



Universidad Mayor de San Simón

Facultad de Ciencias y Tecnología

Dirección de Posgrado



FUNCIONAMIENTO, CATEGORÍAS Y FUTURO DEL SISTEMA ILS

**MONOGRAFÍA, PRESENTADA PARA OBTENER EL CERTIFICADO DEL
DIPLOMADO DE AVIÓNICA – I VERSIÓN.**

POSTULANTE: JOSÉ CRISTIAN ENCALADA CAMARGO

Cochabamba - Bolivia

2018

DEDICATORIA

A mi familia y amigos, por todo el apoyo brindado durante este tiempo. A mis padres, especialmente mi madre y hermanas por sus consejos, comprensión y ayuda durante los momentos difíciles, por brindarme los recursos necesarios para concluir con mis estudios.

RESUMEN

El propósito de esta monografía es proporcionar información básica sobre la navegación aérea, en particular, sobre el Sistema de Aterrizaje Instrumental (ILS).

En el capítulo 1, se mencionan los aspectos generales de la navegación aérea, así como una breve historia de las radio ayudas y algunos conceptos fundamentales para abordar el sistema ILS.

El capítulo 2, se enfoca específicamente en el sistema ILS, que es la ayuda más usada que se tiene en la aviación para llevar a cabo la aproximación a una pista de aterrizaje. Se describe el funcionamiento y componentes (en tierra y a bordo) de éste sistema, además de las diferentes categorías dependiendo de los requisitos meteorológicos y de visibilidad al momento de aterrizaje.

Por último, en el capítulo 3 se hace referencia al futuro del sistema ILS, ya que, aunque éste sistema es el preferido en cuanto a los procedimientos de aproximación, hoy en día existen ayudas más modernas como las aproximaciones RNAV (Radionavegación), MLS (Sistema de Aterrizaje por Microondas) y GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite).

ÍNDICE GENERAL

| | | |
|---------|---|----|
| 1 | ASPECTOS GENERALES DE LA NAVEGACIÓN AÉREA | 1 |
| 1.1 | CARACTERÍSTICAS DE LA NAVEGACIÓN AÉREA..... | 1 |
| 1.2 | MÉTODOS BÁSICOS DE NAVEGACIÓN AÉREA..... | 2 |
| 1.2.1 | Navegación observada | 3 |
| 1.2.2 | Navegación asistida por instrumentos | 3 |
| 1.2.2.1 | Sistemas de Navegación por Radio emplazados en Tierra | 3 |
| 1.2.2.2 | Sistemas de Navegación por Satélite | 4 |
| 1.2.2.3 | Sistemas Inerciales..... | 5 |
| 1.3 | HISTORIA DE LAS RADIOAYUDAS EN LA NAVEGACIÓN AÉREA | 5 |
| 1.3.1 | Origen del sistema ILS..... | 9 |
| 1.4 | DIFERENCIA ENTRE VFR E IFR | 10 |
| 1.5 | APROXIMACIONES A PISTA..... | 11 |
| 1.5.1 | Aproximación de precisión | 11 |
| 1.5.2 | Aproximación de no precisión | 11 |
| 2 | EL SISTEMA ILS (INSTRUMENT LANDING SYSTEM)..... | 12 |
| 2.1 | DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ILS | 12 |
| 2.2 | PRINCIPIO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA ILS | 13 |
| 2.3 | COMPONENTES DEL SISTEMA ILS | 14 |
| 2.4 | EQUIPO ILS EN TIERRA | 15 |
| 2.4.1 | El Localizador o Localizer (LOC)..... | 15 |
| 2.4.1.1 | Señal y Cobertura del Localizador | 16 |
| 2.4.2 | Senda de planeo o Glideslope(GS)..... | 18 |
| 2.4.2.1 | Señal Transmitida de la Senda de planeo | 20 |
| 2.4.3 | Radiobalizas (Marker Beacons) | 21 |
| 2.4.3.1 | Radiobaliza exterior / Outer Marker (OM) | 21 |
| 2.4.3.2 | Radiobaliza Intermedia / Middle Marker (MM) | 22 |
| 2.4.3.3 | Radiobaliza Interna / Inner Marker (IM) | 23 |
| 2.4.4 | Equipo Medidor de Distancia (DME) | 24 |
| 2.5 | EQUIPO ILS A BORDO | 25 |

| | | |
|---------|---|----|
| 2.5.1 | Receptor del Localizador | 25 |
| 2.5.2 | Receptor de la senda de planeo | 26 |
| 2.6 | CATEGORÍAS DEL SISTEMA ILS | 27 |
| 2.6.1 | Categoría I | 27 |
| 2.6.2 | Categoría II | 28 |
| 2.6.3 | Categoría III | 29 |
| 2.6.3.1 | Categoría III A | 29 |
| 2.6.3.2 | Categoría III B | 30 |
| 2.6.3.3 | Categoría III C | 31 |
| 3 | CONCLUSIONES Y FUTURO DEL SISTEMA ILS | 32 |
| 3.1 | CONCLUSIONES | 32 |
| 3.2 | FUTURO DEL SISTEMA ILS | 33 |
| 3.2.1 | RNAV (Random Navigation) | 33 |
| 3.2.2 | MLS (Microwave Landing System) | 34 |
| 3.2.3 | GNSS | 36 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 37 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1.1 Aeronave Vickers Vimy, 1919. | 6 |
| Figura 1.2 Cabina de vuelo (cockpit) de un B-36 con instrumentos de la época, 19407 | |
| Figura 1.3 Avenal VOR en una carta sectorial USA | 8 |
| Figura 1.4 Satélite Navstar, 1977 | 9 |
| Figura 2.1 Principio de operación del Sistema ILS | 13 |
| Figura 2.2 Sistema de antenas del Localizador..... | 16 |
| Figura 2.3 Patrón de frecuencias del Localizador | 17 |
| Figura 2.4 Parámetros de alcance del Localizador | 18 |
| Figura 2.5 Antena de Senda de planeo | 19 |
| Figura 2.6 Patrón de frecuencias de la senda de planeo | 20 |
| Figura 2.7 Radiobaliza | 21 |
| Figura 2.8 Señal de radiobaliza exterior en la aeronave | 22 |
| Figura 2.9 Señal de radiobaliza intermedia | 22 |
| Figura 2.10 Señal de radiobaliza interior | 23 |
| Figura 2.11 Equipo medidor de distancia (DME)..... | 24 |
| Figura 2.12 Diagrama de bloques del receptor de señal de curso a bordo | 25 |
| Figura 2.13 Indicador de desviación de curso | 26 |
| Figura 2.14 Iluminación en pista ILS Categoría I..... | 28 |
| Figura 2.15 Iluminación en pista ILS Categoría II..... | 29 |
| Figura 2.16 Iluminación en pista ILS Categoría III A | 30 |
| Figura 2.17 Iluminación en pista ILS Categoría III B | 30 |
| Figura 2.18 Iluminación en pista ILS Categoría III C | 31 |
| Figura 3.2 Componentes del MLS | 34 |
| Figura 3.1 Representación combinada de aproximación ILS y MLS | 35 |

1 ASPECTOS GENERALES DE LA NAVEGACIÓN AÉREA

Se entiende por navegación aérea el proceso de pilotar un aeroplano, dirigiéndolo de un lugar geográfico a otro a través de una ruta establecida y monitorizando su posición a lo largo de la misma. A grandes rasgos, la navegación aérea requiere:

- ✓ Definir la ruta a seguir para llegar al lugar deseado.
- ✓ Monitorizar el vuelo a lo largo de esa ruta.
- ✓ Corregir las posibles desviaciones de la misma.
- ✓ Adoptar procedimientos alternativos, en caso de imposibilidad para alcanzar el destino previsto.

1.1 CARACTERÍSTICAS DE LA NAVEGACIÓN AÉREA

La navegación aérea posee algunas características particulares que la distingue de otros tipos de navegación como puede ser la marítima o la terrestre.

- ✓ **Una aeronave no puede detenerse en vuelo.** Al contrario que un automóvil, o un barco, que pueden detenerse para resolver alguna situación de incertidumbre, o a la espera de una mejora en las condiciones ambientales para reanudar la marcha, una aeronave no puede hacerlo, salvo aterrizando.
- ✓ **La autonomía es limitada.** Esto es común a todos los aparatos movidos por un motor, se mantienen en movimiento en tanto tienen suficiente combustible del cual extraer energía y transformarla en movimiento. Mientras que un barco, un automóvil, etc. simplemente se paran cuando agotan el combustible, una aeronave además cae por acción de la gravedad.

- ✓ **Alta velocidad.** Esta ventaja del aeroplano respecto a otros medios de transporte, en el caso de la navegación puede ser un inconveniente: el paisaje que sirve de referencia, pasa más deprisa y se dispone de menos tiempo para observarlo con detalle. Cuanto más alta sea la velocidad, mayores deben ser el rigor y la precisión en la navegación.
- ✓ **Meteorología.** Las condiciones meteorológicas afectan a todos los medios de transporte en mayor o menor medida, pero en el caso de las aeronaves juegan un papel fundamental.
- ✓ La falta de visibilidad impide ver con claridad las peculiaridades del terreno, la capacidad de soportar vientos de cierta intensidad es limitada, el viento puede desviar la aeronave de la ruta prevista; la presencia de nubes bajas puede obligar a mantener una altitud menor a la prevista y si esta no es suficiente para sortear los posibles obstáculos obligará a cambiar de ruta o dar la vuelta.
- ✓ **Normativas.** Existen reglamentos y normas a cumplir, pero en el aire no hay señales para indicar alguna dirección, o aconsejar una determinada velocidad o altitud.

1.2 MÉTODOS BÁSICOS DE NAVEGACIÓN AÉREA

Además de una planificación previa, cuyos detalles se explican más adelante, para navegar eficazmente el piloto necesita determinar la posición relativa del aeroplano respecto a la superficie terrestre y dirigirlo en la dirección apropiada. Ambas cosas pueden realizarse mediante uno cualquiera de los siguientes métodos:

1.2.1 Navegación observada

Es la forma de navegación más simple y menos sofisticada. El piloto determina la posición actual y la dirección a seguir, observando las referencias en la superficie terrestre y reconociéndolas sobre la carta. Estas referencias usualmente corresponden a los aspectos más relevantes del terreno (ríos, carreteras, lagos, vías de ferrocarril, etc.). Este método no es muy satisfactorio para recorridos relativamente largos o cuando se sobrevuelan áreas que carecen de características relevantes.

1.2.2 Navegación asistida por instrumentos

Se refiere a la navegación realizada siguiendo las indicaciones de los equipos de navegación instalados a bordo. Existe una gran variedad de sistemas de instrumentos, unos basados en la recepción de señales de estaciones terrestres, como el VOR, otros de señales procedentes de satélites, como el GPS, otros que son autónomos y no necesitan de señales externas, como el sistema IRS.

1.2.2.1 Sistemas de Navegación por Radio emplazados en Tierra

Su uso se inició en el año 1930 y en la actualidad es el sistema de navegación más empleado. Basan su funcionamiento en estaciones emplazadas en tierra que emiten señales de radiofrecuencia las cuales son captadas por sensores a bordo de las aeronaves, permitiendo que cada aeronave calcule su posición.

Estos sistemas también son denominados radio ayudas de navegación y entre los más empleados tenemos:

- ✓ NDB (Non Directional Beacon)
- ✓ ILS (Instrument Landing System)
- ✓ VOR (VHF Omnidirectional Range)
- ✓ DME (Distance Measuring Equipment)

1.2.2.2 Sistemas de Navegación por Satélite

El primer sistema de navegación por satélite que operó en el mundo fue establecido por la marina de los Estados Unidos en 1959 y fue denominado *Transit*. Desde 1967 fue permitido su uso libre a la navegación civil. El usuario de este sistema podía determinar su posición con unos pocos cientos de metros, pero requería que cada usuario conociera su altitud y datos del satélite.

En 1973 un nuevo concepto fue desarrollado y fue la síntesis de los sistemas previos y los ya existentes, este nuevo sistema fue conocido como GPS y a la fecha es el principal sistema de navegación por satélite existente. Los rusos por su parte lanzaron el sistema Tsikada que era un sistema de navegación similar al Transit, luego desarrollaron un sistema en forma paralela al sistema norteamericano y lo denominaron GLONASS.

Entre los sistemas de navegación por satélite que operan actualmente podemos mencionar:

- ✓ GPS (Sistema de Posicionamiento Global)
- ✓ GLONASS (Sistema Orbital de Navegación por Satélite)

1.2.2.3 Sistemas Inerciales.

Los sistemas inerciales son usados en la navegación aérea de hoy ante la necesidad de suplir la falta de las ayudas de navegación convencionales. Una aplicación se da cuando las aeronaves sobrevuelan el océano y no disponen de cobertura terrestre de las radio ayudas, por lo que navegan con sus propios medios autónomos (Sistemas Inerciales). Aunque han evolucionado enormemente, aún son menos precisos que la navegación basada en ayudas terrestres, lo que obliga a que la separación entre los aviones sea muy amplia para evitar correr riesgos de colisión. (Muñoz, 2011)

1.3 HISTORIA DE LAS RADIOAYUDAS EN LA NAVEGACIÓN AÉREA

En 1884 aparece la radiotelegrafía, con la introducción del código Morse, lo que abre las puertas a la comunicación a distancia. Al principio la navegación aérea fue visual, tomando como referencias: carreteras, postes de teléfono, edificios, o vías férreas.

Muchos pilotos utilizaban mapas de carreteras terrestres para la navegación. Lógicamente, solo se podía volar en días con buen tiempo y por las noches siguiendo las técnicas de navegación astral introducidas por la marina.

En la década de 1910 se utilizan hogueras y faros para poder aterrizar por las noches. La implicación del estamento militar durante la gran Guerra dio lugar a muchos avances en el campo de la aeronáutica y de la navegación en general. De esta manera comenzó el servicio postal aéreo de los Estados Unidos.

En 1919, Alcock y Brown cruzan por primera vez el Atlántico sin escalas a los mandos de un bimotor Vickers Vimi (Figura 1.1).



Figura 1.1 Aeronave Vickers Vimy, 1919.

Fuente: BAE Systems, 2016

Durante las décadas de 1920 y 1930 se desarrolla la radio comunicación en dos direcciones (mensajes de información meteorológica y petición de ayuda con la navegación). Las frecuencias que se utilizaban eran *Low Frequency* (LF) y *Medium Frequency* (MF).

Uno de los avances logrados durante la primera guerra mundial fue el uso de la FM (Frecuencia Modulada) en vez de la AM (Amplitud Modulada). En 1923 se comienza la emisión de señales horarias por radio.

Durante estos años surge además la radiogoniometría o uso de señales de radio comerciales o aeronáuticas para guiarse hacia las torres transmisoras. Son estos procedimientos los que se consideran realmente como las primeras emisiones de ondas de radio para ayudas a la navegación.

En 1935 aparece la radiotelefonía en dos direcciones usando la HF (*High Frequency*) y la UHF (*Ultra High Frequency*). En la misma década el VOR y la radionavegación se

desarrollaron mucho más deprisa con la invención del Radar (*RAdio Detection And Ranging*) en 1938 y la aplicación de sistemas basados en ondas de radio.

En las décadas de 1940 y 1950 aparece el ILS (*Instrument Landing System*). En 1929 se hace la demostración del primer sistema de aterrizaje por instrumentos, pero es en 1946 cuando la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) provisionalmente selecciona el ILS como radio ayuda para los aterrizajes en los aeropuertos internacionales.

El Radar se introduce en la aviación civil a partir de 1945. Aparecen el radar altímetro y el radio altímetro, el DME y el radar meteorológico.

A partir de 1947 (creación de la ICAO) se posibilita el desarrollo homogéneo del sistema de navegación aérea. En la Figura 1.2 se muestra el *cockpit* (cabina de vuelo) de un B-36 con los instrumentos de la época.

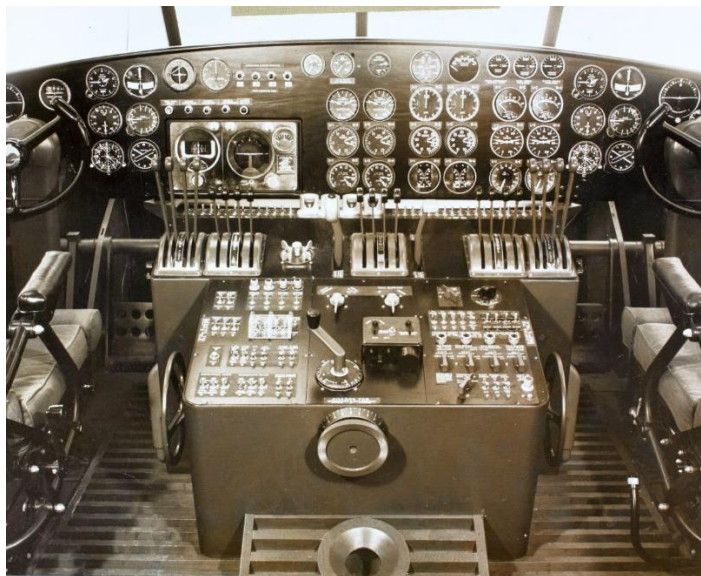


Figura 1.2 Cabina de vuelo (*cockpit*) de un B-36 con instrumentos de la época, 1940

Fuente: Virtual Aircraft Mueum, 2002

En la década de 1950, se establece el uso de VOR (Figura 1.3) para la creación de la estructura de aerovías. Las famosas “Victor Airways”, que todavía se usan hoy en día.



Figura 1.3 Avenal VOR en una carta sectorial USA

Fuente: <https://greatbustardsflight.blogspot.com>, 2015

Alrededor de 1960 el VOR se adopta en la OACI como base de la aviación civil y el DME (*Distance Measuring Equipment*) se convierte en la radio ayuda básica para el cálculo de la distancia. En 1961 se realizan los primeros intentos de guiado inercial y navegación por satélite.

Además, en la década de 1960 se desarrolla en Estados Unidos la Navegación de Área (RNAV). Este moderno sistema de navegación dota a los pilotos de una gran flexibilidad a la hora de decidir la ruta que desean volar, ya que no se ven obligados a sobrevolar las radioayudas convencionales.

En la década de 1970 el Sistema de Navegación Inercial (IRS) se aplica a la navegación aérea. En 1978 se lanza el primer satélite Navstar (Figura 1.4) que daría lugar al GPS (*Global Positioning System*). El MLS (*Microwave Landing System*) se establece como un sistema independiente de aterrizaje de precisión alternativo al ILS.

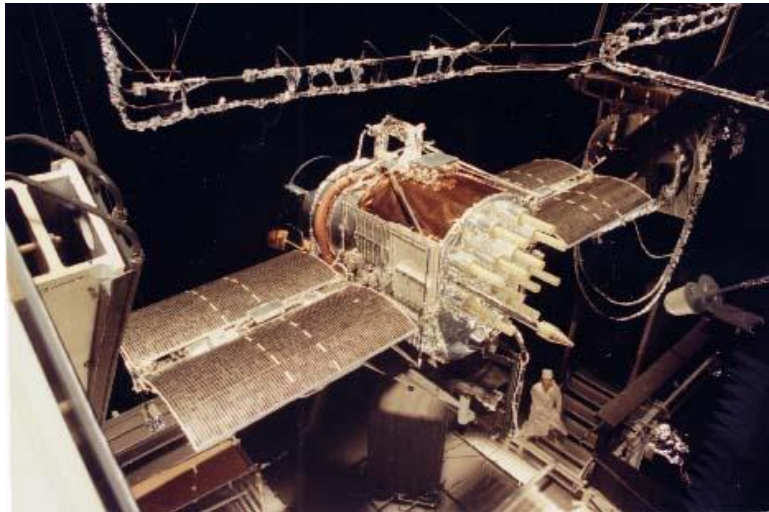


Figura 1.4 Satélite Navstar, 1977

Fuente: <http://www.nimr.org/systems/77-07923.htm>, 2005

En 1983 el presidente Reagan declara que el GPS debe de ser autorizado para su uso civil después del derribo de un avión comercial (KAL007) por parte de la aviación militar de la URSS. (Great Bustard's Flight, 2015)

1.3.1 Origen del sistema ILS

Tras realizarse el primer vuelo de los hermanos Wright y con los primeros pasos de la aviación comercial, empezó a sentirse la necesidad de un sistema de ayuda que facilitara en aterrizaje de los aviones.

En el año 1928, en Estados Unidos, es cuando se pone en funcionamiento este sistema. Un sistema que podría denominarse “rudimentario” pero que reunía las condiciones previstas. Consistía en una serie de instrumentos que permitía saber la altura y lejanía de la pista.

Esto permitió que el 29 de septiembre de 1929 el Teniente James Doolittle realizase una serie de aterrizajes sentado en el asiento trasero con la cabina completamente cubierta y guiándose exclusivamente con los instrumentos de abordó. Podemos decir que había comenzado el aterrizaje instrumental.

1.4 DIFERENCIA ENTRE VFR E IFR

Conviene aclarar algunas diferencias entre VFR (Visual Flight Rules) que se traduce como "Reglas de Vuelo Visual", e IFR (Instrument Flight Rules) que se traduce como "Reglas de Vuelo por Instrumentos".

Si las condiciones de visibilidad y distancia son iguales o superiores a unos mínimos establecidos por el Reglamento de Circulación Aérea, se está en condiciones VMC (Visual Meteorological Conditions) y se puede volar indistintamente en VFR o IFR.

Por otro lado, si esas condiciones mínimas no se cumplen, se está en condiciones IMC (Instrument Meteorological Conditions) y el vuelo ha de ser obligatoriamente IFR.

Nada prohíbe al piloto utilizar todos los instrumentos a su alcance volando en VFR, o que en IFR el piloto quiera chequear la posición indicada observando las marcas en el terreno.

1.5 APROXIMACIONES A PISTA

La aproximación a pista se detalla en las llamadas Cartas de Aproximación Instrumental (IAC), que describen la ruta, tanto vertical como horizontal, hasta un punto a partir del cual el piloto debe tener contacto visual con la pista y completar el vuelo sin ayuda de los instrumentos.

Dicho punto se denomina mínimo, o Altitud de Decisión. Si en este punto el piloto no tiene contacto visual con la pista, deberá frustrar el aterrizaje, de acuerdo con los procedimientos establecidos en la misma carta, y esperar instrucciones del controlador o bien dirigirse a un aeropuerto alternativo especificado en su plan de vuelo.

1.5.1 Aproximación de precisión

Llamamos aproximación de precisión a aquella en la que el aeropuerto dispone de radio ayudas específicas, llamadas ILS. Esta radio ayuda proporciona al avión, en el tramo final, una guía horizontal y vertical que le permite dirigirse y descender de modo seguro hasta la pista de aterrizaje.

1.5.2 Aproximación de no precisión

Las aproximaciones de no precisión se utilizan en aeropuertos o pistas no equipados con ILS. En estos casos, las cartas conducen a la aeronave hasta un punto más cercano y alineado con la pista, de modo que el piloto completa el aterrizaje de forma visual. (Muñoz, 2011)

2 EL SISTEMA ILS (INSTRUMENT LANDING SYSTEM)

2.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ILS

El ILS es uno de los sistemas más exacto y completo para las maniobras de aproximación y aterrizaje de las aeronaves, diseñado para proporcionar guía a las aeronaves para lograr un aterrizaje en condiciones de visibilidad limitada.

Este sistema consta de varios equipos transmisores en tierra operando simultáneamente y emitiendo señales a distinta frecuencia cada uno, las cuales son interceptadas por los equipos instalados a bordo de la aeronave, cuya función es decodificar estas señales para mostrarlas en los respectivos instrumentos en cabina y que así los pilotos puedan realizar una maniobra exitosa de aterrizaje.

Este sistema es una combinación de tres subsistemas básicos:

- Senda de planeo (GS, GLIDESLOPE): que da orientación vertical (altitud) de aproximación al piloto, para tocar la pista en un punto preciso que permita tener la distancia necesaria para frenar sin complicaciones y con esto realizar un aterrizaje exitoso.
- Localizador (LLZ O LOC): ayuda al piloto a mantener centrado el avión en la pista dándole guía a ambos lados del eje central de ésta.
- Radiobalizas (MARKER BEACONS): Indican la proximidad a la pista.

No todos los sistemas ILS proporcionan la misma precisión, ya que pueden existir yacimientos minerales o corrientes subterráneas de agua que deformen los haces de radiofrecuencia, o vehículos terrestres o construcciones metálicas que propicien señales

de radio distorsionadas, restándole precisión al sistema. Motivo por el cual es necesario cuidar al máximo la instalación de los componentes del ILS, para lograr la mayor precisión posible. (Palacio & Aguayo, 2015)

2.2 PRINCIPIO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA ILS

Las señales del ILS son transmitidas continuamente y proveen al piloto una guía de aproximación. Cuando se hace una aproximación por ILS, el piloto desciende hasta la altura de decisión (DH), en este punto el piloto toma la decisión final de aterrizar o irse al aire. Figura 2.1 muestra un esquema de los componentes del ILS y sus posiciones.

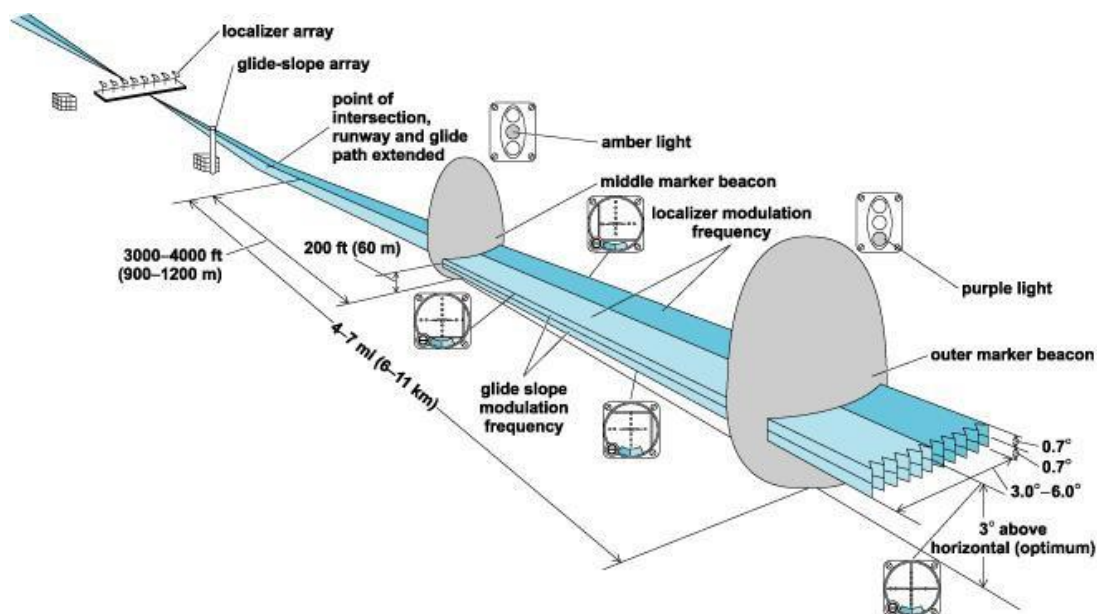


Figura 2.1 Principio de operación del Sistema ILS

Fuente: <http://aviationnepal.com/blogs/ils-instrument-landing-system-2/>

El transmisor del localizador provee guía de aproximación en azimut (de lado a lado formando un ángulo) a lo largo de la extensión de la línea central de la pista. El transmisor de la senda de planeo brinda guía de aproximación en el plano vertical.

Las radiobalizas proveen distancias exactas y fijas a lo largo del eje horizontal de la aeronave. Al sintonizar el receptor NAV (instrumento que capta la señal de las antenas para la navegación) a una frecuencia de localizador, un segundo receptor, el receptor de la senda de planeo se sintoniza automáticamente a la frecuencia apropiada, la sincronización es automática. (Agrawal, 2016)

2.3 COMPONENTES DEL SISTEMA ILS

La DGAC siguiendo los estándares de la FAA (Administración Federal de Aviación) categoriza los componentes del ILS de la siguiente forma:

- Información de guía: En esta categoría se encuentran el Localizador (LOC) y la Senda de Planeo (GS).
- Información de Distancia: Conformada por las radiobalizas, la exterior (OM), la intermedia (MM) y la interior (IM).
- Información Visual: Integrada por, las luces de aproximación, centrales y de punto de contacto, además de las luces de pista.

Otra clasificación para los componentes del sistema ILS es, Equipo en tierra y Equipo a bordo, esta es la manera en la que se definirán dichos componentes en el presente trabajo.

El equipo en tierra lo forman antenas:

- Localizador (LOC)
- Senda de Planeo (GS)
- Radiobalizas

El equipo a bordo está compuesto por:

- El receptor del Localizador
- El receptor de la Senda de Planeo

Los receptores captan la señal de las antenas y las decodifican para mostrar la posición de la aeronave respecto a la pista, esta información se muestra en el indicador de rumbo Figura 6, el cual se compone de una línea horizontal y una vertical, mismas que al estar centradas indican que la aeronave está en la posición correcta para el aterrizaje. (Landing Systems, 2011)

2.4 EQUIPO ILS EN TIERRA

2.4.1 El Localizador o Localizer (LOC)

Uno de los componentes principales del sistema ILS es el Localizador, el cual brinda guía a la aeronave en el plano horizontal. El Localizador es un sistema de antenas conformado por un transmisor VHF (Muy Alta Frecuencia) que usa el mismo rango de frecuencia que el transmisor VOR (108,10 - 111,95 MHz), sin embargo, las frecuencias del localizador están establecidas en decimales impares para no generar interferencia, con una separación de canal de 50 kHz.

El transmisor o antena que mide 20m de ancho por 3m de alto (Figura 2.2), se alinea con el eje central de la pista, y se emplaza unos 300m al final de ésta y en dirección opuesta a la aproximación.



Figura 2.2 Sistema de antenas del Localizador

Fuente: http://www.airfields-freeman.com/AZ/Whitman_AZ_localizer_02.jpg

2.4.1.1 Señal y Cobertura del Localizador

El localizador o marcador de curso VHF, emite dos patrones de radiación direccional. Ambos se componen de una onda direccional de amplitud modulada con señal de frecuencia armónica uno de 150 Hz y el otro de 90 Hz.

Estos dos patrones se intersectan y crean un plano de curso, o eje horizontal de aproximación, el cual básicamente representa un alargamiento del eje de la pista como se puede observar en la Figura 2.3. Para el piloto, quien está en aproximación (enfrente de la antena LOC) predomina una frecuencia de 150 Hz al lado derecho del plano de curso y 90 Hz al lado izquierdo. La intersección de estas dos regiones determina la señal de “En Pista”.

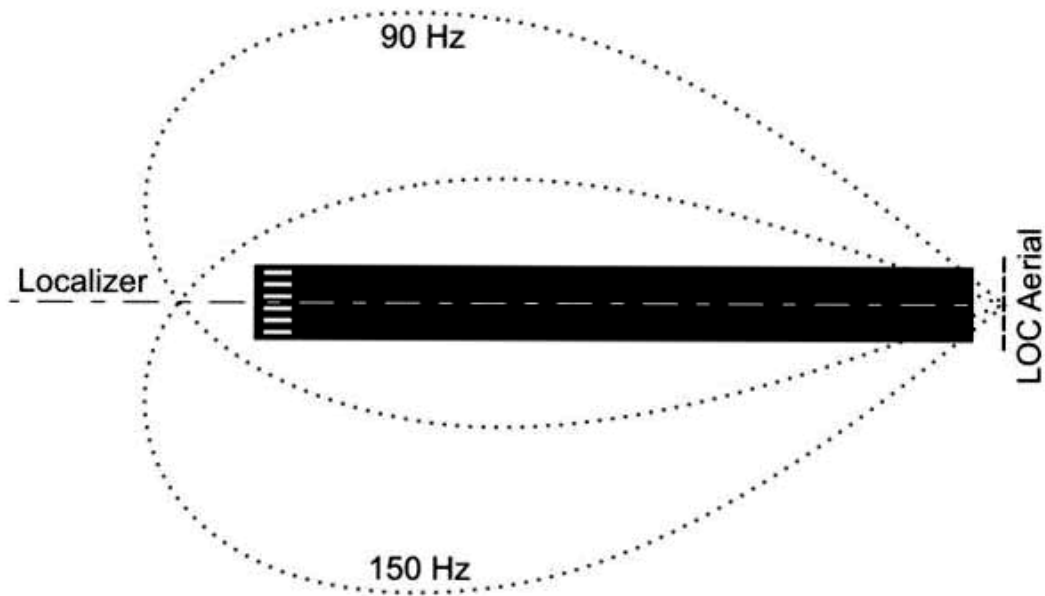


Figura 2.3 Patrón de frecuencias del Localizador

Fuente: <http://aviationnepal.com/blogs/ils-instrument-landing-system-2/>

La cobertura del localizador debe proveer señal adecuada a una distancia de 25 NM (Millas Náuticas) (46.3Km) dentro de 10° a cada lado del eje central y debe proveer cobertura adicional a 17NM (31.4Km) entre 10° y 35° a cada lado del eje central.

Finalmente, la cobertura debe extenderse a 10NM a ángulos mayores a 35° para aquellas instalaciones en las que se provee cobertura alrededor (Figura 2.4).

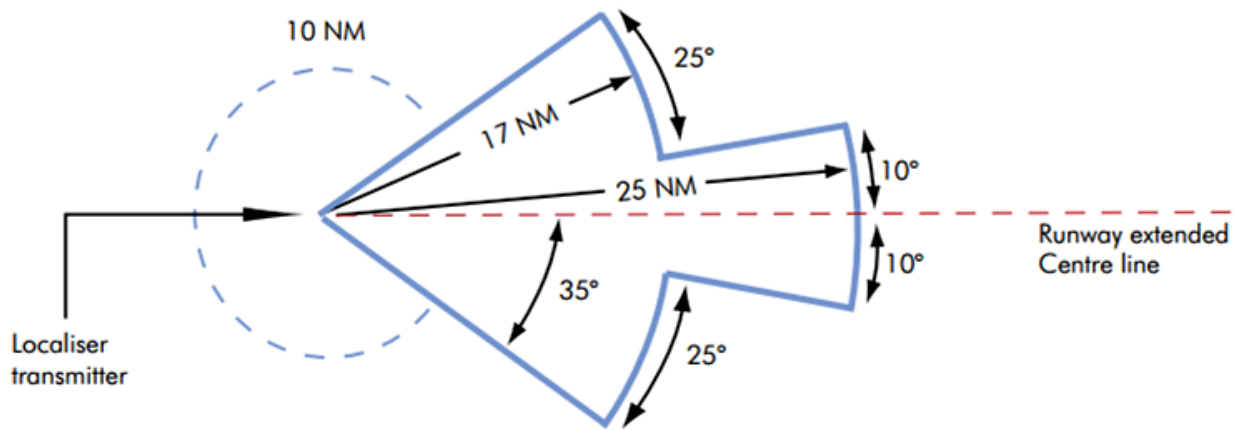


Figura 2.4 Parámetros de alcance del Localizador

Fuente: <http://instrument.landingssystem.com/ils-ground-equipment/>

2.4.2 Senda de planeo o Glideslope(GS)

La senda de planeo es la señal que provee guía vertical a la aeronave durante su aproximación ILS. La trayectoria estándar de la senda de planeo es una pendiente de 3° hacia el final de la pista. Siguiéndolo fielmente la altitud será la correcta al alcanzar la zona de contacto de la pista.

La proyección del ángulo de la Senda de Planeo esta normalmente ajustado a 3° sobre la horizontal por lo que intersecta el MM (radiobaliza intermedia) a cerca de 200ft (60.96m) y el OM (radiobaliza exterior) a 1400ft (426.72m) por encima de la elevación de la pista. Normalmente la senda de planeo tiene una cobertura de 10NM (18.52Km). (Landing Systems, 2011)



Figura 2.5 Antena de Senda de planeo

Fuente: <http://instrument.landingssystem.com/ils-ground-equipment/>

La senda de planeo es mucho más sensible que el localizador, en la radiobaliza exterior (OM), cada punto de desviación de la senda de planeo equivale a cerca de 50ft de la senda de planeo prescrita. En la radiobaliza intermedia, la sensibilidad es 8ft por punto.

La antena transmisora de la senda de planeo (Figura 2.5) esta usualmente emplazada a cerca de 300m del umbral de la pista, esto porque es el punto óptimo de contacto en el que la extensión de la senda de planeo interseca la pista. Esto asegura un entorno adecuado sobre el umbral y cualquier otro objeto o terreno durante la aproximación.

2.4.2.1 Señal Transmitida de la Senda de planeo

La señal de la senda de planeo es creada por un transmisor UHF (Ultra High Frequency) en tierra que contiene un sistema de antena operando en el rango de frecuencia 329.30 - 335.00 MHz, con una separación de canal de 50 kHz.

El transmisor UHF de la senda de planeo está sincronizado con la frecuencia correspondiente del VHF del localizador. Como en la señal del localizador, la de la senda de planeo consiste en dos patrones de radiación intersecados, modulados a 90 y 150 Hz.

Estas dos señales están dispuestas una encima de la otra y emiten a lo largo de la trayectoria de aproximación, como se observa en la Figura 2.6.

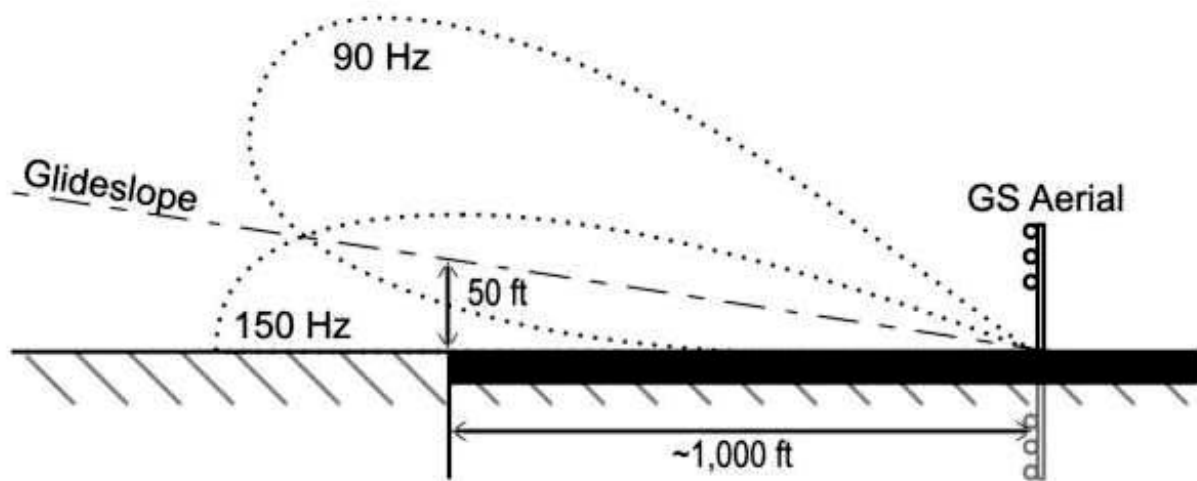


Figura 2.6 Patrón de frecuencias de la senda de planeo

Fuente: <http://instrument.landingssystem.com/ils-ground-equipment/>

2.4.3 Radiobalizas (Marker Beacons)

Con motivo de proveer información de una posición o distancia momentánea del avión al umbral de la pista y alertar al piloto de que se requiere una acción como comprobar altitud, se utilizan las radiobalizas, que se emplazan en línea con la pista y a diferentes distancias del umbral. Estos componentes emiten señales audiovisuales captadas por los receptores a bordo que indican al piloto la distancia que los separa de la pista. (Figura 2.7)



Figura 2.7 Radiobaliza

Fuente: <http://instrument.landingssystem.com/ils-marker-beacons/>

2.4.3.1 Radiobaliza exterior / Outer Marker (OM)

La radiobaliza exterior está ubicada a una distancia de entre 3.5 y 6 NM (5.55-11.11Km) del umbral de la pista. Su haz interseca la senda de planeo a una altitud aproximada de 1400 ft (426.72 m) sobre la pista. Esto marca aproximadamente el punto en el que una aeronave entra a la senda de planeo bajo circunstancias normales y representa el inicio de la parte final de la aproximación. La señal es modulada a una frecuencia de 400Hz, se indica mediante código Morse.

En la aeronave, la señal se recibe a 75MHz con el receptor de radiobalizas. El piloto escucha un tono (dos líneas por segundo) en el altavoz o los auriculares y observa una luz azul que indica el paso sobre la radiobaliza exterior.(Figura 2.8)



Figura 2.8 Señal de radiobaliza exterior en la aeronave

Fuente: <http://instrument.landingsystem.com/ils-marker-beacons/>

2.4.3.2 Radiobaliza Intermedia / Middle Marker (MM)

La radiobaliza intermedia es usada para indicar el punto de transición de una aproximación por instrumentos a una aproximación visual. Está ubicado a cerca de 0.5 a 0.8NM (926-1482m) del umbral de la pista.

Cuando se vuela sobre esta radiobaliza, la aeronave se encuentra a una altitud de 200-250ft (60.96-76.2m) por encima de ella. La señal de audio está dada por puntos y líneas alternados por segundo. La frecuencia que identifica a este tono es de 1300Hz. La indicación visual al pasar sobre la radiobaliza intermedia es una luz ámbar o amarilla.(Figura 2.9)



Figura 2.9 Señal de radiobaliza intermedia

Fuente: <http://instrument.landingsystem.com/ils-marker-beacons/>

2.4.3.3 Radiobaliza Interna / Inner Marker (IM)

La radiobaliza interior emite una onda en la banda AM con una frecuencia modulada de 3000Hz. La señal sonora de identificación tiene un patrón de serie de puntos, en frecuencia de seis puntos por segundo.

Al pasar sobre esta radiobaliza, se puede observar una luz blanca en el indicador de cabina. El faro se localiza a 60m frente al umbral de la pista. Esta radiobaliza es usada por los sistemas de categorías II y III. (Figura 2.10)



Figura 2.10 Señal de radiobaliza interior

Fuente: <http://instrument.landingsystem.com/ils-marker-beacons/>

En resumen, las tres radiobalizas están localizadas a intervalos específicos a lo largo de la aproximación ILS y son identificadas por señales audiovisuales discretas y características tal como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Todas las radiobalizas operan a una frecuencia de 75MHz.

Tabla 2.1 Indicaciones que recibe el piloto al pasar sobre una radiobaliza

| Radiobaliza | Código Morse | Luz | Sonido |
|-------------|--------------|--------|-----------------------------------|
| OM | --- | Azul | 400 Hz, dos guiones por segundo |
| MM | · _ · _ · _ | Ámbar | 1300 Hz, punto y guiones alternos |
| IM | | Blanco | 3000 Hz, solo puntos |

Fuente: <http://aviationnepal.com/blogs/ils-instrument-landing-system-2/>

En la actualidad las radiobalizas interior e intermedia, sobre todo la primera, son raras de encontrar, y también está decreciendo el uso de la radiobaliza exterior.

2.4.4 Equipo Medidor de Distancia (DME)

El DME (Distance Measuring Equipment, Figura 2.11) está reemplazando a las radiobalizas en muchas instalaciones, ya que proporciona una medición de la distancia hasta la senda de planeo. La frecuencia del DME está comprendida entre 978 y 1213Mhz de 200 a 400 canales, esta frecuencia se selecciona automáticamente al sintonizar el Localizador.

La aeronave interroga con una secuencia de pares de pulsos separados a 12 microsegundos, el equipo en tierra recibe esta señal y la retransmite de nuevo con un retardo de 50 microsegundos, con esta información transmitida por el equipo en tierra, el equipo del avión calcula el tiempo transcurrido desde que interrogó. Con este dato se calcula la distancia al equipo de tierra.



Figura 2.11 Equipo medidor de distancia (DME)

Fuente: https://www.ecured.cu/Equipo_medidor_de_distancia

2.5 EQUIPO ILS A BORDO

2.5.1 Receptor del Localizador

La señal emitida por el localizador en tierra, es captada y presentada al piloto por un receptor a bordo de la aeronave. En la Figura 2.12 se muestra un diagrama de bloques simplificado del receptor del localizador instalado en la aeronave. El receptor LOC y el receptor VOR forman una misma unidad. Las señales del localizador se muestran en un instrumento de la cabina, llamado CDI (Course Deviation Indicator), que cuenta con agujas horizontales y verticales.

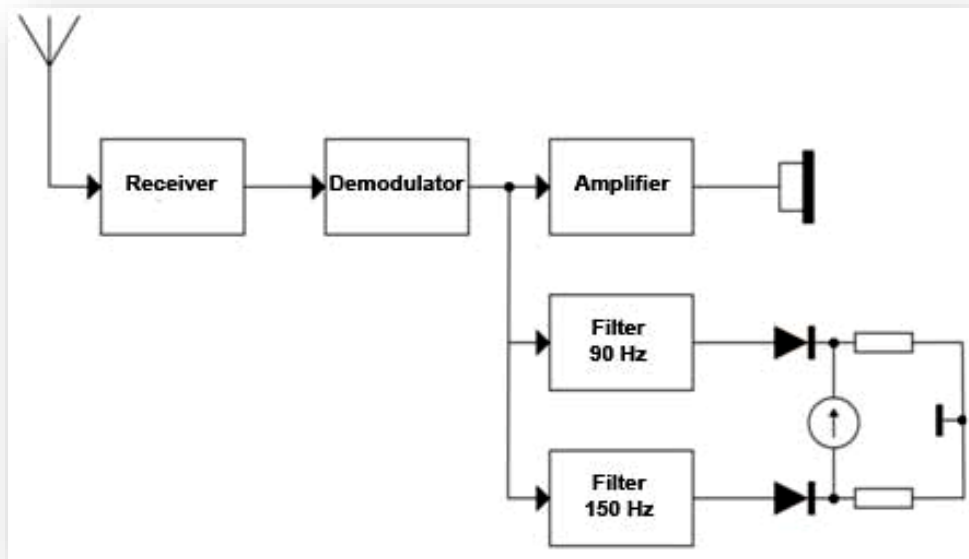


Figura 2.12 Diagrama de bloques del receptor de señal de curso a bordo

Fuente: <http://instrument.landingssystem.com/ils-onboard-equipment/>

En cuanto al localizador el piloto controla el avión de manera que la aguja vertical permanezca centrada en el indicador, en conjunto con la indicación de la senda de planeo, ya que en ese punto el avión sigue la senda de planeo y la dirección correctas.

Las señales también pueden pasarse a los sistemas de piloto automático para permitir que éste realice la aproximación.

2.5.2 Receptor de la senda de planeo

antena UHF (Ultra High Frequency). En los sistemas modernos de aviónica este receptor esta combinado con el receptor VOR, al igual que el receptor LOC, por lo tanto, la frecuencia correcta de la senda de planeo es sintonizada automáticamente en el momento en que es seleccionada la frecuencia del localizador.

La señal de la senda de planeo (GS) activa la aguja horizontal en el Indicador de Desviación de Curso ó CDI, (Course Deviation Indicator), el cual también tiene un indicador de GS (Figura 2.13) que se enciende cuando la señal es captada muy levemente por el receptor, y por lo tanto la aeronave esta fuera del alcance de la señal.

El indicador ILS a bordo puede ser usado por un piloto para determinar la posición exacta, debido a que provee guía tanto horizontal como vertical. (Landing Systems, 2011)

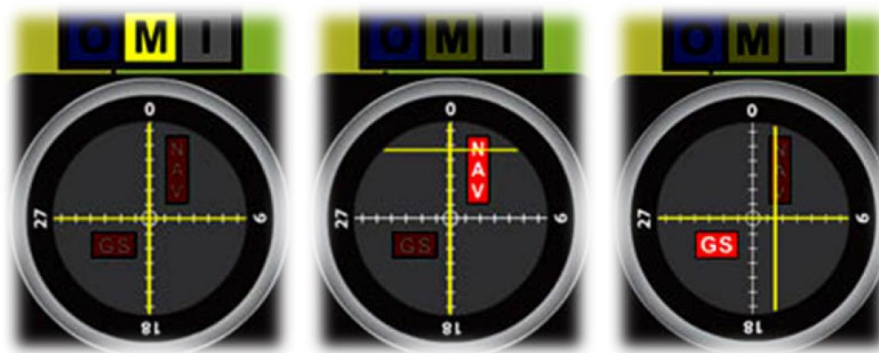


Figura 2.13 Indicador de desviación de curso

Fuente: <http://instrument.landingssystem.com/ils-onboard-equipment/>

2.6 CATEGORÍAS DEL SISTEMA ILS

Por largo tiempo, los mínimos para una aproximación ILS fueron media milla (804.6m) de visibilidad y 200ft (60.96m) de altitud de decisión. Después, empezaron a cambiar las cosas, principalmente la confiabilidad, precisión y capacidad del piloto automático. El Alcance Visual de pista (RVR, Runway Visual Range), una medición más fiable de visibilidad, comenzó a aparecer en el plano de la aproximación también.

Dados estos cambios, la FAA designó tres categorías de aproximación ILS, con mínimos sucesivamente inferiores. Después, se decidió que esas tres categorías no se ajustaban del todo a las situaciones deseadas y se expandieron. Estos estándares, al igual que la normatividad, aplican de la misma manera en México, ya que DGAC adapta sus normas conforme a las de FAA de Estados Unidos de América. En la Tabla 2.2 se muestra un resumen de estas categorías:

Tabla 2.2 Categorías de Aproximación ILS

| Categoría | Altitud de Decisión Mínima | RVR mínimo |
|------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| I | 200 ft (60.96m) | 1800 ft (548.64m) |
| II | 100 ft (30.48m) | 1200 ft (365.76m) |
| III A | 100 ft (30.48m) | 700 ft (213.36m) |
| III B | 50 ft (15.24m) | 150 a 700 ft (45.72m a 213.36m) |
| III C | No aplica | No aplica |

Fuente: <http://aviationnepal.com/blogs/ils-instrument-landing-system-2/>

2.6.1 Categoría I

Para esta categoría se toma una altitud de decisión mínima de 200 ft (60,96 m), en este punto de contacto visual con la pista, el piloto decide si termina la maniobra de aterrizaje o aborta y repite la aproximación.

La visibilidad mínima de la pista debe ser 1800 ft (548,64 m). El avión debe estar equipado con dispositivos para vuelo por instrumentos (IFR), con el sistema ILS y el receptor para las señales de las radiobalizas. (Figura 2.14)



Figura 2.14 Iluminación en pista ILS Categoría I

Fuente: (Palacio & Aguayo, 2015)

2.6.2 Categoría II

En sistemas de esta categoría la altitud de decisión es de 100 ft (30,48 m) y la visibilidad no menor a 1200 ft (365,76 m).

La aeronave debe estar equipada con un radio altímetro o receptor para la radiobaliza interior, enlace del piloto automático, un removedor de gotas de lluvia e incluso puede ser requerido un sistema para el control automático del motor. Se requiere una tripulación de dos pilotos para esta categoría. (Figura 2.15)



Figura 2.15 Iluminación en pista ILS Categoría II

Fuente: (Palacio & Aguayo, 2015)

2.6.3 Categoría III

2.6.3.1 Categoría III A

Para aproximaciones de este tipo se puede alcanzar una altitud de decisión mínima inferior a los 100 ft (30,48 m). El mínimo de visibilidad de pista será de 700 ft (213,36 m).

En este caso la aeronave debe tener un piloto automático con un monitor pasivo de mal funcionamiento o un HUD (Head-up display), pantalla de visualización frontal. (Figura 2.16)



Figura 2.16 Iluminación en pista ILS Categoría III A

Fuente: (Palacio & Aguayo, 2015)

2.6.3.2 Categoría III B

En este punto es posible alcanzar una altitud de decisión mínima, inferior a 50 ft (15,24 m) y la visibilidad es como mínimo 150 ft (45,72 m). Un dispositivo para modificación de la velocidad de desplazamiento debe estar integrado a la aeronave. (Figura 2.17)



Figura 2.17 Iluminación en pista ILS Categoría III B

Fuente: (Palacio & Aguayo, 2015)

2.6.3.3 Categoría III C

En esta categoría no hay mínimos establecidos, debido a la precisión que ofrece el equipo, así que la aeronave puede aterrizar prácticamente sola con visibilidad cero (Figura 2.18). Para poder realizar un aterrizaje de esta categoría es necesario que tanto las aeronaves como los pilotos tengan una certificación que avale su aptitud para realizar este procedimiento. (Palacio & Aguayo, 2015)



Figura 2.18 Iluminación en pista ILS Categoría III C

Fuente: (Palacio & Aguayo, 2015)

3 CONCLUSIONES Y FUTURO DEL SISTEMA ILS

3.1 CONCLUSIONES

El ILS es apenas uno de los recursos con que cuentan las modernas aeronaves para la realización de viajes seguros. No es preciso decir que los pilotos capaces de utilizar este equipo deben pasar por un prolongado entrenamiento. La seguridad de un vuelo no depende exclusivamente de la perfección del instrumento, sino también de las personas involucradas en su operación, instalación y mantenimiento.

Existen pocos especialistas en el mantenimiento de tales equipos, lo que significa que la realización de cursos constituye una excelente perspectiva para el estudiante de electrónica y futuro técnico.

Está claro que la instalación o mantenimiento de equipos de aviación no se limita al ILS. Se extiende también a muchos otros instrumentos como el VOR (Very High Frequency Omnidirectional Radio Range). El ADF (Air or Automatic Direction Finder), sistemas de comunicación, radar, etc.

3.2 FUTURO DEL SISTEMA ILS

Todo apunta a que en el futuro seguirán en funcionamiento este tipo de aproximaciones debido a la fiabilidad de los equipos y buen resultado que han dado. Pero debido a la inevitable evolución e investigación sobre de los equipos para obtener mayor precisión se desarrollan nuevos instrumentos, que, si bien implementan los mismos principios que los equipos actuales, aun no los desplazan por completo.

Actualmente, además del ILS existen el MLS, RNAV y GNSS, solamente en aeropuertos con una orografía complicada puede ser que se sustituya al ILS por aproximaciones RNAV debido a la flexibilidad que ofrece este sistema para evitar los obstáculos geográficos.

3.2.1 RNAV (Random Navigation)

RNAV es el nombre por el que se conoce a la Navegación de Área, y consiste básicamente, en «saltarse» diversas radioayudas en la ruta, volando rutas más «rectas» y ahorrando así tiempo y combustible, dándole mayor flexibilidad a las rutas de vuelo. Para ello, los **aviones** deben estar equipados con sistemas de navegación más precisos dado que, además, este sistema permite que los aviones puedan volar más cerca unos de otros, aumentando así la capacidad del espacio.

Este es un método de navegación aérea basada en puntos que no necesariamente se corresponden con radioayudas en tierra. Permite la operación del avión en cualquier trayectoria de vuelo deseada, siempre dentro de la cobertura de las ayudas para la navegación referidas a una estación terrestre, o dentro de los límites de las posibilidades de los equipos autónomos, o de una combinación de ambas.

3.2.2 MLS (Microwave Landing System)

El MLS o Sistema de Aterrizaje por Microondas es un sistema de guía de precisión para la aproximación y el aterrizaje que proporciona información sobre la posición y diferentes datos tierra-aire. La información sobre la posición se proporciona en un sector de cobertura amplio y se determina por una medida angular en elevación y una medida de distancia.

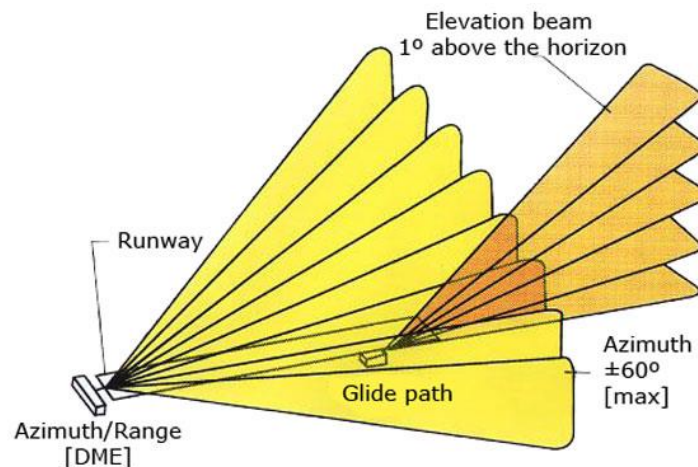


Figura 3.1 Componentes del MLS

Fuente: <http://microwave.landingssystem.com/mls-basic-elements/>

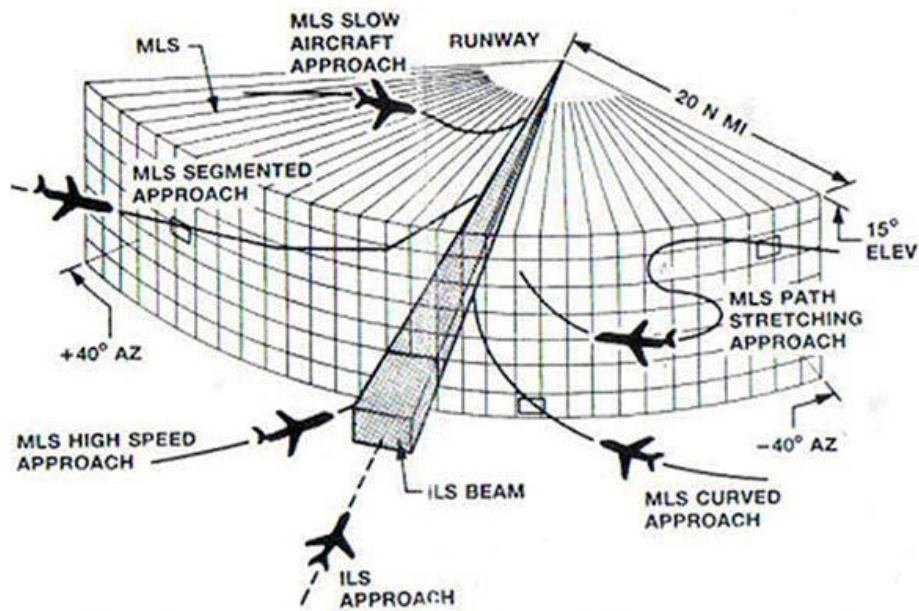


Figura 3.2 Representación combinada de aproximación ILS y MLS

Fuente: <http://navigationandguidance6241.blogspot.com/2015/11/v-behaviorurldefaultvmlo.html>

En la Figura 3.2 se muestra la diferencia entre la aproximación MLS y la aproximación por ILS, como se puede observar, mientras la aproximación por ILS es siempre en línea recta al centro de la pista, la aproximación por MLS se puede hacer casi desde cualquier ángulo y distancia, siempre tomando en cuenta las condiciones en las que se aproxima la aeronave a pista, como lo son la trayectoria y la velocidad de aproximación.

3.2.3 GNSS

Un sistema global de navegación por satélite es una constelación de satélites que transmite rangos de señales utilizados para el posicionamiento y localización en cualquier parte del globo, ya sea en tierra, mar o aire. Estos permiten determinar las coordenadas geográficas y la altitud de un punto dado como resultado de la recepción de señales provenientes de constelaciones de satélites artificiales de la Tierra para fines de navegación, transporte, geodésicos, hidrográficos, agrícolas, y otras actividades afines.

Un sistema de navegación basado en satélites artificiales puede proporcionar a los usuarios información sobre la posición y la hora (cuatro dimensiones) con una gran exactitud, en cualquier parte del mundo, las 24 horas del día y en todas las condiciones climatológicas. (Alay García, 2007)

Referencias Bibliográficas

- Agrawal, S.** (17 de Agosto de 2016). *Aviation Nepal*. Recuperado el 29 de Julio de 2018, de Aviation Nepal: <http://aviationnepal.com/blogs/ils-instrument-landing-system-2/>
- Alay García, E.** (2007). Estudio de la migración de sistemas de navegación aérea por radioayudas terrestres, a los basados por satélite en Guatemala/ Centroamérica. En E. Alay García, *Estudio de la migración de sistemas de navegación aérea por radioayudas terrestres, a los basados por satélite en Guatemala/ Centroamérica* (págs. 1 - 34). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado el 01 de Agosto de 2018, de biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0180_EO.pdf
- Great Bustard's Flight.** (21 de Enero de 2015). *Great Bustard's Flight*. Recuperado el 27 de Julio de 2018, de Great Bustard's Flight: <https://greatbustardsflight.blogspot.com/2015/01/breve-historia-de-las-radioayudas-la.html>
- Landing Systems.** (18 de Abril de 2011). *Landing Systems*. Obtenido de Landing Systems: <http://www.landingsystem.com/>
- Muñoz, M. A.** (12 de Marzo de 2011). *Manual de Vuelo*. Recuperado el 27 de Julio de 2018, de Manual de Vuelo: <http://www.manualvuelo.com/NAV/NAV71.html>
- Palacio, A., & Aguayo, J.** (2015). Análisis teórico sobre la viabilidad de implementar un Sistema ILS en el aeropuerto internacional de Guanajuato. En A. Palacio, & J. Aguayo, *Análisis teórico sobre la viabilidad de implementar un Sistema ILS en el aeropuerto internacional de Guanajuato* (págs. 7 - 32). Guanajuato: Universidad Profesional interdisciplinaria de Ingeniería Campus Guanajuato. Recuperado el 01 de Agosto de 2018, de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/14745/Proyecto%20de%20investigacion%20ILS%20Aeropuerto%20Internacional%20de%20Guanajuato.pdf?sequence=1&isAllowed=y>