

CAPÍTULO 8

SISTEMA DE ATERRISAJE POR INSTRUMENTOS

8.1 GENERALIDADES

El ILS (Instrument Landing System) es un sistema de comparación de amplitud que materializa la trayectoria a seguir mediante la igualdad de dos señales de baja frecuencia (90 Hz y 150 Hz).

La trayectoria de aterrizaje está determinada por :

- Un plano de guiado en dirección (plano vertical que pasa por el eje de la pista).
- Una curva de descenso en el plano precedente (intersección del plano y una superficie de descenso que pasa por el punto de contacto con el suelo).

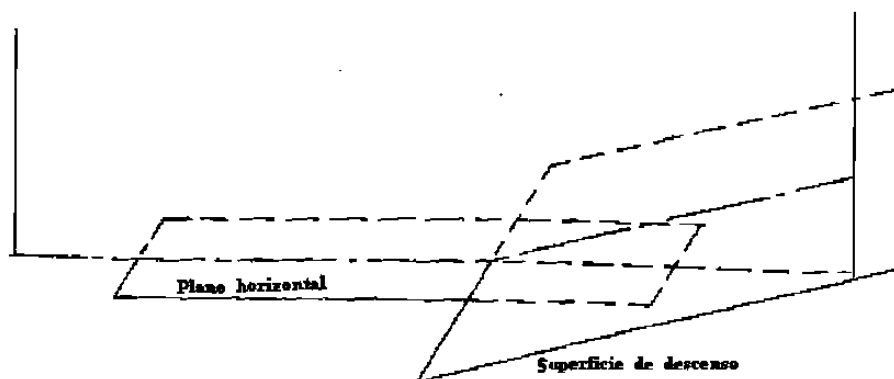


Fig.8.1 Planos del ILS

El sistema ILS comprende tres partes principales :

- una radioalineación de pista ó "Localizador" que asegura el guiado en dirección.
- una radioalineación de descenso o "Senda de descenso" que asegura el guiado según el plano de descenso.
- Unas radiobalizas ó "Markers" que permiten al aparato que se aproxima conocer la distancia que le separa de la entrada de la pista.

8.1.1 DEFINICIÓN DE LAS CATEGORÍAS

Los sistemas ILS están clasificados en tres categorías, según los parámetros característicos de las emisiones ILS, así como los criterios de explotación (éstas prescripciones figuran en el Anexo X de la O.A.C.I. (Organización de la Aviación Civil Internacional).

- Categoría I

Equipo que asegura el guiado desde el límite de cobertura hasta el punto donde la alineación de pista corta a la alineación de descenso a una altura igual ó inferior a 60 metros por encima del plano horizontal que pasa por el umbral de pista.

- Categoría II
La altura del punto mínimo de guiado se reduce a 15 metros.

- Categoría III
El guiado debe estar asegurado hasta la superficie de la pista a lo largo de dicha superficie.

Para cada una de estas tres categorías de explotación, la OACI da :

- Las ondulaciones máximas que pueden presentar las trayectorias de aterrizaje materializadas por el sistema ILS.

- Las tolerancias máximas de variación de los parámetros alrededor de sus valores nominales.

8.1.2 RADIOALINEACIÓN DE PISTA : LOCALIZADOR

Las antenas de emisión del localizador están instaladas a una distancia mínima de 270 metros del extremo de pista (en el lado opuesto al sentido de aterrizaje).

El equipo emite, en polarización horizontal, una señal dentro de la banda de 108 - 112 MHz, modulada por dos frecuencias (90 Hz y 150 Hz) cuyas amplitudes son variables en función del azimut.

Para un avión que se aproxime a la pista en el sentido del aterrizaje el porcentaje de modulación a 90 Hz es más elevado a la izquierda del eje de pista ; por el contrario, el porcentaje de modulación a 150 hz es más elevado a la derecha del eje de pista.

El eje de pista está definido por la igualdad de las dos modulaciones un receptor a bordo del avión, previa detección y amplificación, reproduce las dos componentes. Después de separadas, sus amplitudes relativas son comparadas en un aparato de medida con cero central. La desviación de la aguja del instrumento de medida es proporcional a la diferencia de los dos porcentajes (ó profundidades) de modulación (DDM = Difference Depth Modulation).

Cuando el avión está sobre el eje de la pista, la aguja está en cero, y las profundidades de modulación son iguales entre sí (el valor nominal de cada porcentaje es de 20%). La aguja del instrumento de medida se desvía hacia la derecha ó hacia la izquierda, para desplazamientos correspondientes del avión hacia la izquierda ó hacia la derecha del eje.

La desviación máxima de la aguja a la derecha ó a la izquierda del cero corresponde a una corriente continua de 150 μA , es decir a una DDM de 15.5 % (0.155).

El desplazamiento angular para el cual las desviaciones de la aguja del instrumento son máximas, corresponden a la "apertura del haz" ó sensibilidad de separación. Este desplazamiento corresponde a 0.00145 DDM/m a nivel de la entrada de pista.

Fuera de éste sector, que enmarca la dirección del eje de pista, la DDM debe mantenerse a un nivel superior a 0.155 (bloqueo de la aguja del instrumento de medida de a bordo en un lado ó en el otro).

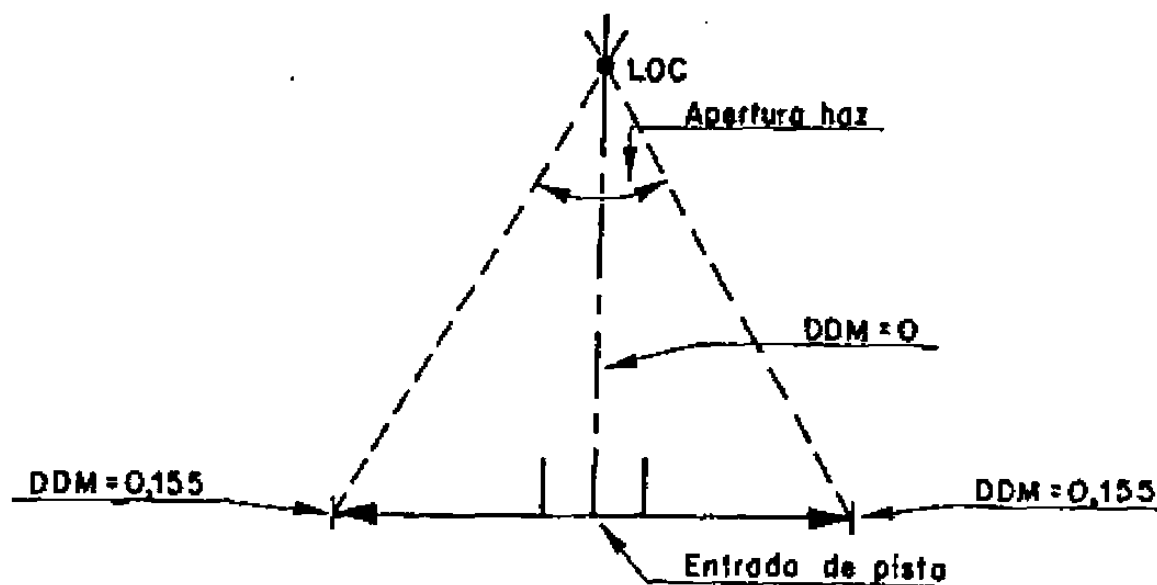


Fig. 8.2 Dirección de eje de pista

8.1.3 RADIOALINEACIÓN DE DESCENSO : SENDA DE DESCENSO

Un equipo distinto del LOCALIZADOR asegura el guiado para el descenso. Emitiendo en la banda de 329 a 335 MHz, está situado en una zona comprendida entre 120 y 150 metros del eje de pista y un poco retrasado con respecto al umbral de la misma.

Igual que para el equipo localizador, el plano de descenso está definido por el equilibrio de dos modulaciones de 90 y 150 Hz.

El porcentaje de modulación a 90 Hz es más elevado por encima del eje de descenso y, el de 150 Hz es más elevado por debajo de dicho eje.

A bordo del avión, el receptor mide la diferencia de los porcentajes de modulación, por medio de un instrumento de medida análogo al del localizador (la aguja se desplaza a una parte

y otra de la horizontal) ; los dos indicadores están reunidos en un solo instrumento con agujas cruzadas.

La desviación máxima de la aguja del indicador se obtiene para una corriente de $150 \mu\text{A}$, correspondiente a una DDM de 17.5 % (0.175) a una parte y otra del eje de descenso.

La abertura del haz es mucho más pequeña que para el localizador : $0.24\theta_0$ de media para una DDM de 0.175 (θ_0 valor del ángulo de descenso).

Fuera de éste sector, la DDM debe mantenerse a un valor superior a 0,175.

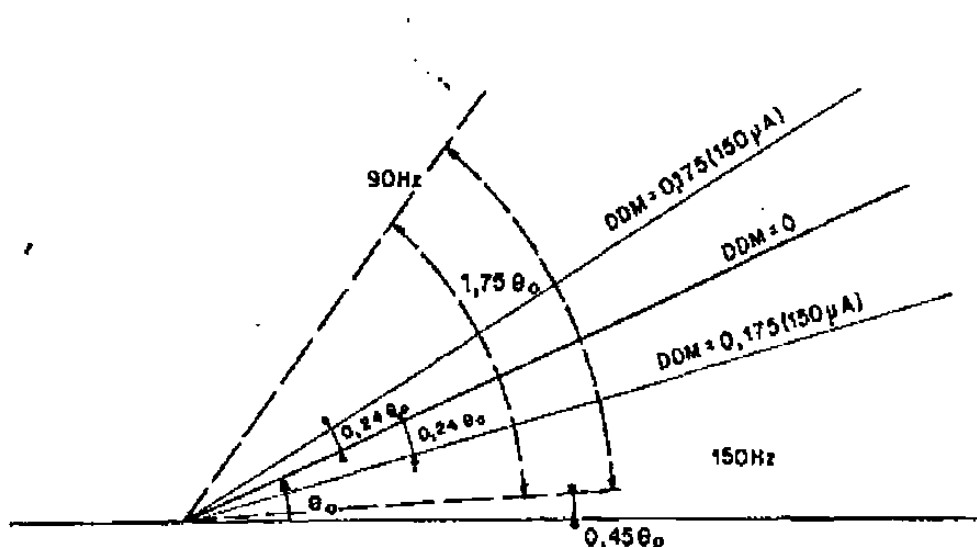


Fig. 8.3 Abertura de haz

8.1.4 RADIOBALIZAS

El sistema ILS se completa con dos ó tres radiobalizas situadas en el eje de aterrizaje y a las distancias siguientes con relación a la entrada de pista :

- baliza interior ó "Inner Marker" entre 300 y 450 metros (facultativa, su existencia depende de los procedimientos locales de aterrizaje).
- baliza intermedia ó "Middle Marker", a 1050 m
- baliza exterior ó "Outer Marker" , a unos 7000 m., aproximadamente.

Estas balizas funcionan en 75 Mhz , emitiendo unos haces verticales estrechos que permiten de esta forma suministrar al piloto una indicación de su distancia con relación a la pista.

No difieren entre ellas más que en las frecuencias de modulación :

400 Hz para la baliza exterior

1300 Hz para la baliza intermedia

3000 Hz para la baliza interior

Y en el ritmo de la manipulación.

A bordo del avión, el piloto dispone de un receptor especial que alimenta tres indicadores luminosos que se encienden a medida que se produce el paso del avión por encima de las balizas. a las que están asociados. En anexo, se dá la descripción detallada de las radiobalizas.

8.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

8.2.1 LOCALIZADOR

8.2.1.1 Equisigñal

El principio del ILS está basado en la radiación de una emisión continua, modulada en amplitud por dos frecuencias diferentes que define una superficie en el espacio mediante la igualdad de los porcentajes de modulación, 90 Hz y 150 Hz.

El método más simple consiste en emitir con dos antenas próximas y colocadas simétricamente con respecto al eje, dos portadoras síncronas y bloqueadas en fase, moduladas una a 90 Hz y la otra a 150 Hz.

Con el nivel relativo y los porcentajes de modulación de las dos emisiones mantenidos constantes, el porcentaje de modulación de la radiación combinada que recibe el avión varía alrededor del eje, y los porcentajes de modulación parciales a 90 Hz y 150 Hz son iguales sobre este eje debido a la igualdad de los campos radiados.

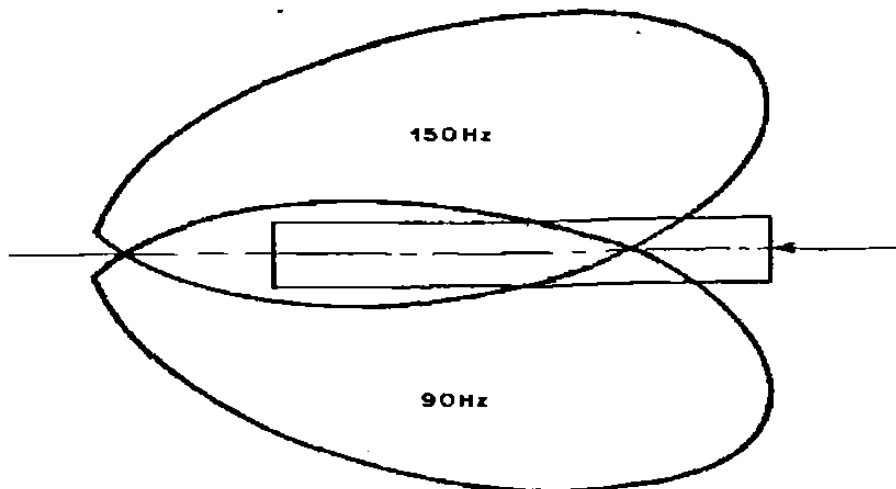


Fig.8.4 Porcentajes de modulación

Este tipo de ILS conocido con el nombre de "equisigñal" presenta ciertos inconvenientes debidos principalmente a la necesidad de tener una estabilidad relativa muy grande de las dos emisiones.

8.2.1.2 Referencia nula

Otro tipo de ILS, denominado "De Referencia Nula", consiste en obtener la igualdad de los porcentajes de modulación, no por la igualdad de los dos campos, sino por la anulación de un diagrama de antena (mayor estabilidad).

Para obtener este resultado se radian dos diagramas. El primero, denominado "par" ó "portadora" radia una emisión modulada con porcentaje igual a 90 Hz y 150 Hz. El segundo diagrama, denominado "bandas laterales" radia las mismas bandas laterales que el primero, sin portadora pero con una fase invertida en una de las frecuencias. Además, este diagrama se llama "impar", es decir que presenta un nulo en el eje, y una oposición de fase HF entre los dos lóbulos emitidos.

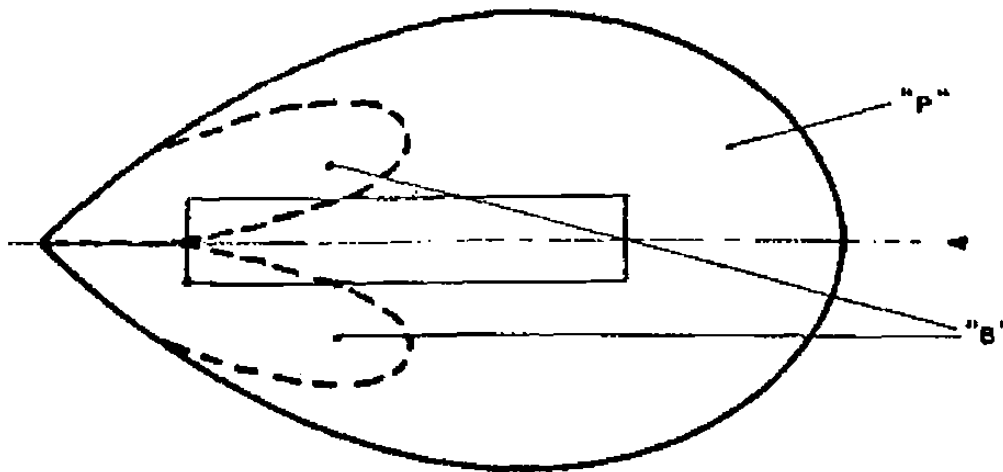


Fig 8.5 Referencia nula

Consideremos los dos diagramas del dibujo : el primero "P", que puede ser el de una antena colocada en el eje de la pista, presenta una ganancia máxima en el eje. Contiene la portadora modulada al 20 % por los 90 Hz y al 20 % por los 150 Hz.

El segundo diagrama "B", que puede obtenerse por la radiación de dos antenas colocadas a cada lado del eje de la pista pero alimentado en oposición de fase, presenta por el contrario una radiación nula a lo largo del eje y dos lóbulos defasados 180° simétricos a un lado y a otro del eje.

No contiene portadora, sino solamente las "bandas laterales" a 90 Hz y 150 Hz de igual amplitud; además, se emiten de tal forma que, a un mismo lado del eje, una se encuentra en fase y la otra defasada 180° sobre las bandas laterales del diagrama "P".

Combinando los dos diagramas, en la dirección del aterrizaje, B es nula y solo se recibe P. Los porcentajes de modulación a 90 Hz y a 150 Hz son iguales, y su diferencia $D = M_{90} - M_{150}$ es nula.

A la izquierda del eje (sentido del aterrizaje), las componentes a 90 Hz en B se añaden a las de P, mientras que las componentes a 150 Hz se restan. El porcentaje resultante a 90 Hz aumenta y el porcentaje a 150 Hz disminuye.

A la derecha del eje se produce lo contrario.

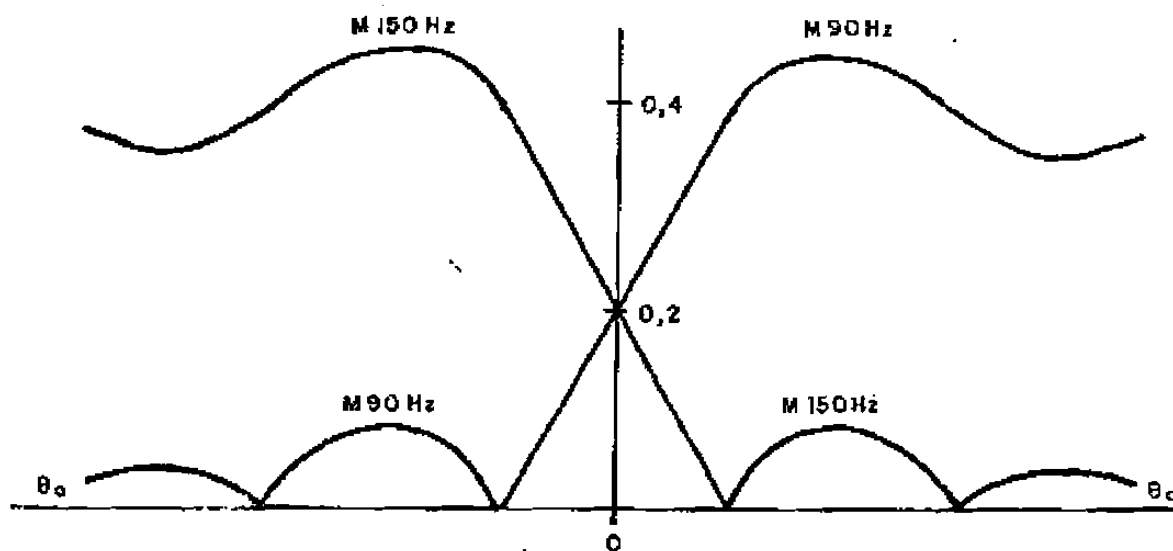


Fig. 8.6 Combinación de diagramas

Designando por A la amplitud de portadora y por P + BL la amplitud de las bandas laterales contenidas respectivamente en los diagramas P y B , en una dirección cualquiera.

$$M_{90} = (P+BL)/A = (P/A)[1+(BL/P)]$$

$$M_{150} = (P-B)/A = (P/A)[1-(BL/P)]$$

La relación P/A es constante e igual al porcentaje de modulación (m) de los 90 Hz y de los 150 Hz en el diagrama P (m = 20 %)

$$M_{90} = m [1+(BL/P)]$$

$$M_{150} = m [1-(BL/P)]$$

Los porcentajes que resultan a 90 Hz y a 150 Hz varían linealmente en función de la relación de las bandas laterales contenidas en los dos diagramas P y B. Esta relación BL/P es nula en el eje (M₉₀ = M₁₅₀). y crece positivamente desviándose hacia la derecha (sentido de aterrizaje) y negativamente desviándose hacia la izquierda.

Los porcentajes M₉₀ y M₁₅₀ se comparan en valor absoluto en el receptor y permanecen no obstante positivos; su diferencia es igual a :

$$DDM = 2 m (BL/P)$$

La relación en dB entre el porcentaje de modulación más fuerte y el más débil es igual a:

$$20 \log (M_{90}/M_{150})$$

A partir de las ecuaciones anteriores, en función de la DDM Δ :

$$20 \log (2m+\Delta) / (2m-\Delta)$$

Por ejemplo, para la semi-abertura de haz $\Delta = 0.155$, la relación es de 7.2 dB.

La variación total, en función del azimut, de los dos porcentajes de modulación es aproximadamente la siguiente (en DDM).

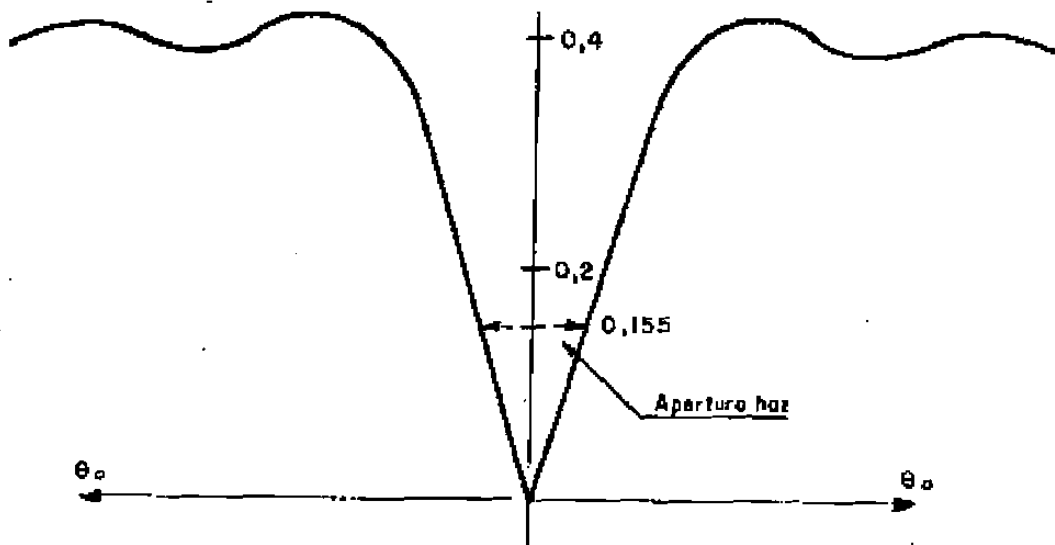


Fig. 8.7 Variación total

Los diagramas P y B pueden obtenerse a partir de antenas omnidireccionales, lo que dará una cobertura sobre 360° y permitirá a un avión utilizar el eje radiado, no solamente en el sentido de aproximación, sino también para alejarse de las antenas, una vez sobrevoladas (eje posterior ó back course), lo que puede ser interesante en algunos casos.

Por el contrario, un montaje semejante sólo puede dar buenos resultados en una aeródromo muy despejado, en el cual las radiaciones reflejadas por los diversos obstáculos llegan al avión con un nivel muy débil respecto de la radiación directa.

Pero este caso es bastante infrecuente, sobre todo en los aeródromos modernos, en donde a los obstáculos naturales se añaden los edificios. En general, hay que llegar a un compromiso entre la alineación recta del eje (curso), función directa de la importancia de las reflexiones parásitas, y la cobertura en azimut (la OACI impone una cobertura a $\pm 35^\circ$ del eje, pero muchas veces se solicita $\pm 60^\circ$).

Una primera mejora consiste en utilizar unas antenas ligeramente directivas (un radiador - un reflector), pero todavía se obtienen resultados mejores dividiendo en dos el sector de radiación.

* El sector de aproximación que se extiende a $\pm 10^\circ$ de uno y otro lado del eje de pista y en donde el alcance impuesto es de 25 MN; esta es la radiación "directiva".

* El sector de cobertura a un lado y al otro del precedente y en donde la portadora impuesta es solamente de 17 MN ; esta es la radiación de cobertura "clearance".

Según la importancia de los obstáculos, la radiación de cobertura se emite a la misma frecuencia que la radiación directiva (tipo monofrecuencia) ó una frecuencia ligeramente diferente (tipo bifrecuencia).

A.- Caso de monofrecuencia.

El diagrama total de radiación tiene la forma siguiente (figura 8.8) :

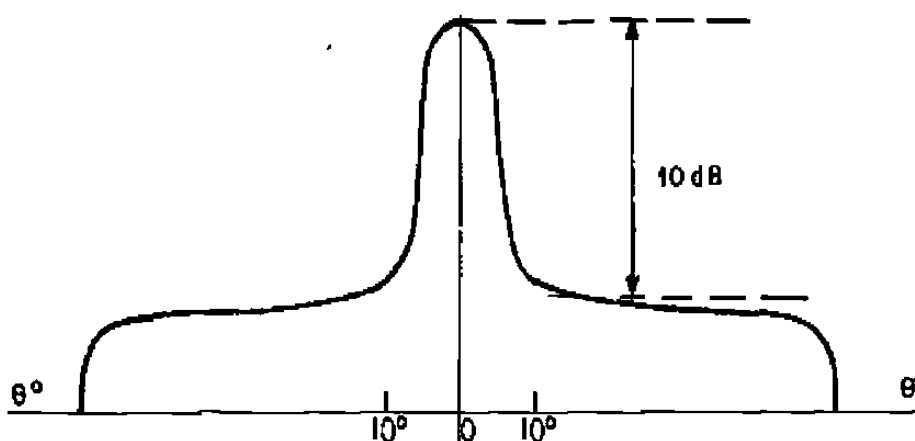


Fig. 8.8 Diagrama total de Radiación

Es la combinación de la radiación directiva y de la cobertura; la radiación directiva se obtiene con un sistema de antenas que dan una ganancia superior en aproximadamente 10 dB a la utilizada para la radiación de cobertura, lo que minimiza las reflexiones en el eje.

B - Caso de bifrecuencia.

Se utiliza cuando la importancia de los obstáculos es tal que la relación de los campos emitidos es todavía demasiado elevada para obtener buenos resultados.

El diagrama de radiación es el siguiente (figura 8.9):

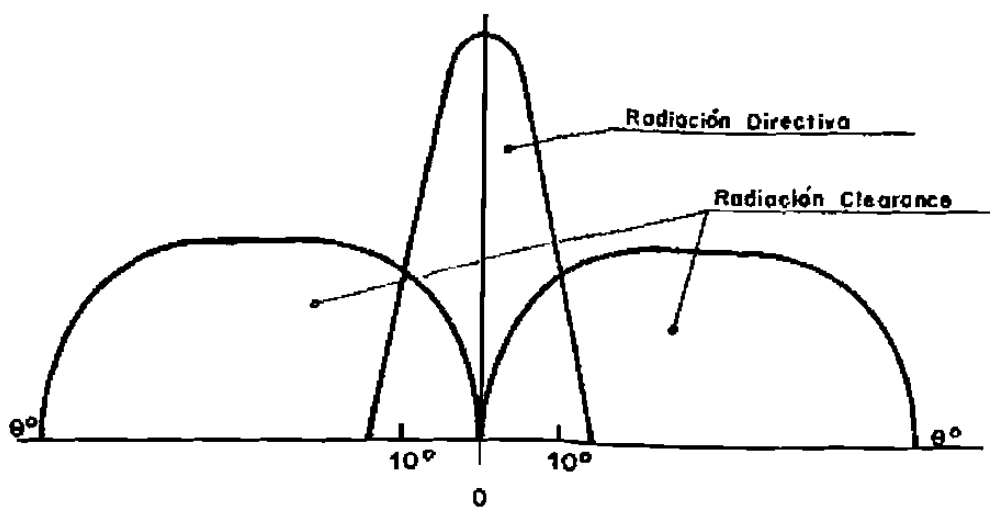


Fig. 8.9 Diagrama de Radiación

Un sistema de antenas radia un haz estrecho en la dirección de la aproximación, con un nivel de lóbulos secundarios muy bajo, lo que asegura una buena protección contra las reflexiones parásitas.

Un segundo sistema de antenas radia el diagrama de cobertura con un nivel inferior en aproximadamente 10/12 dB al de la radiación directiva y en una frecuencia ligeramente diferente.

Esta separación de frecuencia (10 KHz) es pequeña frente a la banda pasante de los receptores de a bordo, permitiendo recibir indistintamente una u otra emisión sin poder diferenciarlas.

Por el contrario, es suficiente para que los campos recibidos a lo largo del eje se sumen, no linealmente como si estuvieran a la misma frecuencia, sino cuadráticamente. El campo parásito reflejado es rápidamente sofocado por el campo principal una vez que éste sobrepasa notablemente a aquel. Este es el fenómeno denominado de "efecto de captura".

8.2.1.3 Sistema de antenas :

Para obtener los diagramas de radiación deseados, pueden utilizarse dos sistemas :

- * Reflector cilindro - parabólico.
- * Las redes de antenas.

a).- Reflector cilindro - parabólico

- * Caso del monofrecuencia

La parábola está iluminada por tres fuentes primarias, constituidas por unas antenas de cuadro en V sin reflector. La radiación posterior de éstas antenas proporciona el diagrama de cobertura ; la radiación directiva se obtiene por la reflexión de las ondas sobre la parábola.

La posición de la fuente primaria central que ilumina la parábola es tal que :

$$\rho = [n\lambda + (\lambda/2)]/2$$

de forma que, la onda reflejada por la parábola y procedente de la fuente, regrese en fase a la altura de dicha fuente.

Igualmente, todos los puntos de radiación procedentes de la fuente y reflejados por la parábola; llegan en fase al plano E. La apertura de la parábola es igual a 38 m o 54 m.

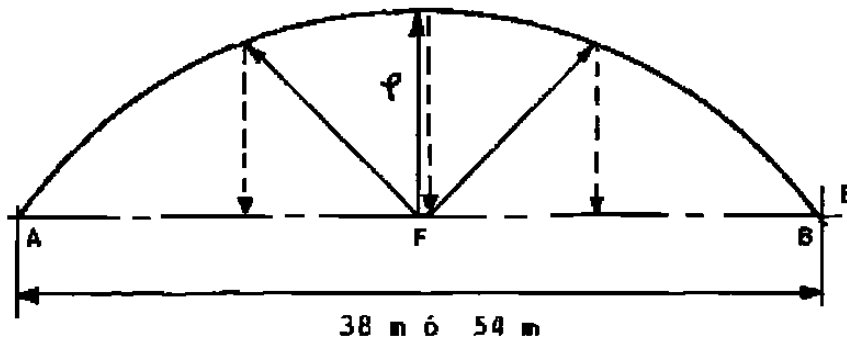


Fig. 8.10 Antena parábola

El diagrama en campo de la parábola iluminada por una fuente primaria focalizada da un máximo en el eje y dos mínimos a $\pm 12^\circ$ del eje. Su ganancia es de 17 dB con respecto a la fuente isotrópica. Siendo la fuente primaria omnidireccional, la parte posterior de su radiación se superpondrá al diagrama de radiación de la parábola.

Al ser, la ganancia de una antena de cuadro en V del orden de 7 dB, el diagrama total presenta un máximo en un sector de $\pm 12^\circ$ aproximadamente alrededor del eje. Fuera de este sector, el nivel es inferior a 10 dB. Este diagrama representa el diagrama P Portadora.

A un lado y a otro de la fuente primaria central se colocan otras dos fuentes alimentadas en oposición de fase, con el fin de obtener un diagrama total en campo que presente un nulo de campo en el eje. Este es el diagrama B : bandas laterales. El máximo de campo emitido por cada una de las fuentes es ligeramente inferior al de la fuente central, debido a que dichas fuentes no están exactamente focalizadas

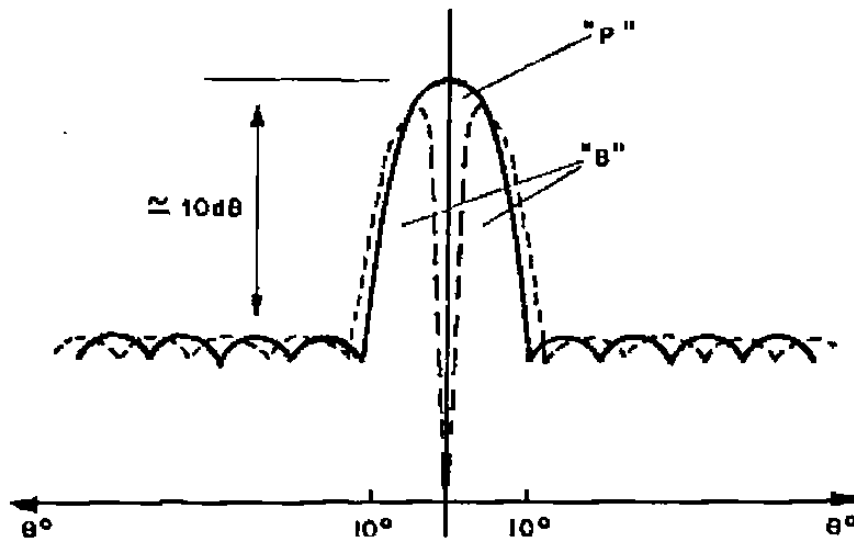


Fig. 8.11 Patrón de Radiación

* Caso de bifrecuencia

El reflector cilindro - parabólico utilizado es del mismo tiempo que en el caso de monofrecuencia.

Las tres fuentes primarias son directivas ; la fuente primaria central es una antena de cuadro en V provista de un elemento reflector y de un elemento director ; las otras dos fuentes son unas antenas de cuadro en V con reflector alimentadas en oposición de fase.

Crean los diagramas P "portadora" y B "bandas laterales" que Constituyen la radiación directiva.

Estas radiaciones cubren un sector de, aproximadamente $\pm 12^\circ$ con un máximo en el eje para el diagrama P y unos máximos a $\pm 4^\circ$ con un nulo en el eje para el diagrama P.

La radiación de cobertura ó clearance se realiza a partir de cinco antenas de cuadro en V con reflector, colocadas delante de la parábola (tres antenas en el caso de un reflector de 38 metros).

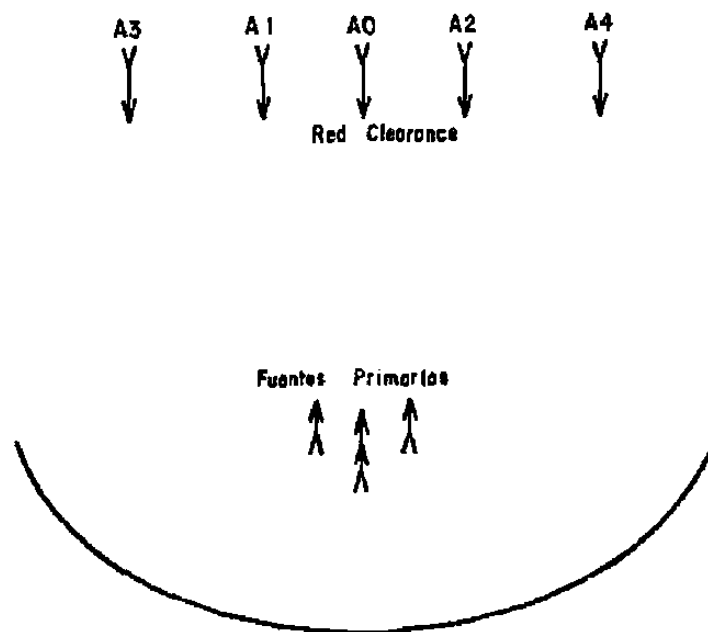


Fig. 8.12 Radiación de Clearance

El diagrama de cobertura P está realizado mediante una antena AO colocada en el eje de pista.

El diagrama B se realiza mediante dos o cuatro antenas situadas a un lado y a otro de la antena central, alimentadas en oposición de fase.

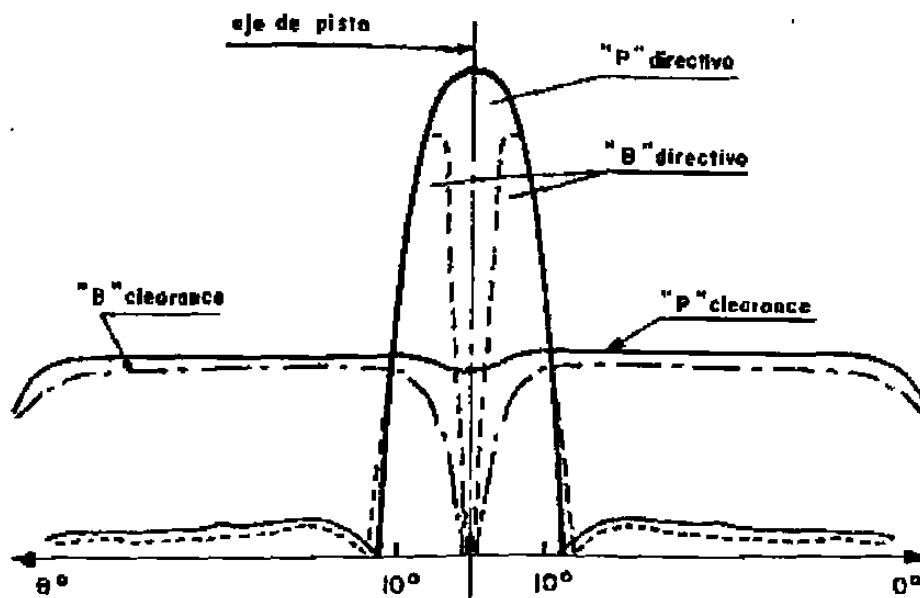


Fig. 8.13 Patrones combinadoa

b).-Redes de antenas

Unas redes de antenas, constituidas por una alineación de 13 ó 25 antenas, ó 5 antenas, se colocan, cuando aparecen problemas de zona despejada en el extremo de la pista, problemas que no permiten la instalación de un reflector cilindro-parabólico, ó cuando es necesario tener una atenuación más importante de los lóbulos secundarios. Estas redes existen en versión de 13 antenas en monofrecuencia y en bifrecuencia, en versión de 25 antenas únicamente en bifrecuencia, y en versión de 5 antenas únicamente en monofrecuencia. Los diagramas de radiación obtenidos con estas redes son semejantes en cuanto a su forma a los presentados anteriormente (ver : Reflector cilindro-parabólico).

8.2.2 SENDA DE PLANEEO

8.2.2.1 Diagramas de radiación.

Las ondas muy cortas (inferiores a 10 m) cuyas propiedades comienzan a asemejarse a las ondas luminosas no se propagan casi más allá del Horizonte.

Aparte casos muy raros, estas ondas atraviesan la atmósfera y no vuelven a ser enviadas a tierra.

Para tales ondas, los campos están por tanto calculados exclusivamente a partir de la onda de espacio que resulta de la onda directa ($d1$ de figura 8.14) y de la onda reflejada por el suelo ($d2$ de figura 8.14).

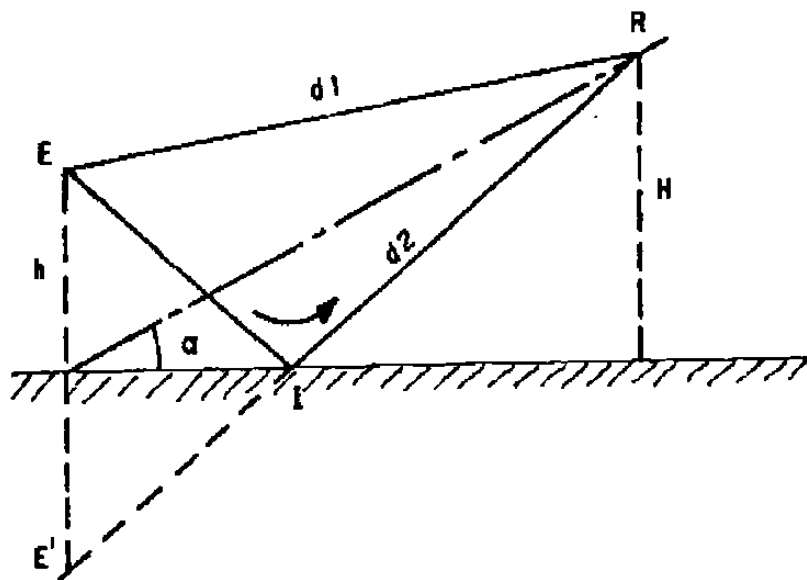


Fig. 8.14 Onda directa y reflejada

Sobre un suelo perfectamente conductor y para unos ángulos de incidencia débiles ($< 10^\circ$), la componente horizontal reflejada se mantiene en amplitud casi en igualdad con la onda directa y permanece sensiblemente en oposición de fase con ella.

Supongamos una unión directa entre un dipolo E y un receptor R, y el suelo perfectamente conductor ; llamando d1 a la distancia ER, la radiación directa será :

$$E \text{ directa} = (K/d1) \cos [\Omega t - (2\pi d1/\lambda)]$$

La radiación reflejada se obtiene igualmente, sustituyendo d1 por d2 y teniendo en cuenta la reflexión I (defasaje de 180°).

$$E \text{ reflejada} = (K/d2) \cos [\Omega t - (2\pi d2/\lambda - \pi)] = (K/d2) \cos [\Omega t - (2\pi d2/\lambda)]$$

Las distancias d1 y d2 son lo suficientemente próximas para que 1/d1 y 1/d2 puedan confundirse, y el campo total esta dado por la siguiente expresión :

$$E = E_d + E_r = (2K/d) \text{ sen } [\pi(d2-d1)/\lambda] \text{ sen } [\Omega t - (\pi)(d2-d1)/\lambda]$$

El campo directo se encuentra multiplicando por el factor Ar

$$A_r = 2 \text{ sen } [\pi(d2-d1)/\lambda]$$

Asimilando las rectas EI y E'R a unas paralelas (lo que equivale a despreciar las alturas h y H en relación con la distancia que separa estos dos puntos), la diferencia de trayectoria d2 - d1 tiene como expresión :

$$d_2 - d_1 = 2 h \text{ sen } \alpha$$

de donde $A_r = 2 \text{ sen}[(2\pi h \text{ sen } \alpha)/\lambda]$

El campo resultante realiza por tanto unas variaciones periódicas de aspecto senoidal en función del ángulo α y de la altura h . Estas variaciones están comprendidas entre cero y el doble del campo directo.

En polarización horizontal, comportándose el suelo como un reflector perfecto, una antena dará por tanto en el plano vertical unos lóbulos tanto más numerosos cuanto más importante sea su altura sobre el suelo.

Los ángulos de los máximos y de los mínimos de los lóbulos están determinados por :

$$\theta = m\lambda/4h$$

θ ángulo de los máximos en radianes cuando m es impar.

θ ángulo de los mínimos en radianes cuando m es par.

Es el recubrimiento ó la intersección de los lóbulos de antenas colocadas a unas alturas diferentes lo que determina un eje de descenso.

8.2.2.2 Equisñal

Como para el localizador, puede realizarse una senda de descenso del tipo equisñal.

Dos antenas colocadas a unas alturas muy diferentes sobre el suelo dan, en el plano vertical, unos lóbulos tanto más numerosos cuanto mas alta esté la antena. Los lóbulos de la antena superior presentan varias intersecciones con los lóbulos menos numerosos de la antena inferior.

Aplicando a la antena inferior una señal UHF modulada a 90 Hz y a la antena superior una señal UHF modulada a 150 Hz de amplitud conveniente (ver fig.8.15), se obtienen dos curvas cuyas intersecciones dan los ejes. El eje normal está dado por la primera intersección.

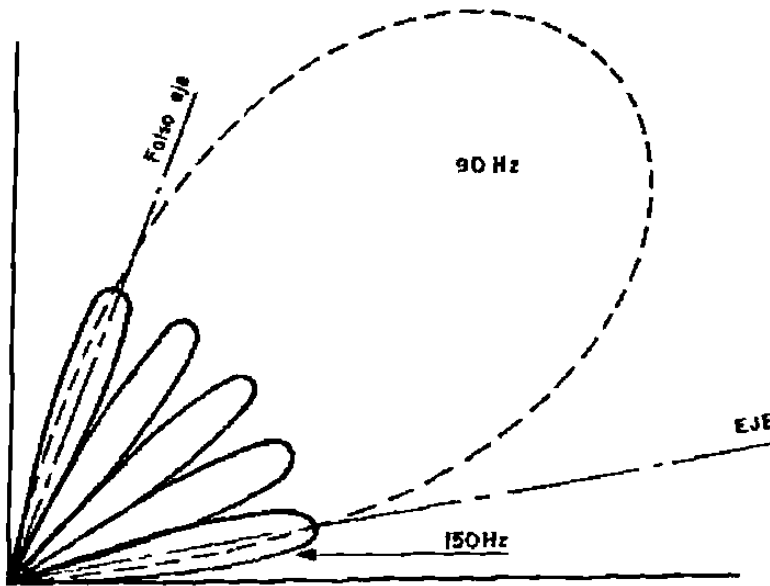


Fig 8.15 Senda de descenso

Este sistema presenta los mismos inconvenientes que el localizador: Necesita una muy grande estabilidad relativa de las dos emisiones y es, además, muy sensible a la altura de las antenas sobre el suelo. (variaciones en caso de nevadas).

3.2.2.3 Referencia nula

Como en el localizador, la emisión del tipo Referencia Nula es la más corrientemente utilizada, existiendo diversas variantes.

a).- Referencia Nula monofrecuencia

El principio es el mismo que para el localizador. Los porcentajes nominales de modulación son del 40 % para los 90 Hz y del 40 % para los 150 Hz.

El diagrama "portadora" P está constituido por el primer lóbulo de una antena, correspondiendo el máximo de este lóbulo al eje de descenso deseado (fig.8.16).

El diagrama B "bandas laterales" está constituido por el segundo nulo de una antena colocada a una altura doble de la antena que radia el diagrama P, de forma que el nulo del diagrama B corresponda exactamente al máximo del diagrama P (fig. 8.16).

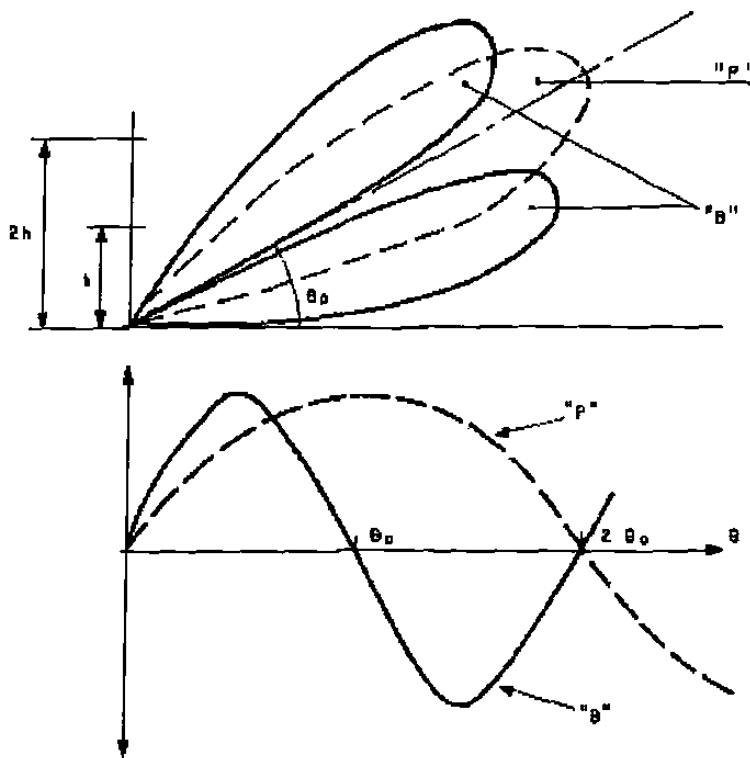


Fig. 8.16 Diagrama de Portadora y Bandas Laterales

La antena inferior que radia el diagrama P se alimenta en portadora modulada al 40% para los 90 Hz y al 40 % para los 150 Hz ; el campo emitido es igual a :

$$(P) \text{ sen } (\pi\theta/2\theta_0)$$

La antena superior que radia el diagrama B se alimenta únicamente en bandas laterales, y el campo emitido es igual a :

$$(B) \text{ sen } (\pi\theta/\theta_0)$$

La radiación del tipo Referencia Nula monofrecuencia dá buenos resultados, pero necesita una zona de reflexión perfectamente nivelada sobre una distancia bastante grande y en un conjunto suficientemente despejado.

En condiciones de instalación difíciles, se monta una Referencia Nula bifrecuencia ó "Red M" .

b).- Referencia Nula bifrecuencia ó "Red M"

Los diagramas P y B radiados presentan un punto de tangencia horizontal para una elevación nula y un débil campo hasta 1/3 aproximadamente de θ_0 (iluminación mínima del suelo). La cobertura para las elevaciones débiles queda asegurada por otro diagrama y a una frecuencia ligeramente desplazada (cobertura clearance). Esta emisión clearance se efectúa en portadora modulada al 80 % mediante una señal a 150 Hz y 90 Hz (25 % en 90 Hz y 55 % en 150 Hz).

Para obtener este resultado, se sitúan tres antenas respectivamente a $h - 2 h$ y $3 h$.

La altura de la antena h es siempre la que corresponde a la radiación de un diagrama que presenta un máximo en el eje de descenso deseado :

$h = \lambda / 4\theta_0$. Las antenas se alimentan según la tabla 8.1.

	P		B		Clearance	
	Portadora		Bandas			
	modulada		Laterales		Ampl.	Fase
	Ampl	Fase	Ampl.	Fase		
Antena inferior	2	0	1	π	1	0
Antena media	1	π	2	0	0	
Antena superior	0		1	π	1	0

Tabla 8.1 Amplitud y Fase de antenas

Las fases y las amplitudes están dadas en relación con cada una de las entradas tomadas separadamente.

Los campos radiados por las antenas en función de θ_0 son iguales a:

- antena inferior $E(\theta) = \text{sen}(\pi\theta/2\theta_0)$
- antena media $E(\theta) = \text{sen}(\pi\theta/\theta_0)$
- antena superior $E(\theta) = \text{sen}(3\pi\theta/2\theta_0)$

y el valor de los campos de los diferentes diagramas es:

- campo portadora: $P = 2 \text{sen}(\pi\theta/2\theta_0) - \text{sen}(\pi\theta/\theta_0)$
- campo BL $B = \text{sen}(\pi\theta/2\theta_0) - 2 \text{sen}(\pi\theta/\theta_0) + \text{sen}(3\pi\theta/2\theta_0)$

- campo clearance $CI = \text{sen}(\pi\theta/2\theta_0) + \text{sen}(3\pi\theta/2\theta_0)$

Hay que resaltar que las recientes recomendaciones de la OACI, limitando la cobertura baja a $0.45\theta_0$ con ciertas reservas, pueden permitir la realización de una emisión del tipo red M sin emisión de cobertura baja, lo que puede ser interesante en algunos casos particulares.

c).- Referencia "sideband" (banda lateral) ó "Red G"

Otra variante del tipo referencia nula, denominada "sideband reference" puede utilizarse igualmente en casos difíciles de instalación. Este es un compromiso entre el tipo de referencia nula monofrecuencia y el tipo denominado red. M.

Utiliza dos antenas situadas respectivamente a $0.6 h_0$ y $1.4 h_0$ ($h_0 = \lambda/4\theta_0$)

El diagrama radiado por la antena inferior presenta por tanto un máximo para un ángulo de elevación superior a θ_0 , y el radiado por la antena superior presenta una anulación para un ángulo de elevación también superior a θ_0 .

La antena inferior está alimentada en portadora modulada, a igual porcentaje a 90 y 150 Hz, y la antena superior se alimenta en bandas laterales.

Para obtener la anulación del diagrama de bandas laterales para un ángulo igual a θ_0 , se alimenta la antena inferior en suplemento con la portadora modulada, por bandas laterales en oposición de fase con las de la antena superior, con una amplitud conveniente

	Portadora modulada		Bandas laterales	
	amplitud	fase	amplitud	Fase
Antena inferior	1	0	1	π
Antena superior	0	0	1	0

Tabla 8.2 Amplitud y Fase de Antena superior e inferior

Los diagramas de campos radiados son los siguientes (ver figuras 8.17 y 8.18):

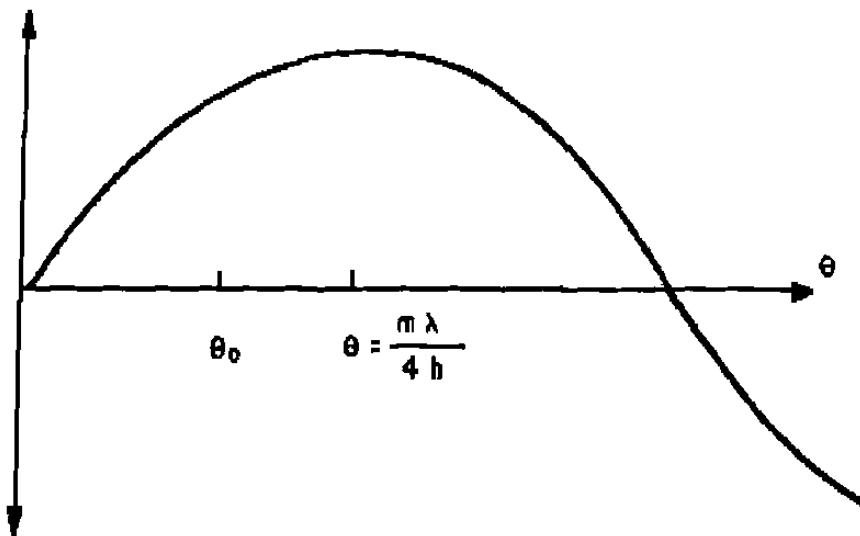


Fig.8.17 Portadora de la antena inferior

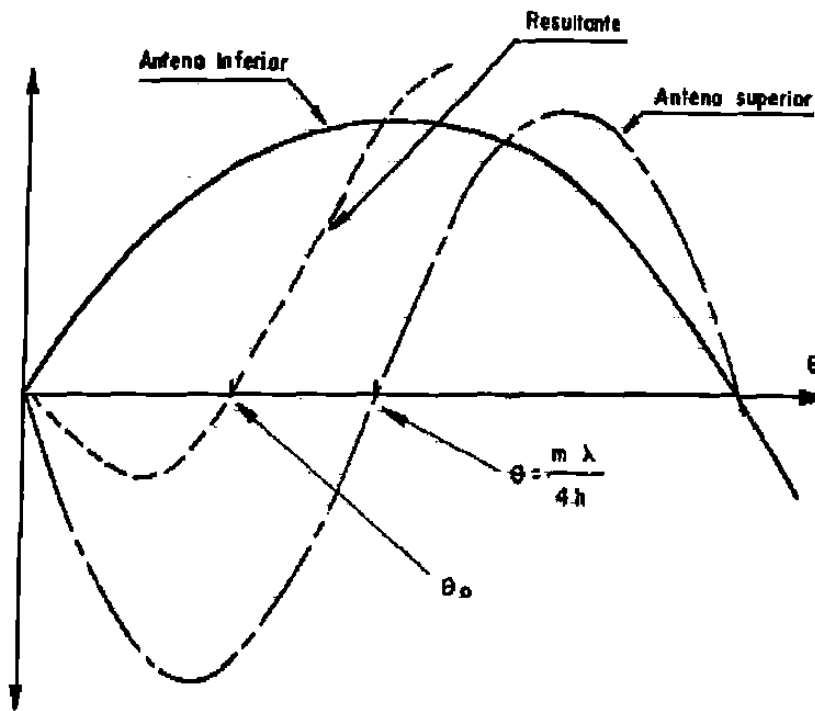


Fig. 8.18 Diagrama " bandas laterales "

Las expresiones de los campos radiados son las siguientes :

- Antena inferior para el campo portadora P ó el campo bandas laterales B.

$$h_1 = 0.6 h_0$$

$$P(\theta) \text{ ó } B(\theta) = [\text{sen}(2\pi h_1 \theta)] / \lambda$$

ó en función de θ_0 , P ó B = $\text{sen} [0.3 \pi (\theta/\theta_0)]$

- Antena superior para el campo bandas laterales B

$$(h_2 = 1.4 h_0)$$

$$B(\theta) = [\text{sen}(2\pi h 2\theta)]/\lambda$$

ó en función de θ_0 , $B = \text{sen } 0.6 \pi (\theta/\theta_0)$

El campo B resultante es :

$$\propto \text{sen} [(2\pi h 1\theta)/\lambda] - \text{sen} [(2\pi h 2\theta)/\lambda]$$

\propto es la relación entre las amplitudes emitidas por la antena superior y la antena inferior.

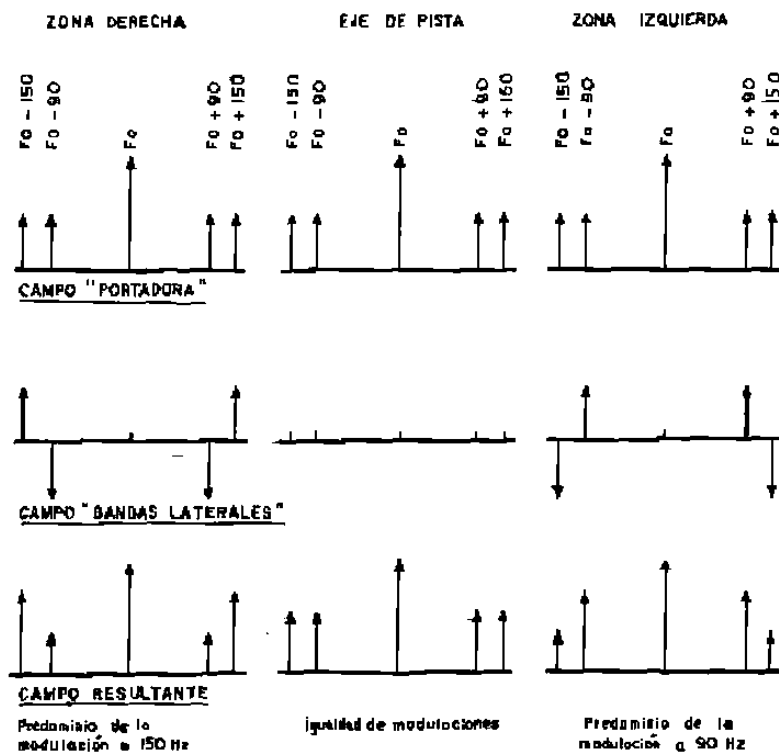


Fig. 8.19 Composición de los campos con referencia nula

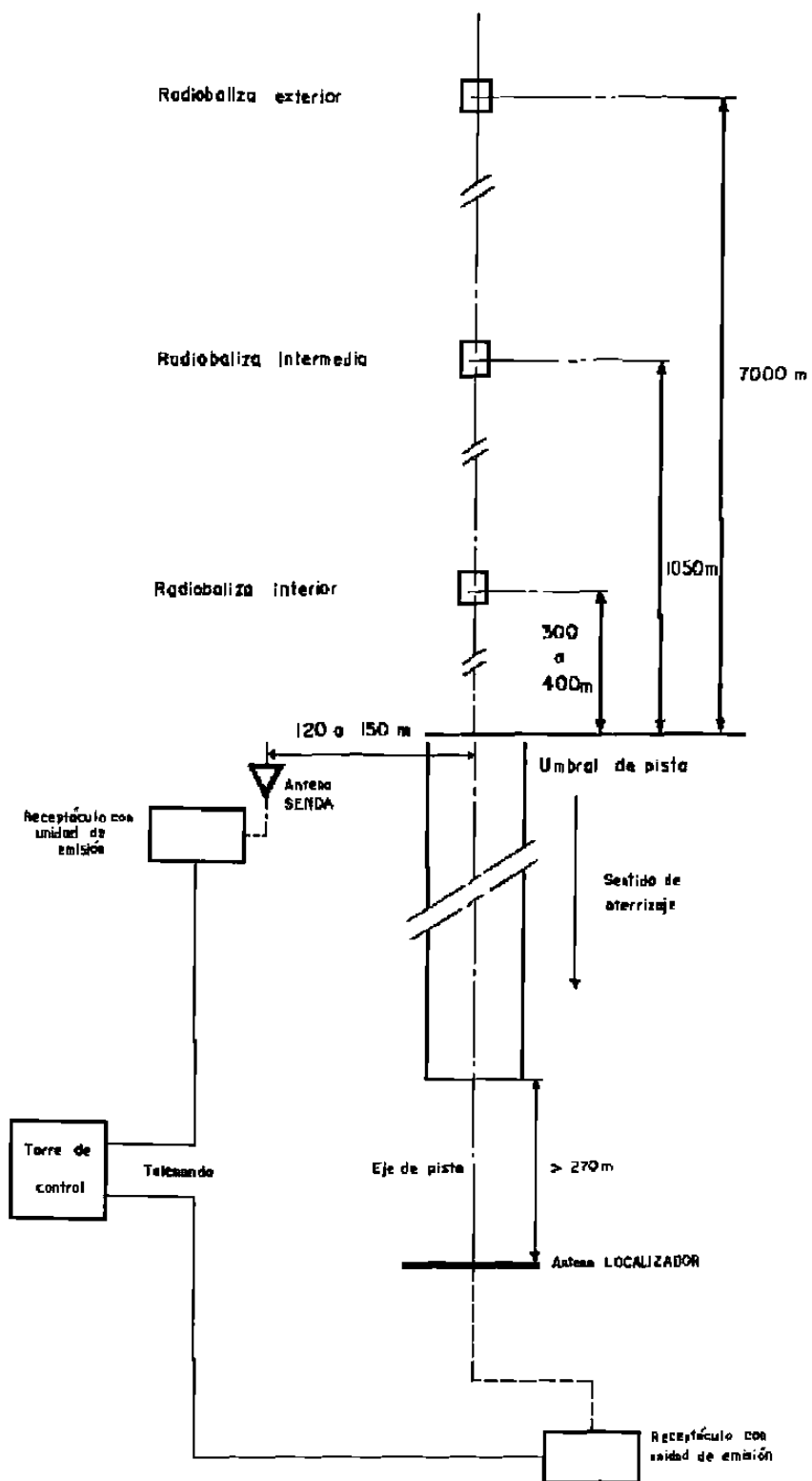


Fig. 8.20 Implantación del sistema ILS

8.3 RADIOALINEACIÓN DE LA PISTA

8.3.1 COMPOSICIÓN DEL EQUIPO

El equipo de radioalineación de pista se compone de los elementos siguientes :

a). Una unidad encargada de generar las señales que se aplicarán a las antenas Portadora (P+BL) directiva

Bandas laterales (BL) directiva

y Portadora (P+BL) clearance → bifrecuencia

Bandas laterales (BL) clearance → bifrecuencia

Esta unidad está instalada en el interior de una caseta. Su composición difiere según :

*La categoría

*El contorno del lugar de instalación (emisión en monofrecuencia ó en bifrecuencia.)

*Las opciones deseadas sobre todo a nivel de la emisión (conjunto de emisión simple ó doble) y del control de la emisión (monitor).

Las distintas posibilidades se exponen en la información técnica de la unidad.

b). Antenas :

Según las condiciones locales del contorno (despeje, reflexión, parásitos), así como el tipo de emisión (monofrecuencia ó bifrecuencia) se instalara :

* bien un reflector cilindro-parabólico iluminado por un conjunto de

antenas (versiones diferentes en monofrecuencia y bifrecuencia),

- * ó bien una red de antenas : 5 antenas (monofrecuencia)
13 antenas (monofrecuencia y bifrecuencia)
25 antenas (bifrecuencia)

El conjunto de antenas se encarga, a partir de las señales generadas por la unidad, de formar los diagramas de radiación .

La descripción y el funcionamiento de estos diferentes sistemas de antenas se dan en las Informaciones Técnicas de antenas correspondientes.

c). Telemando

El gobierno y el control del funcionamiento de la unidad pueden realizarse a partir de un pupitre de telemando situado en la sala técnica de la torre de control.

La transmisión de las informaciones se efectúa sobre dos pares telefónicos utilizando un sistema Modem-Demodem en cada extremo del enlace.

Cada sistema Modem-Demodem está integrado dentro del equipo (unidad y pupitre de telemando).

La descripción y el funcionamiento de éstos se dan en los manuales de operación.

d). Alimentación

El conjunto del equipo se alimenta a una tensión alterna de 220 V.

Esta tensión alimenta un armario de distribución situado en la caseta cuya misión es repartir la tensión de 220 V entre las diversas utilidades con las protecciones necesarias (iluminación, calefacción, y alimentación de la unidad cargadora).

La unidad cargadora que contiene uno ó dos cargadores suministra la tensión de 48 V necesarios para el funcionamiento de la unidad así como la tensión de carga de las baterías de emergencia.

La descripción y el funcionamiento de éstos se dan en los manuales de operación.

8.3.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES

Temperatura

equipo a cubierto - 10°C + 5°C

equipo al exterior - 30°C + 70°C

Humedad relativa inferior o igual al 90 %

Alimentación (de la unidad) 48 V \pm 10 %

Consumo nominal según las versiones.

Alimentación del armario de distribución : 220 V \pm 20 %

Autonomía de las baterías

Gama de frecuencia 108 - 112 MHz.

Potencia de emisión portadora nominal : 25 W

Bandas laterales nominal : 1 W

Identificación 1020 Hz manipulado.

UNIONES ELÉCTRICAS

El principio de las uniones es conforme se indica en el esquema siguiente :

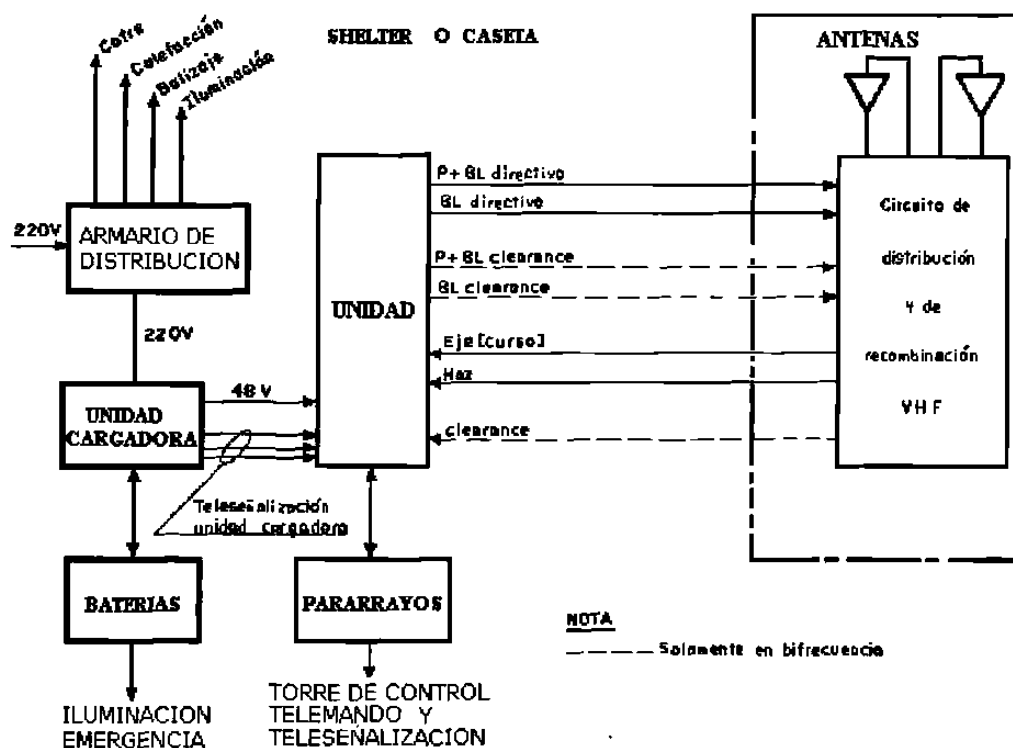


Fig. 8.21 Uniones Eléctricas

El detalle de las uniones viene dado :

- Por una parte a nivel de la interconexión Shelter
- Por otra parte, a nivel de la "interface" unidad-antenas, en lo que concierne a las uniones HF.

NOTA : La unidad así como los equipos destinados a su alimentación (armario de distribución, unidad cargadora), están todos dentro del shelter ó caseta. Por el contrario, el circuito de distribución y de recombinación está situado en el cofre montado al pie de las antenas.

8.4 RADIOALINEACIÓN DE DESCENSO

8.4.1 COMPOSICIÓN DEL EQUIPO

El equipo de radioalineación de descenso se compone de los elementos siguientes :

a). Una unidad : encargada de generar las señales que se aplicarán a las antenas:

Portadora (P+BL) directiva.

Banda laterales (BL directivo).

Y Portadora (P+BL) clearance, en bifrecuencia.

Está instalada dentro de una caseta ó shelter, y su composición difiere según :

* La categoría.

* El entorno del lugar de implantación (emisión en monofrecuencia ó en bifrecuencia).

* Las opciones deseadas sobre todo a nivel de la emisión (conjunto de emisión simple ó doble) y del control de la emisión.

Las diversas posibilidades se exponen en la información técnica de la unidad.

b). Antenas

Según las condiciones locales del entorno (despejado, reflexión parásita) así como el tipo de emisión (monofrecuencia ó bifrecuencia), se instalara :

* bien una red de referencia nula (dos antenas montadas en un mástil) versión monofrecuencia.

* bien una red G (dos antenas montadas en un mástil) : versión monofrecuencia utilizada en lugares difíciles.

* bien una red M (tres antenas montadas en un mástil) : versión bifrecuencia.

Las dos ó tres antenas montadas en el mástil son las encargadas, a partir de las señales generadas en la unidad, de formar los diagramas de radiación.

La descripción y el funcionamiento de estos diferentes sistemas de antenas (referencia nula, red.G, red.M) vienen dadas en las informaciones técnicas correspondientes.

c). Telemando

El gobierno y el control del funcionamiento de la unidad pueden realizarse a partir de un pupitre de telemando situado en la sala técnica de la torre de control (el mismo pupitre que sirve para el equipo localizador y radiobalizas).

La transmisión de las informaciones se efectúa mediante dos pares telefónicos que utilizan un sistema modem-demodem en cada extremo del enlace.

Cada sistema modem-demodem está integrado dentro del equipo (unidad y pupitre de telemando).

La descripción y el funcionamiento de éstos se dan en los manuales de operación.

d). Alimentación

El conjunto del equipo está alimentado con una tensión alterna de 220 V. Esta tensión alimenta un armario de distribución situado en la caseta ó shelter, cuya misión es repartir la tensión de 220 V entre las diversas utilizaciones con las protecciones necesarias (iluminación, calefacción y alimentación de la unidad cargadora).

La unidad cargadora, que contiene uno ó dos cargadores, suministra la tensión de 48 V necesaria para el funcionamiento de la unidad, así como la tensión de carga de las baterías de emergencia.

8.4.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Temperatura
 - equipo cubierto - 10°C + 55°C
 - equipo al exterior - 30°C + 70°C
- Humedad relativa : inferior ó igual a 90 %
- Alimentación de la unidad 48 V ± 10%
- Consumo nominal
 - Según las versiones
- Alimentación del armario de distribución 220 V ± 20 %
 - 50 – 60 hz
- Autonomía en baterías
- Gama de frecuencia 329 – 335 MHz
- Potencia de emisión portadora nominal : 5W
 - bandas laterales nominales : 1W
 - clearance (portadora nominal) : 1 W

8.4.3 UNIONES ELÉCTRICAS

El principio de las uniones es conforme se indica en el esquema siguiente :

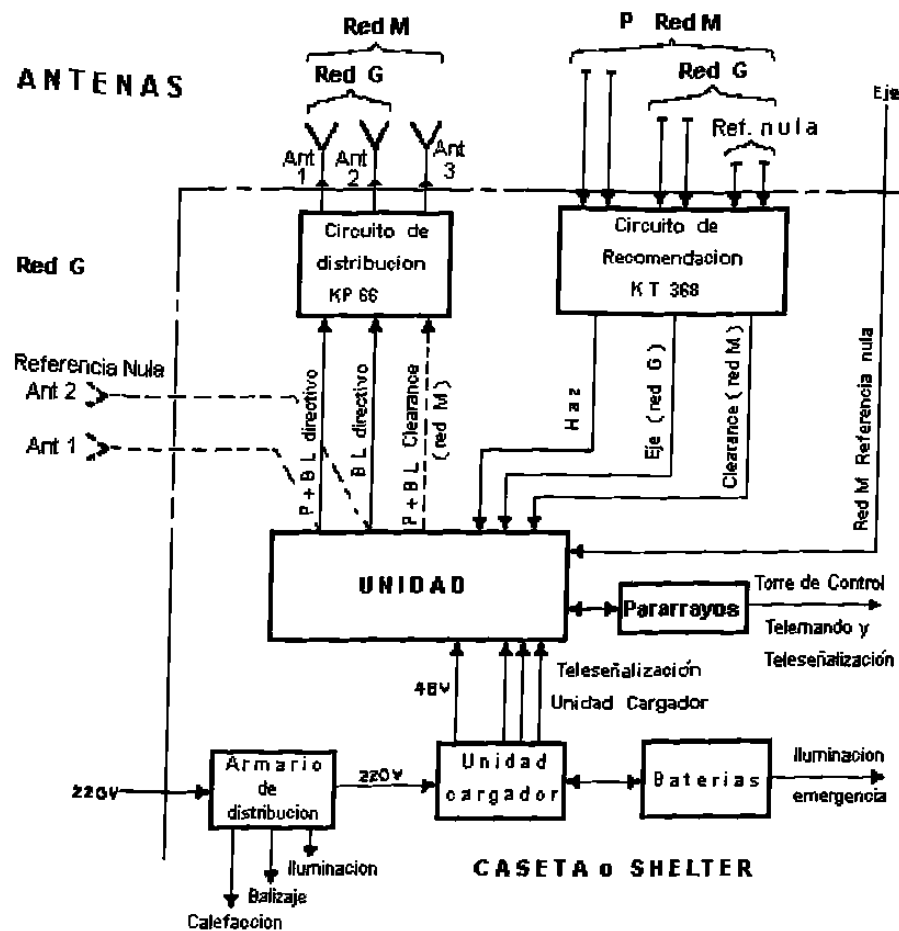


Fig 8.22 Uniones Eléctricas

El detalle de las uniones viene dado :

- Por una parte, a nivel de la interconexión shelter.
- Por otra parte, a nivel de la interface " unidad - antenas ", en lo que concierne a las uniones H F.

NOTA :

La unidad, así como los equipos destinados a su alimentación (armario de distribución, unidad cargadora), están todos dentro del shelter ó caseta. Igualmente ocurre para el circuito de

distribución KP 66 así como para el circuito de recombinación. Estos dos circuitos están montados en una de las paredes de la caseta.

8.5 MATERIALES ANEXOS

8.5.1 RECEPTOR

El receptor es un equipo portátil que permite efectuar el control en cualquier punto de los diagramas de radiación de las antenas.

Los parámetros controlados son tres :

- nivel HF
- DDM
- SDM.

Fácilmente transportable y con capacidad para una cierta autonomía debido a su funcionamiento con baterías, asegura y facilita :

- los ajustes en el momento de la instalación del equipo
- el control de los parámetros SDM y DDM en el eje y en la apertura de haz, durante las operaciones periódicas de mantenimiento preventivo.

Este equipo está concebido para utilizarse igual en localizador que en sonda. Un sintetizador de frecuencia incorporado asegura el fijado a la frecuencia de la estación.

8.5.2 MONITOR LEJANO

Es un equipo optativo Categoría III, colocado en sitio fijo en el eje ó más alla del umbral de la pista.

Este aparato asegura el control del campo lejano en el eje, detectando las variaciones de DDM y SDM y creando las alarmas correspondientes. Como complemento de los monitores de la unidad que controlan el campo próximo, este equipo revela cualquier alteración del eje de pista a gran distancia.

Las informaciones de DDM y de alarmas se transmiten por cable hasta la unidad de recepción, situada en la sala técnica de la torre de control.

CAPÍTULO 9

CONTROL DE TRÁNSITO AÉREO EN MÉXICO

9.1 INTRODUCCIÓN

Para hacer posible la navegación dentro del espacio que corresponde vigilar a México hay diferentes facilidades instaladas en tierra, con las que se establecen rutas en el aire, que facultan al piloto de una aeronave a conducirla de un punto a otro, aun en condiciones meteorológicas desfavorables, de una manera segura y precisa. Esta red de rutas aéreas llamadas aerovías, permite a los pilotos trasladarse a cualquier aeropuerto controlado del sistema que cuente con estas guías de navegación. El sistema de rutas hace posible la navegación dentro del espacio aéreo nacional y que enlazadas con los sistemas de rutas internacionales, establecen la navegación entre cualquier aeropuerto de la República, con aeropuertos localizados en otros países.

Este sistema de navegación esta constituido básicamente por ayudas direccionales que le indican al piloto en todo momento, la distancia a la que se encuentra de dichas ayudas; distancia medida electrónicamente que se le da al piloto, en instrumentos de la cabina, en millas y en fracciones de millas náuticas. Además, se cuenta en los aeropuertos más importantes, con sistemas de aterrizaje por instrumentos que constan de equipo instalado en los aeropuertos y que con los sistemas de recepción a bordo de los aviones, se pueden ejecutar aterrizajes de precisión. Estas operaciones se efectúan en forma segura aun en condiciones de tiempo adversas.

Como complemento a estos equipos de navegación, existen sistemas de radar, de largo alcance (370kms.), para el desplazamiento en ruta y de menor alcance (130 kms)

para el vuelo en las inmediaciones de los aeropuertos, con el fin de que esas aeronaves sean observadas desde las instalaciones de los Centros de Control y Terminales, por el personal responsable.

El servicio de tránsito aéreo se proporciona en los Centros de Control mencionados, además de las Torres de Control situadas en cada uno de los aeropuertos de la red. Algunas de ellas están dotadas con sistema de radar que le permiten al controlador correspondiente observar el vuelo de las aeronaves y con base en estos datos controlar y dar instrucciones al tránsito que sale y llega a cada uno de los aeropuertos.

En los espacios donde no se cuenta con cobertura de radar, pero que están bajo la jurisdicción de los Centros y torres de control, el desplazamiento de aeronaves se organiza mediante la aplicación de procedimientos para el Vuelo por Instrumentos, que hace posible a los aviones volar en ese espacio con la separación reglamentaria uno de otro y del terreno.

La comunicación entre pilotos y controladores tiene un sistema eficiente de comunicación que forma un circuito entre la aeronave, la torre de control, el centro de control que esta aportando el servicio y los centros adyacentes, con una coordinación precisa que asegura realizar las operaciones aeronáuticas eficientemente.

El servicio de Telecomunicaciones Aeronáuticas aire/tierra también es un apoyo fundamental para el tránsito aéreo. Esta basado en equipos de transmisión y recepción de mensajes, instalados estratégicamente en estaciones terrestres remotas que enlazan a los centros de control y las torres de control a través de canales de la Red Nacional de Microondas estableciendo la comunicación entre piloto y controlador. El piloto informa su posición, solicitando instrucciones y el controlador aplica la separación de aeronaves de su área de dominio, da instrucciones y mantiene el tránsito fluido, seguro y ordenado. También las señales de radar son enviadas mediante canales de microondas a los centros y torres de control, pudiendo ser observadas a muchos kilómetros de distancia.

Otro servicio de importancia vital lo constituye el de Meteorología Aeronáutica. Por este servicio la empresa de aviación y el piloto reciben información referente al tiempo que hay en las áreas terminales cercanas a los aeropuertos de origen y destino de vuelo así como las condiciones meteorológicas que hay a lo largo de toda la aerovía que se va a recorrer. Con esta información se aprovechan óptimamente las condiciones meteorológicas para seguir la mejor ruta que garantice la seguridad del vuelo o en algunos casos la ruta mas corta, para poder conducir con eficiencia el vuelo de la aeronave.

También existe el Servicio de Despacho y Control de Vuelos consistente en asesorar a las tripulaciones de la aviación en general, para la elaboración de su plan de vuelo en aerovías y rutas con información meteorológica como: vientos superiores, reportes horarios, pronósticos meteorológicos de los aeropuertos de destino y de los alternos en la ruta que se seguirá, e información de NOTAM "Notice To Air Men" . El plan de vuelo es asesorado por el despachador quien coordina y notifica dicho plan con las dependencias que intervienen en el sistema de tránsito aéreo comunicando a la estación de destino la salida de la aeronave o cuando recibe un aterrizaje a la estación de origen. Otros de los datos que se proporciona a los pilotos son relativos a las condiciones de ceniza volcánica en el ambiente, avisos de depresión, tormentas o huracanes. Actualmente se pueden recibir y coordinar planes de vuelo vía telefónica en algunos casos sin asistir a las oficinas de despacho y control de vuelos que casi siempre están instaladas en la planta baja de las torres de control.

9.2 CONTROL DE TRÁNSITO AÉREO

El servicio de Control de Tránsito Aéreo se suministra a todas las aeronaves que operan a ó arriba de 20, 000 pies, así como a las que operan con sujeción a un plan de vuelo IFR (operaciones aéreas sujetas a las reglas de vuelo por instrumentos) dentro de espacios aéreos designados como controlados por debajo de 20,000 pies y a todas las

que operan en los aeródromos atendidos por SENEAM. Su función primordial radica en garantizar la seguridad, orden y fluidez del tránsito aéreo.



Fig.9.1 Torre de control

Para lograr la eficiencia y eficacia requerida en tan importante actividad, esta se organiza en: Servicio de Control de Aeródromo, Servicio de Control de Aproximación y Servicio de Control de Área.

9.3 SERVICIO DE CONTROL DE AERÓDROMO.

El Servicio de Control de Aeródromo se proporciona por las Torres de Control a todas las aeronaves que se encuentran volando en las inmediaciones de un aeropuerto y las que circulan en el área de maniobras (pistas y calles de rodaje) del mismo (fig. 9.1).

Todas las aeronaves que salen, llegan y/o circulan en pistas y calles de rodaje de un aeropuerto que cuenta con una torre de control operada por SENEAM, reciben el servicio a través de esta unidad.

El espacio aéreo designado para este servicio abarca generalmente hasta 5 millas de radio en promedio con centro en el aeropuerto y dos mil pies en un plano vertical sobre la superficie del terreno como se muestra en la figura 9.2.



Fig.9.2 Área de control de aeródromo

Para garantizar la seguridad de las operaciones aéreas en los aeropuertos, el controlador mantiene una vigilancia visual constante sobre el movimiento de las aeronaves tanto en tierra como en vuelo y ejerce el control expidiendo oportunamente a los pilotos las autorizaciones, instrucciones e información adecuadas a fin de que las maniobras se realicen de una forma segura.

El controlador aplicará y vigilará que se cumplan las separaciones prescritas para las operaciones de despegue y aterrizaje y establecerá las prioridades de control correspondientes en el ordenamiento del flujo del tránsito aéreo.

Las torres de control cuentan con el equipo necesario para cumplir con sus funciones. Ahí se localizan equipos de comunicaciones, meteorológicas, monitores y consolas de control así como grabadoras de voz, contando con el soporte técnico que se requiere. En la figura 9.3 se muestra la capacidad instalada en México.

La torre de control mantiene una estrecha coordinación con otras unidades de control de tránsito aéreo tales como Control de Aproximación y Centros de Control de Área.

9.4 SERVICIO DE CONTROL DE APROXIMACIÓN.

Este servicio es suministrado por una unidad de Control de Aproximación o puede estar combinado en una torre de control o un Centro de Control de Área cuando sea conveniente o necesario.

Se establece en todos los aeropuertos que tienen este servicio, un espacio aéreo controlado denominado Área de Control Terminal el cual se puede extender hasta 50 millas de radio con centro en el aeropuerto y hasta 20 000 pies de altitud.

Este servicio esta dirigido a las aeronaves volando conforme a un plan de vuelo por instrumentos dentro del área de control terminal que llegan o salen de uno o más aeropuertos dentro de dicha área.

El controlador proporciona este servicio manteniendo al tránsito de llegada en una secuencia de aproximación de tal forma que las aeronaves lleguen a la trayectoria de aterrizaje ordenadamente y separadas.

El tránsito de salida es dirigido hacia las rutas aéreas previstas en el plan de vuelo, manteniéndose la separación entre las salidas y además con respecto a las llegadas.

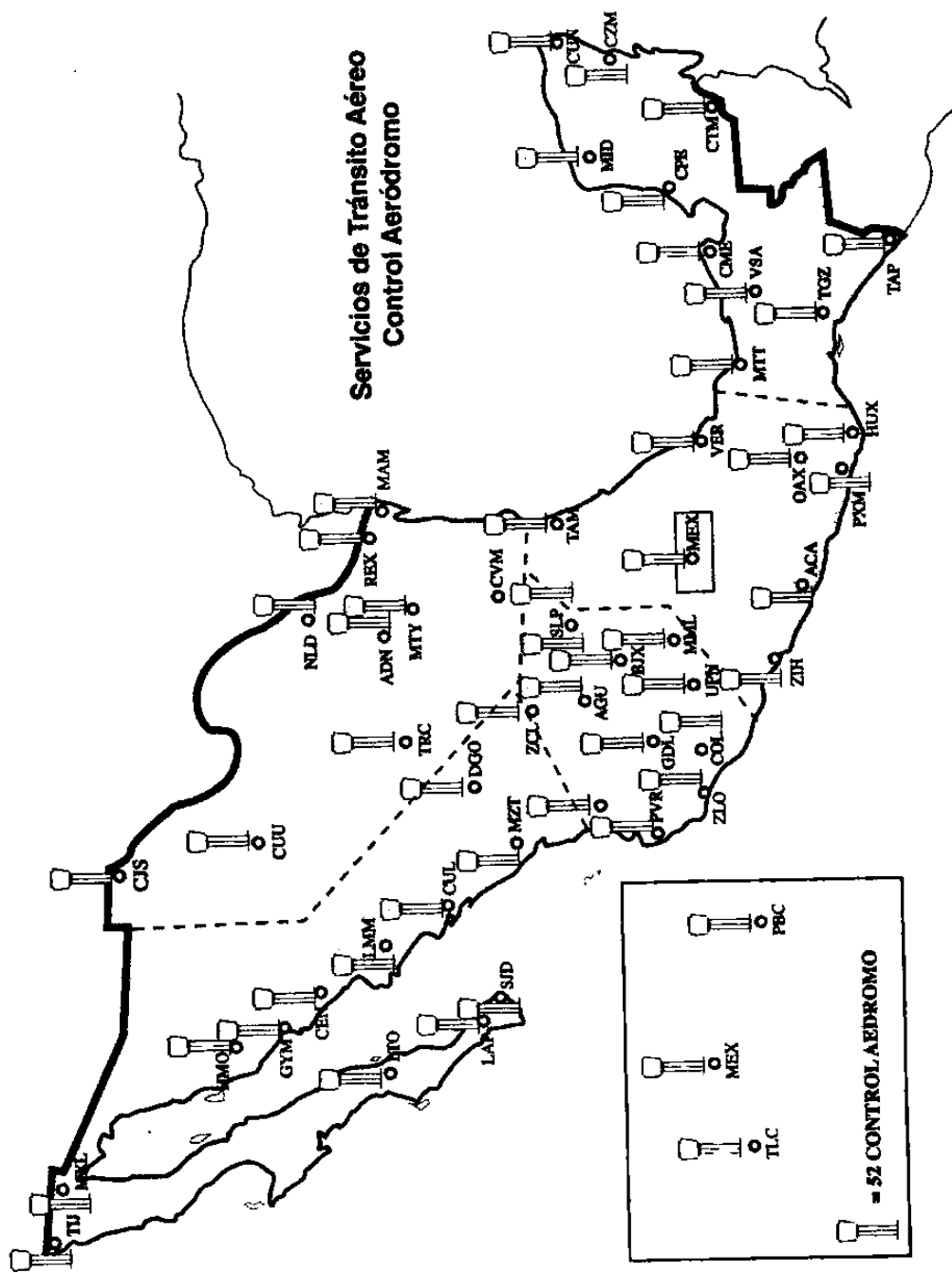


Fig. 9.3 Control aeródromo

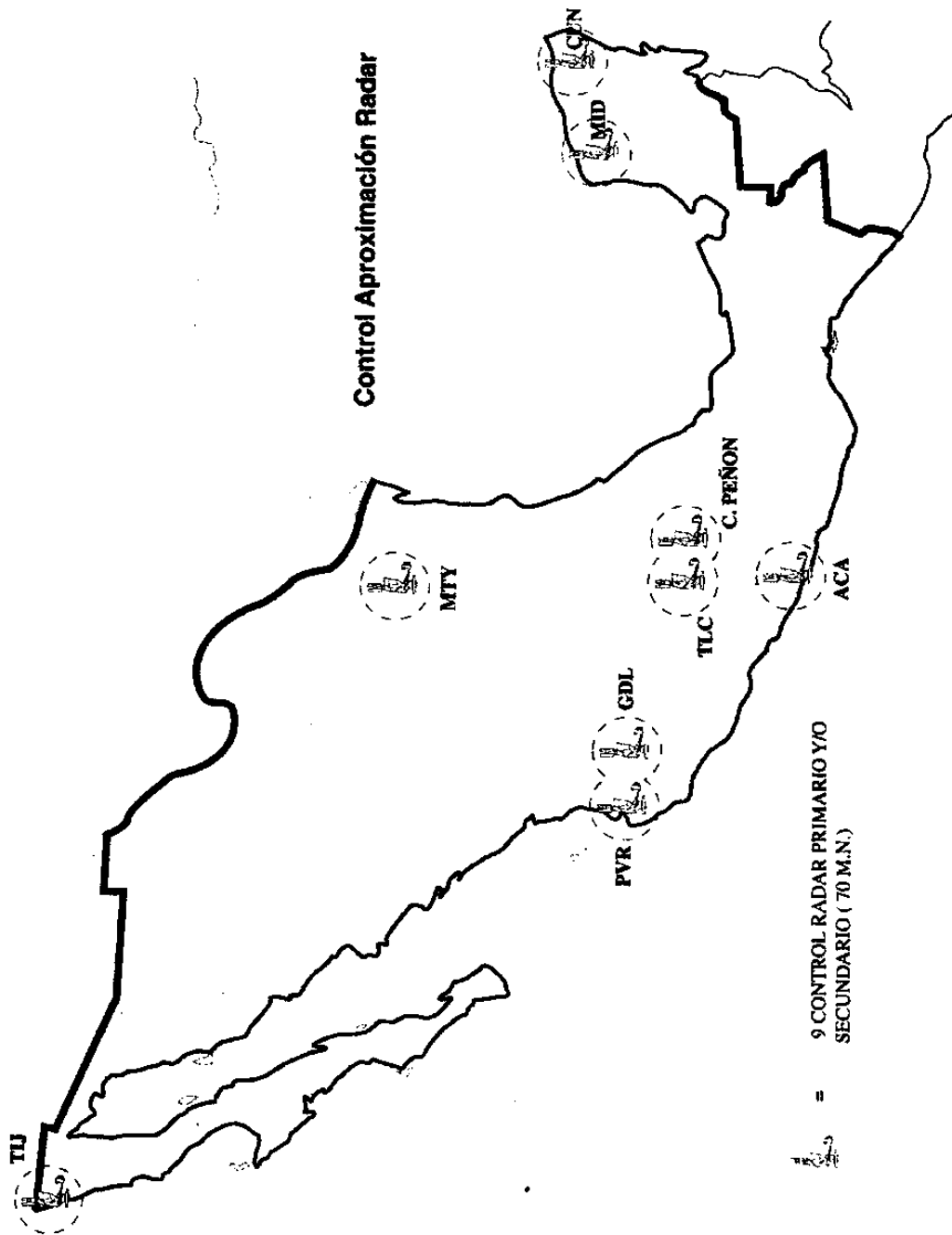


Fig. 9.4 Control Aproximación Radar

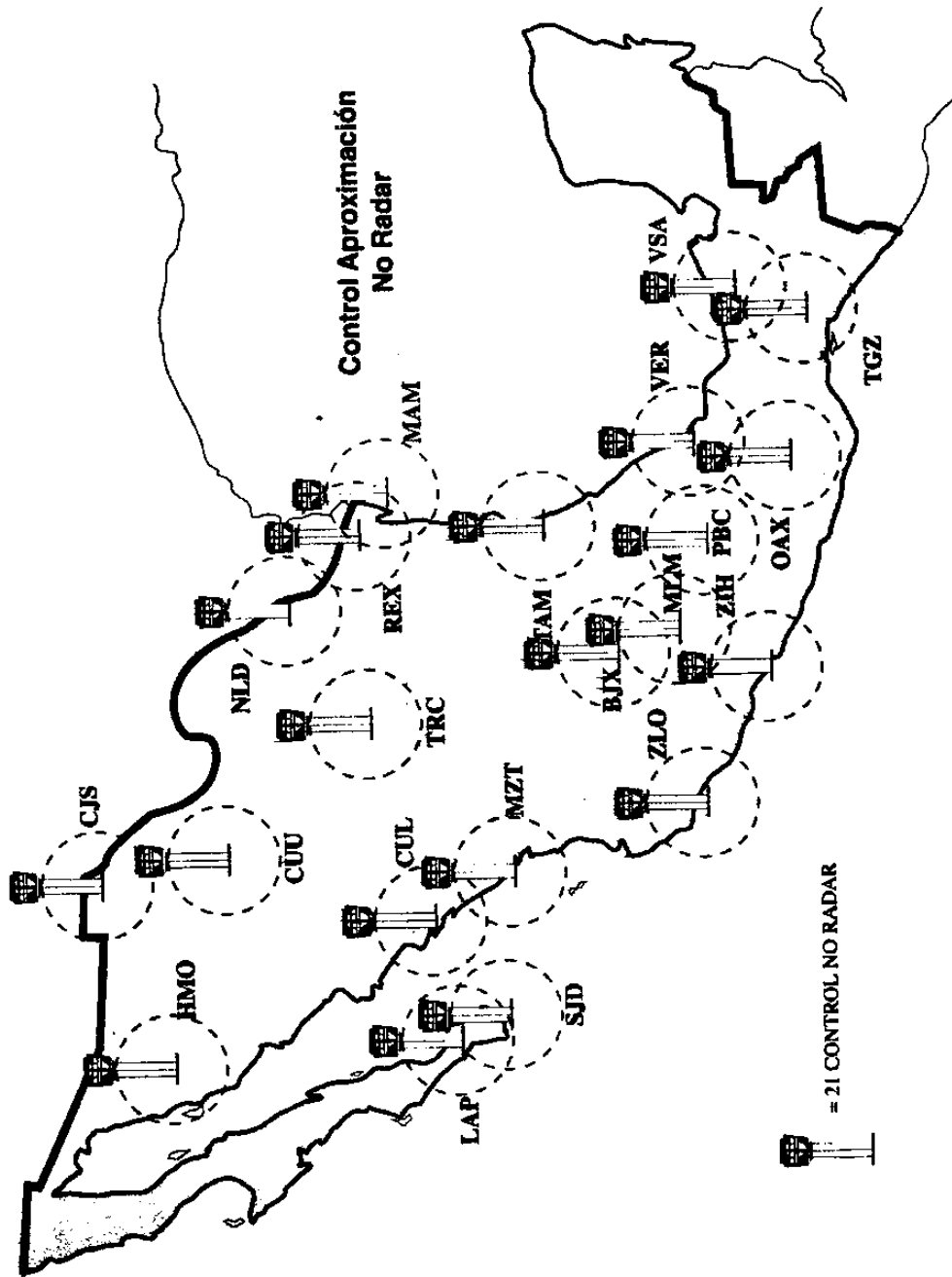


Fig. 9.5 Control Aproximación No Radar

Para obtener separación en vuelo, el controlador espacia a las aeronaves en distancia o tiempo, logrando la separación longitudinal, asignando diferentes rutas para el caso de la separación lateral o autorizando diferentes niveles a volar para obtener separación vertical.

Según las circunstancias, el controlador escogerá dentro de los métodos de separación, el que considere mas conveniente en ese momento.

Las unidades de control de aproximación mantienen una estrecha coordinación con las torres de control y los centros de control de área para intercambiar información e instrucciones relativas a la circulación aérea dentro de su espacio jurisdiccional.

En la figura 9.4 se indican los lugares que dan el servicio de Control de Aproximación Radar y en la figura 9.5 se indican los lugares que se da el servicio de Control de Aproximación No Radar.

9.5 SERVICIOS DE CONTROL DE ÁREA.

El servicio de control de área es proporcionado por los Centros de Control a todas las aeronaves con plan de vuelo por instrumentos que se encuentren volando a lo largo de las rutas aéreas (aerovías), designadas como espacio aéreo controlado.

Además se designa como espacio aéreo controlado para el suministro de este servicio, aquel espacio aéreo de forma irregular, desde 20,000 pies, hacia arriba.

Cabe mencionar que el espacio aéreo nacional para los efectos de control se divide verticalmente en espacio aéreo superior e inferior. El espacio aéreo inferior esta comprendido entre la superficie de terreno y hasta sin incluir 20,000 pies.

El espacio aéreo superior es aquel situado a partir de los 20,000 pies hacia arriba sin un limite superior.

Al conjunto de rutas aéreas se le denomina sistema nacional de aerovías, mismas que conectan los aeropuertos de salida con los de destino.

Por otra parte el control de área al tener bajo su responsabilidad espacios aéreos de grandes dimensiones se subdivide en sectores de control, atendidos cada uno de ellos por diferentes controladores, distribuyéndose las cargas de trabajo lo mas equitativamente posible.

Existen 4 Centros de Control de Área en el país: Centro de Control México, Centro de Control Mérida, Centro de Control Monterrey y Centro de Control Mazatlán, situados físicamente en los aeropuertos que sirven a cada una de las diferentes ciudades. En la figura 9.6 se indica como están divididos estos Centros de Control.

En síntesis y con el propósito de relacionar los 3 servicios de control (aeródromo, aproximación y área) podríamos pensar en la realización de un vuelo desde el momento en que una aeronave inicia su movimiento relacionado con su salida, el control se lleva a cabo por la torre de control hasta su despegue.

Ya en vuelo la responsabilidad se transferirá al control de aproximación el cual asumirá el control hasta que la aeronave se aproxime en ascenso a 20,000 pies o a las 50 millas lo que suceda primero. El control de aproximación entonces transferirá la responsabilidad al centro de control de área durante la fase de vuelo en ruta hasta que, durante el descenso, se aproxime nuevamente a los 20,000 pies. En ese momento se inicia el proceso inverso, se transferirá nuevamente al control de aproximación y mas tarde a la torre de control cerrándose el ciclo de los servicios de control de tránsito aéreo para los vuelos controlados.

El control de tránsito aéreo ha incrementado su capacidad de oferta de servicio con la introducción del radar como se muestra en la figura 9.7.

En el espacio aéreo nacional arriba de 20,000 pies (espacio aéreo superior) se proporciona el servicio radar casi en su totalidad. Por debajo de 20,000 pies (espacio aéreo inferior) se presta específicamente en los aeropuertos de mayor densidad de operaciones aéreas. Las ventajas del uso de radar entre otras son: poder reducir la separación de las aeronaves en vuelo sin menoscabo de la seguridad, eficientar la utilización del espacio aéreo, poder mantener una constante y confiable vigilancia visual de las operaciones así como poder asistir a los pilotos en problemas que pudieran sucitarse en su navegación.

La función principal de un equipo de radar es mostrar en una pantalla la ubicación de aeronaves proporcionando información de azimut y distancia, logrando con esto automatizar la información sobre la posición de las aeronaves en lugar de obtenerlas a través de las comunicaciones orales ente pilotos y controladores.

Se puede decir que el radar esta compuesto por un equipo transmisor, un equipo receptor de señales reflejadas o “ecos” y las pantallas de presentación de los mismos. Se puede dividir desde el punto de vista operacional en radar de vigilancia de aeródromo y radar de vigilancia en ruta, este ultimo empleado para cubrir grandes extensiones del espacio aéreo.

Los equipos de radar de vigilancia en ruta se encuentran asociados a los centros de control de área en: México, Monterrey, Mazatlán y Mérida. Estos equipos son, de largo alcance, normalmente de 200 millas y operan basándose en interrogadores en tierra con respondedores en las aeronaves. Por lo anterior se les conoce como Radar Secundario.

Recientemente fueron inaugurados en nuestro país modernos centros de control radar automatizados, de avanzada tecnología, lo que permite a los controladores concentrar su atención en acciones mas apegadas al control, relevándose de actividades rutinarias que puede realizar una computadora con mayor rapidez.

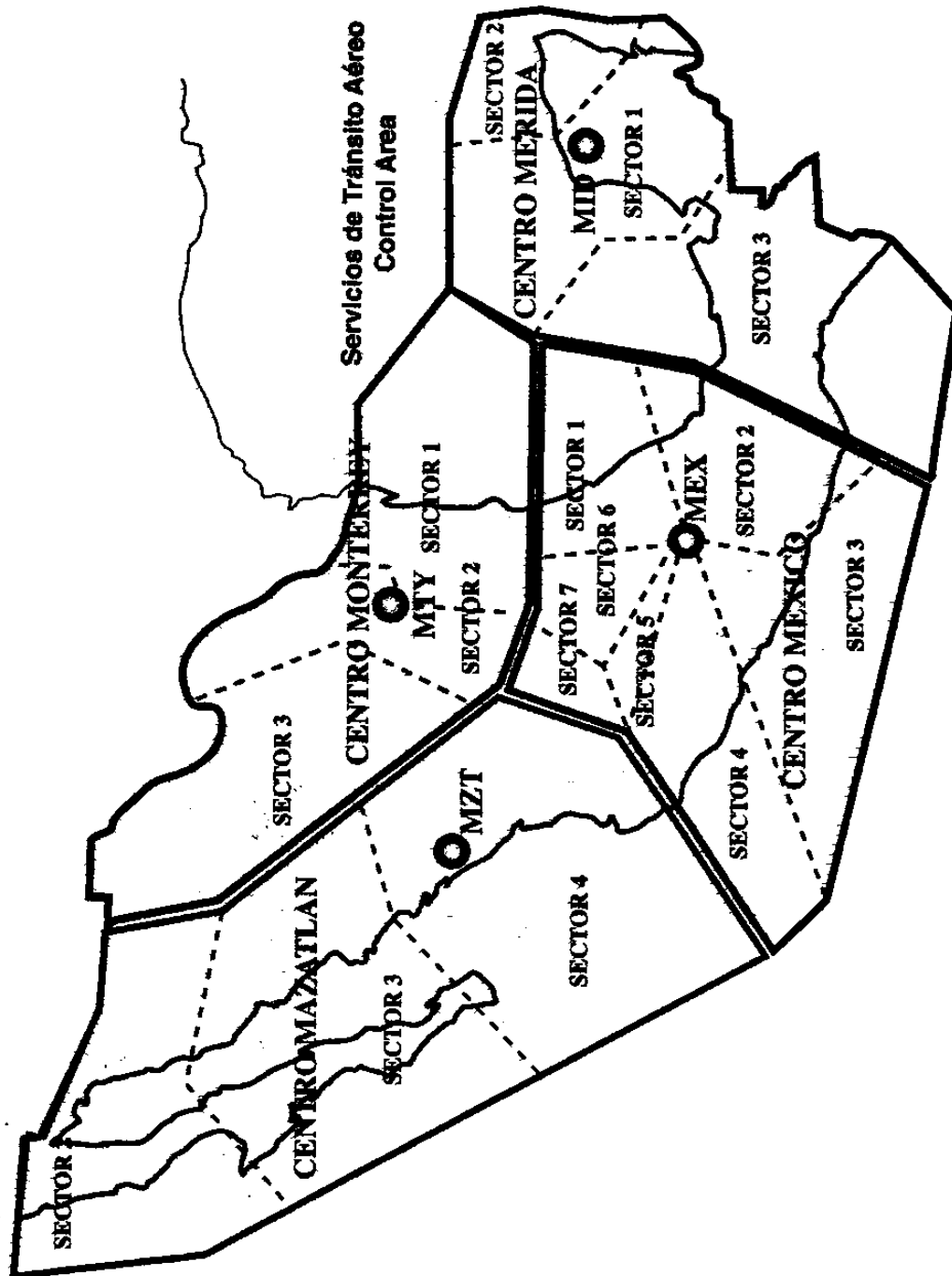


Fig. 9.6 Control de Area



Fig. 9.7 Centro de control

El personal que interviene para proporcionar el servicio de control de tránsito aéreo es altamente calificado y especializado. Cuenta con una licencia que cumple con los requisitos establecidos por la autoridad aeronáutica y que los faculta para desempeñar tan delicada labor.

Asimismo el controlador esta siendo capacitado constantemente, a fin de mantener niveles óptimos de desempeño y por tanto todos los centros de control en nuestro país cuentan con simuladores, los que por medio de programas de informática especializada son capaces de recrear muy diversas situaciones inherentes al ámbito de control de tránsito aéreo con las cuales el personal deberá estar familiarizado.

CAPÍTULO 10

CAPACIDAD INSTALADA EN MÉXICO

10.1 INTRODUCCIÓN

El conjunto de instalaciones que hacen posible las ayudas a la navegación aérea, significa la acumulación de muchas horas de observación, investigación, de teoría y praxis del método de trabajo de muchos hombres de ciencia. La interrelación de aeronaves de vuelo con las instalaciones terrestres, es el fruto del trabajo científico, y su continuidad en la operación se mantiene gracias al desempeño del personal técnico altamente calificado en cada una de las especialidades que toman parte en los servicios.

10.2 COMUNICACIONES AERONÁUTICAS

Las telecomunicaciones aeronáuticas cuentan con dos grandes sistemas: El Servicio Fijo Aeronáutico (AFTN) y el Servicio Móvil Aeronáutico.

La AFTN es una red de telecomunicaciones fijas aeronáuticas dedicada al intercambio de mensajes entre las empresas aéreas, las estaciones nacionales e internacionales y en general el medio aeronáutico. Los mensajes que maneja son los relacionados con la seguridad y regularidad aeronáutica, de control de tránsito aéreo, información meteorológica y Notams.

El sistema AFTN está integrado a nivel nacional por una red de 58 estaciones, las cuales son enlazadas por un centro de Comunicaciones Aeronáuticas que se encuentra en la Ciudad de México y cuya operación de los circuitos AFTN esta controlada por un equipo de conmutación automático principal denominado “SISTEMA SS-2000” y una

Unidad Secundaria ubicada en el Centro de Análisis y Pronósticos en el mesainin del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, conocida como “SISTEMA SC-2000”.

Hay también cuatro Subcentros de Comunicaciones en Mazatlán, Monterrey, Mérida y Guadalajara, que están totalmente automatizados con equipo de alta tecnología y compatible a cualquier velocidad. Se cuenta así mismo con seis Subcentros de baja capacidad en Can Cun, Puerto Vallarta, Acapulco, Toluca, San José del Cabo y La Paz.

Del total de los circuitos del sistema “SS-2000”, seis están destinados para el encaminamiento de mensajes al extranjero; dos para enlazar a México a la Red Mundial AFTN, para asegurar el intercambio de información con cualquier aeropuerto enlazado a esta red en todos los países.

Este sistema de comunicaciones por conmutación automatizada sitúa el servicio a la altura y nivel de otros centros de comunicaciones aeronáuticas extranjeras. Tanto el servicio nacional, como a nivel internacional, la interconexión entre todos y cada una de las estaciones y centros, se ajusta a disposiciones de OACI.

El servicio de la red AFTN esta comunicada principalmente a través del sistema nacional de microondas, integrado por la red de Teléfonos de México, así como radioenlaces multicanales, instalados por SENEAM y estaciones terrenas del Sistema de Satélites de Solidaridad.

El Servicio Móvil Aeronáutico, está integrado por una red de 44 estaciones repetidoras remotas, distribuidas en todo el territorio nacional, que proporciona el servicio desde y a los centros de control de tránsito aéreo para las comunicaciones aire-tierra, así mismo con torres de control para la comunicación con las aeronaves.

En las figuras 10.1, 10.2, 10.3, 10.4, y 10.5 se muestra la capacidad instalada de cada uno de los servicios indicados anteriormente.

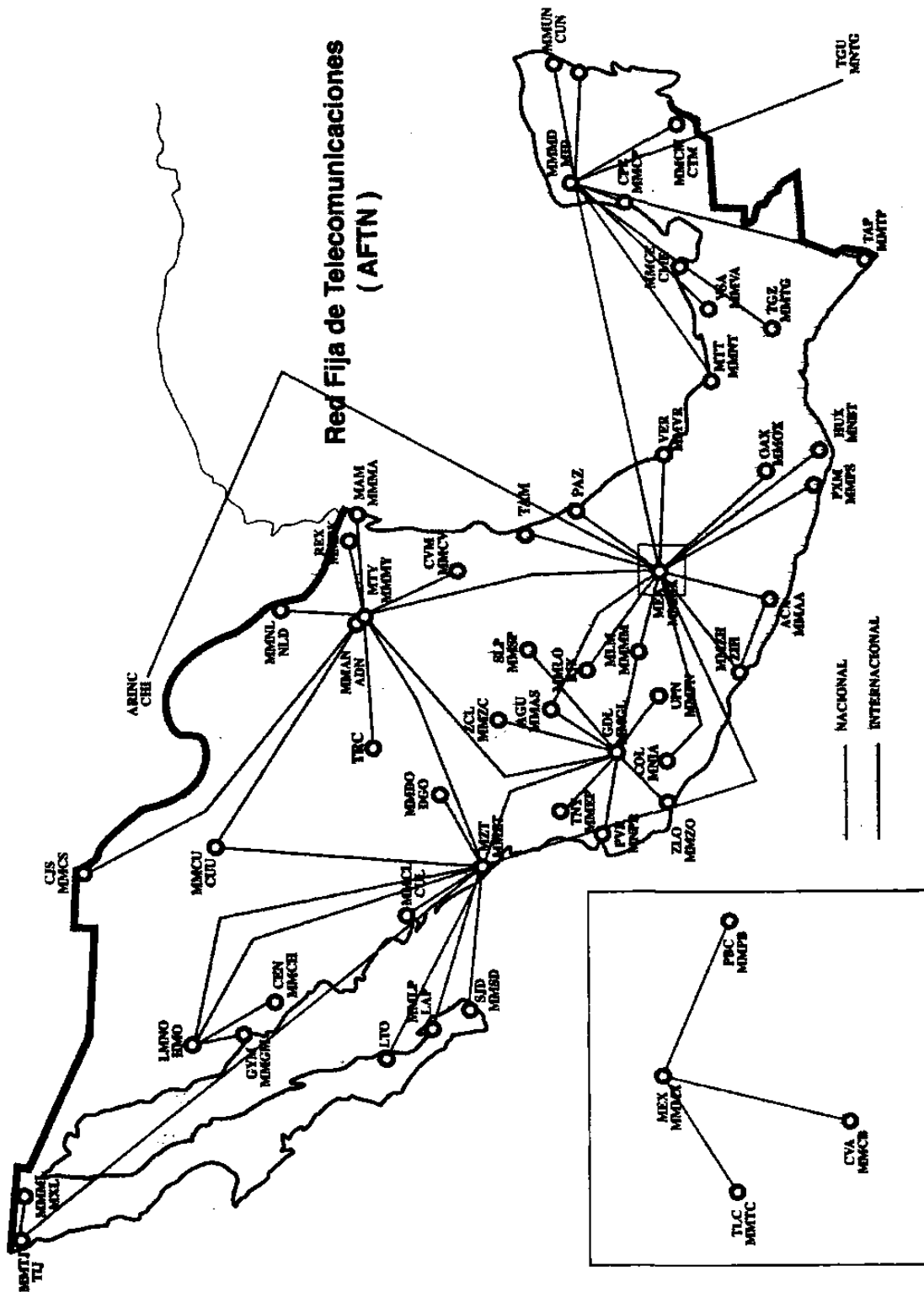


Fig. 10.1 Red fija de Telecomunicaciones

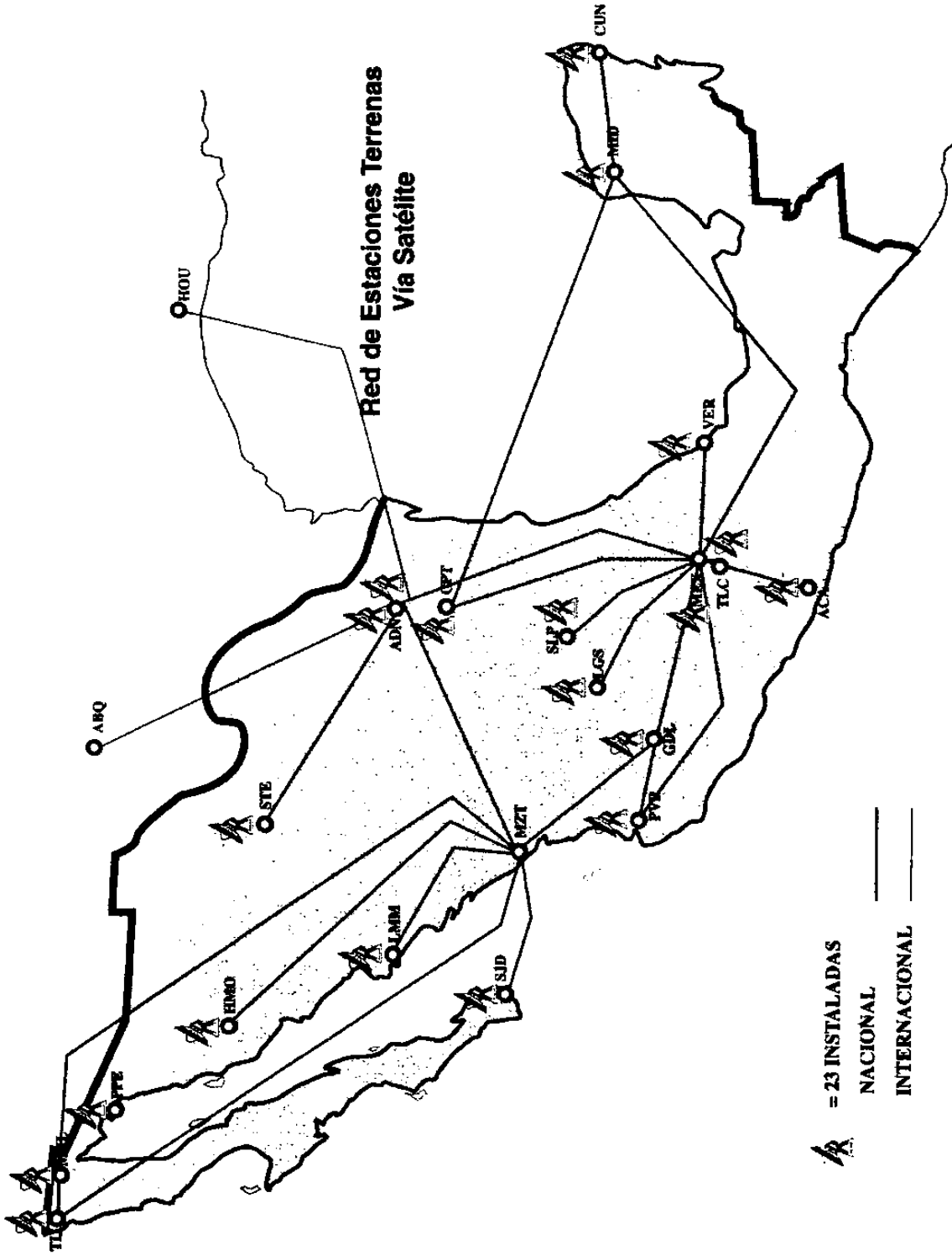


Fig. 10.2 Red de Estaciones Terrenas

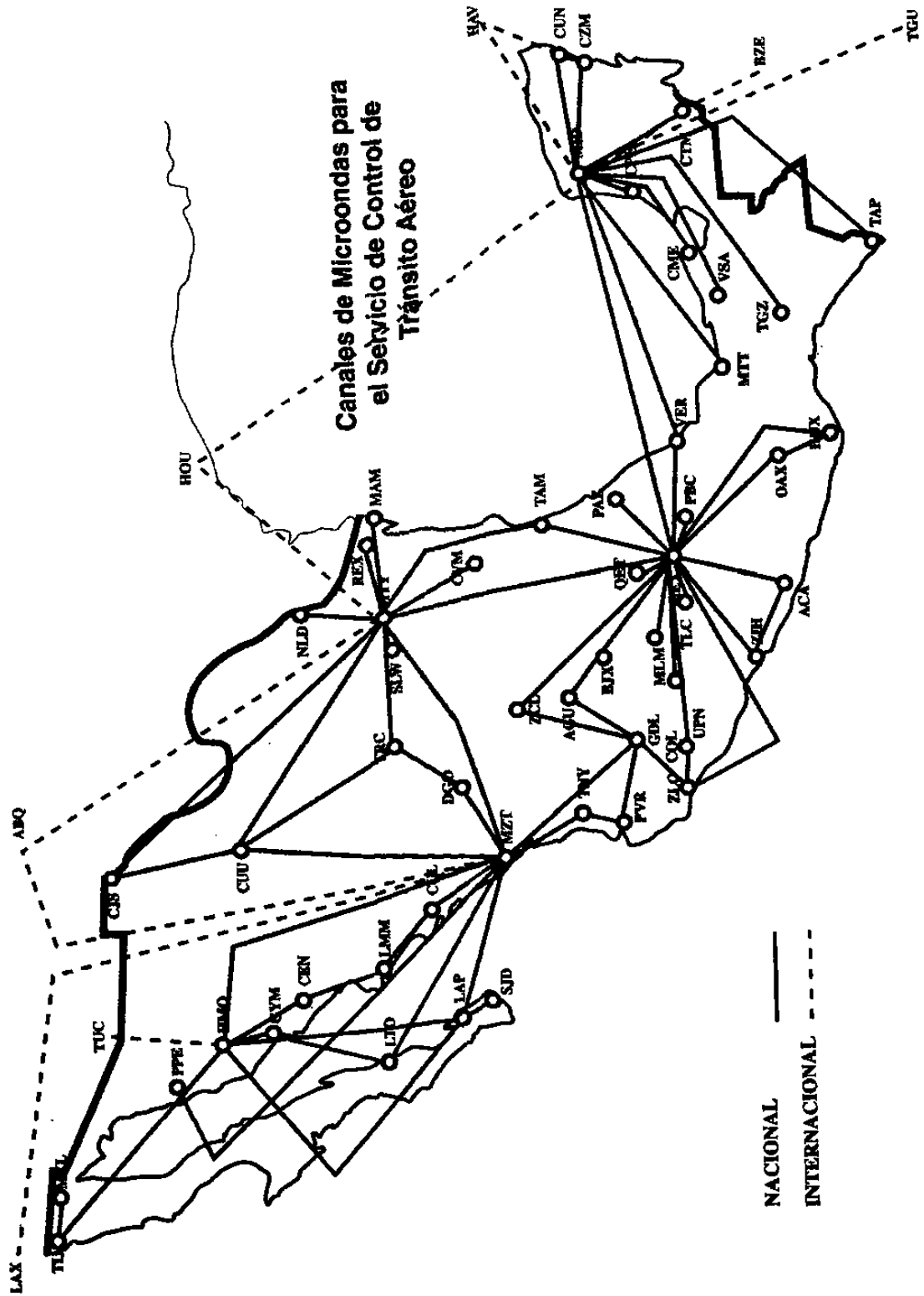
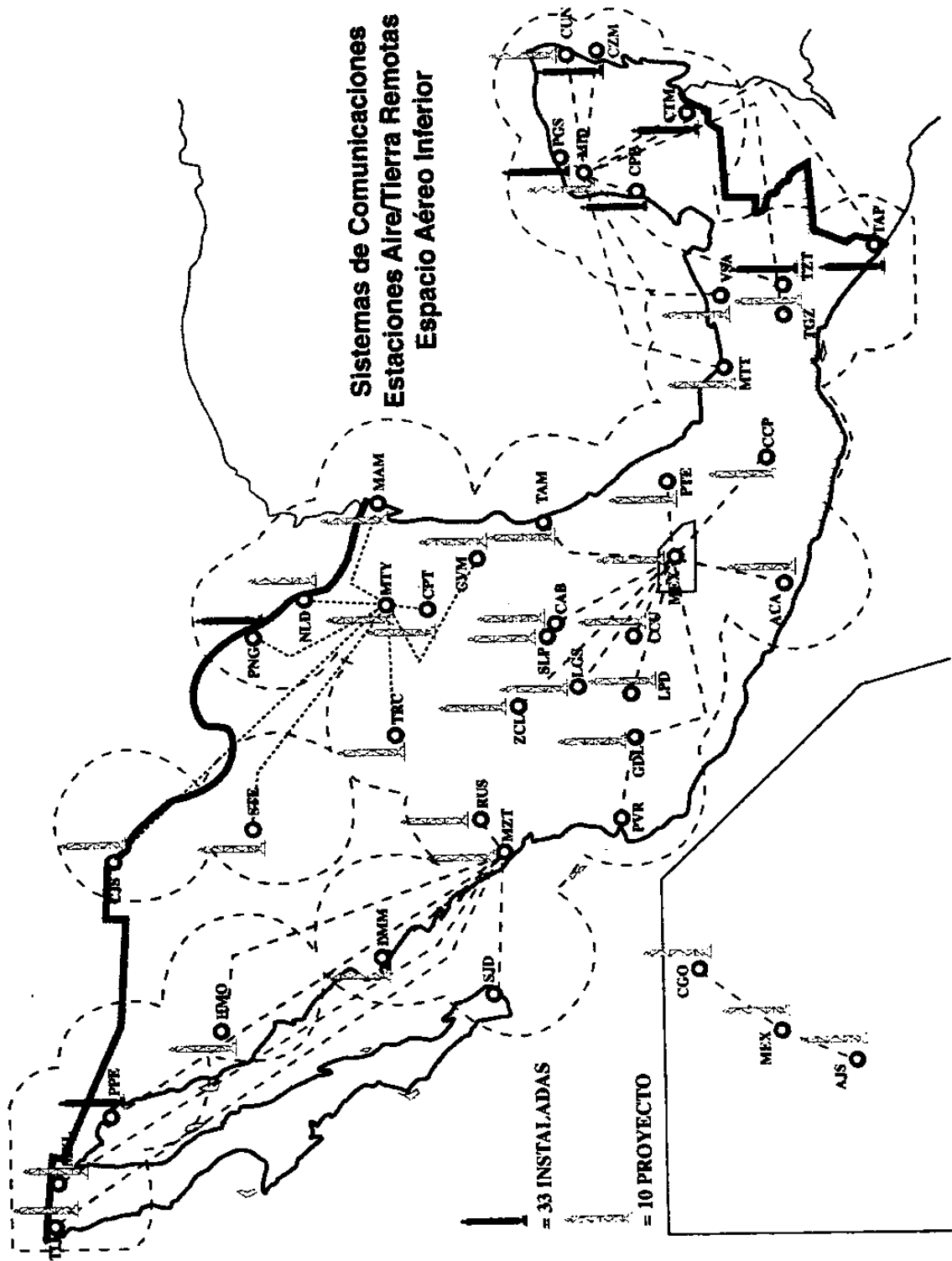


Fig. 10.3 Canales de Microondas

Fig. 10.4 Estaciones Aire/Tierra remotas



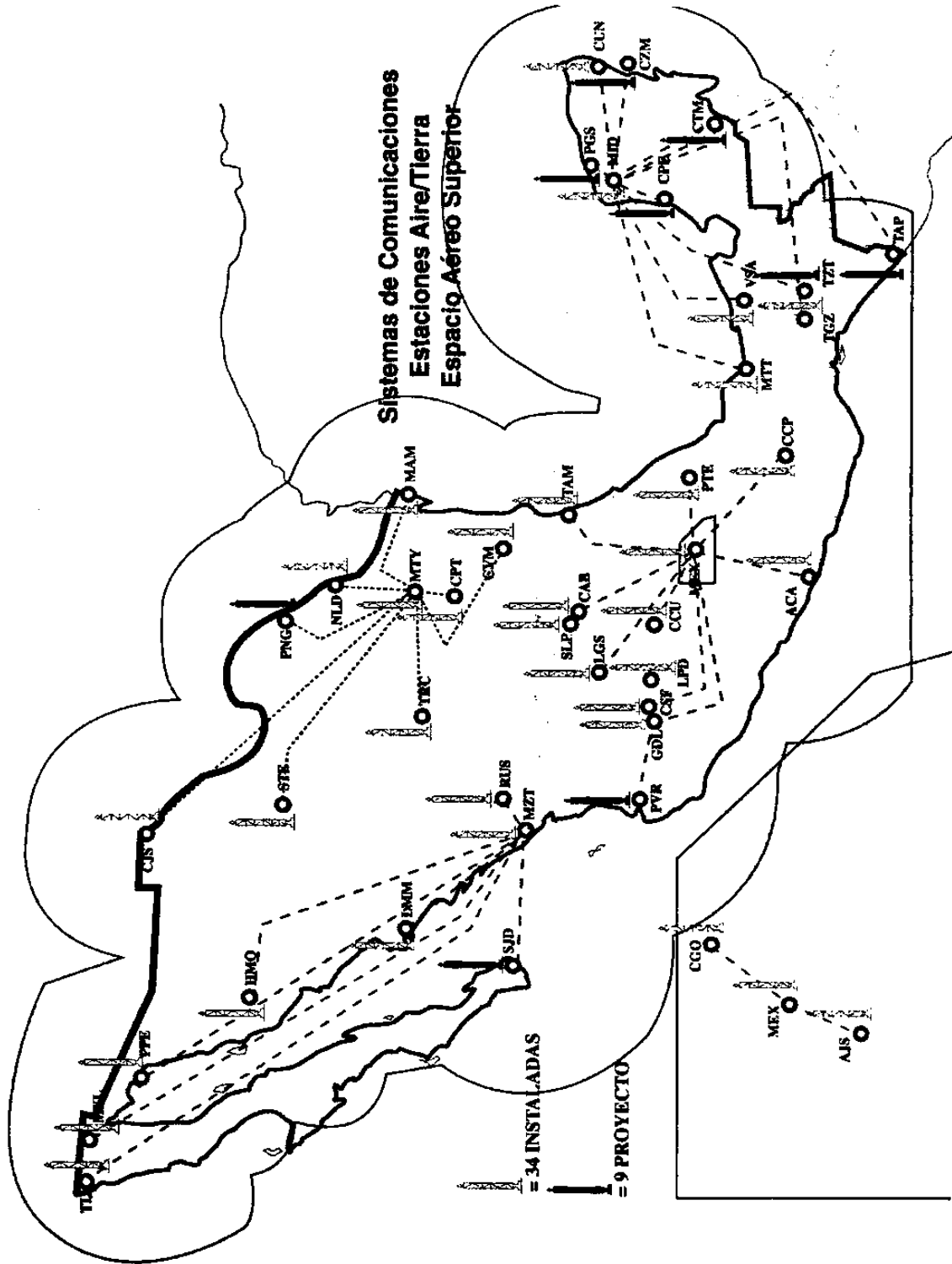


Fig. 10.5 Estaciones Aire/Tierra Espacio Superior

10.3 RADIOFARO OMNIDIRECCIONAL DE MUY ALTA FRECUENCIA

El equipo VOR es un radiofaro omnidireccional de muy alta frecuencia, cuyo nombre proviene del acrónimo de la expresión en inglés “Very High Frequency Omnidirectional Range”

Este equipo instalado en tierra se utiliza en el señalamiento de las rutas aéreas.

Es una estación que transmite al espacio, mediante ondas electromagnéticas, trayectorias radiales de las cuales se utilizan 360. coincidiendo con cada uno de los 360° de la rosa náutica.



Fig. 10.6 Estación VOR

El equipo transmisor funciona por duplicado, para asegurar la continuidad de la operación. Al fallar el equipo titular automáticamente entra el emergente. Está protegido por una caseta metálica y tiene una antena de corta altura que permite radiar la mayor porción de energía.

Cada estación VOR cuenta con una planta generadora de energía eléctrica para mantener el suministro a los transmisores.

Los radiales emitidos por los equipos VOR, son captados por la aeronave, por medio del equipo Selector de Marcaciones Omnidireccionales conocidos como OBS,

que indica al piloto el desplazamiento del avión respecto al radial seleccionado. Por lo general, los equipos VOR se sitúan sobre la línea paralela en tierra a la aerovía. Se instalan a una distancia de 100 millas náuticas o 185 kilómetros entre uno y otro.

Durante el vuelo entre dos equipos VOR, a la mitad de la trayectoria (50 millas náuticas o 92.5 kilómetros) el piloto cambia su contacto o radionavegación del VOR de atrás por el siguiente.

Los equipos VOR trabajan en la banda de muy alta frecuencia (VHF) en la gama de 108 a 112 MHz como ayuda para uso terminal en aeropuertos y de 112 a 117.5 MHz para navegación en ruta.

Cada estación tiene su identificación única en un grupo de tres letras en Código Morse. Esta identificación permite comprobar el equipo con el que se está navegando.

El funcionamiento de los equipos VOR es vigilado permanentemente por medio de equipos monitores instalados en las torres de control o en sus propias casetas detectando cualquier anomalía en su operación.

Por sus características técnicas esta radioayuda es la más utilizada al igual que el DME, no obstante su corto alcance determinado por el campo visual que le ofrece la muy alta frecuencia (VHF). Actualmente existen 74 estaciones VOR que proporcionan el servicio como se muestra en la figura 10.7.

10.4 EQUIPO MEDIDOR DE DISTANCIA.

Una interrogante de la navegación aérea importante y vital, es la que el piloto se plantea cuando quiere saber a que distancia se encuentra en un momento determinado, para tener esta información se creó el DME, que es una radioayuda que obtiene su nombre de las siglas de la expresión en inglés "Distance Measuring Equipment". Este

equipo funciona en combinación con el VOR (VOR/DME), para permitirle al piloto conocer la distancia, en millas náuticas, a que se encuentra de la estación sintonizada.

El DME también se asocia con el localizador del Sistema de Aterrizaje por Instrumentos (ILS), y señala el punto donde se encuentra el marcador exterior. Cuando el avión se encuentra en ruta sirve también para indicar procedimientos de espera basados en DME.

Es una radioayuda que consta de dos estaciones, un equipo a bordo de la aeronave llamado interrogador y otro equipo en tierra denominado respondedor. El interrogador, envía señales a determinados intervalos que son recibidos por la estación de tierra o sea del respondedor, el cual contesta transmitiendo a la aeronave una señal en otra frecuencia, que es captada por un equipo automático que mide el tiempo de ida y regreso de ambas señales, permitiendo que el piloto pueda conocer en cualquier momento, la distancia entre la aeronave y la radioayuda instalada en el aeropuerto. Es importante mencionar que la distancia medida es en línea recta desde la estación a la aeronave y no la distancia “horizontal” sobre la superficie terrestre.

El DME, es un sistema que trabaja en Ultra Alta Frecuencia (UHF), en la banda de 960 a 1,215 MHz. Tiene un alcance aproximado de 200 millas náuticas y de 75,000 pies de altura.

La operación del DME permite al piloto sintonizar la frecuencia para obtener simultáneamente información de distancia al VOR o al ILS.

Es interesante señalar que el equipo respondedor tiene capacidad para atender a 100 aeronaves simultáneamente y que según con el equipo que se encuentre asociado (VOR o ILS) es en el lugar en que se encuentra.

En la actualidad se cuenta con 74 DME asociados a los Radiofaros VOR y con 16 DME asociados con los ILS.

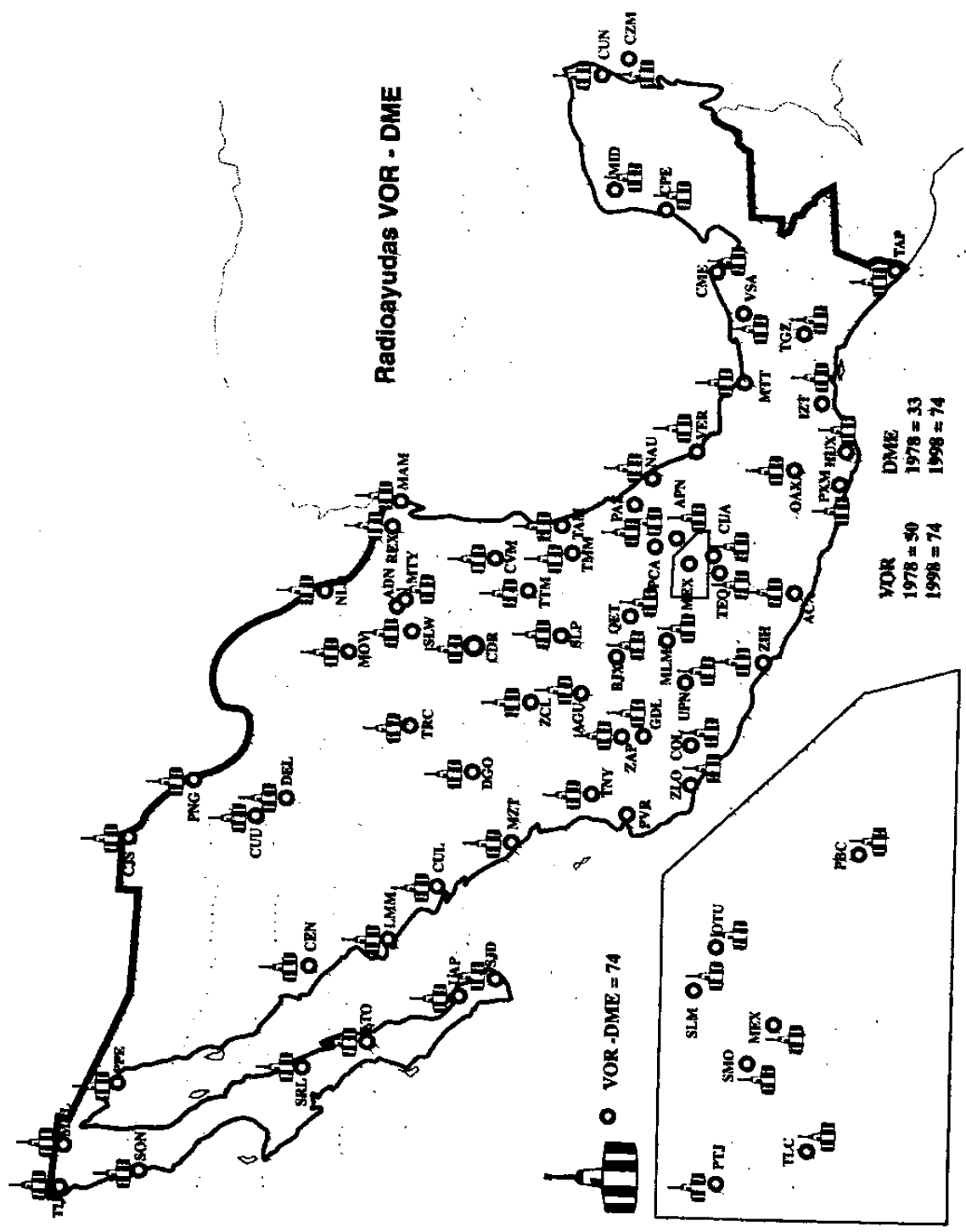


Fig. 10.7 Radioayudas VOR/DME

10.5 RADIOFARO NO DIRECCIONAL (NDB)

Las siglas por las que se conocen a este tipo corresponden a las iniciales del inglés “No Directional Beacon” y es un radiofaro de baja o media frecuencia que radía su energía en el aire en forma circular en todas direcciones, sin producir trayectorias definidas en el espacio, que son captadas por el avión con una antena de aro y un equipo radiogoniómetro, buscador automático de dirección conocido por las siglas ADF del inglés “ Automatic Direction Finder”.

Los equipos NDB operan en la banda de frecuencia de 200 a 415 KHz y de 1600 a 1769 KHz. Cada uno tiene su identificación única y continua de tres letras en Código Morse.

La utilidad del radiofaro NDB se aprecia mejor en rutas oceánicas; aerovías sobre el golfo de México y el océano pacífico, debido a su mayor alcance sobre áreas marítimas.

En la superficie terrestre la cobertura de esta radioayuda depende de la radiofrecuencia que se sintoniza, de la potencia del transmisor y de la conductividad del terreno que pueden afectar la señal.

Su aportación a la aeronavegación puede ser para ascensos o descensos y para el desplazamiento en aerovías.

El alojamiento del equipo se encuentra en una caseta de mampostería o metálica, con sistema de energía eléctrica ininterrumpible y una antena de metal de aproximadamente de 10 a 15 metros, propiciando radiar la mayor porción de energía en forma de onda terrestre.

Hoy día existen en operación 16 radiofaros de esta clase (ver fig. 10.8), con la tendencia a dejar el mínimo necesario para el señalamiento de rutas oceánicas.

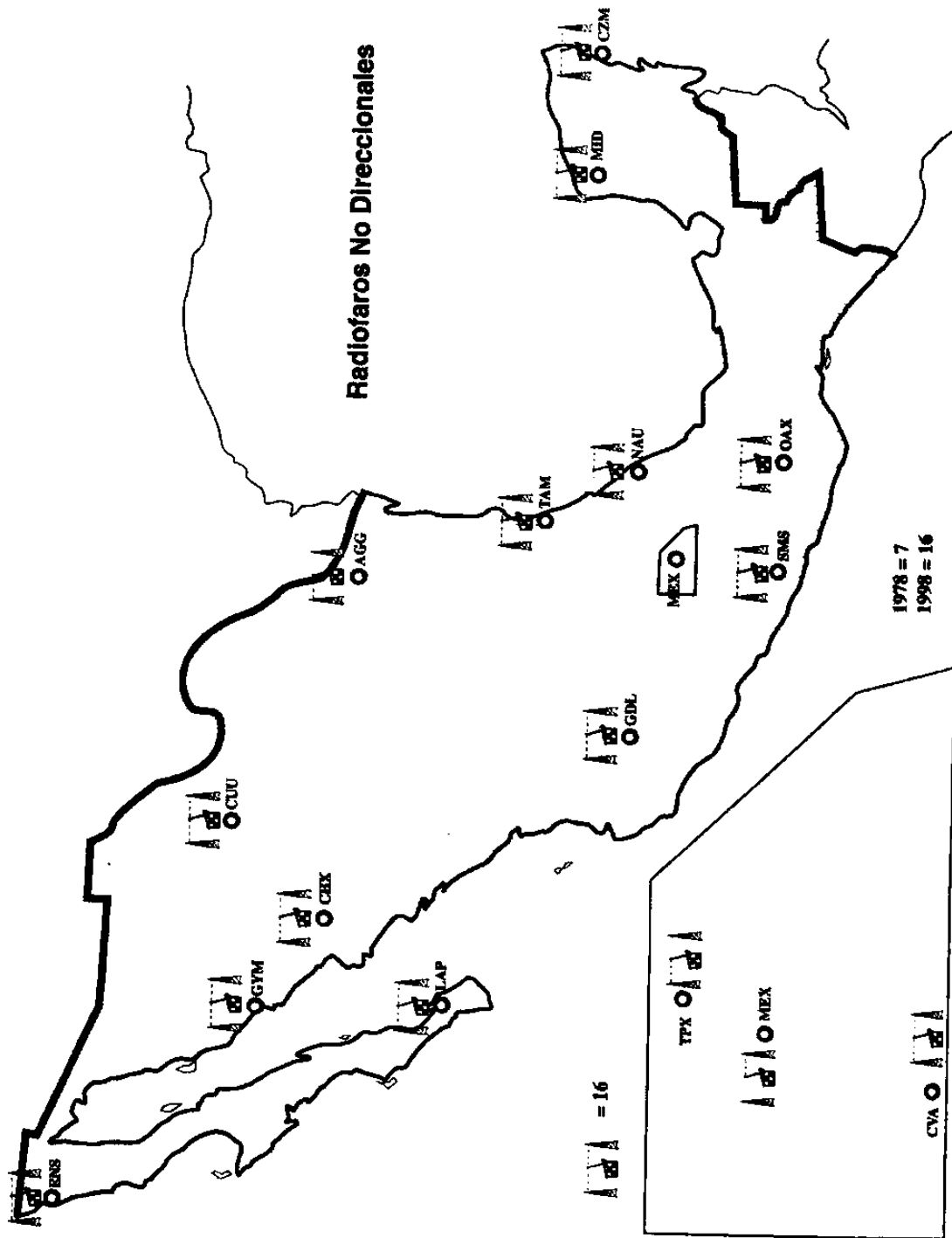


Fig. 10.8 Radiofaro No Direccional

10.6 SISTEMA DE ATERRIZAJE POR INSTRUMENTOS (ILS)

Este sistema toma su nombre de la expresión Instrument Landing System, se diseñó para proveer al piloto con una señal electromagnética exacta de la trayectoria y alineamiento a la pista en aproximación final para aterrizar; proporciona una guía de rumbo con respecto al eje longitudinal de la pista y la pendiente óptima de descenso relacionada con el umbral, en condiciones de visibilidad reducida.



Fig. 10.9 Antenas Sistema ILS

El ILS está constituido por elementos básicos:
LOCALIZADOR (LOC)
TRAYECTORIA DE PLANEEO (TP)

Actualmente hay 16 sistemas ILS instalados en diferentes aeropuertos de la República (ver fig.10.10), especialmente en los que presentan condiciones meteorológicas adversas durante un tiempo considerable del año.

EL LOCALIZADOR, proporciona al piloto información constante desde 20 millas antes del aeropuerto para su correcta alineación en el aterrizaje. Emite señales electromagnéticas de muy alta frecuencia (VHF), en el sentido de la trayectoria de aproximación final y alineado con el eje longitudinal de la pista. Este localizador se encuentra colocado en la cabecera de la pista contraria de la pista que se utilice.

LA TRAYECTORIA DE PLANEEO (TP), radia señales electromagnéticas en ultra alta frecuencia (UHF) en el sentido de trayectoria de aproximación final, formando un ángulo con la horizontal, que provee el libramiento de obstáculos requeridos de tal manera que el piloto guiado por las señales de su equipo receptor abordó, puede aún en condiciones desfavorables de tiempo, volar con toda seguridad sobre los obstáculos que pudieran existir durante la fase final del vuelo, manteniendo la distancia reglamentaria sobre el terreno. La TP se encuentra situado en la pista.

10.7 SISTEMA RADAR.

La palabra Radar proviene del acrónimo de las palabras inglesas “Radio Detection and Ranging”, es un sistema que permite la localización de las aeronaves y su ubicación ya sea en cuanto a distancia, dirección o altura mediante la propiedad de reflejo de las ondas de radio.

El principio de funcionamiento del Radar, consiste en una antena giratoria que recibe las ondas electromagnéticas de ultra alta frecuencia (UHF) que ella misma emite. Cuando estas ondas chocan contra algún objeto estas son reflejadas y al aceptarlas el sistema son procesadas para aparecer en forma de impulsos luminosos en la pantalla señalando la posición del objeto.

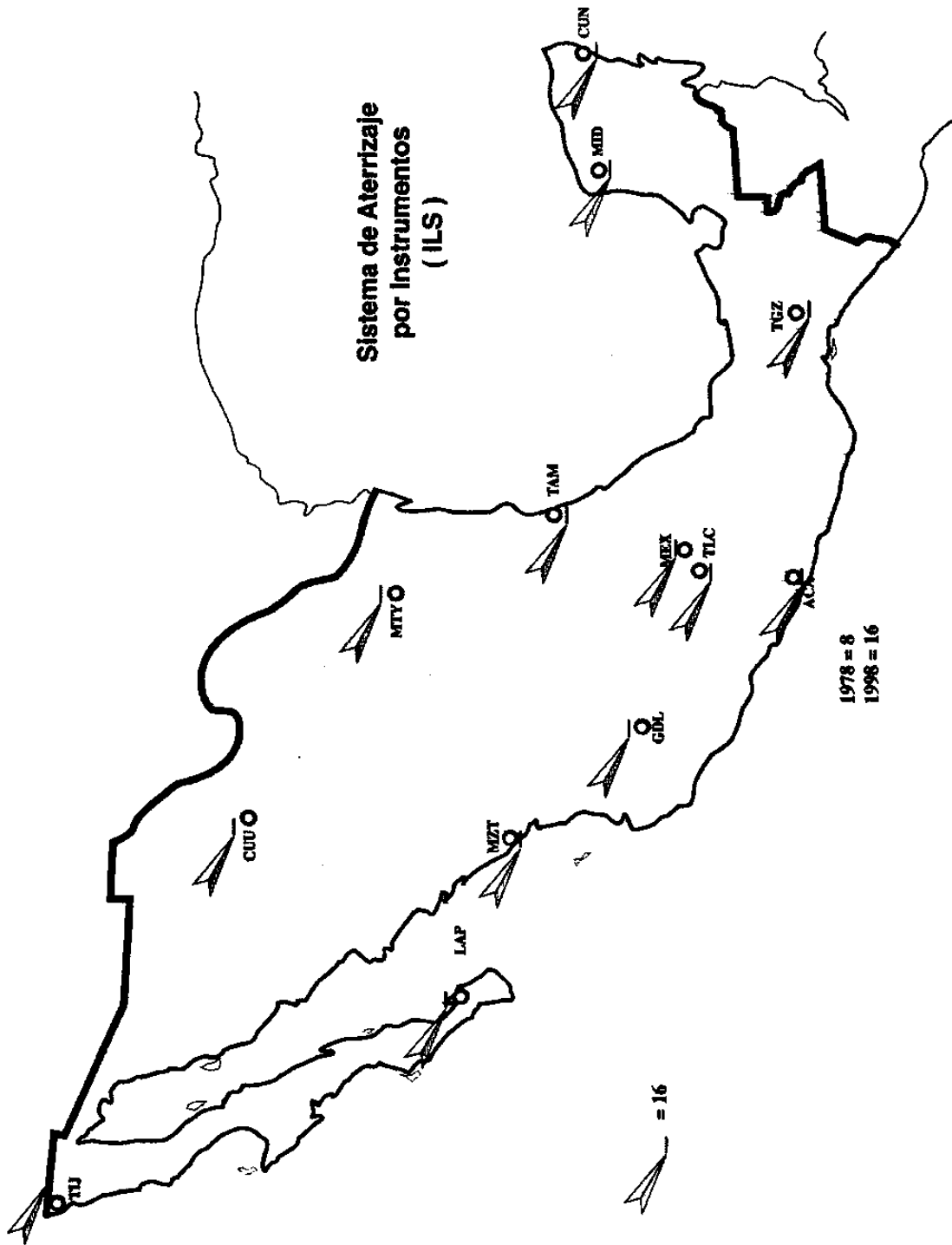


Fig. 10.10 Sistemas ILS

El sistema de Radar puede ser Primario (PSR), cuando la detección del objeto se efectúa a través del reflejo de ondas electromagnéticas y está destinado al reconocimiento de aeronaves volando en las proximidades del aeropuerto y a lo largo de rutas aéreas, la información que proporciona este equipo al personal de control de tránsito aéreo, es de dirección y distancia.

Su área de búsqueda también llamada barrido de una antena abarca los 360 grados de azimut y su antena, montada sobre una base rotatoria, gira a una velocidad aproximada entre 6 y 15 RPM.

Estos sistemas son capaces de detectar 6 niveles de intensidad de lluvia, que van desde sus formaciones iniciales hasta sus precipitaciones más intensas, proporcionándole al controlador de tránsito aéreo información en dos niveles: de previsión y alarma en un radio de 80 millas náuticas en los principales aeropuertos.

El sistema Radar Secundario (SSR) trabaja en base a interrogaciones, esto es que la información se obtiene mediante transiciones automáticas de señales de radio para ello es necesario además del equipo en tierra un equipo a bordo del avión que se denomina transponder, el cual capta la señal emitida desde tierra y mediante un código envía una respuesta que es recibida y procesada por el equipo de radar que la hace aparecer en la pantalla, en forma de letras que identifican a la aeronave. El radar secundario proporciona información de una manera más nítida que le permite identificar más fácil y continuamente a las aeronaves. A través de este sistema el personal de Control de Tránsito Aéreo, obtiene información relativa a la altitud, distancia, velocidad e identificación de las aeronaves.

A la fecha se cuenta con 18 estaciones radar de las cuales siete tienen un servicio PSR/SSR y el resto operan solo con SSR. Como algo especial el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, cuenta además del servicio PSR/SSR, con un radar de superficie (ver figuras 10.11 y 10.12).

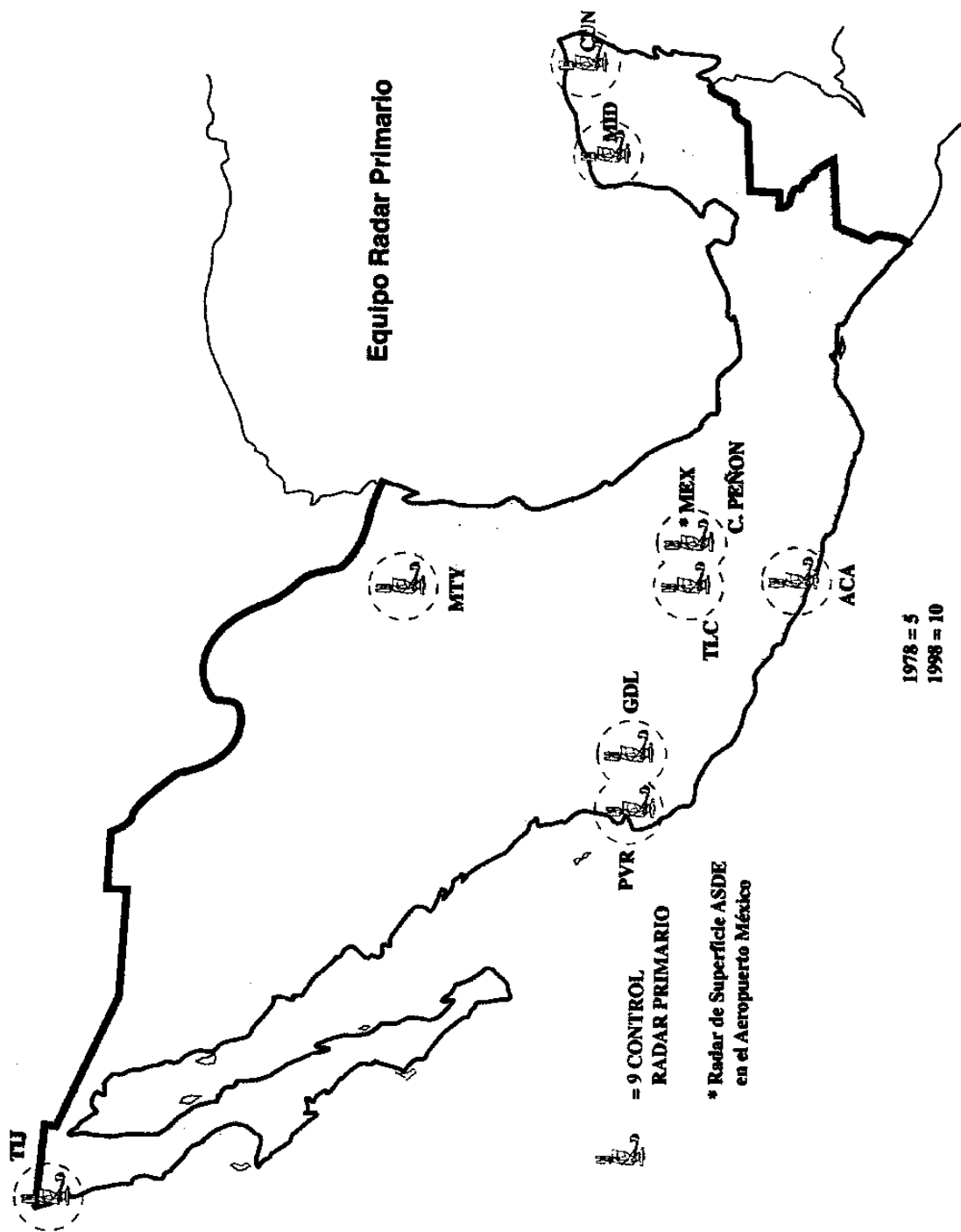


Fig. 10.11 Sistemas de Radar Primario

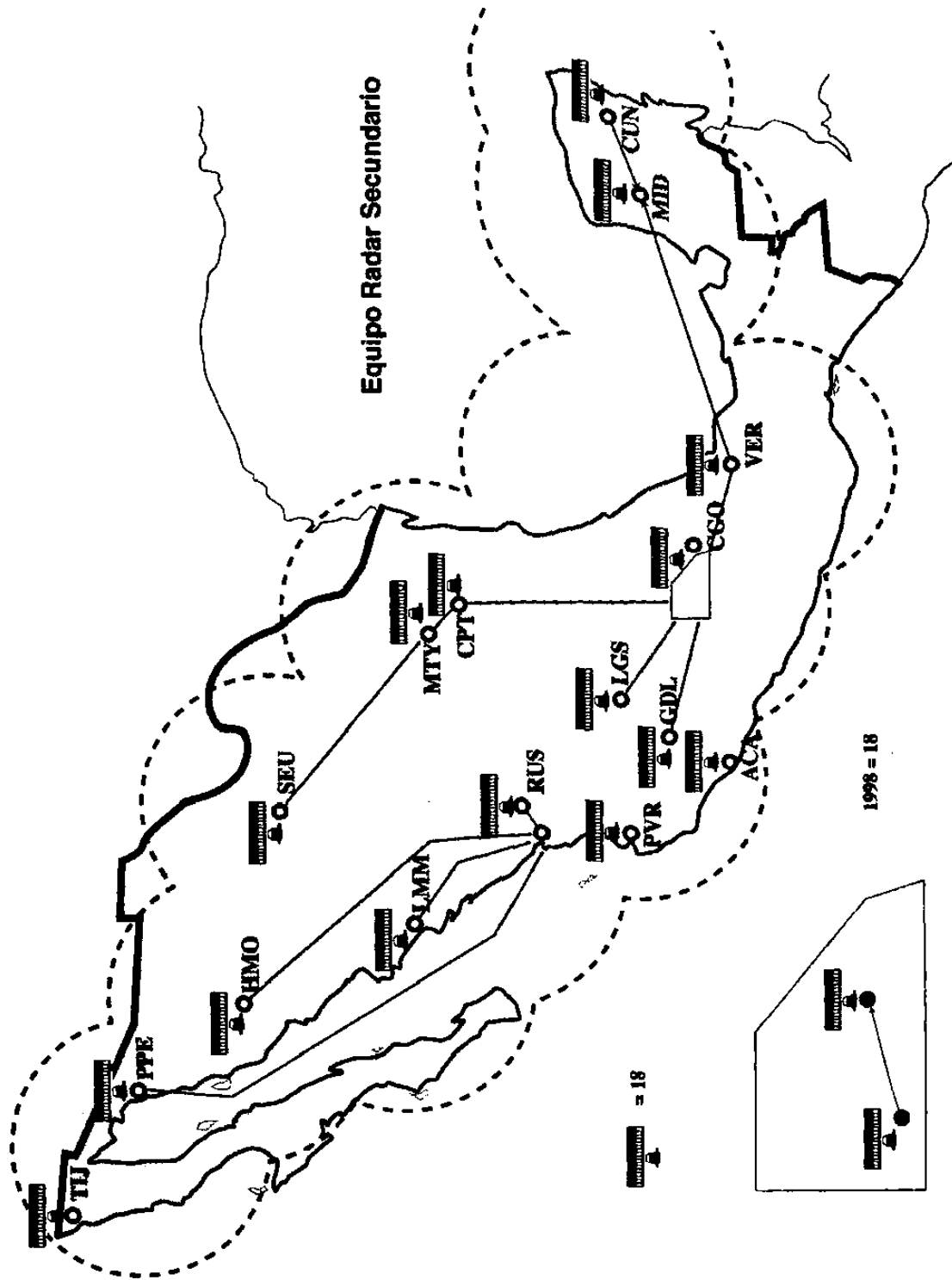


Fig. 10.12 Sistemas de Radar Secundario

CAPÍTULO 11

EL FUTURO PARA EL CONTROL DE TRÁNSITO AÉREO

11.1 INTRODUCCIÓN

En el tercer milenio, SENEAM continúa con su modernización para enfrentar los grandes retos motivados por la nueva era tecnológica de la aviación civil, donde destacan entre varias, la tecnología por satélite, las computadoras y la digitalización. Durante las décadas siguientes, los servicios a la navegación aérea estarán inmersos en un constante y profundo proceso de cambios operacionales y técnicos, con vista a incorporar progresivamente los nuevos conceptos y tecnología especialmente, en materia de comunicaciones, navegación, vigilancia (CNS) y del servicio de tránsito aéreo que en lo sucesivo se denominará administración o gestión del tránsito aéreo (ATM), sistemas que en su conjunto formarán el plan mundial CNS/ATM. En paralelo, se tendrá un uso cada vez más generalizado de las computadoras, lo que permitirá automatizar muchas de las actividades de los servicios con el fin de elevar la productividad y eficiencia de los mismos.

Con orgullo y asombro, veremos un tercer milenio caracterizado por el ingenio del hombre el cual nos muestra horizontes nunca antes imaginados. Desde hoy en adelante se experimentará la transición de los sistemas terrestres o convencionales hacia los sistemas satelitales con alcances y aplicaciones insospechados. La navegación de las aeronaves por satélite, las comunicaciones digitales entre computadoras de a bordo y de tierra así como la vigilancia del tráfico aéreo por satélite son algunos de los logros tecnológicos que hoy por hoy se inician.

Con los nuevos sistemas CNS no existirá en el futuro las limitaciones actuales que intrínsecamente tienen los sistemas terrestres o convencionales, lo que resulta en restricciones o penalizaciones a las aeronaves por parte del control de tránsito aéreo con el objeto de mantener la seguridad.

Los sistemas CNS permitirán al control de tránsito aéreo aumentar los niveles de seguridad, reducir los costos de operación de las aerolíneas y aumentar la capacidad de servicio para atender una mayor demanda de los usuarios del espacio aéreo.

Sin duda alguna, estos grandes cambios requerirán de importantes inversiones por cuanto a infraestructura, por lo que se deberá ajustar al Plan Nacional de Transición CNS/ATM, mismo que toma en cuenta al plan mundial y regional de la zona geográfica, en que nos encontramos, regida por OACI.

Los Servicios de Tránsito Aéreo o ATM, evolucionarán de acuerdo a los Sistemas CNS que se vayan estableciendo, ya que utiliza a estos componentes para la prestación del servicio.



Fig. 11.1 Satélite de comunicaciones

Mediante el uso del satélite la comunicación por voz entre piloto/controlador podrá llegar hasta los puntos más apartados del territorio y espacio aéreo, con el consecuente incremento del servicio. La comunicación piloto/controlador mediante enlace de datos, permitirá la reducción de las comunicaciones por voz y el descongestionamiento de las frecuencias en áreas o aeropuertos de alta densidad de tráfico.

Los nuevos sistemas de navegación autónoma como lo es el GPS (Global Position System), posibilitará al controlador autorizar rutas directas entre dos o mas puntos en vuelo, con la consecuente reducción de tiempo y combustible a los usuarios así como, un mayor aprovechamiento del espacio aéreo que facilitará el libramiento de rutas transitadas y áreas prohibidas y/o restringidas.

La reducción de las separaciones dada la precisión del GPS, traerá en consecuencia, una mayor capacidad de aeronaves en el espacio aéreo y reduciendo restricciones de niveles en vuelo, lo que favorecerá la economía de las empresas aéreas.



Fig. 11.2 Centro de control

La automatización que hasta hoy alcanza niveles adecuados continuara desarrollándose para sistematizar más funciones del controlador, propiciar una integración total de las Unidades del servicio y permitir el intercambio de datos ATS mas allá de las fronteras.

La nueva metodología que flexibilice la organización del espacio aéreo con rutas directas y aleatorias a los usuarios, aunada a un control o manejo del flujo de tráfico, resolverá en buen grado la rigidez actual disminuyendo la sobrecarga en los aeropuertos y partes del espacio aéreo.

El uso de una nueva tabla de niveles de crucero por arriba de los 29,000 pies, redundará en más niveles disponibles que pueden utilizar las aeronaves conforme a su rendimiento óptimo operacional.

La vigilancia del tráfico aéreo a través de radares monopulsos secundarios con capacidad en Modo S (es la capacidad del Radar para comunicar a las estaciones de tierra con las aeronaves en vuelo) continuará explotándose fundamentalmente en aeropuertos de alta densidad de tránsito aéreo, presentándose la oportunidad para las rutas, de rastrear el espacio aéreo mediante el uso del satélite con una presentación y exactitud igual o superior al de los radares terrestres y con el gran beneficio de cubrir aquellas partes donde el radar no puede llegar.

Otras aplicaciones se darán en el transcurso del tiempo y se encontrarán las soluciones necesarias para materializar las hipótesis del vuelo libre y la resolución de conflictos por parte de los pilotos con una menor intervención del control de tránsito aéreo.

Los servicios de Telecomunicaciones y Radioayudas Aeronáuticas introducirán por etapas la digitalización de las comunicaciones aire/tierra así como la expansión de estas entre puntos fijos con el fin de intercambiar datos, imágenes y voz mediante redes

integradas soportadas por fibra óptica y multienlaces inteligentes. Asimismo el posicionamiento de móviles en el espacio aéreo a través de los satélites y estaciones de aumentación en tierra, serán una historia del pasado por cuanto a radioayudas y radares.

Además una nueva red de telecomunicaciones aeronáuticas de gran velocidad facilitará el tránsito de mensajes digitalizados entre puntos fijos aeronáuticos y estos con las aeronaves en vuelo, con un uso mayor de las terminales por computadora.

El servicio meteorológico aeronáutico contará con más y mejores equipos meteorológicos telemétricos, sistemas automáticos de control de calidad y soportado por una red de telecomunicaciones aeronáuticas avanzada para atender con calidad y rapidez las necesidades de los usuarios.

La vigilancia meteorológica en el espacio aéreo para detectar condiciones atmosféricas significativas y/o peligrosas para la navegación aérea, seguirá mejorando como resultado de la teleobservación por satélite y el uso de algunos radares estratégicamente localizados, incrementando su tipo de resolución espacial y frecuencia. A su vez, se prevé un aumento de informes o notificaciones meteorológicas desde las aeronaves y de las estaciones de radio sondeos.

El centro de análisis y pronósticos meteorológicos contará con información suficiente, confiable y oportuna para realizar diagnósticos del estado de la atmósfera y elaborar pronósticos meteorológicos de área y de ruta mas confiables.

El servicio computarizado de información al usuario contará con una red de área amplia, que permitirá proporcionar informes alfanuméricos, gráficas meteorológicas e imágenes de satélite y de radar, instantánea a todas las áreas que lo necesiten internas o externas.

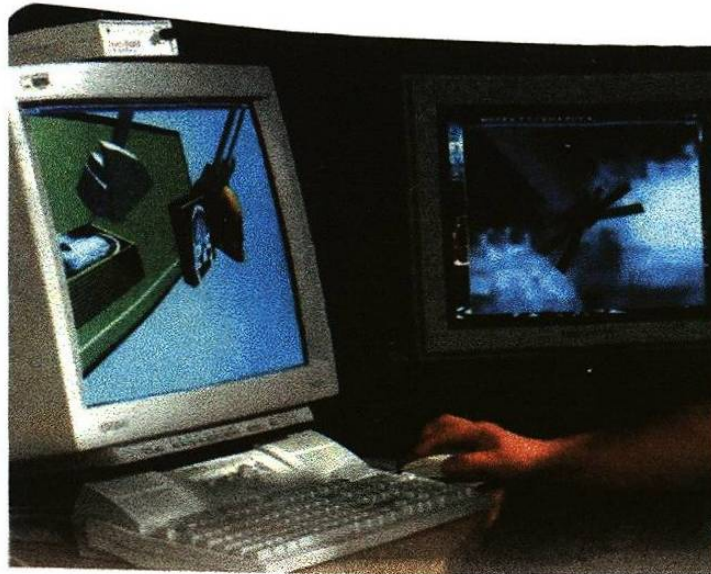


Fig. 11.3 Terminal de trabajo

El banco climatológico aeronáutico sistematizado avanzara considerablemente en su integración, facilitando los estudios especiales y de planeación de las operaciones aéreas.

El servicio de información aeronáutica incorporara gradualmente el uso de sistemas de cómputo especializado para el almacenamiento y elaboración de la información aeronáutica integrada, con vista a desarrollar bases de datos automatizados y relacionales, que combinarán información de textos y tráfico en formatos digitales, mismos que podrán ser puestos a disposición de los usuarios por medio de servidores de datos soportado por la nueva red de telecomunicaciones aeronáuticas, la distribución de información por medios electrónicos incrementará la calidad, confiabilidad y rapidez de los datos.

La creación del banco de NOTAM (NOTice To Air Men) permitirá a los usuarios internos y externos la consulta rápida y selección de la información requerida.

Los procedimientos de vuelo cambiarán progresivamente al no estar apoyados con Radioayudas terrestres, estableciéndose rutas y procedimientos de aproximación por instrumentos de precisión y no precisión en base al sistema de posicionamiento global por satélite. En consecuencia se recalcularán todas las coordenadas importantes para la navegación aérea al nuevo sistema referenciado WGS84.

CAPÍTULO 12

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

12.1 CONCLUSIONES.

Debido a la gran cantidad de información sobre estos temas es imposible, en una Tesis, hablar de cada uno de ellos en detalle. Solamente se dan los principios de operación de cada uno de los sistemas y las aplicaciones. La intención es que los lectores de dicho documento se den cuenta de la importancia que tienen estos sistemas poco conocidos por los usuarios.

Existe gran cantidad de fabricantes de estos equipos, desgraciadamente en los libros comerciales se da poca información en detalle del funcionamiento de cada uno de ellos

12.2 RECOMENDACIONES

Como anteriormente se mencionó que este tema es muy amplio, se recomienda que en futuras investigaciones se consulten los manuales de los fabricantes, ya que ellos son los que dan la mayor parte de la información. Además de los libros mencionados en la bibliografía de ésta Tesis.

Sería conveniente que para futuros proyectos de investigación sobre temas afines se cubrieran los siguientes temas.

- Diseño de antenas para Radar Primario

- Diseño de antenas para Radar Secundario
- Antenas de arreglo de fases para Radar
- Antenas para VOR
- Antenas para DME
- Antenas para ILS
- Antenas para comunicaciones
- Radares Meteorológicos
- Control de Tránsito Aéreo por Satélite
- Equipo de abordó en las Aeronaves