnEIAire, 2019)

**Figura 5.***Boeing 737 Lufthansa*

*Nota:* Primer Boeing 737 adquirido por la compañía de transporte aéreo Lufthansa.

Tomado de (EnElAire, 2019).

**2.3.1 Variantes Aeronave Boeing 737**

Los modelos de Boeing 737 se dividen en tres generaciones. Los modelos originales consisten en el 737-100 hasta el 737-200 avanzado. Los modelos considerados como clásicos van desde el Boeing 737-300, 737-400 hasta el 737-500 y las versiones modernas “NG” desde el 737-600, 737-700 hasta el 737-800 en las cuales se incluyen sus versiones civiles y militares. De estas variantes también se pueden encontrar conversiones adicionales y también el Boeing 737-MAX actualmente el nuevo avión de pasajeros que entro a servicio en el año 2017 construido con sistemas que se remontan a la versión original.

(Mazó, 2017)

**2.3.2 Características Boeing 737**

- La aeronave Boeing 737 se destaca por ser una aeronave de alta eficiencia en su bajo consumo de combustible, fiabilidad y rentabilidad en el mercado de aeronaves.

- Las velocidades máximas del Boeing 737 pueden llegar a ser de hasta 0.70 mach acercándose así a la velocidad del sonido o también 876 km/h.
- Tiene dimensiones que permite mantener una tripulación de dos pilotos y cuatro tripulantes.
- Motores turbofan CFM056 que son más eficientes en un 20% a los de la serie original de Boeing.

(Boeing, Boeing, s.f.)

**Tabla 1.**

*Características de las variantes del Boeing 737*

<b>Versión</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Envergadura (m)</b>	<b>Velocidad Crucero (km/m)</b>
737-200	28,6	11,30	28,3	780
737-300	33,4	11,13	28,88	780
737-400	36,5	11,10	28,9	780
737-500	31,1	11,10	28,9	780
737-600	31,2	12,60	35,7	828
737-700	33,6	12,5	35,7	828
737-800	39,5	12,5	35,7	828
737-900ER	42,1	12,5	35,7	823

*Nota:* La tabla muestra las características generales de las respectivas variantes del Boeing 737. Tomado de (Boeing, Boeing, s.f.).

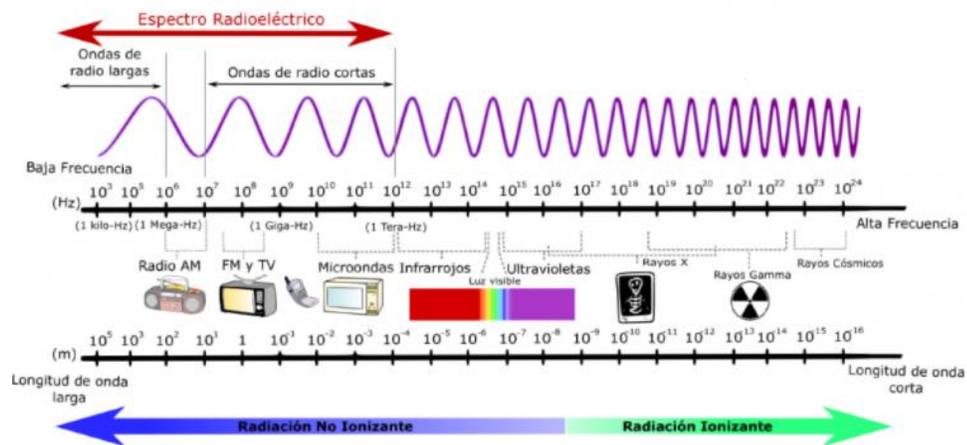
### **2.3.3 Espectro Electromagnético**

El espectro electromagnético es el conjunto de ondas o el conjunto de todas las frecuencias posibles a las que se produce radiación electromagnéticas, donde su límite inferior teóricamente es 0 Hz por el motivo de que no existen frecuencias negativas.

La longitud de onda y las frecuencias tienen una relación entre sí que es inversamente proporcional, esto quiere decir que mientras una aumenta la otra empezará a disminuir.

**Figura 6**

*Espectro electromagnético*



*Nota:* La figura muestra el rango del espectro electromagnético y la relación inversamente proporcional entre frecuencia y longitud de onda. Tomado de (ESOPO, s.f.).

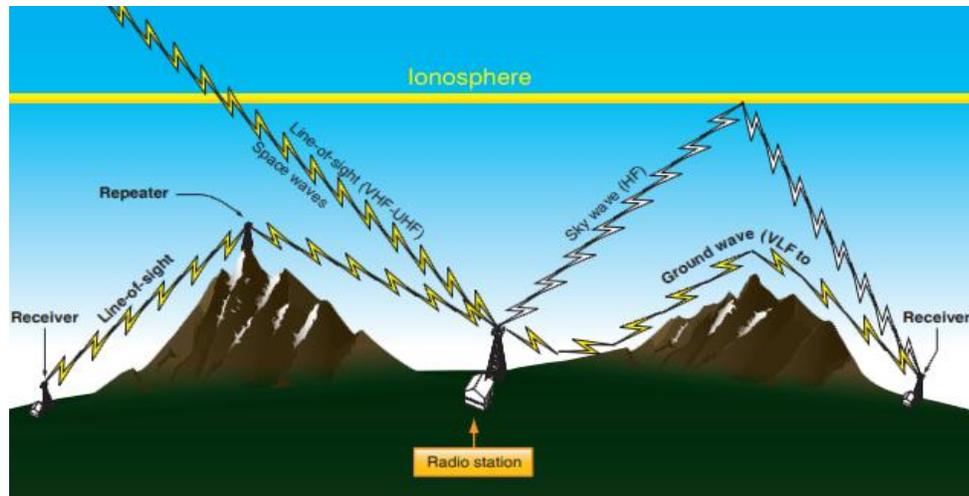
No todas las ondas que forman parte del espectro electromagnético poseen características iguales por ese motivo el espectro se ve dividido en segmentos o bandas de frecuencias en la cual existe varios factores a considerar para establecer estas bandas o segmentos, entre estos elementos se pueden encontrar:

- **Atenuación con la frecuencia:** A menores frecuencias la atenuación que se produce es menor y por ende también tiene mayor alcance.
- **Factores climatológicos:** Las frecuencias tienden a ser afectadas de manera distinta dependiendo el tipo por factores como lluvia, nieve, entre otros.
- **Comportamiento frente a obstáculos:** Método de propagación, algunas pueden reflejarse frente a un obstáculo mientras otras pueden rodearlo.

- **Comportamiento frente a las capas de la atmosfera:** Las ondas tienen distinto modo de propagación, algunas se reflejan en la ionosfera mientras que otras se propagan por la superficie terrestre. (Ordóñez, 2017)

**Figura 7**

*Propagación de ondas*



*Nota:* La figura muestra la forma de propagación de las distintas ondas de radio.

Tomado de (Administration, 2018).

Los modos de propagación de las ondas que forman parte del espectro electromagnético dependerán de distintos factores como lo pueden ser su frecuencia, características del terreno y de la atmosfera, entre estas encontramos las siguientes:

- **Ondas de superficie:** Este tipo de onda es usada para frecuencias inferiores a los 30MHz, tiene gran alcance, estabilidad en su señal y las características del suelo influyen de manera notable en la propagación de la misma,
- **Ondas Ionosféricas:** Maneja frecuencias comprendidas de 3 MHz hasta los 30 MHz, su propagación radica en reflejar la forma de onda en la ionosfera y posee un gran alcance con cierto grado de inestabilidad en su señal.
- **Onda de dispersión troposférica:** La propagación de esta onda se basa en reflexiones ocasionada por discontinuidades en la variación de constantes

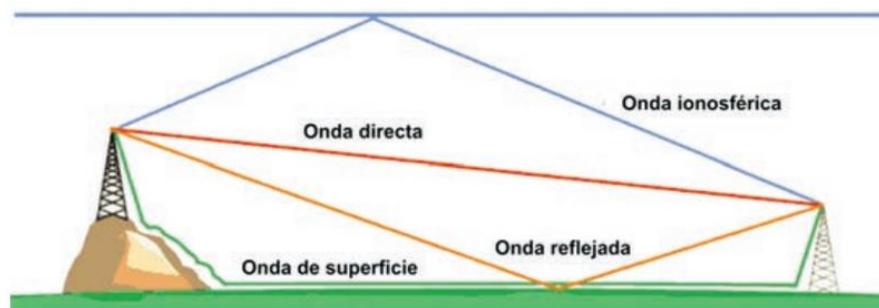
físicas en la tropósfera de manera turbulenta y tiene pérdidas muy elevadas con desvanecimientos profundos.

- Onda espacial: Trabaja en un rango de frecuencia superior a los 30MHz y su propagación es realizada a través de las capas bajas de la superficie terrestre o también llamada troposfera. Es un tipo de onda bastante estable pero limitada al campo de visión directa por lo cual puede verse afectada en caso de desvanecimiento de la seña, en este tipo de onda existen dos 3 submodos que son:

- Onda directa que se encarga de enlazar al transmisor con el receptor.
- Onda reflejada que permite conectar al transmisor y receptor a través de una onda reflejada con el terreno.
- Onda de multitrayecto que se encarga de llegar al receptor tras sufrir varias reflexiones en capas fronteras de estratos troposféricos. (Ordóñez, 2017)

### Figura 8.

*Tipos de onda según su propagación*



*Nota:* La imagen muestra a las distintas formas de onda acorde a su tipo de propagación. Tomado de (Ordóñez, 2017).

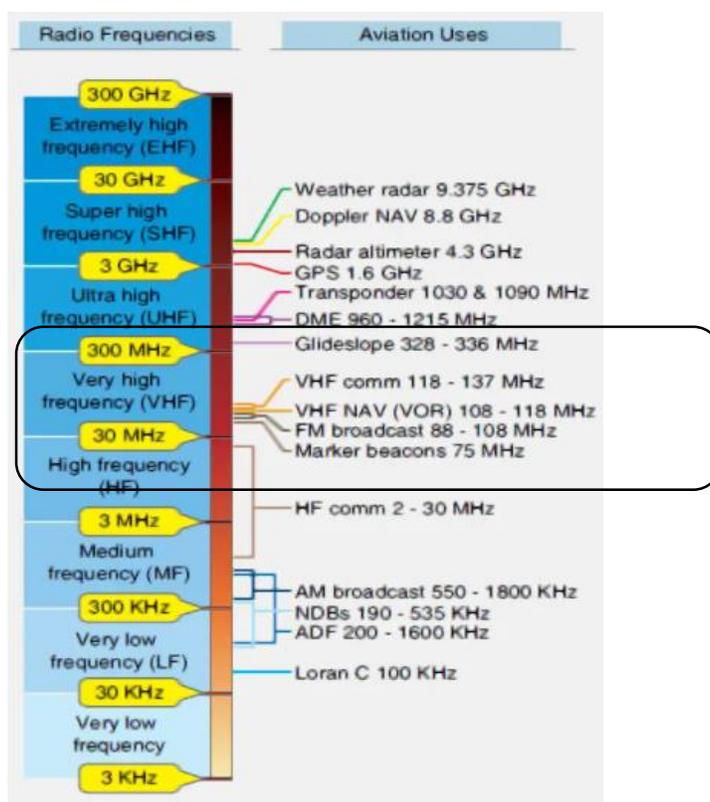
#### 2.3.4 Frecuencias

Las frecuencias utilizadas por los equipos tanto de comunicación como navegación en aviación son VHF (Very High Frequency) la cual opera en un rango de

frecuencia que va desde los 30MHz hasta los 300MHz o HF (High Frequency) la cual ocupa un rango de frecuencia menor que la anterior y va desde los 3MHz hasta los 30MHz. Durante las comunicaciones primarias de voz a corto alcance se emplea generalmente VHF mediante dos o tres radios, cada uno de ellos de manera independiente, los cuales permiten seleccionar una frecuencia activa e inactiva. Para la comunicación HF encontramos una o dos radios (HF 1- HF2) al cual para sintonizarlo se lo hace desde su respectivo panel de radio el cual una vez realizado el procedimiento deberá mantener un tono durante 7 segundos en caso de no estar sintonizado durara hasta un máximo de 15 segundos. (Administration, 2018)

### Figura 9.

*Frecuencias HF y VHF en una aeronave*



*Nota:* La figura muestra los dos tipos de frecuencia HF y VHF con la que funciona una aeronave. Tomado de (Administration, 2018).

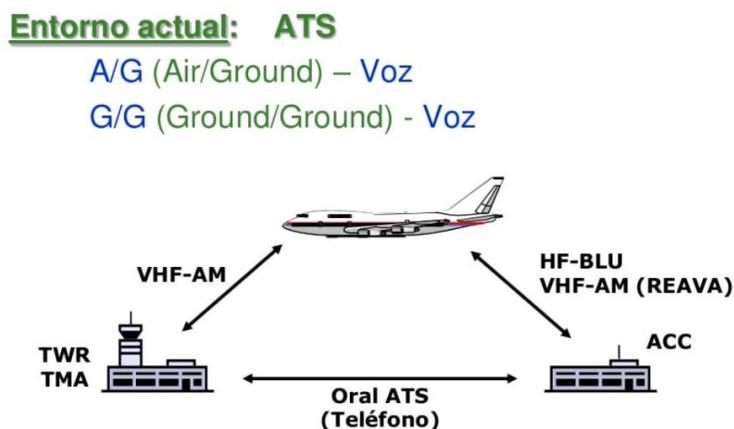
### 2.3.5 HF (Alta Frecuencia)

Es la banda de frecuencia cuya transmisión es reflejada en la ionosfera donde los fenómenos de la ionosfera se refractan en ondas de radio de alta frecuencia y media frecuencia lo que permite utilizarlas en este rango. También en la banda base para realizar comunicación. En condiciones óptimas esta banda permite realizar comunicación con cobertura mundial mientras que en condiciones desfavorables solo hay propagación por ondas de superficie. En esta banda hay sub-bandas que se distinguen por sus características de propagación las cuales son:

- Bandas altas o diurnas: Tienen una frecuencia que va entre 14 y 30 MHz cuya propagación se ve mejorada en los días de verano.
- Bandas bajas o nocturnas: Tienen una frecuencia que va entre 3 y 10 MHz cuya propagación se ve mejorada en las noches de invierno.
- Bandas intermedias Tiene una frecuencia que va entre 10 y 14 MHz cuyas características son mezcladas entre las diurnas y las nocturnas. (Administration, 2018)

**Figura 10.**

*Aplicación de frecuencia HF*



*Nota:* La imagen muestra la aplicación de la frecuencia HF en el campo de la aviación.

Tomado de (Buchanan, 2016).

### **2.3.6 VHF (*Muy alta frecuencia*)**

Las frecuencias VHF pertenecen a la banda del espectro electromagnético que ocupa un rango de frecuencia que va desde los 30MHz hasta los 300 MHz las cuales tiene las siguientes características:

- Gama de frecuencia: 30MHz a 300MHz
- Longitud de onda: De 10 a 1 metro
- Propagación: Prevalentemente directa, prevalentemente ionosférica o troposférica.
- Tipo de uso: Enlaces de radio a corta distancia, televisión, radiodifusión modulada.

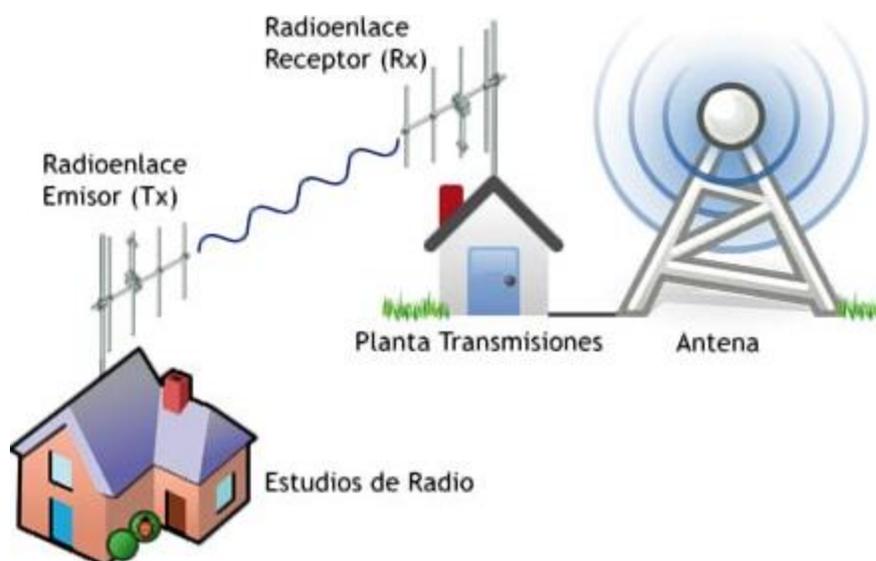
Para las comunicaciones aeronáuticas a corta distancia entre los controladores de tránsito aéreo ubicados en los aeropuertos y las aeronaves ya se para procesos de despegue o aterrizaje usan la banda que va desde los 118 y 137 MHz con las siguientes excepciones:

- 121.50 MHz: Utilización mundial para emergencia.
- 123.10 MHz: Para auxiliar SAR (Gestión de operaciones de búsqueda y salvamento)
- 123.45 MHz: Utilización mundial para comunicación aire-aire

Mientras que las frecuencias VHF utilizadas por las estaciones VOR y el ILS instaladas según el plan CAR/SAM que son las regiones del Caribe y Sudamérica va en el rango de los 108.00 MHz a 117.90MHz. (ICAO, 2012)

**Figura 11.**

*Aplicación de las frecuencias VHF*



*Nota:* La figura muestra como la comunicación VHF se puede aplicar en el campo de radio y televisión. Tomado de (transmisión, 2016).

### **2.3.7 Frecuencia ILS y VOR**

Los sistemas de navegación VOR y el sistema de navegación por instrumentos (ILS) operan en un rango de frecuencia similar aunque ambos sistemas son totalmente independiente y tienen un principio de trabajo totalmente diferente, a pesar de compartir un receptor similar.

Estos sistemas pueden ser diferenciados por la localización de frecuencia que varía en los siguientes rangos:

- Las frecuencias ILS se asignan cada dos incrementos de 0.05 MHz de la siguiente forma: 109.10MHz – 109.15MHz, luego pasa a 130.00 MHz- 109.35 MHz y de esta manera sucesivamente.
- Las frecuencias VOR se asignan por un incremento de 0.20MHz de la siguiente forma: 109.00MHz – 109.20MHz – 109.40 MHz y de esta manera sucesivamente. (Administration, 2018)

**Tabla 2.***Asignación de frecuencia ILS Y VOR*

Frecuencias ILS	Frecuencias VOR
	109.00MHZ
<b>109.10MHz</b>	
<b>109.05MHZ</b>	
	109.20MHZ
<b>109.30MHZ</b>	
<b>109.35MHZ</b>	
	109.40HZ
<b>109.50MHZ</b>	
<b>109.55MHZ</b>	
	109.60MHZ
<b>109.70MHZ</b>	
<b>109.75MHZ</b>	
	109.80MHZ
<b>109.90MHZ</b>	
<b>109.95MHZ</b>	

*Nota:* La tabla indica las frecuencias asignadas para el VOR y el ILS de acuerdo a los incrementos correspondientes. Tomado de (Administration, 2018).

### **2.3.8 Antenas**

Las antenas en una aeronave realizan una gran cantidad de funciones que van desde transmitir audios desde el avión a la torre de control o a otras aeronaves hasta transmitir su ubicación mediante la red GPS. La mayoría de aviones tienden a tener un aproximado de hasta 20 antenas, incluso más. Las cuales está conectadas al fuselaje,

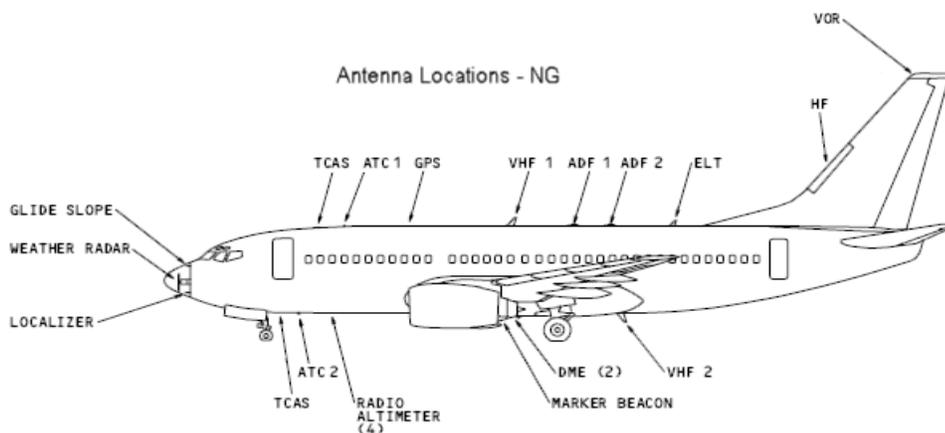
esto quiere decir en la parte exterior de la aeronave lo que las vuelve vulnerables a golpes con cualquier tipo de objetos o incluso animales (aves). Las antenas que podemos encontrar en una aeronave son:

- LAN/TWLU: Terminal de red local inalámbrica(LAN)
- ATC/TCAS: Control de tráfico aéreo/Sistema de tráfico y anticolidión.
- DME: Equipo medidor de distancia
- RA: Radio altímetro
- GPS: Sistema de posicionamiento global
- ADF: Localizador automático de direcciones
- HF: Radio de alta frecuencia
- VOR: Radar de rango omni-direccional
- VHF: Radio del muy alta frecuencia
- GPWS: Sistema de alerta de aproximación

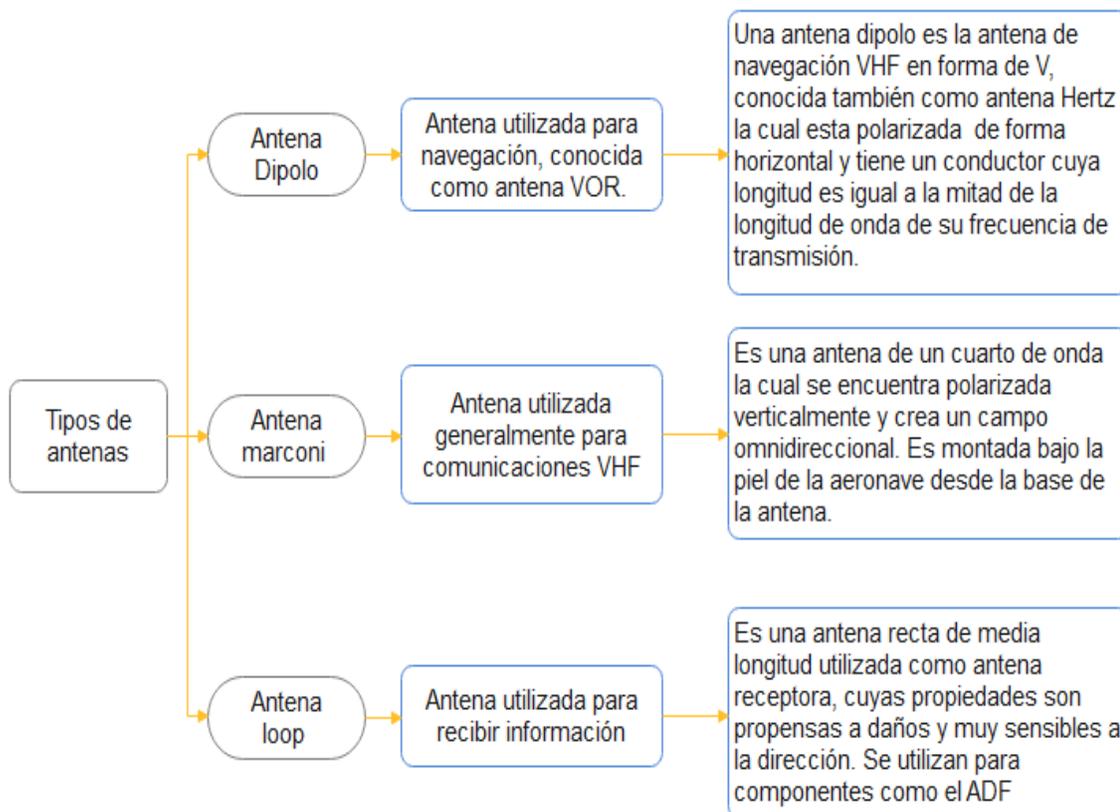
(Fernandez, 2017)

### Figura 12.

*Antenas de un Boeing 737*



*Nota:* La figura muestra la ubicación en donde se encuentran las antenas de un Boeing 737. Tomado de (Lleufu, 2008).

**Figura 13.***Tipos de antenas*

*Nota:* La imagen muestra los tipos de antenas con sus características.

## 2.4 Evolución de los sistemas de comunicación y navegación

Los primeros aviadores se dieron la tarea de mejorar la operatividad y funcionalidad de los sistemas de comunicación y navegación, todo esto luego de asegurar la mecánica que formaba parte de las aeronaves. Estas mejoras se desarrollaron con la utilización de sistemas de comunicación y navegación más fiables.

Hoy en día para una operación de vuelo exitoso tomando en cuenta la gran cantidad de tráfico aéreo que existe por el sin número de aeronaves que vuelan se ve la necesidad de mejorar los sistemas de comunicación y navegación que son utilizado para varias cosas, desde un simple despegue hasta un aterrizaje forzoso por lo que el desarrollo de los componentes de estos sistemas tratan de que sean cada vez más

fiables y seguros utilizando a su vez equipos más ligeros y de menos peso pero también de mejor rendimiento. (Administration, 2018).

**Figura 14.**

*Primeras comunicaciones por voz.*



*Nota:* La imagen muestra las pruebas de las primeras comunicaciones realizadas por voz en 1917. Tomado de (Administration, 2018).

Una de las principales mejoras que tuvieron los sistemas fue mejorar la comunicación por radio esto quiere decir que la comunicación se más clara o más limpia, que tuviera los menores problemas de interferencia posible, luego le siguieron las ayudas de la radionavegación y así ir evolucionando a equipos cada vez más fiables y de mejor desempeño como lo son hoy en día las pantallas digitales, dispositivos anticolidión, los sistema de meteorología, entre algunos otros. (Administration, 2018).

**Figura 15.***Pantalla De datos digitales*

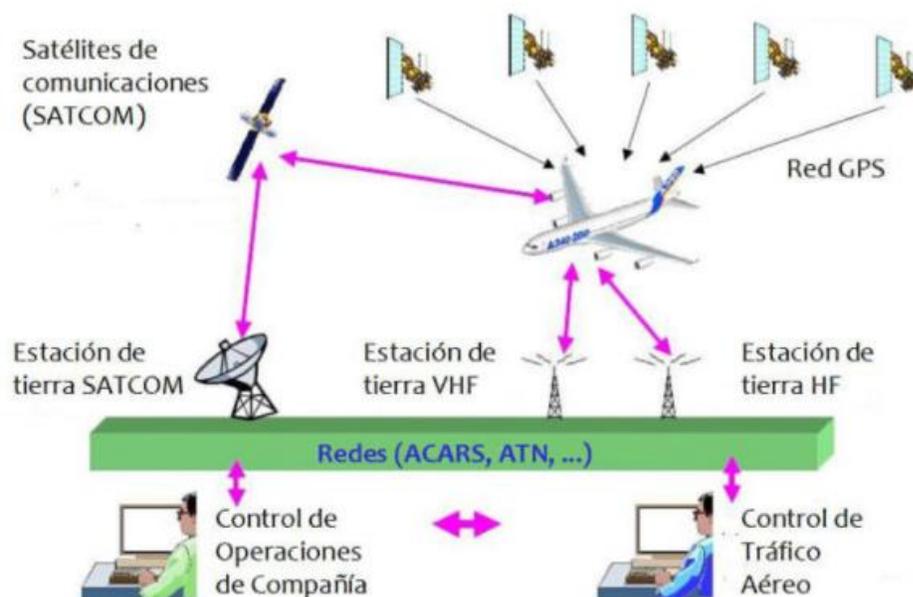
*Nota:* La imagen muestra la pantalla de datos digitales utilizados actualmente en aviación. Tomado de (Administration, 2018).

## 2.5 Sistema de comunicación Boeing 737

Los sistemas de comunicación permiten proporcionar información de vuelo de la aeronave y una navegación precisa durante el vuelo desde su despegue hasta el aterrizaje en su destino. Las aeronaves Boeing poseen sistemas para una correcta comunicación con todos los medios de recepción y transmisión aérea como lo pueden ser la torre de control de tráfico aéreo, el control de operaciones de la compañía donde pertenece la aeronave, entre otros.

**Figura 16.**

*Uso de las frecuencias en aviación.*



*Nota:* La figura permite visualizar los sistemas que participan dentro de una comunicación aérea. Tomado de (Ontiveros, s.f.).

Dentro de la participación de la comunicación aérea podemos encontrar la torre de control o también llamado control de tráfico aéreo cumple funciones de las más importantes en el ámbito aeronáutico ya que le permite recibir al piloto instrucciones desde tierra para distintos procedimientos como lo pueden ser acercamientos, aterrizajes y despegue de una aeronave para asegurar la seguridad de la aeronave y su tripulación. También se encuentran las estaciones de tierra que permiten comunicación HF O VHF las cuales nos permiten realizar todas estas transferencias de datos por voz ya sea con el ATC o con el control de operaciones de la compañía a la que pertenece la aeronave. (Ontiveros, s.f.)

### 2.5.1 **Panel de control de audio**

Las comunicaciones que presenta la aeronave tanto dentro como fuera del mismo pasan por el panel de audio o también denominada caja de audio, cada panel trabaja de forma independiente con sus selectores o swtichs de transmisión y recepción de audio los cuales permiten encender o apagar cualquiera de estos. Entre los cuales tenemos:

1. **Interruptor de filtro de voz V, B, R:** Este interruptor permite la recepción de audios dependiendo el modo seleccionado que son
  - **V:** Recibe el audio de voz de NAV y ADF.
  - **B:** Recibe el audio de voz y rango de NAV y ADF.
  - **R:** Recibe el audio de alcance (código) del identificador de estación NAV y ADF.
2. **Interruptores de radio transmisión:** Permiten la selección de una radio o sistema para la transmisión de ese miembro de la tripulación. Solo puede ser presionado un interruptor a la vez, al tratar de seleccionar otro el primer interruptor se desactivara.
3. **Interruptor de radio recepción** (se pulsa para hablar): Estos interruptores se activan al ser presionados, también se los puede girar para modificar el volumen del audio y pueden ser seleccionados varios a la vez.
4. **Interruptores de radio transmisión e intercomunicador:** Permite la selección de la máscara de oxígeno o el PTT según el seleccionado en el selector.
5. **Interruptor de normal o alterno:** Permite seleccionar el funcionamiento del ACP ya sea de modo normal o alterno. (Theoryce, Slideshare, 2013).

**Figura 17.**

Panel de control de audio.



*Nota:* La imagen permite observar el panel de control de audio con los interruptores e indicadores de luz que lo componen.

### 2.5.2 Auriculares y Altavoces

Los auriculares y altavoces de la cabina pueden ser usados de manera independiente tomando en cuenta que debe seleccionarse el que será utilizado para la comunicación, cuyo volumen puede variar a través de las perillas de ajuste ubicadas en la caja de audio.

### 2.5.3 Micrófono

Los micrófonos permiten comunicación fuera de la aeronave así como dentro de ella, entre los cuales tenemos:

- Micrófonos de mano
- Interruptores PTT
- Máscaras de oxígeno con sets

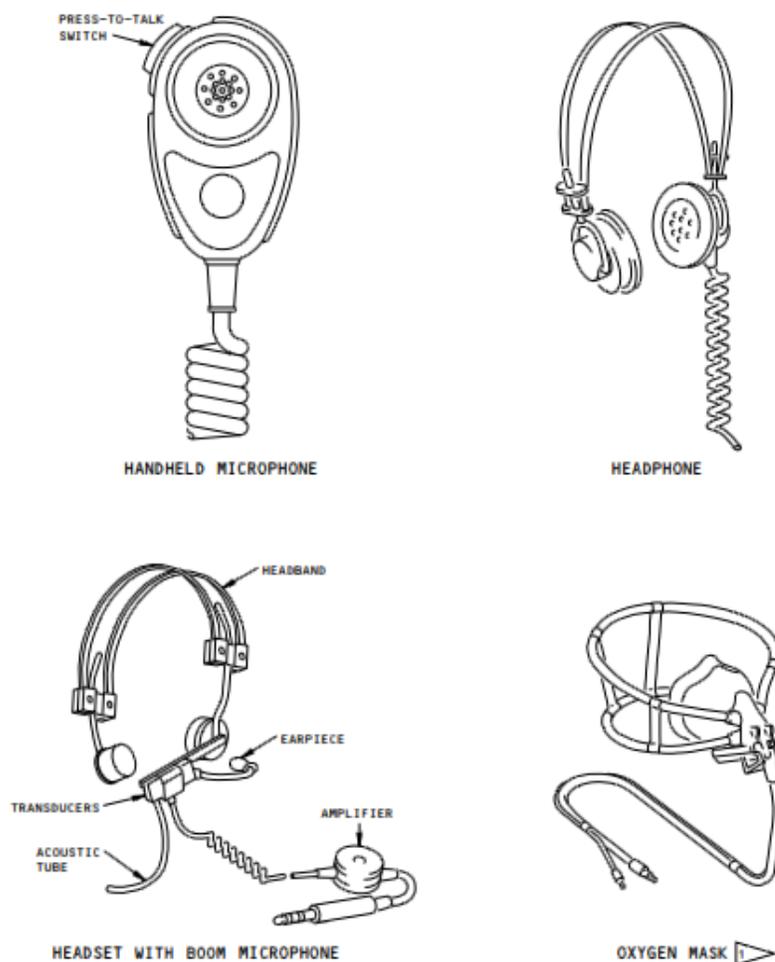
Estos pueden ser conectados a las tomas correspondientes que se encuentren ubicados en los puestos de la tripulación de la cabina de vuelo. Las máscaras de oxígeno que se encuentran en la cabina también contienen micrófonos con sets, los

cuales al estar activados, desactivan a los micrófonos de mano y de la misma manera al desactivar los de la máscara de oxígeno permite la activación de los micrófonos de mano.

Los interruptores que se encuentran en la cabrilla (PTT) permiten la activación de los micrófonos de mano, cada micrófono de mano tiene un interruptor que activa el sistema de audio seleccionado. (Theoryce, Slideshare, 2013).

### Figura 18.

*Componentes de comunicación.*



*Nota:* La imagen muestra los distintos componentes que se pueden encontrar para realizar comunicación. Tomado de (Boeing, Aircraft Maintenance Manueal).

## 2.6 Sistemas de Navegación Boeing 737

Los sistemas de aviónica para navegación componen un enorme conjunto de componentes tecnológicos muy diversos que se podrían clasificar según el grado de autonomía respecto a una estación en tierra.

### 2.6.1 ADF (*Automatic Direction Finder*)

Los ADF funcionan desde una señal en tierra que es transmitida por una antena NDB, este principio fue utilizado desde los primeros ADF que se crearon o también llamados RDF el cual consistía la utilización de una antena polarizada de forma vertical para realizar la transmisión de ondas de radio con una frecuencia que iba de los 190KHz hasta los 535KHz entonces se sintonizaba con la frecuencia de transmisión del NDB usando una antena loop y así se podía determinar la dirección hacia la antena controlando la intensidad de la señal que se recibía.

A medida que el ADF fue mejorando la gama de frecuencias se amplió de tal manera que se pudo incluir un mayor rango de frecuencias de MF hasta unos 1800KHz por lo cual ya no era necesario cambiar el rumbo de la aeronave para encontrar la antena transmisora ya que el componente permitía observar donde se ubicaba la antena. En los sistemas ADF más modernos se basa en dos antenas de bucle montadas entre así en un ángulo de 90° las cuales se deben instalar con cuidado ya que es un dispositivo direccional.

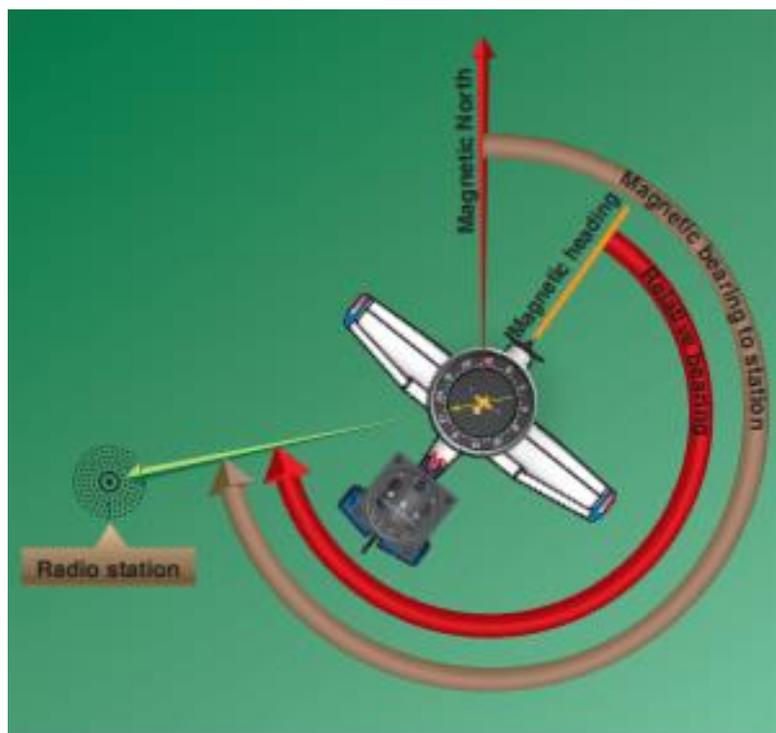
Los ADF trabaja aproximadamente en una frecuencia de 50KHz en conjunto con las antenas NDB los cual radian con una potencia de 20W a 2Kw en varias frecuencias que son:

- 190KHz – 1.75MHz siguiendo normativas de la ICAO
- 190KHZ – 493KHZ
- 510KHz – 530KHz en EEUU
- 280KHz – 530KHz en Europa

- 495KHz – 505KHz reservado para servicios de emergencia marítima internacional (Administration, 2018)

**Figura 19.**

*Sistema ADF*



*Nota:* La imagen muestra la aeronave en sentido contrario a la estación de radio lo que quiere decir que está saliendo desde la pista donde estaba la antena. Tomado de (Administration, 2018)(Vol. 2).

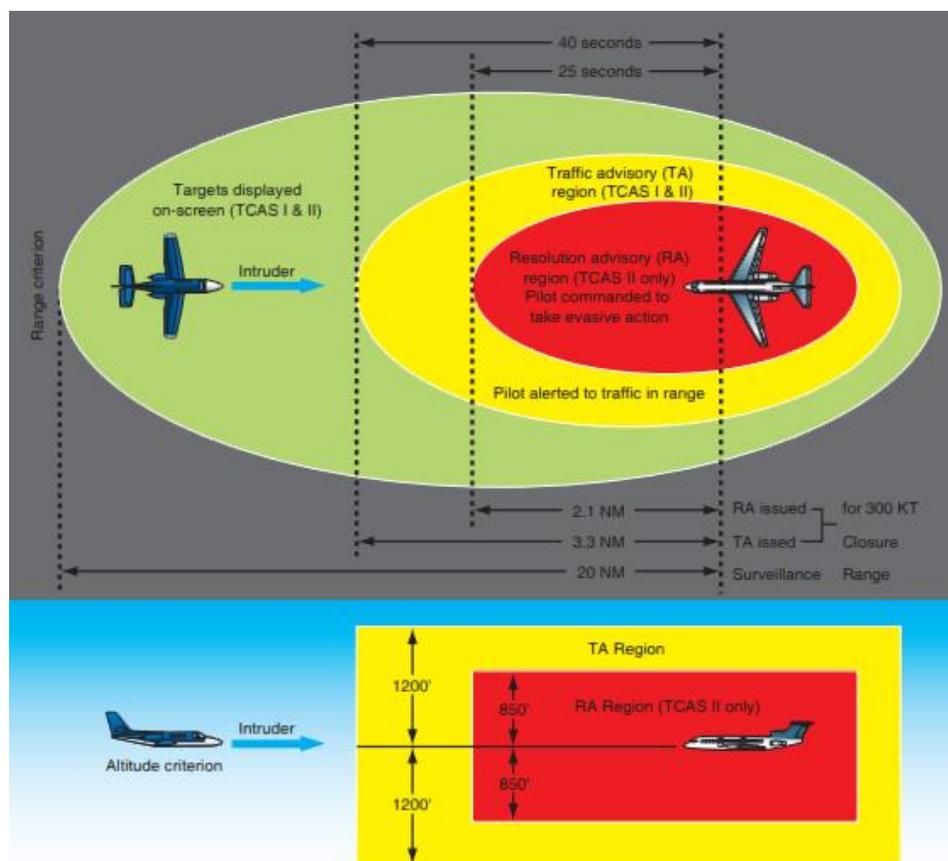
### **2.6.2 ATC/TCAS**

El sistema de prevención de colisión o también conocido como TCAS por sus siglas en inglés está diseñado para poder determinar la distancia, altitud y rumbo de otras aeronaves cercanas que estén equipadas con el transponder mediante la medición de cálculos de estas variables y genera un aviso en caso de que exista un peligro de colisión el cual es de uso obligatorio para aeronaves de 10 a 30 plazas y para aeronaves con más de 30 asientos y que posean un peso mayor a los 15000Kg. Su

principio de operación tiene base en el funcionamiento del transponder o también conocido como radas secundario el cual es enviar una señal radioeléctrica en forma de pregunta digital que será recibida por un avión el cual la evalúa y transmite una respuesta, esto quiere decir que puede interrogar a los transponders de las otras aeronaves cercanas utilizando tecnología SSR utilizando una señal de 1030 MHz lo cual permite al TCAS mostrar las posición y altitud de cada aeronave. (Administration, 2018)

**Figura 20.**

*Sistema anticolidión TCAS*



*Nota:* La imagen muestra el funcionamiento del TCAS al tener dos aeronaves en cercana aproximación. Tomado de (Administration, 2018).

### 2.6.3 Radio Altimetro

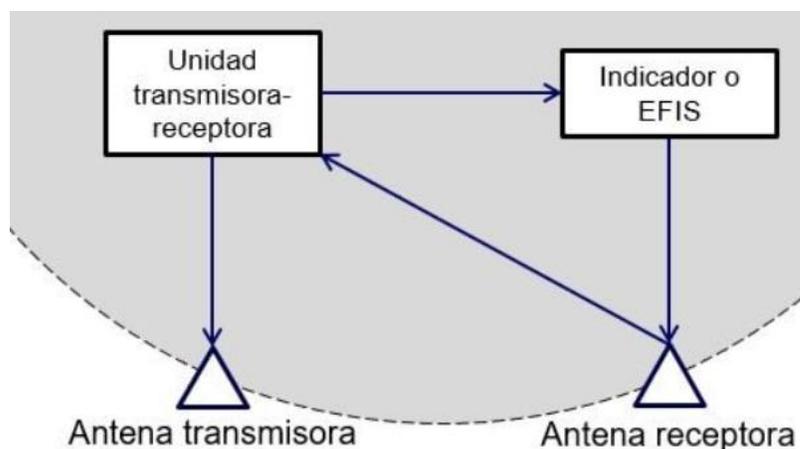
Este instrumento se utiliza para medir la altitud de la aeronave sobre el terreno en un rango de 0 a 2500 pies y permite proporcionar información precisa al piloto sobre a qué altura se encuentra la aeronave en las fases tanto de aproximación como de aterrizaje.

Este componente es importante para los sistemas de aproximación de terreno (GPWS) y también para el piloto automático. Su funcionamiento es autónomo y no necesita de algún tipo de instalación en tierra para que pueda funcionar ya que el propio sistema consta de una unidad receptor-transmisor, antenas receptoras y transmisoras separadas y el indicador.

(Avutarda, 2019)

#### Figura 21.

*Función del sistema de radio altímetro.*



*Nota:* La figura muestra cómo funciona autónomamente el radio altímetro. Tomado de (Avutarda, 2019).

### 2.6.4 GPWS (Sistema de advertencia de proximidad al suelo)

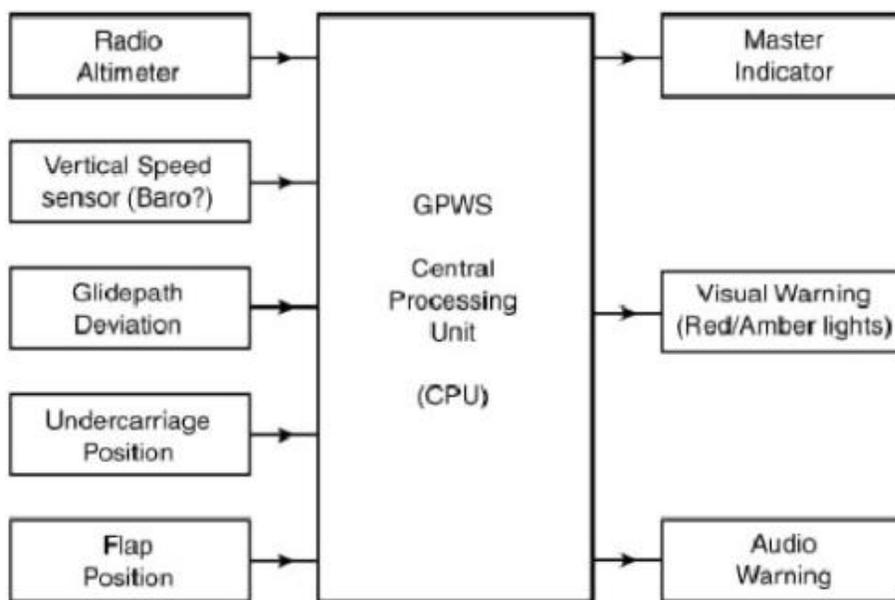
Los sistemas de aproximación al suelo tienen como función prevenir accidentes ya que estos fueron elaborados en los años 60 por la gran cantidad de colisiones que

habían en las aeronaves al chocar con el terrenos estos sistemas se conocen como GPWS y su mejora EGPWS, los cuales se encarga de enviar un aviso al piloto en caso de que exista algún peligro de colisión contra el suelo por parte de la aeronave y esto a su vez permite que el avión pueda volar cerca del suelo, por lo tanto llevar así aterrizajes más precisos y seguros.

Varios de estos equipos de alerta contienen una gran base de datos en los que se indican datos del terreno y altitudes las cuales son obtenidas en las cartas, mientras que otros funcionan con ayuda del radio altímetro el cual monitorea la altura en la que se encuentra la aeronave respecto al terreno para realizar un seguimiento de la lectura de datos y calcular las posibles tendencias de impacto para alertar a la tripulación a través de las alarmas sonoras y visuales. (Aviation, 2021)

### Figura 22.

*Componentes y principio de funcionamiento del GPWS*



*Nota:* La figura muestra los componentes de entrada al GPWS y los de salida que indicaran de manera sonora y visual algún contratiempo acorde a los datos registrados en la unidad de procesos. Tomado de (Quimrubau, 2009).

El funcionamiento de este sistema se basa en transmitir una señal acústica para alertar de algún tipo de situación de peligro en el tiempo adecuado para que la tripulación tome algún tipo de acción con anticipación. A cada situación se le es asignado un nombre y un “número de modalidad”.

(Aviation, 2021)

### **2.6.5 EGPWS (*Sistema mejorado de advertencia de proximidad al suelo*)**

El EGPWS es un sistema que proporcionar distintas funciones como los son el de alerta y conocimiento del terreno mediante visualización con características adicionales al GPWS tradicional mediante la utilización de entradas que posee la aeronave como lo son:

- Posición geográfica
- Altitud
- Latitud
- Velocidad de aire
- Desviación de la senda de planeo

Estos son utilizados a través de la base de datos de la aeronave para predecir desviación en la trayectoria o algún otro tipo de conflicto con el terreno o con la configuración que se realizó para el vuelo y de esta manera se proporcionara una alerta visual y sonora ya sea de precaución o de advertencia, entre las advertencias tenemos las siguiente:

- Excesiva desviación en la senda de planeo
- Tren o Flaps muy bajos con respecto a la configuración
- Detección de cizalladuras (solo si está habilitado)
- Proporciona ángulo de inclinación y altitud

(Honeywell, Skybrary, 2011)

**Tabla 3***Características mejoradas del sistema EGPWS*

Característica	Descripción
<b>Sistema de alerta y visualización de terreno.</b>	Permite la visualización del terreno circundante en el indicador del radar meteorológico, EFIS o una pantalla dedicada para esta operación.
<b>“Picos”</b>	Son características adicionales para la visualización del terreno, estas son suplementaria del TAD.
<b>“Obstáculos”</b>	Esta función permite la utilización de una base de datos de objetos artificiales para alertar y mostrar los conflictos con obstáculos.
<b>Modulación de envolvente</b>	Esta función utiliza una base de datos de perfiles de aproximación y salida de los distintos aeropuertos en determinada ubicación geográficas para adaptar las alertas del EGPWS.
<b>Suelo de despeje del terreno</b>	Esta función es utilizada para alertar al piloto de un posible descenso prematuro en aproximaciones de no precisión y se basa en la posición de la aeronave respecto a la pista de aterrizaje más cercana al avión.
<b>Suelo de la pista de aterrizaje y despeje</b>	Esta mejora proporciona una mejor protección en lugares donde la pista de destino es significativamente más alta que el terreno circundante.

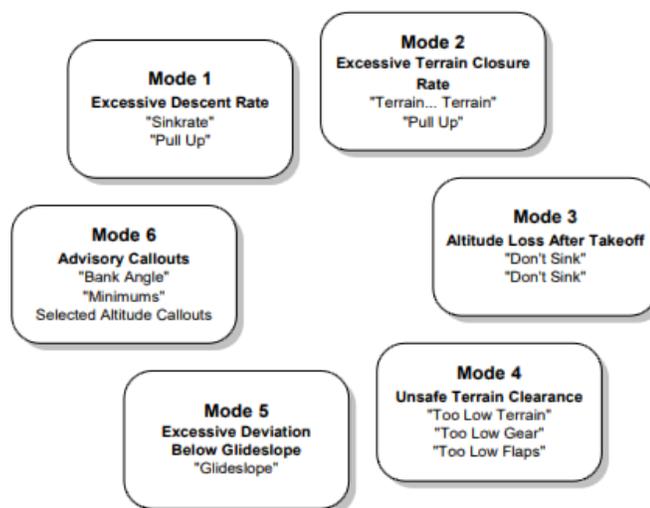
Características	Descripción
<b>Descongestión auditiva</b>	Es una opción opcional que se puede activar o desactivar para reducir la repetición en los mensajes de alerta.
<b>Altitud geométrica</b>	Está diseñado para eliminar o reducir los errores de altitud ya se por temperatura, presión o ajustes de altímetro.

*Nota:* Esta tabla indica las mejoras que se encuentran en el sistema EGPWS. Tomado de (Honeywell, Skybrary, 2011).

El EGPWS cuenta con sus 7 respectivos modos de operación los cuales a su vez incorpora los modos de operación del GPWS tradicional pero mejorándolos en cierta medida proporcionando así alertas y visualizaciones adicionales que mejoran el reconocimiento de la situación y manteniendo la seguridad de la aeronave, de ahí el nombre “GPWS mejorado”. (Honeywell, Skybrary, 2011)

### Figura 23.

*Funciones básicas del Sistema de alerta y proximidad mejorado (EGPWS)*



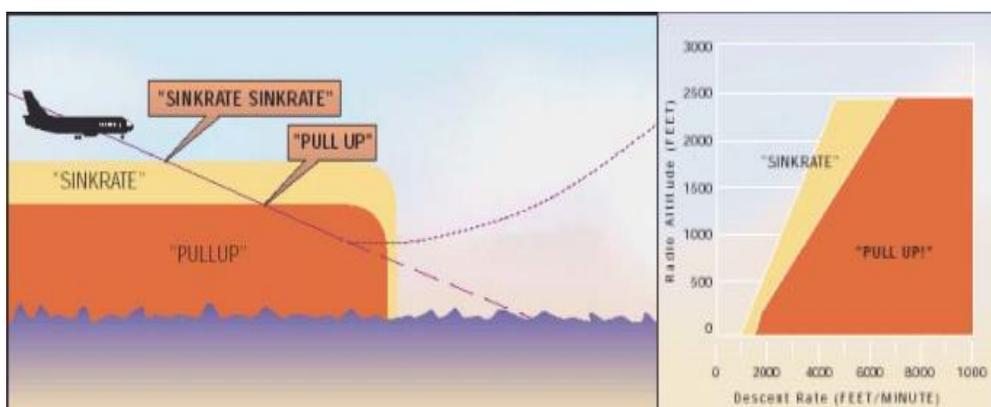
*Nota:* La imagen muestra las alertas que forman parte del sistema EGPWS. Tomado de (Honeywell, Skybrary, 2011).

➤ **Modos de operación**

- Modo 1: Proporciona las alertas cuando se produce un descenso excesivo respecto a la altitud de arriba del nivel del terreno, se mantiene activa en todas las fases del vuelo. (Honeywell, Skybrary, 2011).

**Figura 24.**

*Modo de operación 1 del EGPWS*



*Nota:* La figura muestra la relación de descenso excesiva Tomado de (Honeywell, Skybrary, 2011).

Al ingresar a los límites exteriores pertenecientes al EGPWS se activa un alerta audible **"Skinrate, Skinrate"**.

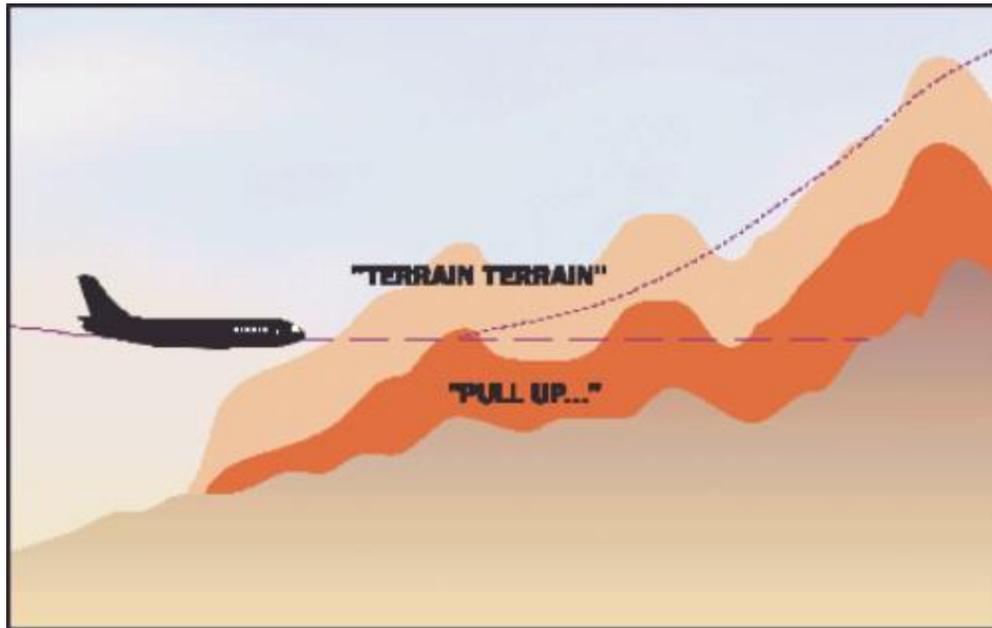
Al ingresar a los límites interiores del EGPWS se activa una alerta audible **"Pull up, Pull up"** la cual se repetirá hasta que la aeronave salga del límite interior. (Honeywell, Skybrary, 2011)

- Modo 2: El modo dos permite prevenir mediante las alertas algún impacto cuando el avión realiza la aproximación al terreno a una velocidad excesiva. En este modo existen dos submodos de operación que son el 2A y el 2B. Don el modo 2A se activa durante la fase de ascenso, crucero y aproximación inicial cuando los flaps no se encuentran configurados para aterrizaje y la aeronave no se encuentra ubicada en la línea central de trayectoria. Si el avión empieza a cercarse a la envolvente de precaución sonara la alarma de **"Terrain,**

**terrain**” y mientras más siga penetrando empezaran a encenderse las luces de alerta y el sonido de **“Pull up, Pull up”**. (Honeywell, Skybrary, 2011).

**Figura 25.**

*Modo 2A*



*Nota:* La figura muestra la ubicación de la aeronave al encenderse las distintas alarmas del modo 2. Tomado de (Honeywell, Skybrary, 2011).

Mientras que el modo 2B se activa automáticamente cuando se seleccionan los flaps en configuración para realizar aterrizaje o alguna aproximación utilizando el ILS.

- Modo 3: En este modo de operación se realiza su activación al cuando se tiene una pérdida de altitud muy significativa después de haber despegado y esto hará que se enciendan las luces de la alerta correspondiente con el sonido de **“Don’t sink, Don’t sink”** hasta que se restablezca la relación de ascenso positiva.

(Honeywell, Skybrary, 2011)

**Figura 26.***Modo de operación 3*

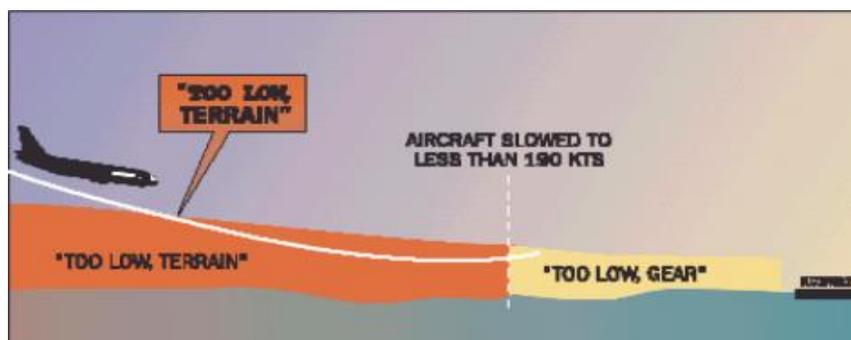
*Nota:* La figura muestra la pérdida de altitud de la aeronave luego de haber despegado.

Tomado de (Honeywell, Skybrary, 2011).

- Modo 4: En este modo de operación se activan las alertas al momento de tener poca separación con respecto al terreno para las fases de vuelo, velocidad y configuración. En este modo también se encuentran todos submodos que son el 4A, 4B y 4C. (Honeywell, Skybrary, 2011)
- Modo 4A: Este modo se activa cuando los flaps y el tren están configurados para aterrizaje en las fases de crucero y aproximación donde el acercamiento al terreno no se este realizando rápidamente entonces sonara la alarme de **“Too low, terrain”** esta alerta a partir de los 500 pies a 120 nudos mientras que para los 1000 pies será a 250 nudos. También tendrá la alerta de **“Too low, gear”** la cual se activa cuando la aeronave se encuentra debajo de los 500 pies sobre el nivel del terreno y va a menos de 190 nudos de velocidad. (Honeywell, Skybrary, 2011)

**Figura 27.**

*Modo de operación 4A*

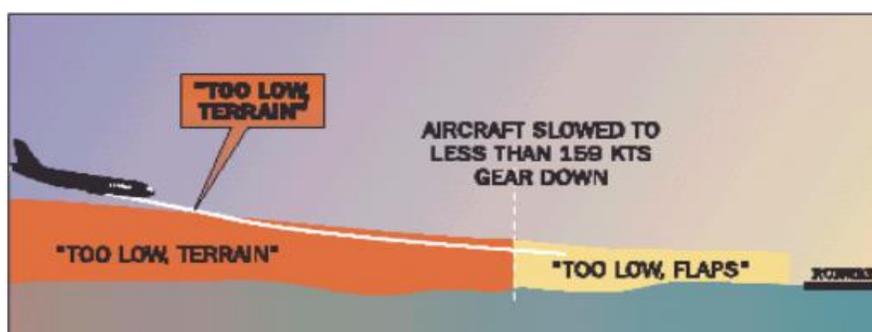


*Nota:* La imagen indica la posición de la aeronave respecto al terreno y velocidad en la que se encuentra para que suenen las alertas. Tomado de (Honeywell, Skybrary, 2011).

- Modo de operación 4B: Este modo se activa cuando los flaps y el tren no están configurados para aterrizaje en las fases de crucero y aproximación donde la aeronave se encuentre por debajo de los 1000 pies de altura sobre el nivel del terreno y mantenga una velocidad superior a 159 nudos. La alarma de este modo al no mantener la velocidad a la altura mencionada será **"Too low flaps"**. (Honeywell, Skybrary, 2011)

**Figura 28.**

*Modo de operación 4B*

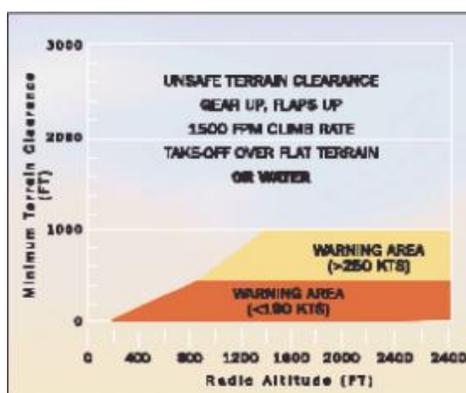


*Nota:* La figura muestra las alertas del modo 4B al realizar una aproximación con los flaps no configurados a una velocidad menor de 159 nudos. Tomado de (Honeywell, Skybrary, 2011).

- Modo de operación 4C: Este modo se activa cuando los flaps y el tren no están configurados para aterrizaje en la fase de despegue y previene la cercanía con el terreno durante el ascenso, este modo basa su funcionamiento en el MTC (Separación mínima con respecto al terreno) el cual va aumentando con el radio altitud. La alerta audible será **“Too low terrain”** cuando el valor del MTC disminuye para el radio altitud. El cual tiene un límite de 500 pies sobre el nivel del terreno a velocidades menores de 190 nudos hasta un máximo de 1000 pies con velocidades menores de 250 nudos. (Honeywell, Skybrary, 2011)

**Figura 29.**

*Modo de operación 4C*

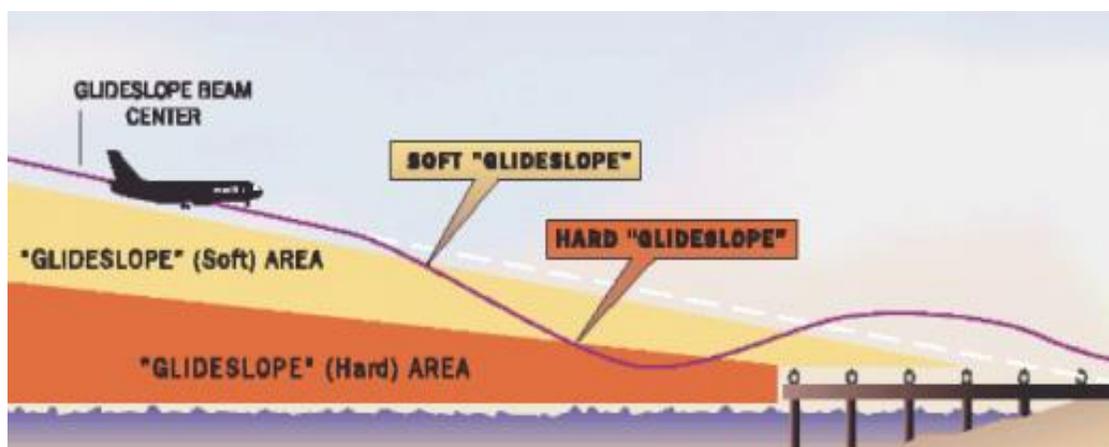


*Nota:* La imagen muestra la posición de la aeronave durante el ascenso después del despegue y las velocidades que tendrá para activar las alertas del EGPWS. Tomado de (Honeywell, Skybrary, 2011).

- Modo de operación 5: Este modo proporciona las alertas a partir de niveles cuando el avión desciende por debajo de la trayectoria de planeo, donde en el primer nivel sonara la alerta audible de “**Glideslope**” esta ocurre cuando la aeronave se encuentra por debajo de los 1000 pies de radio altitud y está por debajo de los 1.3 del haz de trayectoria de planeo. Y la segunda que será a los 300 pies por debajo del radio altitud a 2 puntos del haz de la trayectoria de planeo, la alerta será la misma con la diferencia que sonara un poco más fuerte que la de primer nivel. (Honeywell, Skybrary, 2011)

**Figura 30.**

*Modo de operación 5*



*Nota:* La imagen muestra la aeronave con respecto al terreno y las líneas de trayectoria con los distintos niveles de la alarma “Glideslope” Tomado de (Honeywell, Skybrary, 2011).

- Modo de operación 6: El modo 6 no permite recibir alertas visuales, solamente proporciona alertas audibles que se consisten en el radio altitud los cuales son los siguientes (Honeywell, Skybrary, 2011)

**Tabla 4.***Avisos o tonos del radio altitud.*

<b>Avisos audibles del radio altitud</b>	<b>Pies de altura en el que ocurre</b>
"RADIO ALTIMETER"	2500
"TWENTY FIVE HUNDRED"	2500
"ONE THOUSAND"	1500
"EIGHT HUNDRED"	1000
"FIVE HUNDRED"	500
Five Hundred Tone (2 second 960 Hz)	500
"FOUR HUNDRED"	400
"THREE HUNDRED"	300
"TWO HUNDRED"	200
"APPROACHING MINIMUMS"	DH+80
"APPROACHING DECISION HEIGHT"	DH+100
"PLUS HUNDRED"	DH+100
"FIFTY ABOVE"	DH+50
"MINIMUM"	Altura de decision (DH)
"MINIMUMS"	Altura de decision (DH)
"DECISION HEIGHT"	Altura de decision (DH)
"DECIDE"	Altura de decision (DH)
"ONE HUNDRED"	100
One Hundred Tone (2 second 700 Hz)	100

Avisos audibles del radio altitud	Pies de altura en el que ocurre
“EIGHTY”	80
“SIXTY”	60
“FIFTY”	50
“FORTY”	40
“THIRTY FIVE”	35
Thirty Five Tone (1 second 1400 Hz)	35
“THIRTY”	30
“TWENTY”	20
Twenty Tone (1/2 second 2800 Hz)	20
“TEN”	10
“FIVE”	5

*Nota:* La tabla muestra los avisos de radio altitud a los respectivos pies de altura.

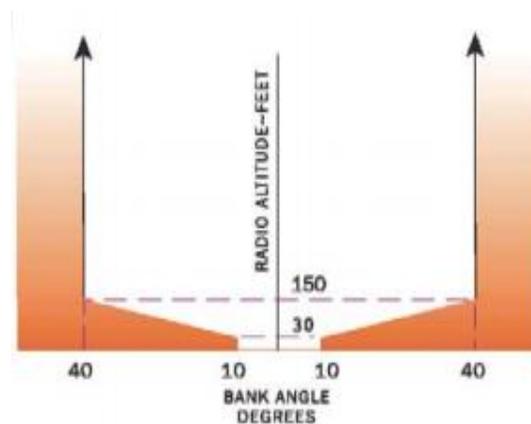
Tomado de (Honeywell, Skybrary, 2011).

El modo 6 también nos indica el aviso de un ángulo de banqueo excesivo cuyo aviso que es “**Bank angle**” se producirá cuando los ángulos excedan los siguientes:

- $\pm 10^\circ$  entre 5 y 30 pies
- $\pm 10^\circ$  a  $40^\circ$  entre 30 y 150 pies
- $\pm 40^\circ$  entre 150 y 2500 pies (Honeywell, Skybrary, 2011)

**Figura 31.**

*Aviso de ángulo de banqueo del modo 6*



*Nota:* La imagen muestra el ángulo de banqueo excesivo en los distintos grados.

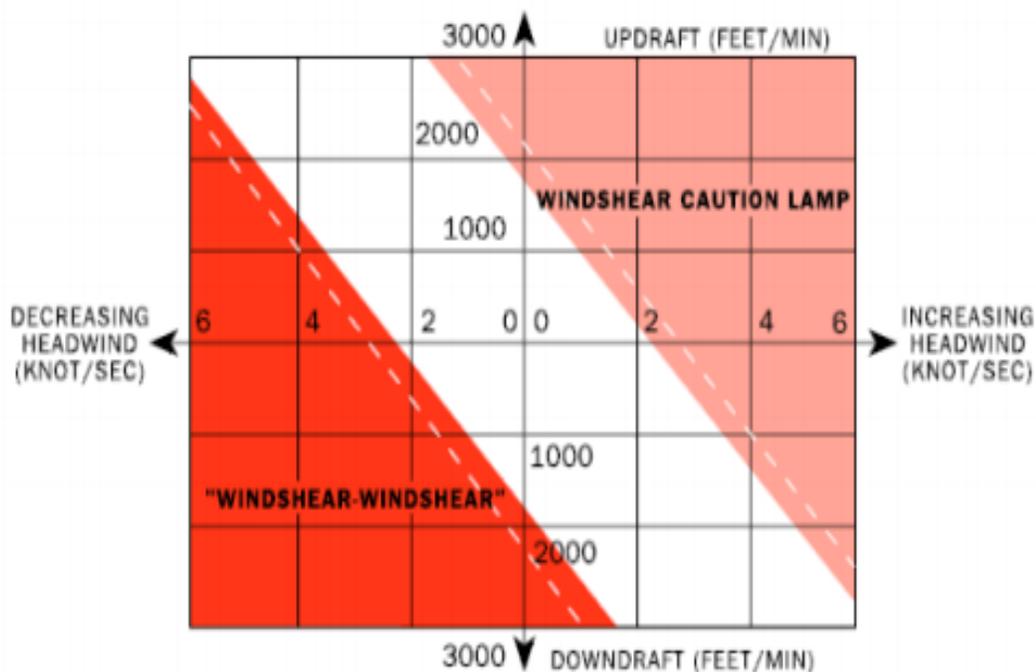
Tomado de (Honeywell, Skybrary, 2011).

- Modo 7: Este modo de operación proporciona dos tipos de alerta, una que se dará antes de entrar a la tormenta, esta primera será para precaución de manera tanto auditiva como visual con el accionamiento de luces de color ámbar para saber que nos estamos acercando a límite del umbral permitido.

(Honeywell, Skybrary, 2011)

**Figura 32.**

*Umbral para la activación del modo 7*

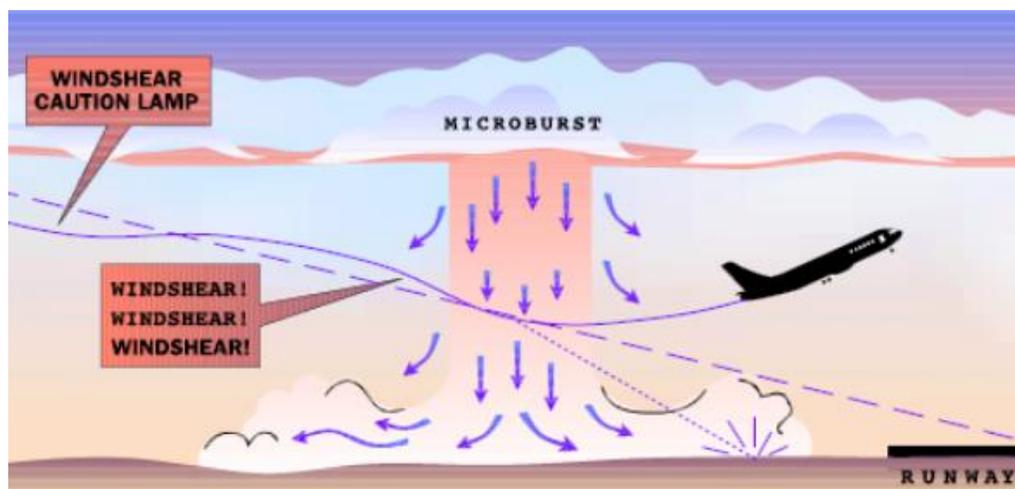


*Nota:* La imagen muestra el rango de umbral permitido entre el aumento y disminución de la corriente de aire. Tomado de (Honeywell, Skybrary, 2011).

La otra alarma se activará cuando la aeronave se encuentre en la tormenta y sobrepasara el umbral permitido, estas alertas serán auditivas y visuales donde se mostraran la activación de luces color roja y la de audio que sonaran "**Windshear, Windshear**". Estas alarmas sonaran mientras la aeronave se vea expuesta a condiciones que superen el umbral permitido por el EGPWS. El umbral se ajusta en función del rendimiento de ascenso disponible, el ángulo de la trayectoria de vuelo, entre otras. (Honeywell, Skybrary, 2011)

Figura 33.

Modo de operación 7



Nota: La imagen muestra la envolvente de cizalladura del viento a la que se ve expuesta la aeronave para que suene la alerta Tomado de (Honeywell, Skybrary, 2011).

Tabla 5.

Tabla de alertas de los modos de operación del sistema GPWS

Modo de Operación		Equipo Básico		Equipo Avanzado	
		Alerta	Alarma	Alerta	Alarma
1	Excesivo régimen de descenso	-	"Whoop Whoop Pull Up"	"Skin Rate"	"Whoop Pull Up"
2	Excesivo acercamiento al terreno	-	"Whoop Whoop Pull Up"	"Terrain, Terrain"	"Whoop Pull Up"
3	Perdida de altitud después del despegue	-	"Whoop Whoop Pull Up"	"Don't Sink"	-

Modo de Operación		Equipo Básico		Equipo Avanzado	
		Alerta	Alarma	Alerta	Alarma
4	El espacio libre del terreno no es seguro mientras no está en la configuración de aterrizaje	4A. Proximidad al terreno- Tren desbloqueados	-	“Whoop Whoop Pull Up”	“Too low gear” Whoop Pull Up”
		4B. Proximidad al terreno-Flaps no configurados para aterrizaje	-	“Whoop Whoop Pull Up”	“Too low Flaps” “Too low terrain”
5	Descenso por debajo del ILS glideslope	“Glideslope”	-	“Glideslope”	-
6	Descenso por debajo del mínimo	-	-	“Minimums”	-
7	Cambios en las corrientes de aire	-	-	“Windshear”	“Windshear”

*Nota:* Esta tabla indica las distintas alertas y alarmas que posee el GPWS en sus distintos modos de operación. Tomado de (Honeywell, Skybrary, 2011).

El EGPWS también cuenta con distintas variantes las cuales son utilizadas en aviones más ligeros, helicópteros, entre otros. Estas variantes del sistema de proximidad son las siguientes:

- MARK V: Es un sistema diseñado para aeronaves con aviónica digital el cual acepta una gran variedad de parámetros de la aeronave mediante la aplicación de algoritmos de alerta propios para proporcionar a la tripulación mensajes de alerta auditivos, anuncios visuales y visualización del terreno o de los obstáculos en la trayectoria de vuelo.
- MARK V-A: Este sistema es la mejora del MARK V el cual permite utilizar una base de datos del terreno con mayor resolución, actualizar la base datos y el

software a través de comunicación USB o Ethernet y tiene una mejora en su peso con una reducción del 15% y un aumento en su fiabilidad del 25%.

También alberga las siguientes funciones:

- Algoritmo de altitud geométrica supera las limitaciones de la altimetría barométrica como lo son las operaciones en tiempo frío.
  - Función del piso de despeje del campo de la pista (RFCF) proporciona una protección contra aterrizajes involuntarios.
- MARK VI: Es un sistema EGPWS de bajo costo utilizada especialmente en aviones turbohélice, contiene una base de datos regional de terreno, aeropuertos, obstáculos y no incluye el modo de operación 7 “windshear”, ya que no es necesaria para los aviones de turbohélice.
- MARK VII: Esta versión del EGPWS es ideal para aeronaves de ala fija que tengan componente de aviónica analógica o sean usadas para operaciones militares. Este sistema interactúa con el acelerómetro biaxial que es opcional si no se dispone de entradas del sistema de referencia inercial (IRS) o del sistema de referencia de rumbo (AHRS), también dispone de otros componentes los cuales son:
- La alerta del modo de operación 7 trabaja con algoritmos que puedan detectar aumento o disminuciones en el rendimiento de la aeronave
  - El algoritmo de altitud geométrica supera las limitaciones de la altimetría barométrica utilizada en operaciones con tiempo frío.
  - Visualización de picos que muestran el terreno de mayor y menor elevación dentro del rango de visualización a cualquier altitud.

- La inclinación automática del radar permite al EGPWS proporcionar datos de elevación del terreno a los radares compatibles para controlar la inclinación de la antena del radar durante su exploración
  - Cambio automático de la visualización del radar del terreno en caso de alerta lo que permite reducir el cargo de tareas del piloto.
- MARK VIII: Esta versión del sistema EGPWS está pensada para aviones Jets y turbohélices de gran envergadura para viajes intercontinentales. Este ofrece características muy similares a otros MARK con la diferencia que la configuración del sistema pueden ser controlada a través de un módulo programable.
- MARK XXI: Esta versión está pensada para helicópteros con reglas de vuelo visual (IFR) sin radio altímetro. Este incluye una propia base de datos mundial que incluye 11 regiones, terreno de alta resolución, aeropuertos, helipuertos, obstáculos y plataformas petrolíferas,
- MARK XXII: Esta versión está pensada para helicópteros con reglas de vuelo visual (IFR) con radio altímetro. El sistema cuenta con varios modos entre los cuales están los avisos de ángulos de inclinación excesivos, protección contra golpes de cola y autor rotación. Como la versión XXI este incluye una propia base de datos mundial que incluye 11 regiones, terreno de alta resolución, aeropuertos, helipuertos, obstáculos y plataformas petrolíferas. (Honeywell, Honeywell, s.f.)

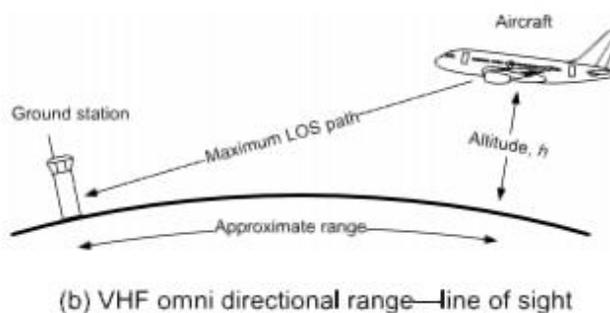
### **2.6.6 VOR (*Very High Frequency Omnidireccional Range*)**

El radiofaro VOR es un sistema de navegación que opera en la banda de frecuencias de 107.00MHz a 119.90 MHz. Esto quiere decir que operan como ondas espaciales. Los problemas del VOR se dan cuando este se cruza con ondas pertenecientes al rango de media frecuencia (MF) y de baja frecuencia (LF) ya que

estas no son parte del sistema VHF. La frecuencia que se le es asignada a cada estación o estación VOR se le denomina canal los cuales son 120 en total La separación que hay entre los canales cercanos es de aproximadamente 50 KHz. VOR-T opera en la banda de 108 a 112 MHz, con 80 canales separados por 50 KHz. A estas frecuencias la propagación es prácticamente en línea recta (de ahí el nombre de “radial”) o “línea de visión” lo que limita el alcance debido a la curvatura de la tierra en función de la altura del avión. (Pinto, s.f.)

### Figura 34.

*VHF omnidireccional Range*



*Nota:* La imagen muestra la línea de visión entre la estación en tierra y la aeronave.

### 2.6.7 ILS (*Instrument Landing System*)

El sistema de aterrizajes por instrumentos (ILS por sus siglas en inglés) es un sistema de aproximación cuyo funcionamiento se basa en un conjunto de radiofrecuencia que permiten obtener la posición en latitud, longitud y radial de precisión durante la etapa de aproximación y descenso. En caso de aterrizaje en condiciones atmosféricas que limiten considerablemente la visibilidad este procederá a brindar una dirección que servirá de guía a lo largo de la pista en que se está por aterrizar.

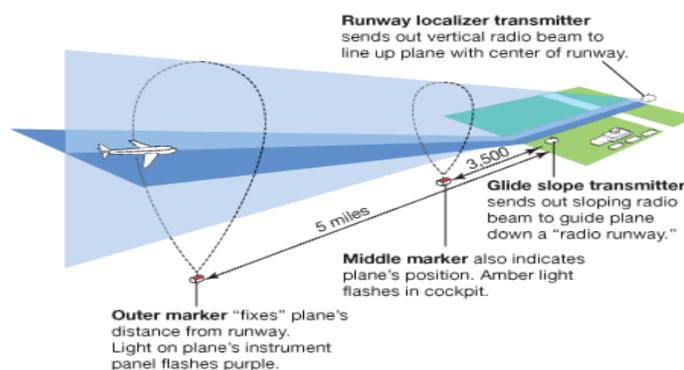
El sistema ILS sólo provee de servicios en la pista donde este se encuentre instalado, pero no brinda los servicios de guiado para las aeronaves que se encuentre

en tierra realizando taxi. Cuando la aeronave se encuentra en un espacio de tres dimensiones, necesita de los tres parámetros para poder definir su posición:

- En el plano horizontal: Desplazamiento en trayectoria con respecto al eje y prolongación de la pista.
- En el plano vertical: Pasa por el eje de pista, su desplazamiento se basa en la trayectoria de declive establecida como segura por encontrarse arriba de todos los obstáculos.
- La distancia que parte en el punto donde comienza el plano de la pista y puede utilizarse para aterrizar. (Piquero, s.f.)

**Figura 35.**

*Sistema de aterrizaje por instrumentos.*



*Nota:* La figura muestra como el indicador del localizador está cerca de la barra central (roja). Está establecido en el localizador y el indicador de planeo sigue en la desviación máxima (verde). Tomado de (Piquero, s.f.) (K, 2019).

### 2.6.8 *Glide Slope (Pendiente de planeo)*

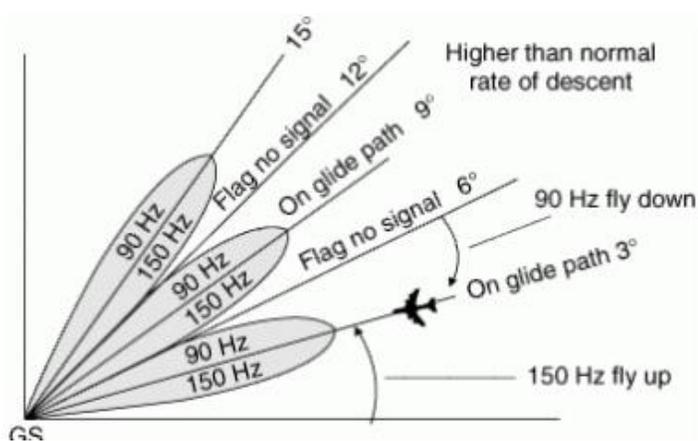
La antena glide slope (G/S) o senda de planeo es un componente perteneciente al sistema ILS que tiene como objetivo guiar a la aeronave hasta la zona de toque proporcionando así un descenso óptimo respecto a la velocidad y altitud en la que se encuentre. El GS transmite en un rango de frecuencia comprendido desde los 328.6 MHz hasta los 335.4MHz.

El sistema funciona por medio de una señal emisora de radiofrecuencia en la cual se aplica dos modulaciones al mismo tiempo, una de 90° que se encuentra por encima de la trayectoria superior y la segunda modulación que se encuentra 150° por debajo de la trayectoria inferior.

(Aeronuticapy, 2016)

#### Figura 36.

*Señal de frecuencia de la senda de planeo.*



*Nota:* La imagen muestra el ángulo de trayectoria en la senda del planeo comprendido entre 2° y 4°. Tomado de (Aeronuticapy, 2016).

### 2.6.9 *Localizador*

Los localizadores son antenas que se encuentran ubicadas a unos 300 metros del final de las pistas de los aeropuertos y proporcionan información desde unos 25 millas náuticas y permite recibir una guía lateral mediante dos haces de radio VHF que

se transmiten una frecuencia la cual está en un rango comprendido desde los 108.01 MHz hasta los 111.975MHz, la cuales se encuentran moduladas para que en caso que el avión vuele a la derecha o izquierda del localizador pueda encontrar el tono, estas frecuencias son:

- 90HZ si vuela de lado izquierdo
- 150Hz si vuela de lado derecho

El localizador también realiza la transmisión de su frecuencia mediante código morse de tal manera que la tripulación pueda realizar la comprobación de la frecuencia que se haya seleccionado y saber si esta es correcta y esta se encuentra operativa.

(Piquero, s.f.)

### **Figura 37.**

*Antena localizadora*



*Nota:* La figura muestra una antena localizadora al final de la pista. Tomado de (Pinto, s.f.).

#### **2.6.10 Marker Beacons**

Las balizas de señalización o marker beacons son los últimos transmisores de radios utilizados por el sistema de aterrizaje por instrumentos ILS. Estas balizas

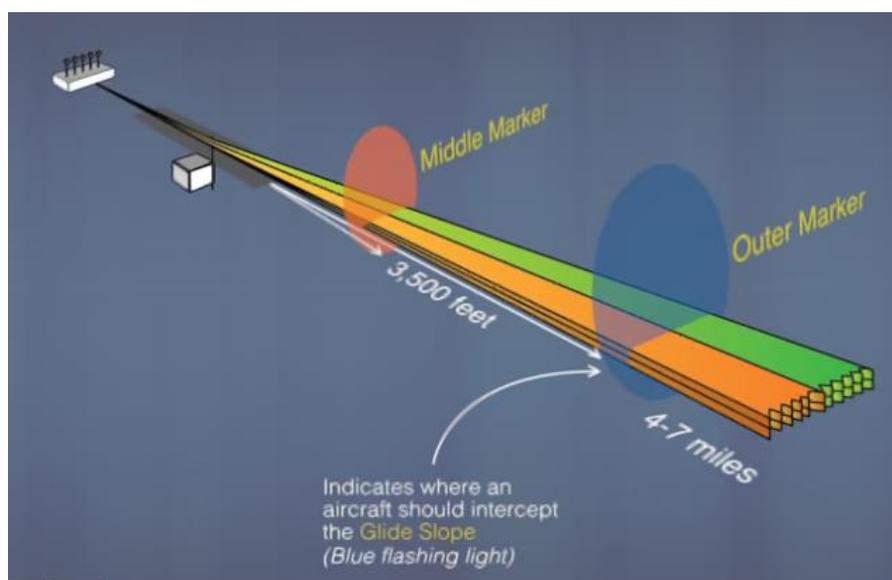
transmiten señales las cual permiten saber la posición de la aeronave en la a lo largo del trayecto de la senda de planeo hasta la pista. Este sistema está conformado por dos balizas las cuales son:

- Baliza externa o Outer Marker
- Baliza intermedia o Middle Marker

Un transmisor de baliza externa estará ubicado a una distancia de 4 o 7 millas del umbral de la pista, esta transmite una onda portadora de 75 MHz modulada con un tono de audio que tiene una frecuencia de 400 Hz hacia arriba para que el receptor encienda una luz azul en el panel de instrumentos y las baliza intermedia suele encontrarse situada a unos 3500 pies del umbral de la pista la cual transmite a una frecuencia igual a la externa de 75MHz pero con una tono mayor que es de 1300Hz y cuando el receptor capta la señal, esta encenderá una luz de color ámbar en el panel de instrumentos. (Administration, 2018)

### Figura 38.

*Marker Beacon.*



*Nota:* La imagen muestra las posiciones de las balizas en la senda de planeo. Tomado de (seal, s.f.).

### **2.6.11 DME(Distance Mesurement Equipment)**

Es un equipo de radio ayuda el cual se utiliza para medir la distancia entre un transmisor y un receptor (Transponder). El receptor DME también tiene otros usos como dar la indicación respecto al suelo mediante la respuesta de cambio de la medición realizada y el tiempo de vuelo hasta la estación transponedora. El sistema consiste en un transceptor DME de abordó, pantalla y antena así como la unidad DME que estará en tierra el cual permitirá al piloto conocer su ubicación con la aeronave con el rumbo desde el VOR a la distancia del punto conocido. Este sistema opera en un rango de frecuencia UHF que va desde los 962 MHz hasta los 1213MHz.

Su funcionamiento se basa en una señal portadora transmitida con una potencia que va desde los 50W hasta los 1000W desde la aeronave se modula con una cadena de pulsos de integración, la antena que se encuentra en tierra recibe estos pulsos modulados y los devuelve otra vez a la aeronave entonces se calcula el tiempo en que la señal es enviada y devuelta para transformarlos en millas náuticas lo cual hace posible la visualización en pantalla ya sea dedicada o parte de los distintos sistemas como lo son el EHSI, EADI o EFIS. Los canales de interrogación y respuestas del DME tienen distintas frecuencias las cuales son:

- Interrogación: 1025MHz – 1150MHz
- Respuestas: Ocupan dos rangos distinto de frecuencia de 962-1024 MHz y 1151-1213 MHz.
- Cada canal de interrogación está en conjunto con uno de respuesta específica ubicado a 63 MHz por debajo o encima, esto dependerá del canal de uso.

(Administration, 2018)

**Figura 39.**

Equipo de medición de distancia



*Nota:* La figura muestra los componentes que forman parte del DME. Tomado de (Realsimcontrol, s.f.).

### 2.6.12 IRS (Sistema de referencial inercial)

El sistema de referencial inercial es parte del sistema de navegación inercial el cual está compuesto a su vez por varios componentes el sistema de posicionamiento global (GPS), el sistema de referencia inercial de datos aéreos (ADIRS), los sistemas de radionavegación ADF, DME, ILS, balizas de señalización y VOR; el transpondedor y el radar meteorológico. (Theoryce, Slideshare, 2013).

**Figura 40.**

Panel IRS



*Nota:* La figura muestra los componentes del panel del sistema de referencia inercial.

Tomado de (IVAO, s.f.).

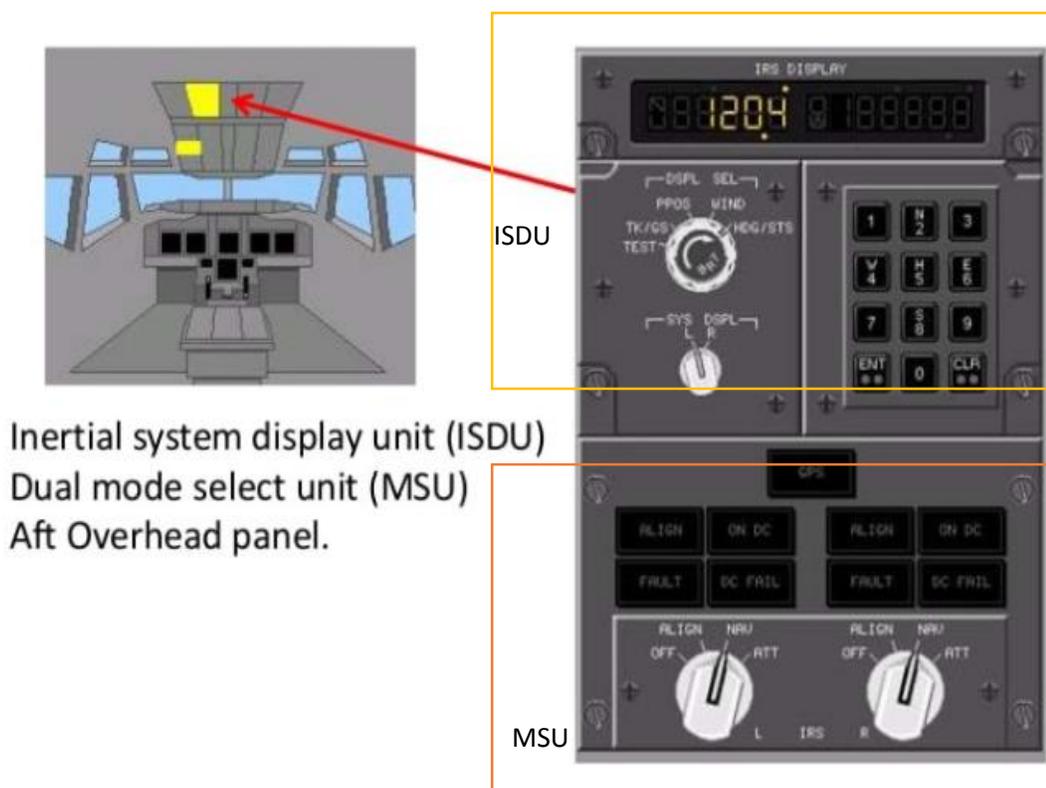
- **ADIRS:** El ADIRS permite obtener datos de vuelo como la posición, la velocidad, la altitud y la actitud para las pantallas de vuelo, los ordenadores de gestión de vuelo, los controles de vuelo, los controles del motor y todos los demás sistemas que requieren datos inerciales y aéreos. Está compuesto por componentes los cuales se encuentran ubicados en el overhead panel y el panel P5 como los son:

- MSU (Unidad de selección de modo Dual)
- ISDU (Unidad de visualización de sistema inercial)

(Theoryce, Slideshare, 2013)

**Figura 41.**

*Componentes principales del ADIRS*



*Nota:* La figura muestra los componentes ubicados en el overhead panel y el panel P5.

Tomado de (Theoryce, Slideshare, 2013).

- **MSU:** La unidad de los selectores de modo del sistema inercial tienen 8 luces indicadoras y 2 selectores de 4 posiciones, cada una con una función distinta las cuales son:
- 1) **OFF:** En esta función se pierde el modo de alineación y se quita toda la energía del sistema después de un ciclo de apagado de 30 segundos.
  - 2) **ALLING:** Al girar el selector desde la posición OFF hasta la posición de ALLING se inicia el ciclo de alineación mientras que al girar desde la posición NAV a ALIGN se actualiza de manera automática la alineación y se pone a cero el error de velocidad en tierra.
  - 3) **NAV:** Al completar el ciclo de alineación y la entrada de la posición actual de la aeronave en el modo NAV, toda la información del sistema de referencial inercial está disponible para los sistemas del avión y poder ejecutar todas las operaciones normales.
  - 4) **ATT:** Proporciona la información correspondiente de actitud la cual no es válida hasta el momento en que se desactive la luz de ALLING y la información de rumbo la cual no será proporcionada hasta introducir manualmente el rumbo magnético real después de que la luz del ALLIGN sea desactivada.
  - 5) **Luz de DC FAIL:** Es una luz de color ámbar la cual se enciende cuando se ha detectado algún fallo que afecta a los modos del IRS(modos ATT y modo NAV)
  - 6) **Luz de FAULT:** Es una luz de color ámbar que se activa cuando sucede alguna de los siguientes problemas:
    - Se ha detectado un fallo en la fuente de alimentación DC.
    - Se ha introducido manualmente una posición actual no válida.
    - Se ha perdido la alineación del IRS para el respectivo IRS.

- Se ha detectado un fallo del sistema que afecta a los modos IRS ATT o NAV.

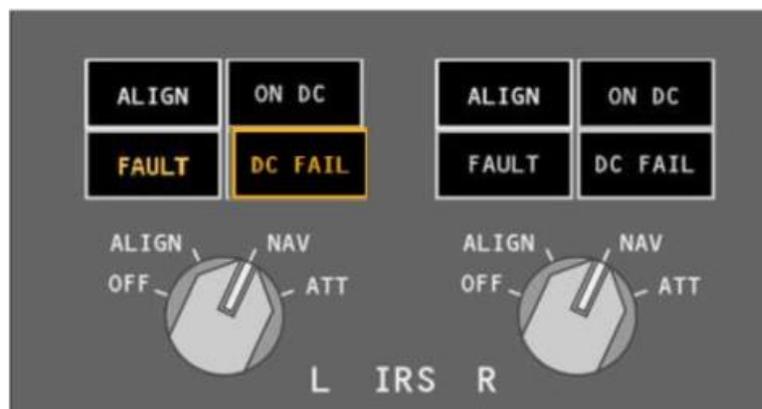
**7) Luz de alineación:** Es una luz de color blanco la cual puede estar apagada, intermitente o encendida continuamente.

- Apagado: El IRS no se encuentra operando en el modo de ALLING o cuando la alineación esta completa y el selector se encuentra en la posición de NAV con toda la información del IRS disponible.
- Intermitente: El proceso de alineación de se ha podido completar porque el sistema IRS ha detectado diferencia entre las anteriores y las introducidas previamente.
- Encendida: El IRS se encuentra operando en el modo alineación.

**8) Luz de ON DC:** Es una luz de color ámbar la cual se activa cuando la alimentación para el IRS no es normal, si las demás luces se encuentran apagadas significa que el IRS se encuentra normalmente trabajando con alimentación AC. (Theoryce, Slideshare, 2013).

**Figura 42.**

*Componentes del MSU.*



*Nota:* La figura muestra la luz de DC FAIL encendida mientras los selectores se encuentran en la posición NAV. Tomado de (Theoryce, Slideshare, 2013).

➤ **ISDU:** La unidad de sistema de visualización del sistema inercial esta compuesta por un display, dos selectores de distintas posiciones y un teclado los cuales cumplen las siguientes funciones:

- 1) **Display:** Este display contiene dos ventanas, que muestran distintos datos que se determinan normalmente por medio del selector de display.
- 2) **Selector de display (DYSPL SEL):** Este selector permite cambiar la entrada de dato que se tendrán en las dos ventas del display dependiendo la posición en la que se encuentre, las cuales son las siguientes. (Theoryce, Slideshare, 2013)

**Tabla 6.**

*Posiciones del selector de display y su función.*

<b>Posición</b>	<b>Ventana Izquierda</b>	<b>Ventana Derecha</b>
TEST	Todas las luces en las pantallas de datos y en la unidad de selector de modo se iluminan momentáneamente, seguidas por una auto-prueba de 10 segundos	Todas las luces en las pantallas de datos y en la unidad de selector de modo se iluminan momentáneamente, seguidas por una auto-prueba de 10 segundos
TK/GS	La ventana izquierda muestra la pista verdadera (rumbo).	Velocidad actual del terreno (Nudos)
PPOS	Muestra la latitud actual	Muestra la longitud actual
WIND	Muestra la dirección verdadera del viento en vuelo.	Muestra la velocidad actual del viento en vuelo (nudos).
HDG/STS	Muestra el rumbo verdadero actual	Muestra cualquier código de estado de mantenimiento aplicable

*Nota:* La tabla indica lo que mostrara cada ventana del display acorde a la posición del selector. Tomado de (Theoryce, Slideshare, 2013).

- 3) **Teclado:** Las pantallas de datos pueden ser controladas por el teclado cuando se presionan las teclas N, S, E, W (latitud/longitud) o H (rumbo) y CLR para borrar algún dato ingresado erróneamente en la pantalla de display. Al presiona una tecla alfa se arma el teclado para las siguientes entradas:
- Permiten la entrada manual de la posición actual cuando la luz ALIGN está iluminada.
  - Permiten la entrada manual del rumbo magnético cuando cualquiera de los selectores de modo está en ATT.
- 4) **Selector de Display:** Permite seleccionar las ventanas del display, en R la ventana derecha y en L la ventana izquierda. (Theoryce, Slideshare, 2013)

**Figura 43.**

*Componentes del ISDU.*



*Nota:* La imagen muestra los componentes que componen el ISDU. Tomado de (Theoryce, Slideshare, 2013).

Para realizar la alineación de la aeronave, esta debe permanecer inmóvil antes de que entre en el modo de navegación, esto ingresando los datos de su posición actual por medio del CDU perteneciente al FMC, de no poder introducirse de esta manera también se puede realizar a través del teclado del ISDU. Para la alineación se siguen los siguientes pasos:

1. Se gira el interruptor del MSU de OFF a NAV
2. EL IRS realizara una breve prueba de potencia y se encenderá la luz de ON DC
3. Se apaga la luz ON DC al terminar la prueba de potencia
4. Se encenderá la luz ALLING y esto indicara que el proceso de alineación abra comenzado

Una vez realizados estos pasos los datos correspondientes con el rumbo verdadero se combinan para determinar el rumbo magnético y de ser correcto todos los datos ingresados, este procederá a completar el proceso de alineación. (Theoryce, Slideshare, 2013)

## **2.7 Mantenimiento Aeronáutico**

El mantenimiento aeronáutico también denominado como MRO (manteinance, repair and overhaul) consiste en una serie de inspecciones recurrentes que se realizan mediante fuertes y estrictos procesos para garantizar la seguridad de las operaciones, las cuales son establecidas por la ICAO y supervisadas por medio de las autoridades regulatorias de cada país miembro. Estos procesos de mantenimiento se realizan a todo tipo de aeronaves civiles ya sean de uso privado o comercial. Entre los tipos de mantenimiento se pueden tener:

- **Mantenimiento programado:** Se realiza mediante el seguimiento de un plan establecido cuya finalidad es conservar la aeronavegabilidad de la aeronave.

- **Mantenimiento no programado:** Se realiza cuando se encuentra algún fallo repentino que ponga en riesgo la aeronavegabilidad de la aeronave.

### 2.7.1 Inspecciones periódicas

En el mantenimiento también se realizan inspecciones periódicas las cuales son generalmente por ciclo de operación o tiempo calendario. Estas inspecciones se pueden realizar basándose al manual de mantenimiento y varía acorde a la empresa a la que pertenezca la aeronave. (Mantenimiento, s.f.).

**Tabla 7**

*Denominación de inspecciones.*

<b>Tipo de inspección</b>	<b>Descripción de chequeo</b>	<b>Tiempo</b>
<b>Chequeo en tránsito</b>	Se realiza mientras la aeronave permanece en tierra	Cada que la aeronave está detenida durante un tiempo inferior a 4 horas.
<b>Chequeo de pernocta</b>	Son realizadas mientras la aeronave está en tierra aquí incluye el chequeo de tránsito.	Cada que la aeronave está detenida durante un tiempo mayor a 4 horas.
<b>Chequeo A</b>	Aquí se incluyen las tareas de tránsito y pernocta	Cada 100 horas de vuelo o 30 días calendario.
<b>Chequeo B</b>	Esta tarea incluye el chequeo de tránsito, pernocta y el tipo A	Cada 500 horas de vuelo o 120 días calendario.
<b>Chequeo C</b>	Esta tarea incluye el chequeo de tránsito, pernocta, el tipo A y B	Cada 3000 horas de vuelo o 24 meses calendario.
<b>Chequeo D</b>	Este chequeo incluye todos los anteriores se lo conoce también como "Maintenance Heavy Visit"	Cada 12000 horas de vuelo o 6 años calendario

*Nota:* La tabla muestra los tipos de inspecciones periódicas que se realiza en una aeronave. Tomado de (Mantenimiento, s.f.).

## 2.8 Software de simulación X-Plane 11

X-plane es un simulador de vuelo el cual es producido por Laminar Research cuyo creador principal es Austin Meyer que es compatible con diferente sistemas operativos tanto de computadora y celulares como:

- Windows
- MacOS
- Linux
- Android
- iOS
- webOS

Este Software fue lanzado el 30 de Marzo del 2017 de manera oficial porque también hubo un lanzamiento de la versión beta en el año 2016. El desarrollo de X-Plane 11 es preciosamente muy detallado por lo que la Administración Federal de Aviación (FAA) autorizo su uso para hardware específicos en la enseñanza e instrucción de pilotos en vuelos instrumentales.

(Gamer, 2020)

### 2.8.1 *Requisitos de software X-Plane 11*

X-Plane es un software muy detallado en todos sus aspectos, desde la aeronave hasta en la cantidad de pistas que posee las cuales son aproximadamente 3000 pistas o aeropuertos diferentes por lo que se debe tener en cuenta contar con un buen hardware para recibir la mejor experiencia posible que brinda este simulador, entre los requisitos están los siguientes:

#### **A. Requisitos minimos para Windows**

- Sistema Operativo: Windows 7, 8, 10 de 64 bits
- Procesador: Intel Core i3, i5 o i7

- Memoria RAM: 8Gb de RAM
- Gráficos: Tarjetas de video NVIDIA o AMD de 512 Mb compatibles con DirectX 11
- Almacenamiento: 20Gb

#### **B. Requisitos Recomendados**

- Sistema Operativo: Windows 7, 8, 10 de 64 bits
- Procesador: Intel Core i5 6600K a 3.5Ghz o mayor
- Memoria RAM: 16Gb de RAM
- Gráficos: Tarjetas de video NVIDIA o AMD de 4 Gb compatibles con DirectX 12
- Almacenamiento: 20Gb

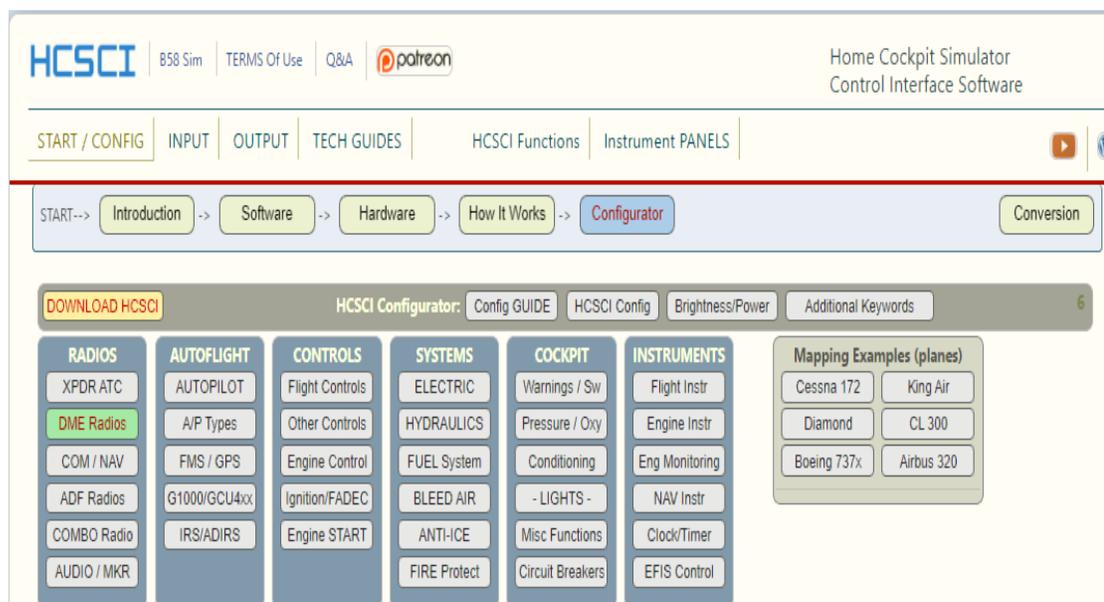
(Gamer, 2020)

### **2.9 HCSCI**

El software de interfaz de control de cabina casero o HCSCI por sus siglas en ingles es un software que se encuentra en constante actualización y permite la utilización de una interfaz muy amigable para el usuario para vincular los distintos componentes electrónicos y mecánicos de una cabina de aeronave al software de simulador de vuelo tomando en cuenta que este solo se puede realizar con el software X-Plane cuyo propósito programar directamente los distintos dispositivo de entradas y salidas como swtichs o leds de una manera más sencilla a una tarjeta madre como puede ser algún microcontrolador tipo Raspberry entre otras que se encuentran en el mercado utilizando los distintos lenguajes de programación que se acoplan automáticamente. (Realsimcontrol, s.f.)

**Figura 44.**

Software de interfaz de control de cabina casero.



*Nota:* La imagen muestra el entorno principal del HCSCI Tomado de (Realsimcontrol, s.f.).

## 2.10 IVAO

La organización de aviación virtual internacional es un software el cual está conformado por una red de aficionados bastante extendida tanto en Europa como en Latinoamérica mediante el cual se puede conectar al simulador de vuelo a una red (IvAp) que permite convertirse bien sea en pilotos o controladores de tránsito aéreo.

IVAO también provee de varios componentes bastante útiles como cartas de navegación las cuales se pueden encontrar en la página principal y son de mucha utilidades durante los vuelos, a su vez se pueden encontrar distintos manuales los cuales servirán de guía ya sea para iniciar procedimientos como pilotos o controlador de tránsito aéreo esto dependerá de lo que uno esté buscando realizar.

El objetivo de este software es permitir llevar a cabo una simulación mucho más realista mediante una comunicación por voz entre Piloto/ATC y también ayudar a los



## CAPITULO III

### **3 Desarrollo del tema**

#### **3.1 Descripción General**

El simulador de vuelo Boeing 737-800 será una herramienta de mucha utilidad para el desempeño académico de los estudiantes ya que a través de este se podrán realizar diferentes simulaciones en la cuales se verán las diferentes anomalías que puede presentar una aeronave ya sea en vuelo o en tierra por lo cual se realizaron chequeos operacionales de tal manera que se pudiera verificar el correcto funcionamiento de algunos sistemas pertenecientes a este simulador.

Para la elaboración del simulador se tuvo que realizar primeramente una adecuación interna y externa en la estructura y los distintos componentes pertenecientes al mismo para que este pudiera brindar la mayor comodidad y sensación de realismo posible para los usuarios que la vayan a utilizar.

#### **3.2 Generalidades del Simulador de vuelo Boeing 737-800**

El simulador de vuelo Boeing 737-800 se encuentra ubicado sobre una estructura de adoquín de tipo industrial para que soporte el peso de todo el simulador, este si contiene un CPU y 3 pantallas ubicadas en la parte del "main panel" que son utilizadas como paneles para proyectar los instrumentos de la aeronave como lo son el horizonte artificial, entre otros. A su vez se encuentra instalada una pantalla táctil la cual es utilizada para poder realizar la supervisión de todas las acciones que se realizan por lo que fue pensada para el uso del docente instructor o la persona que se encargara de supervisar todo lo que se realice en vuelo y 2 pantallas principales que es para ver todo lo que se encuentra alrededor de la simulación.

Dentro del simulador también podemos encontrar los paneles los cuales funcionan a través de microcontroladores ubicados en la parte trasera de estos junto a su cableado y distintos componentes electrónicos como lo son demultiplexores,

pulsadores, entre otros que servirán para el funcionamiento de los quipos como pedestal de potencia, el main panel, entre otros los cuales serán utilizados para la elaboración de los procedimientos que se deseen realizar hasta donde la autonomía del simulador tanto en hardware como en software nos permita.

**Figura 46.**

*Simulador de vuelo Boeing 737.*



*Nota:* La imagen muestra el interior del simulador de vuelo Boeing 737.

### 3.3 Equipos y Herramientas

**Tabla 8.**

*Tabla de herramientas y materiales.*

ETAPA 1	NOMBRE	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
	Taladro	1	Se utiliza para la perforación de materiales
	Mandil	1	Vestimenta para la protección personal
	Amoladora	1	Permite realizar cortes a distintos materiales
	Cierra de corte	1	Permite realizar cortes de forma manual
	Rociadora de pintura	1	Permite pintar el exterior de distintos materiales
Rehabilitación de	Martillo de cabeza plana	2	Utilizado para enderezar materiales
la parte externa	Desarmadores	NA	Herramienta para el ajuste y desajuste de componentes
del simulador			
	Lijas de numero 80, 240 y 400	NA	Utilizado para quitar impurezas de las superficies
	Disco para corte	6	Utilizado en la moradora
	Diluyente	1	Diluyente químico
	Planchas de aluminio	1	Lamina de aluminio

<b>ETAPA 1</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Rehabilitación de la parte externa del simulador	Remaches 1/8 y 5/32 pulgadas	200	Utilizado para asegurar superficies
	Brocas 1/8 y 5/32 pulgadas	15	Componente indispensable para utilizar en el taladro
<b>ETAPA 2</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Instalación del cableado para el suministro de energía eléctrica para el simulador	Cable concéntrico de aluminio para 110V	10 m	Cable para instalación eléctrica de alto voltaje
	Tubos de PVC	6	Tubos utilizados como canal para ingresar y proteger el cableado eléctrico.
	Caja Térmica	1	Se utiliza para colocar los breakers
	Desarmadores	NA	Herramienta de ajuste
	Multímetro	1	Sirve para medir magnitudes eléctricas

<b>ETAPA 3</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
	Pistola de pintura	1	Herramienta para pintar
	Tela	4	Usado como filtro para poner la pintura en la pistola
Procesos de anticorrosión y pintado de los exteriores del simulador de vuelo	Mandil	1	Equipo de protección corporal
	Fondo verde	2 gal	Material anticorrosivo
	Lijas 80,120	10	Material abrasivo para tratamiento de superficies planas
	Diluyente	5 L	Líquido químico para la limpieza de materiales
	Pintura blanca	2 L	Pigmento orgánico para recubrir y proteger la superficies
	Bate piedra mate	1 gal	Material de protección contra humedad y agentes atmosféricos

<b>ETAPA 4</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
	Cautín	1	Herramienta para soldar cables
	Diagonal	2	Herramienta para cortar cables

Playo de presión 1 Herramienta para sujetar piezas pequeñas

<b>ETAPA 4</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
	Taladro	1	Herramienta para hacer agujeros.
	Multímetro	1	Equipo de medición de magnitudes eléctricas
	Desarmadores	NA	Herramienta manual de ajuste o desajuste de tornillos
Instalación, configuración y programación de paneles en la cabina de simulación de vuelo	Llaves hexagonales 5/32, 1/8.	2	Herramienta en forma de L que sirve para ajustar o aflojar tornillos que contengan ese tipo de ranura
	Pantallas	6	Equipo que permite visualizar imágenes en tiempo real
	Computadora	1	Equipo informático utilizado el proceso y almacenamiento de información.
	Mouse	1	Equipo para el manejo del PC
	Teclado	1	Equipo que permite escribir en el PC
	Estaño para soldar	5 m	Material para soldar cables electrónicos
	Pasta de soldar	2	Material para soldar
	Cable flexible UTP	30 m	Material conductor eléctrico para circuitos electrónicos

Adhesivo rígido 4 Pegamento

<b>ETAPA 4</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Instalación,	Arduino mega	-	microcontrolador
configuración y	Potenciómetros	-	componente electrónico con resistencia variable
programación de	Pulsadores	-	componente electrónico
paneles en la	demultiplexores lógicos	-	Componente electrónico
cabina de	Luces leds	-	Componente electrónico
simulación de	Switchs de doble y triple	-	Circuito que permite y cierra el paso de corriente.
vuelo	posición		

*Nota:* La tabla indica los materiales utilizados en la elaboración del proyecto.

### **3.4 Instalación de las conexiones eléctricas para el simulador de vuelo**

Se instaló un cable concéntrico de aluminio para acometida que va conectado desde los disyuntores que se encuentran en la parte trasera de la universidad a un breaker de 20 amperios instalado dentro de una caja termina la cual se encuentra ubicada en el interior del simulador y suministra energía eléctrica por medio de los tomacorrientes y extensiones instaladas. Las extensiones y demás componentes permiten la conexión de todos los equipos como CPU y pantallas para la utilización del simulador de vuelo Boeing 737-800.

### **3.5 Rehabilitación estructural del Simulador**

Se realizó la remoción e instalación de planchas metálicas en los costados del simulador los cuales ya se encontraban dañados o cortados en ciertos lugares y gastados en otros de tal manera que mejorara su aspecto visual era conveniente remover algunos componente metálicos de la parte externa así y mejorar su resistencia estructural por medio de la instalación y remplazo de estos componentes estructurales, a su vez se añadieron perfiles metálicos en la parte baja del simulador para mejorar su aspecto visual externo y tapar de esta manera también cualquier abertura que se encuentre en el simulador de manera externa para evitar la filtración de agua.

Para el ingreso al simulador también se construyó una estructura en forma de escalera la cual servirá de ayuda para el ingreso ya que este no contaba con uno y se hacía difícil acceder dentro de la cabina siento esto una situación que a largo plazo podría dar problemas para su utilización de tal manera que se decidió elaborar esta estructura para la seguridad y comodidad al momento de ingresar al simulador de vuelo.

**Figura 47.**

*Instalación de planchas metálicas en la parte trasera del simulador.*



*Nota:* La figura muestra la parte externa trasera superior e inferior donde fueron removidos ciertos componentes metálicos y se añadieron nuevos.

Una vez realizado el trabajo de reparación en la estructura se procedió a realizar el trabajo de adecuación en el cono de nariz que consistía en realizar los procesos de lijado para quitar todas las impurezas que se encontraban en el exterior del componente para así poder realizarle el respectivo tratamiento anticorrosivo y de pintura de tal manera que la lluvia no afectara en el material interno de la nariz y poder posteriormente pasar a su instalación en la parte delantera del simulador.

Una vez realizado los tratamientos correspondientes del cono de nariz se procedió a lijar el resto de la parte externa de la cabina para poder realizar el proceso de anticorrosión en la estructura externa de tal manera que mejoraría la durabilidad y la resistencia a las diversas condiciones climáticas a las que se pueda ver expuesta. Posteriormente a los procesos de anticorrosión se pudo realizar los procesos de pintado con las capas de pintura correspondientes sin ningún inconveniente.

**Figura 48.**

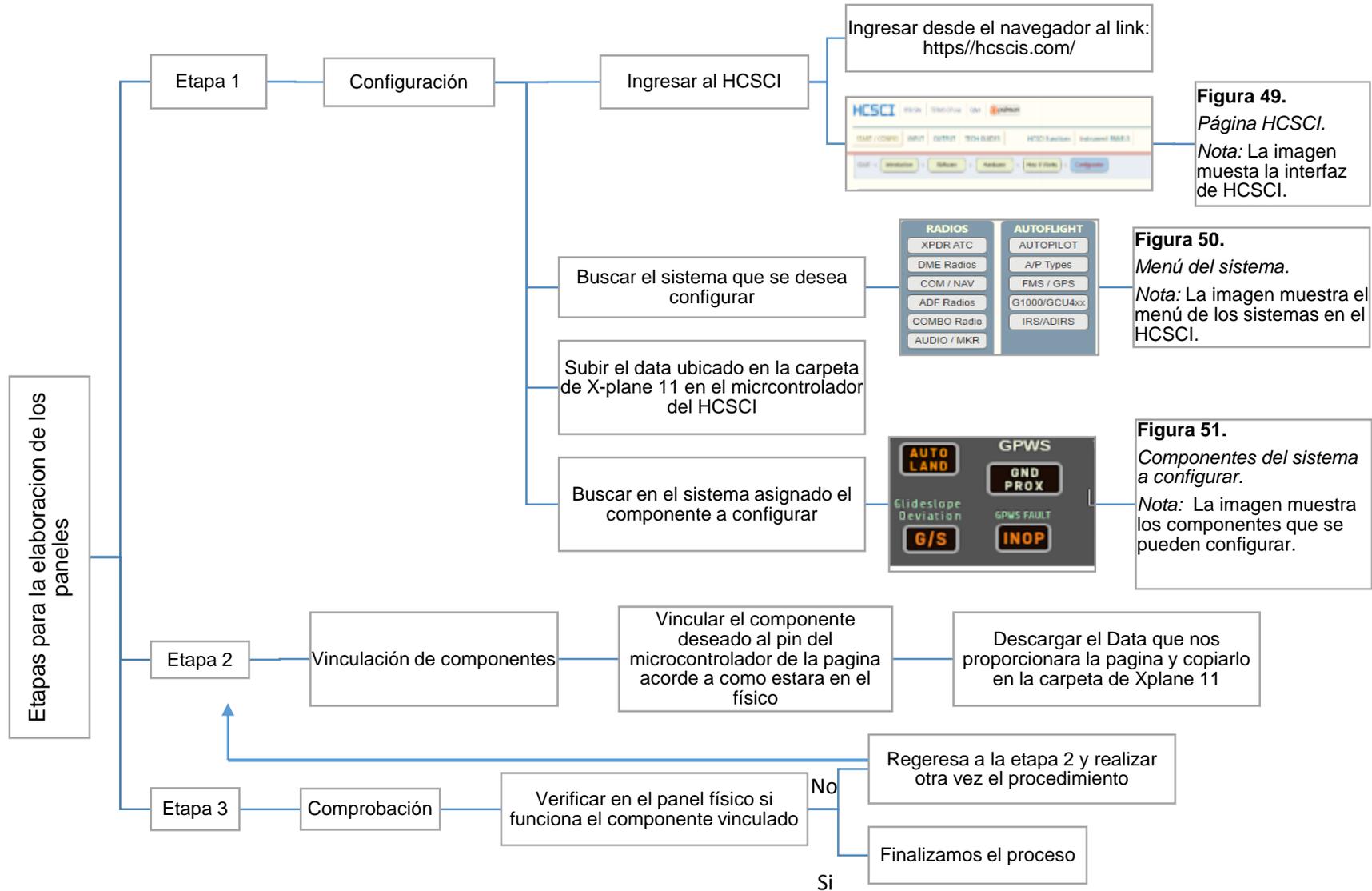
*Instalación del cono de nariz del simulador.*

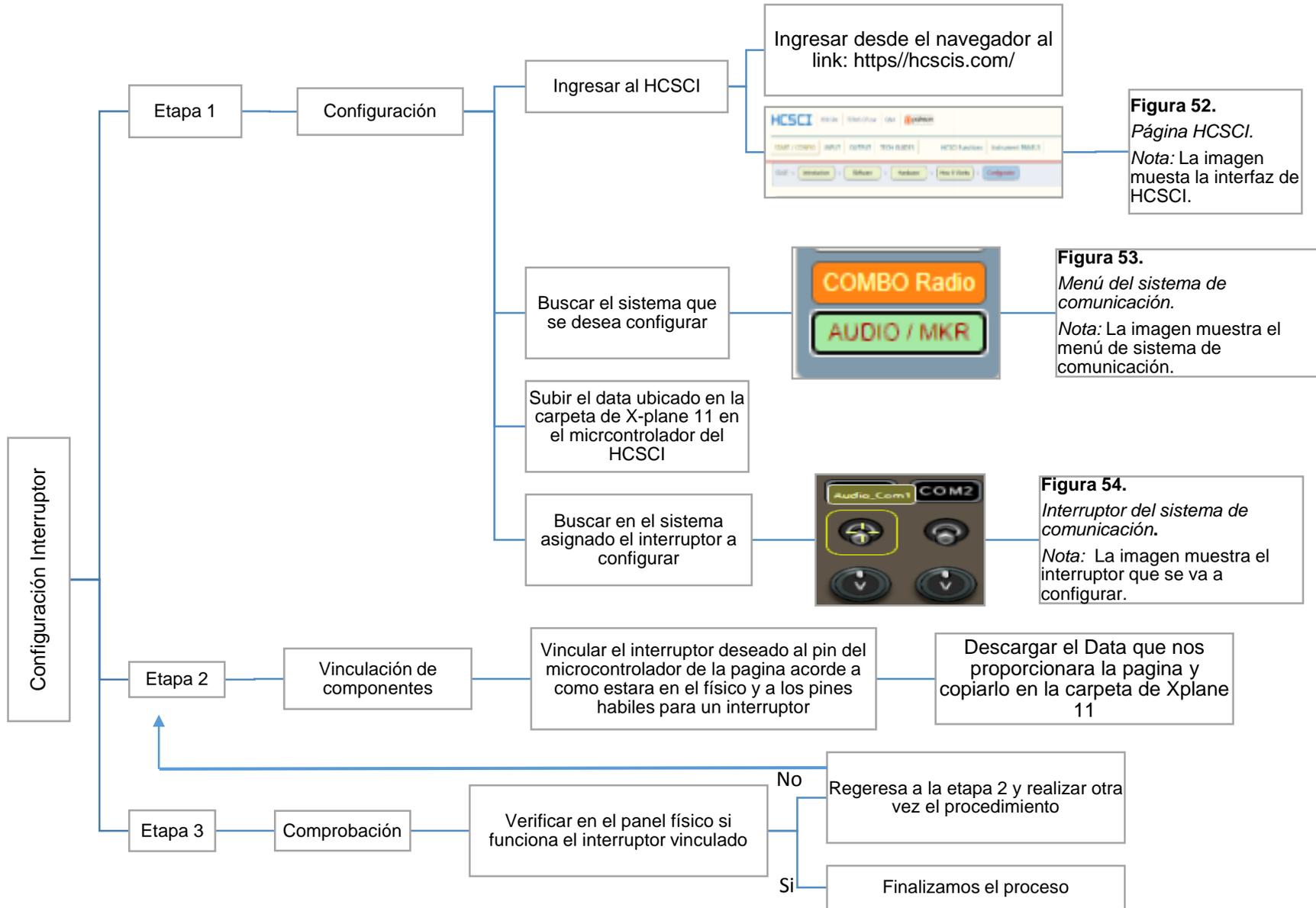


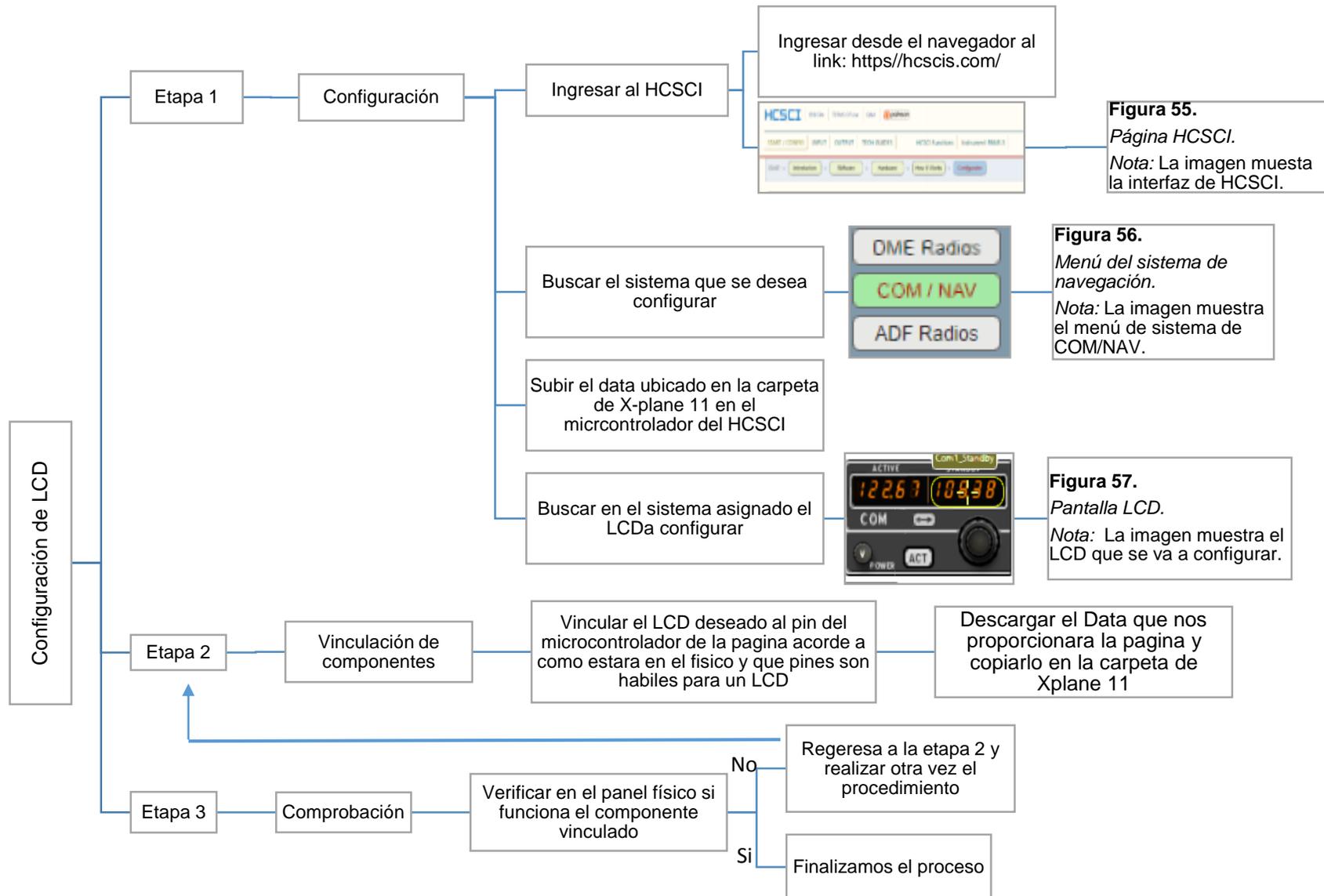
*Nota:* La imagen muestra la cabina ya pintada y la instalación del cono de nariz.

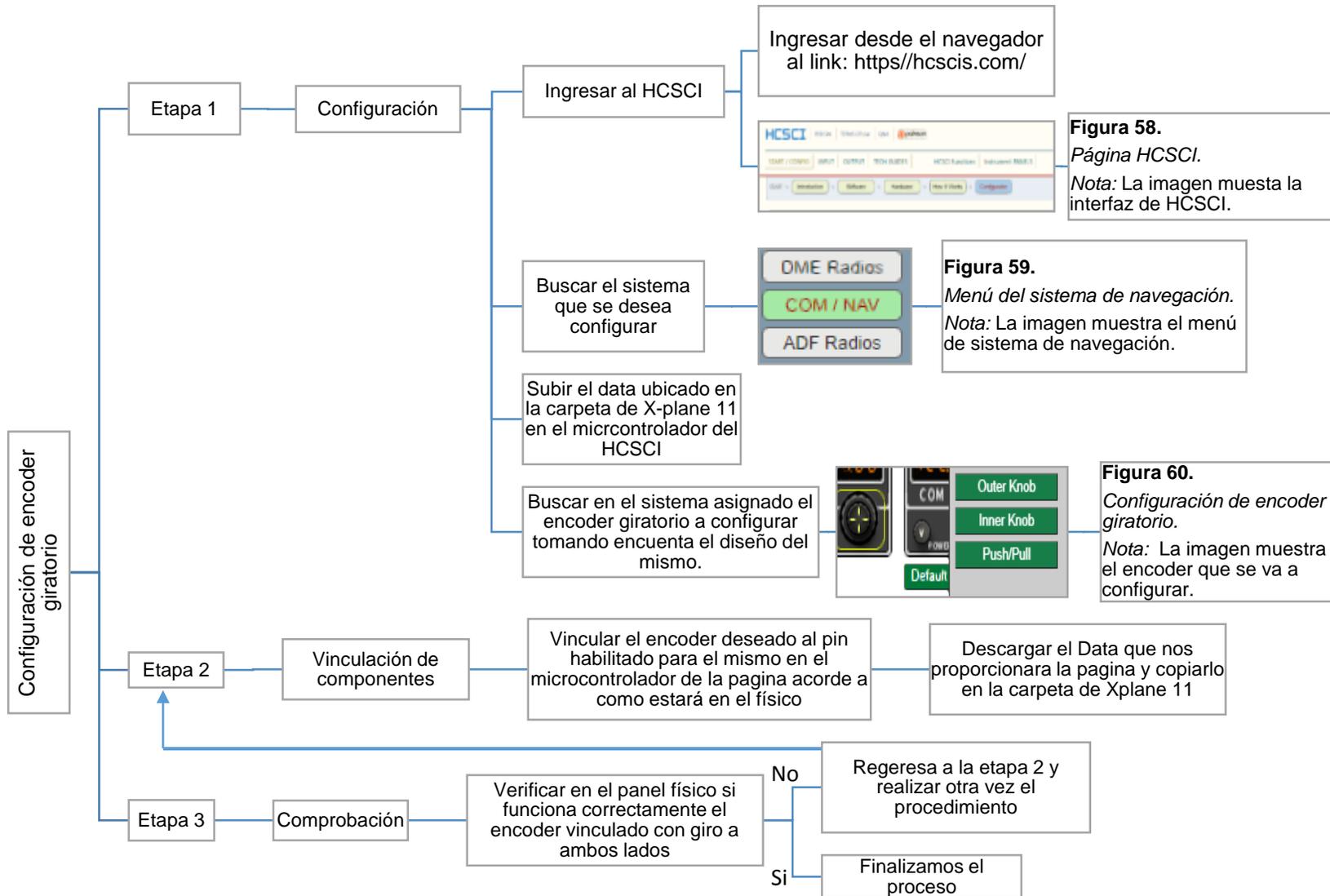
**3.6 Instalación de los paneles**

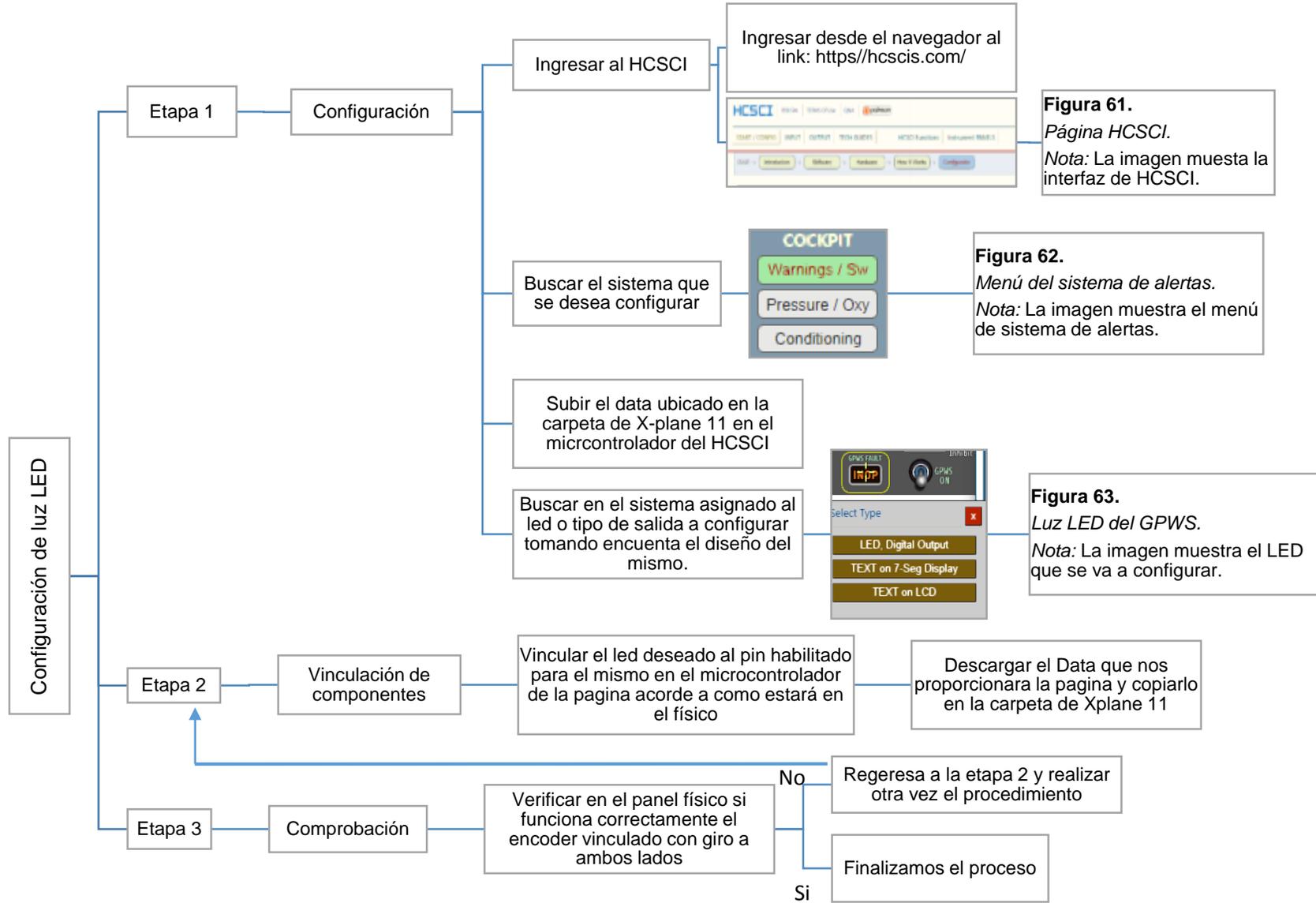
Se realizaron los debidos marcos donde irían instalados los paneles dentro de la cabina tomando en cuentas las dimensiones tanto de los paneles que se instalaron como las dimensiones del lugar donde irían ubicados. Se conectaron las extensiones para la conexión del CPU el cual brindaría de energía a los microcontroladores que serían los encargados de controlar los distintos dispositivos de entradas y salidas instalados en los paneles, también para la conexión de las pantallas donde se visualizarían los instrumentos y el entorno de simulación.











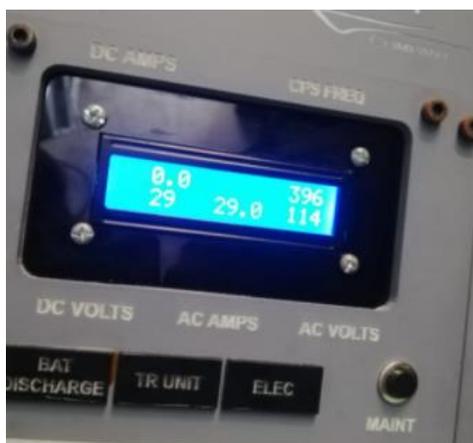
### 3.7 Chequeo Operacional Sistema de Navegación

#### Preparar la prueba

1. Se suministró energía eléctrica a la aeronave simulada

#### Figura 64.

*Panel indicador de energía eléctrica.*



*Nota:* La imagen muestra el LCD indicando el voltaje, corriente y frecuencia en la aeronave simulada.

2. Se aseguró de que el IRS N° 1 está en modo NAV

#### Figura 65.

*MSU del IRS en modo NAV.*



*Nota:* La figura muestra los selectores del IRS en modo NAV tanto en físico como en software.

3. Se aseguró de que la luz GPWS INOP está apagada.

**Figura 66.**

*Indicación de la luz INOP.*



*Nota:* La figura indica que la luz INOP del GPWS se encuentra apagada.

4. Se verificó que los interruptores FLAP INHIBIT y GEAR INHIBIT estén en la posición NORMAL.

**Figura 67.**

*Comprobación de interruptores del GPWS.*



*Nota:* La imagen muestra los interruptores de los flaps y el tren en modo normal.

### Autocomprobación del GPWS

Se aseguró de que la luz INOP se enciende.

#### Figura 68.

*Luz INOP encendida.*



*Nota:* La figura muestra el sistema GPWS funcionando y con el indicador visual (Luz INOP) cumpliendo su función.

5. Se presionó el interruptor SYS TEST en el panel del GPWS durante 10 segundos.

#### Figura 69.

*Pulsador SYS TEST presionado*

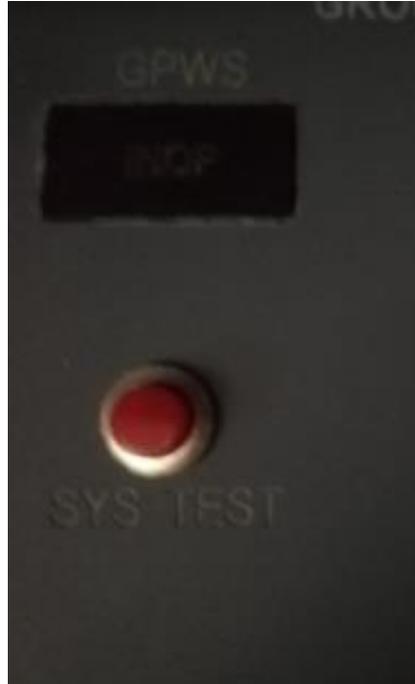


*Nota:* Se pulso el botón de SYS TEST por 10 segundos.

6. Se comprobó de que la luz INOP se encontrara encendida. Ver figura 53
7. Se comprobó de que las indicaciones auditivas y visuales se produzcan.
8. Una vez terminadas las alertas, se verificó de que la luz INOP se apaga.

**Figura 70.**

*Luz INOP del GPWS apagada*



*Nota:* La figura muestra el indicado de luz INOP apagado luego de realizar el proceso de comprobación del sistema.

9. Quite la energía eléctrica si no es necesario

10. FIN DE LA TAREA

**3.8 Chequeo operacional del sistema comunicación.**

1. Se suministró energía eléctrica en la aeronave simulada.
2. Se comprobó que los LCD del panel central del simulador estén encendidos.
3. Se verificó que los LCD del panel central del simulador en el software se encontraran encendidos.

**Figura 71.**

*LCD de los Paneles centrales encendidas*



*Nota:* La imagen muestra que las pantallas LCD tanto en software como en hardware se encuentran funcionando.

4. Se comprobó que la frecuencia se mostraba en las LCD del panel central tanto en hardware como en software.

**Figura 72.**

Frecuencias en los paneles centrales

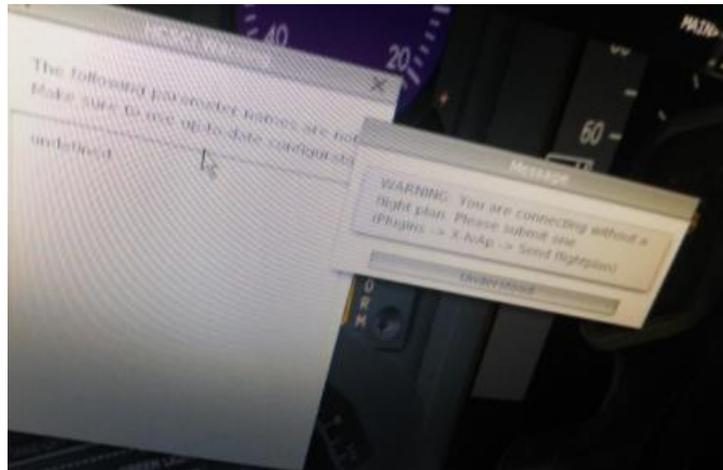


*Nota:* La imagen muestra la misma frecuencia en las LCD del panel central tanto en hardware como en software.

5. Se realizó la vinculación de comunicación virtual a través del plugin IVAO.

**Figura 73.**

Conexión del plugin IVAO

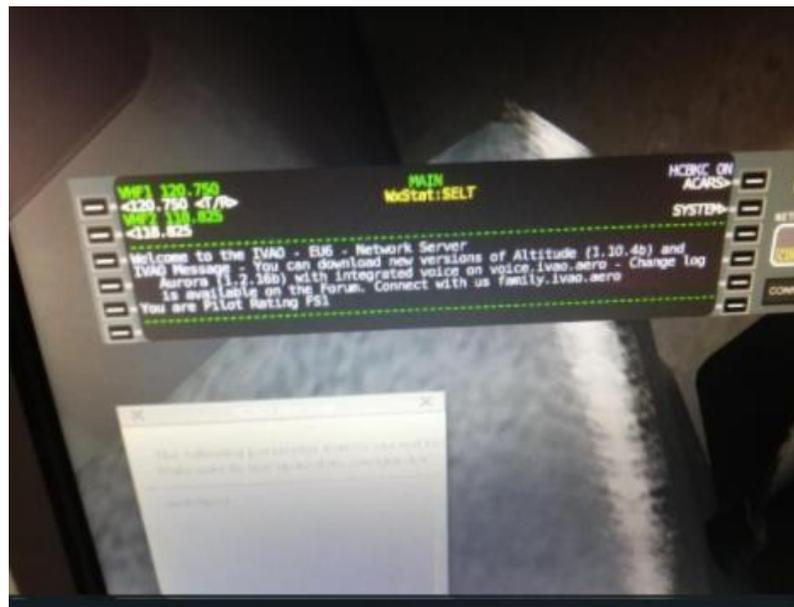


*Nota:* La figura muestra la indicación de que se conectó a IVAO.

6. Se comprobó que estuviéramos conectados a un servidor de IVAO en la parte main del plugin.

**Figura 74.**

Plugin de IVAO

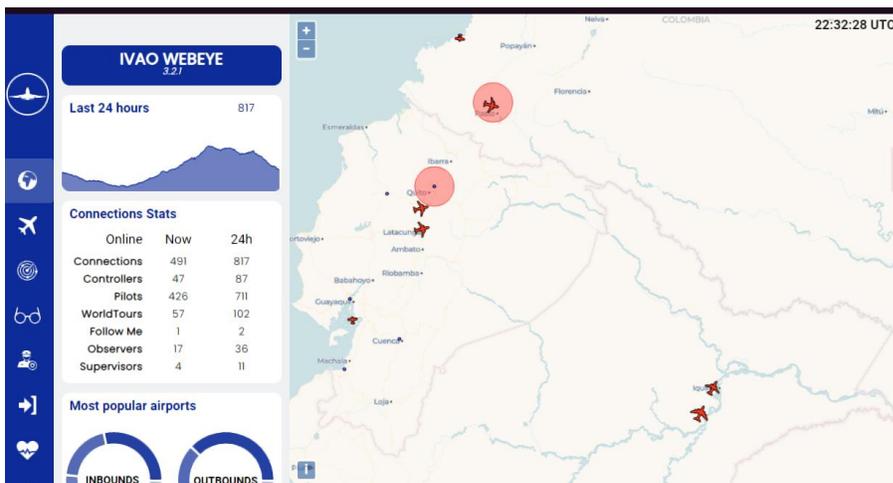


*Nota:* La figura muestra el plugin de IVAO mostrando el servidor donde estamos conectados.

7. Se buscó en el mapa virtual Webeye de IVAO una torre de control que estuviera radiando

**Figura 75.**

*Mapa virtual de IVAO*

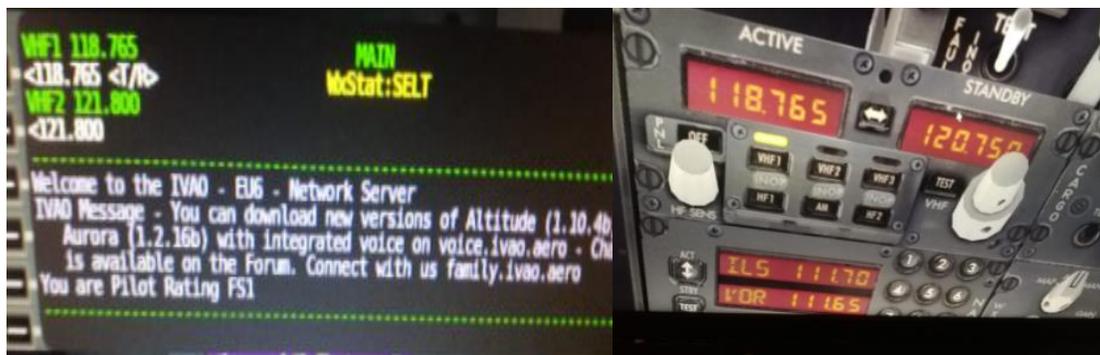


*Nota:* La imagen muestra el mapa virtual de IVAO con las torres (círculos rojos) que se encuentran funcionando en ese momento a nivel mundial.

8. Se verificó que la frecuencia mostrada en el plugin de IVAO de nuestro simulador sea la misma que se muestra en las pantallas LCD tanto de la aeronave simulada en software como la de los paneles físicos.

**Figura 76.**

*Frecuencia vinculada en software y hardware.*

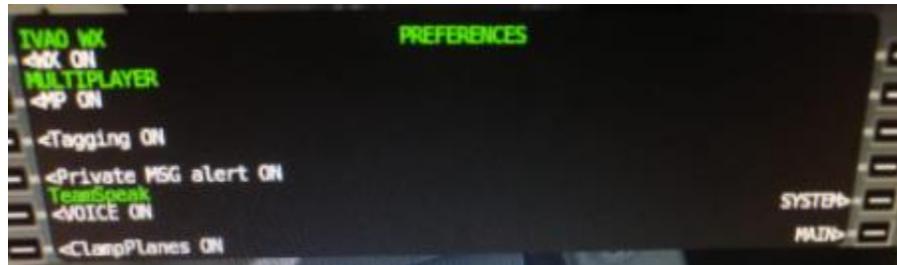


*Nota:* La imagen muestra la indicación de frecuencia del ATC en IVAO.

9. Se verificó que la comunicación por voz estuviera activada mediante IVAO

**Figura 77.**

*Comprobación de la activación de voz para comunicación.*



*Nota:* La figura muestra que la activación de voz y enlace online se encuentran activadas.

10. Se realiza la comunicación para pedir información de legibilidad de audio con el ATC.

11. Fin de la tarea.

## CAPITULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 CONCLUSIONES

- Por medio de la implementación de componentes electrónicos como lo fueron pantallas LCD, pulsadores, interruptores, selectores, luces led, micrófonos, parlantes, potenciómetros y otros elementos para el funcionamiento de los distintos paneles pertenecientes al sistema de comunicación y navegación del simulador de vuelo a través de la comunicación con las placas arduino y el software HCSCI se pudo comprobar que las tareas de mantenimiento realizadas para verificar el funcionamiento de los mismos fueron cumplidas con éxito y servirán para el aprendizaje de los estudiantes durante su formación.
- Mediante la información técnica adquirida a través de los manuales de mantenimiento ATA 34 sección 42-01-735-015, se pudo comprobar que la tarea de acerca del funcionamiento del sistema de advertencia de proximidad al suelo (GPWS) es correcto y funciona de la misma manera en la que opera en una aeronave real, dando las indicaciones pertinentes acorde a los modos de operación en las que se encuentra a través de las alertas de sonido e indicadores visuales que posee el simulador tanto en despegue, aterrizaje, vuelo y durante los procedimiento antes del despegue.
- A través de la página IVAO y su plugin el cual se añade directamente en el software X-Plane 11 se pudieron realizar los procesos de comunicación al seleccionar las frecuencias de los ATC las cuales se pueden encontrar webeye siempre y cuando estas estén siendo operadas por otro usuario como controlador de tránsito aéreo con el cual se interactuó mediante comunicación por voz y así se pudo comprobar el funcionamiento correcto de los dispositivos de comunicación del simulador.

## 4.2 RECOMENDACIONES

- Comprobar que los dispositivos de conectividad a internet pertenecientes al simulador se encuentren conectados antes de realizar cualquier proceso de comunicación ya que de no haber conexión de internet el plugin para realizar el proceso antes mencionado con la torre de control no se conectara a la red de IVAO y será imposible realizar cualquier tipo de procedimiento transmisión y recepción de datos, tener en cuenta a su vez todos los componente electrónicos se encuentren ubicados en los pines correspondientes al arduino o a cada demultiplexor donde vaya asignado y comprobar que estos no estén desoldados.
- Realizar la revisión de los plugin añadidos al software X-Plane 11 como IVAO y HCSCI ya que estos se encuentran en constantes actualizaciones que permiten facilitar su utilización para el usuario, tener en cuenta que IVAO pronto tendrá una versión mejorada la cual será ALTITUDE que brinda una mejor interfaz más amigable para su utilización y con mayor número de usuarios para realizar cualquier tipo de comunicación.
- Se recomienda darle los permisos necesarios de internet al simulador de vuelo para que pueda funcionar sin restricciones ya que ciertos plugins del software X-Plane 11 funcionan con conexión a internet y al ser considerado como un juego por la red de la universidad este no puede realizar la conexión correctamente y se requiere conectarlo a través de datos de navegación a través de un dispositivo celular o algún otro medio lo que implica complicaciones al momento de realizar algún tipo de práctica en el mismo.

## Bibliografía

- Administration, F. A. (2018). *FAA*. Recuperado el 14 de Junio de 2021, de FAA:  
[faa.gov/regulations\\_policies/handbooks\\_manuals/aviation/media/amt\\_airframe\\_hb\\_vol\\_2.pdf](https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/media/amt_airframe_hb_vol_2.pdf)
- Aeronuticapy. (25 de Agosto de 2016). *Aeronauticapy*. Recuperado el 14 de Junio de 2021, de Aeronauticapy: <https://aeronauticapy.com/2016/08/25/funcionamiento-del-sistema-de-aterrizaje-por-instrumentos-ils/>
- Aviation, P. (21 de Enero de 2021). *Professional Aviation*. Recuperado el 6 de Mayo de 2021, de Professional Aviation:  
<https://professionalaviationschool.com/es/sistema-anticolision-del-avion-como-funciona-el-gpws/>
- Avutarda, E. v. (10 de Octubre de 2019). *Blogger*. Recuperado el 17 de Mayo de 2021, de Blogger: <https://greatbustardsflight.blogspot.com/2019/10/el-radio-altimetro.html>
- Boeing. (s.f.). *Aircraft Maintenance Manueal*. Recuperado el 3 de Mayo de 2021
- Boeing. (s.f.). *Boeing*. Recuperado el 3 de Mayo de 2021, de Boeing:  
<https://www.boeing.es/productos-y-servicios/commercial-airplanes/737ng.page>
- Buchanan, C. (19 de Octubre de 2016). *Slideshare*. Recuperado el 22 de Mayo de 2021, de Slideshare: <https://es.slideshare.net/LicChristianBuchanan/sistema-cnsatm-aviacin-civil-oaci>
- Coridio. (12 de Junio de 2006). *Blogspot*. Recuperado el 13 de Mayo de 2021, de <http://coridio.blogspot.com/2006/06/volando-en-red-1-que-es-ivao.html>
- DGAC. (Julio de 2009). *Aviacioncivil*. Recuperado el 13 de Junio de 2021, de Aviacioncicil: <https://www.aviacioncivil.gob.ec/biblioteca/>

EnEIAire. (10 de Noviembre de 2019). *EnEIAire*. Recuperado el 11 de Junio de 2021, de

EnEIAire: <http://enelaire.mx/un-vistazo-a-la-historia-del-avion-comercial-mas-famoso-del-mundo-boeing-737/>

ESOPO. (s.f.). *ESOPO*. Recuperado el 27 de Junio de 2021, de ESOPO:

<https://iie.fing.edu.uy/proyectos/esopo/eem/>

Fernandez, M. A. (17 de Junio de 2017). *Certificacion Aeronautica*. Recuperado el 12 de

Julio de 2021, de Certificacion Aeronautica:

<https://certificacionaeronauticasite.wordpress.com/2017/06/16/certificacion-aeronautica/>

Gamer, P. (Septiembre de 2020). *X-Plane*. Recuperado el 15 de Junio de 2021, de

<https://www.x-plane.com>

Haro Balseca, N. R., & Benavides Montenegro, G. V. (Abril de 2005). *REPOSITORIO*

*DSPACE*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/3305>

Honeywell. (8 de Agosto de 2011). *Skybrary*. Recuperado el 27 de Julio de 2021, de

<https://skybrary.aero/bookshelf/books/3364.pdf>

Honeywell. (s.f.). *Honeywell*. Recuperado el 27 de Julio de 2021, de

<https://aerospace.honeywell.com/us/en/learn/products/terrain-and-traffic-awareness>

ICAO. (Enero de 2012). *ICAO*. Recuperado el 30 de Julio de 2021, de

[https://www.icao.int/NACC/Documents/frequencies/Int\\_List3A.pdf](https://www.icao.int/NACC/Documents/frequencies/Int_List3A.pdf)

IVAO. (s.f.). *IVAO*. Recuperado el 29 de Julio de 2021, de IVAO:

[https://mediawiki.ivao.aero/index.php?title=Inertial\\_Navigation\\_Systems](https://mediawiki.ivao.aero/index.php?title=Inertial_Navigation_Systems)

K, E. (13 de Marzo de 2019). *Studyflying*. Recuperado el 28 de Junio de 2021, de

<https://studyflying.com/ils-instrument-landing-system/>

Lleufó, R. (31 de Julio de 2008). *Blogspot*. Recuperado el 21 de Mayo de 2021, de

<http://todosobre737.blogspot.com/2008/07/comunicaciones.html>

- Mantenimiento. (s.f.). *Mantenimiento*. Recuperado el 16 de Junio de 2021, de <https://mantenimiento.win/mantenimiento-aeronautico/>
- Mazó, E. G. (9 de Abril de 2017). *AviacionOnline*. Recuperado el 29 de Mayo de 2021, de <https://www.aviacionline.com/2017/04/a-50-anos-del-primer-vuelo-del-737-el-baby-boeing/>
- Ontiveros, J. (s.f.). *Hispaviacion*. Recuperado el 14 de Junio de 2021, de Hispaviacion: <https://www.hispaviacion.es/comunicaciones-aeronauticas-para-el-futuro-y-mas-alla-2/>
- Ordóñez, J. L. (20 de Junio de 2017). *AUTORES CIENTÍFICO-TÉCNICOS Y ACADÉMICOS*. Recuperado el 14 de Junio de 2021, de [https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias\\_y\\_tecnologia/062017.pdf](https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/062017.pdf)
- Page, R. L. (2000). PennState. 5-6. Recuperado el 29 de Junio de 2021, de Pennstate: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.132.5428&rep=rep1&type=pdf>
- Pinto, R. P. (s.f.). *Agamenon*. Recuperado el 26 de Julio de 2021, de <http://agamenon.tsc.uah.es/Asignaturas/it/rd/apuntes/5-4.pdf>
- Piquero, F. (s.f.). *Hispaviacion*. Recuperado el 26 de Julio de 2021, de <https://www.hispaviacion.es/sistema-instrumental-de-aterrizaje-el-ils/>
- Quimrubau. (15 de Mayo de 2009). *Slideshare*. Recuperado el 3 de Agosto de 2021, de <https://es.slideshare.net/quimrubau/gpws-022-03-03-00-1438790>
- Realsimcontrol. (s.f.). *Realsimcontrol*. Recuperado el 29 de Julio de 2021, de [hcscis.com/config.html](http://hcscis.com/config.html)
- seal, G. (s.f.). *Goldmethod*. Recuperado el 30 de Julio de 2021, de [https://www.goldmethod.com/course\\_page/1,32,19,0](https://www.goldmethod.com/course_page/1,32,19,0)
- Theoryce. (15 de Febrero de 2013). *Slideshare*. Recuperado el 1 de Agosto de 2021, de <https://es.slideshare.net/theoryce/b737ng-irs>

- Theoryce. (20 de Diciembre de 2013). *Slideshare*. Recuperado el 1 de Agosto de 2021, de <https://es.slideshare.net/theoryce/b737-ng-communications>
- transmisión, M. d. (23 de Abril de 2016). *Blogger*. Recuperado el 27 de Julio de 2021, de [http://mdtviridianaggr.blogspot.com/2016/04/radio-enlaces-de-vhf-y-uhf\\_23.html](http://mdtviridianaggr.blogspot.com/2016/04/radio-enlaces-de-vhf-y-uhf_23.html)
- Villamil Rico, L. C., Avella Rodríguez, E. J., & Tenorio Melo, J. A. (09 de 10 de 2018). *Ciencia y poder aereo*. Recuperado el 2 de Agosto de 2021, de [https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderaereo/article/view/606/844#:~:text=Según%20la%20Federal%20Aviation%20Administration,de%20vuelo%20completo%20\(FFS\)](https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderaereo/article/view/606/844#:~:text=Según%20la%20Federal%20Aviation%20Administration,de%20vuelo%20completo%20(FFS)).
- Villamil Rico, L. C., Avella Rodríguez, E. J., & Tenorio Melo, J. A. (2018). Simuladores de Vuelo: Una Revisión. *Ciencia y Poder Aéreo*, 142-143. Recuperado el 2 de Agosto de 2021

**ANEXOS**

**Anexo A:** Tabla de categoría de simuladores

**Anexo B:** Manual de mantenimiento ATA 23

**Anexo C:** Manual de mantenimiento ATA 34

**Anexo D:** RDAC 60