

# RADIOGONIOMETRÍA

DIRECTORIO

DR. JOSÉ ENRIQUE VILLA RIVERA  
DIRECTOR GENERAL

DR. EFRÉN PARADA ARIAS  
SECRETARIO GENERAL

DRA. YOLOXÓCHITL BUSTAMANTE DÍEZ  
SECRETARIA ACADÉMICA

DR. JOSÉ MADRID FLORES  
SECRETARIO DE EXTENSIÓN E INTEGRACIÓN SOCIAL

DR. LUIS HUMBERTO FABILA CASTILLO  
SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

DR. HÉCTOR L. MARTÍNEZ CASTUERA  
SECRETARIO DE SERVICIOS EDUCATIVOS

DR. MARIO ALBERTO RODRÍGUEZ CASAS  
SECRETARIO DE ADMINISTRACIÓN

LIC. LUIS ANTONIO RÍOS CASAS  
SECRETARIO DE ADMINISTRACIÓN

ING. LUIS EDUARDO ZEDILLO PONCE DE LEÓN  
SECRETARIO EJECUTIVO DEL PATRONATO DE OBRAS E INSTALACIONES

ING. JULIO DI-BELLA ROLDÁN  
DIRECTOR DE XE-IPN TV CANAL II

LIC. LUIS ALBERTO CORTÉS ORTIZ  
ABOGADO GENERAL

LIC. ARTURO SALCIDO BELTRÁN  
DIRECTOR DE PUBLICACIONES

FELIPE GONZÁLEZ LEÓN

# RADIOGONIOMETRÍA

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

MÉXICO

*Radiogoniometría*

D.R. © 2007 INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

Dirección de Publicaciones

Tresguerras 27, 06070, DF

FIPN: 2007-110

ISBN: 978-970-36-0435-7

Impreso en México / *Printed in Mexico*

## PRÓLOGO

Los faros son estructuras desde las que se proyecta luz durante la noche y que sirven como referencia durante el día para guiar a los navíos en aguas cercanas a la costa. Construidos en puntos importantes de la costa, rocas aisladas hundidas o en aguas de poca profundidad y en las entradas de puertos y estuarios, los faros se han empleado para la seguridad de la navegación costera desde tiempos remotos. Los primeros faros construidos en el mar Mediterráneo se levantaron en el siglo VII a.n.e.; eran simples estructuras que mantenían fuego como guía. El más importante de la antigüedad es el Faro de Alejandría, considerado una de las siete maravillas del mundo.

Las luces modernas son eléctricas y suelen estar equipadas con varios tipos de señales para la niebla y sistemas auxiliares de navegación por radio. Las luces empleadas varían en potencia, desde 10 hasta 28 millones de bujías, dependiendo de la importancia del tráfico al que sirven, las condiciones climáticas ambientales y los requisitos de visibilidad. En áreas donde es complicado construir edificios para albergar una luz de faro se suelen utilizar buques o boyas iluminadas.

En las antiguas civilizaciones, el faro podía ser cualquier señal colocada en lo alto y se utilizaba para avisar de un incendio, una invasión o cualquier otra emergencia. Este tipo de señales aparecen ya en algunos escritos de las antiguas Persia, Palestina y Grecia.

En la navegación marítima, el faro es un hito colocado como guía o aviso para los barcos y, por lo general, está situado en un punto elevado próximo a la

costa o sobre rocas y bajos peligrosos. Los faros de altamar está iluminados de forma permanente; los de costa, intermitentemente. La luz suele ser del tipo arco luminoso o luz de neón, pero algunos faros muy aislados utilizan gas de acetileno. En la aviación se utilizan diferentes tipos de faros. Uno de ellos es un sistema de marcas en tierra que sirven para indicar estaciones o rutas aéreas durante el día, cuando la visibilidad es buena; otro tipo consiste en un sistema de luces de arco para guiar a los pilotos durante vuelos nocturnos. Actualmente se utilizan los radiofaros que permiten realizar aproximaciones por radio con cuerpos móviles (aeronaves). Están instalados en las principales rutas aéreas de la mayoría de los países. Este tipo de faro permite navegar sin ningún problema en caso de climatología adversa o durante la noche. Los radiofaros se han visto complementados, pero no sustituidos, por otras ayudas electrónicas para la navegación como el VOR, el radar y el loran.

Los radiofaros para la navegación aérea están basados en un radiogoniómetro, que fue la primera ayuda a la navegación usada en forma general. Si las direcciones de dos transmisores con localizaciones conocidas se pueden medir, es posible determinar la posición del receptor. En su forma más simple, un moderno radiogoniómetro consta de un receptor de radio convencional con una antena en forma de una bobina de alambre llamada espira. Esta antena de espira tiene marcadas propiedades direccionales, si se monta hasta que los ejes de la espira apuntan directamente a una estación de radio, no recibirá señal alguna de la estación; si lo hace hasta que el plano de la espira pase a través de la estación de radio, recibe una señal fuerte. En otras posiciones la señal es de intensidad intermedia. En la práctica, una estación conocida es sintonizada, entonces la espira se gira hasta que ninguna señal sea oída; esta posición se denomina auricular nulo. Los ejes de la espira deben entonces apuntar directamente hacia la estación, esta dirección se traza por el navegante como una línea de posición.

La presente obra estudia y analiza matemáticamente la operación de los diferentes radiogoniómetros, especialmente los más utilizados en navegación aérea, conocidos como radio faros NDB/ADF, sin embargo, también se incluyen los equipos y sistemas requeridos tanto en tierra como en aeronaves.

Asimismo, este libro pretende ser útil para ser utilizado como parte del curso de Aviónica, Sistemas de Comunicación Aérea y Mantenimiento Aviónico,

correspondientes al plan de estudios de la carrera de Ingeniería Aeronáutica impartida en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Ticomán del Instituto Politécnico Nacional.

Finalmente quiero expresar mi agradecimiento al Director, Dr. Carlos Manuel Rodríguez Román y al Subdirector Académico M. en C. Alfredo Arias Montaña, ambos de la de la ESIME Ticomán, por todo el apoyo recibido para la elaboración y publicación de este libro.

## CONTENIDO

Prólogo .....	7
Introducción .....	13
Técnicas que determinan el sentido de procedencia de la energía electromagnética.....	15
Características de los radiofaros de NDB.....	24
Diagrama de radiación y ancho de banda.....	32
Consideraciones operacionales del NDB/ADF .....	34
Clasificación del NDB/ADF .....	35
Unidad indicadora ADF.....	38
Errores de radiogoniometría .....	40
Guiado con NDB .....	42
Receptor ADF en una aeronave .....	46
Bibliografía .....	55

# RADIOGONIOMETRÍA

## INTRODUCCIÓN

La radiogoniometría constituye una de las técnicas clásicas en la radiolocalización o búsqueda de fuentes de emisión de ondas electromagnéticas.

Esta técnica requiere una fuente de ondas electromagnéticas, es decir, un transmisor y un receptor, éste último con un conjunto de antena capaz de captar, con el proceso que sea preciso, el sentido de procedencia de la Energía Electromagnética (EEM) emitida.

En la figura 1 se presentan las posiciones relativas del transmisor y el receptor, así como el ángulo  $\beta$  evaluado en el receptor.

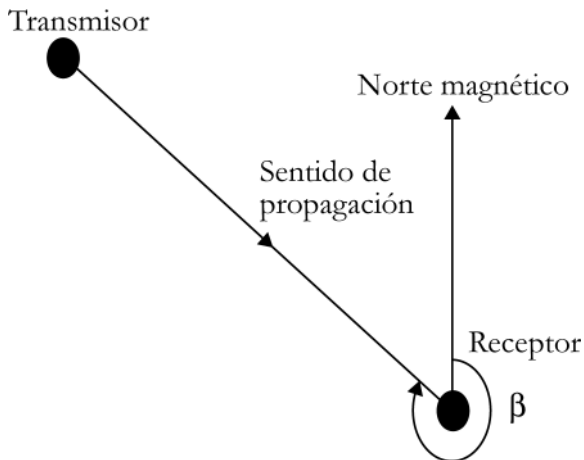


Figura 1. Ángulo determinado por goniometría.

La goniometría se utiliza como ayuda para la navegación aérea; en donde al transmisor se le denomina NDB (*Non Directional Beacon*) por tener un diagrama de radiación teórico sobre el plano de la superficie no direccional, y, al receptor del avión, ADF (*Automatic Directional Finder*) por ser capaz de evaluar el ángulo de procedencia de la EEM de forma automática.

También puede ser empleado por ATC (*Automatic Traffic Control*) en la localización de aeronaves perdidas. En este caso el transmisor está en el avión y es, en general, el que permite las comunicaciones orales de VHF (*Directional Finder*); al receptor o equipo de tierra se le denomina Automatic Directional Finder.

El fundamento de la goniometría se basa en la consideración del frente de ondas plano y perpendicular al sentido de propagación de la EEM, tal como muestra la figura 2.

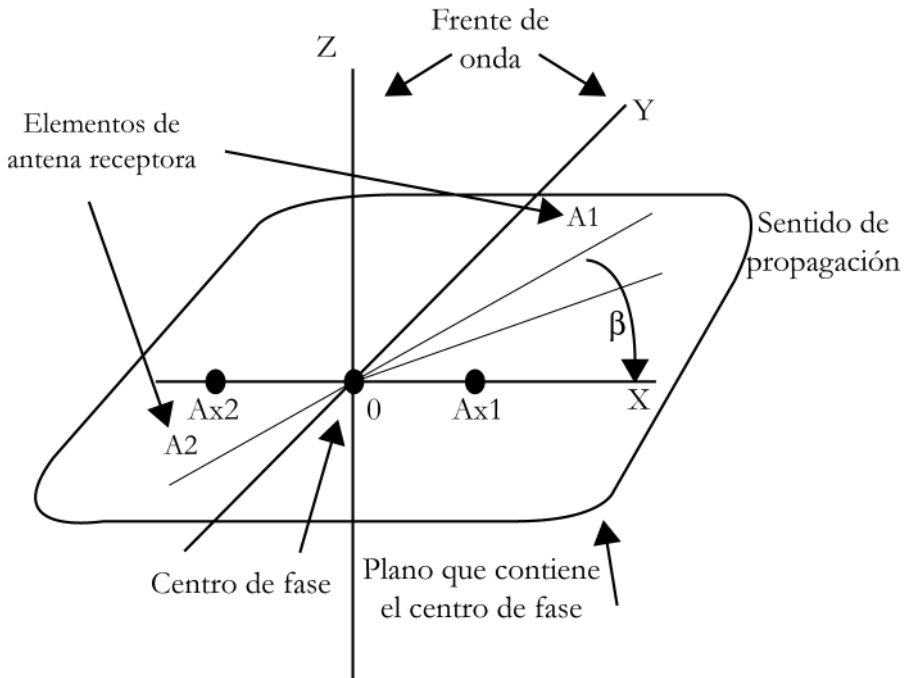


Figura 2. Principio de la radiogoniometría.

Como se muestra la diferencia de fase ( $\phi$ ) entre las señales captadas por los elementos A1 y A2 es:

$$\phi = \frac{2\pi (Ax1 + Ax2)}{\lambda} \quad (1)$$

Donde Ax1 y Ax2 son las distancias al centro de fase (0) de la proyección de los elementos de antena A1 Y A2 sobre la línea que representa la dirección de propagación sobre el plano de tierra.

Esta diferencia de fase puede relacionarse con  $\beta$ , conocida la geometría de los elementos A1 y A2 son simétricas respecto al eje 0Z, del que distan  $d$ . Para este caso la diferencia  $\phi$  se convierte en:

$$\phi = \frac{4\pi d \cos\beta}{\lambda} \quad (2)$$

$$\beta = \arccos\left(\frac{\lambda\phi}{4\pi d}\right)$$

La ecuación (2) da el valor de  $\beta$  pero con ambigüedad, ya que  $\beta$  y  $-\beta$  dan el mismo valor de  $\phi$ . Para eliminar la ambigüedad de (2) es preciso añadir al par A1 y A2 algún elemento adicional.

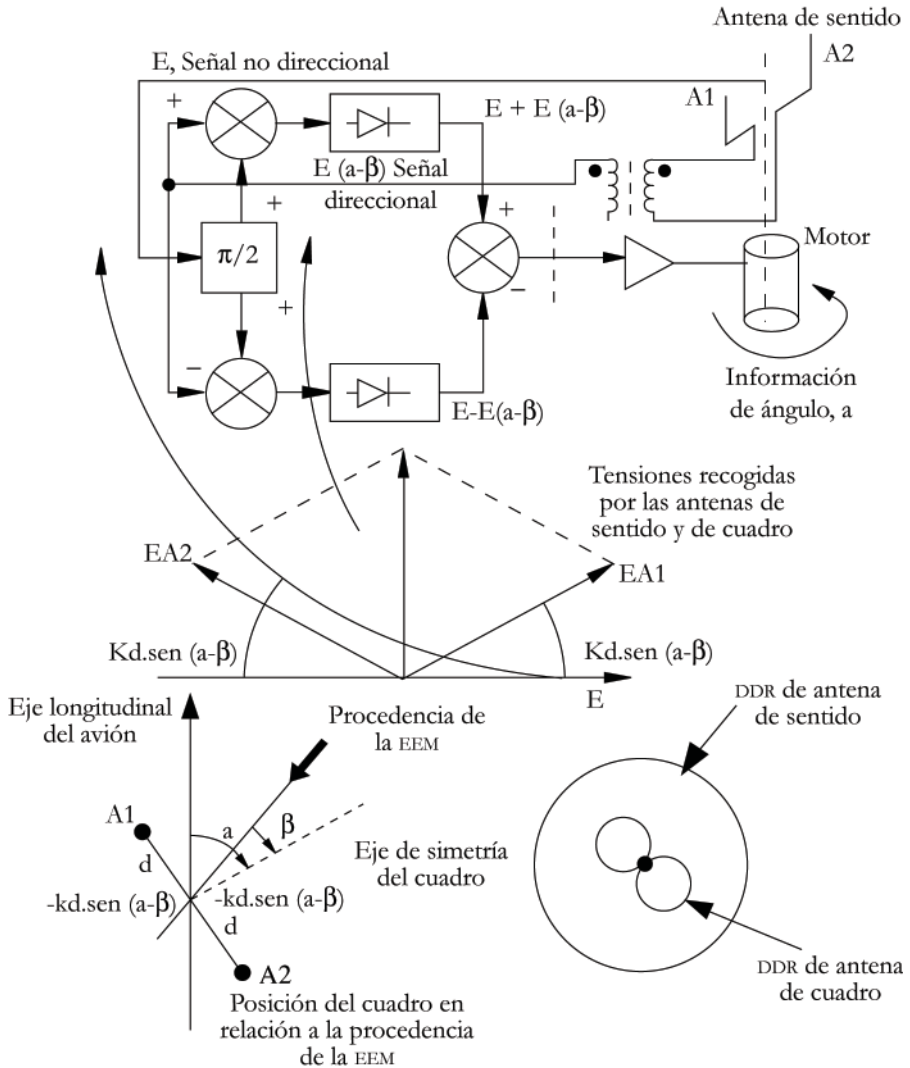
#### TÉCNICAS QUE DETERMINAN EL SENTIDO DE PROCEDENCIA DE LA ENERGÍA ELECTROMAGNÉTICA

Existen varias técnicas que determinan el sentido de procedencia de la energía electromagnética, que según el tipo de antena receptora se agrupan en:

- Antena de cuadro y de sentido.
- Doble antena de cuadro ortogonal.
- Antena maestra y anillo de esclavas (efecto Doppler).

La técnica de antena de cuadro y de sentido es la más antigua, ésta requiere que la antena mencionada sea giratoria. Un modelo del sistema de control automático

(orientación de la antena de cuadro) se presenta en el esquema 1, junto con los diagramas de radiación de la antena de sentido (no direccional) y la antena de cuadro (bidireccional). En este sistema el motor evolucionando, haciendo girar a la antena de cuadro, hasta conseguir la situación  $E(a-b)=0$ .



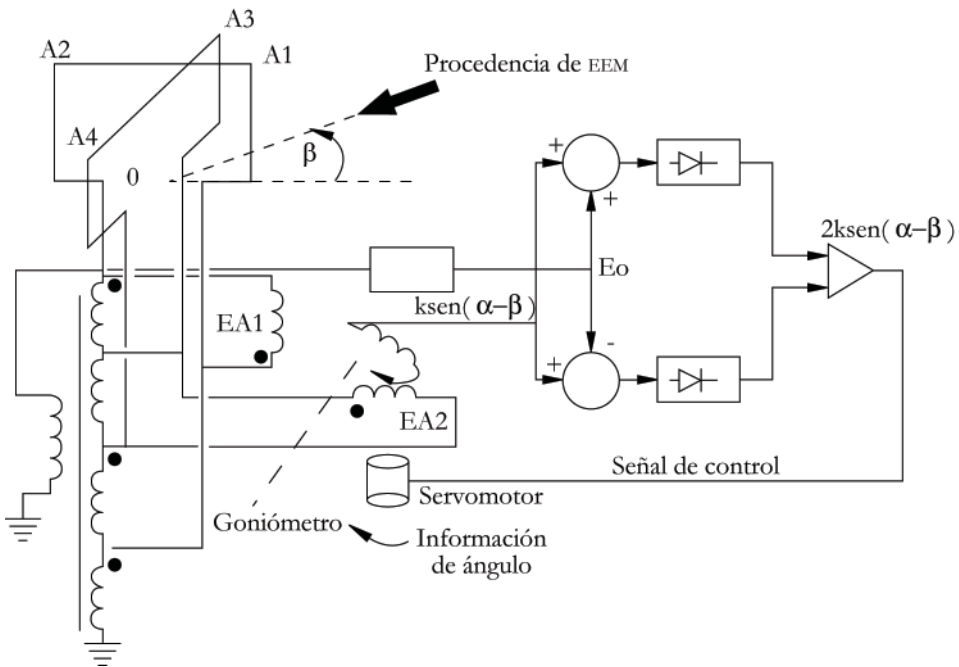
Esquema 1. ADF con cuadro y antena de sentido.

La segunda técnica enunciada está constituida por dos antenas de cuadro ortogonales entre sí. La información de ángulo puede ser obtenida de tres formas distintas:

- Girando el conjunto de la antena (ambos cuadrados solidariamente).
- Utilizando un “goniómetro” mecánico, con la antena fija.
- Electrónicamente.

El giro de una antena utiliza un sistema de control automático similar al presentado en el esquema 1 considerando que la señal no direccional,  $E$ , se puede obtener por suma de las procedentes de cada cuadro.

Una evolución importante en los sistemas de búsqueda del sentido de procedencia de la EEM se consiguió con el goniómetro, que permite que la antena sea fija. En sus primeras versiones el goniómetro fue mecánico y se incorporaba a un sistema de búsqueda automática, tal como se presenta en el esquema 2.



Esquema 2. ADF que utiliza goniómetro mecánico.

El principio de funcionamiento del goniómetro es: El campo captado por cada elemento del cuadro A1 y A2 producirá una diferencia de potencial  $EA_1$  entre sus extremos. De igual forma, los elementos A3y A4 producirán  $EA_2$  y, tomando como origen de fase el punto 0 (centro de fase) y la línea que contiene este punto y el elemento A1, se tiene:

$$EA1 = 2E_0 \sin \left( \frac{2\pi}{\lambda} d \cos \beta \right) < \frac{\pi}{2} \quad (3)$$

$$EA2 = 2E_0 \sin \left( \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \beta \right) < \frac{\pi}{2}$$

Donde:

$\beta$ : ángulo de procedencia de la EEM, respecto del eje OA1

$E_0$ : amplitud de la señal

d: distancia al centro de fases 0

Si estas señales se aplican a los primarios de un transformador que se encuentran físicamente en cuadratura, el campo magnético vendrá dado por la suma vectorial de ambas expresiones **(3)**. Como, en general, d es una magnitud inferior al metro, y las frecuencias para las que esta técnica es aplicable, no supera los 1 500 Kc/s, las longitudes de onda resultan mayores de 200 m, por lo que se cumple que  $d \cos \beta, d \sin \beta \ll 2\pi$  y, consiguientemente  $\sin(d \cos \beta) = d \cos \beta$ ,  $\sin(d \sin \beta) = d \sin \beta$ , respectivamente, con lo que las **(3)** se pueden aproximar por:

$$EA1 = 2E_0 \left( \frac{2\pi}{\lambda} d \cos \beta \right) < \frac{\pi}{2} \quad (4)$$

$$EA2 = 2E_0 \left( \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \beta \right) < \frac{\pi}{2}$$

El campo resultante, producido por los primarios del goniómetro, será:

$$\|E\| = \sqrt{EA1^2 + EA2^2} = 2E_0 \frac{2\pi}{\lambda} d$$

$$\angle E = ATan\left(\frac{EA2}{EA1}\right) = \beta$$

Este es un campo de módulo independiente de  $b$ , cuyo ángulo respecto de un eje horizontal (coincidente con la dirección del campo producido por  $E1$ ) es el que identifica la procedencia de la energía electromagnética.

La señal captada por un bobinado secundario, que puede girar, dependerá de su posición relativa al ángulo del campo magnético resultante, siendo nula cuando es ortogonal. La fase eléctrica de la señal captada por este bobinado será la misma que la de las señales que la originan, esto es,  $\pi/2$  y su amplitud, tomando como origen de ángulos la ortogonalidad entre el campo y la posición del secundario,  $K \sin(\alpha - \beta)$  esta señal se compara apropiadamente con  $E_0$ , obtenida de sumar en fase las señales captadas por los cuatro elementos del cuadrado, señal que se corresponde con la que se capturaría por una antena no direccional ubicada en el centro de fase (0), es decir, por la antena de sentido.

Así, el sistema presentado en el esquema 2 evolucionará automáticamente hasta conseguir que el secundario o rotor del goniómetro sea perpendicular al campo producido por los primarios en cuyo caso recogerá un campo magnético y una tensión nula, determinando de esta forma el ángulo  $b$ .

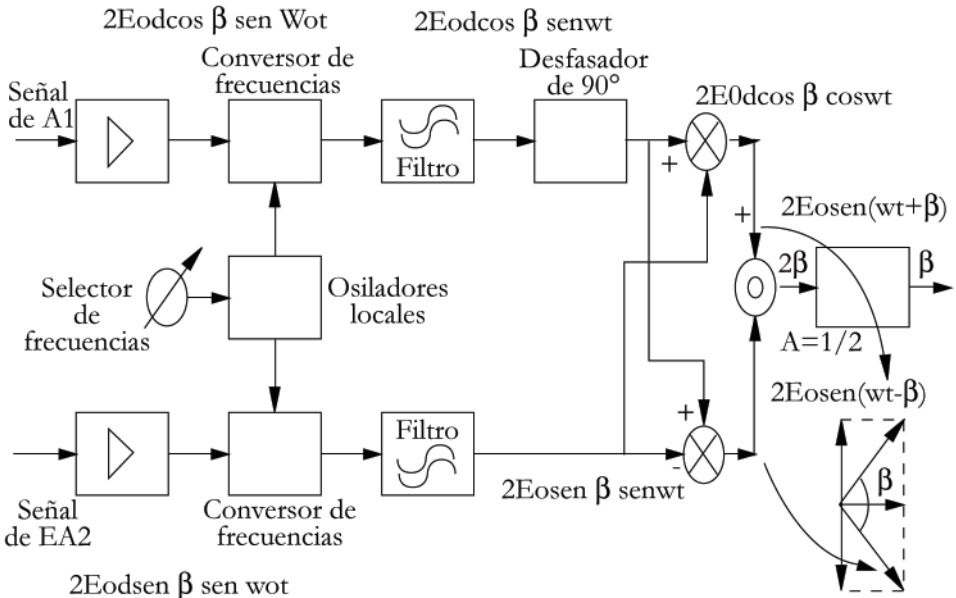
Hay que hacer notar que el goniómetro mecánico, tal como se presenta en el esquema 2, conlleva problemas de sensibilidad y ruido, puesto que lo primero que se hace, con las señales captadas por  $A1$  y  $A2$ , es introducirlas en un transformador, cuyo secundario recoge, por una junta mecánica, la señal de entrada al receptor. Para solventar este problema puede emplearse un acoplamiento capacitivo o, aún mejor, amplificar previamente las señales provenientes de cada cuadro ( $EA1$  y  $EA2$ ), pero en este caso debe de cuidarse que la derivada de fase y las ampliificaciones de cada canal sean idénticas para no introducir diferencias de fase que romperían la relación de amplitudes ( $\cos\beta/\sin\beta$ ), la cuadratura ( $\sin w_0 t/\cos w_0 t$ ) y, por lo tanto, se falseará la medida del ángulo. En todo caso, el estado actual de la electrónica permite con-

seguir este tipo de circuito para la gama de frecuencias propias del par NDB/ADF utilizadas para la navegación aérea.

También puede lograrse la medida de  $\beta$  sin necesidad de introducir ningún componente mecánico en el sistema, simplemente con comparar las señales EA1 y EA2 apropiadamente. En el diagrama 1 se muestran los bloques de ADF con determinación electrónica del ángulo  $\beta$ .

En este caso, después de una conversión clásica, a través de un oscilador local común a los dos canales de recepción (el de las señales procedentes de las antenas A1 y A2) y el requerido filtrado, para eliminar las frecuencias distintas a la frecuencia intermedia, la señal procedente de la antena A1 se desfasa  $90^\circ$  y, a continuación, se suman las señales de ambos canales, cambiando el signo, en una de las sumas, de la señal procedente de la antena A2. Como se observa en la representación fasorial de el diagrama 1 la salida del detector de fase dará una señal de amplitud  $2\beta$ , obteniéndose de aquí el valor buscado de la dirección de procedencia de la energía electromagnética.

1. Diagrama bloques de un ADF con determinación electrónica de  $\beta$

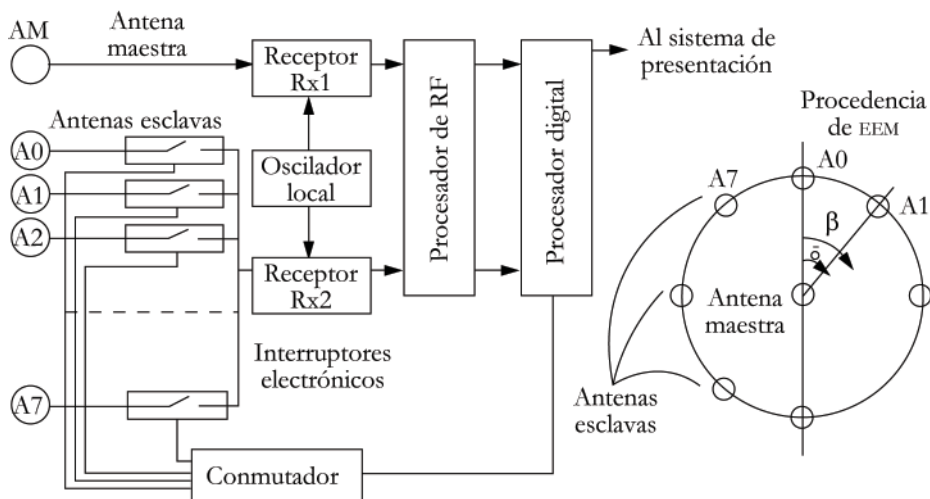


La tercera técnica para la determinación de  $\beta$  denominada antena maestra y anillo de esclavas sólo puede utilizarse cuando las dimensiones de la antena, en su conjunto, son del mismo orden de magnitud que la longitud de onda de la energía electromagnética cuyo sentido de procedencia se quiere evaluar y, por ello, no puede ser empleada en la configuración NDB/ADF, pues como se indicó previamente, las longitudes de onda en este caso son superiores a 200 m, y por consiguiente, hacen impracticable el montar sobre un avión antenas de tal envergadura. Sin embargo es una técnica idónea para la localización de emisores en V o UHF y, por tanto, su empleo es útil en equipos V/UDF.

Como su nombre indica, el conjunto de antena está constituido por un elemento central (antena maestra) y un conjunto N (normalmente 8) de elementos esclavos distribuidos simétricamente sobre una circunferencia cuyo centro está en el eje de la antena maestra. La antena maestra está siempre conectada al receptor, mientras que las esclavas se conectan a éste sucesivamente y posteriormente, a un régimen prefijado y regular.

El diagrama 2 muestra los bloques de VDF. Se pueden identificar tres segmentos: el conjunto de antena, el procesador de RF y el procesador digital.

## 2. Diagrama de bloques de un VDF



El conjunto de antenas está constituido por un elemento central (antena maestra) que suministra al receptor (Rx1) permanentemente la señal captada y actúa como referencia o como centro de fase del conjunto de antena:

$$E_M = E_0 \text{Sin}(\omega_0 t) \quad (6)$$

Las antenas esclavas se conectan al receptor (Rx2) secuencialmente por medio de una serie de interruptores electrónicos controlados por un conmutador general que es excitado por una señal procedente del procesador digital. Las señales captadas por la antena esclava  $i$ -ésima, ( $i=0\dots N-1$ ) vendrá determinada por la expresión:

$$E_i = E_0 \text{Sin}(\omega_0 t + 2\pi d \text{Cos}(\beta - i\theta)) \quad (7)$$

en donde  $\beta$  es el ángulo que determina la procedencia de la EEM media en sentido horario y tomando como referencia el plano definido por la antena maestra y la esclava A0, y  $q=2\pi/N$  el ángulo formado entre dos antenas consecutivas (siendo N el número de antenas). El valor de  $i$  que aparece en (7) es, a la salida de los interruptores electrónicos, una función escalonada del tiempo cuyo valor es:

$$i = \text{entero} \frac{(tN)}{T}$$

en donde T es el periodo de tiempo que transcurre hasta se vuelva a conectar la misma antena esclava. Si el número de antenas es grande ( $\cong 10$ ) y el periodo de conmutación de antenas es muy corto ( $\cong 0.015s.$ ), la función escalonada puede sustituir por la continua  $i=t$  convirtiéndose la (7) en:

$$E_e = E_0 \text{Sin}[\omega_0 t + 2\pi d \text{Cos}(\beta - 2\pi t)] \quad (8)$$

que representa una señal modulada en fase de forma armónica, como una desviación de fase máxima de  $(2\pi/\lambda)d$  radianes y una desviación de fase nula cuando:

$$\beta = 2\pi t$$

Para entender mejor como se puede obtener el ángulo  $\beta$  procesando las expresiones establecidas en (6) y (8), supóngase que se tiene un anillo de 8 esclavas, conectándose secuencialmente según el contenido de un contador que recibe pulsos de reloj a un régimen de  $480/8=60$  c/s. Un circuito básico apropiado sería el indicado en la figura 3.

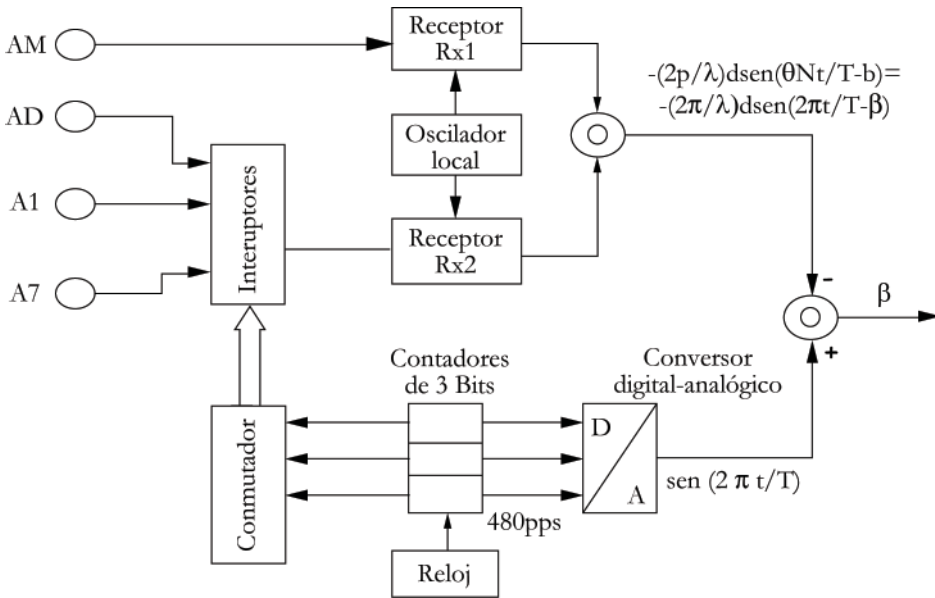


Figura 3. Circuito básico de VDF.

El proceso de las señales capturadas por las antenas maestras, de una parte o conjunto de esclavas, consideradas como única que gira a velocidad angular uniforme, es el correspondiente a dos receptores iguales, que comparten el oscilador local.

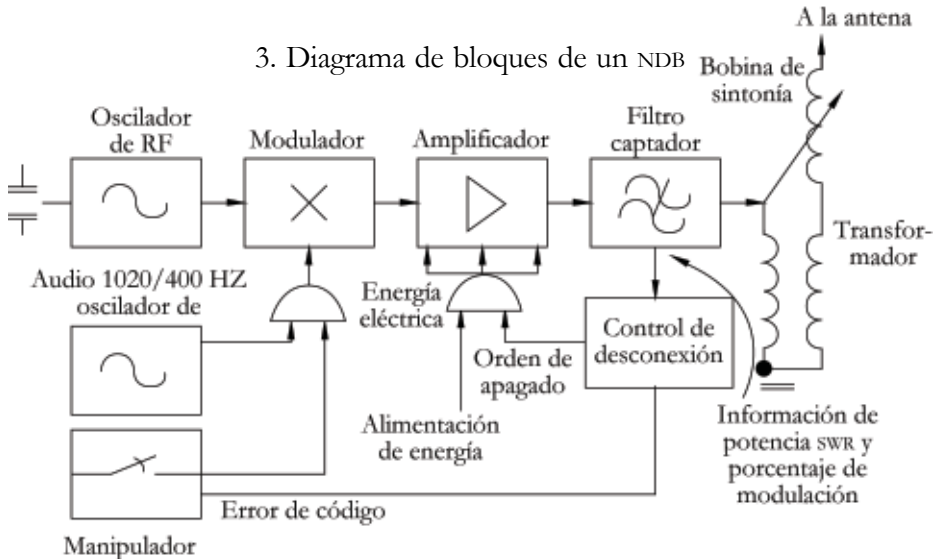
Las salidas de ambos receptores alimentan a un comparador de fase, en cuya salida se obtiene la diferencia de fase entre las señales capturadas por la antena maestra y la correspondiente al conjunto de esclavas que, como indica la (8) es  $(2\pi/\lambda)d\cos((2\pi/\lambda)t-\beta)$ , esto es: una señal armónica de pulsación  $2\pi/T$  y de fase inicial  $-\beta$ .

Esta última señal se compara nuevamente en fase con la referencia, obtenida del contador de tres bits, a través de un conversor digital analógico. El resultado de esta comparación es justamente el ángulo buscado  $\beta$ .

### CARACTERÍSTICAS DE LOS RADIOFAROS NDB

Una vez descrito el funcionamiento de los sistemas de localización angular (ADF o VDF) es procedente analizar las características generales de los transmisores NDB que constituyen el segmento terrestre del conjunto NDB/ADF. Un NDB es una facilidad muy básica, que opera en la banda de LF y MF de 190 –1 750 kHz, su función es la proporcionar al piloto de una aeronave su posición azimutal con respecto a la estación por medio de marcaciones radiogoniométricas ejecutadas a bordo de la aeronave. Las transmisiones son del tipo A1 y A2 donde las de tipo A1 son una onda portadora continua llevada o codificada en Morse; la emisión A2 es una portadora modulada en amplitud con una o más frecuencias audibles codificadas, también en código Morse.

La señal portadora se transmite continuamente y esta modulada con el fin de dar identificación de la estación. El diagrama 3 muestra los bloques de un transmisor A2.



Como puede observarse es un transmisor clásico con modulación de un tono de audio, de 400 o 1 020 Hz, manipulado de acuerdo con el indicativo de la estación, que consistirá en dos o tres letras codificadas en forma de puntos o rayas según el código Morse Internacional.

La señal radiada se supervisa a través de una muestra de la que se analizan los parámetros de potencia, porcentaje de modulación y relación de ondas estacionarias.

El componente más singular del NDB es el conjunto de alimentación de antena y la antena propiamente dicha. El circuito al que aludimos puede representarse del modo indicado en la figura 4 (a).

En él pueden distinguirse tres componentes: el transformador adaptador de impedancias, la bobina de sintonía, a veces con sistemas de sintonía automática, y el sistema radiante. El círculo eléctrico equivalente se indica en la figura 4 (b) (3).

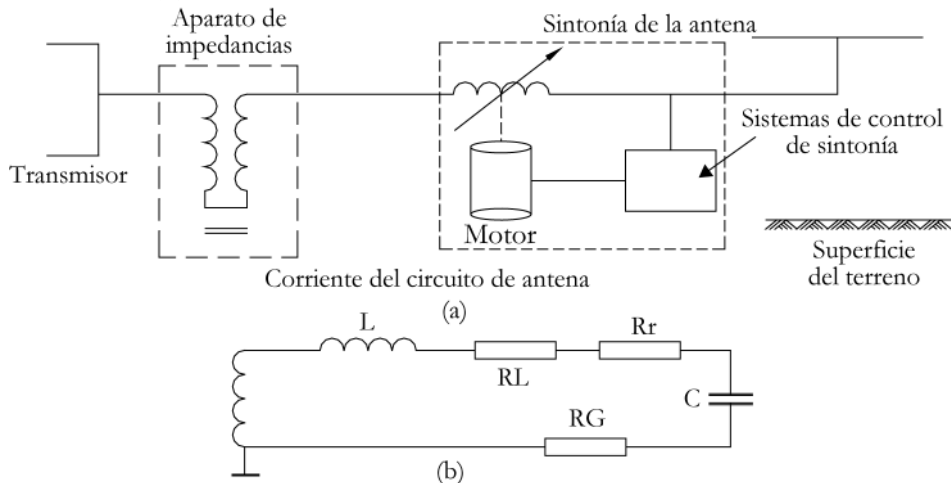


Figura 4. Circuito RF de alimentación de antena (a) y circuito equivalente (b).

El circuito de radiofrecuencia que alimenta la antena contiene la bobina de sintonía  $L$ , a la que suponemos con una resistencia óhmica  $RL$ , la resistencia de radiación  $R_r$ , el condensador  $C$  que representa la capacidad del conjunto de la antena respecto del suelo y finalmente a  $RG$  o resistencia del terreno entre la contrantena y la “pica” de tierra de la instalación.

En algunos transmisores, la bobina de sintonía dispone de un sistema de control automático para ajustar el valor de  $L$  cuando las condiciones del entorno; normalmente meteorológicas y la vegetación, varían la capacidad  $C$ . Este sistema de control basa su funcionamiento en la toma de muestras de tensión e intensidad de r.f. comparando su fase, de forma que, cuando ésta no coincide, se activa un mecanismo que varía  $L$  en sentido apropiado.

La antena, en general, emite EEM con polarización vertical. Considerando que la longitud de onda es superior a 200 m, no es practicable la instalación con un elemento de antena vertical de  $\lambda/4$  ( $>50$  metros), por lo que se recurre a antenas con un elemento radiante vertical pequeño comparado con la longitud de ondas. Los tramos verticales se terminan en otros horizontales que tienen por objeto aumentar la intensidad de corriente que circula por el tramo radiante (vertical) por medio del incremento de la capacidad  $C$ , del circuito equivalente. Estas antenas se denominan por su aspecto físico en T, H o “*top hat*”.

Para una antena de estas características, el tramo vertical radiante se comporta, aproximadamente, como un elemento pequeño de corriente o dipolo corto, cuyo campo radiado viene dado por (4):

$$H_{\phi} = \frac{JK_{OH} \text{sen}}{4\pi} (\theta_c - JK_r) h$$

$$E_{\theta} = \frac{J\omega\mu O h \text{sen}}{4\pi} (\theta e^{-JK_r}) = \eta H_{\phi}$$

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$$

Donde:

$k$ -  $(2\pi/\lambda)$

$h$ - altura del elemento radiante

$I_0$ -amplitud de la corriente

$r$ - distancia del punto de recepción centro de fase de la antena

$\epsilon, \mu$ - permeabilidad magnética y eléctrica del espacio

$w$ - pulsación de la portadora

$\phi$ - ángulo medido sobre el plano horizontal, perpendicular al dipolo corto

$\theta$ - ángulo medido desde el eje que contiene al dipolo corto

El vector de *Poynting* tiene exclusivamente sentido radial y el valor medio de su módulo nos da la densidad de energía radiada.

$$Pr = \frac{\eta k^2 i_0^2 h^2 \text{sen}(\theta)}{32(\pi r)^2} (\theta)^2 W_{AH} / 2$$

Por consiguiente la energía total que sale debe ser igual a la integral de superficie de la densidad de energía:

$$P = \oint P_r ds = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi P_r 2\pi r^2 \text{Sin}\theta d\theta = \frac{\eta \pi I_0^2}{3} \left(\frac{b}{\lambda}\right)^2 = 40\pi^2 I_0^2 \left(\frac{b}{\lambda}\right)^2$$

Con lo que la resistencia de la radiación puede quedar definida como aquella que disiparía la misma cantidad de potencial cuando por ella circulase la misma corriente eficaz, es decir:

$$R_r = \frac{2P}{I_0^2} = 80 \frac{(\pi h)^2}{\lambda}$$

Considerando que la expresión anterior se ha obtenido suponiendo que el dipolo se encuentra en el espacio libre, cuando, como en el caso de la antena del NDB, se sitúa sobre el plano de tierra, la integral de superficie anterior

debe de hacerse sobre media esfera ( $0 < \theta < \pi/2$ ) pero, por otra parte, el efecto de antena imagen dobla la altura física del elemento radiante ( $2h$ ). Teniendo en consideración lo anterior, la resistencia de radiación se vuelve:

$$R_r = 160\pi^2 \left(\frac{h}{\lambda}\right)^2 \quad (9)$$

Las antenas utilizadas normalmente con los NDB responden de dos tipos diferentes denominados en T o “paraguas”. En ambos casos el elemento radiante es el conductor vertical o mástil de longitudes eléctricas mucho menores que la longitud de onda de la frecuencia de trabajo.

La misión de la parte horizontal (2 o 3 hilos horizontales en las antenas en T o una superficie circular o poligonal, formada por conductores horizontales, en las antenas paraguas) es un alargamiento ficticio de la antena, debido al efecto que producen en ésta, la colocación de una carga capacitiva en la parte superior.

El cálculo de la resistencia de radiación para ambas se calculará aplicando la fórmula (9) en donde h se sustituirá por la altura efectiva de ambos tipos de antenas.

La altura efectiva de una antena en T se calculará de la siguiente forma:

Se determina el valor de la impedancia, característica de las dos líneas de transmisión en paralelo situadas en la parte superior de la antena, formadas por las dos piezas en que se divide la parte superior de ésta, mediante la fórmula:

$$Z_{OH} = \frac{3.333}{C(pF)} \quad (10)$$

El valor de C se obtendrá mediante gráficas publicadas en los manuales de

Números de hilos horizontales	Capacidad por metro
1	Entre 5 y 10pF
2	Entre 6 y 12pF
3	Entre 8 y 14pF

diseño de antenas, oscilando entre:

La reactancia total de las dos líneas en paralelo será:

$$X_V = \frac{Z_{OH}}{2} \text{Cot}\left(\frac{2\pi L}{\lambda}\right) \quad (11)$$

En donde L será la longitud de la parte horizontal superior de la antena incrementando 5% de su valor, para evaluar los posibles espurios:

- Se calculará la impedancia característica del elemento radiante mediante la expresión:

$$Z_{OH} = 1381 \text{Log}\left(\frac{2H}{D}\right) \quad (12)$$

Donde:

H y D son la altura y el diámetro del elemento radiante respectivamente.

- Se determinará el valor de la impedancia de la antena en la base aplicando:

$$Z_B = Z_{OV} \frac{Z_c + jZ_{OV} \text{Tan}\left(\frac{2\pi H}{\lambda}\right)}{Z_{OV} + jZ_c \text{Tan}\left(\frac{2\pi H}{\lambda}\right)} \quad (13)$$

Siendo  $Z_c = X_v$

- Se calculará el alargamiento de la antena ( $H_{total}$ ) producido por la presen-

$$Z_B = jZ_{OV} \text{Cot} 2\pi H_{Total} \tag{14}$$

cia de la parte horizontal de la misma aplicando:

- Se calculará la altura efectiva de la antena considerando:

Que la distribución de corriente sea uniforme.

Que la corriente total que circula por la antena de altura efectiva sea igual a la de la antena real.

Que las corrientes en la base de la antena real y efectiva sean iguales.

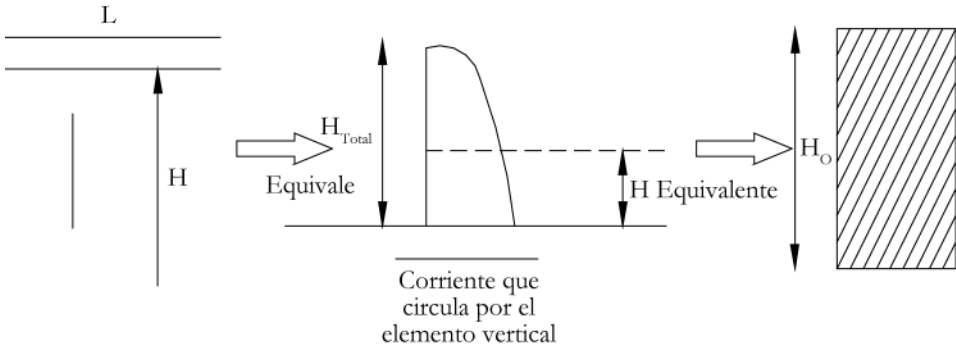


Figura 5. Corriente equivalente en la antena de un *Non Directional Beacon*.

Atendiendo a lo indicado anteriormente resulta:

$$H_e = \int \frac{H_{Total} \text{sen} z}{H_{Total} - H_{Total}} dz \tag{15}$$

La antena efectiva de una antena de paraguas se calculará de la siguiente forma:

- Se determina el valor de la capacidad del condensador formado por el terreno y la superficie plana y horizontal situada en la parte superior del elemento radiante mediante:

$$C_H = \frac{9A}{H} (pF) \tag{16}$$

Donde:

A= área de la superficie plana

H= distancia entre la mencionada superficie y el terreno (m)

- Se calculará la capacidad del elemento radiante considerando que éste es una línea de transmisión terminada en circuito abierto y por lo tanto:

$$Z_V = -jZ_{OV} \text{Cot} \frac{2\pi}{\lambda} H$$

Pero como sabemos que la impedancia capacitiva equivalente es:

$$Z_V = \frac{1}{2\pi f C_V}$$

Y  $Z_0$  viene dada por la ecuación (12). Combinando las ecuaciones anteriores:

$$C_V = \frac{\text{Tan} \left( \frac{2\pi}{\lambda} H \right)}{2\pi f 138 \text{Log} \left( \frac{2H}{D} \right)} \quad (17)$$

- Se evaluará el valor de la capacidad de la antena haciendo:

$$C_T = C_H + C_V \quad (18)$$

- Se determinará el valor de la altura total considerando:

$$\frac{1}{2\pi f C_T} = Z_{OV} \text{Cot} \left( \frac{2\pi}{\lambda} H_T \right)$$

Luego, despejando  $H_T$  resulta:

$$H_T = \frac{\lambda}{2\pi} \text{Cot}^{-1} \frac{1}{2\pi f C_T Z_{OV}} \quad (19)$$

- Se calculará el valor de  $H_c$  aplicando la ecuación (15)

Los parámetros que caracterizan a la bobina de sintonía son su coeficiente de autoinducción  $L$  y su resistencia óhmica  $R_L$ . Sin embargo, es más común dar este último valor y el factor de calidad  $Q_L$  de la misma.

El objeto de esta bobina  $L$  es cancelar la reactancia que presenta la capacidad del tramo radiante vertical ( $C_v$ ) y el tramo horizontal ( $C_H$ ) que suelen ser del orden de algunos cientos de pico faradios. Dada la dificultad de conocer esta capacidad con precisión se requiere que  $L$ , que es del orden de décimas de milihenrio, sea ajustable.

Una antena correctamente sintonizada tiene una eficiencia dada por:

$$N = \frac{R_T}{R_T + R_L + R_G} \quad (20)$$

Para conseguir una eficiencia razonable  $R_L$  y  $R_G$  deben ser lo más pequeñas posibles, en relación con la resistencia de radiación  $R_r$ . En general, las eficiencias que se consiguen dependen del tipo de antena y, especialmente, de la frecuencia portadora y oscilan entre algo menos de 1% para frecuencias de 200 kHz hasta 40%, aproximadamente, para los 500 kHz.

#### DIAGRAMA DE RADIACIÓN Y ANCHO DE BANDA

El diagrama de radiación de las antenas es omnidireccional. No direccional en el plano perpendicular al elemento radiante y en el plano vertical el diagrama de radiación teórico vendrá dado por la ecuación:

$$DDR_V = \text{Cos} \left( \frac{2\pi}{\lambda} H \text{Cos} \theta \right) \approx 1 - \left( \frac{2\pi}{\lambda} H \text{Cos} \theta \right)^2 \quad (21)$$

Donde:

$\theta$  es el ángulo medido a partir de la vertical.

Otro aspecto importante, relacionado con el sistema radiante, es el ancho de banda (BW) que puede expresarse en función del factor de calidad Q del circuito global (véase figura 9(b)) resultando:

$$BW = \frac{f_0}{Q_A} = \frac{f(R_Z + R_L + R_G)}{X_C} \quad (22)$$

Donde:

$F_0$  = frecuencia de portadora

$Q_A$  = factor de calidad de la antena

$X_C$  = reactancia capacitiva de la altura a la frecuencia de portadora

Si  $Q_A$  es muy grande, el valor del ancho de banda resultante puede afectar a las bandas laterales producidas por las señales moduladoras de 1 020 o 400 Hz, produciendo una atenuación (en general  $> 90\%$ ) aplicada en el transmisor. La atenuación, en dB, sufrida por las bandas laterales puede calcularse de la forma que se indica a continuación.

$$A_s = 10 \text{Log} \left( \frac{1}{1 + Q_A^2 \left( 2 \frac{\omega_m}{\omega_0} \right)^2} \right) \quad (23)$$

Obsérvese que el objetivo de mantener una profundidad de modulación superior a 90% sólo admite el juego de disminuir la frecuencia moduladora, para lo que OACI admite los 1 020 Hz y pasará, en caso necesario, a los 400 Hz, o bien a disminuir el factor de calidad de la antena  $Q_A$ , lo que evita en la práctica la disminución de la eficiencia de radiación de la antena y obliga a aumentar la resistencia global del circuito de RF, en donde  $R_r$  sólo depende de las dimensiones físicas de la misma.

## CONSIDERACIONES OPERACIONALES DEL NDB/ADF

El componente del SNA denominado NDB/ADF, que utiliza la técnica de la goniometría para la navegación aérea, está sujeto a una serie de inconvenientes esenciales que han hecho de él un componente con integridad y precisión por debajo de lo que es tolerable en el transporte aéreo actual. Por ello su empleo se circunscribe como ayuda de apoyo a otras maniobras instrumentales de no precisión (por ejemplo, el compás localizador en el ILS) o para ayuda a la navegación en vuelo (VFR) *Visual Flight Route*.

Desde el punto de vista de la integridad, la señal recibida está sometida a perturbaciones importantes, como son el desvanecimiento (*fading*) por superposición de la onda directa (*ground wave*) con la reflejada en la ionosfera (*sky wave*), que varía con el estado de ionización de ésta y, por otra parte, el ruido atmosférico producido por descargas eléctricas.

La cobertura está definida por la señal mínima que debe proveerse al receptor y que se establece por OACI en 70 mv/m de campo eléctrico. Teóricamente este valor se pudo obtener de la expresión del módulo de campo eléctrico  $E_\theta$  indicado en esta sección cuando se calculó la resistencia de radiación:

$$E_\theta = \frac{\eta k I_0}{4\pi r} \text{Sin}\theta = \frac{\eta}{4\pi r} \sqrt{\frac{P_0}{20}} \text{Sin}\theta \quad (24)$$

para una potencia efectiva radial de 10w, sobre la superficie ( $q=p/2$ ) se obtiene aproximadamente un alcance teórico para 70 mv/m de 300 kilómetros aproximadamente.

Este alcance teórico no coincide exactamente con el real, debido principalmente a que la tierra es un conductor perfecto y a la propia curvatura de la misma. Existen ábacos (3) que permiten ajustar la cobertura en función de la potencia radial, de la sensibilidad requerida por el respecto y de la conductividad del terreno.

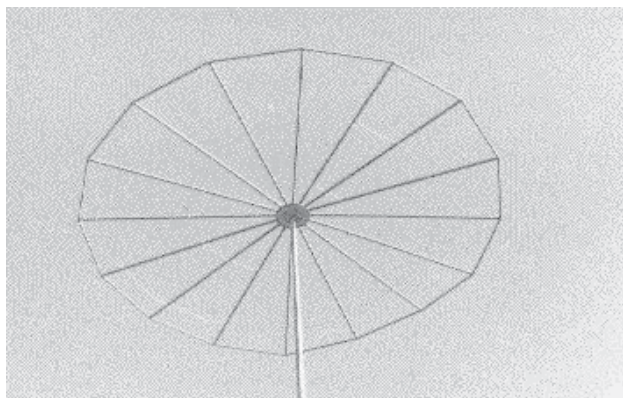
## CLASIFICACIÓN DEL NDB/ADF

Los NDB se catalogan en cuatro grandes tipos: el primero, y por mucho el tipo más común en Estados Unidos, es el compás localizador encontrado, ya sea en el marcador exterior o medio de una aproximación (ILS) *Instrument Landing System*. Estas facilidades a muy baja potencia, son utilizadas como una ayuda orientadora de aproximación o engarce a ILS, con alcances de hasta 15 MN (millas náuticas).

El segundo tipo de NDB es el faro; se puede encontrar en o cerca de los aeropuertos y sirve para facilitar la aproximación a éstos, siendo una ayuda primaria. Estos faros son ligeramente más potentes que el compás localizador, con un rango de aproximadamente 25 MN, pero éstos no están pensados para la navegación en ruta.

El tercero es el faro de aerovía de navegación en ruta. Éstos son transmisores de potencia media con un rango de aproximadamente 50 MN. Los faros de aerovía son muy comunes en otras partes del mundo incluyendo Canadá y el Caribe. Las aerovías NDB son llamadas aerovías L/MF y son identificadas por color y número. Las aerovías color ámbar y/o azules generalmente corren de Norte a Sur, mientras que las rojas y/o verdes corren de Este a Oeste.

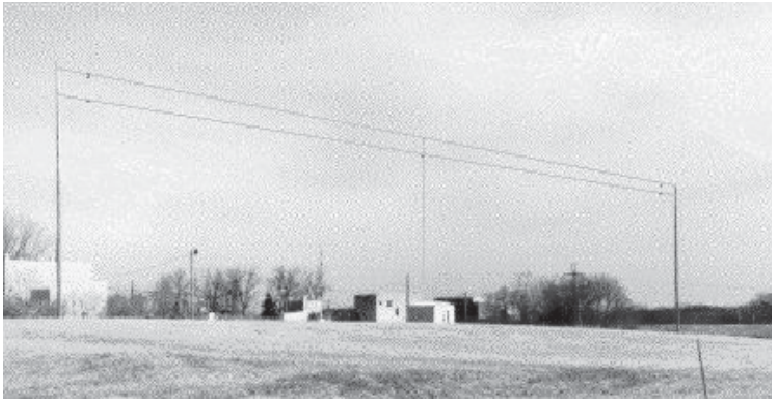
El último tipo de NDB es el faro de gran potencia; son localizados generalmente a lo largo de las costas, su propósito es proveer asistencia a la navegación entre costas y varios puntos oceánicos, tales como puntos de entrada a rutas sobre el mar y facilidades con base en islas, con alcances de hasta 300 millas náuticas.



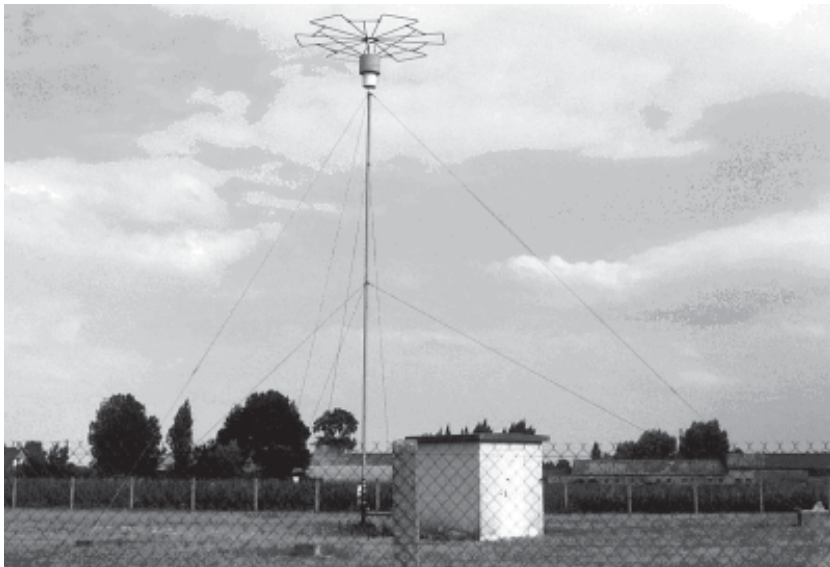
Antena tipo sombrilla de 16 elementos con sombrero capacitivo.



Radio faro NDB de aproximación, con antena tipo sombrilla.



Radio faro NDB, con antena tipo gancho.



Radio NDB en el norte de Francia.



Radio faro marino a la entrada del puerto hacia Ámsterdam.

#### UNIDAD INDICADORA ADF

La unidad indicadora tiene como misión el presentar la información suministrada por el NDB al piloto para su explotación. En general, al dispositivo utilizado como unidad indicadora se le denomina RMI (*Radio Magnetic Indicator*); en él se combinan las informaciones procedentes de la brújula con la información proporcionada por el NDB, para materializar el acimut de la línea de situación.

El RMI está constituido por una esfera fija en donde las marcaciones superiores e inferiores (línea imaginaria vertical) representan el eje longitudinal de la aeronave, un limbo giratorio se gradúa habitualmente en incrementos de cinco grados, así como indicación de los cuatro puntos cardinales y una aguja indicadora que abarca todo el limbo con flechas en los extremos. En la figura 6 se indica de forma esquemática un *Radio Magnetic Indicator*.

La información que presenta el RMI al piloto consistirá de:

- Rumbo de la aeronave (a): ángulo formado por la marcación N (Norte) y el eje longitudinal de la aeronave; originado por el hecho de que la información de la brújula se traduce en movimientos del limbo giratorio.
- Indicación ADF (b): ángulo formado por la marcación de la aguja (flecha grande) con el eje longitudinal de la aeronave; su lectura se realizará sobre la esfera fija.
- Acimut del NDB respecto a la aeronave (g): ángulo obtenido por la adición del rumbo de la aeronave y la indicación ADF. Su lectura se realizará viendo el ángulo que marca la aguja en el limbo giratorio.
- Acimut de la aeronave respecto al NDB (q): ángulo obtenido por la adición del acimut del NDB respecto a la aeronave y  $180^\circ$ . Su lectura se realizará viendo el ángulo que marca la aguja en el limbo giratorio.

La figura 7 indica de forma gráfica la situación de una aeronave con respecto a un NDB y la indicación obtenida del *Radio Magnetic Indicator*.

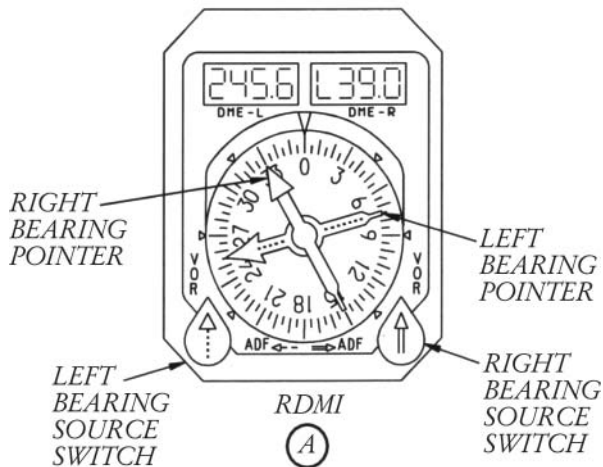


Figura 6. Marcaciones del indicador radiomagnético.

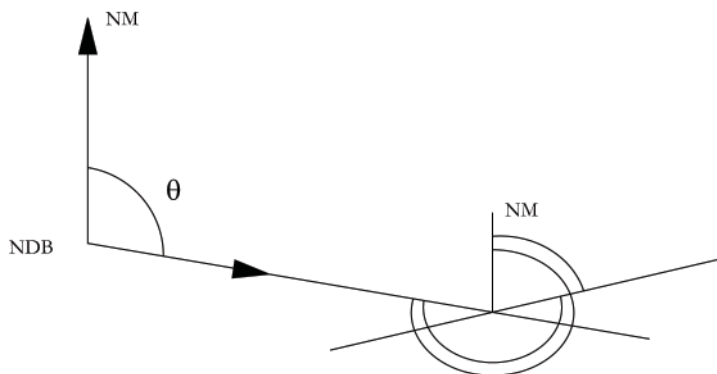


Figura 7. Lectura obtenida de un RMI para una posición cualquiera de aeronave.

### ERRORES DE RADIOGONIOMETRÍA

Se entenderán por errores de radiogoniometría los imputables al sistema, que comprenderán los instrumentales (equipos de tierra y abordo) y los de propagación.

La tabla adjunta resume las posibles fuentes de error para el sistema NDB/ADF indicando los efectos que provocan en las marcaciones.

Llama la atención el impacto insignificante que sobre el error total tiene el equipo de tierra, cuando, por otra parte, el conjunto del sistema NDB/ADF genera prestaciones tan pobres.

Por otra parte, se han considerado errores del equipo de abordo debidos a interferencias, aunque más apropiadamente estos errores deberían haberse adscrito al sistema como tal, ya que su causa básica está relacionada con la frecuencia de portadores que se emplean en estos equipos.

Finalmente, el error denominado cuadrante, tiene una motivación análoga a la que genera el mismo error en el equipo VOR, sólo que en este caso la fuente es el equipo transmisor.

Cuadro 1. Errores de radiogoniometría

ERRORES IMPUTABLES A	CAUSAS	EFECTOS
Equipo de tierra (NDB)		Pueden considerarse despreciables
Equipo de abordó	<p>Interferencias:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Otros NDB</li> <li>* Corrientes estáticas</li> <li>* Tormentas</li> <li>* Alimentación del eje de la antena del cuadro con el eje longitudinal de la aeronave</li> <li>Efecto de la no verticalidad de la antena de cuadro</li> <li>* Acoplamientos reactivos entre las conexiones de la antena de cuadro y/o entre ella y los circuitos exteriores al cuadro</li> </ul>	<p>La presencia de un gran número de NDB, así como la coexistencia con las señales, proceden de emisoras comerciales que pueden producir la aparición de señales interferentes que a su vez producen fuertes errores de marcación</p> <p>Las corrientes estáticas inducen corrientes en las antenas provocando fuertes errores en la marcación</p> <p>Las tormentas incrementan la presencia de la corriente estática y en consecuencia provocan grandes errores en la marcación</p> <p>Aparición de señales con polarización vertical y, por tanto, errores en la marcación</p> <p>Provocan errores en el posicionamiento de la bobina móvil y en consecuencia marcación errónea</p>
Propagación radioeléctrica	* Error cuadrantal	Las características eléctricas de las antenas en cuadro en general no serán iguales y en consecuencia aparecerán dos errores máximos positivos y dos errores máximos negativos. Su corrección se realizará por compensación, dando como resultado un error de efecto despreciable en la marcación

*continúa*

<p>Propagación radioeléctrica</p>	<p>* Efecto noche</p> <p>* Refracción costera</p> <p>* Reflexiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Obstáculos naturales</li> <li>- Obstáculos artificiales</li> </ul>	<p>Las variaciones de las capas atmosféricas por efecto de la posición cenital del Sol provocan reflexiones en las ondas electromagnéticas, produciendo un efecto mayor durante el amanecer y el atardecer, originando en consecuencia fluctuaciones en la aguja indicadora por efecto de la señal directa reflejada (presencia de señales con polarización horizontal)</p> <p>Las variaciones de las constantes dieléctricas <math>E_r</math> y conductividad del terreno costero y del mar, provocan un cambio en la dirección de propagación de la onda electromagnética</p> <p>La recepción de la onda electromagnética directa y reflejada puede producir fluctuaciones en la aguja indicadora e incluso, si sólo se recibiese la señal reflejada: una marcación errónea</p>
-----------------------------------	---	---

### GUIADO CON NDB

El guiado del NDB se estudiará simplíficadamente, considerando que una aeronave está realizando maniobra de acercamiento al NDB en dos supuestos casos: sin y con efecto del viento.

#### *Maniobra de acercamiento a un NDB sin efecto del viento*

El estudio de este tipo de maniobra se realizará admitiendo que la antena de cuadro está sólidamente unida al fuselaje de ésta con su plano vertical perpendicular al eje longitudinal de la aeronave.

La trayectoria descrita por la aeronave, en la hipótesis enunciada y representada en la figura 8, es rectilínea y definida por la línea que, siendo perpendicular al plano de la antena de cuadro pasó por el *Non Directional Beacon*.

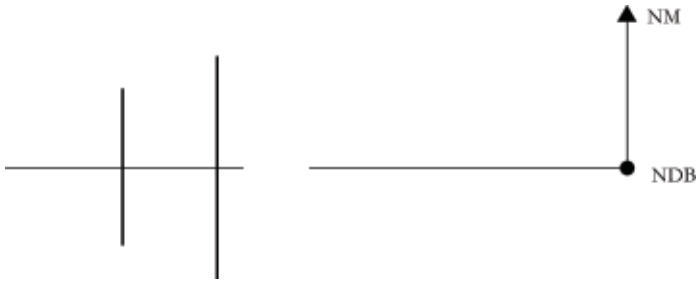


Figura 8. Maniobra de acercamiento a un NDB sin efecto del viento proyectada sobre la superficie terrestre.

### *Maniobra de acercamiento a un NDB con efecto del viento*

El estudio de este tipo de maniobra la realizaremos admitiendo ciertas hipótesis simplificadoras; pero al mismo tiempo conservadoras, con el objeto de reducir la complejidad del problema en condiciones reales:

- La velocidad de la aeronave es constante en modulo:  $V_a$
- La velocidad del viento es constante en dirección e intensidad : $W$
- La antena de cuadro está sólidamente unida al fuselaje de la aeronave con su plano vertical perpendicular al eje longitudinal de la aeronave.
- El piloto consigue continuamente el rumbo para que el eje longitudinal de la aeronave pase por el *Non Directional Beacon*.
- La velocidad de la aeronave es mayor que la velocidad del viento.

La resolución de las ecuaciones diferenciales, deducidas a partir de los vectores velocidad y la geometría indicada en la figura 9, se hará soportándose en un sistema de coordenadas polares situando su origen en el *Non Directional Beacon*.

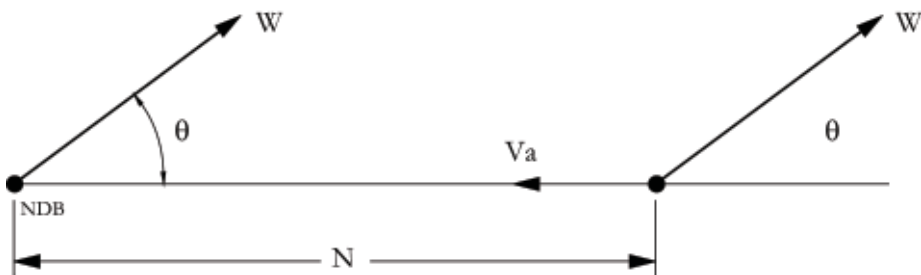


Figura 9. Geometría de la maniobra a un NDB con efecto del viento.

Dividiendo entre sí las ecuaciones (25) tenemos:

$$N \frac{d\theta}{dt} = -W \sin\theta \quad (25)$$

$$\frac{dN}{dt} = -V_A + W \cos\theta$$

Dividiendo entre sí las ecuaciones (25) tendremos:

$$\frac{dN}{N} = \left( \frac{V_a}{W} - \cos\theta \right) \frac{d\theta}{\sin\theta} \quad (26)$$

Que integrando resulta:

$$L_n N = \frac{V_A}{W} L_n \tan \frac{\theta}{2} - L_n \sin\theta + L_n k \quad (27)$$

$$N = K \frac{\left( \tan \frac{\theta}{2} \right)^{\frac{V_a}{W}}}{\sin\theta}$$

El valor de k se obtendría considerando que en estado inicial los valores de N y  $\theta$  son  $N_0$  y  $\theta_0$ , luego:

$$K = N_0 \frac{\sin \theta_0}{\left[ \tan \left( \frac{\theta_0}{2} \right) \right]^{\frac{V_a}{W}}} \quad (28)$$

La forma que adopta la trayectoria será la indicada en la figura 10 en donde se aprecia que la aeronave describirá una trayectoria curva llegando al NDB aproada al viento; deducción obtenida de la ecuación (28) al verificarse que  $N$  tiende a cero cuando también lo hace.

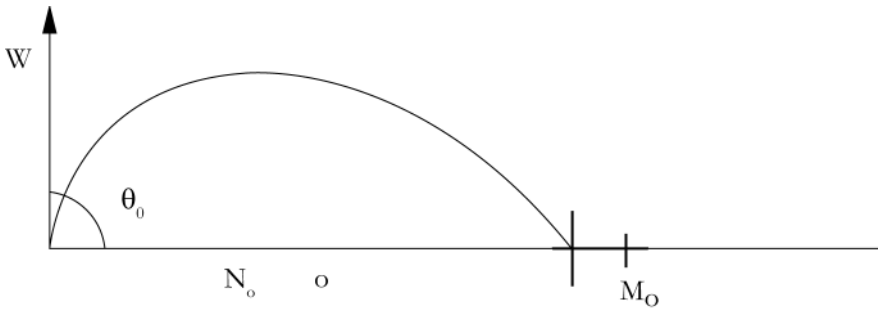


Figura 10. Trayectoria de acercamiento al NDB con viento.

La utilización de las señales del NDB bajo efecto del viento no se realizará nunca en la forma indicada anteriormente, sino manteniendo el rumbo seleccionado. La figura 11 indica de forma gráfica como se deberá mantener el rumbo en una maniobra de acercamiento al NDB, incluso en situaciones donde cambia la dirección del viento. La aplicación anterior será extensible a una maniobra en alejamiento y, en consecuencia, la señal de guiado que proporciona el NDB será utilizada siempre de forma que mantenga constante el rumbo seleccionado.

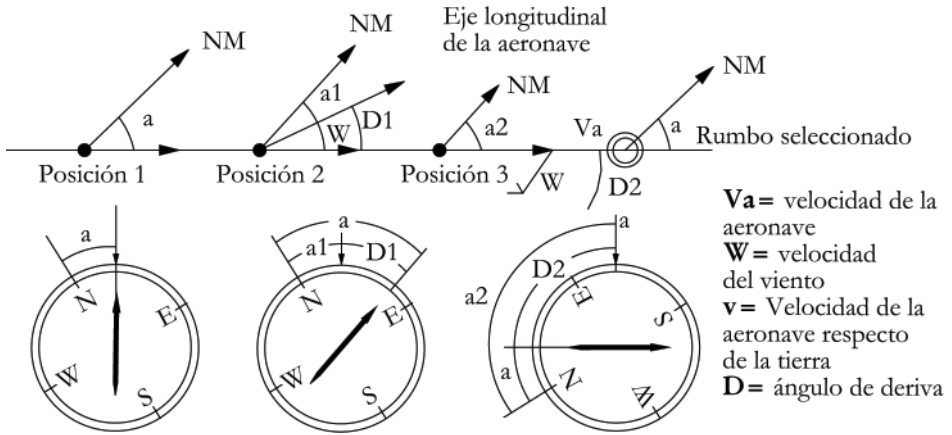


Figura 11. Marcaciones del RMI en un acercamiento NDB/ADF con viento cruzado.

### RECEPTOR ADF EN UNA AERONAVE

Una aeronave normalmente está equipada con dos unidades de ADF, como sistema alternativo en caso de falla. Cada equipo ADF consta de:

- Antenas.
- Equipo receptor *Automatic Directional Finder*.
- Tablero de control.
- *Radio Magnetic Indicator*.

Refiriéndonos al diagrama 4, donde se muestran los bloques de un equipo receptor ADF típico, se puede observar que el sistema es un receptor heterodino convencional, formado por su antena receptora (antena direccional), un receptor con sus etapas de RF/FI, detector y sección de audio, al cual se le han incorporado algunos pasos: una segunda antena *loop* (antena de cuadro), un servo oscilador de baja frecuencia, un goniómetro, un indicador y un paso de amplificación para la señal de la antena *loop*.

La operación del equipo puede ser efectuada en tres modos distintos ANT (Rx), ADF y CW (BFO). En el modo de ANT la unidad funciona como receptor superheterodino convencional y suministra únicamente salida de audio normal. En el modo ADF, los pasos adicionales empiezan a operar, para comportarse entonces como sistema localizador automático de dirección.

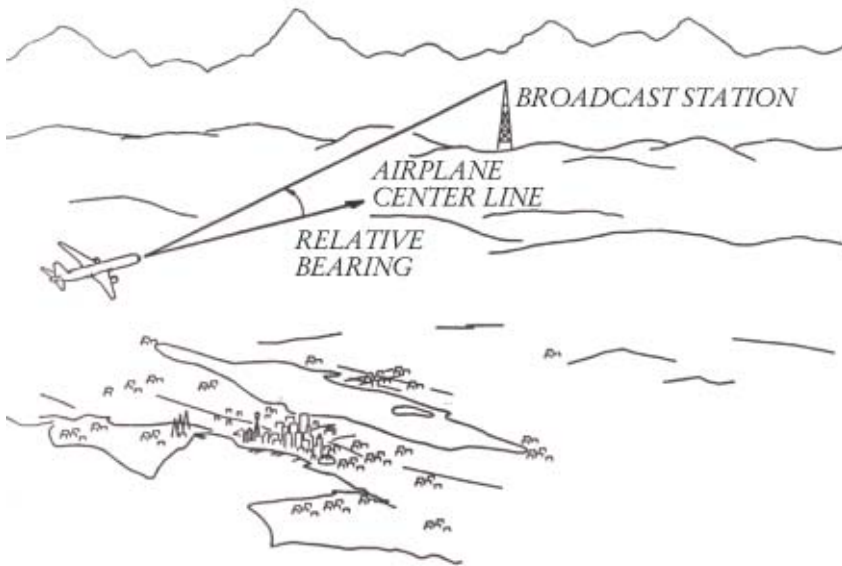


Figura 12. Sistema NDB/ADF.

Durante este modo de operación, el receptor toma la señal entonada de la estación NDB seleccionada por dos puntos distintos: uno por la antena de cuadro bidireccional y otro por la antena direccional. El frente de ondas de la señal de radio de la estación transmisora NDB es interceptado por las bobinas laterales y longitudinales de la antena de cuadro e induce voltajes de cada una de ellas, estos voltajes son proporcionales en amplitud, al ángulo de arribo de la onda de radio, con respecto a la posición del avión (véase Figura 12).

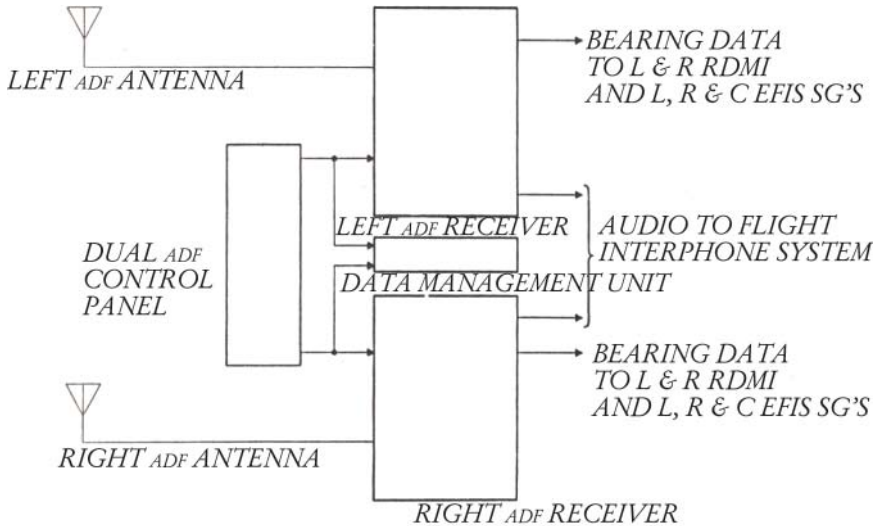
Esta señal de *loop* es acoplada al goniómetro del sistema para inducir esta señal ya con información de amplitud, posteriormente es sintonizada, amplificada y modulada por una señal de baja frecuencia generada por el servo oscilador (frecuencia del servo oscilador varía de 60 a 150 Hz); posterior-

mente el receptor combina estas dos señales de RF, obteniéndose una resultante de ellas que llevará la información de “error” (diferencia).

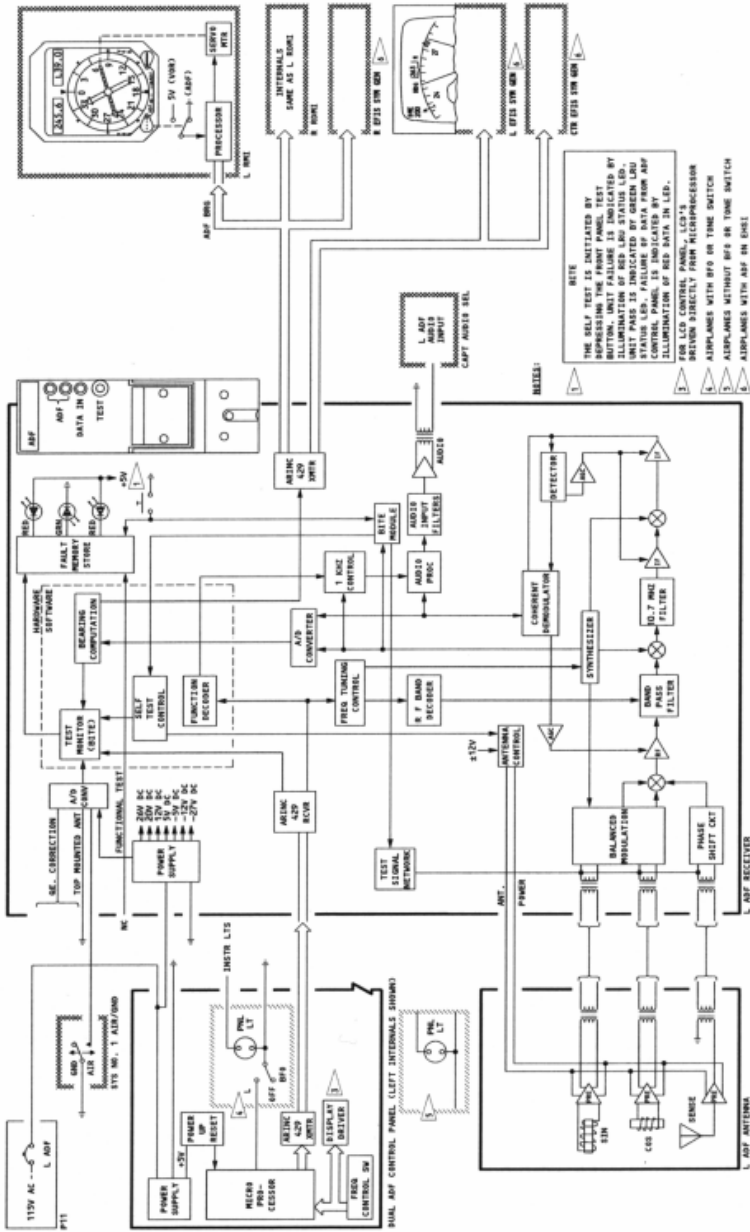
La señal de RF con la información de error, es procesada en forma tradicional por el receptor hasta la etapa del detector, donde por medio de filtros resonantes a la frecuencia del servo oscilador se detecta para aplicarla posteriormente al servo oscilador que se empleó directamente y que sirve como señal de diferencia. El rotor del servo motor está acoplado mecánicamente al goniómetro hasta buscar una posición de resultante cero o nulo, coincidiendo esta posición con la indicación de la dirección hacia donde se encuentra la estación transmisora.

En el diagrama 5 se muestra la localización de los elementos que componen al sistema ADF en una aeronave, se observa que para la B-767 las antenas se encuentran en las estaciones 1122 y 1165, los equipos receptores se encuentran en el compartimiento eléctrico-electrónico medio, en el rack E5-1, el tablero de control se localiza, en la cabina de pilotos en el panel central P8, el cual es compartido por los dos sistemas de ADF, los indicadores de RMI, se encuentran en la cabina de pilotos en el panel de instrumentos de primer oficial y de capitán (panel P-3 y P-1, respectivamente).

4. Diagrama de bloques de equipo receptor ADF abordo



5. Diagrama de bloques funcionales del receptor ADF abordo



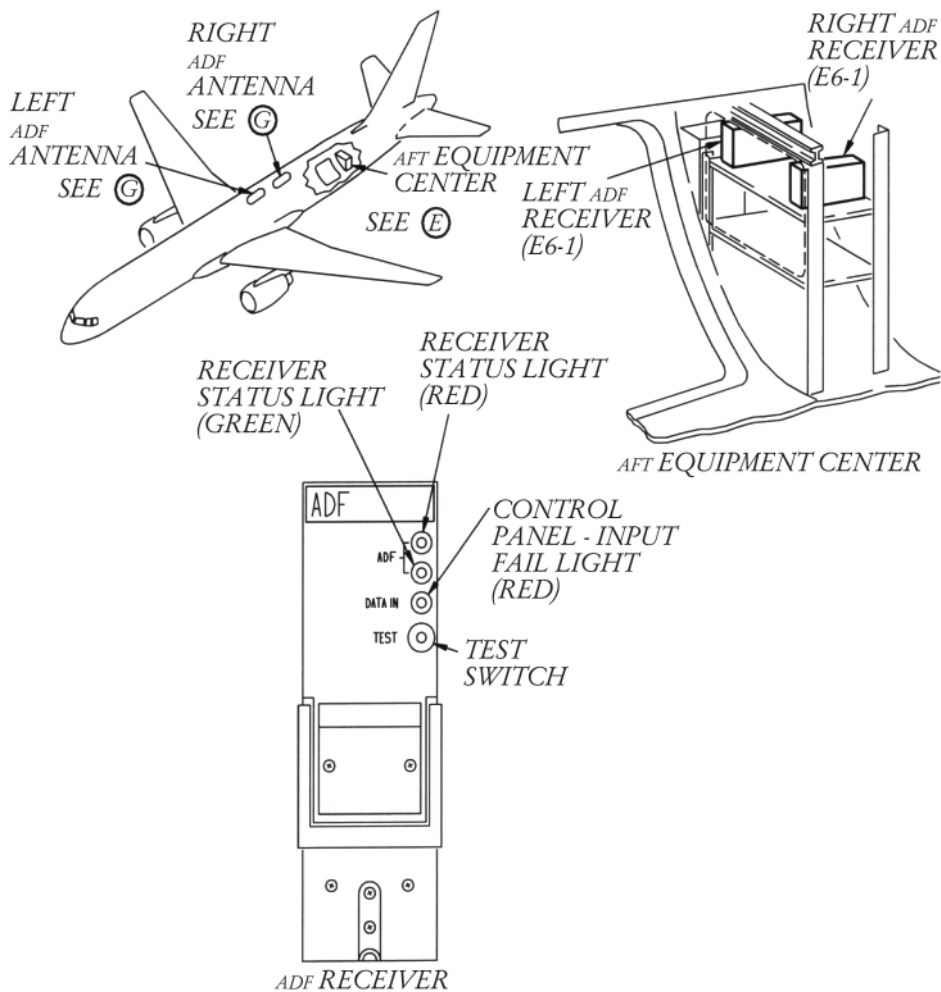


Figura 12. Localización de componentes del sistema ADF en una aeronave.

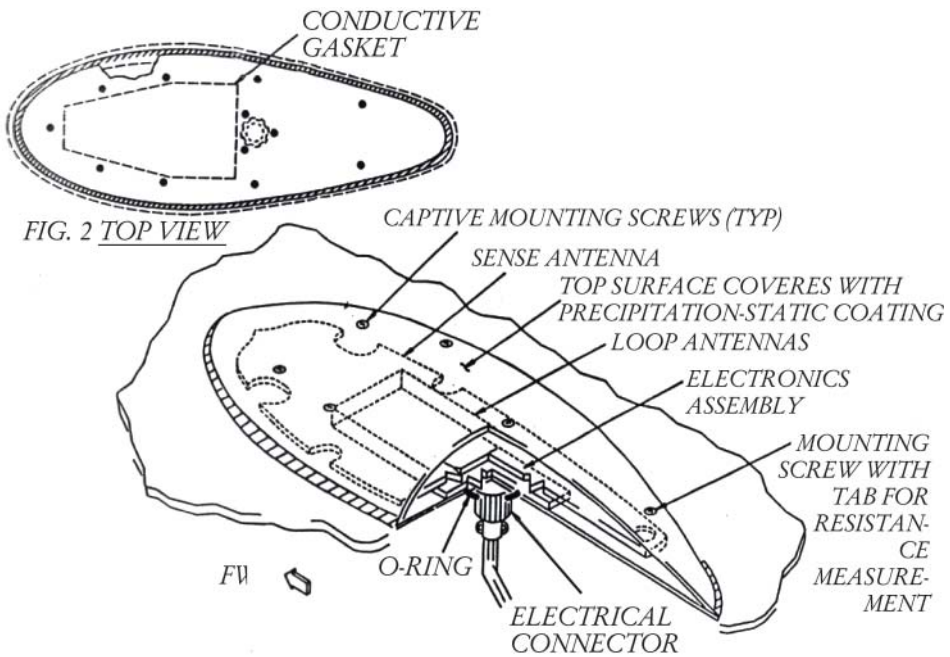
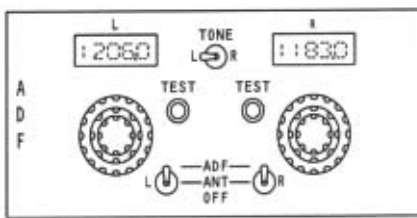
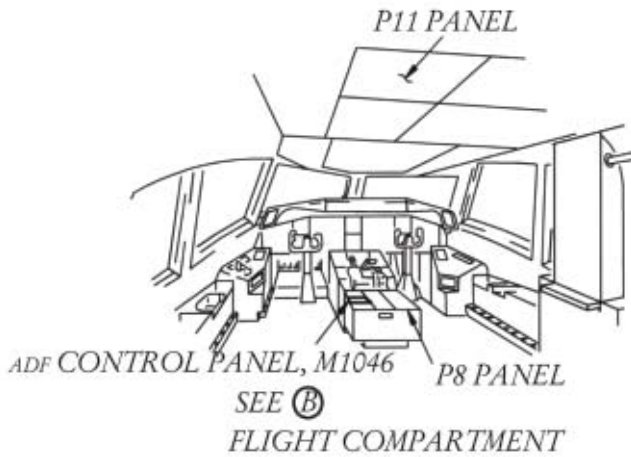


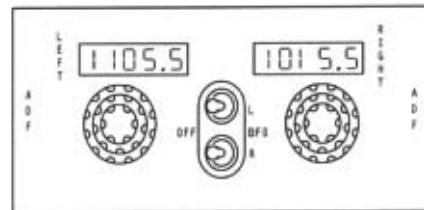
Figura 13. Montaje de las antenas de sentido (*sense*) y de cuadro (*loop*) para un receptor *Automatic Directional Finder*.



Figura 14. Tablero de control de receptor ADF moderno.



ADF CONTROL PANEL, M1046



ADF CONTROL PANEL, M1046

Figura 15. Localización del tablero de control del receptor *Automatic Directional Finder*.

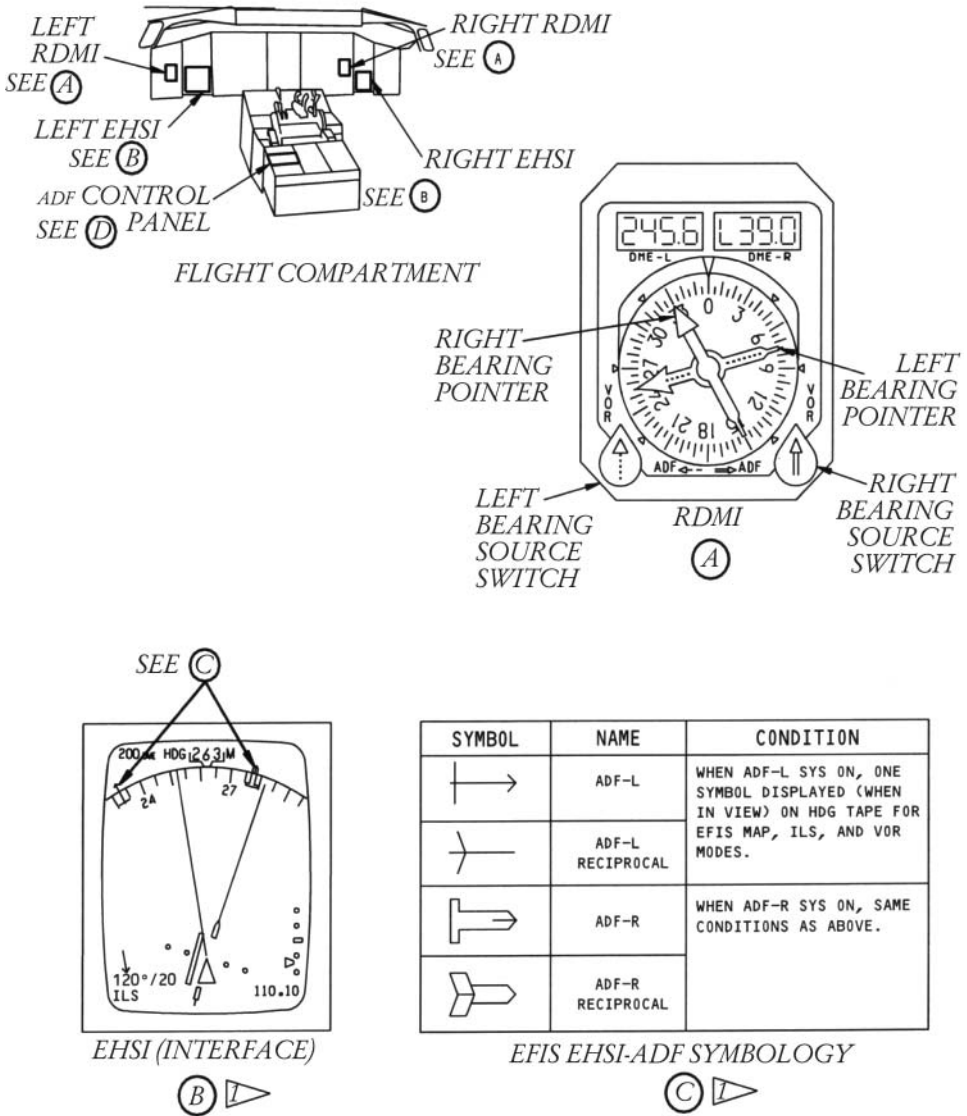


Figura 16. Indicadores RMI, EFIS y EHSI del *Automatic Directional Finder*.

## BIBLIOGRAFÍA

1. *Radiogoniometría automático* EN/TSD-501, Electrónica ENSA, España, 1985.
2. *Radiofaro Omnidireccional* NDB 55-22000-A., Marconi España, España, 1986.
3. *Nondirectional Beacon* (NDB), Installation Standard Handbook, FAA., EUA, 1981.
4. *Campos y ondas*, Simón Ramo, John Whinnery y Theodore Van Dozer. Pirámide, México, 1974.
5. *NDB antenna, Application Note*, Nautica Electronics Laboratories Limited, Nueva Escocia, Canadá, 1979.
6. *Sistemas de Navegación Aérea*, Jesús Hernández Raposo, Paraninfo, España, 1980.
7. *Manual de mantenimiento del BOEING 757*, México, 2002.
8. *Sistemas de navegación*, Ángel Corbasí Ortín, McGraw-Hill, España, 1998.

Editado en la Dirección de Publicaciones  
Revillagigedo 83, Col. Centro, C.P. 06040

Impreso en Publidisa Mexicana, SA de CV  
Calzada de Chabacano 69, Planta Alta,  
Col. Asturias, C.P. 06850, México, DF  
Julio 2007. Producción bajo demanda

CORRECCIÓN:	Mónica Mejía Magaña
FORMACIÓN:	Cintia V. Covarrubias Carreón
DISEÑO DE PORTADA:	Cintia V. Covarrubias Carreón
PREPrensa:	Sergio Mújica Ramos
ACABADOS EDITORIALES:	Roberto López Moreno
PRODUCCIÓN EDITORIAL:	Vania B. Castellanos Contreras
PROCESOS EDITORIALES:	Manuel Toral Azuela
DIVISIÓN EDITORIAL:	Héctor Bello Ríos
DIRECTOR:	Arturo Salcido Beltrán