

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



**PLANIFICACION, INSTALACION Y PUESTA EN  
SERVICIO DE AYUDAS ELECTRONICAS PARA LA  
NAVEGACION AEREA, APROXIMACION Y EL  
ATERRIZAJE.**

**INFORME DE COMPETENCIA PROFESIONAL**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO ELECTRONICO**

**PRESENTADO POR:**

**ROGELIO EDUARDO NÚÑEZ ROJAS**

**PROMOCIÓN**

**1979 - II**

**LIMA – PERÚ  
2011**

**PLANIFICACION, INSTALACION Y PUESTA EN SERVICIO  
DE AYUDAS ELECTRONICAS PARA LA NAVEGACION  
AEREA, APROXIMACION Y EL ATERRIZAJE**

**A MIS SERES QUERIDOS,  
PRESENTES Y AUSENTES**

## **SUMARIO**

Dentro del marco del proyecto para la renovación de los equipos de más de 20 años de antigüedad de los aeropuertos de Iquitos y Chiclayo (Perú), se realizó la planificación, instalación y puesta en servicio de sus sistemas de aterrizaje por instrumentos (Instrumental Landing System - ILS)). Estos trabajos incluyeron la implementación de dos equipos medidores de distancia (Distance Measuring Equipment - DME), asociados a los ILS.

Estos sistemas electrónicos son utilizados para guiar a las aeronaves durante el proceso de aproximación y aterrizaje, elevando la seguridad de las operaciones aéreas.

El presente informe comprende: la evaluación del estado situacional de los sistemas, el desarrollo conceptual de los principios básicos de operación de los ILS, análisis de las características de los tipos de equipos, descripción del sistema seleccionado, detalles del diseño de las instalaciones, procedimientos de instalación; ajuste y calibración de los sistemas de antenas (del localizador, la trayectoria de planeo y el equipo medidor de distancia).

Además, este informe detalla los cálculos para la correcta ubicación de las antenas y de las longitudes de los cables coaxiales, explicación sobre el uso de instrumental necesario para realizar los cortes de los cables coaxiales, puesta en fase de los sistemas de antenas, ajustes de los parámetros de operación, pruebas de campo y pruebas de inspección en vuelo, para la puesta en servicio de los sistemas.

Finalmente, se adjunta como anexo la teoría básica, para comprender y analizar los sistemas de aterrizaje por instrumentos.

## INDICE

INTRODUCCION.....	1
<b>CAPITULO I</b>	
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>3</b>
1.1 Objetivo del trabajo.....	3
1.2 Estado situacional de los sistemas ILS de los aeropuertos de Iquitos y Chiclayo.....	3
1.3 Evaluación de los sistemas.....	3
1.3.1 Instalaciones del aeropuerto de Iquitos.....	4
1.3.2 Instalaciones del aeropuerto de Chiclayo.....	4
1.4 Planteamiento de la solución.....	4
<b>CAPITULO II</b>	
<b>PRINCIPIOS BÁSICOS DE LOS SISTEMAS DE ATERRIZAJE POR INSTRUMENTO (ILS).....</b>	<b>6</b>
2.1 El localizador.....	6
2.1.1 Principio de operación.....	7
2.2 La trayectoria de planeo.....	13
2.2.1 Principios de operación.....	14
2.3. Equipo medidor de distancia.....	17
2.4 Tipos de localizador.....	17
2.4.1. Localizador mono-frecuencia.....	17
2.4.2 Localizador bifrecuencia.....	19
2.5 Tipos de trayectoria de planeo.....	21
2.5.1 Referencia nula (null reference).....	21
2.5.2 Tipo B – sistema de referencia de banda lateral.....	23
2.5.3. Sistema efecto captura – arreglo M.....	24
2.6 Categorías de los sistemas de aterrizaje por instrumento (CAT I, II y III).....	26
2.7 Descripción del sistema de aterrizaje por instrumento.....	28
2.7.1 Descripción simplificada del localizador.....	28
2.7.2 Descripción simplificada de la trayectoria de planeo.....	39
2.7.3. Principios de operación de un sistema medidor de distancia DME (Seleccionado).....	41

**CAPITULO III****PLANIFICACION E INSTALACIÓN DEL SISTEMA ILS MARK 20 A****Y DME 415.....43**

3.1.	Descripción del diseño de las instalaciones de los sistemas de aterrizaje por instrumento de los aeropuertos de Iquitos y Chiclayo.....	43
3.1.1	Instalación en el aeropuerto de Iquitos.....	44
3.1.2	Instalación en el aeropuerto de Chiclayo.....	44
3.2.	Proceso de instalación, mecánica, eléctrica y electrónica.....	46
3.2.1.	Sistema localizador (LOC) mono frecuencia, de 8 antenas LPD.....	46
3.2.2.	Procedimiento para el ajuste de fase de los cables coaxiales RF del sistema de antenas.....	49
3.2.3.	Análisis de los ajustes de parámetros de operación del localizador.....	53
3.2.4.	Ajuste de fase de la señal emitida al espacio por el localizador.....	54
3.2.5	Ajuste de la señal de monitores del localizador.....	55
3.2.6.	Sistema trayectoria de planeo (GS) de referencia nula, dos antenas.....	56
3.2.7.	Cálculos para la instalación del las antenas de la trayectoria de planeo.....	57
3.2.8.	Procedimiento para el ajuste de fase de los cables coaxiales RF de las antenas de la Trayectoria de Planeo.....	61
3.2.9.	Análisis de los ajustes de parámetros de operación.....	63
3.2.10	Ajuste de fase de la señal emitida al espacio por la trayectoria de planeo.....	65
3.2.11	Ajuste de la señal de monitores de la trayectoria de planeo.....	66
3.3	Puesta en servicio del sistema ILS.....	67
3.3.1.	Procedimientos de la inspección en vuelo.....	68
3.3.2	Sistema localizador.....	68
3.3.3	Sistema trayectoria de planeo.....	71
3.4.	Ajuste de monitores y pruebas finales.....	74
3.4.1.	Ajuste de monitores para el sistema localizador.....	74
3.4.2	Ajuste de los monitores del sistema trayectoria de planeo.....	76
3.5.	Instalación, cálculos y ajustes de los equipos medidor de distancia (DME).....	77

**CAPITULO IV****ESTIMACION DE COSTOS Y DIAGRAMA DE TIEMPOS DE IMPLEMENTACION..... 81**

4.1	Estimación de costos.....	81
4.2	Tiempos de implementación.....	82

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 84**

## Anexo A

Teoría básica para ILS.....	85
-----------------------------	----

Anexo B	
Receptor portátil ILS PIR.....	110
Anexo C	
Extracto aplicable a los sistemas ILS anexo 10.....	113
ACRONIMOS.....	120
BIBLIOGRAFÍA.....	122

## INTRODUCCIÓN

Las ayudas electrónicas para la navegación aérea (radioayudas), configuran una red de rutas en el espacio aéreo y en la aproximación de un aeropuerto. Estas apoyan las operaciones aéreas, tanto en condiciones ambientales normales como en las condiciones de baja visibilidad o por condiciones meteorológicas adversas.

Los sistemas de ayudas a la navegación aérea soportan el tráfico aéreo de las líneas aéreas nacionales y extranjeras en el territorio peruano, con cientos de operaciones diarias. A nivel internacional las operaciones aéreas se multiplican en miles y son soportadas por estos equipos. Los sistemas de ayudas a los procedimientos de aproximación y aterrizaje están instalados en los principales aeropuertos del Perú y del mundo, proporcionando una guía electrónica del eje de pista y la senda de planeo, para el aterrizaje de la aeronave.

Las ayudas de rutas son:

- El radiofaro no direccionales (NDB Non Directional Beacom) permite conocer la dirección hacia una estación NDB.
- El Radiofaro omnidireccional de frecuencia muy alta (VOR Very High Frequency Omnidirectional Range) permite conocer el rumbo que debe tomar la aeronave para dirigirse o alejarse a la estación VOR.
- El equipo medidor de distancia (DME Distance Measurement Equipment), ayuda a determinar la distancia oblicua entre la aeronave y la estación en tierra.

Las ayudas electrónicas para la aproximación y aterrizaje son sistemas de precisión, las cuales permiten guiar al piloto (en manual o automático) hasta las proximidades de la pista de aterrizaje. Así los ubica en la prolongación del eje de la pista de aterrizaje y en una trayectoria de planeo de 3° grados respecto al punto de toma de contacto (pendiente de aproximación que le permite una adecuada performance durante el aterrizaje).

El desarrollo de la tecnología ha permitido realizar la generación de las señales moduladoras desde la información almacenada en una memoria; la cual es procesada mediante una lectura secuencial, con bases de tiempos independientes y procesamiento digital. Luego mediante una conversión digital análoga es transformada en una señal senoidal; esta generación permite tener una mejor estabilidad de la señal y mayor precisión de las informaciones radiadas al espacio.

Los sistemas electrónicos de ayudas para la aproximación y el aterrizaje (sistemas de aterrizaje por instrumento ILS), están instalados en las proximidades de una pista de aterrizaje. Se interconectan al centro de mantenimiento y la torre de control, donde se ubica un equipo indicador de estado. Este permite al controlador de tránsito aéreo saber si el sistema está operando adecuadamente y puede ser utilizado por la aeronave que se encuentra realizando los procedimientos de aproximación y aterrizaje.

En este informe se describe la planificación, actividades técnicas, los principales proceso de instalación y puesta en servicio de los sistemas ILS instalados en los aeropuertos de Iquitos y Chiclayo, dentro del proyecto de renovación.

En el primer capítulo se plantea la problemática de los sistemas que fueron renovados, la evaluación realizada y el planteamiento de la solución.

Dado que estos sistemas son especializados y poco conocidos en el segundo capítulo se desarrolla una descripción detallada de los principios básicos de operación, características, tipos de equipos localizador y trayectoria de planeo. Además, se describe las características de operación del equipo medidor de distancia.

En el tercer capítulo se detalla la planificación, los procedimientos para la instalación y puesta en servicio de los sistemas. Y en el cuarto capítulo, se presenta los estimados de costo y cronograma de ejecución de proceso.

Con el fin de un mejor entendimiento se adjunta el anexo A, en el cual se presenta la teoría básica necesaria para entender el funcionamiento y operación de los sistemas ILS, en especial, el aspecto de las características de radiación y procesamiento de la señal electromagnética en el espacio y la “modulación espacial” [1]. En el anexo B, se muestra un equipo de medición de campo para estos sistemas y el anexo C, la información relevante del anexo 10 de la OACI aplicable a los ILS.

## **CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Se presenta los detalles técnicos de la planificación y trabajos relacionados a la renovación de los sistemas electrónicos de aterrizaje por instrumento (ILS) de los aeropuertos de Iquitos y Chiclayo.

### **1.1 Objetivo del trabajo**

Desarrollar y analizar los procedimientos de instalación y puesta en servicio, realizados para los sistemas de ayudas electrónicas para la navegación aérea, aproximación y el aterrizaje (sistemas de aterrizaje por instrumento ILS).

Ampliar el conocimiento respecto a las ayudas electrónicas para la navegación aérea, aproximación y el aterrizaje instalados en tierra,

Mejorar la información de orientación de los pilotos, a través de señales electromagnéticas.

### **1.2 Estado situacional de los sistemas ILS de los aeropuertos de Iquitos y Chiclayo.**

Estos sistemas permiten a los pilotos realizar los procedimientos instrumentales de aproximación y aterrizaje. Ayudando así a elevar la performance y seguridad de la operación aérea. Sin embargo, debido a la antigüedad de 20 años de los equipos, los valores de confiabilidad y disponibilidad habían bajado a niveles que limitaban las operaciones a vuelos visuales. De esta manera se creaban algunos problemas de cancelación del aterrizaje o retardos en los vuelos por las condiciones meteorológicas adversas. Lo que causaba incremento de gastos en las operaciones aéreas.

### **1.3 Evaluación de los sistemas**

Los ILS de los aeropuertos de Iquitos y Chiclayo eran equipos transmisores duales. Su tecnología estaba basada en los circuitos discretos para la generación de las señales analógicas de modulación, oscilador de radio frecuencia controlado por cristal (Con multiplicador ajustado por condensador), circuitos digitales integrados TTL para el procesamiento y presentación de datos.

Algunos de los componentes de estos equipos, debido a la antigüedad, no se encontraban en el mercado, y su fabricación fue descontinuada. Por esto se realizaron en algunos casos adecuaciones para mantener su operatividad.

Estos equipos habían superado su vida útil. El nivel de intervenciones de mantenimiento correctivo se había incrementado reduciendo su nivel de confiabilidad y disponibilidad.

Durante la pruebas de inspección en vuelo, los resultados cumplían con los límites de tolerancia, pero en sus extremos.

### **1.3.1 Instalaciones del aeropuerto de Iquitos**

En el año 1980 se realizó la instalación de un sistema ILS WILCOX MARK ID para la pista 06. Además, contaba con una radiobaliza de media marca, de una tecnología más antigua, como referencia de distancia durante la aproximación,

El localizador tenía un sistema de 8 antenas logarítmicas, ubicada a 300 metros en la prolongación del eje de la pista de aterrizaje. Su unidad de distribución fue confeccionada con módulos híbridos y cables coaxiales para los desfasajes.

La trayectoria de planeo ubicada a 90 metros a lado izquierdo (en sentido de la aproximación) del eje de pista y 300 metros del umbral se mantenía operativa. Sin embargo, en los años 90 se realizaron construcciones de hangares y estaciones de comunicaciones dentro de las inmediaciones de área crítica de la trayectoria de planeo. Estas instalaciones producían distorsión en la señal de la trayectoria. Dicha situación fue evaluada mediante las pruebas periódicas de inspección en vuelo.

Además, en el proceso de verificación de la operatividad de los sistemas se realizaron diversas pruebas. También se evaluó el comportamiento de cada equipo. Así se determinó que por efectos de temperatura los elementos de monitoreo de los equipos de la trayectoria de planeo tenían variaciones que no hacían confiable su operación.

### **1.3.2 Instalaciones del aeropuerto de Chiclayo**

El localizador MARK ID, adquirido en los años 80, fue instalado en este aeropuerto en una configuración de eje desplazado con un ángulo de  $1.66^\circ$ , debido a las limitaciones de espacio, el sistema de antenas está ubicado a 280 metros de la prolongación del eje de pista, desde el final de la pista y 110 metros al lado izquierdo.

El sistema de antenas de la trayectoria de planeo fue ubicado a los 300 metros de umbral de la pista 19 y a 90 metros del lado derecho de la aproximación.

Este sistema de aterrizaje por instrumento no contaba con radiobaliza como referencia de distancia. Para los procedimientos se utilizaba el equipo DME de la estación de Capote.

Durante la evaluación del sistema localizador se encontró fallas recurrentes en el sistema de antenas y en el sistema de ajuste de fase de la banda lateral.

## **1.4 Planteamiento de la solución.**

Como recomendación de la evaluación realizada se determinó que los equipos de

los sistemas ILS de ambos aeropuertos debían ser reemplazados por sistemas que brinden mayor confiabilidad y disponibilidad. Con este objetivo se proyectó la adquisición de nuevos sistemas.

El proceso de adquisición fue encargado a UNOPS (Oficina de Servicios para Proyectos de Naciones Unidas). Durante el proceso de adquisición se realizó la revisión de las especificaciones técnicas del equipamiento enmarcada al cumplimiento de las recomendaciones de la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional). Además se consideró:

Que los equipos por adquirir sean de nueva tecnología (de alta confiabilidad y disponibilidad)

Con circuitos electrónicos de alto grado de integración,

Que la generación de señales moduladoras sea de forma digital, su oscilador de radio frecuencia sea programable,

Que el proceso de control y monitoreo sea soportado por microprocesadores.

Con acceso para ajuste y programación mediante computador.

Los equipos debían contar con circuito de prueba internos que generen alertas de mantenimiento y procedimientos para detectar las fallas.

El proceso de instalación, obra civil y puesta en servicio, fue realizado por la entidad (CORPAC S.A) con la asesoría del proveedor de los equipos.

## **CAPITULO II**

### **PRINCIPIOS BÁSICOS DE LOS SISTEMAS DE ATERRIZAJE POR INSTRUMENTO (ILS).**

En este capítulo se desarrolla el marco conceptual del funcionamiento y operación del sistema de aterrizaje por instrumento (ILS) y el equipo medidor de distancia (DME). Así como las diferentes alternativas que existen y la descripción del equipamiento seleccionado.

El sistema de aterrizaje por instrumento ILS (Instrumental Landing System) , proporciona al piloto una guía electrónica del eje de pista y la senda de planeo, por medio de emisión de ondas electromagnéticas proyectadas al espacio hasta una cobertura de mas de 18 NM (Nautical millas); las cuales son recepcionadas y procesadas por el equipo de abordaje mostrando en el instrumento, llamado detector de agujas cruzadas, la indicación de desvío con relación a la guía electrónica del eje de pista y la senda de planeo. Está constituido por tres subsistemas:

- El localizador, que proporciona una guía electrónica proyectando el eje de pista hasta una distancia de 25 NM aproximadamente.
- La trayectoria de planeo, proporciona la guía de la senda de planeo, que es el ángulo con el cual una aeronave puede aterrizar con una performance de máxima seguridad.
- Un equipo medidor de distancia DME (Distance Measuring Equipment), equipo que permite al piloto saber la distancia entre la aeronave y el punto de toma de contacto de la pista de aterrizaje

#### **2.1 El localizador**

Es un sistema de radio en la banda de 108 a 112 MHz, el cual irradia una señal electromagnética con polarización horizontal, provee una guía electrónica del eje de pista, con un alcance de 25 NM. Proporciona una información del desvío lateral, la cual se produce mediante la intersección de los patrones de radiación de un sistema de antenas equidistantes, instaladas en la proyección del eje de pista, cuya radiación es de igual amplitud, pero de fases variables. En el patrón de radiación de las antenas, a un lado del eje de pista predomina la modulación 90 Hz y del otro 150 Hz. El "curso" (proyección electrónica del eje de pista)" es un plano vertical donde las modulaciones de 90Hz y 150 Hz son iguales.

La señal recibida por el receptor de abordo produce una indicación de "vuele a la derecha" para el piloto cuando la aeronave esta a la izquierda del curso, en esta zona o sector donde predomina la señal modulada de 90Hz. Similarmente, una indicación de "vuele a la izquierda" cuando el piloto este en el lado derecho de la línea del curso, en esta zona o sector predomina la señal modulada de 150 Hz.

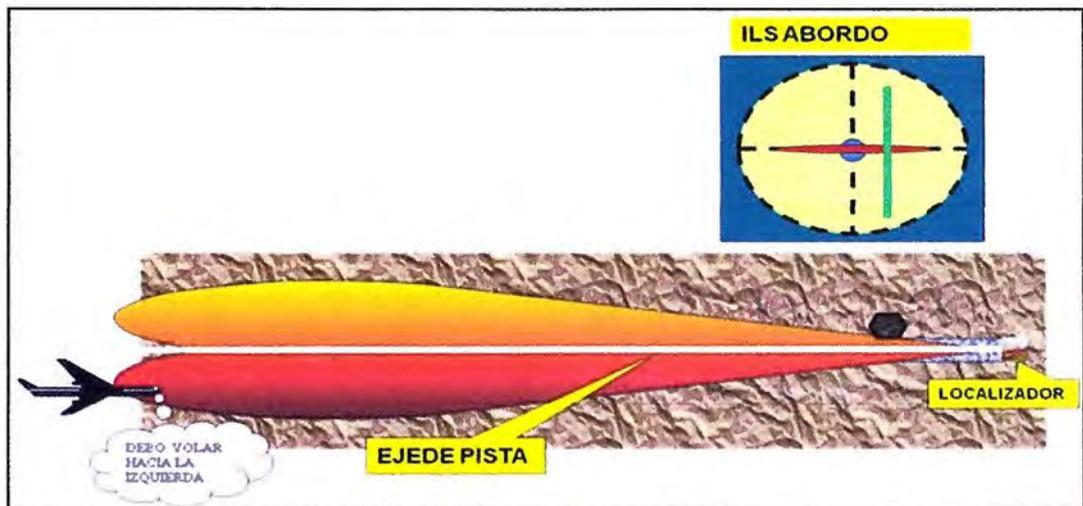


Fig. 2.1 Representación de la utilidad del localizador. (Fuente: Elaboración propia).

### 2.1.1 Principio de operación

El sistema localizador, genera una información del "eje de pista electrónico" a través de ondas electromagnéticas emitidas al espacio. Está instalado en la prolongación del eje de pista normalmente a 300 metros del final de la pista (esta distancia puede ser menor de acuerdo a las características de los terrenos o facilidades de instalación). El transmisor genera dos señales moduladas con 90 y 150 Hz, estas son enviadas a través de cables coaxiales de baja pérdida (hélix) al modulo de distribución de antena, modulo que se encarga de dividir las señales y distribuir las al conjunto de antenas (entre 8 a 20 antenas) con niveles adecuados de amplitud y fase para cada par de antenas equidistantes.

Las señales radiadas al espacio se caracterizan por que en la prolongación del eje de la pista, la modulación de las dos señales se anulan permitiendo mantener una lectura de la diferencia de profundidad de modulación (Depth Differential Modulation DDM) igual a cero, incrementándose en el caso que nos alejemos a cualquier lado del eje; para entender esto analizaremos la señal irradiada por el sistema de antenas.

El transmisor genera dos señales:

- La primera es una señal de portadora (Carrier Side Band CSB) es modulada por dos señales, una de 90 Hz y la otra de 150Hz, ambas con el mismo nivel de porcentaje de modulación.
- La segunda es una señal de doble banda lateral con portadora suprimida (Side Band

Only SBO), la cual es también modulada por las dos señales de 90 y 150 Hz.

La expresión para las señales moduladas CSB y SBO son:

$$E_{CSB}(t) = E_{CSB} (1 + m \sin \omega_{90}t + m \sin \omega_{150}t) \sin \omega_c t \quad (2.1)$$

$$E_{SBO}(t) = E_{SBO} (-m \sin \omega_{90}t + m \sin \omega_{150}t) \sin \omega_c t \quad (2.2)$$

Las formulas son tomadas en el manual de teoría básica anexo A. Donde:

$E_{CSB}$  y  $E_{SBO}$  son amplitudes constantes

$f_c$  = frecuencia de la portadora

$$\omega_c = 2 \pi f_c$$

$m$  = porcentaje de modulación de amplitud, (para el caso del localizador es del 20% para 90Hz y 20% para la de 150 Hz).

Estas señales se representan en el dominio del tiempo, con las Fig. 2.2 y 2.3 respectivamente.

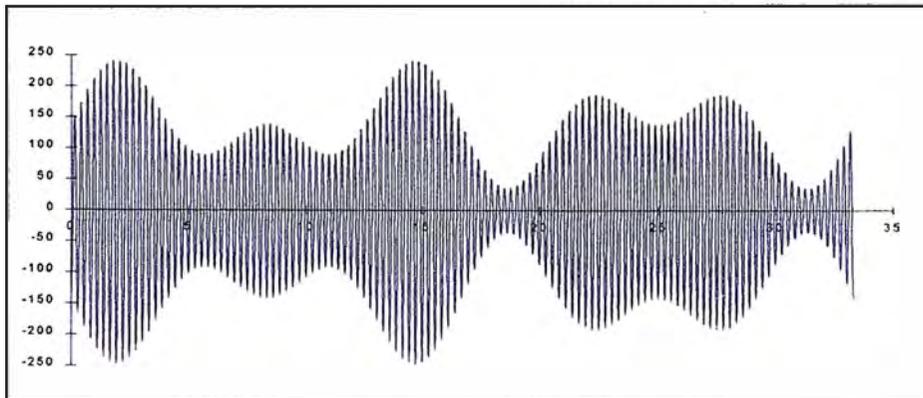


Fig. 2.2 La forma de onda de la CSB, señal modulada con 90 y 150 Hz.  
(Fuente: Manual de teoría básica ILS anexo A)

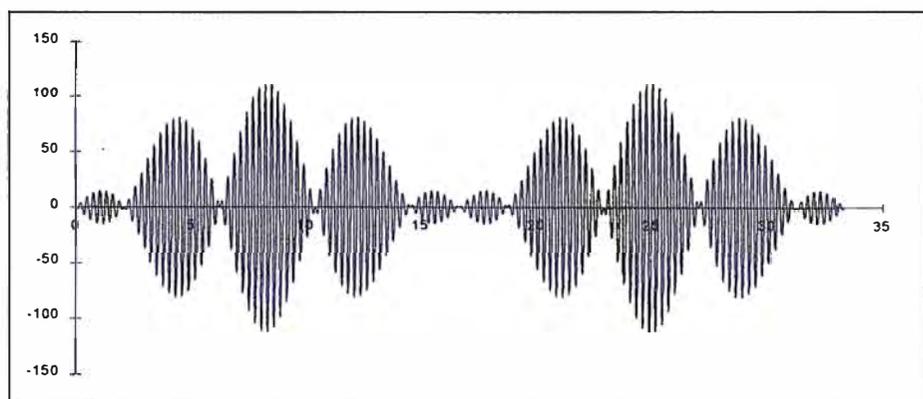


Fig. 2.3 La forma de onda de la SBO, señal modulada con 90 y 150 Hz.  
(Fuente: Manual de teoría básica ILS anexo A)

Estas señales son enviadas al módulo de distribución, en el cual las señales son divididas y enviadas a cada una de las antenas con fases y amplitudes definidas. Con el fin de explicar el principio de diferencia de señal de modulación, solo se utilizará dos

antenas equidistantes al eje de pista, tal como se grafica en la Fig. 2.4.

Donde las señales que ingresan han sido divididas, corridas en fase y combinadas, para alimentar cada antena de acuerdo a la Tabla 2.1 (Elaboración propia).

	A1	A2
CSB	0°	0°
CSB 90	0°	0°
CSB 150	0°	0°
SBO90	90°	-90
SBO150	-90	90

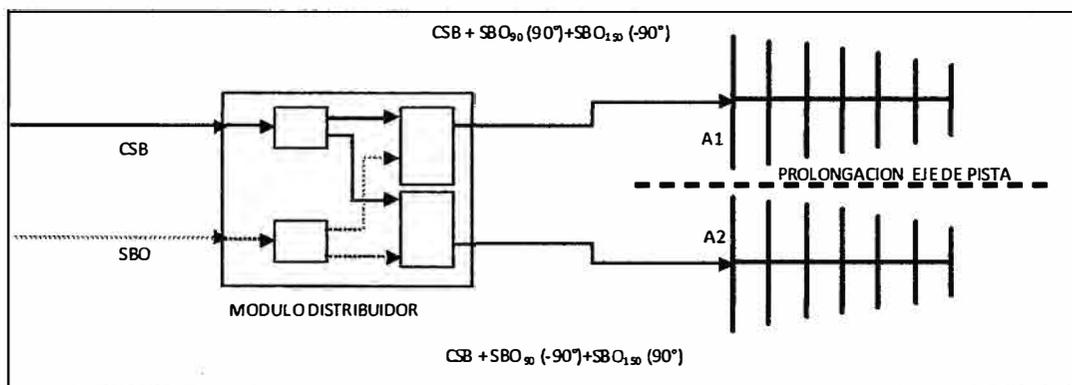


Fig. 2.4 Diagrama simplificado de la señal en las antenas del localizador.  
(Fuente: Elaboración propia)

Analizamos el comportamiento de las señales como fasores, donde la señal de radiofrecuencia es representada por un fador, donde la longitud representa la amplitud y el ángulo representa la fase relativa, entre dos señales.

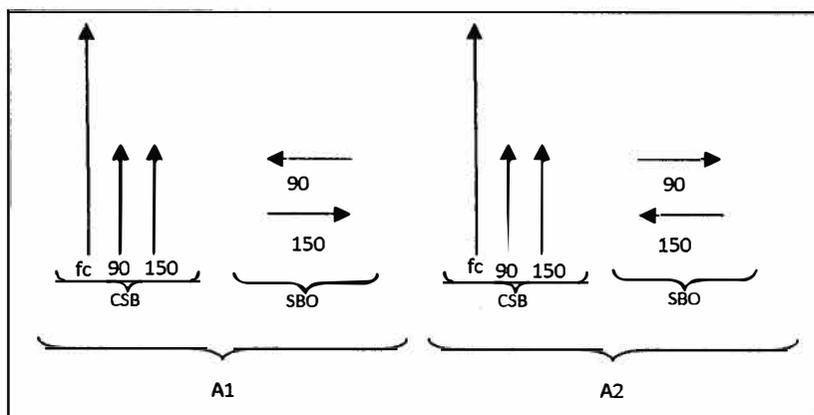


Fig. 2.5 Señales CSB y SBO, irradiadas antenas A1 y A2, representado vectorialmente.  
(Fuente: Elaboración propia)

En la Fig. 2.5 encontramos los fasores de las señales correspondiente a las dos antenas A1 y A2, debemos aclarar que la amplitud de cada fador de 90 HZ y 150Hz es

proporcional al índice de modulación, que para el Localizador es de 20%, para cada una de las señales de modulación, es decir 20 % para la 90 Hz y 20 % para la 150 Hz, tanto para la modulación de la portadora (CSB) y la modulación de la banda lateral (SBO).

En la Fig. 2.6 (a), consideramos que las antenas están separadas una distancia  $D$ , que es el doble de la distancia al eje de pista, y que el avión se encuentra en un punto  $P$ , lejano al conjunto de antenas, si consideramos  $A2$  con la antena de referencia, podemos determinar que la señal de la antena  $A1$  llegara desfasada en  $\varphi = K.(D.\text{sen}(\theta))$ , en grados.  $K = (2 * \pi) / \lambda$ , donde  $\lambda$  es la longitud de onda de la portadora  $f_c$ .

La señal de la antena  $A1$  en el punto  $P$ , tiene un retardo  $\varphi$  grados, que depende del ángulo  $\theta$ , esta es la principal característica para la generación de diferencia de profundidades de modulación de las dos señal (de 90 Hz y 150 Hz). Los fasores en el punto  $P$  se representan en la Fig. 2.7.

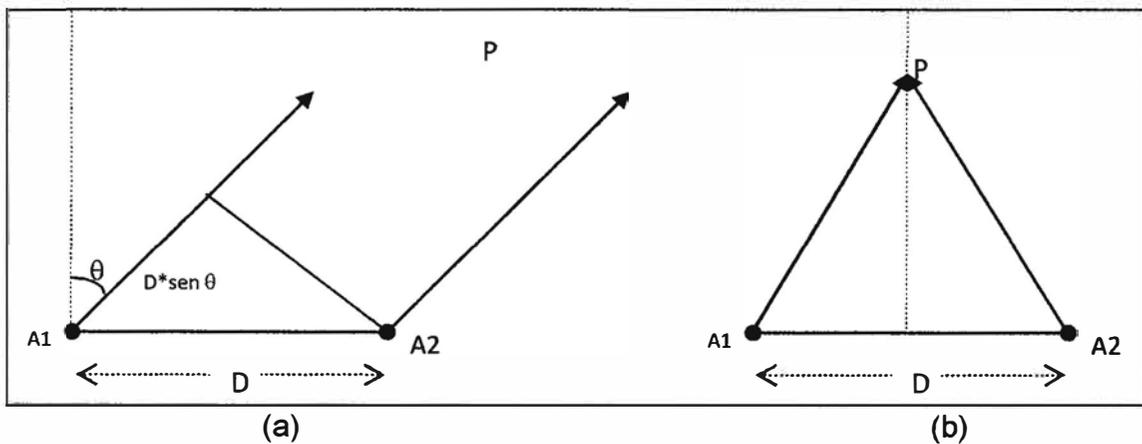


Fig. 2.6 Retardo de la señal  $A1$  con respecto al punto  $A2$ , en el punto  $P$ . a) en un punto alejado del eje y b) un punto en el eje. (Fuente: Elaboración propia)

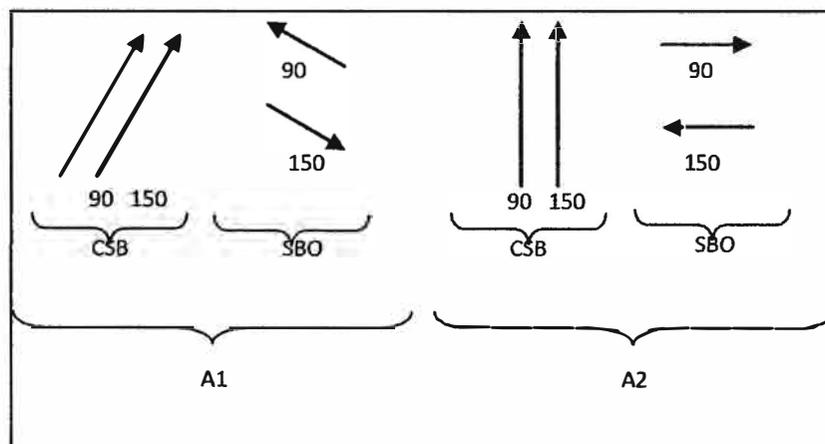
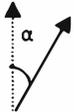


Fig. 2.7 Señales de modulación recepcionada en el punto  $P$ . (Fuente: Elaboración propia).

Considerando la señal de la Antena  $A2$  como referencia, las señales llegan al punto  $P$ , con una fase igual a cero, tanto para CSB y SBO; las dos señales de la antena

A1, la señal CSB y la SBO, llegan con un retardo de fase de  $\varphi$  grados; para encontrar la señal resultante para cada una de ellas (90Hz y 150Hz), se deben sumar en función de la frecuencia de modulación.

En la Tabla 2.2, se desarrolla gráficamente el comportamiento de las señales receptionadas en el punto P.

TABLA 2.2					
Análisis gráfico de las señales irradiadas por las antenas A1 y A2, en el punto P					
Señal de 150 Hz			Señal de 90 Hz		
Antena A1	Señal	Antena A2	Antena A1	Señal	Antena A2
	CSB			CSB	
	SBO			SBO	
	Suma de señales de 150 Hz			Suma de señales de 90 Hz	
					
Resultante de 150 Hz			Resultante de 90 Hz		
Si comparamos las amplitudes de 90 Hz y 150 Hz, nos daremos cuenta que la señal de 90 Hz es de mayor amplitud, por lo tanto la diferencia de las profundidades de modulación en el punto P, predominara la modulación de 90Hz. (Fuente: Elaboración Propia)					

Para determinar las resultantes de las señales de modulación de 90 Hz y 150 Hz,

las mismas que activarán el comparador de modulación en el equipo de abordaje. Primero se suma las señales de cada señal de modulación de la portadora y de las bandas laterales de cada antena, las resultantes se suman entre ellas y se encuentra la resultantes final, tanto de la señal de 150 Hz y de la señal de 90 Hz, para nuestro ejemplo se ha obtenido que la señal de 90 Hz, tiene una mayor amplitud.

Las señales resultantes finales se descomponen en dos una en fase con la portadora y la segunda  $90^\circ$  grado desfasada. Por lo tanto la relación entre la amplitud de la portadora y la componente en fase determinan el porcentaje de modulación final, tanto para la señal de 90 Hz y la señal de 150 Hz.

Para el localizador la suma de los porcentajes modulaciones será igual a 40%, a lo largo del sector dentro de la cobertura del localizador. Esta es una característica importante y se denomina "suma de las profundidades de modulación (SDM)".

Así mismo, si analizamos las señales de las dos antenas A1 y A2, ver Fig. 2.6 (b), sobre el plano vertical que contiene el eje de pista, al llegarán al mismo tiempo, las resultantes de las modulaciones de 90 y 150 Hz, son de igual intensidad y la diferencia de profundidades de modulación es igual a cero.

En la Fig. 2.8, se muestra un diagrama de bloque simplificado de un receptor ILS de abordaje. La señal recibida por las antenas de la aeronave es amplificada, transformada en frecuencia intermedia y luego es demodulada. La salida es una señal de baja frecuencia constituida por los señales de 90 Hz y 150 Hz, estas dos señales son filtradas separadamente y rectificadas; la diferencia de nivel de DC determina la "diferencia de profundidad de modulación" (DDM), esto produce una corriente que mueve una aguja, la cual indica la desviación desde la línea de curso.

La suma de las señales detectadas de 90 Hz y 150 Hz, es equivalente a la SDM, y dará la indicación de "corriente bandera". Una baja SDM indicara algún problema o error mediante la aparición de una bandera roja en el indicador; también un bajo nivel de señal causa una "bandera de alerta".

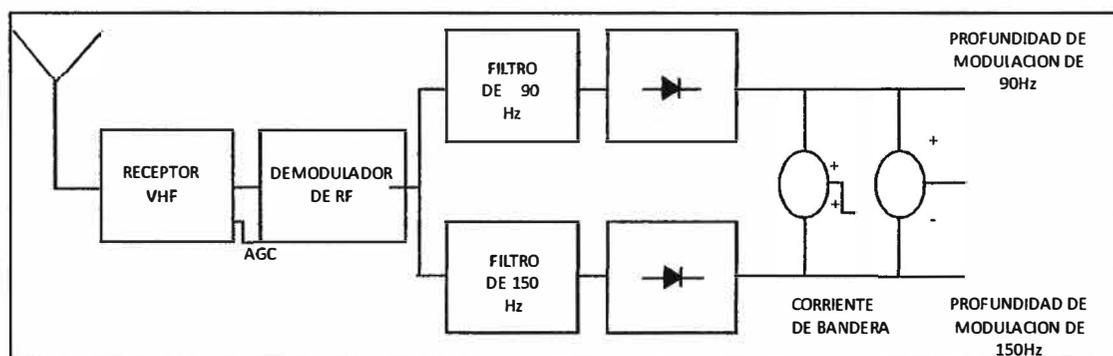


Fig. 2.8 Diagrama de bloques simplificado del receptor ILS.  
(Fuente: Teoría básica ILS anexo A)

En el receptor, la medida del DDM es una diferencia entre la corriente de los circuitos de 90 Hz y 150 Hz. El receptor es calibrado para dar una corriente igual a 150  $\mu\text{A}$  para el límite del sector o ancho ajustado, tanto para el localizador y como la trayectoria de planeo.

El sector o ancho del curso para el localizador, se fija en el lugar donde la diferencia de profundidad de modulación es 0.155 DDM (15.5%). En la Fig. 2.9, se representa las características de distribución de la diferencia de profundidad de modulación dentro del sector de uso del localizador, este sector está determinado por ángulo formado entre el centro de la antenas del localizador y los puntos a 105 mts a cada lado de eje, en el umbral de la pista, en estos puntos y su prolongación la diferencia de profundidades de modulación son equivalentes a -0.1550 (-15.5% o -150  $\mu\text{A}$ ), con predominio de 90 Hz al lado izquierdo (corriente negativa por convención) y +0.1550 DDM (+15.5% o +150  $\mu\text{A}$ ), con predominio de 150 Hz al lado derecho (corriente positiva por convención), y tanto en el eje de pista como en su prolongación (línea del curso del localizador) es de 0.000 DDM (0%, 0.0  $\mu\text{A}$ ).

De acuerdo a lo normado por la OACI, los sectores pueden variar entre  $3^\circ$  y  $6^\circ$ ; el DDM debe aumentar proporcionalmente hasta el límite del sector y debe ser mayor a los  $\pm 18\%$  de DDM fuera del sector hasta los  $35^\circ$  a cada lado del eje. Esto se logra con un adecuado fasaje del sistema de antenas.

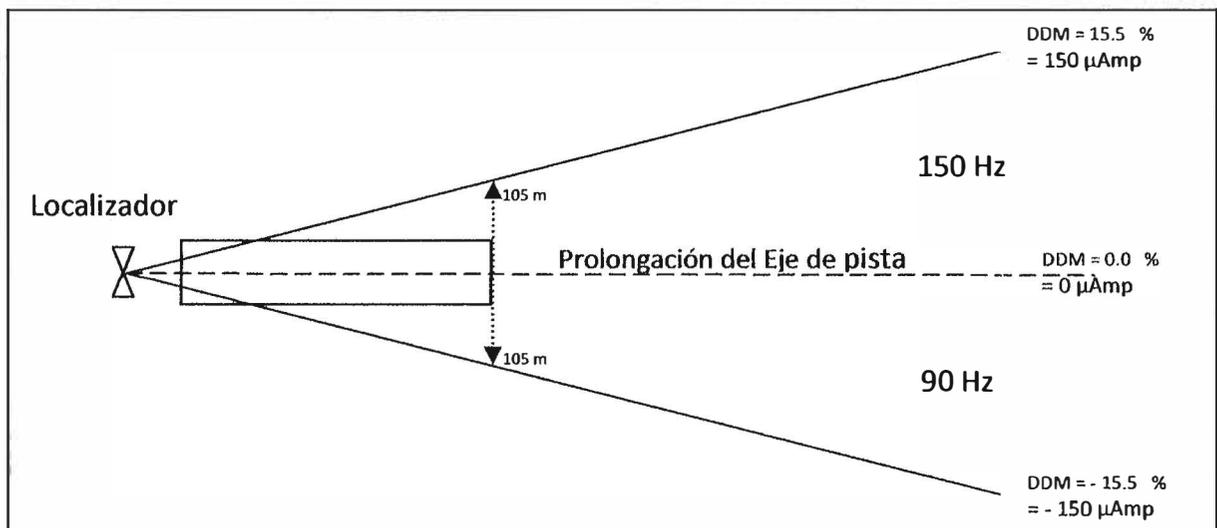


Fig. 2.9 Distribución del DDM en el sector del localizador. (Fuente: Elaboración propia).

## 2.2 La trayectoria de planeo

Es un sistema que produce dos patrones de radiación donde las amplitudes de modulación varían en el plano vertical, estos patrones se interceptan formando el ángulo de descenso, nombrado ángulo de trayectoria de planeo; predominando la señal de 150 Hz en la parte baja, el cual produce una indicación "vuele hacia arriba", y la señal de

90Hz predomina sobre el ángulo de la trayectoria de planeo, originando una indicación de "vuele hacia abajo", ver Fig. 2.10.

El sistema de antenas de la trayectoria de planeo puede estar ubicado entre los 90 a 120 metros del eje de pista y a 300 m del umbral de la pista, para dar un nivel cruce sobre el umbral entre los 15 y 18 m de altura. La OACI ha fijado como ángulo de la trayectoria de planeo  $3.0^\circ$ .

### 2.2.1 Principios de operación

La trayectoria de planeo irradia una señal de RF en el rango de frecuencia de 328 a 336 Mhz, modulada en amplitud con señales de 90 y 150 Hz, ambos con el 40% de porcentaje modulación. Cuando la aeronave se aproxima a la pista de aterrizaje en el ángulo de descenso, el equipo de abordo recibe las señales de modulación con iguales amplitudes (equivalente 0 DDM).

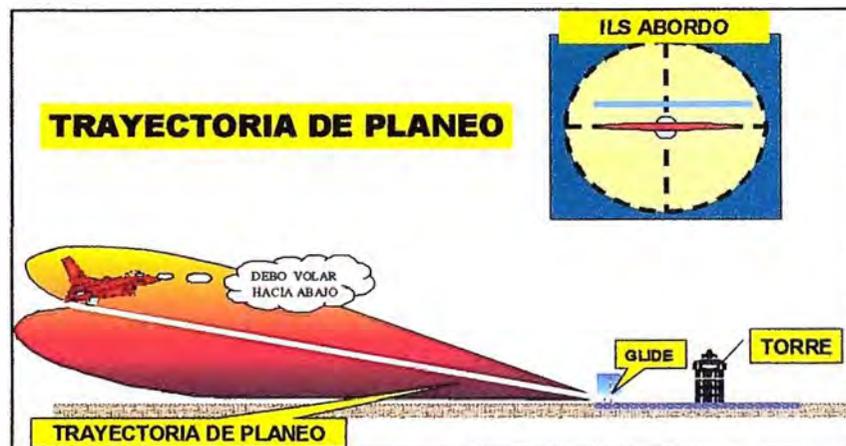


Fig. 2.10 Representación del uso de la Trayectoria de Planeo.  
(Fuente: Elaboración propia).

Las desviaciones que ocurren arriba del valor nominal, resulta por la predominancia de la amplitud de 90 Hz y cuando la desviación es por debajo predomina la amplitud de 150 Hz (DDM positivo). Su cobertura debe ser 10NM (Aproximadamente 18.5 Km) dentro del sector azimutal de  $\pm 8^\circ$  relativos a la línea del curso del localizador; el estado peruano ha fijado como ángulo de la trayectoria de planeo en  $3^\circ$ . Los valores característicos para del DDM dentro del sector cercano y en relación con el eje de pista, se indican en la Fig. 2.10.

El plano radiado por las antenas de la trayectoria de planeo de  $DDM = 0$ , de acuerdo al anexo 10 de OACI, sección 3.1.1, este debe pasar por la altura fijada a 15 m (dato de referencia ILS) en el umbral de la cabecera de la pista.

Para cumplir lo recomendado, los sistema de antenas deberá instalarse a una distancia  $D=15/\text{tang}(3^\circ)$ , ver Fig. 2.11, aproximadamente 300m si el terreno es plano; pero no siempre es un nivel plano, la pendiente del terreno de las pistas de aterrizaje producen un

error en el ángulo de la trayectoria, por lo que es necesario variar la distancia de ubicación del sistema de antenas entre 286...344m, desde el umbral, o realizar los ajustes para cumplir con la norma.

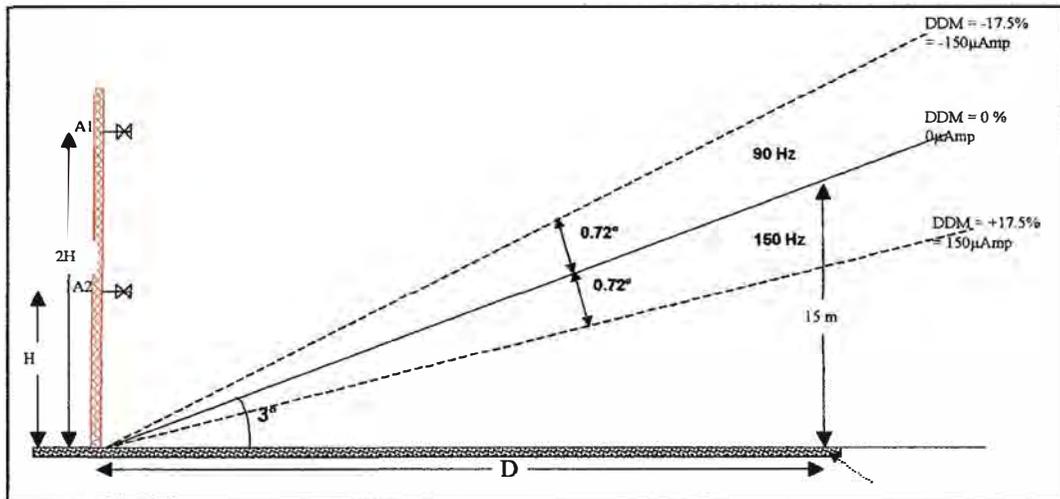


Fig. 2.11 Valores característicos de la Trayectoria de Planeo.  
(Fuente: Elaboración propia).

El ancho del sector se fija en el espacio comprendido entre el  $DDM = \pm 17.5\%$ , correspondiente a lo especificado dentro de la desviación del ángulo entre  $\pm 0.72^\circ$  desde el valor nominal del ángulo ( $3^\circ$ ).

El sistema de antenas normalmente está constituido por dos antenas instaladas en una torre. Las dos antenas difieren en su patrón de radiación en función a su altura  $h$ , de acuerdo a la fórmula 2.3 (Fuente: Teoría básica ILS anexo A), donde  $\theta$  es ángulo de elevación.

$$E = 2 \cdot A \cdot \text{sen}[(2\pi / \lambda) \cdot h \cdot \text{sen } \theta] \quad \dots(2.3)$$

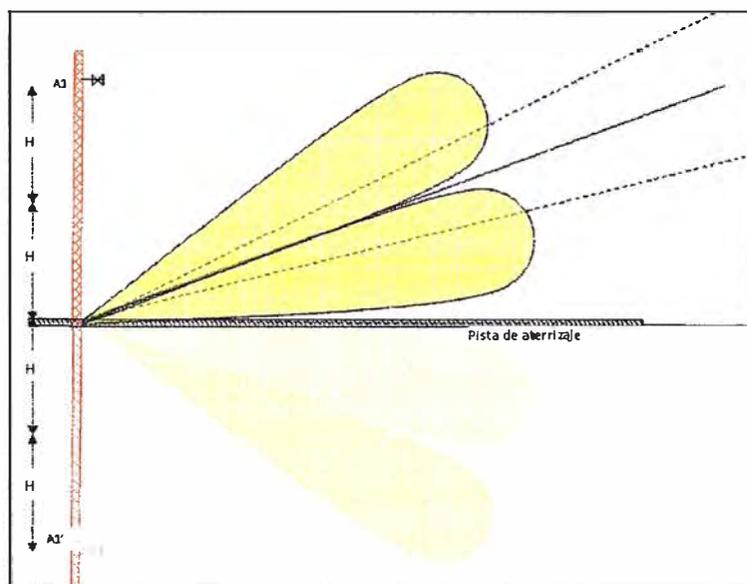


Fig. 2.12 Patrón de radiación de la antena A1. (Fuente: Elaboración propia).

El caso de la antena A1 irradia la señal de banda lateral (SBO), ver Fig. 2.12; y su la altura de instalación es el doble de la antena A2, consideramos que  $H$  es aproximadamente a  $\lambda(4 \cdot \sin(3^\circ))$  [Fuente: Teoría básica ILS anexo A], y A1' que es la antena imagen, irradiando una señal de igual amplitud A1, pero con fase de  $180^\circ$ . Con la polaridad positiva para el primer lóbulo y negativo el segundo, en esta grafica solo se ha dibujado los dos primeros lóbulos sin embargo existe más lóbulos y mas nulos aproximadamente cada  $3^\circ$ .

En el caso de la antena A2 instalada a la altura  $H$ , esta irradia la señal de la portadora (CSB), el diagrama de propagación del lóbulo principal es similar al graficado en la Fig. 2.13.

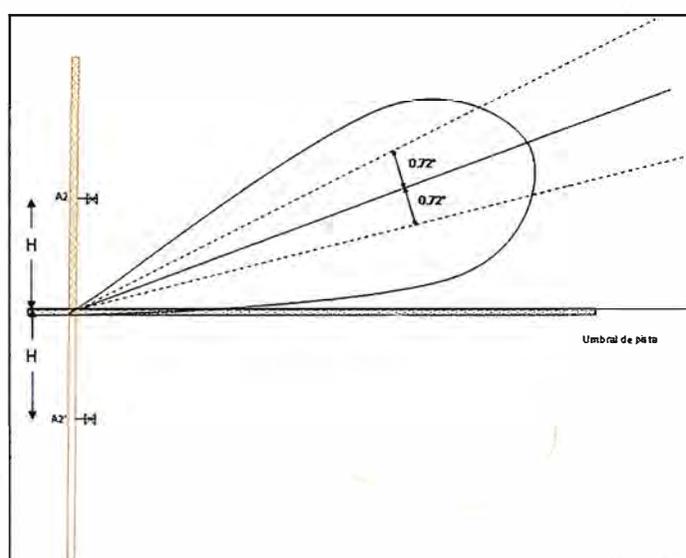


Fig. 2.13 Patrón de radiación de la antena A2. (Fuente: Elaboración propia).

Si combinamos los dos patrones de irradiación y consideramos la antena imagen tendremos, la Fig. 2.14, que grafica como se combinan los dos diagramas de irradiación.

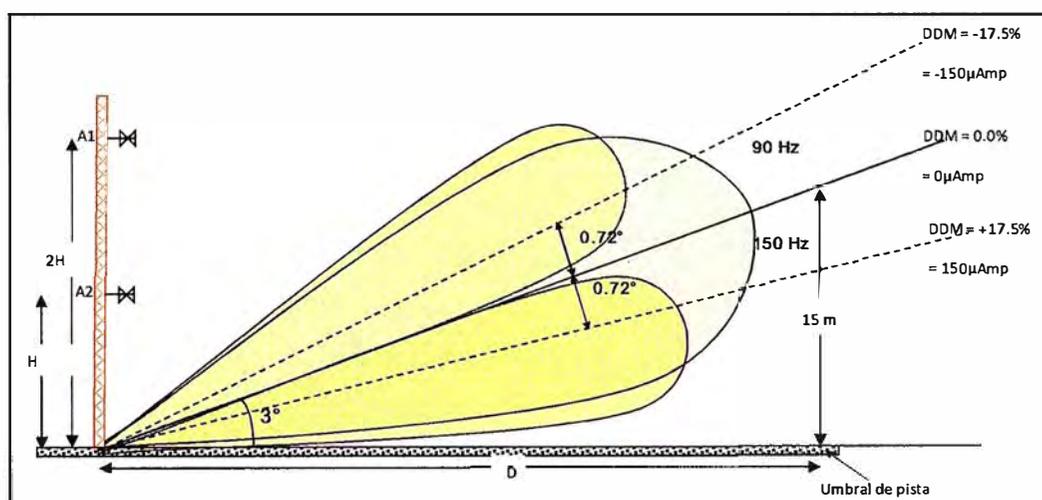


Fig. 2.14 Representación del patrón de radiación de la trayectoria de planeo. (Elaboración propia)

### 2.3. Equipo medidor de distancia

El equipo medidor de distancia (DME), trabaja asociado al localizador, pero está instalado en la caseta de la trayectoria de planeo. Su rango de frecuencia es de 963 a 1215 Mhz, este sistema permite determinar la distancia oblicua entre la aeronave y la antena del equipo instalado en la estación terrena, ver Fig. 2.15.

El avión genera una señal de interrogación, esta es detectada e identificada por el equipo de tierra, y con un retardo de 50 microsegundos después de recibida la señal se genera una señal de respuesta, la cual le permite al equipo en la aeronave calcular la distancia, en base al tiempo entre la emisión de la interrogación y la recepción de la respuesta.



Fig.2.15 Representación de la utilidad del DME-T. (Fuente: Elaboración propia).

Los sistemas ILS y DME normalmente están constituidos por un equipo principal y otro de reserva, que tienen las mismas características de operación y son calibrados para radiar la misma información, solo el sistema de antenas es único. Además, poseen un sistema de monitoreo que toma muestras de la señal irradiada, las procesa y de estar fuera de los límites de operación emite una alarma y automáticamente es transferido al equipo de reserva o apagado si el sistema no está funcionando apropiadamente.

Además estos sistemas cuentan con circuitos para el diagnóstico y evaluación de los diferentes componentes, presentando alertas de mantenimiento o de ser el caso apagan los equipos.

## 2.4 Tipos de localizador

### 2.4.1. Localizador mono-frecuencia

Es el más utilizado de los localizadores descrito en el acápite anterior y se basa en la emisión de una sola frecuencia, la señal de portadora y la banda lateral son radiadas desde el sistema de antenas y su principal desventaja son los obstáculos que generan señales reflejadas las cuales producen interferencia, distorsión en el curso (ondulaciones), ver Fig. 2.16.

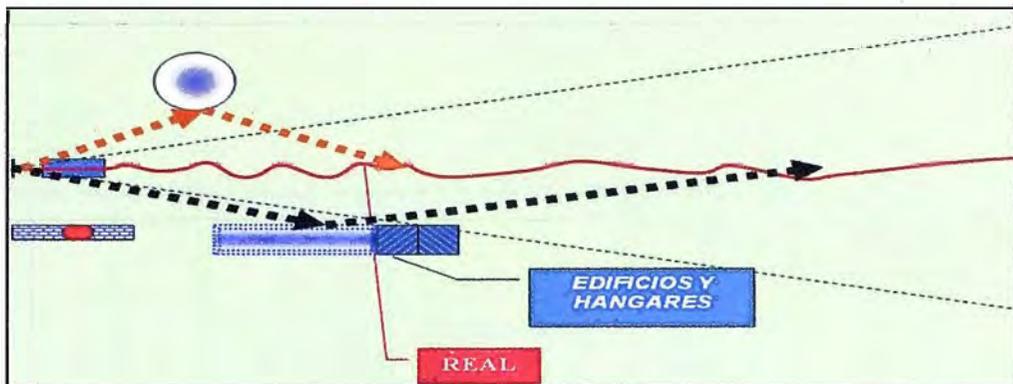


Fig. 2.16 Distorsión de la señal del Localizador mono frecuencia, debido a obstáculos.  
(Fuente: Elaboración propia)

En la Fig. 2.17, se grafica el diagrama de irradiación y en la Fig. 2.18 se muestra el diagrama simplificado de interconexión del localizador monofrecuencia; la señal de CSB y SBO del curso son dos salidas independiente de radio frecuencia moduladas por 90 Hz y 150 Hz, de acuerdo a lo indicado en los párrafos precedentes, estas alimentan al modulo de distribución de potencia y fase para las antenas; parte de la señal irradiada por cada antena es captada por la antena del monitor integral, todas son combinadas, detectando las señales del curso (DDM=0%), el nivel de amplitud de la señal RF y el ancho del curso (DDM=15.5%), para ser enviadas a los monitores.

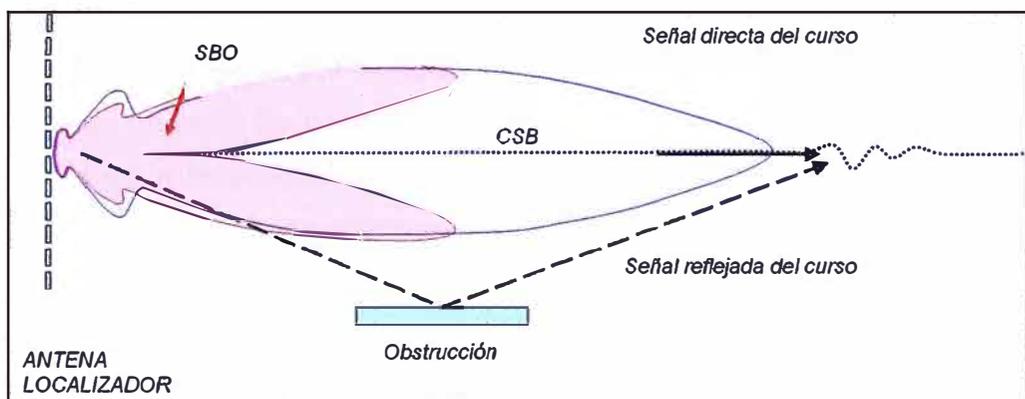


Fig. 2.17 Característica del localizador mono-frecuencia.  
(Fuente: Elaboración propia, referencia manual ILS 4000).

También cuenta con una antena monitora de campo cercano la cual se encuentra ubicada sobre la prolongación del eje de pista, a unos 100 metros al frente de las antenas del localizador. Es una antena direccional, orientada al centro del conjunto de antenas. Esta antena es utilizada para monitorear las desviaciones del curso (DDM=0), y la intensidad de la señal irradiada. Por tanto, en los sistemas mono frecuencia se requiere que los terrenos alrededor de la estación este libre de construcciones y cualquier construcción futura debe ser evaluada previamente.

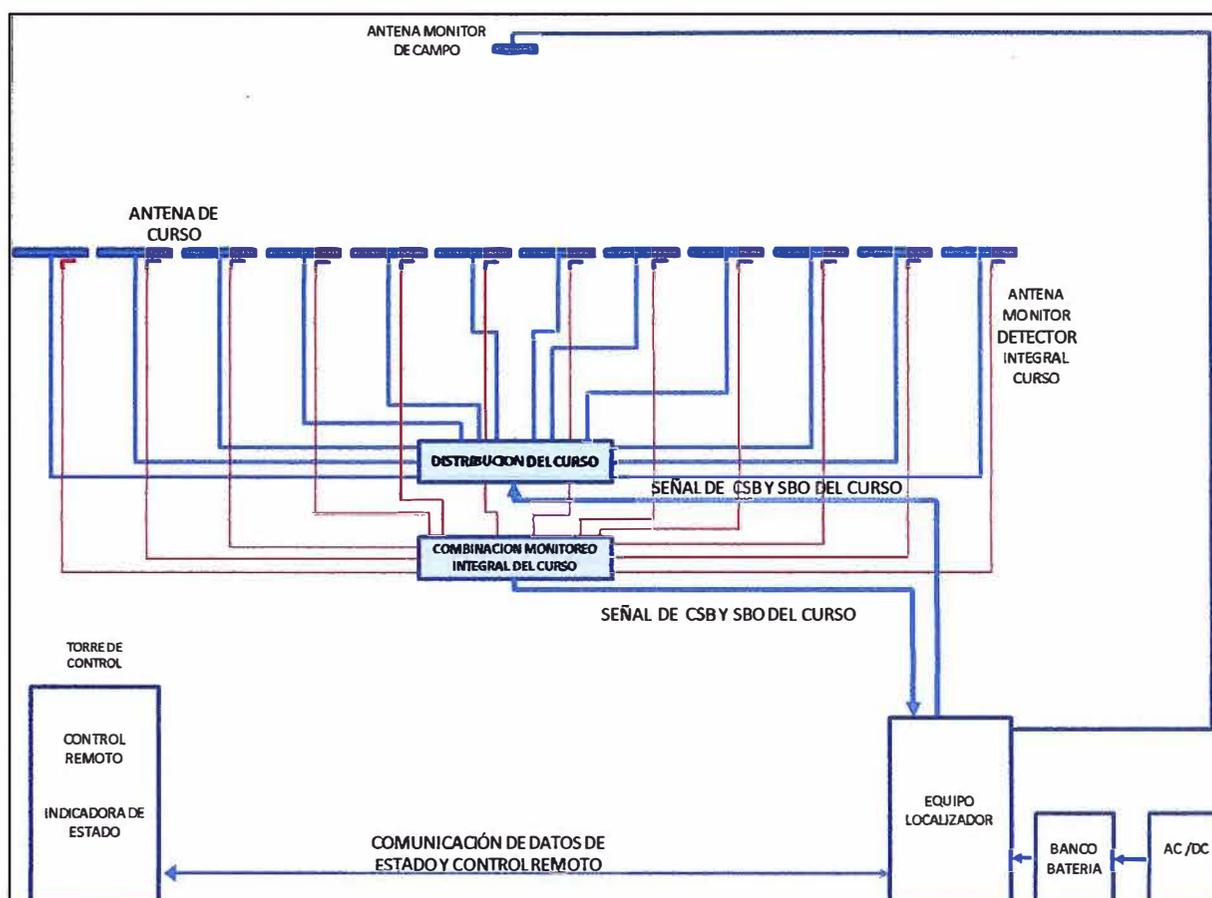


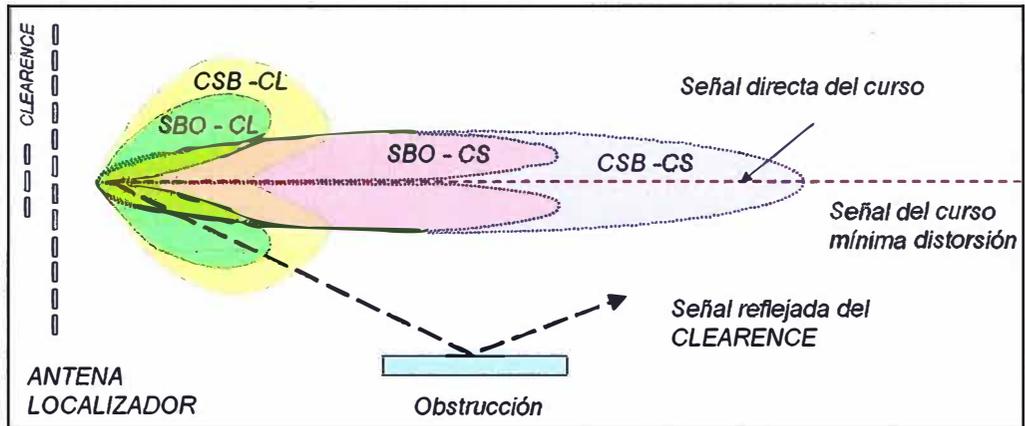
Fig. 2.18 Diagrama simplificado de interconexión de un localizador mono-frecuencia. (Fuente: Elaboración propia)

## 2.4.2 Localizador bifrecuencia

Este tipo se caracteriza por irradiar dos frecuencias, una llamada radio frecuencia de curso y la otra de radio frecuencia de clearance (cobertura lateral) que difieren en 8 KHz, en  $\pm 4$  KHz de la frecuencia asignada correspondiente, esto puede variar hasta 15 KHz de acuerdo a lo normado en el anexo 10. En algunos sistemas, se cuenta con un dos grupos de antenas, una que irradia el curso, con un patrón de radiación que tiene el máximo en la prolongación del curso, de aproximadamente 5 grados a cada lado del eje de pista y un segundo grupo de antenas correspondientes a la señal del clearance (cobertura lateral), cuyo patrón de radiación tiene un mínimo en el curso, extendiéndose a hasta los  $35^\circ$  a cada lado del eje, ver Fig. 2.19

El principio que utiliza en el receptor de abordaje es la limitación producida en los amplificadores, debido a la presencia de las dos señales, la más fuerte (mayor amplitud) es la que predomina y silencia a la otra, en razón al control automático de ganancia.

Normalmente en un aeródromo, la mayor presencia de obstáculos se encuentra a los lados de la pista de aterrizaje y las reflexiones corresponden en su mayoría a la señal de clearance (cobertura lateral); estas no causan interferencia a la señal del curso, minimizando las ondulaciones a lo largo del eje.



Donde: CSB – CS es la señal de portadora del curso  
 SBO– CS es la señal de banda lateral del curso  
 CSB – CL es la señal de portadora del clearance (cobertura lateral)  
 CSB – CL es la señal de banda lateral del clearance (cobertura lateral)  
 Fig. 2.19 Características del Localizador Bifrecuencia.  
 (Fuente: Elaboración propia, referencia manual ILS 4000).

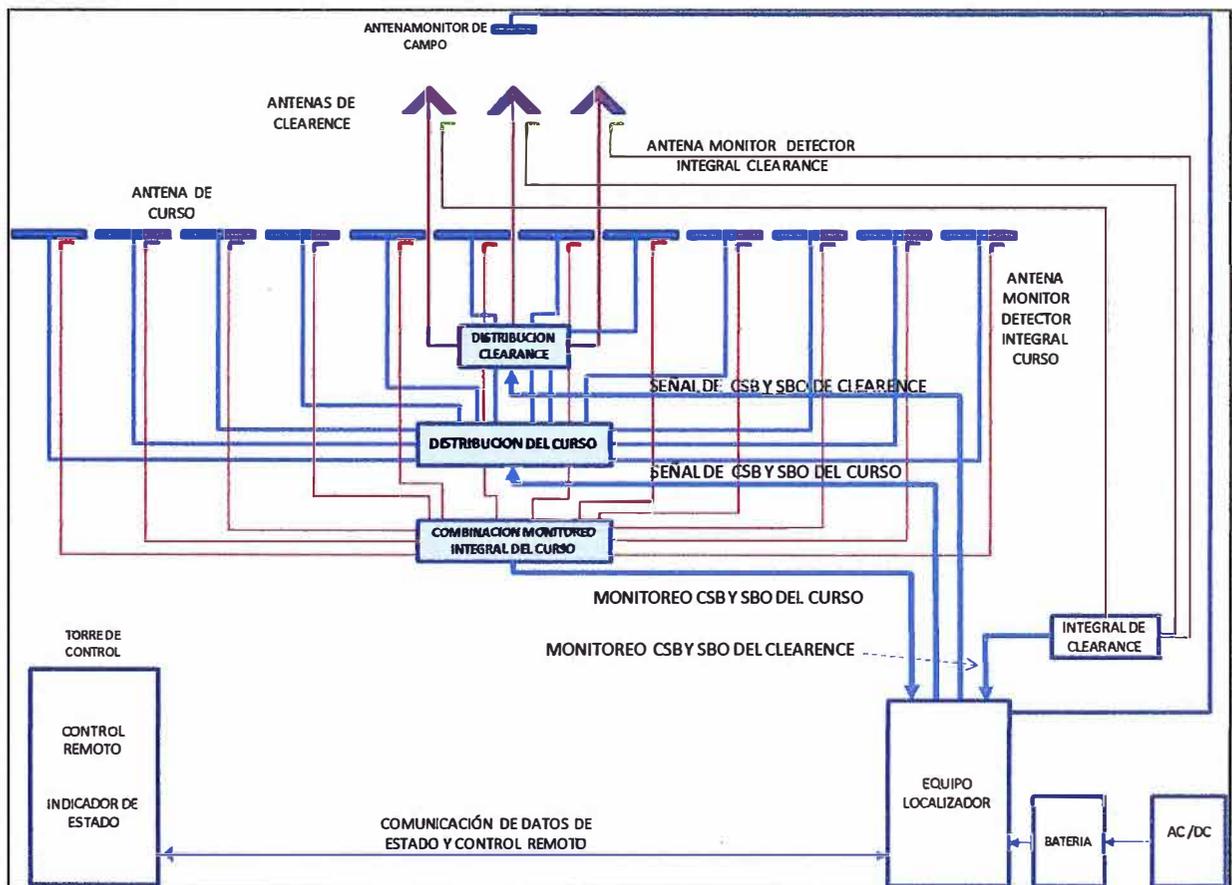


Fig. 2.20 Diagrama simplificado de interconexión de un localizador bifrecuencia.  
 (Fuente: Elaboración propia)

El diagrama simplificado de interconexión de un localizador bifrecuencia se presenta en la Fig. 2.20, nótese que la señal clearance (cobertura lateral) de radio frecuencia alimenta al conjunto de antenas correspondientes y también son moduladas



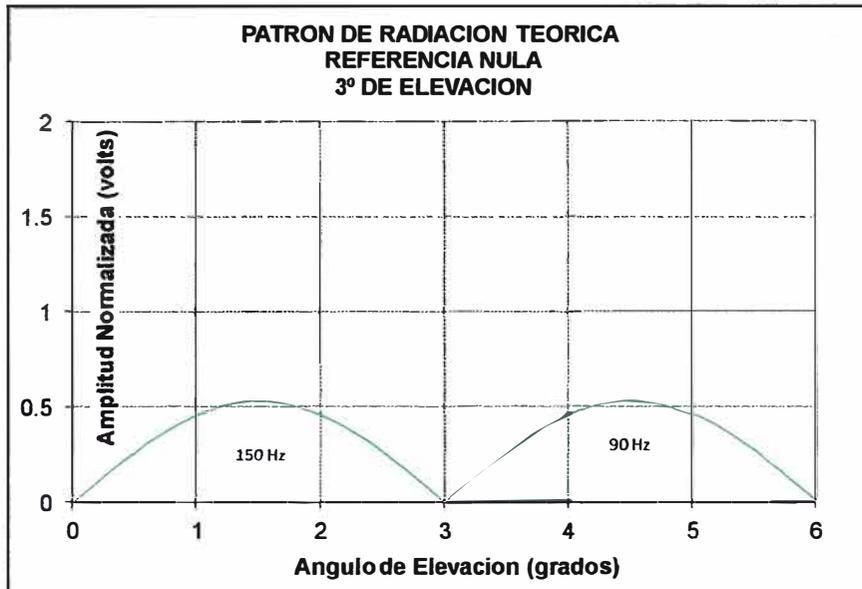


Fig. 2.22 Patrón resultante teórico para un sistema de Referencia Nula.  
(Gráfico Excel, desarrollo de la formula 2.3 aplicada a cada antena)

La CSB alimenta a la antena baja solamente con fase cero y amplitud es igual a 1, se debe tener en cuenta que las señales de modulación son los tonos de 90 y 150 Hz, modulados al 40% cada tono.

La SBO alimenta la antena superior con la señal de banda lateral de 150 Hz. en fase ( $0^\circ$ ) y la de 90 Hz desfasada  $180^\circ$  y una amplitud de 0.117 referente a la portadora de la CSB.

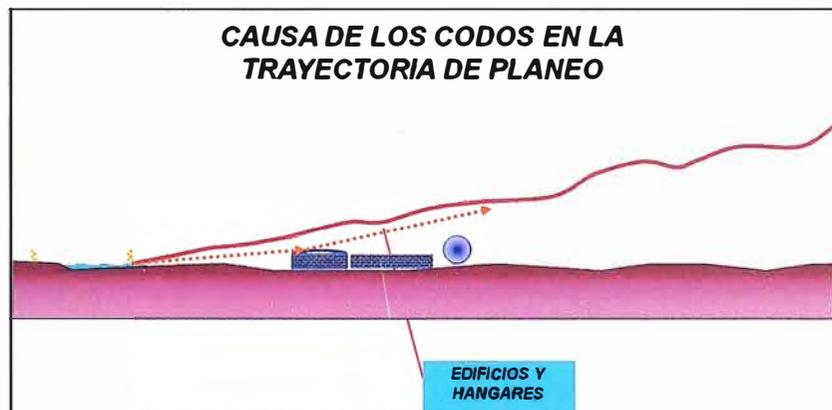


Fig. 2.23 Señal de la trayectoria de planeo de referencia nula, con interferencias.  
(Fuente: Elaboración propia)

La desventaja de este tipo de arreglo, son las interferencia y/o distorsiones que se producen por debido a las señales de rebote en los edificios y/o en obstáculos cercanos a la estación, haciendo que la estructura de la señal tenga desviaciones. Así mismo, para un correcto parámetro de irradiación se requiere que el terreno dentro del área crítica, sea lo mas plano posible, cualquier defecto produce reflexiones, generando variaciones en la señal del curso, llamados codos, como se aprecia en la Fig. 2.23.

### 2.5.2 Tipo B – sistema de referencia de banda lateral

La Fig. 2.24, muestra las alturas de antenas y las señales que las alimentan, para la configuración de referencia de banda lateral, también es un sistema de una sola frecuencia, este sistema requiere de menor área de terreno nivelado frente al conjunto de antenas. La antenna inferior esta a la mitad de la altura H El nivel de interferencia debido a obstáculos no disminuye.

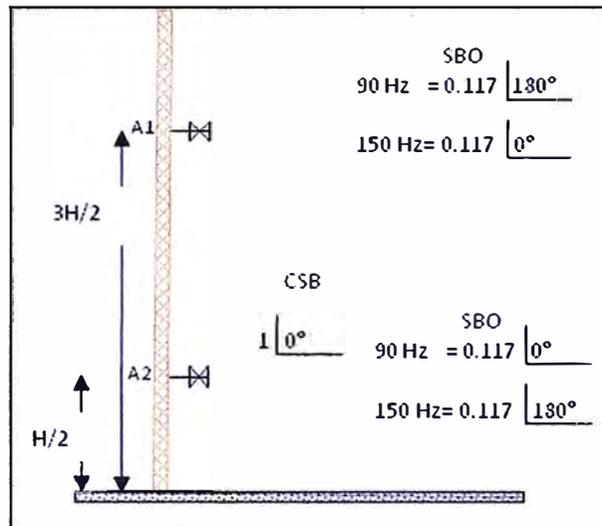


Fig. 2.24 Configuración de antena de referencia de banda lateral. (Fuente: Elaboración propia, datos característicos).

Las señales resultante de la radiación, se muestra en la Fig. 2.25.

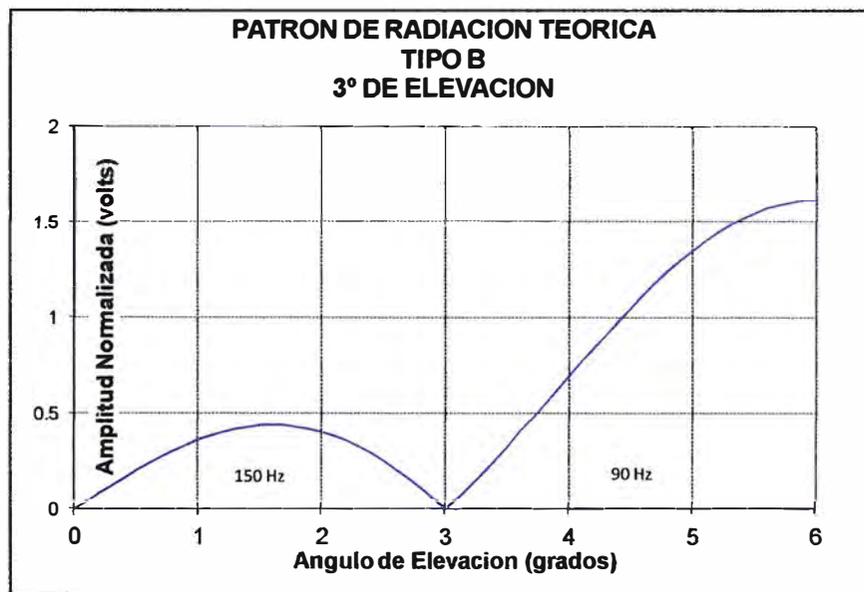


Fig. 2.25 Patrón resultante teórico para un sistema de referencia banda lateral. (Gráfico Excel, desarrollo de la formula 2.3 aplicada a cada antena)

Solamente el elemento de antena inferior radia la señal CSB. Para la trayectoria de planeó la radiación de SBO desde los dos elementos son idénticos en amplitud pero  $180^\circ$  fuera de fase.

Por debajo del ángulo de planeó  $3^\circ$ , la radiación desde la antena superior es el elemento dominante. Como esta señal de SBO tiene la banda lateral de 150 Hz en fase con la señal CSB, el parámetro de radiación deberá de indicar la señal de vuela hacia arriba debajo de  $3^\circ$ .

Sobre  $3^\circ$ , la radiación de SBO desde la antena inferior es el elemento dominante y entregara la señal de vuela hacia abajo por que esta señal de SBO tiene la banda lateral de 90 Hz en fase con la señal de CSB.

La CSB alimenta a la antena inferior solamente con fase cero y amplitud 1, la SBO alimenta las antenas inferior y superior con amplitud 0.117 de la portadora CSB, en la antena superior la banda lateral de 150 Hz está en fase ( $0^\circ$ ) con la CSB y en la antena inferior la banda lateral de 150 Hz esta fuera de fase ( $180^\circ$ ) con la CSB.

### 2.5.3 Sistema efecto captura – arreglo M

La Fig. 2 26 muestra las alturas y las señales de alimentación de las antenas, para el sistema efecto captura o arreglo M, este sistema en un arreglo con dos frecuencias (frecuencia de curso y frecuencia de clearance – cobertura inferior), la primera señal se utiliza en el curso y la segunda señal permite completar el sector, en especial el sector bajo la trayectoria. Este sistema reduce el nivel de interferencia por obstáculo que se encuentren en las cercanías de la estación.

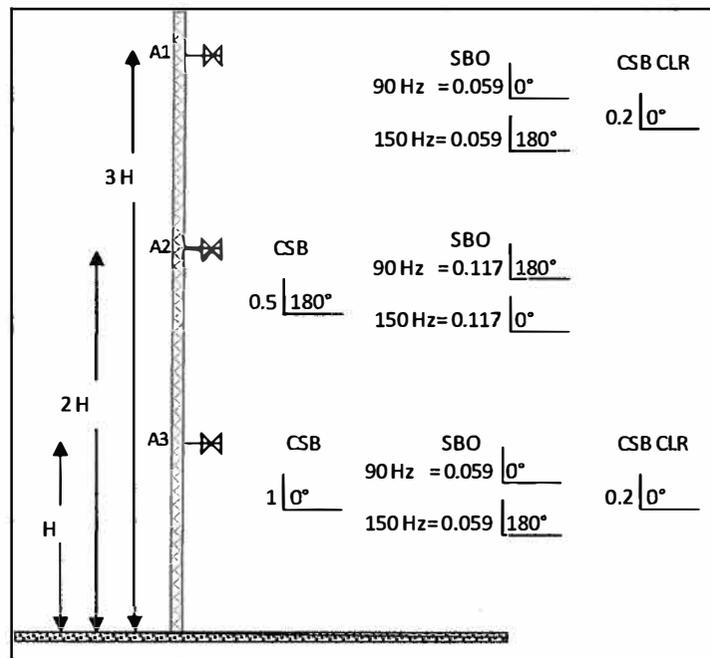


Fig. 2.26 Configuración de antenas en arreglo M.  
(Fuente: Elaboración propia, datos característicos).

Para el caso de la frecuencia de curso, los patrones de radiación resultante de CSB y SBO, se muestra en la Fig. 2.27 y 2.28. La CSB alimenta a la antena inferior solamente con fase cero y amplitud 1.

La CSB alimenta a la antena media solamente con fase cero y amplitud (-6dB).

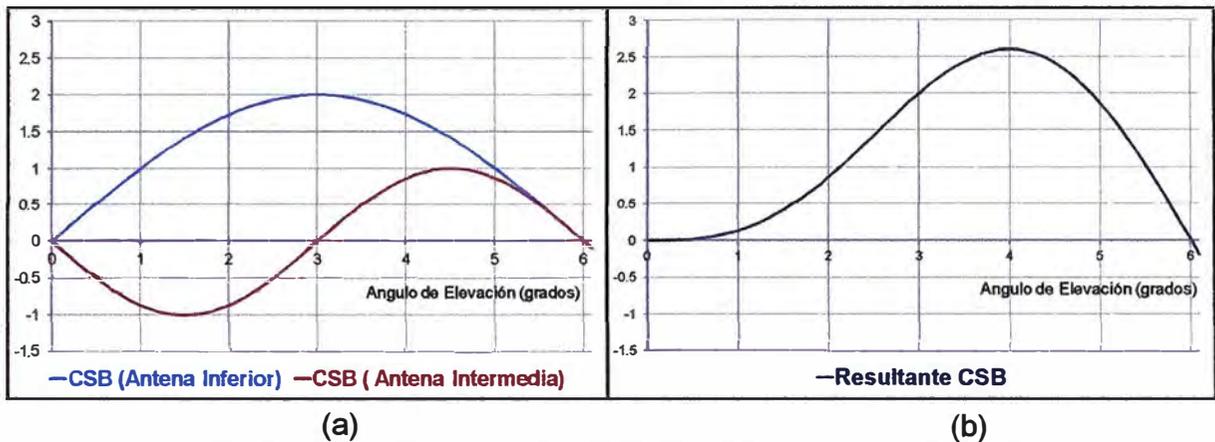


Fig. 2.27 Patrón de radiación de la CSB (a) de cada antena, (b) la resultante. (Gráfico Excel, desarrollo de la formula 2.3 aplicada a cada antena)

La SBO alimenta la antena intermedia con amplitud 0.117 referente a la portadora de la CSB de la antena inferior y en fase cero para la componente de 150 Hz; y para las antenas superior e inferior con la mitad de amplitud (-6dB) de la SBO de la antena intermedia con un desfase de 180°. En ángulo de planeo 3°, la radiación SBO desde el elemento medio es cero y desde la superior e inferior la radiación es de amplitudes idénticas pero 180° fuera de fase dando un nulo en el patrón de radiación resultante de la SBO.

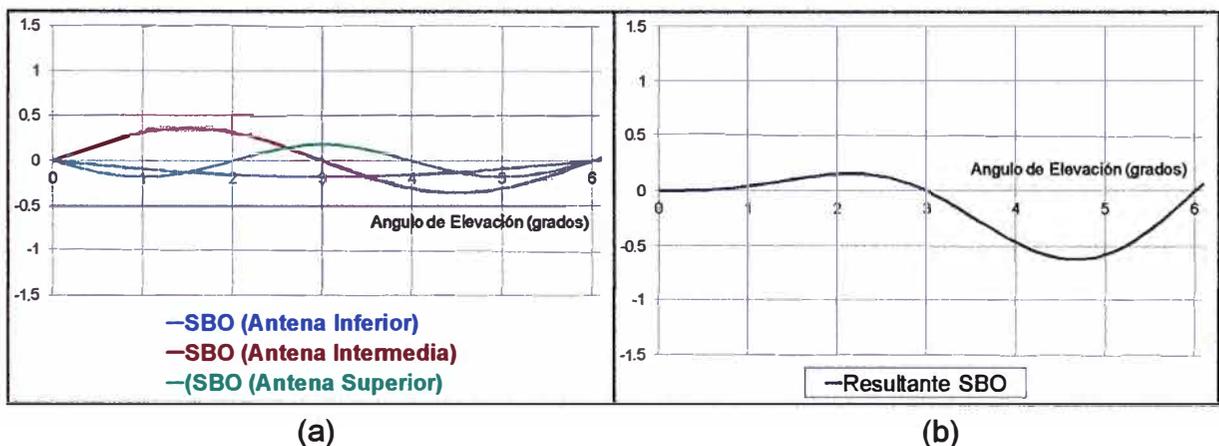


Fig. 2.28 Patrón de radiación de la SBO (a) de cada antena, (b) la resultante. (Gráfico Excel, desarrollo de la formula 2.3 aplicada a cada antena)

Para la frecuencia de la señal de clearance (CSB CLR), que se diferencia en 18KHz de la señal de curso y la profundidad de modulación es 20 % para 90 Hz. y 60% para 150 Hz. Esta solo alimenta a las antenas superior e inferior, con amplitudes iguales al 0.2 veces la CSB del curso y sin desfase entre la inferior y superior.

En la Fig. 2.27(b), se debe notar que la resultante de la CSB del curso es baja en los ángulos por debajo de 1.5°, esto ocasiona que no cumpla con las normas que indica que la señal debe cubrir hasta los 0.4° de elevación, por esa razón para cubrir el

campo requerido, se utiliza la señal de CSB CLR, ver Fig. 2.29 (b).

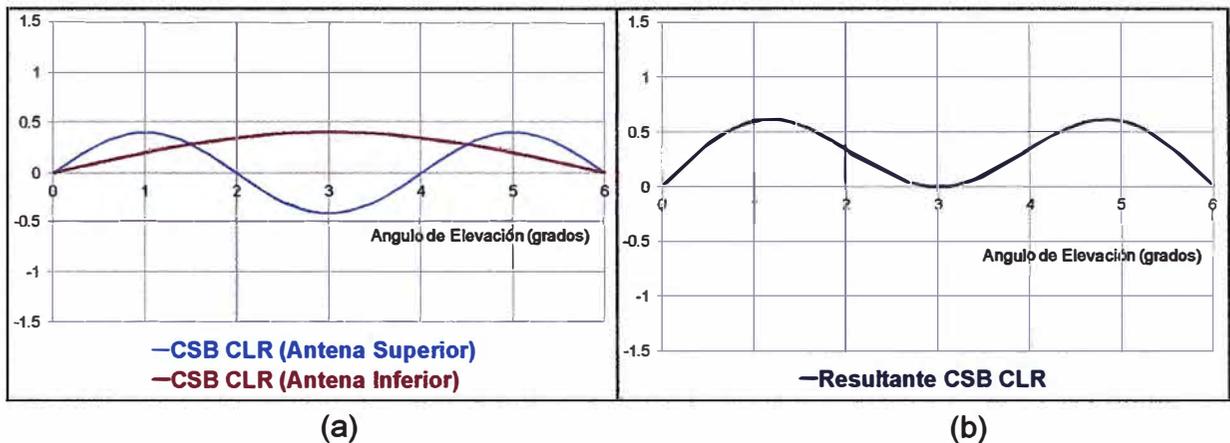


Fig. 2.29 Patrón de radiación del CSB CLR (a) por cada antena, (b) La resultante.  
(Gráfico Excel, desarrollo de la formula 2.3 aplicada a cada antena)

El detector del receptor de la aeronave captura las dos portadoras (CSB y CSB CLR) pero suprime a la señal más débil.

## 2.6 Categorías de los sistemas de aterrizaje por instrumentos (CAT I, II Y III)

En esta parte se anotara las condiciones principales que deben cumplir los sistemas de aterrizaje por instrumento, considerando que son sistemas utilizados para guiar a las aeronaves hasta los niveles en el cual pueda ver la pista, en las condiciones de baja visibilidad producida por las neblinas u otros eventos meteorológicos; la principal característica son: señal estable, y sin variaciones que pueda desviar a la aeronave. Por eso las principales diferencias entre sistemas son: el nivel de visibilidad en el terreno y la altura de decisión. Entiéndase como "altura de decisión" a la mínima altura que puede descender el piloto si ver la pista; mientras se guía por el ILS.

La Tabla 2.3 (elaborada en base a la información del anexo 10), muestra las condiciones operacionales para operar en CAT I, II, III.

Característica	CAT I	CAT II	CAT IIIA	CAT IIIB	CAT IIIC
Altura de Decisión	≥60 m	<60 a ≥30 m (100')	<30m	<15m	0
Alcance Visual	550 m	350 m	200 m	50 m	0

Para cumplir con este requerimiento el equipamiento debe tener buenas condiciones de generación de la señal de portadora, estabilidad en la generación de las señales de modulación de 90 y 150 HZ, que los sistemas cuenten con los mejores tipos de antenas, que el terreno en la parte frontal de la antenas sean adecuadamente

nivelados y su área crítica esté libre de obstáculos. Así mismo, deben tener mínimos tiempo de transferencia entre el equipo principal y el de reserva (Stand By). Además, se requiere que los sistemas tengan una mayor precisión y estabilidad de las señales, para el caso del localizador la precisión de curso (rumbo) es uno de los parámetros principales tal como se aprecia en la Fig. 2.30.



Fig. 2.30 Tolerancia de alineación del rumbo según la categoría.  
(Fuente: Elaboración propia)

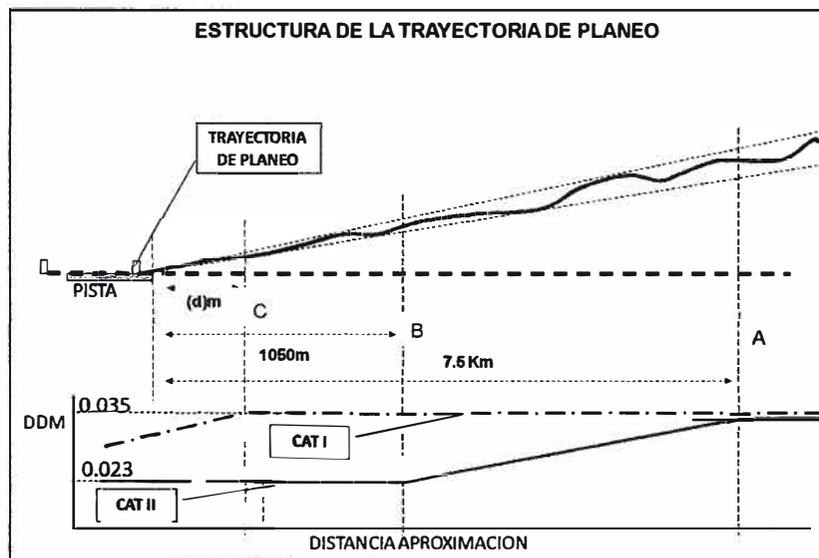


Fig. 2.31 Estructura de la trayectoria de planeo.  
(Fuente: Elaboración propia)

Asimismo para la trayectoria de planeo, la estabilidad de la estructura de la señal es uno de los parámetros que debe regularse. Entiéndase como estructura, la linealidad de la señal. Las variaciones máximas de la estructura, expresadas en DDM, se presentan en la Fig. 2.31, y dependen del distancia de aproximación. Para la categoría I entre el punto A y B, debe ser como máximo 0.035, sin embargo para las CAT II y CAT III en el

mismo tramo debe ser de 0.035 a 0.023.

Además, siendo los sistemas de aterrizaje por instrumentos que proporcionan información de precisión, entre otros, se requiere que en caso de falla los sistemas de reserva trabajen inmediatamente, por lo cual se establece tiempos máximos para la transferencia, 10 seg., para localizadores de la categoría I; 5 seg., para localizadores de la categoría II; y 2 seg., para localizadores de la categoría III.

Los sistemas que operan en categoría III, cuenta con indicadores de estado, que también trabajan para CAT II y CAT I, para el caso, que las condiciones de los sistemas, se vean degradados por alguna falla.

## **2.7 Descripción del sistema de aterrizaje por Instrumento (seleccionado)**

Los sistemas seleccionados ILS MARK 20A y DME 415, se instalaron en los aeropuertos de Chiclayo e Iquitos. Están conformados por el localizador y la trayectoria de planeo; los dos equipos han sido diseñados, para trabajar con un sintetizador de frecuencia controlada digitalmente, el cual genera la radio frecuencia, muy estable, y puede ser programada para operar en la frecuencia del localizador, o de la trayectoria de planeo. La señal de baja frecuencia es conformada digitalmente mediante la lectura de datos desde una memoria, luego es convertida en señal analógica, amplificada y modula a la señal de radio frecuencia. Los moduladores y amplificadores de potencia son diferentes para el localizador y la trayectoria de planeo, debido a los rangos de frecuencia. La señal de radiofrecuencia modulada alimenta a los arreglos de antena, mediante un modulo de distribución, el cual divide la señal en amplitud y fase; de acuerdo a las características requeridas por cada sistema. La señales radiadas son muestreadas en cada antena y retorna al modulo de monitoreo, en el cual se procesa la señal y verifica que sus parámetros estén dentro de los valores de tolerancia.

El acceso a estos equipos es a través de una computadora, la cual se conecta con un cable serial al puerto de acceso RS232. Mediante el programa de acceso y control, se puede verificar el estado de operación, reajuste de parámetros, configuración de los equipos, toma de lecturas y diagnostico de fallas.

### **2.7.1 Descripción simplificada del localizador**

Cuenta don dos transmisores y dos monitores, el modulo de control y el sistema de antenas son comunes, ver Fig. 2.32.

Está constituido por:

- 01 Modulo de control y estado, circuito de acceso al equipo de forma manual o por computador.
- 02 Transmisores, cuyas salidas están conectadas a los relay's de antena el cual permite conmutar las salidas de un transmisor a la unidad de distribución de

antena y las del otro transmisor a las cargas fantasmas,

- 02 Monitores, que recibe las señales de la unidad de combinación de los detectores instalados en las antenas, la antena de campo cercano y la de campo lejano con el fin de evaluar el correcto comportamiento de la señal irradiada.
- 01 Sistema de Antenas, constituido por una unidad de distribución, conjunto de antenas, detectores y unidad de combinación.
- 02 Convertidores AC/DC, módulos que convierte la energía comercial a 28 Vdc.
- 01 Banco de Baterías.

Además, con la finalidad que el personal operativo se mantenga informado de la operación de los equipos, se cuentan:

- 01 Monitoreo y Control remoto, el cual permite el acceso a los equipos remotamente con la finalidad de toma de lectura, encendido y apagado del equipo, y
- 01 Indicador de estado para la torre, permite la visualización de operación NORMAL, MANTENIMIENTO o ALARMA, de cada equipo.

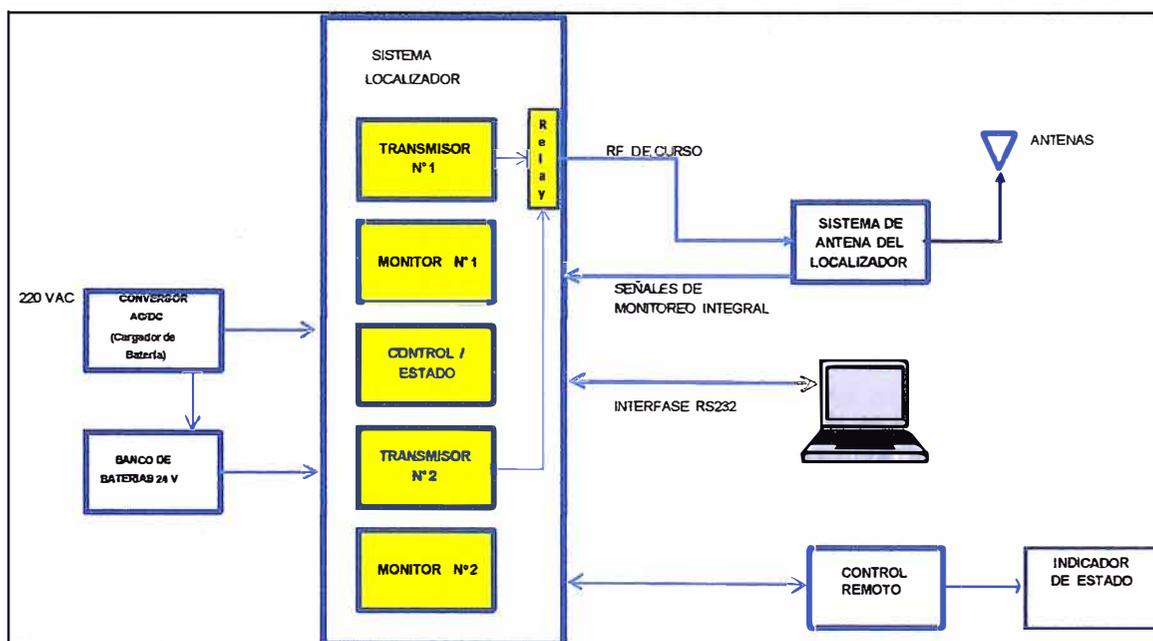


Fig. 2.32 Diagrama de bloque simplificado del sistema localizador monofrecuencia.  
(Fuente: Elaboración Propia)

#### a) Módulo control y estado

En el panel frontal del equipo se cuenta con un indicador de estado (mediante LED) del subsistema localizador, una serie de conmutadores para el control local (acceso directo) para el encendido/apagado, transferencia de equipo, reseteo, bloque del acceso remoto; y activación de los monitores, antena de campo cercano y transmisor de reserva, ver Fig. 2.33.

El módulo de control y estado (LCSU Local Control Status Unit), recibe la

información de estado de ambos monitores, y genera una señal de habilitación de transmisor principal y el de reserva. Tiene una interfase RS-232 que permite al técnico conectar un computador con el fin de mantenimiento, mediante el cual se puede ajustar los parámetros de operación, verificar el estado del equipo, su historial de alarmas y otros. Además puede realizar los procedimientos para la detección de fallas.

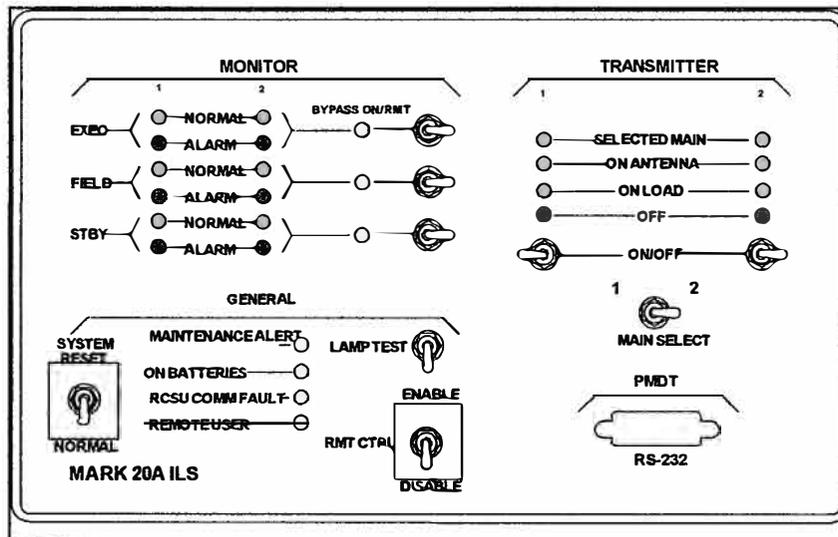


Fig. 2.33 Panel de control e indicador del sistema localizador/ trayectoria de plano.  
(Fuente: Manual del equipo Mark 20A)

Este módulo de control, cuenta con una interfase para conectar al localizador con un equipo de control remoto y/o un indicador de estado ubicado en la torre de control, para que el personal de la torre de control, verifique la operatividad del localizador desde su puesto de trabajo. Además, esta unidad puede permitir el acceso al equipo remotamente mediante un computador, conectándolo a través de una línea telefónica conmutada.

#### b) Módulo convertidor AC/DC

El equipo opera con energía comercial, como fuente de energía primaria, desde 120 ó 240 voltios AC, está se conecta a los convertidores AC/DC, uno por cada transmisor, y suministra un voltaje de 28 voltios, necesarios para los diferentes módulos. Además, permite mantener la carga DC para el banco de baterías de 24 voltios; este banco se considera como fuente de energía secundaria; porque, cuando la energía primaria deja de suministrarse, las baterías automáticamente mantienen funcionando el equipo.

#### c) Módulo transmisor

El transmisor cumplen todos los requisitos de generación, control, precisión, y estabilidad de las señales, conforme lo norma el anexo 10 de la organización de aviación civil internacional (OACI). El transmisor del tipo mono-frecuencia está constituido por tres

tarjetas, una tarjeta generadora de señal de audio, el sintetizador frecuencia, y un conjunto modulador/amplificador de potencia para el curso. Para el caso de un sistema bifrecuencia, cuenta además, con un modulador/amplificador de potencia para la cobertura lateral, este es exactamente igual al de curso.

La tarjeta de generación de señales de audio (generador de audio) que conforma las señales de modulación de portadora (CSB) y la señal de modulación de banda lateral (SBO), y una señal de control de cruce por cero. Además, se genera las señales de identificación, y son utilizadas para modular la portadora RF del localizador y proporciona los medios para controlar la señal irradiada.

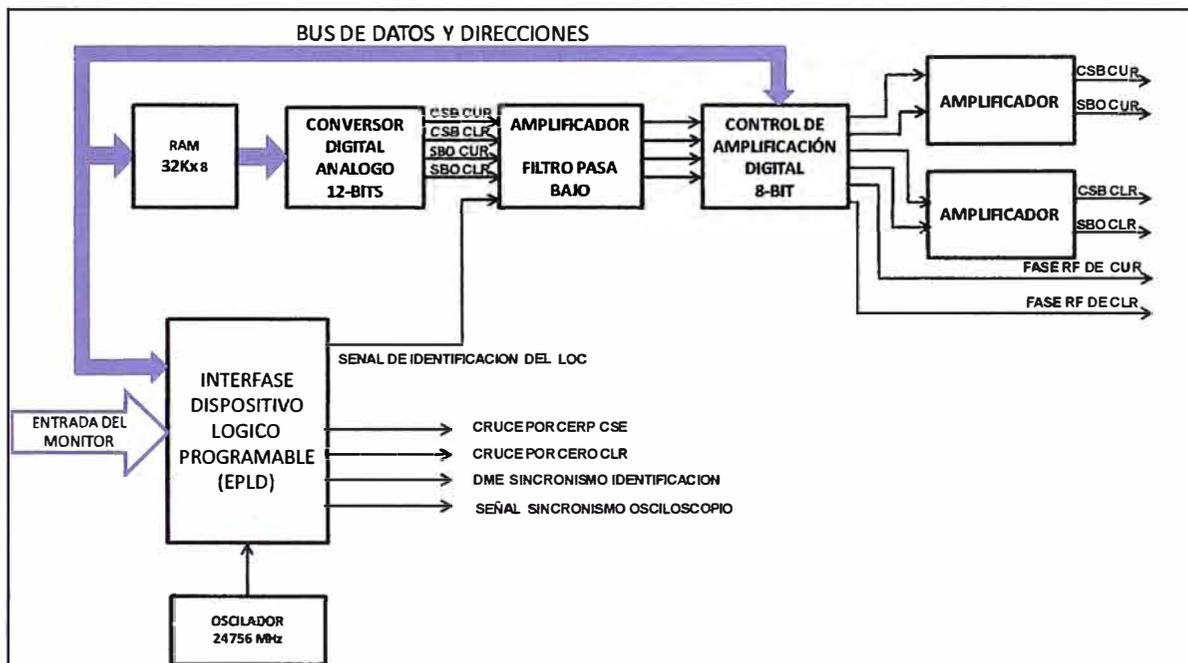


Fig. 2.34 Diagrama de bloques de generador de las señales de audio.  
(Fuente: Manual del equipo Mark 20A)

La generación digital de señales de audio para la navegación, esencialmente minimiza las posibilidades de error de estas señales.

En el diagrama del generador de audio bloque se presenta en la Fig. 2.34, este posee un dispositivo de lógica programable eléctricamente (EPLD) diseñado para permitir la comunicación con el monitor, mantener la ejecución de los procedimientos de lectura de las memorias, la conversión de la señales digitales a análoga y los niveles de amplificación de las señales generadas.

Durante el encendido del equipo, el monitor carga los datos de las características principales del equipo en la memoria RAM, tales como la forma de onda, fase, código de la estación en el caso de ser localizador; luego siguen trabajando independientemente.

El generador de audio proporciona señales de modulación sintetizada digitalmente, entre ellas genera la señal de modulación de la portadora más banda lateral

correspondiente al curso (CSB-CUR), la señal de modulación de la banda lateral del curso (SBO-CUR), además genera las señales modulación de la portadora de la cobertura lateral (CSB-CLR) y señal de la banda lateral (SBO -CLR), que se utilizan en los sistemas del tipo bifrecuencia. Cada una de estas señales es sintetizada utilizando un convertidor digital analógico (D/A) de 12 bits, el cual genera 512 puntos de datos separados para cada ciclo (1/30 de segundo), asegurando que, el mezclado de las señales de 90 y 150 Hz sea muy preciso y permita una resolución del control para el DDM de 0.0005.

Las figuras Fig. 2.35 y Fig. 2.36, son gráficos de las señales que, corresponden a la modulación de la portadora y la banda lateral estas señales corresponden a la envolvente de las formulas (2.1) y (2.2).

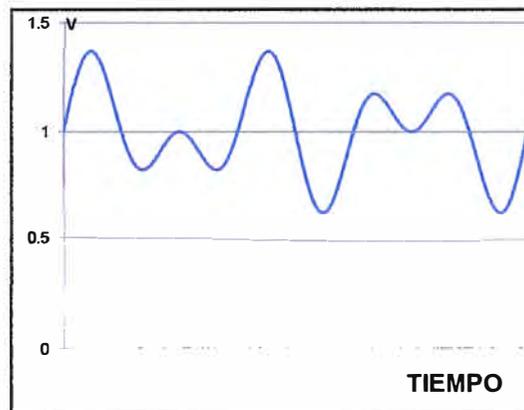


Fig. 2.35 Señal Modulación de la Portadora CSB.  
(Gráfico Excel, desarrollo de la formula 2.1)

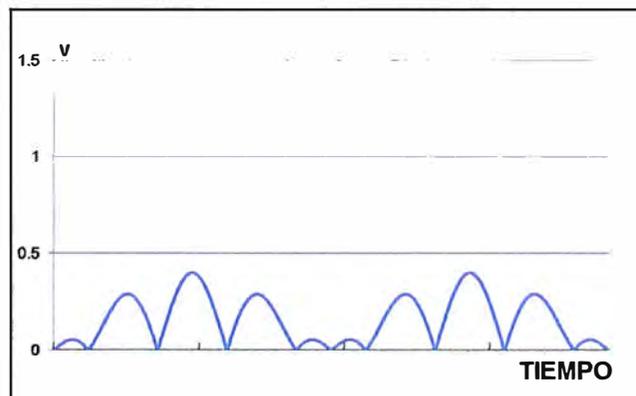


Fig. 2.36 Señal Modulación de la Banda Lateral SBO.  
(Gráfico Excel, desarrollo de la formula 2.2)

Además, se generan las señales de cruce por cero, ver Fig. 2.37, tanto para la señal de curso, como para la señal de cobertura lateral.

La señal de cruce por cero, permite invertir  $180^\circ$  la señal de portadora, cada vez que la señal de modulación de SBO cruza por cero, con el fin de conformar la señal de banda lateral con portadora suprimida.

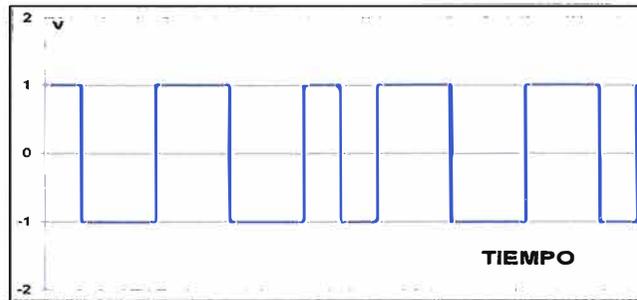


Fig. 2.37 Señal de cruce por cero para invertir la portadora.  
(Grafico Excel, elaboración propia)

La tarjeta correspondiente al sintetizador, genera la señal de radio frecuencia.

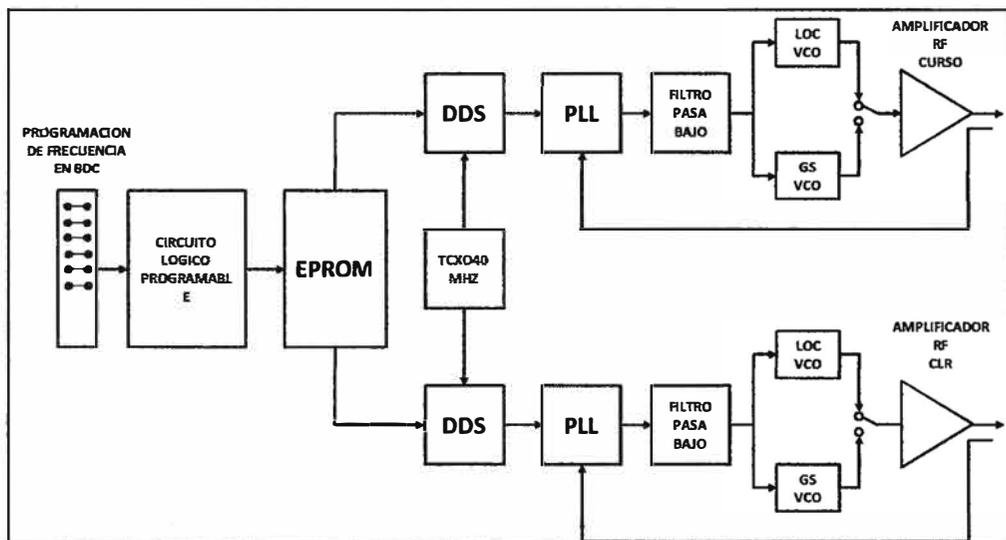


Fig. 2.38 Sintetizador digital dual del localizador / trayectoria de planeo.  
(Fuente: Manual del equipo Mark 20A)

El sintetizador genera la señal de radio frecuencia de onda continua con bajo nivel de ruido, y puede trabajar, dependiendo de la programación, tanto para un equipo localizador o para un equipo trayectoria de planeo, ya sea monofrecuencia o bifrecuencia, el diagrama de bloques se muestra en la Fig. 2.38. Para localizador bifrecuencia las frecuencias se diferencian en 8 KHz, esta característica es propia del circuito.

En el sintetizador, la frecuencia de operación es fijada mediante la colocación de puentes, esta es convertida en datos digitales mediante dispositivo de lógica programable eléctricamente (EPLD) y almacenado en la EPROM, un oscilador a cristal de alta frecuencia de fase estable sirve como la referencia de tiempo, para el integrado de tecnología de síntesis digital directa (DDS), el cual permite registrar la programación que esta almacenada la EPROM y fijar la frecuencia de referencia para el PLL, este a su vez fija la tensión de operación para el oscilador controlado por voltaje, la salida de cual es amplificada, y una muestra es tomada a través de un acoplador direccional, sirve para la realimentar esta señal al circuito del PLL, para una mayor estabilidad de frecuencia. Así

mismo, se realiza la división entre 10 para el caso del localizador o 30 para el caso de la trayectoria de planeo.

La tarjeta modulador/amplificador de potencia, contiene dos circuitos que permite modular la señal de CSB y SBO independientemente.

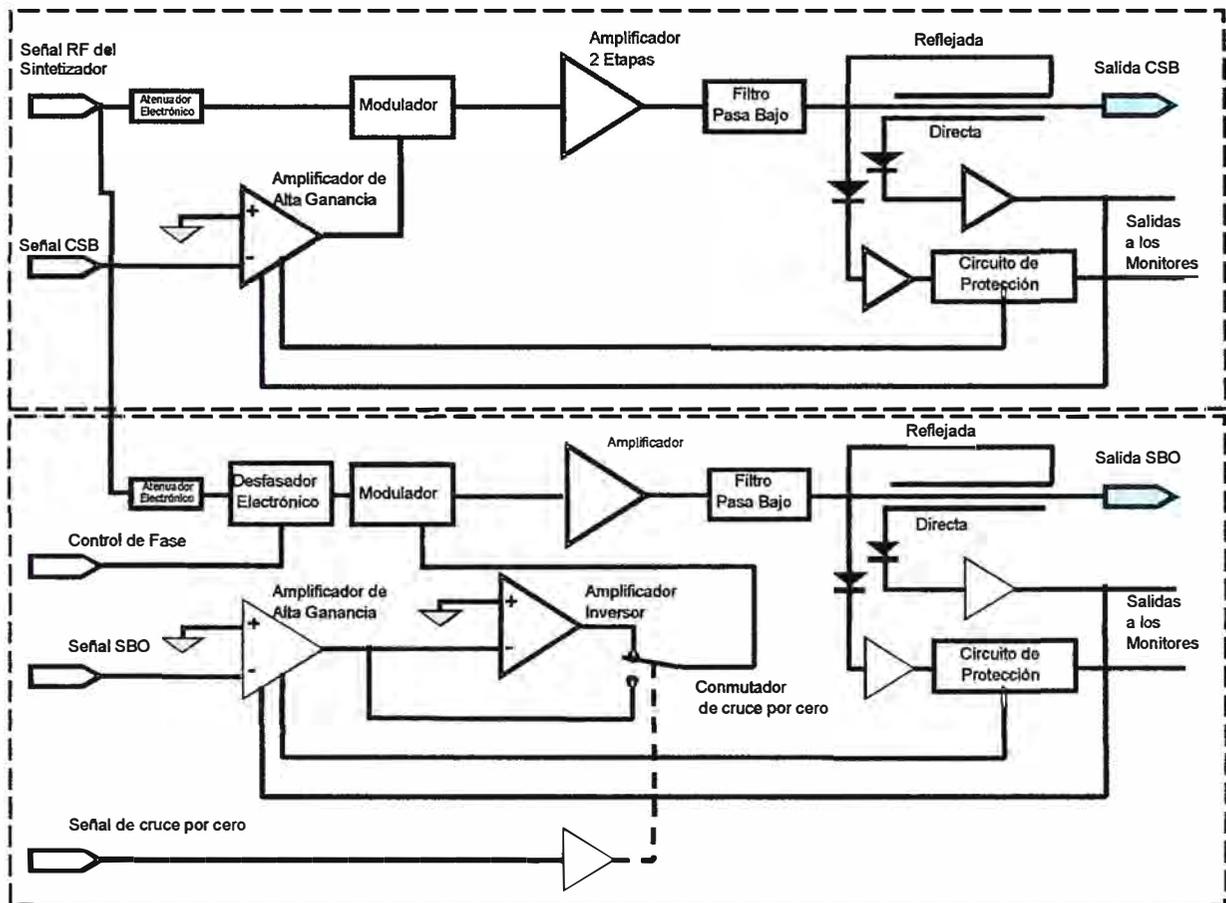


Fig. 2.39. Esquema simplificado del modulador /amplificador de potencia Para el curso y cobertura lateral. (Fuente: Manual del equipo Mark 20A)

La Fig. 2.39 es un diagrama de bloque simplificado que muestra el proceso y combinación de las señales de entrada y su correspondiente salida del modulador/amplificador de potencia, para el caso de las señal de CSB, la señal de RF que viene del sintetizador ingresa a un atenuador electrónico programable que permite fijar el nivel de intensidad requerido para la modulación, luego pasa al modulador donde será modulada por la señal CSB de modulación que previamente ha sido procesada en el amplificador de alta ganancia que tiene una realimentación para mantener los niveles de modulación de la señal a los niveles ajustados, la resultante es amplificada y filtrada, la salida alimenta al modulo de distribución a través del relay de antena.

Además, contiene un circuito de protección en caso de fallas en las conexiones o que la salida del modulador /amplificador no esté conectada al modulo de distribución. Cuenta con acopladores direccionales, con el fin de tomar una muestra de la señal

directa y reflejada con fines de protección, realimentación y muestras para los monitores.

Para la banda lateral, la señal de RF también ingresa a un atenuador electrónico con la misma finalidad, fijar el nivel de intensidad de la señal, la salida ingresa a un desfaseador electrónico, el cual permitirá fijar la fase respecto a la señal RF de la CSB. Luego ingresa al modulador, donde es modulada por la señal SBO, la cual ha sido amplificada por un amplificador de alta ganancia y dependiendo de la señal de cruce por cero, pasa por un inversor, con el fin de conformar la señal de banda lateral; la cual es amplificada y filtrada. La salida SBO es conectada al relay de conmutación de antena, que permite seleccionar al TX1 o al TX2, y la salida del relay está conectada al modulo de distribución. También cuenta con un circuito de protección y acopladores direccionales a fin de tomar una muestra de la señal directa y reflejada con fines de protección, realimentación y muestras para los monitores.

**d) Monitor.**

Este modulo se encarga del monitoreo de los parámetros de las señales irradiadas, los cuales son analizados y verificados que cumplan con los valores requeridos, para una correcta información. Entre otros son verificados, el valor del DDM del curso, ancho del curso, nivel de potencia de salida, si algún parámetro esta fuera de límites establecidos el equipo transmisor es apagado o conmutado al equipo de reserva.

Cada monitor está controlado por un microcontrolador, el cual procesa todas las señales; las señales análogas son captadas mediante un multiplexor de acuerdo a la secuencia de mediciones, y procesadas, para luego pasar a través de un conversor análogo digital de alta performance. Además el monitor durante el encendido o reprogramación de parámetros permite programar la forma de onda de la señal en el generador de audio, la potencia de la RF, los porcentajes de modulación, entre otros; y se comunica con el modulo de control a través de un puerto serial el cual permite transmitir las informaciones de control y datos para las unidades indicadoras de estado local o remota.

Las entradas analógicas corresponden a las señales de curso, ancho y nivel de amplitud de la radiofrecuencia y entradas de referencia que son auto generadas, y son seleccionadas a través de dos multiplexores 16 a 1 y un multiplexor 8 a 1 respectivamente. La referencia y señal seleccionadas son alimentadas a un amplificador de diferencial de ganancia unitaria, con el fin restarlas y reducir el ruido.

Luego la señal resultante es compensada bipolar y amplificada o atenuada mediante la ganancia programable de un convertidor dual digital análogo de 8bit AD7528, donde la señal analógica ingresa como la tensión de realimentación. Cualquier señal de entrada analógica hasta una amplitud máxima de  $\pm 13.5$  voltios será ajustada para llegar

al rango medible de  $\pm 5$  voltios. Posteriormente, la señal procesada ingresa a un convertidor analógico digital de 12 bits del tipo AD574, de alto rendimiento para muestreo, luego son almacenadas para su evaluación, El multiplexor de señales analógicas y digitales reduce en gran medida el hardware necesario para examinar y procesar un gran número de señales discretas.

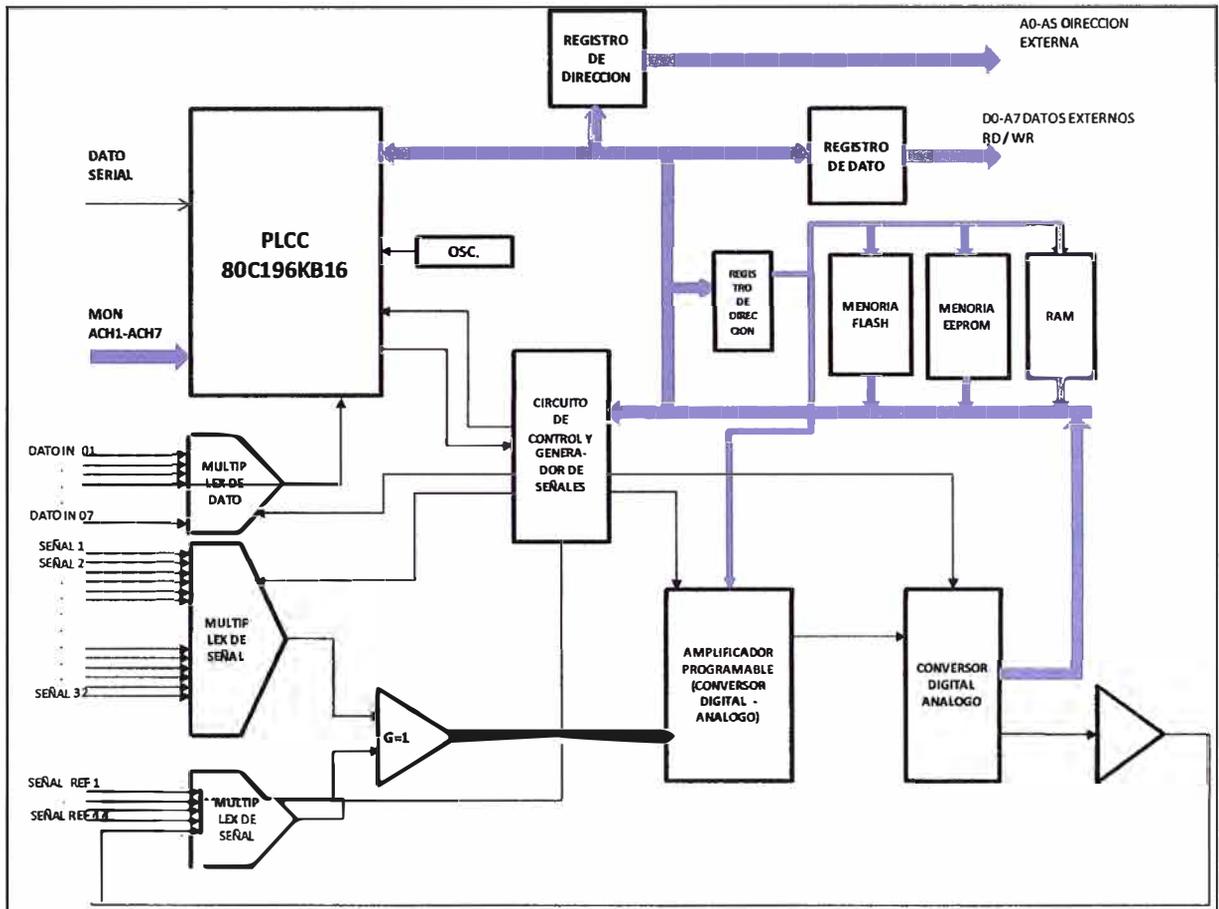


Fig. 2.40 Diagrama de bloques del monitor.  
(Fuente: Manual del equipo Mark 20A)

La comunicación en serie es directamente realizada por el microcontrolador 80C196. Las líneas de transmisión y recepción están divididas para permitir una comunicación nivel TTL a través de la tarjeta base eliminando la necesidad de hardware receptor/impulsor nivel RS-232. El puerto serial permite la comunicación del monitor al módulo de acceso para el control remoto.

Seis líneas de dirección, ocho líneas de datos y las señales de control de lectura y escritura, permiten al 80C196 acceder a los periféricos fuera de la tarjeta. La parte paralela permite la comunicación del monitor con el audio generador para su inicialización durante una secuencia de encendido o en comando a través de la interfase PMDT.

Además, permite la auto calibración del módulo generador de audio en la primera puesta en servicio, las mediciones de las diferentes señales muestreadas almacenando

los valores digitales en las memorias, para ser comparadas y corregir las señales de ser el caso o generar alguna advertencia o alarma.

### e) Sistema de antenas

Irradia y monitorea las señales de radiofrecuencia. Está constituido por una unidad de distribución de antenas, donde ingresan las dos señales de radiofrecuencia de portadora y banda lateral moduladas por las señales de 90 y 150 Hz, cuenta con circuitos divisores Wilkinson los que permiten dividir las señales de radiofrecuencia, circuitos híbridos de 90° los que permiten mezclar las señales CSB con las de SBO y líneas de retardo de fase, que permiten entregar la fase correcta para la adecuada operación del conjunto de 08 antenas que la conforman, ver Fig. 2.41, además se cuentan con circuitos divisores resistivos para la reducción de las señales a los niveles de amplitud.

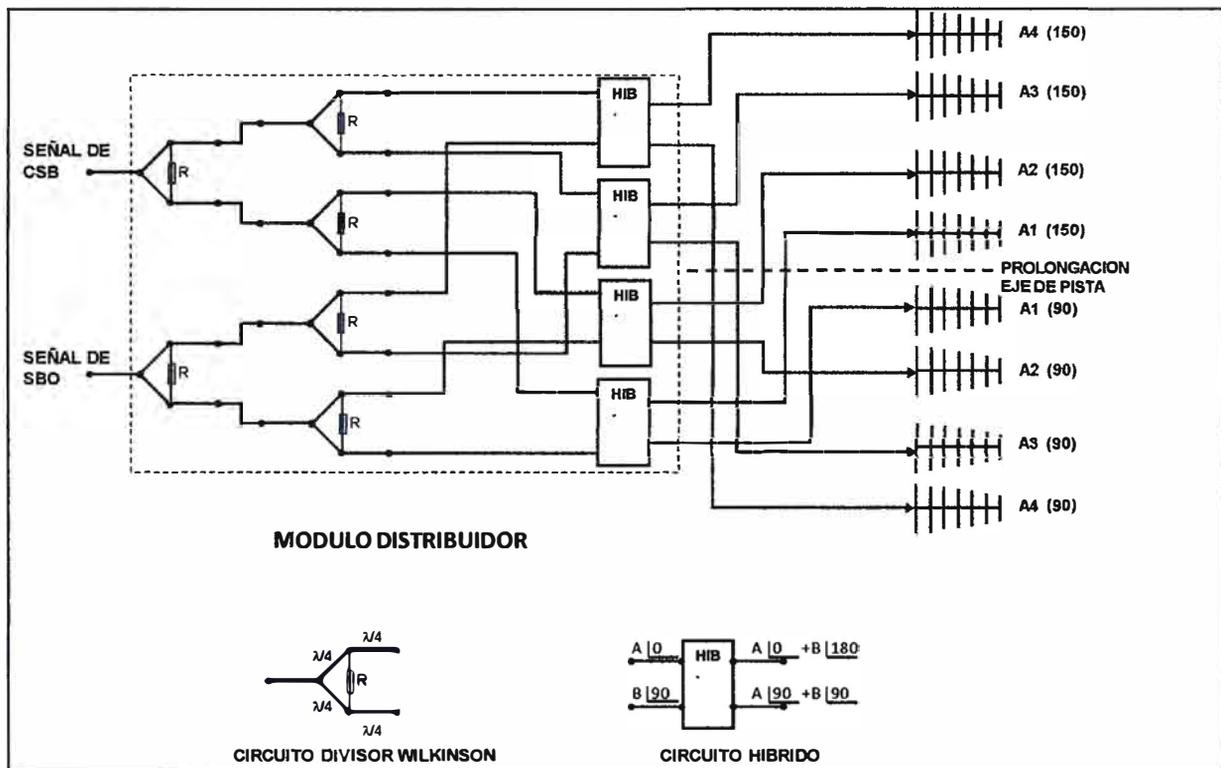


Fig. 2.41 Diagrama de unidad de distribución.  
(Fuente: Manual de antena equipo Mark 20A)

La unidad de distribución mediante circuitos divisores y desfasadores suministran a las antenas las señales de CSB y SBO, de acuerdo a la Tabla 2.4, (Fuente: Manual de antena equipo Mark 20A).

El conjunto de antenas, son 08 antenas del tipo LPD dipolo de periodo logarítmico de banda ancha, ver Fig. 2.42.

Cada antena internamente tiene instalada un detector, el cual permite muestrear la señal irradiada con fines de monitoreo.

Tabla 2.4 Características de las salidas de la unidad de distribución					
Antena		Amplitud CSB	Fase CSB	Amplitud SBO	Fase SBO
1	4-90	0.0650	180°	0.497	0°
2	3-90	0.1836	0°	0.862	0°
3	2-90	0.4143	0°	1.000	0°
4	1-90	1.000	0°	0.957	0°
5	1-150	1.000	0°	0.957	180°
6	2-150	0.4143	0°	1.000	180°
7	3-150	0.1836	0°	0.862	180°
8	4-150	0.0650	180°	0.497	180°

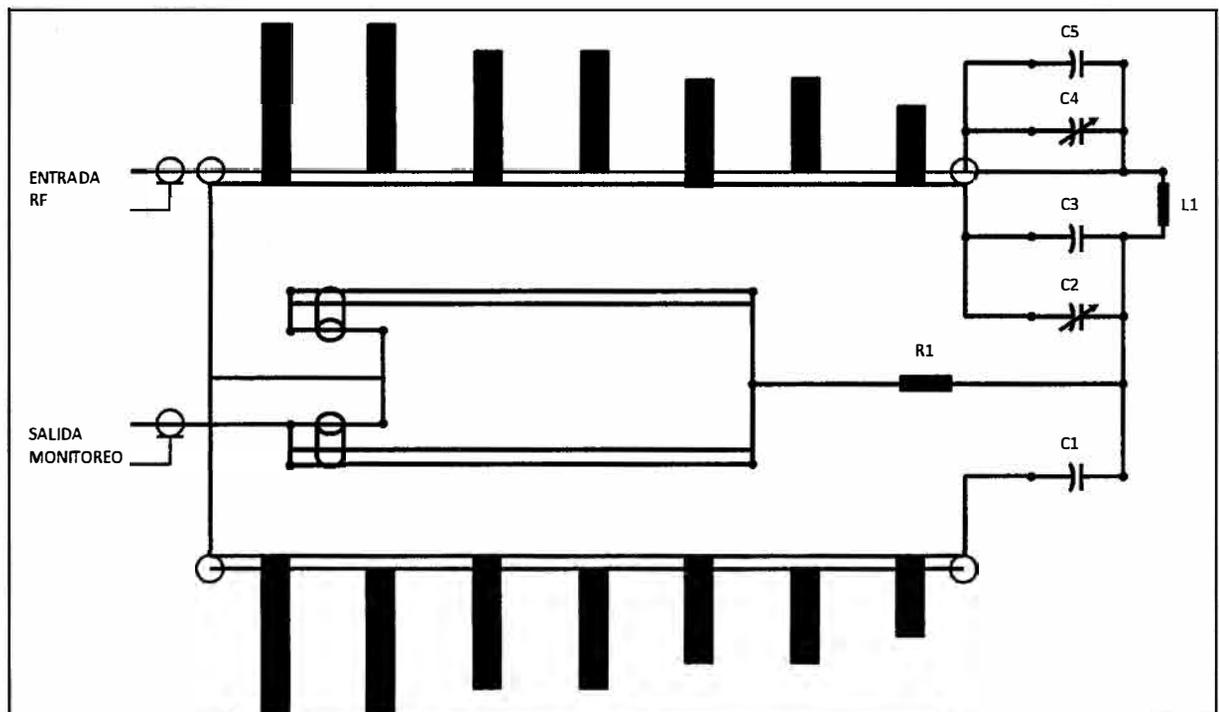


Fig. 2.42 Antena LPD.  
(Fuente: Manual de antena equipo Mark 20A)

Las muestra tomadas de cada antena retorna a la unidad de combinación, ver Fig. 2.43, esta unidad permite combinar las señales mediante un conjunto circuito Wilkinson, independientemente se combina las señales de las 04 antenas del sector de 150 Hz y las 04 antenas del sector de 90Hz. El resultado de estas señales combinadas ingresan a un circuito puente, en el cual separan las señales correspondientes a la banda lateral y la portadora; las cuales serán nuevamente mezcladas, previamente la señal de la banda

lateral es atenuada mediante un atenuador por pasos, para conseguir el valor aproximado equivalente al ancho de curso y a través de un línea coaxial se ajusta la fase respectos a la portadora, para obtener la señal de curso y el ancho del curso, estas dos salidas alimentan a detectores integrales los cuales filtran las señales de radiofrecuencia y entregan a las unidades monitoras señales de tensión proporcional amplitud de RF, el DDM del curso y del ancho de sector. Estas señales son evaluadas por el monitor y ejecuta los procedimientos de acuerdo a los niveles programados de operación normal, alerta o alarma.

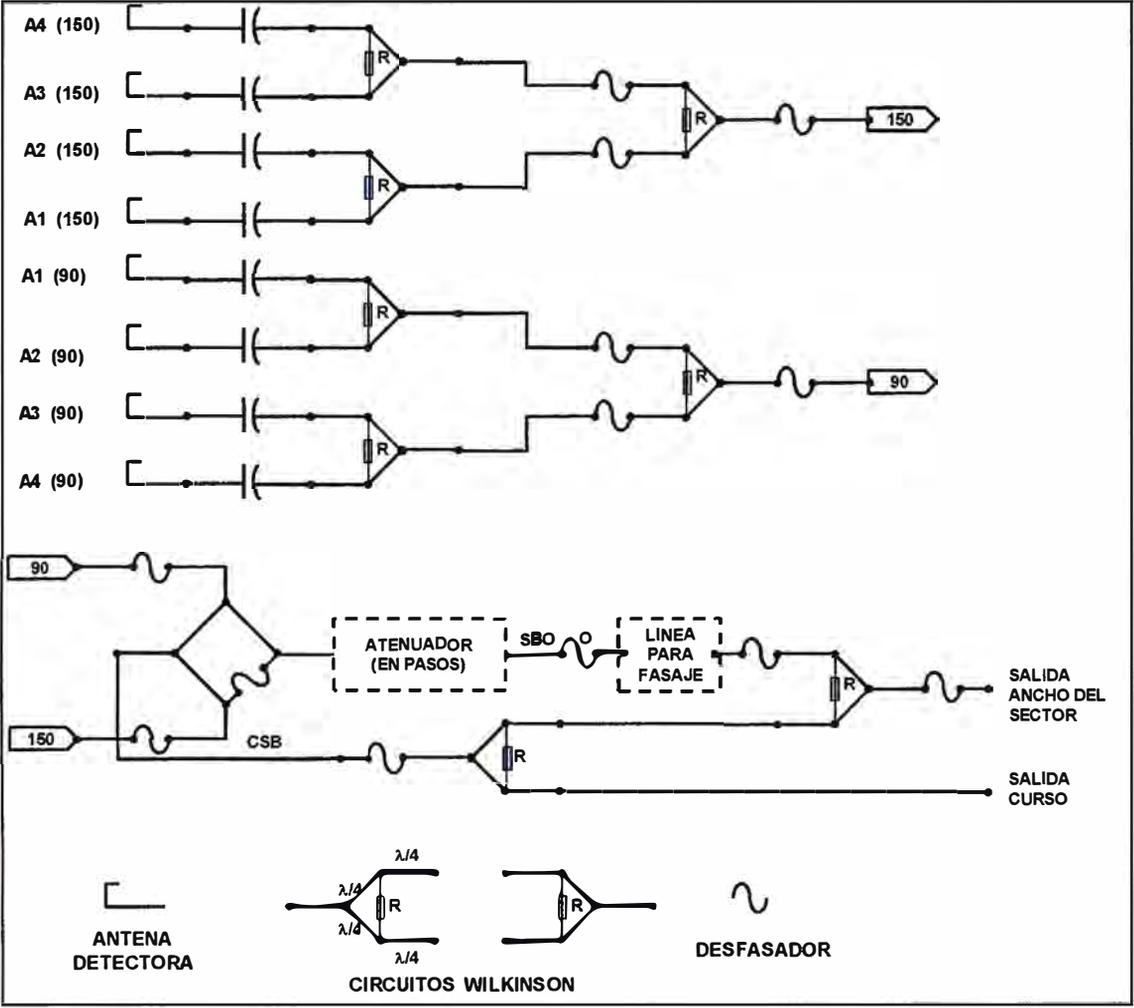


Fig. 2.43 Diagrama de la unidad de combinación.  
(Fuente: Manual de antena equipo Mark 20A)

**2.7.2 Descripción simplificada de la trayectoria de planeo**

El equipo es muy similar al equipo localizador diferenciándose significativamente en los modulador amplificador de potencia de RF y el sistema de antenas, ver Fig. 43.

El generador de señales de audio, solo varía los niveles de señal de la modulación de 90 Hz y 150 Hz, a 40% cada una con una señal de SDM de 80%. En el caso del sintetizador solo se deberá de programar a la frecuencia UHF correspondiente al canal y

automáticamente el componente síntesis digital directa DDS, permite ajustar la frecuencia.

El modulador amplificador de potencia del transmisor, utiliza la misma configuración del equipo localizador, diferenciándose solo en la etapa de amplificación de la señal de radiofrecuencia, desfasadores electrónicos y acopladores direccionales.

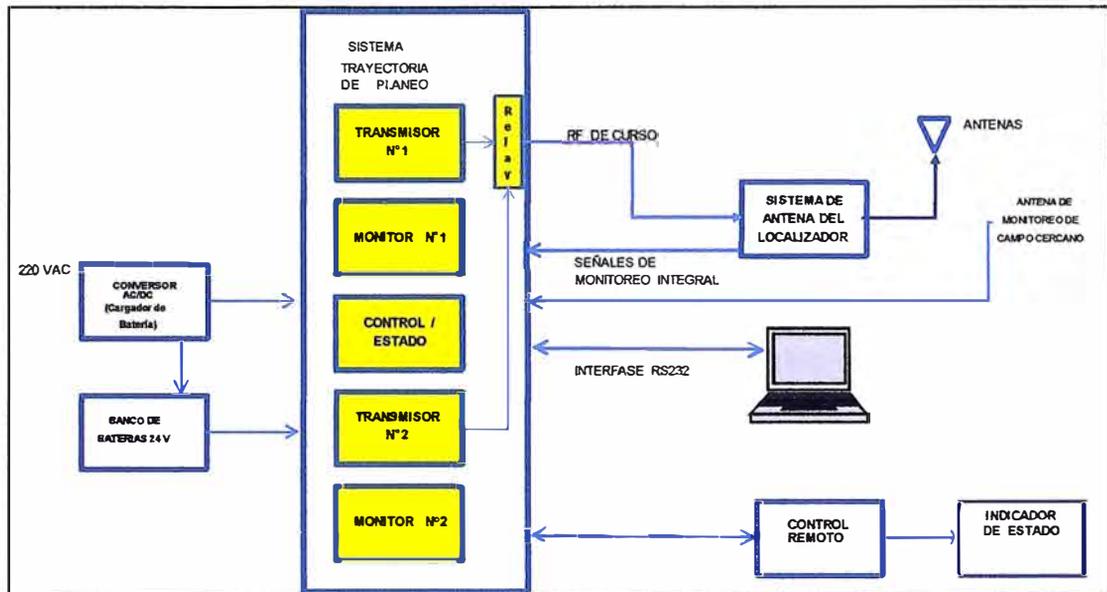


Fig. 2.44 Diagrama de bloque simplificado la trayectoria de planeo tipo referencia nula. (Fuente: Elaboración propia)

El Sistema de antenas, para la trayectoria de planeo cuenta con una etapa de distribución de antena dependiendo del tipo de trayectoria sea de referencia nula, tipo B o arreglo M (efecto captura), tal como se menciona en 2.4.

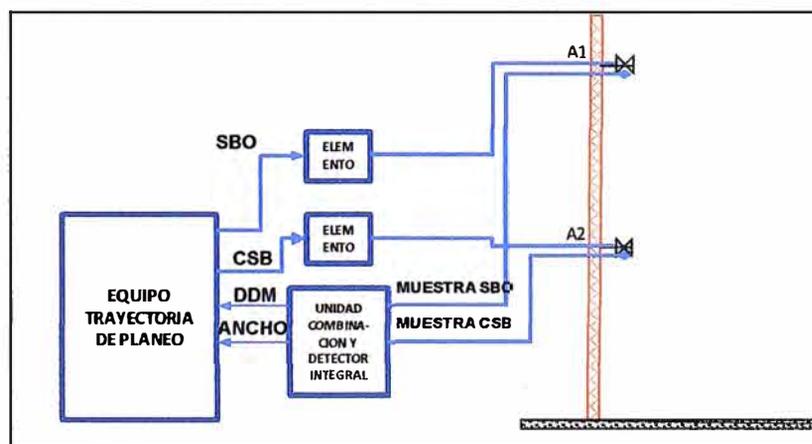


Fig. 2.45 Diagrama del sistema de antenas trayectoria de planeo tipo referencia Nula. (Fuente: Elaboración propia)

En el caso de la referencia nula las dos salidas de RF, ver Fig. 2.45, cada una está conectada desde su correspondiente relé de antena a un elemento de medición y mediante un cable coaxial hasta la entrada de la antena. Además cada antena cuenta un

elemento de antena receptora que permite tomara una muestra de la señal que esta irradiando cada antena y las dos muestras retornan a una unidad de combinación, la cual permite ajustar el nivel RF, el DDM de la trayectoria y ancho de curso con fines de monitoreo.

Para los otros dos tipos se cuenta con un modulo de distribución que permite mezclar las señales, con el fin de entregar a cada antenas los niveles y fases requeridos para una correcta operación, también cuentan con la unidad de combinación para detectar los niveles de RF, DDM y ancho de la trayectoria, y en el caso del arreglo M (efecto captura) se mide el ancho de la cobertura inferior (clearance de 150 Hz).

### **2.7.3. Principios de operación de un sistema medidor de distancia DME (Seleccionado)**

El sistema 415 está asociado al localizador, está constituido por un equipo dual y una antena direccional, con una cobertura similar al localizador. La generación de señales y control está controlado por un microprocesador, cuenta con un sistema de monitoreo que permite controlar y almacenar los datos históricos de operación. La programación de la frecuencia, el retardo de tiempo y las características de los pulsos son ajustados mediante una computadora.

Las aeronaves equipadas con DME transmiten una señal de UHF modulada por pares de pulsos codificados como interrogación, el receptor de la radioayuda en tierra, ver Fig. 2.46, captura esta señal la evalúa, la reconoce como una interrogación, porque, cumple con las características principales: la duración del pulso de 3.5 microsegundo, tiempo de subida y tiempo bajada de 2.5 microsegundos, con una separación entre pulsos de 12 microsegundos, ver Fig. 2.47. Luego prepara la señal de respuesta conformada por pares de pulsos con las mismas características, los cuales son transmitidos con una frecuencia  $\pm 63$  MHz, con relación a la radio frecuencia de la interrogación, dependiendo del canal. El intervalo entre la emisión de interrogación y la recepción de la respuesta, proporciona a la aeronave la información de distancia oblicua a la estación terrestre. Esta información aparece en el equipo indicador, ubicado en la cabina del piloto.

El transpondedor en tierra, puede contestar hasta 200 interrogadores a la vez, es decir, 4,800 pares de impulso por segundo (PPS). Con la finalidad de verificar la operación del equipo, se autogeneran pares de pulsos al azar (*squitter*) para mantener una frecuencia mínima de repetición de impulsos (PRF) de 800 a 2700 pares de pulsos por segundo cuando el número de interrogaciones decodificadas es más bajo de este rango. Además, se introduce un retardo fijo, que se llama "*retardo de respuesta*", entre la recepción de cada par de impulsos codificados de interrogación y la transmisión de la

respuesta correspondiente, debe ser 50 microsegundos de acuerdo a lo normado.

El transpondedor periódicamente transmite un grupo especial de pulsos de identificación, que son intercalados con la respuesta y los pulsos al azar (squitter). La aeronave decodifica estos pulsos especiales como tonos de clave Morse que corresponde al código de identificación de la radioayuda.

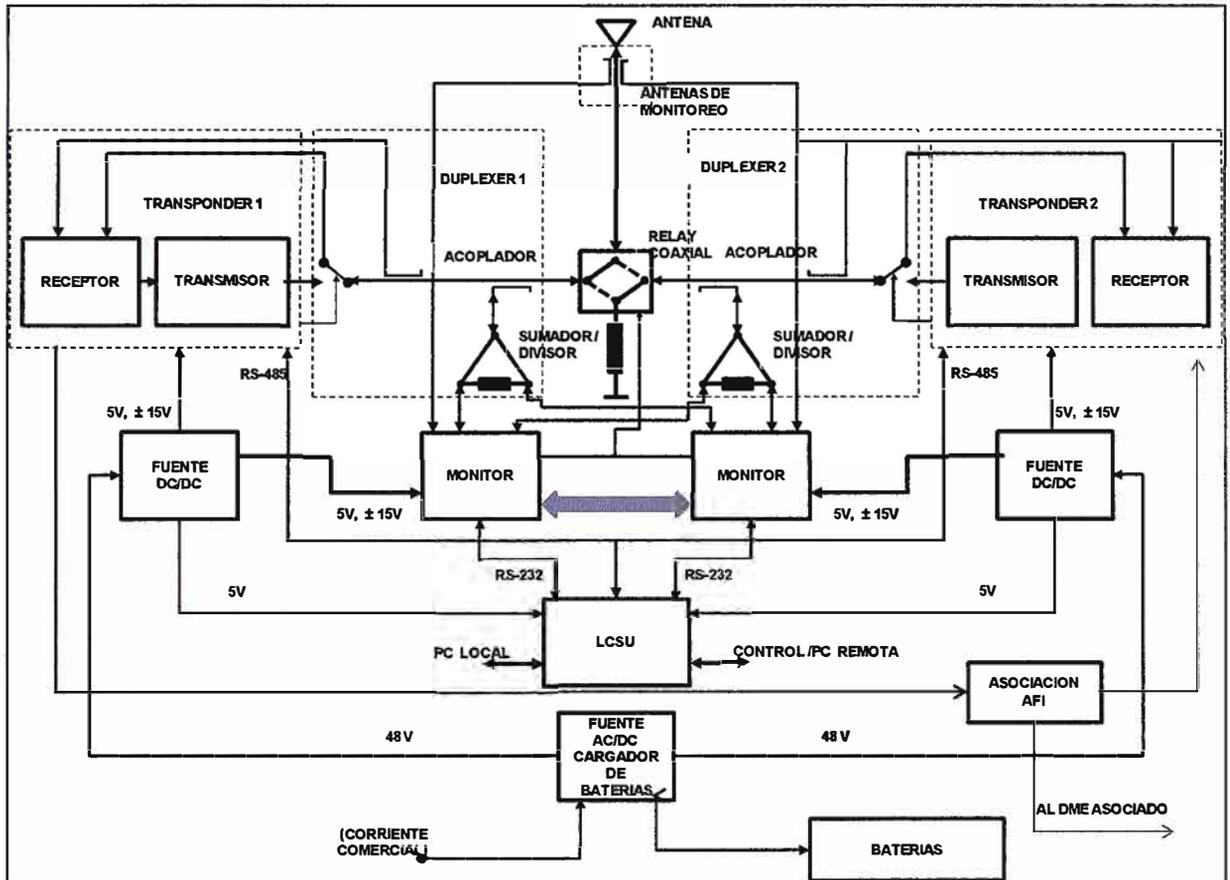


Fig. 2.46 Diagrama de bloques del DME. (Fuente: Manual de equipo 415)

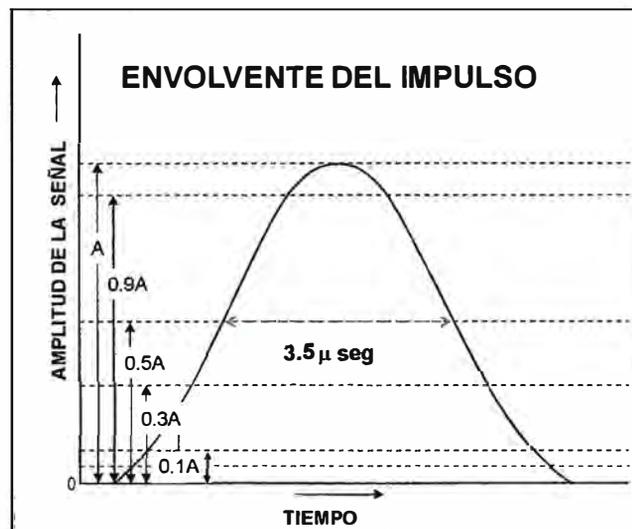


Fig. 46 Características del pulso DME (Fuente: Anexo 10 OACI)

### CAPITULO III

## PLANIFICACION E INSTALACIÓN DEL SISTEMA ILS MARK 20 A Y DME 415

El proceso de planificación e instalación de los sistemas adquiridos para los aeropuertos de Iquitos y Chiclayo son muy similares, sin embargo en cada instalación se presentan problemas que requiere de experiencia, conocimiento de la teoría y principios de operación de los equipos para resolverlos. Además, se debe contar con amplio conocimiento del instrumental y equipos de medición que se utilizan en todo el proceso. En esta parte se describe el diseño de la ubicación de cada equipo, planeamiento e instalación de los sistemas, y la puesta en operación; incluyendo la Inspección en Vuelo.

### 3.1 Descripción del diseño de las instalaciones de los sistemas de aterrizaje por instrumento de los aeropuertos de Iquitos y Chiclayo.

Como se explico en el Capítulo I, los sistemas ILS de los aeropuertos de Iquitos y Chiclayo, contaban con equipos que habían superado su vida útil, en los cuales, algunos de sus componentes no se encontraban en el mercado, debido a la antigüedad, y el nivel de intervenciones de mantenimiento correctivo se habían incrementado, reduciendo el nivel de confiabilidad y disponibilidad de estos sistemas.



Fig. 3.1. Ubicación localizador Iquitos  
(Imagen obtenida mediante Google Earth)

Durante el estudio para la renovación de los sistemas ILS, se realizaron diversas pruebas y evaluación del comportamiento de cada equipo. En Iquitos, se comprobó que por efectos de temperatura, los elementos de monitoreo para los equipos de la trayectoria

de planeo de ambos monitores, tenían variaciones que no hacia confiable su operación. Además, en el sistema localizador de Chiclayo se encontró con fallas recurrentes en el sistema de antenas y en el sistema de ajuste de fase de la banda lateral.

### 3.1.1 Instalación en el aeropuerto de Iquitos

En el aeropuerto de Iquitos desde 1980 se contaba con un sistema de aterrizaje por instrumento para la pista 19. El localizador estaba ubicado a 300 metros en la prolongación del eje de la pista de aterrizaje, durante el estudio se recomendó ubicar el nuevo sistema de antenas a 310 metros, ver Fig. 3.1, con el fin de reducir los días de inoperatividad durante la ejecución de las obras civiles y los trabajos de instalación mecánica. Además, teniendo en consideración las normas del anexo 10, en el cual se recomienda que el sistema localizador debe contar con un sistema que permita hacer conocer al piloto la distancia hasta el punto de toma de contacto, se recomendó la instalación de un equipo DME-T asociado al localizador. El cual sería instalado en la caseta de la trayectoria de planeo, con una antena direccional y de baja potencia (100 Wpp); esto mejora la performance de la operación.

La trayectoria de planeo estaba ubicada a 90 metros a lado izquierdo (en sentido de la aproximación) del eje de pista y 300 metros del umbral; sin embargo de acuerdo al estudio y en base a los resultados de las pruebas de inspección en vuelo, se planifico la reubicación de la trayectoria de planeo al lado derecho de la aproximación, a 300 metros del umbral y 110 metros del eje de pista, ver Fig. 3.2.



Fig. 3.2. Ubicación Trayectoria de Planeo – Iquitos (Imagen obtenida mediante Google Earth)

### 3.1.2 Instalación en el aeropuerto de Chiclayo

En el caso del aeropuerto de Chiclayo el localizador en razón a las limitaciones de espacio, el sistema de antenas está ubicado a 280 metros de la prolongación del eje de pista, desde el final de la pista y a 110 metros al lado izquierdo, configuración de eje

desplazado con un ángulo de  $1.66^\circ$ , ver Fig. 3.3. La trayectoria de planeo cuyo sistema de antenas estaba ubicado a los 300 metros de umbral de la pista 19 y 90 metros a lado derecho de la aproximación, ver Fig. 3.4, de acuerdo con las recomendaciones del anexo 10 de OACI, por lo cual se considero mantener la ubicación. El sistema de aterrizaje por instrumento no contaba con radiobaliza para la referencia de distancia, por lo que se recomendó la instalación de un equipo DME-T asociado al localizador, pero instalado en la caseta de la trayectoria de planeo, con una antena direccional y de baja potencia (100 Wpp).



Fig. 3.3. Ubicación localizador Chiclayo  
(Imagen obtenida mediante Google Earth)



Fig. 3.4. Ubicación trayectoria de planeo Chiclayo  
(Imagen obtenida mediante Google Earth)

Así mismo, dentro del proyecto se realizó la revisión de las especificaciones técnicas para cada aeropuerto, enmarcadas al cumplimiento de las recomendaciones de la OACI y los requerimientos operacionales.

### **3.2 Proceso de instalación, mecánica, eléctrica y electrónica.**

Dentro del proyecto se han ejecutado las obras civiles, tales como la rehabilitación de las casetas de material noble, construcción de las bases de las antenas, buzones y ductos para el cableado de comunicaciones y eléctricos, desde la torre de control a las dos estaciones, y para el cable de radiofrecuencia entre la caseta y la antena del localizador. Además, se realizaron la implementación de las puestas a tierra, para la caseta del localizador y la caseta de la trayectoria de planeo, con un valor menor a 5 ohm, consistentes en un grupo de pozos de tierra ubicados alrededor de cada caseta, interconectados por un cable cobre de de 50 mm<sup>2</sup>, llegando hasta la barra de puesta a tierra en el interior de la caseta.

La energía eléctrica se suministra desde la casa de fuerza, ubicada en el terminal, a través de dos transformadores de media tensión, conectados de forma independiente, mediante el cableado de media tensión hasta las subestaciones, ubicadas en la caseta del localizador y de la trayectoria de planeo. Y las comunicaciones se realizan desde la torre hasta las casetas, a través de los cables multifilar 22 AWG de 12 pares.

#### **3.2.1. Sistema localizador (LOC) monofrecuencia, de 8 antenas LPD (dipolo de logaritmo periódico).**

El sistema adquirido, para ser instalados en los aeropuertos de Chiclayo e Iquitos, fueron los equipos modelo MARK 20A, cuya característica del localizador es del tipo monofrecuencia, con 8 antenas LPD (dipolo logarítmico periódico), cuyas características se han descrito en el punto 2.7.1.

El siguiente procedimiento, se realizó para la instalación de los dos localizadores, previamente fueron desmontados los localizadores antiguos, tanto el equipamiento de la caseta y las estructuras del sistema de antena.

Luego se procedió con la instalación mecánica y eléctrica del nuevo localizador. Esta etapa consiste en realizar las instalaciones del rack de equipos, las estructuras de soporte de las antenas, el montaje de las antenas, tableros, tuberías para el cableado eléctrico, de comunicaciones y para los cables coaxiales y heliax,

Previamente se verificó, que la puesta a tierra de la caseta y el sistema de antenas, tengan el valor requerido, en razón que todos los equipos electrónicos deben ser protegidos de la estática, en especial en lugares de la zona selva.

Instalación del sistema de antenas del localizador, previamente en el caso de Iquitos se procedió a comprobar con un teodolito, que el centro de la plataforma este en la prolongación del eje de pista, luego se trazo una línea perpendicular a fin de alinear correctamente el sistema de antenas; este paso es fundamental para que los diagramas de radiación del sistema de antenas este alineado con la pista y minimizar los errores de

alineamiento, luego, se inicio con los trabajos de instalación de los 16 pedestales para el soporte de las antenas, verificando las correspondientes separaciones, medidas desde el centro de la loza, de acuerdo a la Tabla 3.1(datos del manual de antenas del equipo), realizando la nivelación con el fin de que asegure la irradiación vertical de las antenas.

**TABLA 3.1**  
**CARACTERISTICAS DEL SISTEMA DE ANTENA Y LA UNIDAD DE DISTRIBUCION DE ANTENA**

SISTEMAS DE ANTENA		UNIDAD DE DISTRIBUCION				
Antena	Separación	Amplitud CSB	Fase CSB	Amplitud SBO	Fase SBO	
1	4-90	7.76	0.0650	180°	0.497	0°
2	3-90	5.36	0.1836	0°	0.862	0°
3	2-90	2.96	0.4143	0°	1.000	0°
4	1-90	0.83	1.000	0°	0.957	0°
5	1-150	0.83	1.000	0°	0.957	180°
6	2-150	2.96	0.4143	0°	1.000	180°
7	3-150	5.36	0.1836	0°	0.862	180°
8	4-150	7.76	0.0650	180°	0.497	180°

**NOTA:**

1. Las amplitudes son relativas al voltaje y no son los voltajes reales.
2. La distribución de fase es aplicable solamente en la salida para los cables de antena.
3. El espaciamiento de antenas esta en metros desde el centro de las antenas.

Se procede a instalar las 08 antenas tipo dipolo logarítmico periódico (LPD), debidamente niveladas horizontalmente, manteniendo la misma altura con la finalidad que el efecto de la antena imagen permita contar con el lóbulo vertical que permita cubrir los 7° sobre el nivel de la pista de aterrizaje, en este caso se tomo como referencia el nivel del terreno al frente de las antenas, ver Fig. 3.5. En el caso de Chiclayo para realizar este procedimiento, se tomo como referencia los hitos habían sido fijados como eje de la pista imaginaria, durante la ejecución de las obras civiles.



**Fig. 3.5** Instalación del sistema de antenas y modulo de distribución y combinación cableado. (Foto tomada durante la instalación)

Terminada la instalación de las antenas, se realiza la instalación de las canaletas en la parte posterior de los postes, en la parte central se instala la caja de distribución y combinación para las antenas. En la parte interna se instala el modulo de distribución de las antenas y el modulo de combinación. El modulo de distribución cuenta con un sistema de divisores y desfasadores, que permite distribuir la señal de portadora (CSB) y la de banda lateral (SBO) a las 08 antenas de acuerdo a la Tabla 3.1. El modulo de combinación, realiza la mezcla de las señales recepcionadas de las sondas de monitoreo, ubicada en la parte central de las antenas, esto permite evaluar las señales radiadas por cada antena y determinar si existe alguna variación con los ajustes realizados, durante la puesta en servicio.

Para culminar la instalación del sistema de antenas, se realiza el cableado RF desde las salidas de la unidad de distribución, hasta la entrada de cada antena, ver Fig. 3.5, se debe considerar que el cableado de cada par de antenas equidistante tengan la misma longitud, esto permitirá que las señales tengan igual fase, luego de instalar los 8 cables de alimentación de la RF, se continua con el cableado desde el terminal de monitoreo de cada antena hasta la unidad de combinación, con la misma premisa, el cableado de cada par de antenas equidistantes sean de igual longitud. Culminado el cableado de RF hacia y desde las antenas, se instalan los detectores integrales (curso y ancho), el cable de RF para compensar la fase del sistema de monitoreo y la tarjeta del detector de falla de cable, que contiene una fuente de 5 voltios, que además de alimentar a los detectores, alimenta al circuito detector de falla de cable. Desde la caseta se instala una línea de alimentación de 220Vac, un cable multifilar y dos cables heliax uno que alimenta la CSB y el otro la SBO.

En la caseta se instala el rack del equipo localizador, la caja de uniones y los tableros de energía eléctrica y de comunicaciones. Para el sistema eléctrico se instala las llaves térmicas y los protectores de línea. Para el cableado de comunicaciones que va a la torre, también se instalan los protectores de línea.

Con un cable de cobre numero 8 AWG, se conectan los rack del equipo a la barra de tierra. Luego se instalan tres líneas de tubos del tipo conduit, uno para el cableado eléctrico desde el tablero eléctrico hasta el equipo, y el otro desde la caja de uniones hasta el equipo para las líneas RF y el último para el cableado de comunicaciones internas. Luego se pasaron y conectaron los cables de alimentación de AC, desde el tablero hasta el equipo. No se debe activar la llave del tablero, hasta que el sistema este completamente instalado.

El cableado de RF se instala en dos tramos, uno desde la salida del relay de conmutación de antena de la CSB y la de SBO del equipo, hasta la caja de uniones y

supresor de transitorios, en los dos elementos de medición de potencia y desde las salidas de los elementos hasta la caja de unión con los cables heliax, los cuales están conectados a la caja de distribución, aproximadamente 70 metros de largo. Además, se realiza el conexionado de los cables de datos entre el equipo y la caja de uniones y de la caja de uniones se instala un cable multifilar hasta el tablero de comunicaciones.

En el rack del equipo localizador se instalan sus módulos y tarjetas, ver Fig. 3.6, con los cuidados requeridos, protección de pulsera antiestática y debidamente señalizados, verificando la programación física de cada tarjeta, es decir la posición de los mini-interruptores y puentes.

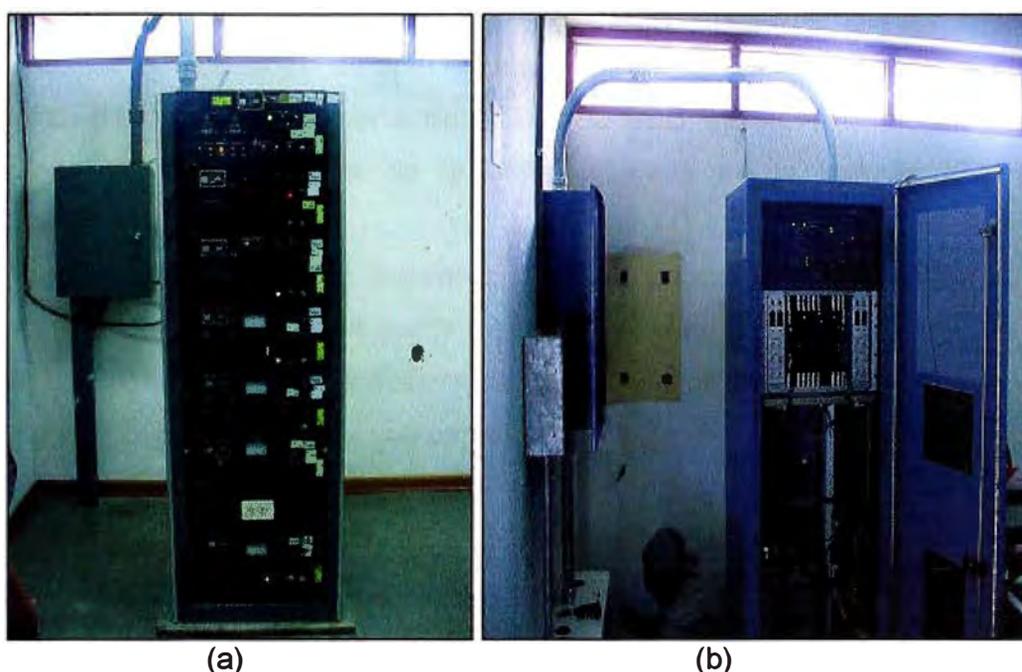


Fig. 3.6 Equipo localizador (a) localizador antiguo, (b) localizador instalado (Iquitos).  
(Foto tomada durante la instalación)

Culminada la instalación mecánica y eléctrica, se realiza la fase de pruebas electrónicas.

### 3.2.2. Procedimiento para el ajuste de fase de los cables coaxiales RF del sistema de antenas

En esta etapa se realiza la verificación de la correcta operación del equipo, las longitudes de los cables de RF, el fasaje de radiación de cada antena y que el patrón de radiación del conjunto de antenas cumpla con los parámetros establecido en el anexo 10.

La primera prueba es el análisis de fase de los cables de RF para la alimentación de la CSB y la SBO, el cable heliax es un elemento que es cortado en campo, utilizando la formula  $L = p \cdot \lambda$  (donde  $p$  es el coeficiente de velocidad propagación del cable), esto causa un pequeño desfasaje, para verificar que el corte es correcto, se ha realizado el siguiente procedimiento:

**Instrumental necesario:**

- Instrumento de medida PIR portátil este equipo permite medir la señales de intensidad de señal SDM y DDM. (Ver adjunto B)
- Osciloscopio,
- Acoplador bidireccional,
- Cargas de 50 Ohms,
- Cable coaxial de 90° grados a la frecuencia de operación (109.7 Mhz),
- Cables coaxial (02 identificados uno como CSB y el otro SBO, instalados entre el equipo y la caja de uniones).

**Procedimiento diseñado y realizado:**

a) Realizar la verificación de operación del equipo, con cargas fantasmas instaladas en la salida de los relay de antena de CSB y de SBO, las señales monitoreas deben cumplir con las características de la señal indicada en la formula (2.1) y (2.2) respectivamente.

a. Con el equipo apagado, instalar a la salida del relay de antena de la CSB el acoplador bidireccional, en cuya salida se debe conectar una carga fantasma y en la salida de muestreo de la señal directa se conecta el osciloscopio. Verificar que en el relay de antena de SBO este instalada una carga fantasma.

b. Encender el equipo, conectar la computadora activar el programa y programar los valores de SDM, balance de modulación DDM, nivel de RF, amplitud de banda lateral, y fase de banda lateral, ver Tabla 3.2 (datos característicos del equipo).

TABLA 3.2.  
VALORES INICIALES DEL LOCALIZADOR

Parámetro para el localizador	Nivel de Ajuste	Unidad
SDM	40.0	%
Balance de modulación	+0.000	DDM
Nivel RF	15.0	Watts
Amplitud de la Banda lateral	30 (*)	%
Fase de la SBO	(*)	
(*) los valores finales se deberán ser fijados durante el procedimiento		

c. Se ajusta el osciloscopio y se deberá de ver la señal de la Fig. 2.2, esto permite comprobar que la señal CSB cumple con la formula (2.1).

d. Ajustar el osciloscopio para obtener el “patrón del beso”, lo que permitirá verificar si el balance de modulación es correcta, ver Fig.3.7.

e. Apagar el equipo

f. Cambiar el acoplador direccional a la salida de la SBO, conectando la carga fantasma a su salida y el osciloscopio a la salida de muestreo de la señal directa.

Verificar que a la salida del relay de antena CSB esté conectado la carga fantasma.

- g. Encender el equipo.
- h. Verificar que en el osciloscopio se muestre la Fig. 2.3, esto permite verificar que la señal de SBO cumple con la fórmula (2.2)
- i. Se apaga el equipo.
- j. Se normaliza el conexionado.

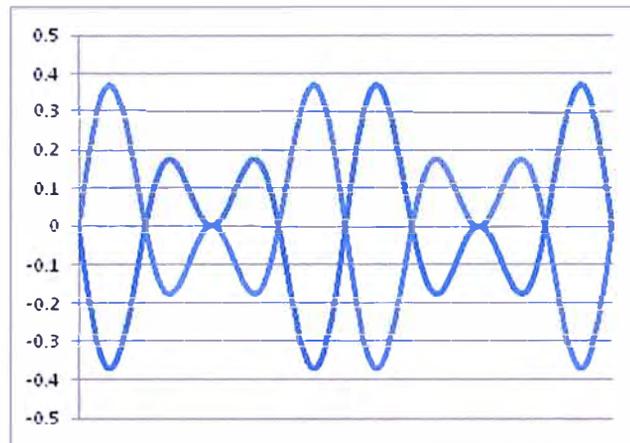


Fig. 3.7 Patrón del beso, modulación de las señales de 90Hz y 150 Hz iguales.  
(Gráfico Excel, desarrollo de la fórmula 2.1, adaptada al patrón)

- b) Comprobar la irradiación de la señal
  - a. Conectar la señal de portadora a la antena 4, utilizando el cable coaxial marcado como CSB y la banda lateral en la antena 5 con el marcado SBO, de ser necesario se utilizara cables de adaptación de las mismas longitudes.  
Ubicar el PIR a mínimo 1000 m., de la antena al costado del eje, configurado para medir la diferencia de profundidad de modulación (DDM).
  - b. Encender el equipo.
  - c. Verificar las lecturas de SDM estas deben ser aproximadamente 40% y DDM mayor de 5%.
  - d. Apagar el equipo
  - c) Ajuste de fase de los cable heliax
    - a. Intercalar el cable de 90°, a la salida de la banda lateral.
    - b. Encender el equipo.
    - c. Verificar la lectura de DDM en el PIR esta debe ser aproximadamente cero, de no ser así, se deberá de realizar pruebas intercalando conectores en uno de los cables de RF, (apagar el equipo cada vez que se tenga que colocar un conector) hasta alcanzar el nivel aproximado 0.0 DDM.
    - d. Apagar el equipo
    - e. Cortar el cable que no se ha intercalado los conectores, la longitud de corte es

aproximada, cada conector tiene aproximadamente  $6^\circ$ , se multiplica por el número de conectores y el total de grados se transforma en distancia por la fórmula  $L = x^\circ \cdot \rho / 360$ , donde  $\rho$  es el coeficiente de velocidad de propagación del cable.

- f. Si remover el cable de  $90^\circ$ , encender el equipo.
- g. Verificar que la lectura del DDM se aproxime a 0, máximo de tolerancia  $\pm 0.0003$ . Caso contrario se deberá realizar nuevamente desde el paso b.

d) Habilitación del módulo de distribución

- a. Si la lectura de la DDM es aproximadamente 0, apagar el equipo
- b. Retirar el cable de  $90^\circ$
- c. Proceder a conectar, los cables CSB y SBO a las entradas correspondientes del módulo de distribución.

e) Alineamiento del sistema de antenas.

Procedimiento que permite alinear en fase cada par de las antenas, para ello se alimentara a través del módulo de distribución, un par de antenas equidistantes por vez y con el PIR, alejado 300 m. en el eje de pista, como mínimo, se medirá la DDM igual a cero.

- a. Realice el conexionado de las 08 antenas, con los cables instalados previamente, (cada cable debe estar adecuadamente identificado).
- b. Retire los cables de alimentación de las antenas 1, 2, 3, 6, 7 y 8, y cargue las salidas del módulo de distribución con cargas de 50 ohms.
- c. Con solo los cables 4 y 5 conectados, encender el equipo.
- d. Medir el DDM debe ser  $\pm 0.0003$ , si la lectura esta dentro del rango continúe con el paso i.
- e. En el caso que sea mayor se deberá de intercalar conectores en uno de los cables de alimentación de las antenas 4 o 5 (apagar el equipo cada vez que se tenga que colocar un conector) hasta alcanzar el nivel indicado.
- f. Apagar el equipo.
- g. Cortar el cable en el cual no se ha intercalado los conectores, la longitud de corte es aproximada cada conector tiene aproximadamente  $6^\circ$ , se multiplica por el número de conectores y el total de grados se transforma en distancia por la fórmula  $L = x^\circ \cdot \rho / 360$ , donde  $\rho$  es el coeficiente de velocidad de propagación del cable.
- h. Retirando los conectores, proceda nuevamente con el paso c.
- i. Repita el procedimiento desde el paso c. para los pares de antena primero 3-6, 2-7 y 1-8.
- j. Apagar el equipo.
- k. Normalice las conexiones del módulo de distribución.

- l. Encender el equipo.
- m. Verificar que la lectura del PIR se mantenga, por debajo de  $\pm 0.0003$  DDM. Si la lectura esta dentro del rango continuar con el procedimiento de ajuste de la fase para la banda lateral.

### 3.2.3 Análisis de los ajustes de parámetros de operación del localizador.

- a) En el caso del patrón del beso (paso 3.2.2-a)-d.), se confirma que si los porcentajes de modulación de 90 Hz y 150Hz, son iguales en el osciloscopio se lograra una señal como la mostrada en la Fig. 3.7, grafico que corresponde al cálculo teórico de la formula (2.1), en el caso que los índices de modulación no sean iguales se presentan las graficas indicadas en la Fig. 3.8.
- b) Análisis de la prueba, un desarrollo vectorial permitirá visualizar la confiabilidad de la prueba en el paso 3.2.2-c)-c, donde se mide las dos señales CSB y SBO, indicados en la Fig. 3.9-(a), nótese que de existir un pequeño desfasaje la DDM es considerable.

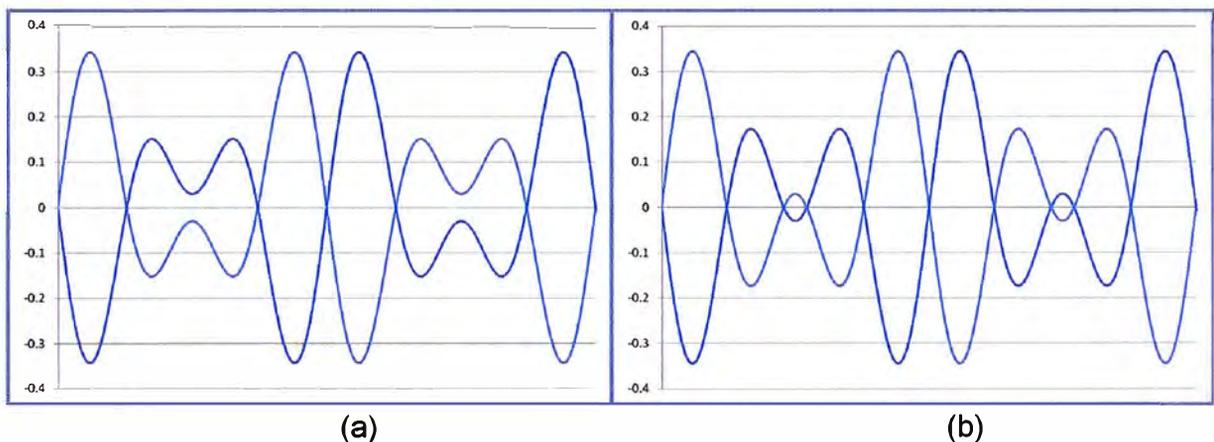


Fig. 3.8 Patrón del beso, (a) modulación 150 Hz menor que la de 90Hz; (b) modulación de 90 Hz menor que la de 150 Hz.  
(Grafico Excel, desarrollo de la formula 2.1)

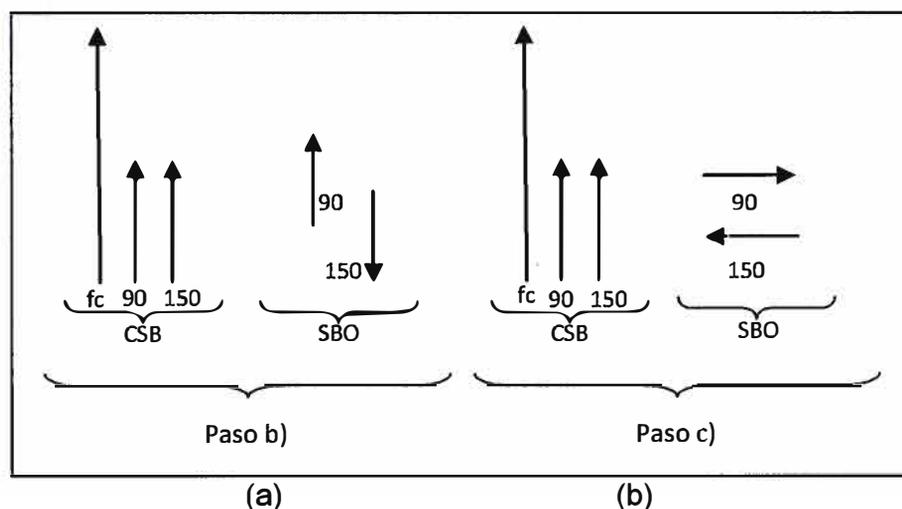


Fig. 3.9 Análisis vectorial de la prueba de fase de cables de alimentación CSB y SBO. (Fuente: Elaboración propia)

c) Cuando se intercala un cable de  $90^\circ$ , la señales estarán en cuadratura, por lo que la DDM debe ser CERO, de existir un desfase el DDM será mayor que 0.0000 (precisión del PIR).

d) Intercalando los conectores se busca que las dos señales se aproximen al desfase de  $90^\circ$  y se cumpla con lo indicado en la Fig. 3.9-(b).

### 3.2.4 Ajuste de fase de la señal emitida al espacio por el localizador

a) Ajuste de la fase de la banda lateral y del ancho del curso del localizador. Este procedimiento permite fijar los valores requeridos de  $\pm 0.155$  DDM, para el sector del localizador en los 105 metros a cada lado del umbral.

a. Normalice la conexión del modulo de distribución, colocar el PIR a una distancia los 105 metros del eje en el umbral al lado derecho de la aproximación.

b. Colocar el cable de  $90^\circ$  en el cable de la banda lateral.

c. Encender el equipo.

d. Conectar la computadora ejecutar el programa de control para el sistema ILS.

e. Programar los valores nominales SDM 40%, Balance de modulación 0.0 DDM, nivel de RF 15 W, amplitud de SBO al 50%, identificación 8%.

f. Verificar que la lectura del PIR sea menor a  $\pm 0.0003$ , si la lectura es mayor, se deberá de realizar el ajuste de fase reprogramando el valor en fase de SBO, hasta encontrar el valor indicado.

g. Apagar el equipo.

h. Retira el cable de  $90^\circ$ , normalizar la conexión.

i. Encender el equipo.

j. Verificar que la lectura del PIR predomine 150Hz, caso contrario aumentar o disminuir la fase en  $180^\circ$ , con el fin de fijar la fase correcta.

k. Ajustar el ancho del curso, variando la amplitud de SBO para obtener +0.1550 DDM.

l. Verificar que el eje la lectura se aproxime a cero.

m. A los 105 metros al lado izquierdo debe predominar 90 Hz y la lectura de ser de aproximadamente -0.1550 DDM.

b) Análisis de comportamiento del sector de curso hasta los  $\pm 35^\circ$  del localizador.

Utilizando el PIR se deberá de realizar las mediciones cada 5 grados hasta los  $35^\circ$  a cada lado del eje, a una distancia de mínima 100 metros. De no tener puntos señalados se deber de instalar un teodolito que permita determinar la correcta ubicación de punto de medición.

a. Se deberá de registrar los valores de DDM en cada punto y las lecturas se graficarán para confirmar si se cumple con las recomendaciones de OACI, adjunto C, del

anexo 10, un incremento lineal desde 0.0000 DDM en el eje de pista, hasta el ancho de curso de 0.1550 DDM, incrementándose hasta aproximadamente 0.1800 DDM a los 10° y de 10° hasta 35 debe mayor de 0.1800 DDM.

b. En el caso de presentarse alguna discrepancia se deberá realizar el análisis correspondiente y realizar las acciones correctivas del caso. Como el comportamiento de la señal radiada corresponde al conjunto de antenas, se deberá tener en cuenta que la unidad de distribución realiza la función de entregar a cada par de antenas la amplitud y fase requerido, para cumplir con obtener los valores del punto a.

### **3.2.5 Ajuste de la señal de monitores del localizador**

Los monitores sirven para evaluar las señales irradiadas desde el conjunto de antena, tomando una muestra de cada antena y llevándolo al modulo de combinación en la antena, en el cual se mezclan, generando una señal de curso y otra de ancho de curso.

El ajuste de la señal de curso del monitor, al igual que el ajuste de la señal radiada por las antenas, se requiere verificar que los cables que llegan hasta la unidad de combinación tengan las longitudes adecuadas, para ello se realiza el siguiente procedimiento:

- a) Realice el conexionado de las 08 antenas a la unidad de combinación, con los cables instalados previamente, (cada cable debe estar adecuadamente identificado de que antena proviene).
- b) Retire los cables de las antenas 1, 2, 3, 6, 7 y 8; cargue las entradas del modulo de combinación con cargas de 50 ohms.
- c) Conecte la salida de curso de la unidad de combinación al PIR, de ser el caso utilice un atenuador.
- d) Con los cables de las antenas monitoras 4 y 5 conectadas, encender el equipo.
- e) Medir en el PIR, que la DDM debe estar aproximadamente en el rango de  $\pm 0.002$ , si la lectura esta dentro del rango continúe con el paso i).
- f) En el caso que sea mayor se deberá de intercalar conectores en uno de los cables de las antenas 4 o 5 (no requiere apagar el equipo) hasta alcanzar el nivel indicado.
- g) Cortar el cable en el cual no se ha intercalado los conectores, la longitud de corte es aproximada cada conector tiene aproximadamente 6°, se multiplica por el numero de conectores y el total de grados se transforma en distancia por la formula  $L = x^\circ * \rho / 360$ , donde  $\rho$  es el coeficiente de velocidad de propagación del cable.
- h) Retirando los conectores, proceda nuevamente con el paso d).
- i) Repita el procedimiento desde el paso d). para los pares de antenas primero 3-6, luego 2-7 y finalmente 1-8, cargar la entradas del modulo de combinación, que no se

están trabajando, con 50 ohms.

- j) Apagar el equipo.
- k) Normalice las conexiones del modulo de combinación.
- l) Encender el equipo.
- m) Verificar que la lectura del PIR se mantenga por debajo de  $\pm 0.002$  DDM. Si la lectura esta dentro del rango, se retira el PIR y se conecta el detector integral y continuar con el procedimiento de ajuste del ancho de curso.
- n) Para el ajuste de ancho de curso, con el equipo apagado se conecta la línea de  $90^\circ$  al cable de alimentación de la señal SBO en la entrada de la unidad de distribución.
- o) El PIR, se conecta a la salida de ancho de curso en la unidad de combinación, de ser el caso se debe colocar un atenuador.
- p) Se enciende el equipo.
- q) Y se verifica que la lectura sea  $\pm 0.0005$ , de ser la lectura mayor se debe realizar la verificación de la longitud del cable de SBO para fasaje, de la unidad de combinación, primero se agregara un conector, si el valor de la DDM disminuye se debe cambiar el cable por uno de mayor longitud, de incrementarse se debe cortar el cable. Se debe realizar las pruebas hasta conseguir el valor indicado.
- r) Apagar el equipo y retirar el cable de  $90^\circ$  y se normaliza el conexionado.
- s) Se enciende el equipo.
- t) Con los puentes ubicados en la parte baja de la unidad de combinación, se ajusta para que el valor indicado en el PIR sea aproximadamente  $\pm 0.1550$  DDM. Luego se retira el PIR y se conecta el detector integral.
- u) Para culminar el ajuste se realiza, se verifica las lecturas de los monitores, en el computador tenga los valores requeridos Nivel de RF 100%, balance de modulación  $\pm 0.000$ , ancho de curso  $\pm 0.155$  DDM. De no ser así se debe reajustar los detectores integrales y realizar el proceso de calibración y normalización, hasta que se llegue a los valores indicados.

Este procedimiento fue utilizado para el ajuste de los dos sistemas localizador instalados en los aeropuertos en mención.

### **3.2.6 Sistema trayectoria de planeo (GS) de referencia nula, dos antenas.**

Para estos sistemas, se ha seguido el mismo procedimiento en ambos aeropuerto, en razón que los dos sistemas trayectoria de planeo son mono-frecuencia en configuración referencia nula.

En el caso de Iquitos, el sistema fue reubicado al otro lado de la pista de aterrizaje, para lo cual se realizaron además las obras civiles de nivelación de terreno, construcción de las bases de la caseta y antena, ducteria para el tendido de los cables de

media tensión desde la torre de control a la nueva ubicación de la caseta y para el cableado de comunicaciones desde la caseta VOR. En la base para la torre de soporte de antenas de la trayectoria de planeo, se anclaron los pernos de soporte. Para el aeropuerto de Chiclayo solo se hicieron la base para la torre de las antenas.

Esta etapa consiste en realizar las instalaciones del rack de equipos, instalación de la torre de soporte de las antenas, el montaje de las antenas de la trayectoria de planeo y del DME-T, los tableros eléctricos, de comunicaciones, caja de combinación, tuberías para el cableado eléctrico, de comunicaciones y para los cables coaxiales y heliax,

Se verificó, que la puesta a tierra de la caseta este en los valores requeridos menos a 5 ohms.

### 3.2.7 Cálculos para la instalación del las antenas de la trayectoria de planeo

La instalación del sistema de antenas de la trayectoria de planeo, se inicio con el armado de la torre de 10 mts para el soporte de las antenas, montaje de las dos antenas de la trayectoria de planeo, balizamiento y guía de seguridad, luego con el apoyo de una grúa se coloca sobre la base (loza), haciendo que la base de la torre coincida con los pernos de soporte y anclaje, se nivela la torre y se procede al ajuste de pernos de sujeción. Luego se conecta al sistema de tierra.

La altura de las antenas de la trayectoria de planeo se ha calculado de acuerdo a la pendiente desde el nivel del terreno de la torre de antena al centro de la pista en el inicio del umbral.

Cuando se considera un terreno completamente plano (caso ideal) de una trayectoria de planeo referencia nula, donde el terreno no tiene pendientes se considera la fórmula 3.1 (Fuente: referencia Teoría básica ILS anexo A), la altura de instalación de la primera antena es:

$$H = \lambda / (4 * \text{sen}(3^\circ \pm \Delta)) \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

Donde:  $\lambda = c/f$ ,  $\Delta =$  pendiente del terreno

$c = 300,000$  Km/seg.

$f =$  frecuencia de trayectoria de planeo

Entonces  $H = 75 \text{ m} / (f * \text{sen}(3^\circ))$

En el caso de Iquitos existe una pendiente en el terreno, por lo cual se debe considerar la corrección del ángulo, tomando con referencia la base de la antena si la pendiente es negativa hacia el umbral se debe sumar el ángulo y para la pendiente positiva se debe restar el ángulo, ver Fig. 3.10.

Por lo tanto la altura H de la antena será:

$$f = 333.2 \text{ MHz},$$

La pendiente del terreno =  $0.3^\circ$ .

Reemplazando en la fórmula 3.1

$$H = 75 \text{ m} / (333.2 * \sin(3^\circ - 0.3^\circ))$$

$$H = 4.778 \text{ m}$$

En conclusión la primera antena se debe instalar a una altura de 4.78 m y la segunda a 9.56 m.

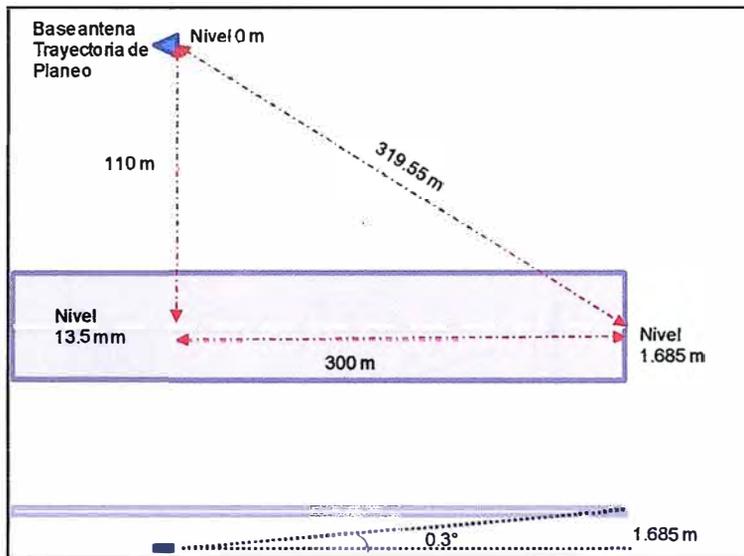


Fig. 3.10 Datos de instalación de la trayectoria de planeo de Iquitos.  
(Fuente: Elaboración propia)

En el caso de Chiclayo, ver Fig. 3.11 se realizaron las mediciones requeridas para obtener la pendiente desde la antena al umbral de la pista 19 y las alturas de las antenas fueron calculadas en 4.66 y 9.32 m.

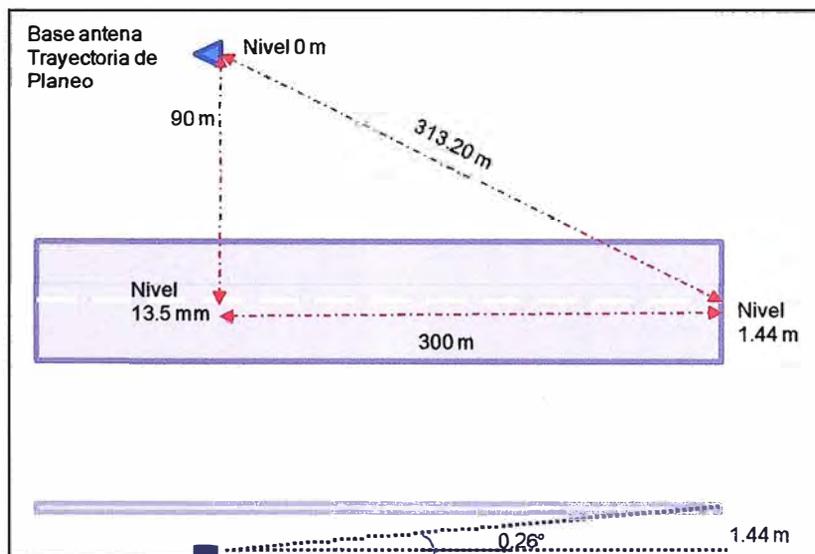


Fig. 3.11 Datos de instalación de la trayectoria de planeo de Chiclayo.  
(Fuente: Elaboración propia)

Existe otra corrección, se realiza en razón a la diferencia de las distancias de las

antenas al eje central, esto ocasiona una diferencia de fases y distorsiona la señal, esta corrección se denomina offset, ver Fig. 3.12. Se calcula tomando la distancia del centro de la base de antena al eje (perpendicular) y las alturas de las antenas, considerando que  $d$  es igual a la distancia del centro de cada antena al eje de pista.

Donde  $\Delta D$  es el desplazamiento que debe tener la antena para corregir el efecto por Offset.

Para el caso de Iquitos  $\Delta D = 15.7$  cm, y para Chiclayo  $\Delta D = 19$  cm.

Estos ajustes fueron realizados y confirmados durante las pruebas de Inspección en Vuelo.

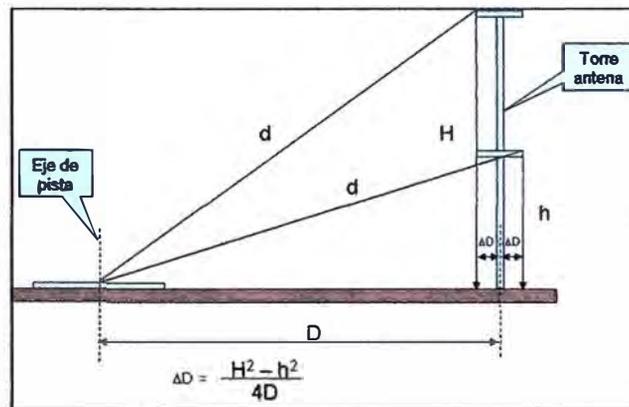


Fig. 3.12 Error por diferencia de distancias al eje de pista (Offset).  
(Fuente: Elaboración propia)

Terminada la instalación de las antenas de la trayectoria se procede con la colocación de la antena del DME, la ubicación más adecuada es en la parte baja de la torre, para evitar los nulos que se generan en el patrón vertical, ver Fig. 3.13.

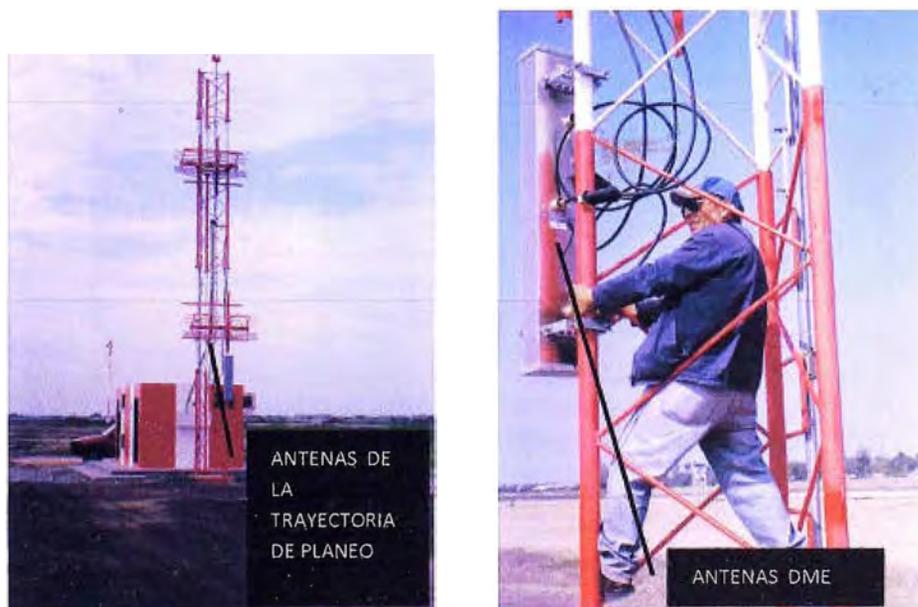


Fig. 3.13 Instalación del sistema de antenas de la trayectoria de planeo y DME-T.  
(Foto Tomado durante la instalación)

Desde la caja de uniones de la caseta a la parte media de la torre se ensamblan dos ducterías, para soportar el cableado RF y otro para el eléctrico, ver Fig. 3.14 Además a partir de la caja de uniones de la caseta se instala una línea de alimentación de 220Vac, y cuatro cables coaxiales para las antenas de la trayectoria (01 CSB, 01 SBO, 01 monitoreo CSB y 01 monitoreo (SBO).

Asimismo, se instalan tres cables heliax para el DME (01 para la señal de TX/RX y 02 para los monitores); la longitud de estos cables es muy importante, porque introduce un retardo de tiempo  $\Delta t$ , indicada en la fórmula 3.2 (Fuente: manual de equipo DME), la cual debe calcularse para ser descontado de los 50 microsegundos, que es el retardo normado para este sistema.

$$\Delta t = (L * 10^6) / (\rho * c) \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

Donde: L = largo del cable en metros

$\rho$  = coeficiente de velocidad de propagación en ms/metros

c = velocidad de la luz

En la caseta se instala los rack de equipos de la trayectoria de planeo y el DME, la caja de combinación, los tableros eléctricos y de comunicaciones, las ducterías para los circuitos eléctricos y de RF, los bancos de baterías y su respectivo cableado.



Fig. 3.14 Instalación del cableado RF y ducterías para cableado RF – AC , y equipo Trayectoria de Planeo. (Foto tomada durante la instalación)

En el tablero eléctrico se instala las llaves térmicas y los protectores de línea y en el de comunicaciones también se instalan los protectores de línea.

Con un cable de cobre, se conectan los rack de los equipos a la barra de tierra. Luego se instalan las ducterías una desde del tablero eléctrico hasta el equipo, dos desde

la caja de combinación y supresor de transitorios, hasta el equipo de trayectoria para las líneas RF y otro para comunicaciones, Fig. 3.14. Luego se pasaron los cables de alimentación de AC, desde el tablero hasta el equipo. No se debe activar la llave del tablero, hasta que el sistema este completamente instalado.

EL cableado de RF de la trayectoria de planeo se instala en dos tramos uno desde el equipo en la salida del relay de conmutación de antena de la CSB y de la SBO, hasta la caja de combinación y supresor de transitorios y son conectados a los dos elementos de medición de potencia y el otro tramo hasta cada antena. Los cables de monitoreo de la CSB y la SBO son conectados a la caja de combinación. Además, el cableado de datos se conecta desde la caja de combinación y supresor de transitorios, hasta el equipo.

En el rack del equipo de la trayectoria de planeo se instalan sus módulos y tarjetas, con los cuidados requeridos, protección de pulsera antiestática y debidamente señalizados, verificando la programación física de cada tarjeta, posición de los mini-interruptores y puentes.

Los módulos del equipo DME también son adecuadamente colocados, teniendo especial cuidado con los cables de RF, al final se conecta los cables para la antena. Culminada la instalación mecánica y eléctrica, se realiza la fase de pruebas electrónicas.

### **3.2.8 Procedimiento para el ajuste de fase de los cables coaxiales RF de las antenas de la trayectoria de planeo.**

Previamente se debe verificar la correcta operación del equipo, las longitudes de los cables de RF para que el fasaje de irradiación de cada antena sea el correcto y que el patrón de radiación cumpla con los parámetros establecido en el Anexo 10.

La primera prueba es el análisis de fase de los cables de alimentación de la CSB y la SBO, en razón que los cables coaxiales, son elementos cortados en campo utilizando la formula  $L = \rho * \lambda$  (donde  $\rho$  es el coeficiente de velocidad propagación del cable), esto causa un pequeño desfasaje, para corregir esto se ha realizado el siguiente procedimiento:

Instrumental necesario:

- Instrumento de medida PIR portátil este equipo permite medir la señales de intensidad de señal SDM y DDM.,
- Osciloscopio,
- Acoplador bidireccional
- Cargas de 50 Ohms
- Cable coaxial de 90° grados a la frecuencia de operación (333.2 Mhz).
- Cables coaxial (02 identificados uno como CSB y el otro SBO, instalados entre el equipo y la caja de combinación y supresor de transitorios)

a) Realizar la verificación de operación del equipo con carga fantasma instalada en la salida de los relay de antena de CSB y SBO, las señales monitoreas deben cumplir con las características de la señal indicada en la formula (2.1) y (2.2) respectivamente.

a. Con el equipo apagado, instalar a la salida del relay de antena de la CSB el acoplador bidireccional y a su salida la carga fantasma y en la salida de muestreo de la señal directa se conecta el osciloscopio. Verificar que en el relay de antena de SBO este instalada una carga fantasma.

b. Encender el equipo, conectar la computadora activar el programa y ajustar los valores de SDM, balance de modulación DDM, nivel de RF, amplitud de banda lateral, y fase de banda lateral, ver Tabla 3.3. (Valores característicos)

TABLA 3.3.  
VALORES INICIALES DE LA TRAYECTORIA DE PLANE0

Parámetro para el localizador	Nivel de Ajuste	Unidad
SDM	80.0	%
Balance de modulación	+0.000	DDM
Nivel RF	3.0	Watts
Amplitud de la Banda lateral	30 (*)	%
Fase de la SBO	(*)	
(*) los valores finales se deberán ser fijados durante el procedimiento		

c. Se ajusta el osciloscopio y se deberá de ver la señal de la Fig. 2.2, esto permite comprobar que la señal CSB cumple con la formula (2.1).

d. Ajustar el osciloscopio para obtener el "patrón del beso", lo que permitirá verificar si el balance de modulación es correcta, ver Fig.3.7.

e. Apagar el equipo.

f. Cambiar el acoplador direccional a la salida de la SBO, conectando la carga fantasma a su salida y el osciloscopio a la salida de muestreo de la señal directa. Verificar que a la salida del relay de antena CSB esté conectado la carga fantasma.

g. Encender el equipo.

h. Verificar en el osciloscopio que se muestre la Fig. 2.3, esto permite verificar que la señal de SBO cumple con la formula (2.2).

i. Se apaga el equipo.

j. Se normaliza el conexionado.

b) Comprobar la irradiación de la señal.

a. Conectar la señal de portadora a la antena inferior, utilizando el cable coaxial marcado como CSB y la banda lateral en la antena superior con el marcado SBO, de ser necesario se utilizara cables de adaptación de las mismas longitudes.

b. Encender el equipo.

c. Siguiendo el procedimiento de lectura para los datos del transmisor, verificar la

lecturas de VSWR, para cada señal, debe ser menor a 1.5: 1, de ser mayor se deberá de verificar el conexionado.

- d. Ubicar el PIR a 1000 m. de la antena, (mínimo a 300 del umbral), en el eje, configurado para medir la diferencia de profundidad de modulación (DDM).
- e. Encender el equipo.
- f. Verificar las lecturas de SDM estas deben ser aproximadamente 80% y DDM mayor de 5%.
- g. Apagar el equipo.
- c) Ajuste de fase del cable de la banda lateral respecto al de portadora.
  - a. Intercalar el cable de 90°, a la salida de la banda lateral.
  - b. Encender el equipo
  - c. Verificar la lectura de DDM en el PIR, esta debe ser aproximadamente cero, de no ser así, se deberá de realizar pruebas con conectores intercaldando conectores (apagar el equipo cada vez que se tenga que colocar un conector) hasta alcanzar el nivel más cercano a 0.0 DDM.
  - d. Apagar el equipo.
  - e. De ser necesario, cortar el cable que no se ha intercaldado los conectores, la longitud de corte es aproximada.
  - f. Sin remover el cable de 90°, encender el equipo.
  - g. Verificar que la lectura del DDM se aproxime a 0, máximo de tolerancia  $\pm 0.0003$ . Caso contrario se deberá realizar nuevamente desde el paso b.
  - h. Apagar el equipo.

### **3.2.9 Análisis de los ajustes de parámetros de operación.**

Para la trayectoria de planeo del tipo referencia nula, los ajustes realizados son muy similares al del localizador, considerando que solo se irradia la portadora (CSB) mediante la antena inferior y la banda lateral (SBO) a través del antena superior, el ajuste de fase se realiza utilizando el principio indicado en el ítem 3.2.3, sin embargo las condiciones de medición son otras, puesto que la señal se debe evaluar en el plano vertical y las alturas de medición; en el umbral alcanzarían los 15 metros y el nivel de 0 DDM. Para los ajustes realizados se considera el siguiente análisis:

- a) De acuerdo a lo indicado en el ítem 3.2.8-b)-d), el PIR se coloca a 1000 mts de antena de la trayectoria de planeo sobre la prolongación del eje de pista, con el fin de que las fases de las dos señales representen los valores correspondientes a campo lejano y se reduzca los efectos por distancia a las antenas.
- b) En el paso 3.2.8-b)-f), nos aseguramos que la señal irradiada este presente, tanto la banda lateral y la portadora, cumpla con los valores de la modulación programados. En

la Fig. 3.15, se muestra la señal en fase. De no estar fasadas se encontrara un valor mínimo del DDM, esto permite asegurar que la señal banda lateral se irradia correctamente.

c) Cuando se intercala el cable de 90 grados, las señales de portadora y banda lateral quedan en cuadratura, la DDM debe ser aproximadamente 0.000, de no cumplir, se debe intercalar conectores en uno de los cables, hasta encontrar la cuadratura, indicada en la Fig. 3.16.

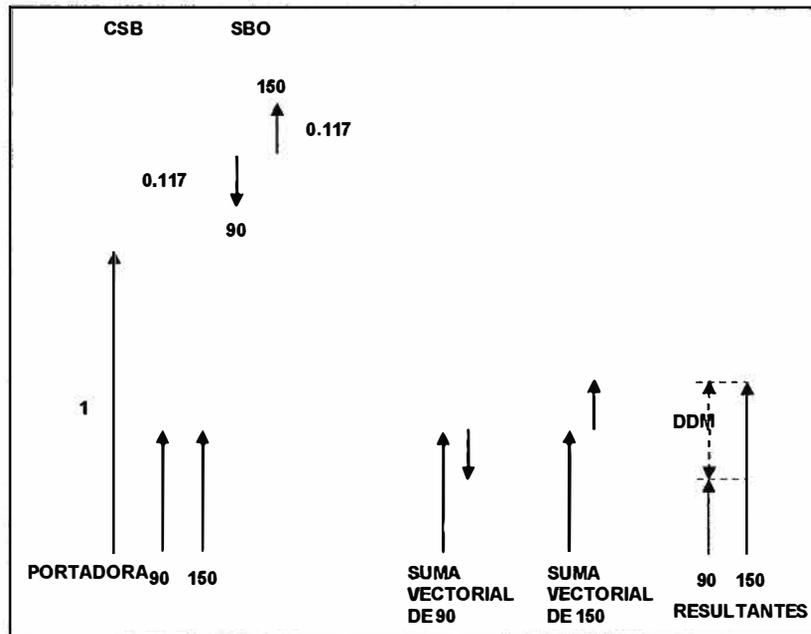


Fig. 3.15 Análisis vectorial de las señales CSB y SBO en fase.

(Fuente: Elaboración propia)

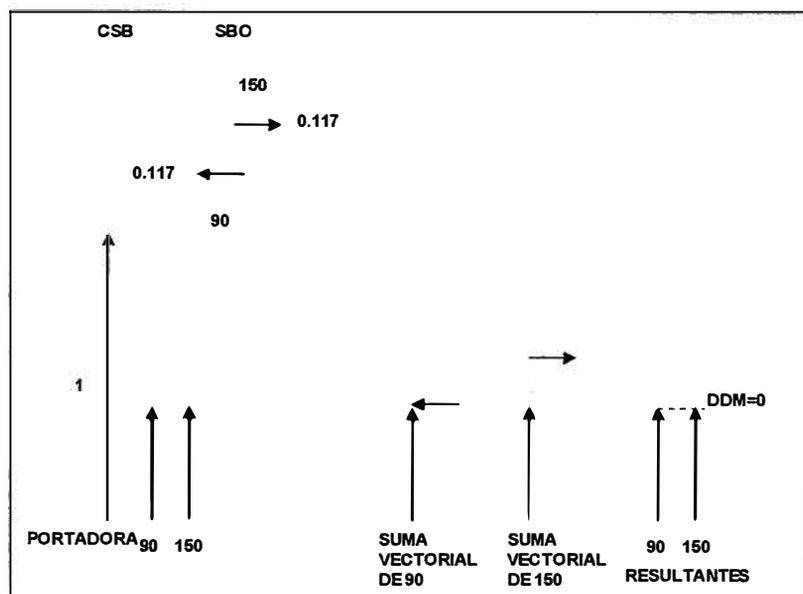


Fig. 3.16 Análisis vectorial de las señales CSB y SBO en 90 grados de fase.

(Fuente: Elaboración propia)

### 3.2.10 Ajuste de fase de la señal emitida al espacio por la trayectoria de planeo

- a) Ajuste de señal de 150 Hz.
  - a. Si la lectura de la DDM es aproximadamente 0, apagar el equipo.
  - b. Retirar el cable de 90°.
  - c. Normalizar los cables CSB y SBO.
  - d. Encender el equipo.
  - e. Verificar que la lectura del PIR predomine 150Hz. de no ser se debe ajustar la fase de la SBO 180°.
  - f. Verificar que la lectura predomine 150 Hz.
  - g. Variando la amplitud de SBO ajuste hasta obtener +0.270 DDM.
  - h. Apagar el equipo.

El ajuste de ángulo y ancho del sector de la trayectoria de planeo se corrige durante la inspección en vuelo.

- b) Instalación de la antena monitora de campo cercano.

Esta antena monitora de campo debe estar ubicada a los 70 metros, en un poste a una altura calculada aproximadamente considerando la elevación de 3° a la distancia indicada, ver Fig.3.17. Esta es corregida después de la inspección en vuelo.

- a. Antes de elevar el poste se debe instalar la antena, la luces de balizajes y el cable de RF y líneas AC, hasta la caja de conexión donde se instala un detector integral y un conversor de 220 VAC a 5 VCC, desde este punto hasta la caja de combinación se instala un cable de comunicaciones y una línea de AC.
- b. Luego se iza el poste.
- c. Con el PIR, conectado en la antena monitora, desplazándola arriba o abajo busque que la lectura del DDM se aproxime a 0.000.
- d. De ser correcto, asegúrese el soporte de la antena.



Fig. 3.17 Antena Monitora de campo cercano y Detector Integral.  
(Foto tomada durante la instalación)

e. Asegúrese de realizar todas las conexiones hasta el equipo.

### **3.2.11 Ajuste de la señal de monitores de la trayectoria de planeo.**

Los monitores sirven para evaluar las señales irradiadas desde el conjunto de antena, tomando una muestra de las dos antenas, la cual llegan al modulo de combinación, en la caja de combinación y supresor de transitorio, en el cual se mezclan, y generan una señal de curso (ángulo  $3^\circ$ ) y otra de ancho de sector, ver Fig.3.18.

Ajuste de la señal de curso del monitor, al igual que el ajuste de la señal de irradiación de las antenas, se requiere verificar los cables que llegan hasta la unidad de combinación tengan las longitudes adecuadas, para ello se realiza el siguiente procedimiento:

- a) Realice el conexionado de los cable de monitoreo de las antenas, a la unidad de combinación (cada cable debe estar adecuadamente identificado de que antena proviene).
- b) Conecte la salida de curso de la unidad de combinación al PIR, de ser el caso utilice un atenuador.
- c) Encender el equipo.
- d) Medir en el PIR, que la DDM debe sea  $\pm 0.002$ , si la lectura esta dentro del rango continúe, sino verifique el conexionado y vuelva a realizar la medición.
- e) Para el ajuste de ancho de curso, con el equipo apagado intercale la línea de  $90^\circ$  al cable de alimentación de la señal SBO.
- f) El PIR, se conecta a la salida de ancho de curso de la unidad de combinación, de ser el caso se debe colocar un atenuador.
- g) Se enciende el equipo
- h) Verificar que la lectura sea  $\pm 0.0005$ , de ser la lectura mayor se debe realizar la verificación de fase de la señal de monitoreo de la SBO, con la perilla correspondiente al fasador ajuste la fase hasta obtener aproximarse el valor indicado.
- i) Apagar el equipo y retirar el cable de  $90^\circ$  y se normaliza el conexionado.
- j) Se enciende el equipo.
- k) Con el ajuste de divisor de potencia de la unidad de combinación, se ajusta para que el valor indicado en el PIR sea aproximadamente  $\pm 0.1750$  DDM. Luego se retira el PIR y se conecta el detector integral.
- l) Para culminar el ajuste se realiza, se verifica las lecturas de los monitores, en el computador tenga los valores requeridos Nivel de RF 100%, balance de modulación  $\pm 0.000$ , ancho de curso  $\pm 0.175$  DDM. De no ser así se debe reajustar los detectores integrales y realizar el proceso de calibración y normalización, hasta que se llegue a los valores indicados, esto será reajustado durante la inspección en vuelo.

Este procedimiento fue utilizado para el ajuste de los dos sistemas trayectoria de planeo, instalados en los aeropuertos en mención.

Además, se instaló y verifico la operatividad de la unidad de control remoto del sistema en la sala del técnico y la unidad indicadora de estado en la torre de control, para la comunicación con el equipamiento se utilizo el cableado instalado en la etapa de ejecución de obras civiles.



Fig. 3.18 Unidad de combinación de la Trayectoria de Planeo.  
(Foto tomada durante la instalación)

### 3.3 Puesta en servicio del sistema ILS.

Concluida la instalación mecánica eléctrica y electrónica se realiza las pruebas finales para la puesta en servicio de los sistemas, para ello se requiere de las pruebas de inspección en vuelo, la cual es realizada por especialistas en dicha materia con un equipamiento e instrumental de pruebas instalada en una aeronave, esta aeronave cuenta con las antenas instaladas en su fuselaje, para cada tipo de radioayuda y equipo de comunicaciones, las mismas van conectadas a los receptores avionicos de la consola de inspección en vuelo.

La consola de inspección en vuelo cuenta con los controles para seleccionar el equipo que se va a calibrar, selecciona además los parámetros que se deben medir, estos serán registrados y grabados, con el fin de comprobar el comportamiento de la radioayuda.

Dependiendo de la categoría del sistema a calibrar, la aeronave, la tripulación y los inspectores deben estar habilitados para esa categoría. Para el caso de los sistemas ILS de Iquitos y Chiclayo estos son de categoría I.

Estas pruebas son realizadas, conjuntamente con el personal de especialistas que han realizado la instalación, que realiza los ajustes requeridos por los inspectores que se encuentran en la aeronave durante las pruebas.

### 3.3.1 Procedimientos de la inspección en vuelo.

Las pruebas realizadas en los dos aeropuertos, han sido similares a las que se describen en el presente informe, se cuenta con algunas diferencias dependiendo características y geografía de cada instalación.

Las pruebas de puesta en servicio son pruebas exhaustivas en vuelo después de la inspección para prueba de la actuación en tierra, a fin de establecer la validez de las señales en el espacio. Los resultados de esta inspección deberían ser correlacionados con los resultados de la inspección en tierra. En conjunto constituyen la base para la homologación de la instalación. Los niveles de ajuste y tolerancias para las ayudas están debidamente definidos en el documento 8071 parte I de la OACI

### 3.3.2 Sistema localizador.

Las pruebas realizadas al localizador permiten confirmar que el sistema, ambos transmisores, cumplan con las características de frecuencia de operación, porcentajes de modulación y balance, ancho de curso, alineamiento del curso, cobertura lateral (Clearance) y estructura. Así mismo, dependiendo del requerimiento del personal especialista de tierra se puede realizar las pruebas ajuste de fase de la señal de CSB y SBO, para ambos caso no se ha requerido dicha prueba por que esta se ha realizado dentro del proceso de ajuste electrónico con buenos resultados.

El ancho de curso se debe calcular previamente, en función a la longitud de la pista de aterrizaje y ubicación de las antenas de localizador, ver Fig. 3.19, de acuerdo a la siguiente fórmula 3.3 (de acuerdo a lo indicado en el anexo 10):

$$\text{Ancho Curso} = 2 * (\text{Arctang} (105/(\text{longitud de la pista} + \text{distancia al localizador}))) \dots \dots (3.3)$$

Para el caso de Iquitos, la longitud de la pista es 2500 mts, y la distancia al localizador es 310 mts, por lo tanto el ancho del curso (ancho del sector) es 4.278 grados.



Fig. 3.9 Datos requeridos en el cálculo del ancho del sector. (Fuente: Elaboración propia)

La pista de Chiclayo tiene 2520 mts de longitud y la distancia a la antena del localizador se encuentra a 280 mts del umbral, y 110 mts, al lado izquierdo de la aproximación, con un ancho del curso igual a 4.29 grados, con estos datos se inicia la prueba de puesta en servicio, con el siguiente procedimiento:

- a) Con un frecuencímetro en la consola se verifica que la frecuencia de operación se 109.700 Mhz.
- b) Porcentajes de modulación, previamente en la estación se debe configurar el equipo para dicha prueba poniendo en carga fantasma la salida de la banda lateral, esta prueba permite verificar que los porcentajes de modulación de las señales de 90Hz y 150 Hz sean 20 % cada uno, para ello la aeronave en vuelo se aleja a 10 millas y se acerca al localizador realizando la medición, de no ser correcta en la estación se ajusta, para cumplir con dicho valores de modulación. En cuanto al balance se puede medir con la aeronave en tierra, esta se debe colocar en el eje de pista y verificar la lectura en la consola.
- c) Ancho de curso, para verificar el comportamiento esta característica la aeronave realiza vuelos transversales perpendiculares al eje de pista a una distancia aproximada entre 5 y 10 millas y de acuerdo al seguimiento realizado por el teodolito ubicado en el centro de antenas del localizador, ver Fig. 3.20, se verifica la lectura de corriente para la diferencia de profundidad de modulación y se grafica.

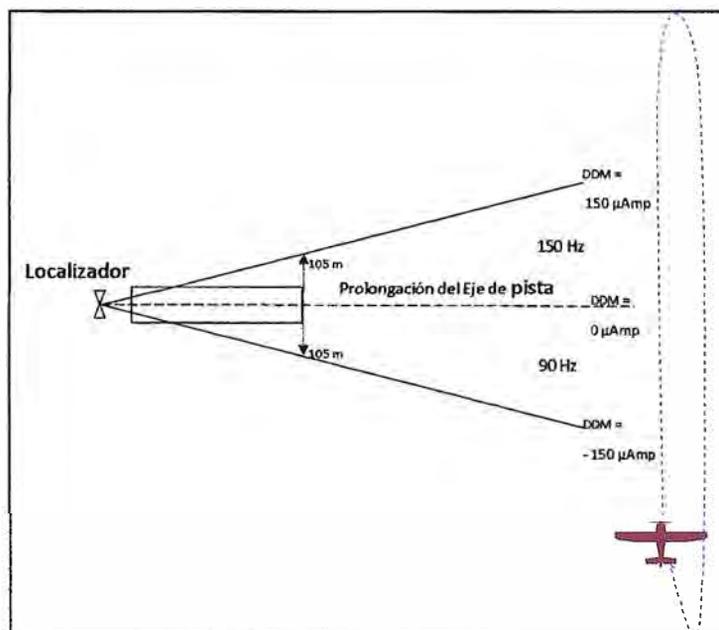


Fig. 3.20 Procedimiento para el ancho de curso. (Fuente: Elaboración propia).

Confirmando los valores del ángulo que corresponde a 150 microamperios, de esta manera se calcula el ancho del sector, de no ser correcto en tierra se debe realizar las correcciones, en el caso que sea menor se debe bajar el porcentaje de potencia de la

banda lateral y si es muy ancho se debe subir el porcentaje de la potencia de la banda lateral. Este procedimiento se realiza para cada transmisor.

d) Para el alineamiento del curso se realiza un vuelo guiado por el teodolito, ver Fig. 3.21, ubicado en el centro de las antenas del localizador, sobre la prolongación del eje de pista, esto permitirá confirmar que la señal está alineada con esta prolongación, ver Fig. 3.22.



Fig. 3.21 Verificaciones del alineamiento de la aeronave, sobre el eje de pista.  
(Foto tomada durante la puesta en servicio)

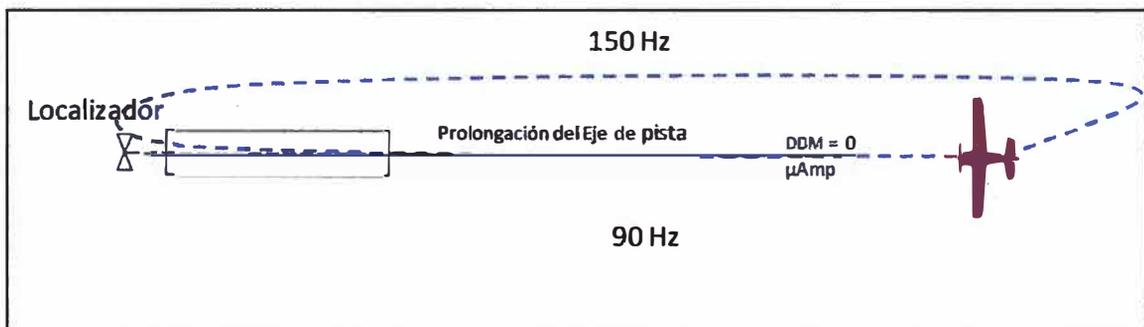


Fig. 3.22 Procedimiento para el alineamiento del curso. (Fuente: Elaboración propia).

e) Con el fin de determinar la cobertura lateral cumple con las condiciones estipuladas en el anexo 10, hasta 15.5% en el ancho de curso y los valores del DDM deben aumentar hasta los 10 grados, aproximadamente 18% DDM y debe ser mayor a los  $\pm 18\%$  DDM hasta los  $35^\circ$  a cada lado del eje, para esto la aeronave debe realizar vuelos transversales desde los  $45^\circ$  de una lado hasta los  $45^\circ$  del otro, grabando en todo momento la información que se envía desde el teodolito.

f) Para evaluar la influencia del entorno y la estabilidad de la señal, se realiza la prueba de estructura, que consiste en verificar el comportamiento de la señal desde los 7.5 Km y que la señal no supere los límites establecidos, ver Fig. 3.23.

g) Para finalizar las pruebas de inspección en vuelo del Localizador, se ejecutan los vuelos para verificar la cobertura y los procedimientos, esta son realizadas solo con la

participación de los inspectores en vuelo y la tripulación.

Posterior a estas pruebas que corresponden a la verificación del comportamiento de sistema Localizador, se realiza las pruebas de ajuste de monitores indicados en el 3.4.

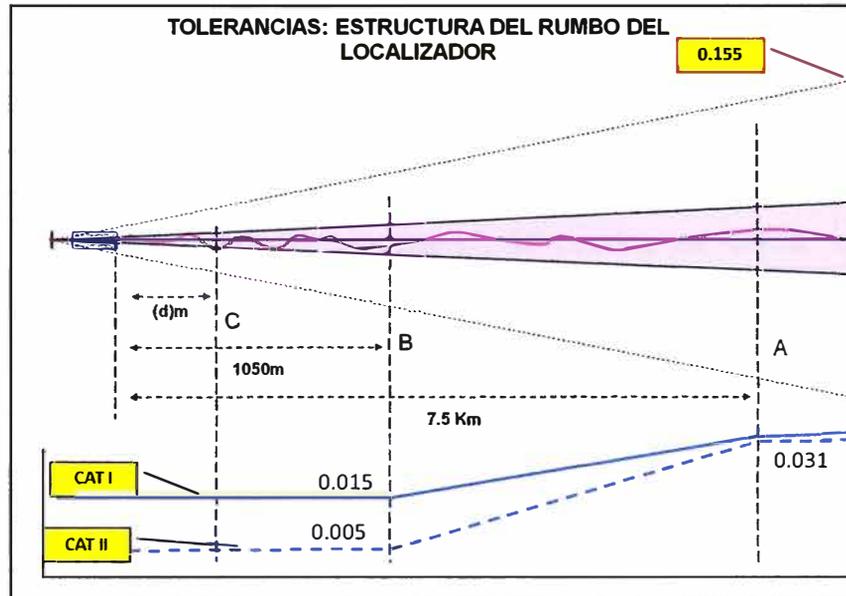


Fig. 3.23 Características de tolerancia de para las estructuras del un sistema localizador de acuerdo a la categoría. (Elaboración propia).

### 3.3.3 Sistema trayectoria de planeo.

La pruebas de inspección en vuelo de la señal de irradiada por la trayectoria de planeo es muy importante en razón a que con ellas se asegurara que los patrones de radiación son los correctos, por esta razón se realiza primero la verificación frecuencia, seguido de los porcentajes de modulación de la señal de portadora, luego se procederá a verificar si los nulos de la antenas están ajustadas a los valores requeridos la antena inferior tiene un nulo en  $6^\circ$ , y la antena superior se debe asegurar un nulo en  $3^\circ$ ; concluido estos ajustes se procede a verificar el ancho del sector, luego la confirmación del ángulo de descenso de  $3^\circ$ , posteriormente se verifica la cobertura bajo el ángulo de descenso (clearance inferior) y finalmente se realiza la prueba de cobertura y procedimientos. Los vuelos para esta pruebas se realiza normalmente entre los punto referencia A y B.

- Con un frecuencímetro en la consola se verifica que la frecuencia de operación se 333.200 Mhz.
- Porcentajes de modulación, previamente en la estación se debe configurar el equipo para dicha prueba poniendo en carga fantasma la salida de la banda lateral, esta prueba permite verificar que los porcentajes de modulación de las señales de 90Hz y 150 Hz sean 40 % cada uno, para ello la aeronave en vuelo se aleja a 10 millas y se acerca al pista de aterrizaje, realizando la medición, de no ser correcta en personal de tierra

procede a realizar los ajustes para cumplir con dicho valores de modulación. Dentro del mismo procedimiento se ajusta el balance volando cerca al ángulo de descenso.

c) Verificación de los nulos de las antenas, con la configuración anterior se irradia solo portadora por la antena inferior, la aeronave selecciona para lectura de señal de radiofrecuencia en la frecuencia de operación y desde las 10 NM nivelado entre 1000 a 1500 pies, ver Fig.3.24, dependiendo de los obstáculos que se tengan, desde tierra es seguido con un teodolito, el cual mediante un radioenlace le envía la información del ángulo en el que se desplaza la aeronave con relación al punto de toma de contacto, de confirmarse la presencia del nulo en los  $6^\circ$ , la prueba es válida, caso contrario dependiendo de la información del personal de inspección en vuelo, se procede a corregir la altura de instalación de la antena; en el caso de ser menor el ángulo la antena debe bajar y de ser mayor la antena debe subir, proporcional a la formula  $H = \lambda/4 \cdot \text{sen } \theta_0$ .

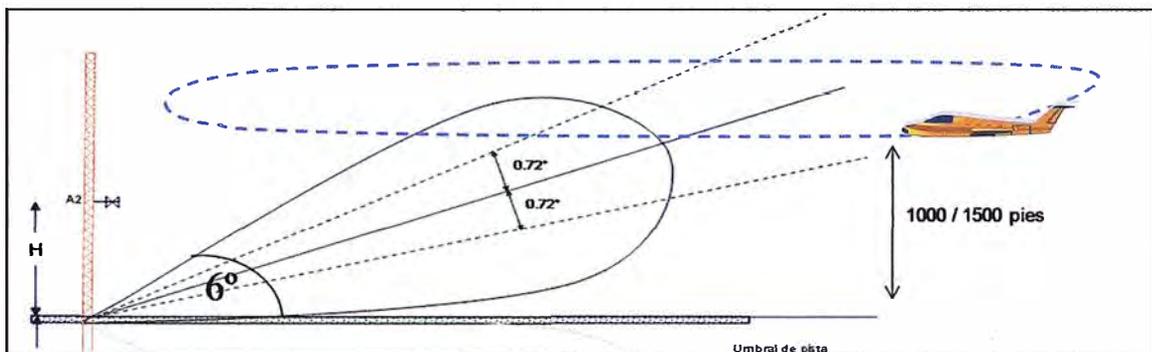


Fig. 3.24 Representación de la prueba de nulo para la antena inferior - CSB.  
(Fuente: Elaboración propia).

Para la antena superior se debe conectar la señal de portadora CSB y carga la entrada de la antena inferior con 50 ohms, configurada la estación en tierra la aeronave deberá realiza el mismo procedimiento pero el valor del nulo deberá ser a  $3^\circ$ , caso contrario se deber de proceder a la corrección de la altura de la antena, de forma similar a la anterior, ver Fig. 3.25.

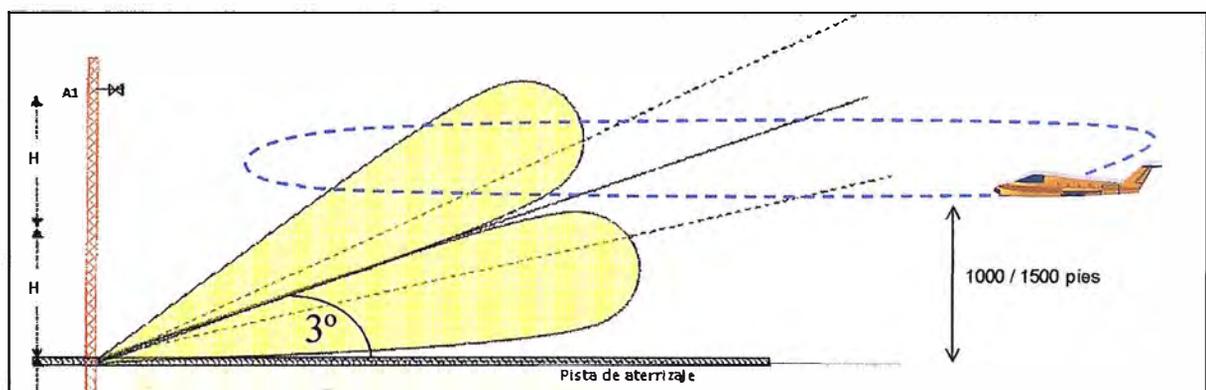


Fig. 3.25 Representación de la prueba de nulo para la antena superior - SBO.  
(Fuente: Elaboración propia).

Para el caso del aeropuerto de Iquitos, solo se realizó una mínima corrección a la antena inferior, en el caso de Chiclayo se ajustó las dos antenas, esto debido a la conductividad del terreno.

d) Ancho de la trayectoria se verifica realizando vuelos similares al anterior, la aeronave realiza vuelos nivelado, en un nivel entre los 1000 a 1500 pies, ver Fig. 3.26, a partir de las 10 millas del umbral, se grafica el seguimiento realizado por el teodolito, se verifica la lectura de corriente para la diferencia de profundidad de modulación (DDM), confirmando si los valores ángulo que corresponde a 150 microamperios sean aproximadamente  $2.28^\circ$  y  $3.72^\circ$ , de esta manera se calcula el ancho del sector, de no ser correcto en tierra se debe realizar las correcciones, en el caso que sea menor se debe bajar el porcentaje de potencia de la banda lateral y si es el sector es muy ancho se debe subir el porcentaje de la potencia de la banda lateral. Este procedimiento se realiza para cada transmisor.

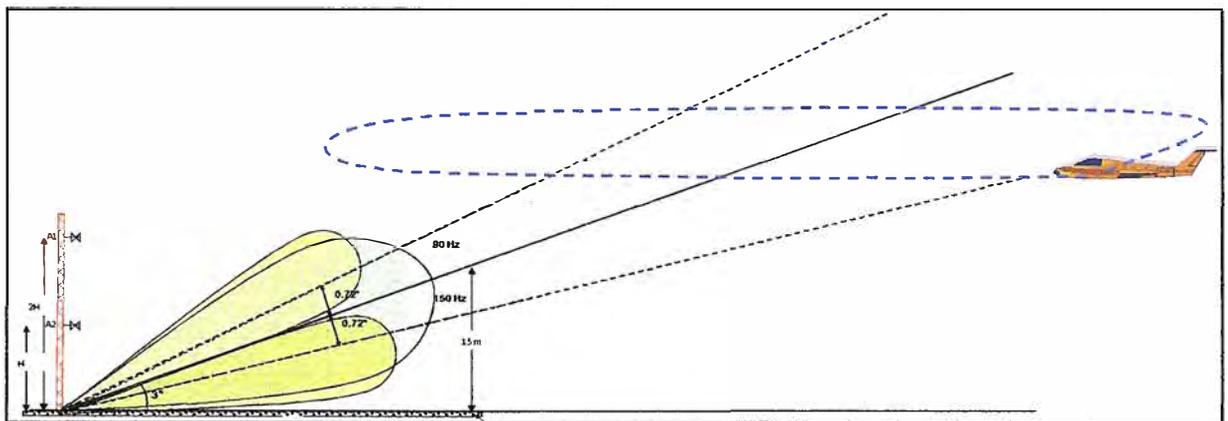


Fig. 3.26 Procedimiento para ajustar el ancho para la Trayectoria de Planeo. (Elaboración propia).

e) La verificación del ángulo de descenso es un procedimiento realizado mediante un vuelo guiado por el teodolito sobre el ángulo de  $3^\circ$ , el piloto deberá de mantener la aeronave sobre el ángulo el mayor tiempo, en el caso que el DDM en promedio sea mayor al 7.5% del ángulo, es decir mayor a 0.225 grados, se podrá realizar un ajuste. Esta prueba también puede servir para verificar la estructura.

f) Para evaluar la influencia del entorno y la estabilidad de la señal, se realiza la prueba de estructura, que consiste en verificar el comportamiento de la señal desde los 7.5 Km y que la señal no supere los límites establecidos, ver Fig. 3.27.

g) Con el fin de determinar que no existen obstáculos en el límite de la cobertura baja, es decir el nivel límite por debajo de la trayectoria de planeo donde la corriente es 180 microamperios, se realiza un vuelo enganchando la aeronave con este dato y se aproxima hasta el umbral, grabando en todo momento la información que se envía desde

el teodolito.

h) Para finalizar las pruebas de inspección en vuelo se ejecutan los vuelos para verificar la cobertura y los procedimientos, esta son realizadas solo con la participación de los inspectores en vuelo y la tripulación.

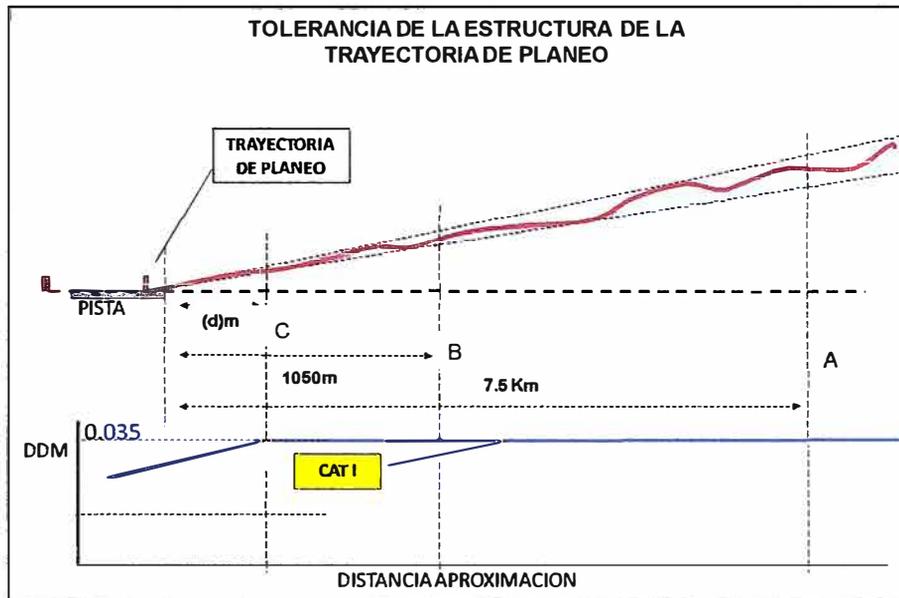


Fig. 3.27 Características de tolerancia de para las estructuras del un sistema trayectoria de planeo de acuerdo a la categoría. (Fuente: Elaboración propia).

Posterior a estas pruebas que corresponden a la verificación del comportamiento de sistema, se realiza las pruebas de ajuste de monitores indicados en el 3.4.

### 3.4 Ajuste de monitores y pruebas finales

Como se ha explicado, los monitores son equipos que deben ser ajustados con los valores obtenidos de la inspección en vuelo y que el sistema de monitoreo emulara a la consola de inspección en vuelo. Al momento que uno de los parámetros este fuera de los limites se deberá de producir una alarma.

Con los valores nominales ajustados durante las pruebas de inspección en vuelo se ajustaron los dos monitores de cada sistema, para condiciones de operación normal, luego de acuerdo a las coordinaciones con el personal de inspección en vuelo, procedimos a fijar las condiciones de alarma para los parámetros principales, tanto del localizador y la trayectoria de planeo. En ambos aeropuertos los resultados fueron óptimos, las alarmas se fijaron teniendo en cuenta que los sistemas ILS eran para la categoría I.

#### 3.4.1 Ajuste de monitores para el sistema localizador.

Los ajuste de los niveles de alarma para cada monitor del localizador, se realizan con procedimientos similares al ajuste de los parámetros del transmisor, para logra un condición de alarma es necesario variar los valores nominales hasta encontrar los niveles

de permiten confirmar y activar la alarma. Entre los ajustes principales, se verifican las condiciones de alarma, porcentaje de modulación, del ancho de curso, alineamiento del curso y cobertura al 90% de la señal RF.

a) Las alarmas de los porcentajes de modulación se fijan en 18% y 22%, la prueba se realiza modificando los valores las SDM fijada en 40%, a niveles de 36% y 44%. Este procedimiento se realiza directamente en el equipo, pero los datos son grabados en la consola de la aeronave.

b) Para las alarmas de ancho de curso, se realiza ajustando los niveles de porcentaje de potencia de la banda y la aeronave realiza vuelos transversales perpendicular al eje de pista a un distancia de a aproximada entre 5 y 10 millas y de acuerdo al seguimiento realizado por el teodolito ubicado en el centro de antenas del localizador, se verifica la lectura de corriente para la diferencia de profundidad de modulación y grafica, confirmando los valores de los ángulos de alarma, que corresponde a 130 microamperios, para la alarma ancha y 170 microamperios para la alarma angosta, ver Fig. 3.28.

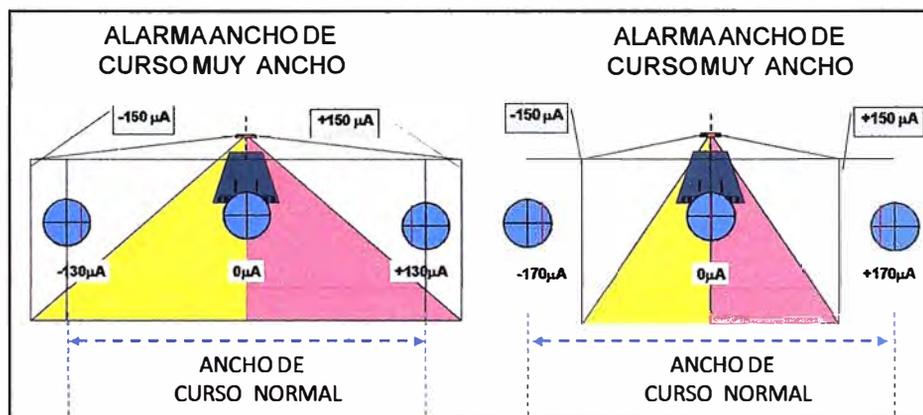


Fig. 3.28 Representación del ajuste de alarma para ancho del curso.  
(Fuente: Elaboración propia)..

c) Las alarmas para el alineamiento del curso se realiza siguiendo procedimiento un vuelo guiado por el teodolito, sobre la prolongación del eje de pista, durante este procedimiento se realiza las variaciones del valor nominal (0 DDM) del balance de modulación en primero a  $-15$  DDM y posteriormente, de acuerdo a lo solicitado por la tripulación, a  $+15$  DDM esto permitirá confirmar las alarmas. Durante toda la operación las señales son grabadas, de ser conforme se calibra los monitores para estos niveles de alarma. Esta alarma equivalente a un desplazamiento de 10.5 metros a cada lado eje, ver Fig. 3.29.

d) Alarma de intensidad de señal, limite de cobertura, realizando el ajuste de potencia de la portadora, para que en el monitor, se detecte el 90% de amplitud para la señal de RF, se ejecutan los vuelos para verificarse se cumpla con la cobertura de 25

millas.

Asimismo, se ejecutan los procedimientos de aproximación, estas pruebas son realizadas con la participación de los inspectores en vuelo y la tripulación.



Fig. 3.29 Ajuste de alarma para el alineamiento del Curso. (Elaboración propia).

### 3.4.2 Ajuste de los monitores del sistema trayectoria de planeo.

Las pruebas de inspección en vuelo, para fijar los límites de alarma para la señal de irradiada por la trayectoria, siguen los mismos procedimientos que se utilizan para ajustar los transmisores. Los principales ajustes que se realizan son alarmas de los porcentajes de modulación, alarmas para el ancho de la trayectoria y alineamiento del ángulo de descenso ( $3^\circ$ ).

- Las alarmas de los porcentajes de modulación se fijan en 38% y 42%, la prueba se realiza modificando los valores las SDM fijada en 80%, a niveles de 76% y 84%. Este procedimiento se realiza directamente en el equipo, pero los datos son grabados en la consola de la aeronave.
- Para las alarmas de ancho de la trayectoria (sector), se realiza ajustando los niveles de porcentaje de potencia de la banda y la aeronave realiza vuelos nivelados entre 1000 a 1500 pies, desde una distancia aproximada de 10 millas y de acuerdo al seguimiento realizado por el teodolito ubicado en el centro de antenas del localizador, se verifica la lectura de corriente para la diferencia de profundidad de modulación y grafica, confirmando los valores de los ángulos de alarma, que corresponde a 130 microamperios, para la alarma ancho y 170 microamperios para la alarma angosta, ver Fig. 3.30.
- Las alarmas para el alineamiento del curso se realiza siguiendo procedimiento un

vuelo guiado por el teodolito, sobre el ángulo de descenso, durante este procedimiento se registra las variaciones del valor nominal (0 DDM) del Balance de Modulación en primero a  $-25$  DDM y posteriormente, de acuerdo a lo solicitado por la tripulación, a  $+25$  DDM esto permitirá confirmar las alarmas, ver Fig. 3.31.

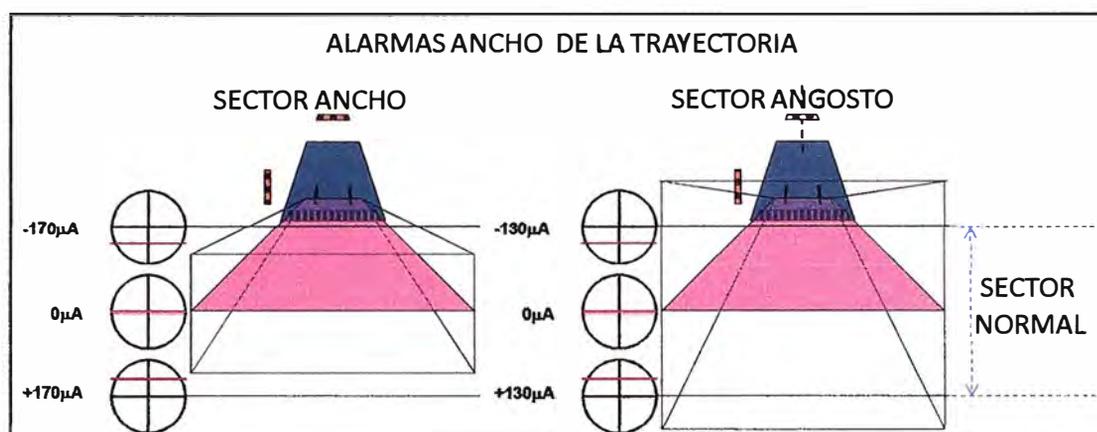


Fig. 3.30 Representación del ajuste de alarma para Ancho del Sector de la Trayectoria de Planeo. (Fuente: Elaboración propia).

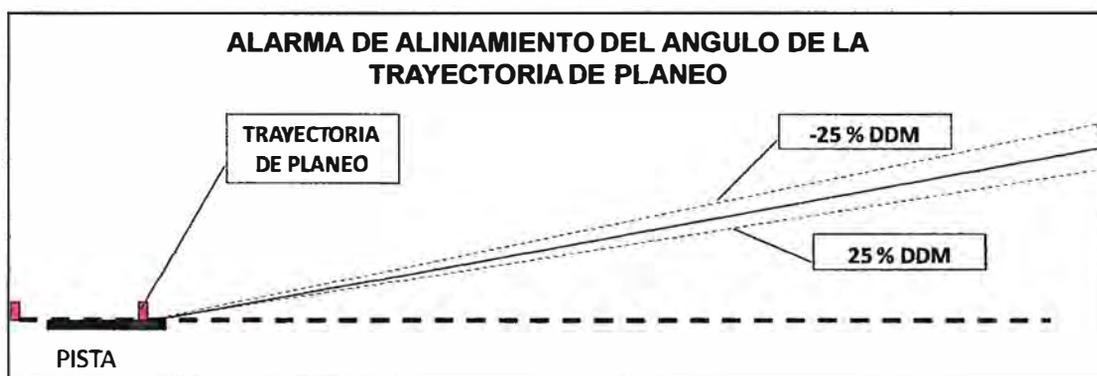


Fig. 3.31 Ajuste de alarma para el alineamiento del ángulo de descenso. (Fuente: Elaboración propia).

d) Alarma de intensidad de señal, limite de cobertura, realizando el ajuste de potencia de la portadora, para que en el monitor, se detecte el 90% de amplitud para la señal de RF, se ejecutan los vuelos para verificarse se cumpla con la cobertura de 25 millas. Asimismo, se ejecutan los procedimientos de aproximación, estas pruebas son realizadas con la participación de los inspectores en vuelo y la tripulación.

Finalizado las pruebas de ajuste y verificación de operatividad de los monitores, se reprograma los valores nominales de cada equipo y se procede a tomara las lecturas de operación de los transmisores y monitores. Asimismo, se realiza la toma de lecturas en campo cercano.

### 3.5 Instalación, cálculos y ajustes de los equipos medidor de distancia (DME)

Como se ha explicado el sistema DME, es un equipo asociado al sistema localizador, pero es instalado en la caseta de la trayectoria de planeo, con el fin de dar la

información de distancia al punto de toma de contacto. En cada aeropuerto se instaló el mismo modelo de equipo, siguiendo el mismo procedimiento.

Instrumental utilizado:

- Analizador de espectro.
- Frecuencímetro digital.
- Osciloscopio.
- Vatímetro digital, con elementos para medición de potencia y frecuencia entre 963 a 1215 MHz.
- Acoplador bidireccional y atenuadores
- Cargas fantasmas 50 ohms.

a) Luego de instalar el rack del equipo, sus módulos y tarjetas, son debidamente ubicados, ver Fig. 3.32. Se instala el banco de baterías y el conexionado de energía eléctrica al tablero principal.



Fig. 3.32 Equipo DME, con módulos y tarjetas instaladas.  
(Foto tomada durante la instalación)

b) Prueba de operatividad del equipo, se instala dos cargas fantasmas uno en cada entrada de monitor y el vatímetro a la salida de potencia, a la salida del vatímetro se conecta el acoplador Bidireccional con una carga fantasma a su salida y en la conexión de salida directa se instala frecuencímetro. Asimismo, se instala la computadora mediante el cable de acceso.

c) Se enciende el equipo y la computadora, mediante el programa de acceso se verifica si el sistema está debidamente configurado, caso contrario se deberá de reprogramar el canal 34X y la potencia a 100 W.

d) Verifica que la frecuencia sea la correcta 995.000 MHz.

- e) Desconecte el frecuencímetro y conecte el analizador de espectro, configure el analizador para verificar la señal del DME.
- f) Con el osciloscopio, verifique que las salidas en los punto de prueba del modulo transmisor sean las indicadas en la Fig. 3.33, en la señal 3 de la figura, se debe comprobar si la duración de cada pulso es de 3.5 microsegundos y su separación sea 12 microsegundos, sino se deberá de realizar el ajuste mediante la programación de la EPROM del modulo transmisor.

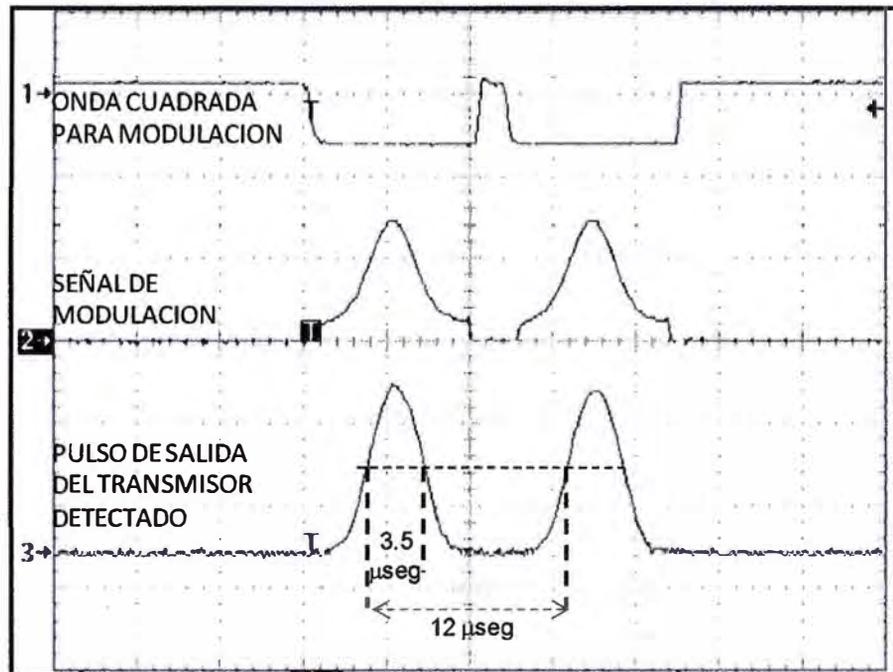


Fig. 3.33 Señales del transmisor del DME (copia del manual de equipo)

- g) Verificar que la lectura en el vatímetro sea 100 Wpp, caso contrario deberá de ajustarse mediante la programación de las características de nivel de potencia de salida.
- h) Concluida la prueba de verificación de operativa, se apaga el equipo y se realiza el conexionado RF, considerando que estos han sido cableados desde la antena instalada en la torre de la trayectoria de planeo; cada cable debe ser adecuadamente medido, y calculado el retardo de la señal  $\Delta t$  que introduce el cable heliax, para la señal de transmisión y como para la señal de monitoreo, ver Fig. 3.34.
- i) Se enciende el equipo y verifica que el retardo de respuesta a las interrogaciones sean de 50 microsegundos, caso contrario se deberá de realizar el ajuste mediante la programación del retardo de respuesta en las características del transmisor.
- j) Luego se deberá de realizar la verificación y ajuste de los parámetros de monitoreo, en especial el de nivel de potencia, en razón a la atenuación que produce los cables, para lo cual con el potenciómetro ubicado en la entrada de la señal RF del monitor, se ajusta hasta obtener la lectura de 100 Wpp.

k) Para la puesta en operación, previamente en el equipo DME, se verificó los ajustes de retardo de tiempo, su nivel de respuestas, los niveles de alarma y su asociación con el localizador. Luego se realizó las pruebas de inspección en vuelo donde se comprobaron la correcta información de distancia, tanto para potencia completa como para media potencia y el sincronismo de la identificación con el localizador, esto en razón a la secuencia de identificación que corresponde 3 identificaciones de localizador y 1 del DME.



Fig. 3.34 Conexión RF del equipo DME y antena DME instalada en la torre de antena. (Foto tomada durante la instalación)

l) Concluida las pruebas de inspección en vuelo se registran las lecturas y mediciones de la forma de onda del pulso, su tiempo de subida, duración, tiempo de bajada y retardo del pulso. Además, se registra los datos de potencia, retardo de tiempo y frecuencia.

## **CAPITULO IV**

### **ESTIMACION DE COSTOS Y DIAGRAMA DE TIEMPOS DE IMPLEMENTACION**

La adquisición del equipamiento se realizó como parte del proyecto de renovación de los sistemas de radioayudas, dentro de los costos se incluye la capacitación y pruebas en fábrica y transporte. Además, se debe considerar los costos de las obras civiles, instalación y puesta en servicio.

#### **4.1 Estimación de costos.**

La adquisición de los equipos en el mercado nacional e internacional fue ejecutada por UNOPS (Oficina de Servicios para Proyectos de Naciones Unidas), organismo especializado en este tipo de procesos, facilitando la exoneración de aranceles. Los principales gastos corresponden al equipamiento compuesto por: 02 localizadores, 02 trayectorias de planeo y 02 equipos medidor de distancia, incluye los sistemas de antenas, módulos de control remoto, indicador de estado y una caseta para la trayectoria de planeo de Iquitos. Además, se considero la adquisición de un lote repuestos para cada equipo, las pruebas en fábrica, capacitación en fábrica y transporte a los almacenes de destino.

En los costos de las obras civiles para el aeropuerto de Iquitos se considera generados por los trabajos de: nivelación de terreno, zangas, ductos, buzones para el cableado de energía, comunicaciones y radiofrecuencia; sistema de tierra, loza para las antenas del localizador, base para la torre de antenas de la trayectoria de planeo, base para caseta de la trayectoria de planeo, y rehabilitación de la caseta del localizador. Y para el aeropuerto de Chiclayo se considera, necesarios para ejecutar los trabajos de: zangas, ductos, buzones para el cableado de energía, comunicaciones y radiofrecuencia; loza para la antenas del localizador, base para la torre antenas de la trayectoria de planeo. Así mismo, en el costo para cada una de las obras se incluyen los gastos por: supervisión de obra, gastos generales, imprevistos, y suministro e instalación de aires acondicionados, cables de comunicaciones y eléctricos;.

En los costos de instalación para cada sistema se considera, pasajes y viáticos de: 02 especialista en radioayudas, 01 técnico en antenas y 01 auxiliar de apoyo. Además, se incluye los adicionales para el roce de vegetación, alquiler de grúas, fletes y otros.

Los costos de las pruebas de inspección en vuelo para puesta en servicio, incluyen también los viáticos del personal de inspección, el costo por las horas de vuelo (uso de la aeronave más pilotos) y otros. En el caso de Chiclayo se realizaron dos pruebas, la primera para la puesta en servicio y la segunda para ejecutar ajuste del monitor de campo cercano.

El resumen de costos, se presenta en el siguiente cuadro (Elaboración propia).

PROYECTO DE INSTALACION DE ILS IQUITOS Y CHICLAYO RESUMEN DE COSTOS (NUEVO SOLES)				
ITEM	DESCRIPCION	ILS IQUITOS	ILS CHICLAYO	TOTAL
1	Equipos	1,680,000.00	1,680,000.00	3,360,000.00
2	Repuestos	168,000.00	168,000.00	336,000.00
3	Equipos de prueba	56,000.00	56,000.00	112,000.00
4	Capacitación en fábrica	105,000.00		105,000.00
5	Inspección en fábrica	35,000.00		35,000.00
6	Caseta	105,000.00		105,000.00
7	Instalación	35,000.00	31,000.00	66,000.00
8	Obras civiles	250,000.00	40,000.00	290,000.00
9	Otros gastos	40,000.00	35,000.00	75,000.00
10	Inspección en vuelo	81,800.00	101,050.00	182,850.00
<b>TOTAL DE GASTOS</b>		<b>2,555,800.00</b>	<b>2,111,050.00</b>	<b>4,666,850.00</b>

#### 4.2 Tiempo de implementación

El proyecto de renovación de los sistemas de radio ayudas, se ejecutó en las siguientes etapas:

Estudio y diseño de las instalaciones, realizado previamente por personal especializado quienes determinaron la necesidad la renovación de equipos y formularon las especificaciones técnicas iniciales.

El proceso de adquisición, ejecutada por la UNOPS, considerando los tiempos para: el concurso de precios, la fabricación de los equipos y los requeridos por el proveedor para cumplir con su propuesta.

Instalación, este proceso se ejecuto considerando los tiempos de ejecución de las obras civiles en cada aeropuerto, los requeridos para ejecutar la instalación mecánica y eléctrica, y los utilizados para los ajustes electrónicos y pruebas de campo. Además, se estima el periodo de conformidad de operación del equipo en el cual los equipos deben operar permanentemente sin falla alguna.

Inspección en vuelo, en esta etapa se considera los tiempos de ejecución de las pruebas. En Iquitos solo se requirió de un periodo y en Chiclayo se realizaron dos.



(Fuente: Elaboración propia)

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **CONCLUSIONES**

- 1) Los sistemas instalados están internamente soportados por circuitos con microprocesadores, cuyos programas permiten realizar una adecuada supervisión y control de los diversos procesos desde la generación de las señales hasta su radiación como ondas electromagnéticas, haciendo que estos sistemas sean muy confiable.
- 2) Los procedimientos planificados y realizados durante la instalación, y expresamente los ajuste de campo ejecutados con el instrumental moderno (PIR), han permitido ejecutar las pruebas de puesta en servicio, con mínimos ajustes durante la Inspección en Vuelo.
- 3) Se ha comprobado que los patrones de radiación de los sistemas de antena pueden ser ajustados. para generar las sendas electrónicas, que sirven como guías que permitan alinearse con la pista de aterrizaje o con una eficiente ángulo de descenso (senda de planeo).
- 4) Los sistemas de aterrizaje por instrumentos que se ha instalado en los aeropuertos de Iquitos y Chiclayo, son muy estables, confiables y de alta disponibilidad

### **RECOMENDACIONES**

- 5) Con la nueva tecnología de los sistemas instalados y el instrumental moderno utilizado, y teniendo en cuenta el costo de las pruebas en vuelo, se hace necesario realizar ajuste en los procedimientos de verificación de datos de campo y la periodicidad de los mismos, por lo que se recomienda realizar un estudio y revisión de las pruebas de campo en tierra a fin de minimizar las horas de vuelo.
- 6) Como un factor importante de estos sistemas es necesario realizar las pruebas de campo para conocer el comportamiento de los campos radiados y si existen interferencias o algunos cambios en el entorno que afecten la señal, para ello el personal debe conocer y interpretar adecuadamente la información que proporcionan los equipos de medición, como el Receptor Portátil ILS (PIR) o el analizador de espectro, por lo que se recomienda que el personal de mantenimiento debe realizar cursos orientados a maximizar el uso de instrumental y equipamiento de pruebas,

**ANEXO A**  
**TEORIA BASICA ILS**

## TEORIA BASICA ILS

Los sistemas de radioayudas son equipos radio transmisores que mediante la emisión de ondas electromagnéticas adecuadamente moduladas, y con una combinación de señales irradiados desde determinado arreglo de antenas de antenas proporcionan al piloto a través de receptores e indicadores la información de distancia, orientación, guías de aproximación y aterrizaje. Las radioayudas mas utilizadas son el NDB, VOR, DME y los sistemas ILS. Estos sistemas están normalizados a nivel internacional y responden a las exigencias de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).

El sistema de aterrizaje por instrumento ILS (Instrumental Landig System), proporciona al piloto una guía electrónica del eje de pista y la senda de planeo, por medio de emisión de ondas electromagnéticas proyectadas al espacio hasta una cobertura de mas de 18 NM (Nautical millas); y son recepcionadas y procesadas por el equipo de abordaje mostrando en el instrumento llamado detector de agujas cruzadas la indicación de desvío con relación a la guía electrónica del eje de pista y la senda de planeo. Está constituido por :

### **El Localizador**

El Localizador (LLZ LOCALIZER), es un sistema de radio en la banda de 108 a 112 MHz, con irradiación con polarización horizontal, el cual provee una guía electrónica del eje de pista, con un alcance de 25 NM, dando una información del desvío lateral, esto se produce mediante la intersección de los patrones de radiación de un sistema de antenas, instaladas en la proyección del eje de pista, equidistantes cuya radiación es de igual amplitud, pero de fases variables.

La señal recibida por el receptor de abordaje produce una indicación de "vuele a la derecha" para el piloto cuando la aeronave esta a la izquierda del curso, en esta zona o sector predomina la señal modulada de 90Hz. Similarmente, una indicación de "vuele a la izquierda" cuando el piloto este en el lado derecho de la línea del curso en esta zona o sector predomina la señal modulada de 150 Hz.

### **La Trayectoria de Planeo**

La Trayectoria de Planeo (GP GLIDE PATH) produce dos patrones de irradiación donde las amplitudes de modulación en el plano vertical, donde se interceptan en el ángulo de descenso, nombrado ángulo de trayectoria de planeo. La trayectoria de planeo está ubicada a 300 m del umbral de la pista para dar un nivel cruce de 15 a 18 m de altura en el umbral. El ángulo de la trayectoria de planeo es de 3.0°

Los sistemas ILS normalmente está constituido por un equipo principal y otro de reserva, que tienen las mismas características de operación y son calibrados para irradiar la misma información, solo el sistema de antenas es único. Además poseen un sistema de monitoreo que toma una muestra de la señal irradiada la procesa y de estar dentro fuera de los límites de operación emite una alarma y automáticamente transferido al equipo de reserva o apagado si el sistema no está funcionando apropiadamente.

Algunos sistemas cuentan con un sistema de diagnostico y evaluación de los diferentes componentes del sistema, presentan alertas de mantenimiento o de ser el caso apagan pueden apagar los equipos.

### **Normativa**

Los sistemas ILS, deben cumplir con las recomendaciones formuladas por la OACI en el documento OACI Anexo 10, al convenio sobre aviación civil internacional, TELECOMUNICACIONES AERONÁUTICAS - VOLUMEN I - RADIOAYUDAS PARA LA NAVEGACIÓN, Documento OACI 8071 MANUAL ON TESTING OF RADIO NAVIGATION AIDS VOLUME I TESTING OF GROUND-BASED RADIO NAVIGATION SYSTEMS, así como las normas operacionales emitidas por las autoridades nacionales.

## II TEORIA DE MODULACIÓN

La modulación de las ondas electromagnéticas, representa la información que se irradia a los sistemas de radioayudas de una aeronave para definir la diferentes variables requeridas para definir la localización relativa o distancia con respecto a la estación terrena, para caso del sistema ILS los equipos de Localizador y Trayectoria de planeo también son modulados en amplitud por tonos de 90 Hz y 150Hz.

Por eso es importante revisar la teoría de modulación, además debemos entender que las ondas electromagnéticas se pueden representar por fasores (vectores) que permitirán relacionar las fases las señales que se irradian, mas aun si algunos de los sistemas de radioayudas emiten señales desde un sistema de antenas de varios componentes que irradian separadamente la señal de portadora y la banda laterales y la señal resultante se regenera en los receptores de la aeronave.

Para entender mejor los sistemas de radio revisaremos los conceptos de algebra de favores, tipos de modulación

### Algebra de Fasores.

Un fador representa la fase y la amplitud de una señal de radiofrecuencia. La longitud representa la amplitud y el ángulo representa la fase relativa, entre dos señales, ver Fig. 2.1.

Cualquier fador deberá representarse con relación a una fase de referencia ( $0^\circ$ ). La dirección de giro angular está definido en contra de las agujas del reloj.

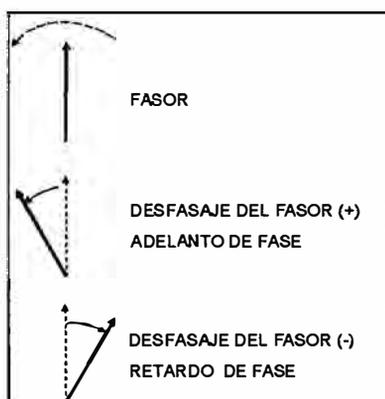


Fig. 2.1 Definición de un fador.

### Suma grafica de fasores

Grafiquemos un fador A en una dirección y amplitud cualquiera, seguidamente graficamos un fador B en otra dirección y diferente amplitud iniciándose al final del fador A y otro fador C que se inicia al final de B. Finalmente unimos el punto de inicio de A y el punto final de C, ver Fig 2.2. Este es el fador resultado R de la suma grafica de fasores

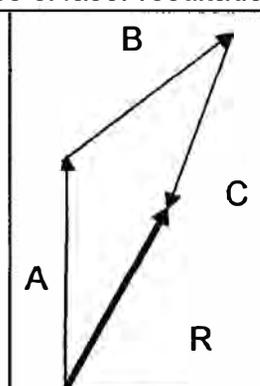


Fig. 2.2 Grafica de una suma de fasores de tres señales.

Ejemplo

Si representamos estos fasores por su amplitud y su fase.

Suma los fasores:

$$A = 4 \angle 0^\circ$$

$$B = 3.6 \angle -56^\circ$$

$$C = 3.2 \angle 160^\circ$$

$$R = 3.6 \angle -32^\circ$$

Suma de los fasores

Un fasor puede ser descompuesto en un valor real (RE) y un componente imaginario (IM).

$$RE_{(n)} = A_{(n)} \cos \alpha_{(n)}$$

$$IM_{(n)} = A_{(n)} \sin \alpha_{(n)}$$

Donde

$A_{(n)}$  es la amplitud y

$\alpha_{(n)}$  es la fase

Cuando los componentes reales ( $RE_{(n)}$ ) e imaginarios ( $IM_{(n)}$ ) son separadamente sumados:

$$\Sigma RE = RE_{(1)} + RE_{(2)} + \dots + RE_{(n)}$$

$$\Sigma IM = IM_{(1)} + IM_{(2)} + \dots + IM_{(n)}$$

Los componentes de amplitud y fase del fasor resultante esta dado por la formula:

$$A_{(R)} = \sqrt{\Sigma RE^2 + \Sigma IM^2} \quad \text{amplitud}$$

$$\alpha_{(R)} = \arctang(\Sigma IM / \Sigma RE) \quad \text{fase}$$

Nota para las siguientes condiciones:

1. Si  $\Sigma RE < 0$ , sume  $180^\circ$  ( $\pi$  rad) al resultado de fase  $\alpha_{(R)}$
2. Si  $\Sigma RE = 0$ , el resultado de fase es mas o menos  $90^\circ$  ( $\pi/2$  rad) dependiendo del signo de  $\Sigma IM$ .

Realizando la suma de los fasores A, B y C, de nuestra grafica con las siguientes amplitudes y fases:

$$A = 4 \angle 0^\circ$$

$$B = 3.6 \angle -56^\circ$$

$$C = 3.2 \angle 160^\circ$$

Primero encontremos los componentes RE e IM de cada fasor:

A:  $RE = 4.0 \cos 0^\circ = 4.0$

$$IM = 4.0 \sin 0^\circ = 0.0$$

B:  $RE = 3.6 \cos(-56^\circ) = 2.013$

$$IM = 3.6 \sin(-56^\circ) = -2.985$$

C:  $RE = 3.2 \cos 160^\circ = -3.007$

$$IM = 3.2 \sin 160^\circ = 1.094$$

Entonces sumamos RE e IM separadamente:

$$\Sigma RE = 4.0 + 2.013 + (-3.007) = 3.006$$

$$\Sigma IM = 0.0 + (-2.985) + 1.094 = -1.890$$

La amplitud del fasor suma:

$$A_{(R)} = \sqrt{3.006^2 + (-1.890)^2} = 3.55$$

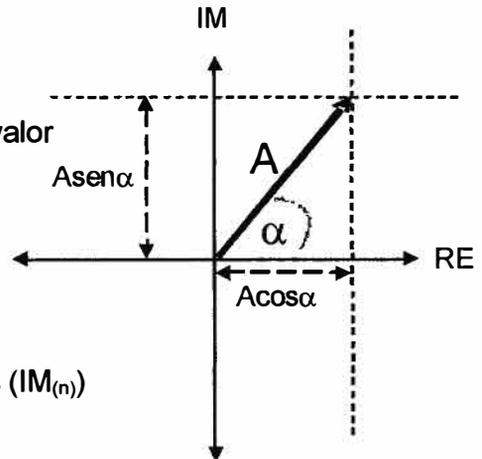
La fase del fasor suma:

$$\alpha_{(R)} = \arctang(-1.890/3.006) = -0.561 \text{ rad}$$

$$\alpha_{(R)} = (180/\pi)(-0.561) = -32.16^\circ$$

### Amplitud Modulada

Para enviar la información de orientación, curso o distancia a la aeronave se transmite una señal que tiene diversas informaciones. Pero la señal de radiofrecuencia (periódica sinusoidal) no transmite información. Sin embargo, si su amplitud es variada inteligentemente entonces se convierte en una señal que puede proveer de información. El proceso por el cual la amplitud sé varía de acuerdo a lo requerido es llamado modulación en amplitud (AM).



El propósito inverso en el que se recobra la información desde la señal se llama demodulación o detección.

La modulación puede hacer de diversas formas que varíe la amplitud. Por un instante, la frecuencia o fase de modulación son comúnmente usadas. Por lo tanto en los sistemas ILS se usa solo la modulación en amplitud, que será discutida en los siguientes párrafos.

La señal sinusoidal es representada por la función del tiempo,  $t$

$$v(t) = A(t) \cdot \text{sen } \omega_c t$$

Donde los parámetros descritos la señal son  $A(t)$ , la amplitud  $\omega_c$ , la frecuencia angular. La frecuencia  $f_c$  esta dada por la relación

$$f_c = \omega_c / 2 \pi$$

La frecuencia  $f_c$ , es llamada la frecuencia de portadora de Radio Frecuencia (RF). Para el Localizador es alrededor de 110 Mhz y para La trayectoria de planeo esta por los 330 Mhz, para el VOR es de 108 a 118 Mhz, para el DME de 960 a 1215 MHz y el NDB es de 195 a 500 KHz.

La señal de AM de amplitud  $A(t)$  es variable siendo el valor máximo es  $A_c$ . Esta señal de AM es descrita en la siguiente ecuación:

$$v(t) = A_c (1+m(t)) \cdot \text{sen } \omega_c t$$

Para el ILS, la señal de modulación  $m(t)$  es sinusoidal, como

$$m(t) = m \cdot \text{sen } \omega_m t$$

Donde  $f_m = \omega_m / 2 \pi$  es la frecuencia de modulación y  $m$  es el indice de modulación o profundidad de modulación. Esto es multiplicado por 100 y es llamado porcentaje de modulación.

La expresión completa de la señal AM es

$$v(t) = A_c (1 + m \cdot \text{sen } \omega_m t) \cdot \text{sen } \omega_c t$$

Si graficamos  $v(t)$  se obtiene la Fig. 2.3. Las curvas indicadas son la envolvente de modulación que representan los valores máximos y mínimos de  $v(t)$ . La ecuación de la envolvente de modulación es

$$\pm A_c (1 + m \cdot \text{sen } \omega_m t)$$

Donde el signo  $+$  es usado para el máximo de la envolvente y el menos para un nivel mínimo.

El índice de modulación esta determinado por

$$m = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{V_{\max} + V_{\min}}$$

Si  $m > 1$ , entonces la expresión para el máximo (mínimo) de la envolvente era negativa (positiva) para algunos valores de tiempo. El detector usado para el ILS deberá ser la salida cero para estos valores de tiempo.

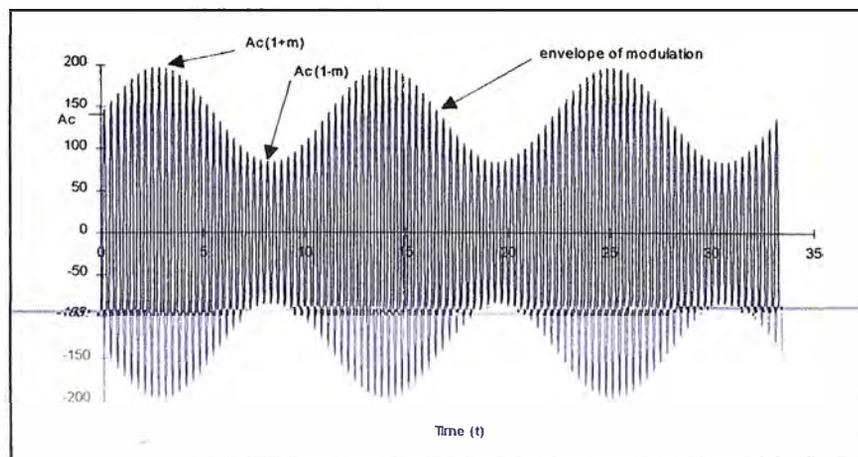


Fig. 2.3 Una señal modulada en amplitud

La envolvente de  $v(t)$  no deberá ser larga teniendo la forma de la señal de

modulación y la distorsión resultante, Para evitar la distorsión durante estos procesos, deberá asumirse que  $0 < m < 1$ .

Considerando la expresión para  $v(t)$  que tenemos, se puede usar la siguiente identidad trigonométrica para el producto de senos

$$\text{sen } x * \text{sen } y = 1/2 ( \cos (x-y) - \cos (x+y) )$$

$$v(t) = A_c \text{sen } \omega_c + m (A_c/2) \cos (\omega_c - \omega_m) - m (A_c/2) \cos (\omega_c + \omega_m)$$

Entonces para el proceso de modulación se producen dos componentes de frecuencia una sobre y otra por debajo de la frecuencia de portadora. Estas son llamadas las bandas laterales y difieren de la frecuencia de portadora en más o menos la frecuencia de modulación.

Un gráfico en el espectro de frecuencia muestra las magnitudes relativas de las componentes de frecuencia de la forma de señal modulada, ver Fig. 2.4.

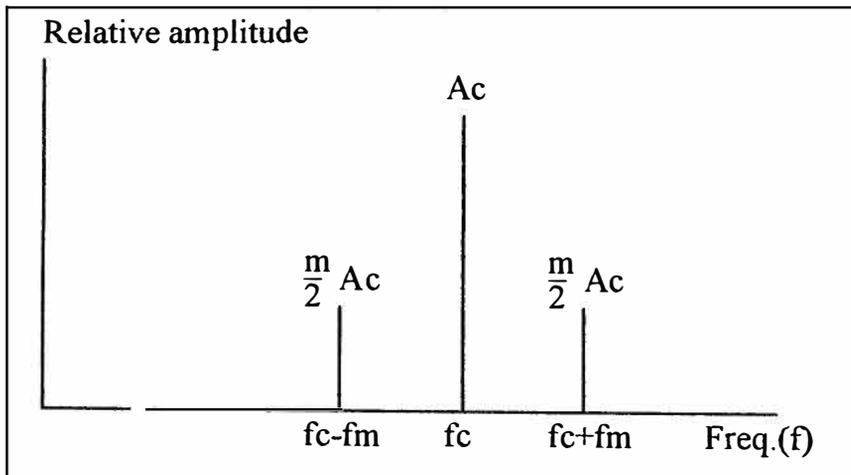


Fig. 2.4 El espectro de frecuencias de una señal AM.

Para el ILS, la modulación consiste en dos señales de 90 Hz y 150 Hz. Por analogía, la excepción de la señal AM deberá ser:

$$v(t) = A_c ( 1 + m_{90} \text{sen } \omega_{90}t + m_{150} \text{sen } \omega_{150}t ) \text{sen } \omega_c t$$

En este caso deberá tenerse 4 bandas laterales arriba y abajo de la  $f_c$ . Las bandas laterales difieren de  $f_c$  (110 Mhz 0 330 Mhz) en más o menos 90 Hz o 150 Hz, ver Fig. 2.5.

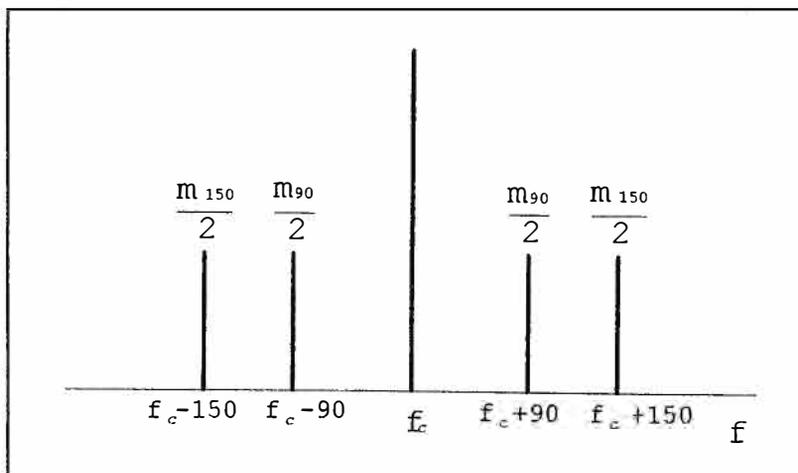


Fig. 2.5 Espectro de frecuencia de una señal AM modulada con 90 Hz y 150 Hz (CSB)

**Doble Banda Lateral con Portadora Suprimida**

Otro tipo de señal AM que usa el ILS es la doble banda lateral con portadora suprimida ( DSB). Esta señal tiene la siguiente expresión:

$$v(t) = A_c ( m_{90} \text{sen } \omega_{90}t + m_{150} \text{sen } \omega_{150}t ) \text{sen } \omega_c t$$

Una grafica de esta señal con una sola modulación ( $m_{150}=0$ ) se muestra en la Fig. 2.6. El espectro en frecuencia se muestra en la Fig. 2.7.

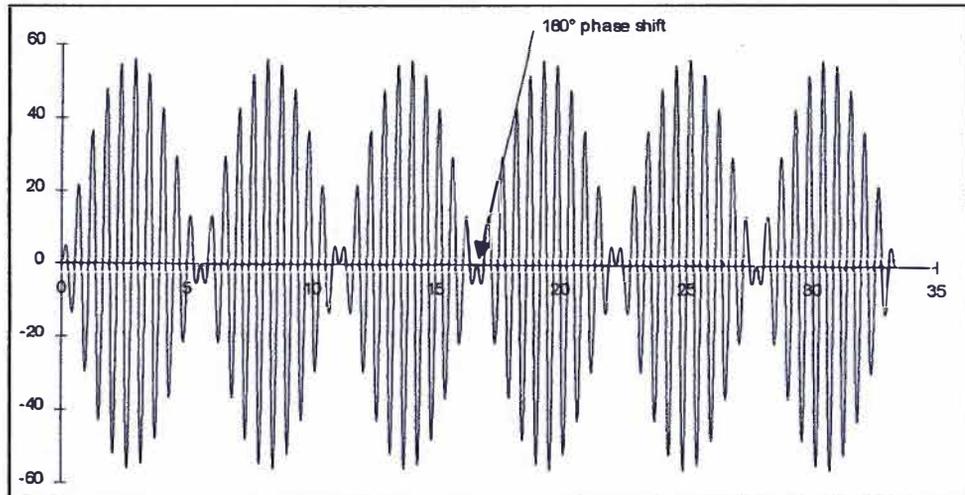


Fig. 2.6 Una señal de doble banda lateral con portadora suprimida modulada con 90 Hz.

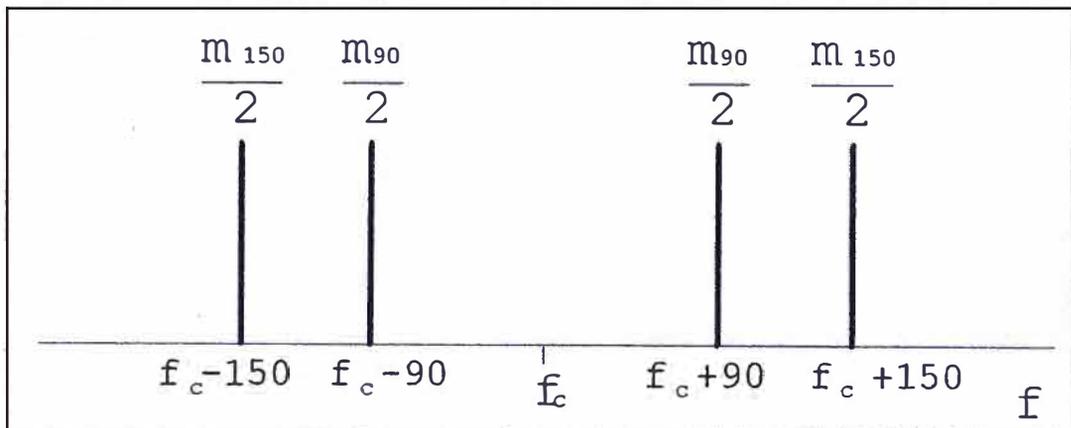


Fig. 2.7 Espectro de frecuencia de la señal de banda lateral con portadora suprimida DSB -SC modulada con 90 Hz y 150 Hz ( SBO ).

### Consideraciones de potencia de la señal de Modulación

La distribución de potencia para las componentes de frecuencia es de interés. La potencia de una señal sinusoidal deberá ser proporcional al cuadrado del máximo de la amplitud dividida por dos (Esto es igual que el cuadrado del valor rms).

Entonces, la potencia de la portadora  $P_c$  es proporcional a  $A_c^2/2$ , la potencia total contiene a ambas bandas laterales que son proporcionales a  $m^2 A_c^2/4$ .

Por lo tanto la relación entre potencia de banda lateral y la portadora es:

$$\frac{P_{\text{banda lateral}}}{P_{\text{portadora}}} = \frac{m^2}{2}$$

Potencia de banda lateral

Formula general:  $P_{\text{SBO}} = P_c m^2/2$   
 $P_{\text{SBO}} = P_c ( m_{90}^2 + m_{150}^2 )/2$

Ejemplo 1:

Potencia SBO del Localizador:

$$P_{\text{SBO}} = 15 [ ( 0.2^2 + 0.2^2 ) / 2 ] = 0.6 \text{ W}$$

Ejemplo 2:

Potencia SBO de la Trayectoria de Planeo:

$$P_{\text{SBO}} = 5 ( 0.4^2 + 0.4^2 ) / 2 = 0.8 \text{ W}$$

Potencia de portadora mas bandas laterales:

$$P_{\text{tot}} = P_c(1 + m^2/2)$$

$$P_{\text{CSB}} = P_c[1 + (m_{90}^2 + m_{150}^2)/2]$$

## El Formato de la Señal ILS

### La Señal de Guía

La información de guía del ILS es una información basada en la comparación de las profundidades de modulación de las señales de 90 Hz y 150 Hz (llamados tonos guía). La Diferencia de la Profundidad de modulación (DDM = DIFFERENCE DROP MODULATION) es el principal parámetro recibido en la aeronave.

La variación del DDM en el espacio es obtenida por la radiación de las señales moduladas en amplitud (AM) ambas moduladas por 90 Hz y 150 Hz. Las señales son nombradas CSB (Carry Side Band) y SBO (Side Band Only).

La CSB (Portadora y Banda Lateral) es una señal modulada en amplitud a igual profundidad por los tonos de 90 Hz y 150 Hz.

La SBO (Banda lateral solamente) es la señal tomada de la doble banda lateral con portadora suprimida con los dos tonos de 90 Hz y 150 Hz modulados y con fases opuestas.

Las señales CSB y SBO se muestran en la figura 2.8 y 2.9 respectivamente, expresados en el dominio del tiempo.

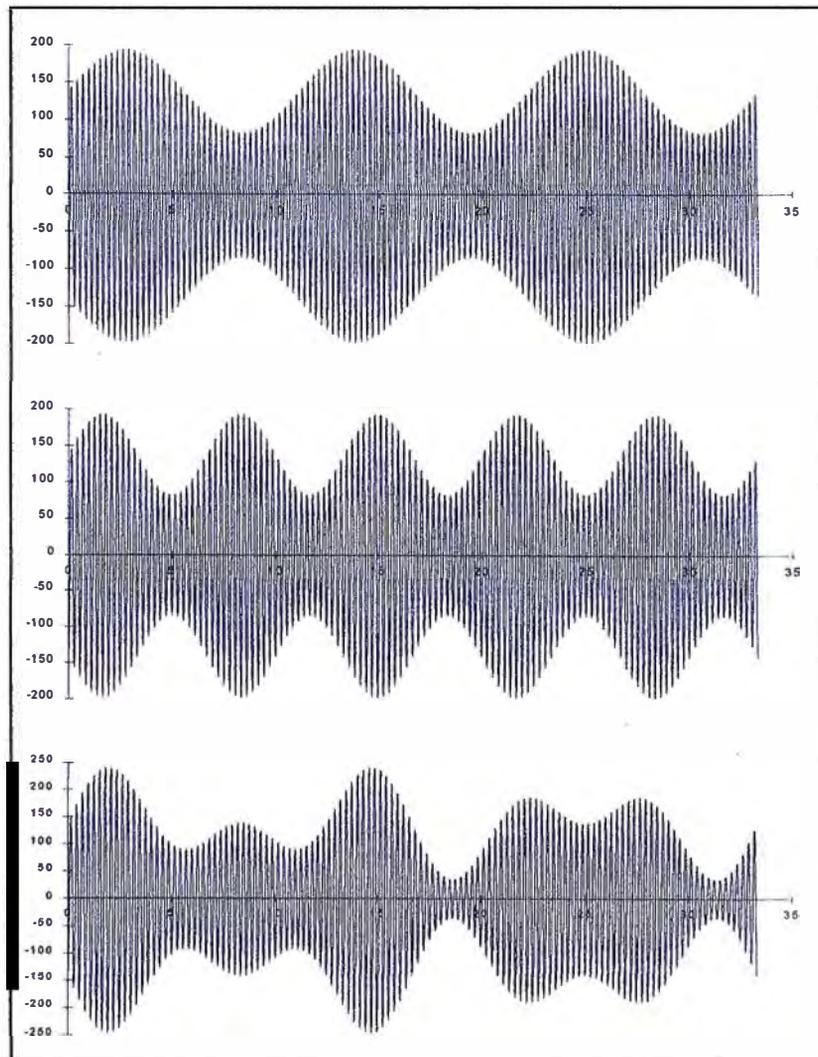


Fig. 2.8 La formas de onda de la CSB en el dominio del tiempo, el diagrama superior con 90 Hz, el medio es 150 Hz y el de abajo es el combinado 90 + 150. Escala de tiempos en milisegundos.

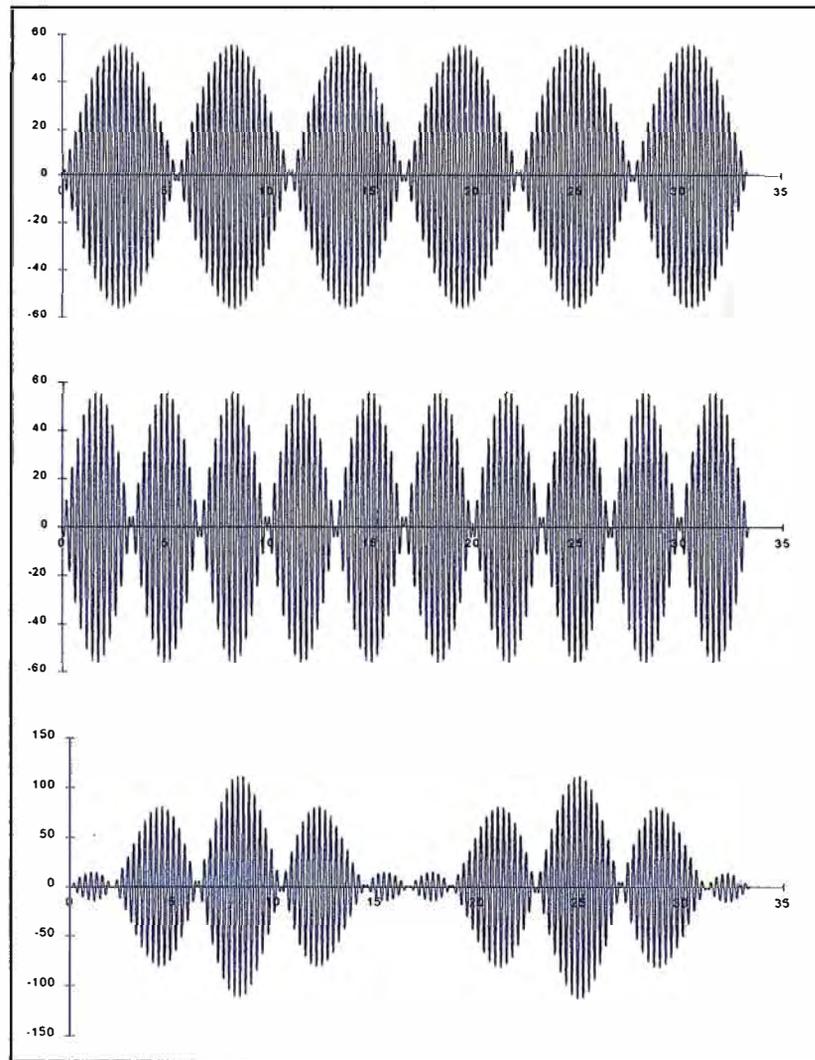


Fig. 2.9 La formas de onda de la SBO en el dominio del tiempo superior diagrama con 90 Hz, medio es 150 Hz y el bajo es el combinado 150-90. Escala de tiempos en milisegundos

Como la señal de SBO, la profundidad de modulación de la señal recibida es idéntica para los dos tonos guía (DDM = 0)

Para el curso y la trayectoria de planeo el DDM = 0.

Para otros ángulos en el espacio la SBO no es cero, a consecuencia de que la amplitud de la fase de los tonos guía y de acuerdo a la profundidad de modulación que se incrementa.

Para un tono guía la amplitud decrece, como el tono guía de la CSB y el tono guía de la SBO están opuestas en fase, resulta en menor profundidad de modulación.

Esto dará una DDM diferente de cero. El DDM depende de la ubicación del receptor y las señales SBO y CSB.

La expresión para la señal compuesta CSB y SBO son:

$$E_{CSB}(t) = E_{CSB} (1 + m \sin \omega_{90t} + m \sin \omega_{150t}) \sin \omega_c t$$

$$E_{SBO}(t) = E_{SBO} (-m \sin \omega_{90t} + m \sin \omega_{150t}) \sin \omega_c t$$

Donde

$E_{CSB}$  y  $E_{SBO}$  son amplitudes constantes

$\omega = 2 \pi f =$  velocidad angular.

### Definiciones para DDM y SDM

El DDM es definido como sigue:

$DDM = m_{150} - m_{90}$  para un nivel de modulación  $< 2m$

$DDM = 2m$  para un nivel de modulación  $> 2m$

El SDM es definido como sigue:

$SDM = m_{150} + m_{90}$  para un nivel de modulación  $> 2m$

$SDM = 2m$  para un nivel de modulación  $< 2m$

Cuando las amplitudes de las profundidades de modulación de la SBO son menores que la CSB, el DDM es igual a la magnitud de la amplitud de 90 más 150 de la SBO en referencia a la amplitud de la portadora.

Por convención las amplitudes de 90 Hz y 150 Hz de la SBO son iguales, consecuentemente:

$$DDM = 2 \cdot SBO / CSB$$

El DDM es proporcional al coseno de la fase entre CSB y SBO.

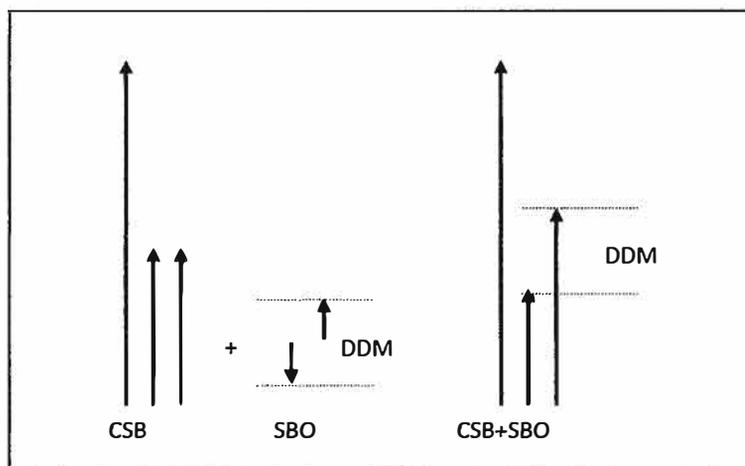


Fig. 2.10 Combinación de la CSB y SBO

La fórmula completa

$$DDM = 2 \cdot SBO \cdot \cos \varphi / CSB$$

Para cualquier error de fase la magnitud de DDM se reduce.

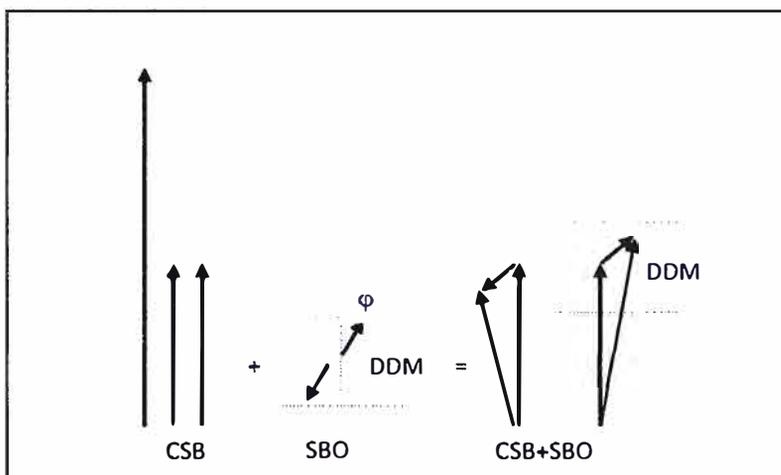


Fig. 2.11 Error de fase entre la CSB y SBO. El retardo de la SBO es  $\varphi$  grados.

Ejemplo:

Dado los valores de CSB y SBO en el campo lejano:

$$CSB = 100 \text{ } /0^\circ$$

$$SBO = 11,7 \text{ } /-10^\circ$$

$$DDM = 2 \cdot 11,7 \cdot \cos(-10^\circ) / 100 = 0,23$$

$$DDM = 23\%$$

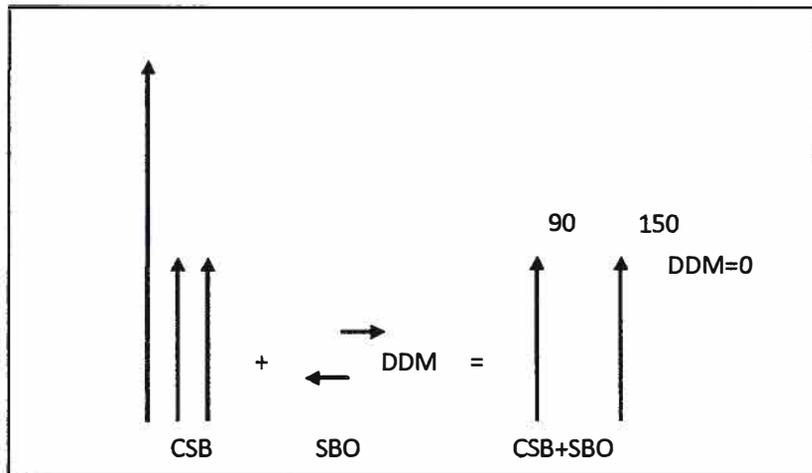


Fig. 2.12 CSB y SBO en cuadratura ( $90^\circ$  de fase)

Para  $\varphi = \pi / 2$ ,  $\cos \varphi = 0$  por lo tanto  $DDM = 0$ . El resultado es máximo DDM, cancelándose la componentes de 90 Hz.

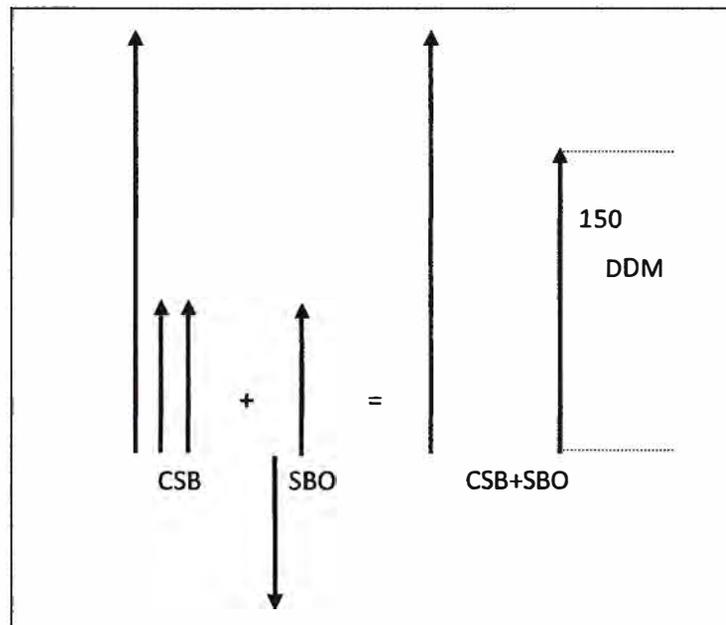


Fig. 2.13 La amplitud de la señal SBO es igual a la profundidad de modulación de la CSB.

### Distribución de la DDM en el Localizador

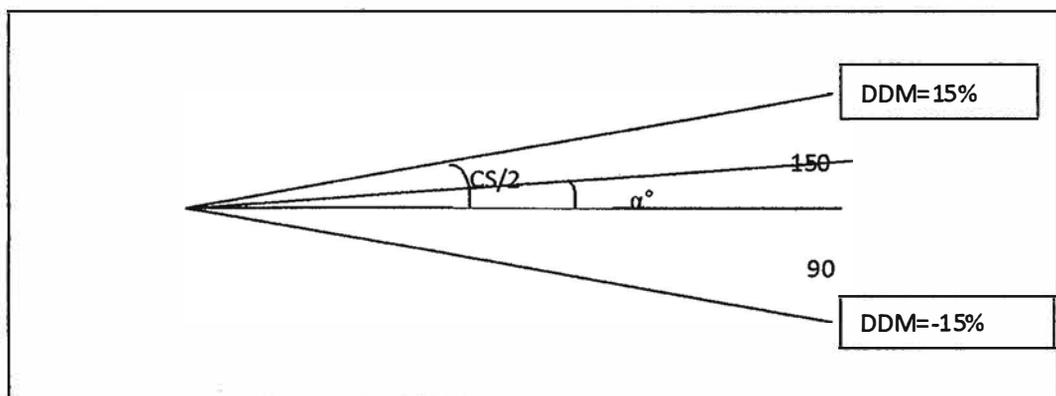


Fig. 2.14 Distribución de la DDM en el Localizador

La DDM debe ser lineal en función de ángulo azimutal en el segmento de ancho 15.5% (90) a 15.5%(150), CS es el ancho del curso o sector del curso y  $2\cdot\alpha$  es el ángulo.

Ejemplo:

Sector del Curso (CS) =  $5^\circ$

DDM para el ángulo azimutal de  $2^\circ$ :

$$\text{DDM}(2^\circ) = 15.5\% \cdot 2^\circ / (5^\circ/2) = 12.4\%$$

### Distribución de la DDM en la Trayectoria de planeo

La DDM debe ser lineal en función de ángulo de elevación por debajo en un sector hasta 17.5% DDM y por encima en un sector hasta -17.5% DDM, SW es el medio ancho del sector.

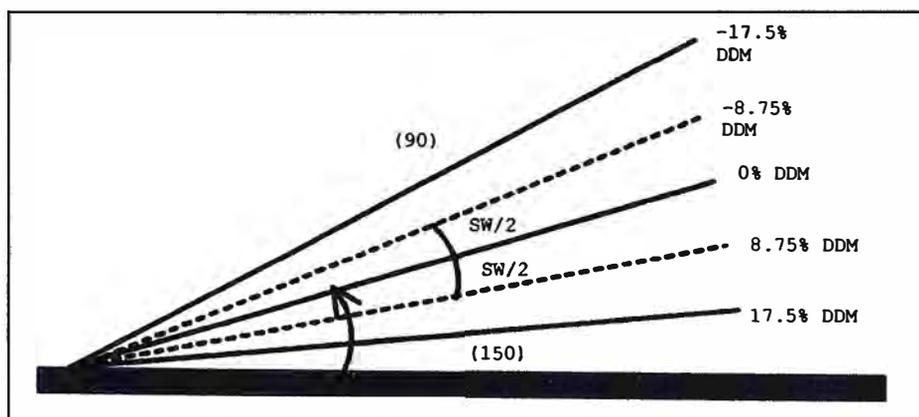


Fig. 2.15 Distribución de la DDM en la trayectoria de Planeo

Ejemplo:

$\theta_0 = 3^\circ$ , encontrar el DDM para  $2.9^\circ$

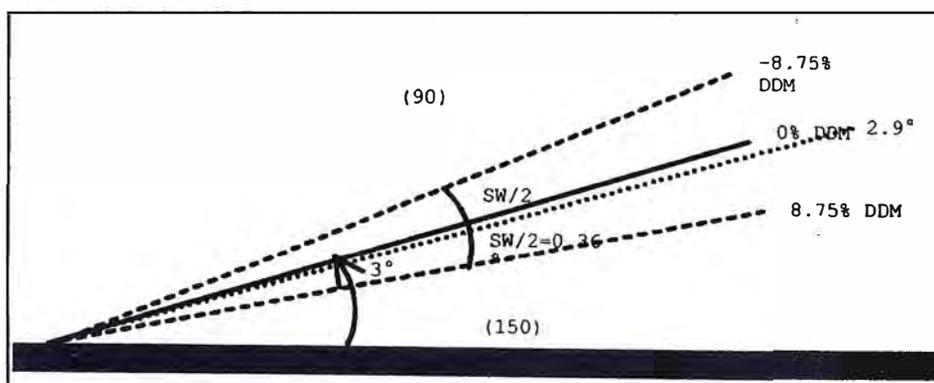


Fig. 2.16 Ejemplo de distribución de la DDM.

$$(3^\circ - 2.9^\circ) / x = 0.36^\circ / 8.75\%$$

$$x = 2.34\% \text{ DDM}$$

Convirtiendo en micro amperios

$$(150/17.5) \cdot 2.34 = 20.8 \mu\text{A}.$$

### Principios Del Circuito De Demodulación De La Aeronave.

El principio del receptor de la aeronave se muestra en la figura 2.17.

La señal recibida por las antenas de la aeronave es amplificada y transformada en IF y luego demodulada. La salida del modulador es una señal de LF constituida por los tonos de 90 Hz y 150 Hz

Estos dos tonos son filtrados separadamente y rectificadas. La diferencia de nivel de DC determina el DDM el cual se indica la desviación desde la línea de curso.

Esta información es mostrada por la posición de una barra en el indicador de agujas cruzadas.

La suma de los tonos detectados de 90 Hz y 150 Hz, el cual es la SDM, dará la indicación de "corriente bandera". Una baja SDM indicara algún problema o error mediante la aparición de una bandera roja en el indicador.

También un bajo nivel de señal causa una "bandera de alerta"

En el receptor. la medida del DDM es una diferencia entre la corriente de los circuitos de 90 Hz y 150 Hz. El receptor es calibrado para dar una corriente en el punto de cruce igual a 150  $\mu\text{A}$  para un sector o ancho indicado, para ambos localizador y trayectoria de planeo.

Como el sector o ancho para el localizador es 0.155 DDM y para la trayectoria de planeo es de 0.175 DDM y la correspondencia entre el DDM y la corriente es diferente.

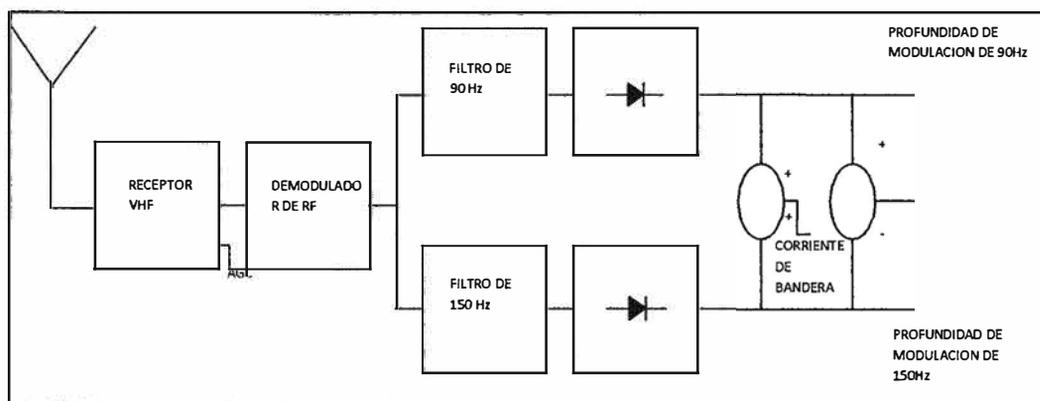


Fig. 2.17 Receptor ILS.

## Definición Para Localizador y Trayectoria de planeo

### Localizador

DDM negativo indica predominancia de 90 Hz: VUELE A LA DERECHA

DDM positivo indica predominancia de 150 Hz: VUELE A LA IZQUIERDA

Ancho del sector = 15.5% DDM o 150  $\mu\text{A}$  en el punto de cruce.

### Trayectoria de Planeo

DDM negativo indica predominancia de 90 Hz: VUELE HACIA ABAJO

DDM positivo indica predominancia de 150 Hz: VUELE HACIA ARRIBA

Ancho del sector = 17.5% DDM o 150  $\mu\text{A}$  en el punto de cruce.

Comúnmente se usa el termino de medio ancho del sector = 8.75 % DDM (75 $\mu\text{A}$ )

## Principio de Generación de la CSB y SBO

Definiciones:

C : Portadora solamente

SB90 : Total de la banda lateral de 90 Hz (superior + inferior)

SB150 : Total de la banda lateral de 150 Hz (superior + inferior)

C + SB90 y C + SB150 es aplicado en cuadratura en dos salidas adyacentes del híbrido  $-90^\circ$ . El resultado es Portadora + Bandas laterales (CSB) y Banda lateral solamente (SBO), aparecen en las dos salidas restantes, como se muestra en la fig. 2.18

La portadora será sumada en fase en la salida CSB y cancelada en la salida SBO. Las señales de modulación de 90 Hz y 150 Hz se distribuyen proporcionalmente entre la CSB y la SBO (mitad de potencia para cada salida). Por lo tanto las profundidades de modulación a la entrada deberá se el doble de la profundidad de modulación deseada, ejem.0.4 para el localizador y 0.8 para la trayectoria de planeo.

Debido a que las características de fase del híbrido  $-90^\circ$ , las señales de la banda lateral de 90Hz deberá de gira  $180^\circ$  para estar en contra fase con la banda lateral de 150 Hz en el salida SBO, la bandas laterales de la CSB deben estar en fase (se inician en la misma dirección y en el mismo tiempo).

Un desbalance de potencia entre la C+SB90 y la C+SB150 (a la entrada del híbrido) puede dar como resultado en un similar desbalance en la SBO entre potencia de la SB90 y la SB150. Para la salida CSB la profundidad de modulación de 90 Hz y 150 Hz será diferente resultando un DDM diferente de cero.

Además, en la salida SBO existirá una portadora reducida. Esta portadora reducida deberá estar en fase con la mayor de las bandas laterales.

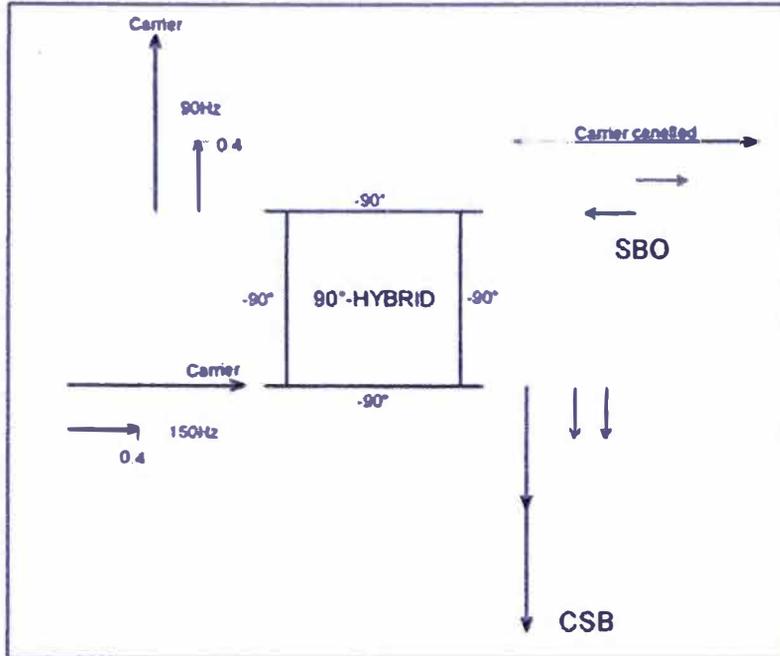


Fig. 2.18 Generación de CSB y SBO en un circuito híbrido en cuadratura

Ejemplo: 0.2 dB de potencia de desbalance de la C+SB90 y la C+SB150 causara el patrón de forma de onda mostrado en la Fig. 2.19, comparada con la Fig. 2.21. Para la salida CSB un DDM aproximadamente de 0.0046 (4.5  $\mu$ A) existirá.

Un error de fase (diferente desde  $90^\circ$ ) entre C+SB90 y C+SB150 dará como resultado una portadora reducida en la salida SBO.

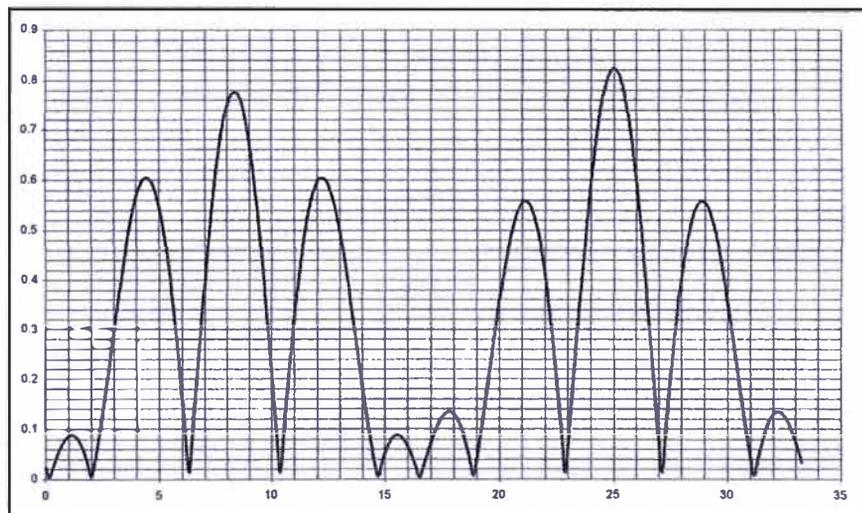


Fig. 2.19 Señal demodulada SBO con desbalance de 0.2 dB entre C+SB90 y C+SB150.

Ejemplo:  $3.6^\circ$  de error de fase de la RF a la entrada de la salida causara una portadora de nivel -30 dB en la salida SBO en referencia del nivel de CSB.

La Fig. 2.20 muestra la señal demodulada SBO correspondiente a -30 db de portadora reducida.

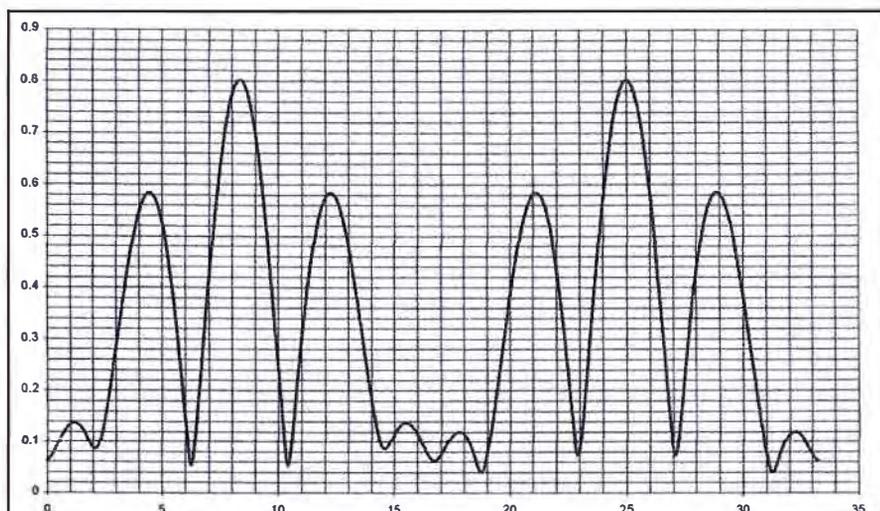


Fig. 2.20 Señal demodulada de SBO con un error de fase interno de  $3.6^\circ$  correspondiente a -30 dB de portadora reducida.

En la Fig.2.21 se representa la señal de SBO demodulada, cuando los valores son normales, igual nivel de amplitud de la señal de modulación y en fase.

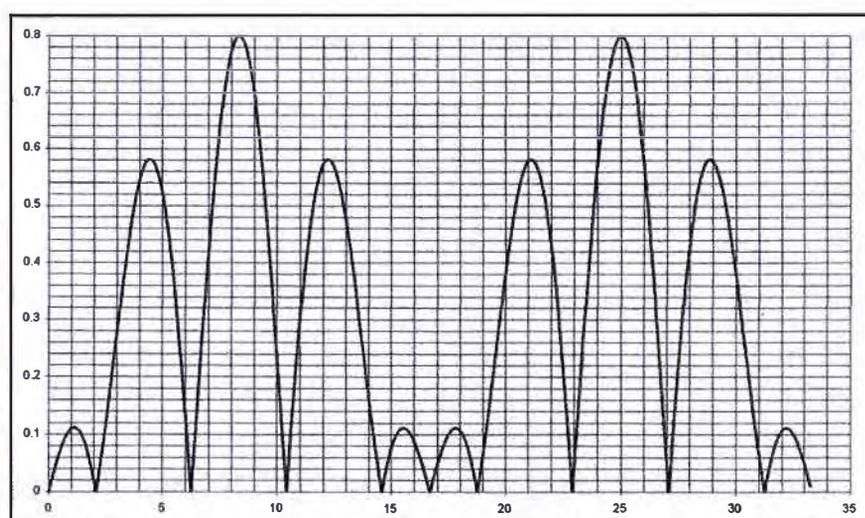


Fig. 2.21 Señal demodulada perfecta.

### III TEORIA DE ANTENAS

#### Conceptos Básicos

Una antena es un dispositivo usado para irradiar o recibir una energía en forma de ondas electromagnéticas

Las ondas que se desplazan a la velocidad de la luz, poseen campos eléctricos y magnéticos los cuales está en cuadratura uno del otro y con la dirección de propagación.

Estos campos eléctricos y magnéticos son producidos por el flujo de corriente en la antena.

La dirección del campo eléctrico (E-vector) determina la polarización las ondas en los ILS son polarizadas horizontalmente como se muestra en la figura 3.1

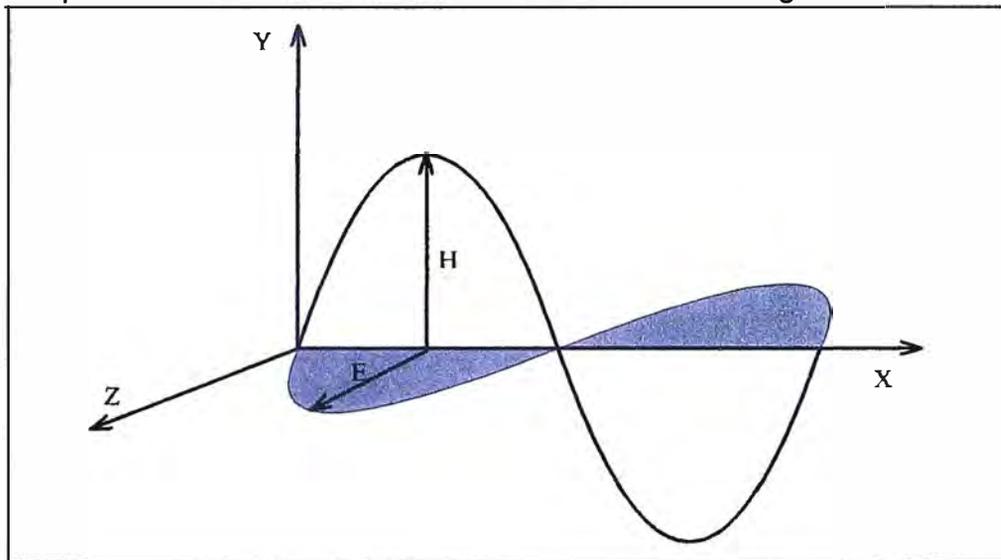


Fig. 3.1 Onda electromagnética con líneas de campo E y H.

#### Campos Radiados e Inducidos

Una onda electromagnética puede ser emitida desde una antena tal como un dipolo. La antena puede ser considerada como dos alambres de línea de transmisión las cuales pueden estar abiertas en la parte superior. Las líneas de campo eléctrico y magnético aparecen en la figura 3.1

La energía eléctrica y magnética esta asociadas con el campo pudiendo ser divididos en estos dos componentes.

La primera es llamada el componente inducido. La energía en este componente es asumida que retorna a la antena.

La intensidad de la componente de inducción varía inversamente con el cuadrado de la distancia desde la antena.

El segundo componente es llamado el componente de radiación. La energía contiene en los campos eléctricos y magnéticos de la componente es perdida o radiación desde la antena.

La intensidad de la componente de radiación varía inversamente con la primera potencia de la distancia desde la antena.

A una distancia de aproximadamente cuatro longitudes de onda del campo inducido llega a ser no legible con respecto a la componente de radiación y mas lejos de esta distancia la componente de radiación predomina.

Es por eso que la componente de radiación es la utilizada en el estudio de antenas.

#### Campo Cercano y Campo Lejano

El área donde esta componente de radiación predomina puede dividirse en dos regiones el campo cercano y el campo lejano.

El campo cercano se extiende desde a pocas longitudes de onda desde la antena a la distancia donde todos los rayos desde la antena para un punto de observación pueden ser considerados paralelos uno a otro.

La distancia depende de las dimensiones de la antena ( $D$ ) y un error de fase ( $\delta$ ) el cual es tolerable.

Para el ILS, la fase crítica del sistema  $\delta$  puede ser  $\lambda/32$  (aproximadamente  $12^\circ$ ).

El campo cercano se extiende a una distancia  $R = 4 \cdot D^2 / \lambda$  como se muestra en la figura 3.2

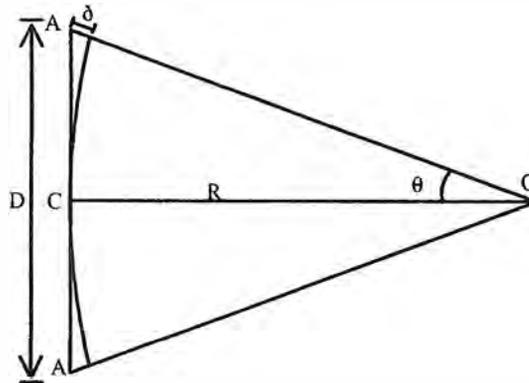


Fig. 3.2 Cálculo de la extensión del campo cercano con un error aceptable de error de fase de  $12^\circ$  desde una antena de longitud  $D$ .

$$OC = R, \quad OA = R + \lambda / 32$$

$$(R + \delta)^2 = (D/2)^2 + R^2$$

$$R^2 + 2R\delta + \delta^2 = D^2 / 4 + R^2$$

$$R = D^2 / 8\delta = 4D^2 / \lambda$$

### Patrón de Radiación

Un diagrama que muestra la variación de la intensidad de radiación de campo eléctrico en un radio constante ( $r$ ) como función del ángulo ( $\theta, \phi$ ) es llamado patrón de radiación

Cuando la intensidad del campo es expresado en unidades relativas a estos valores en algunas direcciones de referencia es llamado patrón de radiación relativo.

Referencias de direcciones son normalmente hechas en las direcciones de máxima intensidad de campo.

El patrón relativo es comúnmente el mas usado.

Representación de dos tipos de patrones como se ilustra en la figura 3.3 y 3.4

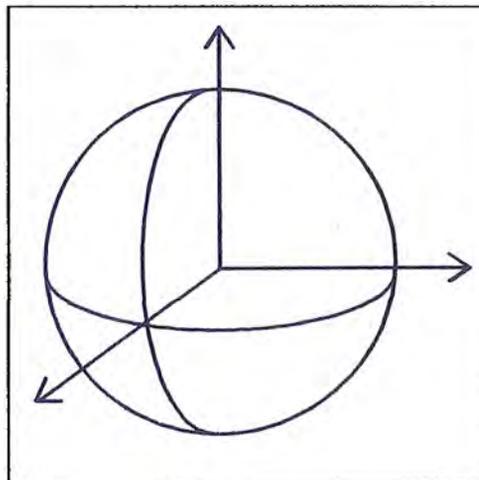


Fig. 3.3 Patrón de radiación Isotópico.

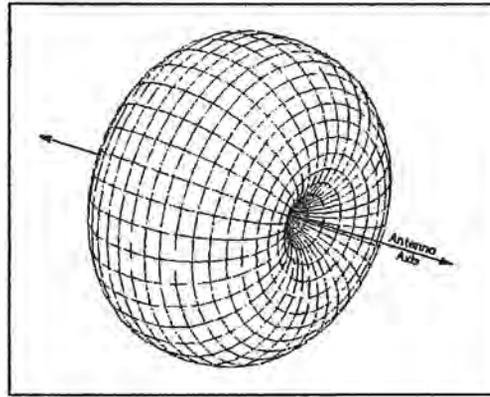


Fig. 3.4 Patrón de radiación Omnidireccional.

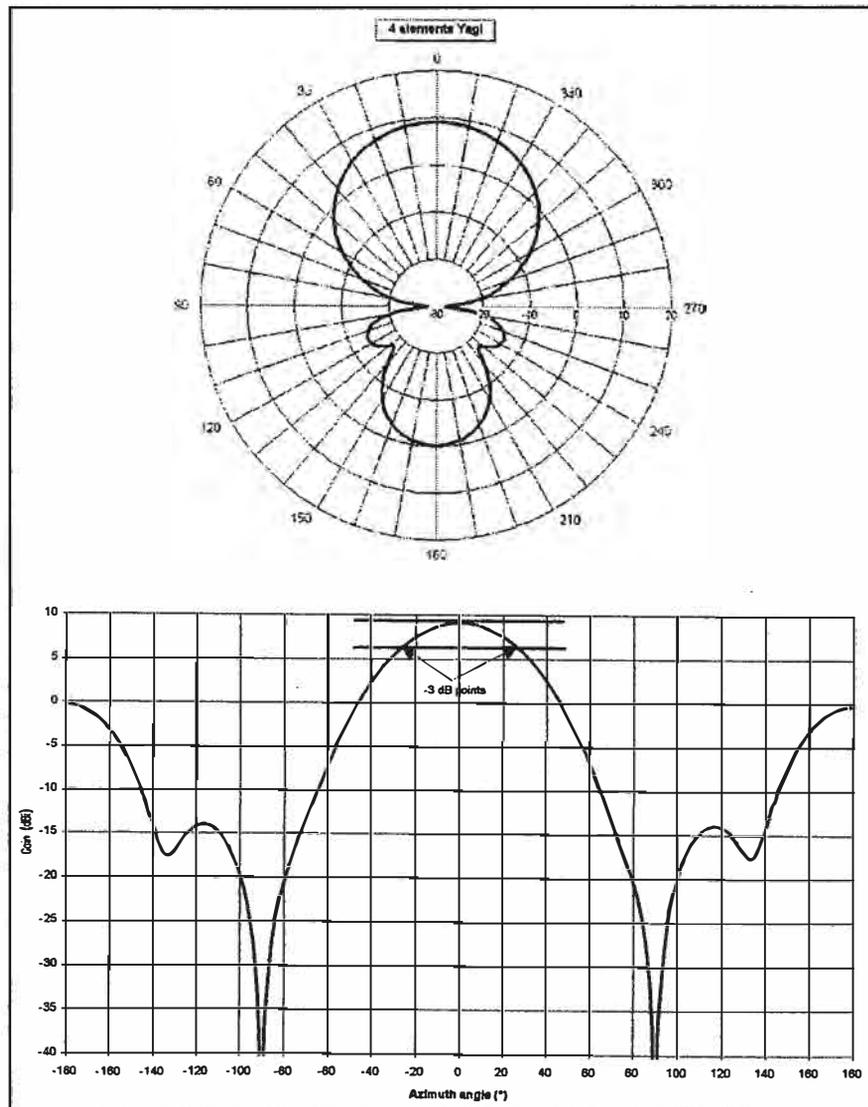


Fig. 3.5 Diagrama polar (arriba) y diagrama rectangular (abajo).

El diagrama superior muestra el patrón de radiación de una antena en coordenadas polares y escala logarítmica.

El diagrama inferior muestra el mismo patrón de radiación de una antena en coordenadas rectangulares y escala logarítmica (dBi)

Por reciprocidad estos patrones son iguales para condiciones de transmisión y de recepción.

### Directividad, ancho de haz y ganancia

La directividad ( $D$ ) de cualquier antena está definida por:

$$D = \frac{\text{m\u00e1xima intensidad del campo}}{\text{Intensidad promedio del campo}} = \frac{E_m}{E_0}$$

La intensidad promedio del campo puede ser encontrada por la integración de la potencia total irradiada ( $P_0$ ) dividido por  $4\pi$ , la cual es la superficie de una esfera.

Por lo tanto:

$$D = \frac{4\pi E_m}{\iint E(\varphi, \theta) ds} = \frac{4\pi E_m}{P_0}$$

La directividad est\u00e1 determinada por la forma del patr\u00f3n de radiaci\u00f3n, las perdidas en las antenas no est\u00e1 incluidas.

La eficiencia ( $\eta$ ) de la antena est\u00e1 definida como la relaci\u00f3n de la potencia total radiada con la potencia total de entrada.

La diferencia de estas dos potencias es causada por las perdidas en la adaptaci\u00f3n, las perdidas en los sistemas de alimentaci\u00f3n y conductividad finita de la antena.

La ganancia ( $G$ ) de la antena est\u00e1 dada por la directividad por la eficiencia:

$$G = \eta D$$

En la pr\u00e1ctica, la ganancia es m\u00e1s interesante que la directividad por que la ganancia da la informaci\u00f3n concerniente al m\u00e1ximo de densidad de campo radiada desde una antena isot\u00f3pica.

Ambas, la ganancia y la directividad son expresadas en decibelios ( $10 \log_{10}$ )

Ejemplo:

La ganancia de una antena dipolo de  $\lambda/2$  es de 1.64 veces la de una antena isot\u00f3pica. Expresado en decibelios:  $G_{\text{dBi}} = 10 \log_{10} 1.64 = 2.15$  dBi.

Radiador isot\u00f3pico, densidad de potencia e intensidad de campo.

La antena isot\u00f3pica es una antena hipot\u00e9tica que radia energ\u00eda uniforme en todas las direcciones.

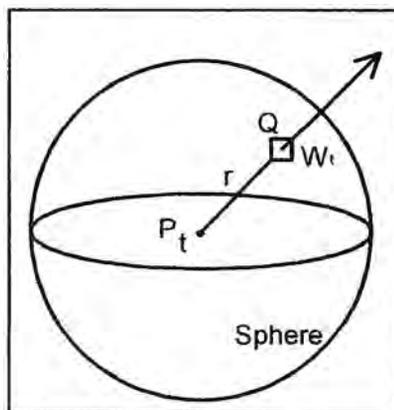


Fig. 3.6 Potencia radiada  $P_t$  desde un radiador isot\u00f3pico.

Consideramos una antena que irradia energ\u00eda igual en todas las direcciones, alimentado con una potencia  $P_t$

Los flujos de potencia salen desde el origen y en cualquier tiempo  $t$  este atraviesa la superficie de la esfera de radio  $r$ .

Por lo tanto, la densidad de potencia  $W_r$  en el punto  $Q$  est\u00e1 dado por:

$$W_r = P_t / (4\pi r^2)$$

Donde  $4\pi r^2$  es la superficie de la esfera

La isot\u00f3pica puede ser considerada como una antena de referencia est\u00e1ndar con una ganancia  $G_t = 1$  ( $G_t = 0$  dBi).

Si cualquier antena en la pr\u00e1ctica con ganancia  $G_t$  es colocada en  $Q$ , La densidad de potencia en  $Q$  deber\u00e1 ser modificada por el factor  $G_t$ .

La expresi\u00f3n completa para la densidad de potencia  $W_r$  es:

$$W_r = (P_t / 4\pi r^2) G_t$$

Para algunas aplicaciones esta es usada para expresar la densidad de potencia como la intensidad del campo eléctrico.

La densidad de potencia es el producto del intensidad campo magnético y el eléctrico:

$$W_r = E.H = E^2/120\pi \text{ (watts /m}^2\text{)}$$

La impedancia del espacio libre es la relación entre la intensidad campo eléctrico y magnético:

$$E.H = 120\pi$$

aplicando la ley de Ohms

$$E^2/120\pi = (P_t / 4\pi r^2)G_t$$

Intensidad de campo:  $E = \sqrt{(30.P_t.G_t) / r}$  (volts / metro)

### Área máxima efectiva de una antena.

Esto puede ser mostrado que en la máxima área efectiva  $A_{ei}$  de la isotropica es

$$A_{ei} = \lambda^2 / 4\pi$$

La ganancia de una antena isotropica es 1, definida como la antena de referencia.

La ganancia  $G$  de cualquier antena práctica será:

$$G = A_e / A_{ei}$$

Donde  $A_e$  es la máxima área efectiva de la antena.

$$\text{Ganancia de Antena: } G = (4\pi / \lambda^2) . A_e$$

$$\text{Máxima área efectiva: } A_e = (\lambda^2 / 4\pi) . G$$

### Potencia de recepción de una Antena.

La potencia  $P_r$  inducido en una antena de recepción es igual a la densidad potencia  $W_r$  multiplicado por el máximo de área efectiva  $A_e$

$$P_r = W_r . A_e$$

$$P_r = P_t [ G_t . G_r / (4\pi r / \lambda)^2 ]$$

El denominador de la expresión es llamada atenuación espacial

$P_t$  : Potencia de transmisión (watts)

$G_t$  : Ganancia de la antena transmisora

$G_r$  : Ganancia de la antena receptora

$r$  : Distancia desde la antena transmisora a la antena receptora ( metros).

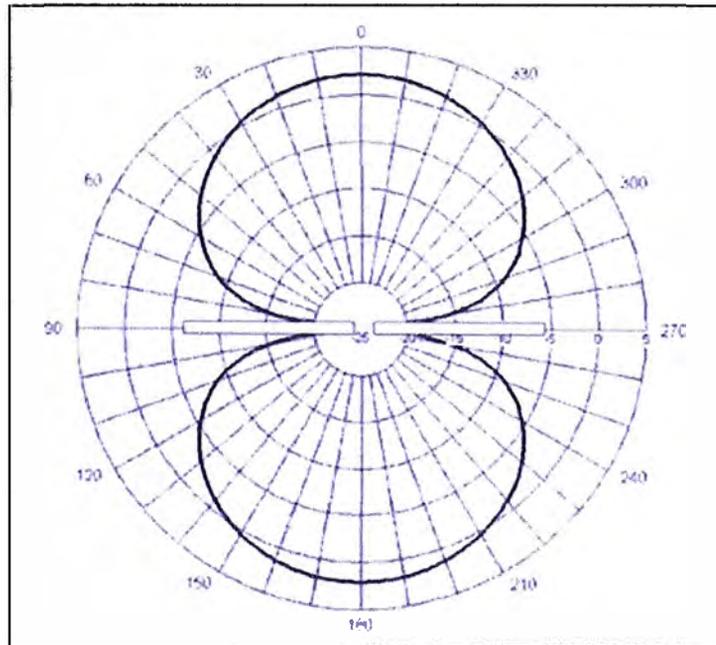


Fig. 3.7 Patrón de radiación de un dipolo de media onda en el plano del dipolo

Esta expresión es válida para el espacio libre solamente.

### Antena dipolo de media onda

El patrón de radiación de la antena de media onda es usado algunas veces como una referencia para otras antenas.

Los patrones en plano del dipolo y en el plano perpendicular son ilustrados en la figura 3.7 y 3.8 respectivamente.

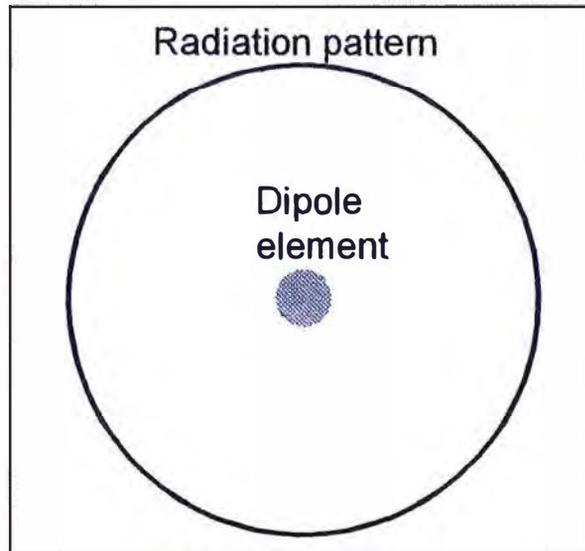


Fig. 3.8 Patrón de radiación de un dipolo de media onda en el plano perpendicular al dipolo

### Arreglo de Antenas

Todo sistema de antena ILS comprende más de un elemento radiador. Cuando dos o más elementos de antena alimentados por el mismo transmisor, está localizado en una línea recta forman un arreglo lineal de antena (normalmente llamado arreglo de antena). El patrón de radiación del arreglo es el producto del patrón de antena y el patrón del arreglo de antena con elementos isotrópicos.

### Dos elementos de antena.

El arreglo más simple comprende dos elementos de la antena isotrópica separados a una distancia de  $2D$ . En el punto de distancia  $P$  el campo de fuerza de cada uno es equivalente, pero hay una fase diferente, a causa de la diferencia de la trayectoria, como se muestra diagrama siguiente

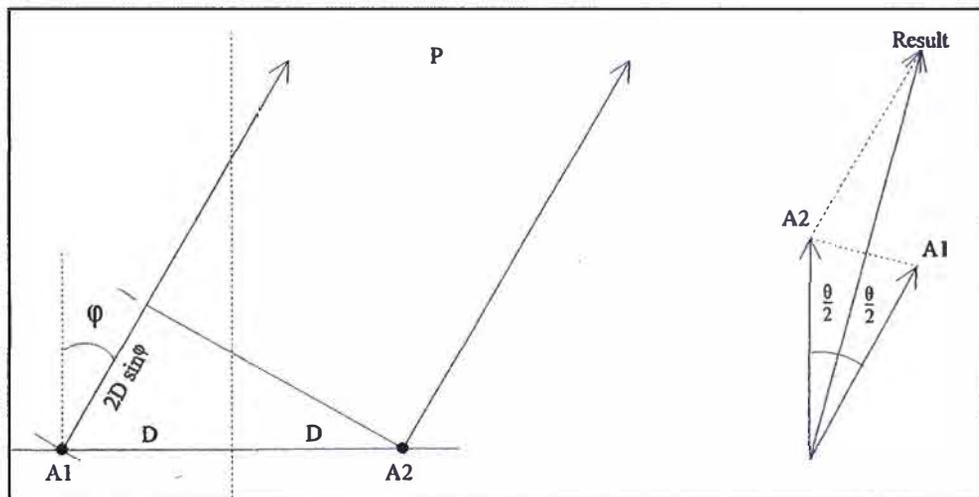


Fig. 3.9 Retardo entre dos elementos de antena

La diferencia de la trayectoria es de  $2D \sin \varphi$  que produce una diferencia de fase entre los campos  $E_0$  de cada antena. La diferencia de fase en radianes es:

$$\theta = (2 \cdot \pi / \lambda) \cdot 2 \cdot D \cdot \sin \varphi$$

La señal del elemento A1 está retrasada con respecto a la señal de el elemento A2 por  $\theta$ , como se indica en la figura. La señal total recibida es el vector suma de cada señal.

$$E_a = E_a(\varphi) = 2 \cdot E_0 \cdot \cos(\theta / 2) = 2E_0 \cdot \cos[(2\pi / \lambda) \cdot D \cdot \sin \varphi]$$

Esto también es la expresión para el patrón de radiación de dos antenas isotropicas separadas por una distancia de  $2D$  alimentadas con igual amplitud de fase. Para simplificar el  $E_0$  es igual a uno cuando se dibuja el patrón.

Para un arreglo con elementos de antena donde cada uno de los elementos tienen un patrón de radiación  $E_e(\varphi)$ , el patrón total ser:

$$E_{tot}(\varphi) = E_{element}(\varphi) \cdot E_{array}(\varphi)$$

$$E_{tot}(\varphi) = 2E_0 E_{element}(\varphi) \cos[(2\pi / \lambda) D \sin \varphi]$$

Si las dos elementos de antena isotropica están situados a  $180^\circ$  fuera de fase, la señal total recibida tendrá concordancia con la Fig. 3.10.

$$E_a(\varphi) = 2E_0 \cos[(\pi / 2 - \theta / 2)] = 2E_0 \sin[(2\pi / \lambda) D \sin \varphi]$$

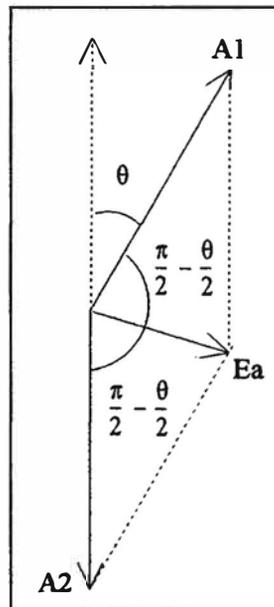


Fig. 3.10 Radiación de dos elementos alimentados  $180^\circ$  fuera de fase.

### Resumen

Dos elementos de antena alimentados en fase ( $0^\circ$ ) estarán separadas por  $2D$

$$E_a = 2E_0 \cos[(2\pi / \lambda) D \sin \varphi]$$

Dos elementos de antena alimentados fuera de fase ( $180^\circ$ ) separadas por  $2D$

$$E_a = 2E_0 \sin[(2\pi / \lambda) D \sin \varphi]$$

### Patrón de radiación

El patrón de radiación de dos antenas alimentadas en fase y  $180^\circ$  fuera de fase está dada en la figura 3.11 para  $d = \lambda$ .

### Arreglo de Múltiples Elementos

Un análisis de un arreglo de antena de más de dos elementos es basado sobre la suposición de los patrones de radiación de cada par de elementos. Para simplificar la expresión, el punto tomado de referencia para las fases es el centro del arreglo.

Un arreglo compuesto de seis elementos de antenas isotropicas simétricamente arregladas alrededor del centro 0, es mostrado en la Fig. 3.12.

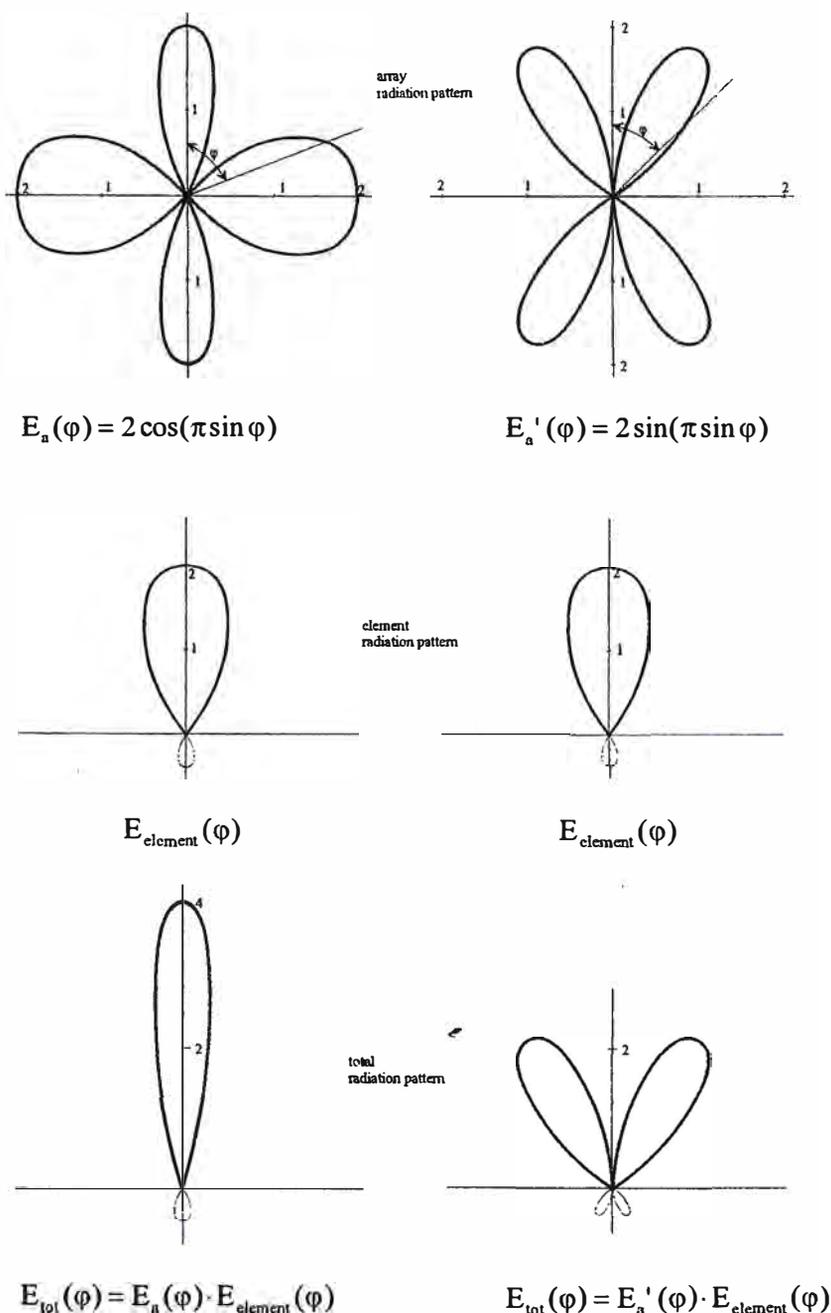


Fig. 3.11 Patrón de radiación de dos elementos de antena separada  $d = \lambda$ , a la izquierda, en fase y a la derecha  $180^\circ$  fuera de fase.

Como referencia de la radiación de un elemento a  $0^\circ$ , la fase de la radiación desde el tercer elemento a la izquierda de O está retardado y la fase de la radiación desde el elemento en la derecha está en adelanto.

Para la Fig. 3.12, el total de radiación desde los seis elementos es:

$$E_a(\varphi) = 2 \cdot A_1 \cdot \cos[k \cdot d_1 \cdot \sin \varphi] + 2 \cdot A_2 \cdot \cos[k \cdot d_2 \cdot \sin \varphi] + 2 \cdot A_3 \cdot \cos[k \cdot d_3 \cdot \sin \varphi]$$

$$= \sum_{(1,3)} 2 \cdot A_n \cdot \cos[k \cdot d_n \cdot \sin \varphi]$$

Como para dos elementos se alimenta  $180^\circ$  fuera de fase, el total de radiación para el ángulo de observación  $\varphi$  deberá ser:

$$E_a(\varphi) = 2 \cdot A_1 \cdot \sin[k \cdot d_1 \cdot \sin \varphi] + 2 \cdot A_2 \cdot \sin[k \cdot d_2 \cdot \sin \varphi] + 2 \cdot A_3 \cdot \sin[k \cdot d_3 \cdot \sin \varphi]$$

$$= \sum_{(1,3)} 2 \cdot A_n \cdot \sin[k \cdot d_n \cdot \sin \varphi]$$

Para la antena de elementos isotropicos, el total del patrón de radiación deberá de incluir el modelo de los elementos de la antena,  $E_e(\varphi)$ .

Por lo tanto, el modelo:  $E_{\text{tot}}(\varphi) = E_e(\varphi) \cdot E_a(\varphi)$ .

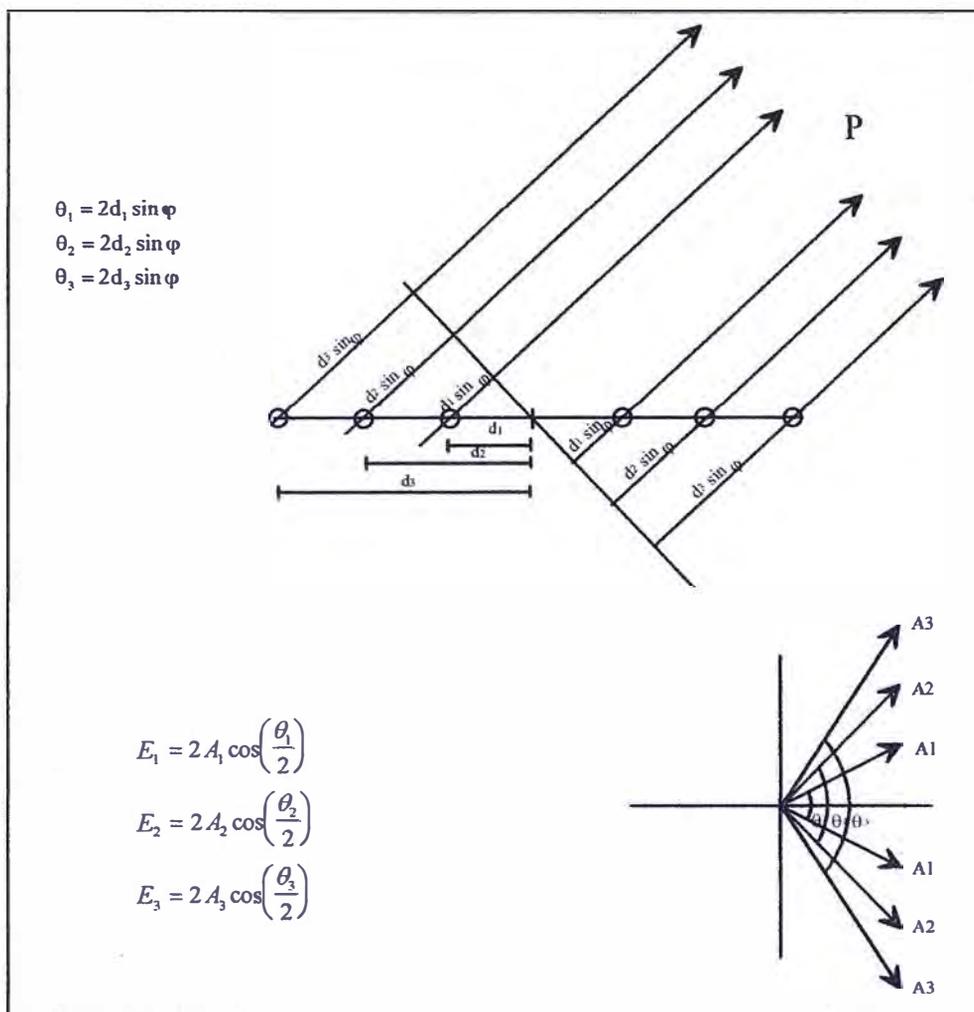


Fig. 3.12 Arreglo de antena de seis elementos alimentados en fase y vectores de radiación asociados.

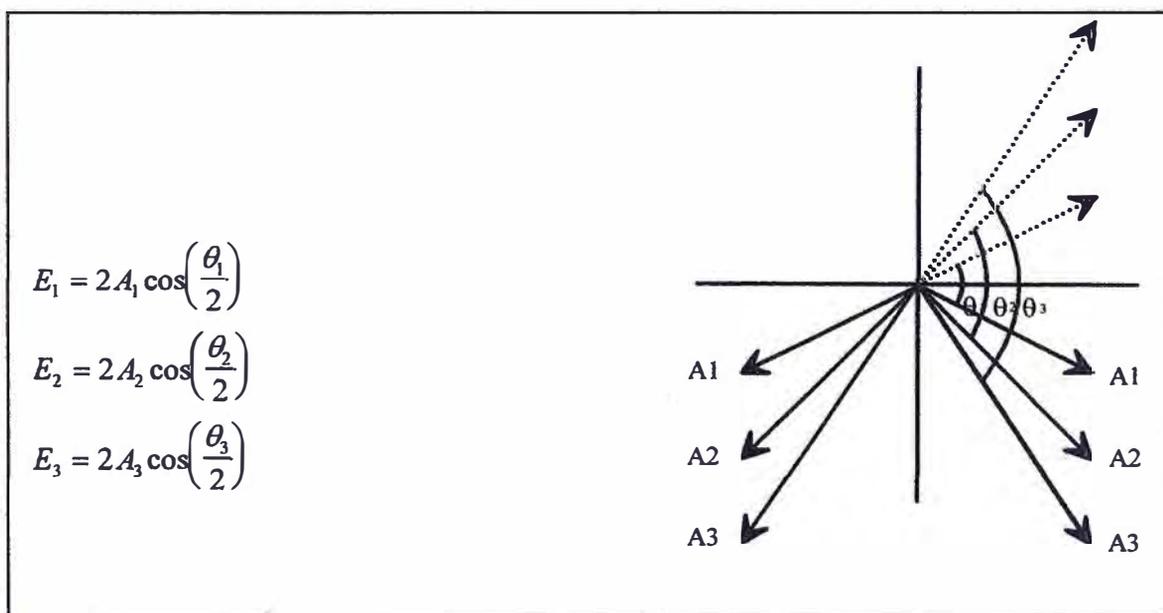


Figura 3.13 Los vectores de radiación para un arreglo de antena de seis elementos con tres elementos alimentados  $180^\circ$  fuera de fase.



**ANEXO B**  
**RECEPTOR PORTÁTIL ILS PIR**  
**MODELO 7010**

## RECEPTOR PORTÁTIL ILS PIR MODELO 7010

El Receptor Portátil ILS (PIR) Modelo 7010 para pruebas, ha sido diseñado para realizar mediciones en tierra de los sistemas de aterrizaje por instrumentos (ILS), radiobalizas o las señales de un Radiofaro Omnidireccional de Muy alta frecuencia (VOR), es un instrumento calibrado y certificado que permite verificar que las señales irradiadas cumplan con las recomendaciones del Anexo 10 Volumen I, para instalaciones de Categorías de actuación I, II y III.

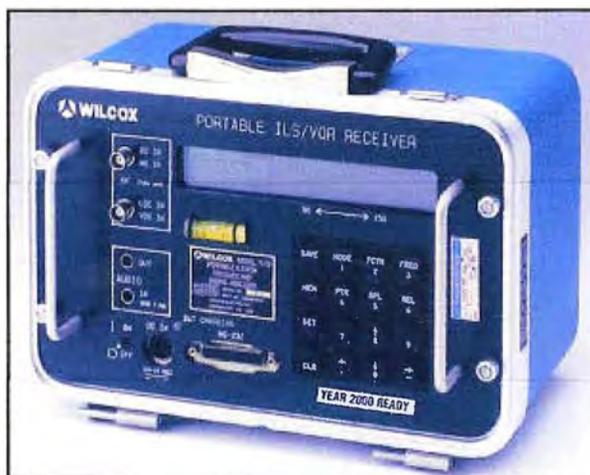


Fig. 1 Receptor PIR 7010 WILCOX

### Uso del PIR

- a) Cuando un sistema de ayuda a la navegación se instala o después de un mantenimiento correctivo de un equipo, el PIR establece los parámetros iniciales del sistema con la suficiente precisión para asegurar una inspección en vuelo exitosa.
- b) Inmediatamente después de un chequeo de vuelo con éxito, el PIR se establecen los valores nominales de las lecturas de campo, contra los cuales las futuras mediciones en tierra se comparan.
- c) Realizar mediciones periódicas con el PIR, y las medidas de los parámetros del sistema que se comparan con los valores nominales registrados después de la inspección en vuelo para asegurar que los parámetros del sistema no han cambiado más allá de los límites establecidos.
- d) El PIR se utiliza durante las actividades de mantenimiento correctivo, para aislar el equipo fallas y reparación de equipos.

### Funciones principales del PIR: un resumen

- a) Medir la diferencia en la profundidad de la modulación en DDM o en micro-amperios.
- b) Medir profundidades de modulación (MOD%) de los componentes individuales de acuerdo a las normas internacionales.
- c) Medir la suma de las profundidades de modulación (SDM) de la señal de ILS.
- d) Medir la intensidad del campo RF absoluta o relativa.
- e) Establecer el error de la frecuencia del transmisor comparada con la frecuencia programada.
- f) Medir las frecuencias de audio de los componentes individuales de la señal.
- g) Medida de DDM. (MOD%) y SDM desde un audio externo detectado ILS fuente.
- h) Proporcionar detectado señales de audio a un equipo externo (ejem. auriculares).
- i) Medida de la distorsión armónica total de la frecuencia ILS 90 / 150 Hz.

- j) Realiza el análisis espectral de los componentes de frecuencia ILS 90 / 150 Hz.
- k) Almacena hasta 100 mediciones (una marca de tiempo) y proporciona un medio para recuperar las mediciones almacenadas hacia una impresora o computadora personal (PC) a través de un puerto RS 232.
- l) Medidas de parámetros de la señal de identificación.
- m) Medidas de parámetros VOR como el azimut y la relación de la desviación.



Fig. 4.2 Mediciones de campo de un Localizador con el PIR

(Información recopilada por internet  
<http://www.thalesatminc.com/WinWin/Images/PIRbrochure.pdf>)

**ANEXO C**  
**EXTRACTO APLICABLE A LOS SISTEMAS ILS ANEXO 10**

DOCUMENTO OACI ANEXO 10, AL CONVENIO SOBRE AVIACIÓN CIVIL  
INTERNACIONAL, TELECOMUNICACIONES AERONÁUTICAS - VOLUMEN I -  
RADIOAYUDAS PARA LA NAVEGACIÓN

**CAPÍTULO 3. ESPECIFICACIONES RELATIVAS A LAS RADIOAYUDAS PARA LA  
NAVEGACIÓN**

*Nota.— En el Anexo 14, Capítulo 8, se indican las especificaciones relativas a la construcción y el emplazamiento de las instalaciones terrestres, a fin de reducir al mínimo el peligro para las aeronaves.*

**3.1 Especificación para el ILS**

**3.1.1 Definiciones**

**Ángulo de trayectoria de planeo ILS.** El ángulo que forma con la horizontal la recta que representa la trayectoria de planeo media.

**Continuidad de servicio del ILS.** Propiedad relacionada con la escasa frecuencia de interrupciones de la señal radiada. El nivel de continuidad de servicio del localizador o de la trayectoria de planeo se expresa en función de la probabilidad de que no se pierdan las señales de guía radiadas.

**DDM — Diferencias de profundidad de modulación.** Porcentaje de profundidad de modulación de la señal mayor, menos el porcentaje de profundidad de modulación de la señal menor, dividido por 100.

**Eje de rumbo.** En todo plano horizontal, el lugar geométrico de los puntos más próximos al eje de la pista en los que la DDM es cero.

**Instalación ILS de Categoría de actuación I.** Un ILS que proporciona información de guía desde el límite de cobertura del ILS hasta el punto en que el eje de rumbo del localizador corta la trayectoria ILS de planeo a una altura de 60 m (200ft), o menos, por encima del plano horizontal que contiene el umbral.

*Nota.— Esta definición no tiene por finalidad impedir la utilización del ILS para la Categoría de actuación I por debajo de la altura de 60 m (200 ft) con referencia visual, cuando la calidad de la orientación facilitada lo permita y cuando se hayan establecido procedimientos operativos satisfactorios.*

**Instalación ILS de Categoría de actuación II.** Un ILS que proporciona información de guía desde el límite de cobertura del ILS hasta el punto en el que el eje de rumbo del localizador corta la trayectoria ILS de planeo a una altura de 15 m (50 ft), o menos, por encima del plano horizontal que contiene el umbral.

**Instalación ILS de Categoría de actuación III.** Un ILS que con la ayuda de equipo auxiliar cuando sea necesario, proporcione información de guía desde el límite de cobertura de la instalación hasta la superficie de la pista, y a lo largo de la misma.

**Integridad del ILS.** La calidad referente a la seguridad que ofrece la precisión de la información suministrada por la instalación.

El nivel de integridad del localizador o de la trayectoria de planeo se expresa en función de la probabilidad de que no se radien señales de guía falsas.

**Punto "A" del ILS.** Punto de la trayectoria de planeo situado a 7,5 km (4 NM) del umbral, medido sobre la prolongación del eje de la pista en la dirección de la aproximación.

**Punto "B" del ILS.** Punto de la trayectoria de planeo situado a 1 050 m (3 500 ft) del umbral, medidos sobre la prolongación del eje de la pista en la dirección de la aproximación.

**Punto "C" del ILS.** Punto por el que la parte recta descendente de la prolongación de la trayectoria nominal de planeo nominal pasa a la altura de 30 m (100 ft) sobre el plano horizontal que contiene el umbral.

**Punto "D" del ILS.** Punto situado a 4 m (12 ft) sobre el eje de la pista y que dista 900 m (3 000 ft) del umbral en la dirección del localizador.

**Punto "E" del ILS.** Punto situado a 4 m (12 ft) sobre el eje de la pista y que dista 600 m (2 000 ft) del extremo de parada de la pista en la dirección del umbral.

*Nota.*— Véase el Adjunto C, Figura C-1.

**Referencia ILS (Punto "T").** Punto situado a una altura especificada, sobre la intersección del eje de la pista con el umbral, por el cual pasa la prolongación rectilínea hacia abajo de la trayectoria de planeo ILS.

**Sector de rumbo.** Sector en un plano horizontal que contiene el eje de rumbo, limitado por los lugares geométricos de los puntos más cercanos al eje de rumbo en los que la DDM es 0,155.

**Sector de rumbo frontal.** El sector de rumbo situado al mismo lado del localizador que la pista.

**Sector de rumbo posterior.** El sector de rumbo situado en el lado opuesto del localizador respecto a la pista.

**Sector de trayectoria de planeo ILS.** Sector situado en el plano vertical que contiene la trayectoria de planeo ILS y limitado por el lugar geométrico de los puntos más cercanos a la trayectoria de planeo en los que la DDM es 0,175.

*Nota.*— El sector de trayectoria de planeo ILS está situado en el plano vertical que contiene el eje de la pista y está dividido por la trayectoria de planeo radiada en dos partes denominadas sector superior y sector inferior, que son, respectivamente, los sectores que quedan por encima y por debajo de la trayectoria de planeo.

**Semisector de rumbo.** Sector situado en un plano horizontal que contiene el eje de rumbo y limitado por el lugar geométrico de los puntos más cercanos al eje de rumbo en los que la DDM es 0,0775.

**Semisector de trayectoria de planeo ILS.** Sector situado en el plano vertical que contiene la trayectoria de planeo ILS y limitado por el lugar geométrico de los puntos más cercanos a la trayectoria de planeo en los que la DDM es 0,0875.

**Sensibilidad de desplazamiento angular.** La proporción de la DDM medida hasta el desplazamiento angular correspondiente, a partir de la línea de referencia apropiada.

**Sensibilidad de desplazamiento (localizador).** La proporción de la DDM medida hasta el desplazamiento lateral correspondiente, a partir de la línea de referencia apropiada.

**Sistema de trayectoria de planeo de doble frecuencia.** Sistema de trayectoria de planeo ILS en el que se logra la cobertura mediante la utilización de dos diagramas de radiación independientes espaciados en frecuencias de portadora separadas dentro del canal de trayectoria de planeo de que se trate.

**Sistema localizador de doble frecuencia.** Sistema localizador en el que se logra la cobertura mediante la utilización de dos diagramas de radiación independientes espaciados en frecuencias de portadora separadas dentro del canal VHF del localizador de que se trate.

**Trayectoria de planeo ILS.** Aquél de los lugares geométricos de los puntos situados en el plano vertical que contiene el eje de la pista en que la DDM es cero, que está más cerca del plano horizontal.

### 3.1.2 Requisitos básicos

3.1.2.1 El ILS constará de los elementos esenciales siguientes:

- a) equipo localizador VHF, con su sistema monitor correspondiente, y equipo de telemando e indicador;
- b) equipo UHF de trayectoria de planeo, con el sistema monitor correspondiente, y equipo de telemando e indicador;
- c) radiobalizas VHF, o equipo radiotelemétrico (DME) conforme a la sección 3.5, con el sistema monitor correspondiente y equipo de telemando e indicador.

*Nota.*— El Adjunto C, 2.11, contiene el texto de orientación sobre el uso de DME como alternativa al componente de radiobalizas del ILS.

3.1.2.1.1 Las instalaciones ILS de las Categorías de actuación I, II y III proporcionarán indicaciones en puntos de mando a distancia designados sobre el estado de funcionamiento de todos los componentes del sistema ILS en tierra, como sigue:

- a) para todos los ILS de Categoría II y Categoría III, la dependencia de los servicios de

tránsito aéreo que intervenga en el control de la aeronave en la aproximación final constituirá uno de los puntos remotos de control designados y recibirá información sobre el estado operacional de los ILS, con una demora que corresponda a los requisitos del ambiente operacional; y

b) para un ILS de Categoría I, si éste proporciona un servicio de radionavegación esencial, la dependencia de servicios de tránsito aéreo que participa en el control de la aeronave en la aproximación final constituirá uno de los puntos remotos de control designados y recibirá información sobre el estado operacional de los ILS, con una demora que corresponda a los requisitos del ambiente operacional.

*Nota 1.— Las indicaciones que exige esta norma tienen la intención de servir de herramienta para apoyar las funciones de gestión del tránsito aéreo y, por lo tanto, se satisfacen los requisitos de suministro oportuno aplicables (de conformidad con 2.8.1).*

*Los requisitos de suministro oportuno que se aplican a las funciones de vigilancia de la integridad de los ILS que protegen a las aeronaves de un mal funcionamiento de los ILS se especifican en 3.1.3.11.3.1 y 3.1.5.7.3.1.*

*Nota 2.— Es probable que el sistema de tránsito aéreo requiera disposiciones adicionales que pueden considerarse esenciales para lograr plena capacidad de Categoría III, por ejemplo, para proporcionar guía lateral y longitudinal adicional durante el recorrido de aterrizaje y el rodaje y para garantizar mejor integridad y fiabilidad del sistema.*

3.1.2.2 El ILS se construirá y ajustará de tal manera que a una distancia especificada del umbral, indicaciones idénticas de los instrumentos que lleven las aeronaves representen desplazamientos similares respecto al eje de rumbo o trayectoria de planeo ILS, según sea el caso, y cualquiera que sea la instalación terrestre que se use.

3.1.2.3 Los componentes de localizador y de trayectoria de planeo especificados en 3.1.2.1 a) y b) que forman parte del

ILS — Categoría de actuación I, se ajustarán por lo menos a las normas de 3.1.3 y 3.1.5 respectivamente, excepto aquéllas en que se prescribe la aplicación al ILS — Categoría de actuación II.

3.1.2.4 Los componentes de localizador y trayectoria de planeo especificados en 3.1.2.1 a) y b) que forman parte de un

ILS — Categoría de actuación II se ajustarán a las normas aplicables a estos componentes en un ILS — Categoría de actuación I, complementadas o enmendadas por las normas de 3.1.3 y 3.1.5 en que se prescribe aplicación al ILS — Categoría de actuación II.

3.1.2.5 Los componentes de localizador y de trayectoria de planeo, así como todo otro equipo auxiliar especificado en 3.1.2.1.1, que forman parte de una instalación ILS de Categoría de actuación III se ajustarán, fuera de eso, a las normas aplicables a estos componentes en instalaciones ILS de Categorías de actuación I y II, excepto en lo que resulten complementadas por las normas de 3.1.3 y 3.1.5, en que se prescribe la aplicación a instalaciones ILS de la Categoría de actuación III.

3.1.2.6 Para garantizar un nivel de seguridad adecuado, el ILS debería proyectarse y mantenerse de modo que la probabilidad de funcionamiento dentro de los requisitos de actuación especificados sea elevada, compatible con la categoría de actuación operacional, interesada.

*Nota.— Las especificaciones relativas a instalaciones ILS de las Categorías de actuación II y III tienen por objeto lograr el más elevado grado de integridad, confiabilidad y estabilidad de funcionamiento del sistema, en las condiciones ambientales más adversas que se encuentren. En 2.8 del Adjunto C figura texto de orientación de este objetivo en las operaciones de las Categorías II y III.*

3.1.2.7 En aquellos lugares en los que haya dos instalaciones ILS separadas que sirvan a los extremos opuestos de una pista única, un acoplamiento apropiado garantizará que sólo radie el localizador que se utiliza para la dirección de aproximación, excepto cuando el localizador utilizado para las operaciones es una instalación ILS de Categoría de actuación I y no se produzca ninguna interferencia perjudicial para las operaciones.

**3.1.2.7.1 Recomendación.**— *En los lugares en los que haya dos instalaciones ILS separadas que sirven a los extremos opuestos de una misma pista y en los cuales se utilice una instalación ILS de Categoría de actuación I para las aproximaciones y aterrizajes automáticos en condiciones visuales, un sistema de bloqueo debería garantizar que solamente pueda radiar el localizador que se utiliza para el sentido de aproximación, a no ser que sea necesario el uso simultáneo del otro localizador.*

*Nota.*— *Si ambos localizadores están radiando, existe la posibilidad de interferencia con las señales del localizador en la región del umbral. En el Adjunto C, 2.1.9 y 2.13, figura un texto de orientación complementario.*

**3.1.2.7.2** En los lugares en los que las instalaciones ILS que sirven a los extremos opuestos de una misma pista o a distintas pistas del mismo aeropuerto utilicen las mismas frecuencias asociadas por pares, un sistema de bloqueo asegurará que solamente una instalación radie en cada instante. Cuando se conmute de una instalación ILS a otra, se suprimirá la radiación de ambas por un tiempo no inferior a 20 s.

*Nota.*— *El texto adicional de orientación sobre la operación de localizadores en el mismo canal de frecuencias se halla contenido en 2.1.9 del Adjunto C y en el Volumen V, Capítulo 4.*

### **3.1.3 Localizador VHF y monitor correspondiente**

*Introducción.* Las especificaciones en esta sección se refieren a los localizadores ILS que proporcionan información positiva de guía en los 360° de azimut, o que proporcionan dicha guía solamente dentro de una parte especificada de la cobertura frontal (véase 3.1.3.7.4). Cuando se instalan localizadores ILS que proporcionan información positiva de guía en un sector limitado, se necesitará, por regla general, información de alguna radioayuda para la navegación, adecuadamente emplazada, junto con los procedimientos apropiados, a fin de garantizar que toda información de guía equívoca dada por el sistema fuera del sector, no sea importante desde el punto de vista de las operaciones.

#### **3.1.3.1 Generalidades**

**3.1.3.1.1** La radiación del sistema de antenas del localizador producirá un diagrama de campo compuesto, modulado en amplitud por un tono de 90 Hz y otro de 150 Hz. El diagrama de campo de radiación producirá un sector de rumbo con un tono predominando en un lado del rumbo y el otro tono predominando en el lado opuesto.

**3.1.3.1.2** Cuando un observador mire hacia el localizador desde el extremo de aproximación de la pista, predominará, a su derecha, la profundidad de modulación de la radiofrecuencia portadora debida al tono de 150 Hz, y la debida al tono de 90 Hz predominará a su izquierda.

**3.1.3.1.3** Todos los ángulos horizontales que se empleen para determinar los diagramas de campo del localizador tendrán su origen en el centro del sistema de antenas del localizador que proporciona las señales utilizadas en el sector de rumbo frontal.

#### **3.1.3.2 Radiofrecuencia**

**3.1.3.2.1** El localizador trabajará en la banda de 108 a 111,975 MHz. Cuando se use una sola radiofrecuencia portadora, la tolerancia de frecuencia no excederá de  $\pm 0,005\%$ . Cuando se usen dos radiofrecuencias portadoras la tolerancia de frecuencia no excederá de  $0,002\%$  y la banda nominal ocupada por las portadoras será simétrica respecto a la frecuencia asignada. Con todas las tolerancias aplicadas, la separación de frecuencia no será menor de 5 kHz ni mayor de 14 kHz.

**3.1.3.2.2** La emisión del localizador se polarizará horizontalmente. La componente de la radiación polarizada verticalmente no excederá de la que corresponde a un error de DDM de 0,016, cuando una aeronave esté en el eje de rumbo y su actitud en cuanto a inclinación lateral sea de 20° respecto a la horizontal.

**3.1.3.2.2.1** Respecto a los localizadores de las instalaciones de Categoría de actuación II, la componente de la radiación polarizada verticalmente no excederá de la que corresponde a un error de DDM de 0,008, cuando una aeronave esté en el eje de rumbo y su actitud en cuanto a inclinación lateral sea de 20° respecto a la horizontal.

**3.1.3.2.2.2** Para los localizadores de las instalaciones de la Categoría de actuación III, la

componente verticalmente polarizada de la radiación dentro de un sector limitado por una DDM de 0,02 a cada lado del eje de rumbo, no excederá de la que corresponde a un error de DDM de 0,005 cuando la aeronave se encuentra en una actitud de 20° de inclinación lateral respecto a la horizontal.

3.1.3.2.3 Para localizadores de las instalaciones de la Categoría de actuación III las señales producidas por el transmisor no contendrán ninguna componente que resulte en una aparente fluctuación del eje de rumbo de más de una DDM de 0,005, de cresta a cresta, en la banda de frecuencia de 0,01 a 10 Hz.

#### 3.1.3.3 Cobertura

3.1.3.3.1 El localizador proporcionará señales suficientes para permitir un funcionamiento satisfactorio de una instalación típica de abordaje, dentro de los sectores de cobertura del localizador y de la trayectoria de planeo. El sector de cobertura del localizador se extenderá desde el centro del sistema de antena del localizador hasta distancias de:

46,3 km (25 NM) dentro de  $\pm 10^\circ$  respecto al eje de rumbo frontal;

31,5 km (17 NM) entre  $10^\circ$  y  $35^\circ$  respecto al eje de rumbo frontal;

18,5 km (10 NM) fuera de los  $\pm 35^\circ$  si se proporciona cobertura; si bien, cuando lo dicten las características topográficas o lo permitan los requisitos operacionales, las limitaciones pueden reducirse a 33,3 km (18 NM) dentro de un sector de  $\pm 10^\circ$  y 18,5 km (10 NM) dentro del resto de la cobertura, cuando otras instalaciones de navegación proporcionen cobertura satisfactoria dentro del área de aproximación intermedia. Las señales del localizador se recibirán a las distancias especificadas y a una altura igual o superior a 600 m (2 000 ft) por encima de la elevación del umbral, o de 300 m (1 000 ft) por encima de la elevación del punto más alto dentro de las áreas de aproximación intermedia y final, de ellos el valor que resulte más elevado. Tales señales podrán recibirse hasta las distancias especificadas, hasta una superficie que se extienda hacia afuera desde la antena del localizador y tenga una inclinación de  $7^\circ$  por encima del plano horizontal.

*Nota.— Los textos de orientación sobre cobertura del localizador figuran en el Adjunto C, 2.1.11.*

3.1.3.3.2 En todos los puntos del volumen de cobertura especificado en 3.1.3.3.1, salvo lo estipulado en 3.1.3.3.2.1, 3.1.3.3.2.2 y 3.1.3.3.2.3, la intensidad de campo no será inferior a  $40\mu\text{V/m}$  ( $-114\text{ dBW/m}^2$ ).

*Nota.— Esta intensidad mínima de campo es necesaria para permitir una utilización operacional satisfactoria de las instalaciones de localizador del ILS.*

3.1.3.3.2.1 En el caso de localizadores de las instalaciones de la Categoría de actuación I, la intensidad de campo mínima en la trayectoria de planeo del ILS y dentro del sector de rumbo del localizador no será inferior a  $90\mu\text{V/m}$  ( $-107\text{ dBW/m}^2$ ) a partir de una distancia de 18,5 km (10 NM) hasta una altura de 60 m (200 ft) por encima del plano horizontal que contenga el umbral.

3.1.3.3.2.2 En el caso de localizadores de las instalaciones de la Categoría de actuación II, la intensidad de campo mínima en la trayectoria de planeo del ILS y dentro del sector de rumbo del localizador, no será inferior a  $100\mu\text{V/m}$  ( $-106\text{ dBW/m}^2$ ) a una distancia de 18,5 km (10 NM), aumentando para alcanzar un valor por lo menos igual a  $200\mu\text{V/m}$  ( $-100\text{ dBW/m}^2$ ) a una altura de 15 m (50 ft) por encima del plano horizontal que contenga el umbral.

3.1.3.3.2.3 En el caso de localizadores de las instalaciones de la Categoría de actuación III, la intensidad de campo mínima en la trayectoria de planeo del ILS y dentro del sector de rumbo del localizador, no será inferior a  $100\mu\text{V/m}$  ( $-106\text{ dBW/m}^2$ ) a una distancia de 18,5 km (10 NM), aumentando para alcanzar un valor por lo menos igual a  $200\mu\text{V/m}$  ( $-100\text{ dBW/m}^2$ ) a una altura de 6 m (20 ft) por encima del plano horizontal que contenga el umbral. A partir de este punto y hasta otro punto situado a 4 m (12 ft) por encima del eje de la pista y a 300 m (1 000 ft) del umbral en la dirección del localizador, y a partir de allí a una altura de 4 m (12 ft) a lo largo de la pista en la dirección del localizador, la intensidad de campo no deberá ser inferior a  $100\mu\text{V/m}$  ( $-106\text{ dBW/m}^2$ ).

*Nota.— Las intensidades de campo indicadas en 3.1.3.3.2.2, y 3.1.3.3.2.3, son*

*necesarias para asegurar la relación señal/ruido exigida para obtener una mejor integridad.*

**3.1.3.3.3 Recomendación.**— *Por encima de 7° las señales deberían reducirse al valor más bajo posible.*

*Nota 1.— Los requisitos de 3.1.3.3.1, 3.1.3.3.2.1, 3.1.3.3.2.2 y 3.1.3.3.2.3 se basan en la suposición de que la aeronave se dirige directamente hacia la instalación.*

*Nota 2.— En el Adjunto C, 2.2.2 y 2.2.4, se da orientación sobre los parámetros importantes del receptor de a bordo pertinentes a los localizadores.*

**3.1.3.3.4** Cuando la cobertura se logre mediante un localizador que usa dos portadoras, proporcionando una portadora

un diagrama de radiación en el sector de rumbo frontal y la otra un diagrama de radiación fuera de dicho sector, la relación de las intensidades de señal de las dos portadoras en el espacio dentro del sector de rumbo frontal hasta los límites de cobertura especificados en 3.1.3.3.1, no será menor de 10 dB.

*Nota.— En la Nota que sigue a 3.1.3.11.2 y en 2.7 del Adjunto C figuran sendos textos de orientación sobre localizadores que consiguen cobertura con dos portadoras.*

**3.1.3.3.5 Recomendación.**— *Para los localizadores de instalaciones de Categoría de actuación III, la relación de las intensidades de señal de las dos portadoras en el espacio dentro del sector de rumbo frontal, no debería ser inferior a 16 dB.*

## ACRONIMOS

CAT I	Categoría de operación del sistema de aterrizaje por instrumento I.
CAT II	Categoría de operación del sistema de aterrizaje por instrumento II.
CAT III	Categoría de operación del sistema de aterrizaje por instrumento III.
CSB	Portadora con banda lateral.
CSB	Carrier Side Band – Portadora y bandas laterales
CSB CLR	Portadora con banda lateral de cobertura lateral ( Clearance)
CSB CUR	Portadora más banda lateral correspondiente al curso
D/A	Digital /Análogo
DDM	Diferencia de profundidad de modulación.
DDS	Direct digital synthesis. - Síntesis digital directa.
DME	Distance Measuring Equipment - Equipo medidor de distancia
DME-T	Equipo medidor de distancia terminal.
EPLD	Dispositivo de lógica programable eléctricamente.
EPROM	Erasable Programmable Read Only Memory - ROM programable borrable.
GS	Glide Slope-Trayectoria de planeo.
ILS	Instrumental Landing System- Sistema de aterrizaje por instrumentos.
LCSU	Local Control Status Unit – Unidad de estado y control local.
LED	Diodo emisor de luz-
LOC	Localizador.
LPD	Log periodic Dipole – dipolo logarítmico periódico.
NDB	Non Direccional Beacom – Radiofaro no direccional.
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
PLL	Phase-locked loop – Circuito de enganche de fase.
PMDT	Terminal de mantenimiento portátil.
PPS	Pares de impulso por segundo.
PRF	Frecuencia de repetición de impulsos.(
SBO	Banda lateral con portadora suprimida.
SBO CLR	Señal de la banda lateral de la cobertura lateral.
SBO CUR	Señal de modulación de la banda lateral del curso.
SDM	Suma de profundidades de modulación.
UNOPS	Oficina de Servicios para Proyectos de Naciones Unidas.

VOR      Very high frequency omnidirectional range - Radiofaro omnidireccional de muy alta frecuencia.

## BIBLIOGRAFIA

- [ 1] SISTEMAS Y EQUIPOS PARA LA NAVEGACION Y CIRCULACION AEREA. Autor Francisco Javier Sáez Nieto y Miguel Angel Salamanca Bueno.\_Madrid : UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID. DEPARTAMENTO DE INFRAESTRUCTURA SISTEMAS AEROESPACIALES Y AEROPUERTOS, 1995
- [2]. ANEXO 10 PARTE I “TELECOMUNICACIONES AERONÁUTICAS - VOLUMEN I – RADIOAYUDAS PARA LA NAVEGACIÓN”. Documento OACI.
- [ 3] 8071 PARTE I MANUAL ON TESTING OF RADIO NAVIGATION AIDS VOLUME I TESTING OF GROUND-BASED RADIO NAVIGATION SYSTEMS. Documento OACI
- [ 4] “ 6750 SITING CRITERIA FOR INSTRUMENTAL LANDING SYSTEM “ Documento FAA
- [ 5] MANUAL DE EQUIPO LOCALIZADOR MARK 20A
- [ 6] MANUAL DE EQUIPO TRAYECTORIA DE PLANEEO MARK 20A
- [ 7] MANUAL DE EQUIPO DME 415
- [ 8] DISEÑO DE DIVISORES/COMBINADORES DE POTENCIA WILKINSON USANDO ELEMENTOS DISCRETOS. Autor Pedro J. González, Fernando Noriega\*, Esteban Chaves\*, Francisco Gutiérrez - ACORDE S.A. \*Departamento de Ingeniería de Comunicaciones - Centro de Desarrollo Tecnológico, Santander Universidad de Cantabria
- [ 9] TRANSMISIÓN DE LA INFORMACIÓN MODULACIÓN Y RUIDO. Autor Mischa Schwartz Segunda Edición Editorial Hispano Americana.
- [10] EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL Y SUS APLICACIONES Autor J.C. Marchais. Editoria Marcombo S.A. de Boixareu Editores.
- [11] IC OP-AMP Autor Walter G. Jung First Edition - 1978 Editorial Howard W. Sams & \_Co. Inc.
- [12] CIRCUIT DESIGN FOR ELECTRONIC INSTRUMENTATION ANALOG AND DIGITAL DEVICES FROM SENSOR TO DISPLAY. Autor Darold Wobschall.
- [13] CAMPOS Y ONDAS APLICACION A LAS COMUNICACIONES ELELCTRONICAS. Autor Somon Ramo, John R. Whinnery. Theodore Van Duzer. Editorial Ediciones Piramide S: A. – Madrid.
- [14] CIRCUITOS DE PULSOS DIGITALES Y DE CONMUTACION. Autor Jacob Millman - Herbert Taub. Editorial Mc Graw – Hill 1975