

RADIOFAROS (1)

III. Radiogoniometría por cuadro móvil

Cuadro móvil.—El cuadro está constituido por un arrollamiento plano o prismático de espiras poligonales (generalmente hexagonales o cuadradas), sobre un armazón de madera, que puede girar alrededor de un eje vertical.

Como el sistema ha de ser fácilmente manejable y poco voluminoso, las dimensiones son relativamente pequeñas, diámetros de 1 a 3 m, correspondiendo alturas efectivas del orden del decímetro para ondas próximas a 1 000 m, que son las más utilizadas.

La sintonización del conjunto se verifica corrientemente por variación del condensador de acorde; además, cuando la gama de longitudes de onda a recibir es muy extensa, se divide el cuadro en secciones simétricas, de las que se puede tomar a voluntad un número cualquiera.

La transformación de la energía para su utilización puede hacerse en *recepción directa*, conectando a los terminales del condensador de acorde los aparatos de amplificación, o bien utilizando un *circuito secundario* que aporta todas las ventajas de los circuitos acoplados (fig. 7.^a).

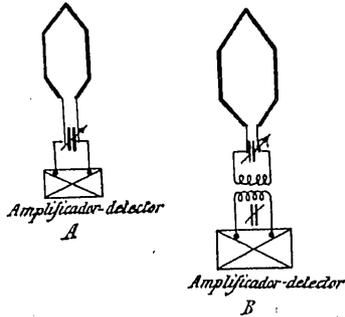


Fig. 7.^a Recepción en cuadro: A, directa; B, en secundario.

Para la medida de los azimutes existe inferiormente un limbo horizontal móvil graduado que, al pasar ante un índice fijo, mide el azimut en que se encuentra la normal al plano del cuadro.

Determinación de la dirección.—Si recibiendo una

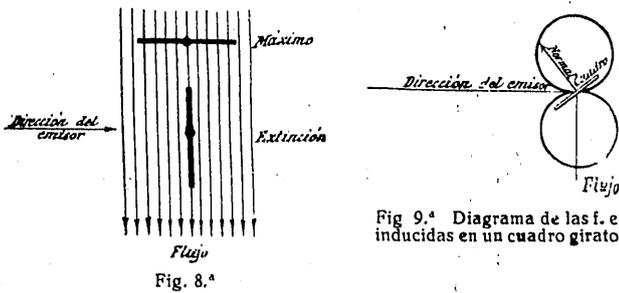


Fig. 9.^a Diagrama de las f. e. m. inducidas en un cuadro giratorio.

emisión hacemos girar el cuadro, la f. e. m. inducida variará según la ley

$$e = - \omega \eta S H \sin z \cos \omega t$$

que es la [3] antes deducida y en la que debemos considerar z (2) variando de 0° a 360° . Pasará por dos valores nulos para las posiciones del cuadro en que su plano es perpendicular a la dirección del emi-

(1) Véase el número anterior, página 180.

(2) z , ángulo de la normal al plano del cuadro con la dirección del emisor.

sor y alcanzará dos valores máximos para posición a 90° de las anteriores, en las que los referidos planos y dirección coinciden (fig. 8.^a).

Representada en coordenadas polares esta ley de variación (fig. 9.^a) resultan dos circunferencias del mismo radio, tangentes entre sí y a la dirección del emisor en el origen de coordenadas.

Por observación de las extinciones o de los máximos puede deducirse la dirección del emisor; pero existe ambigüedad respecto al sentido, que nos es absolutamente preciso fijar el verdadero.

Supresión de la ambigüedad.—La ambigüedad nace de la simetría, con respecto al origen, del diagrama polar de las f. e. m. inducidas. Existe una diferencia de fase de 180° entre las correspondientes a uno y otro lóbulo, que no puede traducirse a señales sensibles si no tomamos un término de comparación fijo.

Este nos lo va a proporcionar una antena próxima, acordada también a la emisión. Vimos que la fuerza electromotriz en ella inducida estaba en cuadratura con la del cuadro; por tanto, si decalamos aquella 90° , quedará en fase con ésta, y al componer ambas, si para una posición del cuadro se suman, para la simétrica se restarán. Queda así el diagrama (fig. 10) deformado en una dirección perpendicular

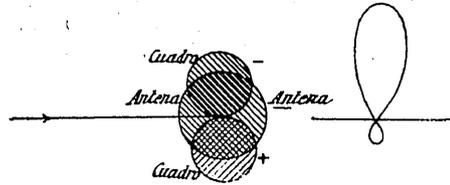


Fig. 10. Supresión de la ambigüedad. Composición de las f. e. m.

lar a la del emisor, y en un sentido que depende del de éste y del modo de efectuar la composición de las fuerzas electromotrices.

Por consiguiente, la indeterminación queda salvada, pues para un cuadro determinado, si hacemos la composición siempre del mismo modo, el sentido de la deformación no depende nada más que del emisor; podrá determinarse de una vez para siempre la relación entre ellos, y la aplicación a cada caso particular se realizará como sigue: Por observación de las extinciones en el cuadro solo, se deducirá la dirección del emisor; situando el cuadro a 90° (aproximadamente) de la posición anterior, se harán dos observaciones, una antes y otra después de introducir en circuito la antena, deduciéndose del aumento o disminución en la intensidad de recepción cuál es el azimut verdadero de los dos que corresponden a la extinción.

En este principio se fundan los dispositivos prácticos, entre los que podemos considerar los siguientes:

- 1.º Empleo de antena separada.
- 2.º Procedimiento Lyot.
- 3.º Procedimiento Bellini.

En el primer caso se emplea el montaje indicado esquemáticamente en la figura 11.

La f. e. m. inducida directamente en el cuadro es de la forma

$$M \sin z \cos \omega t$$

y la inducida en la antena

$$N \text{ sen } \omega t$$

Si acordamos la antena, esta f. e. m. producirá una corriente en fase, que mediante el acoplo inductivo antena-cuadro, dará nacimiento en éste a una f. e. m. que podemos representar por

$$- P \text{ cos } \omega t$$

Y así hemos conseguido poner en fase o en oposición (según el signo de $\text{sen } z$) ambas f. e. m. En la

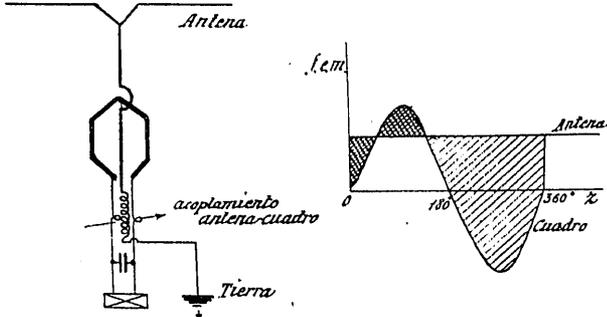


Fig. 11. Supresión de la ambigüedad. Empleo de antena separada.

Fig. 12. Empleo de antena separada. Composición de las f. e. m.

figura 12 se representa en coordenadas cartesianas el resultado de su composición.

Cuando no se dispone de alguna antena (en los barcos se utiliza, la de su estación T. S. H.), la especial que se requiere es de poca importancia, como se desprende de la necesidad de comparar sus efectos con los del cuadro. Ha de ser simétrica con relación al eje del mismo, por lo que generalmente afecta la forma de T, estando constituida la parte horizontal por dos pequeños prismas o una serie de hilos en sábana, a unos 5 m de altura sobre el suelo. La longitud de estos hilos depende de la longitud de onda a recibir (unos 10 m para ondas del orden de 1 000 m).

En el procedimiento Lyot no existe antena independiente; ésta se obtiene añadiendo al cuadro una inductancia como se indica en la figura 13, con lo que se introduce un elemento impar que nos suministra el efecto antena necesario. La inductancia introducida es variable, con objeto de poder sintonizar la antena así obtenida.

La explicación exacta del fenómeno es un poco complicada, pero podemos darnos cuenta de lo que ocurre, considerando que la f. e. m. que aparece en los terminales del condensador es la resultante de las que se engendran en los dos circuitos siguientes:

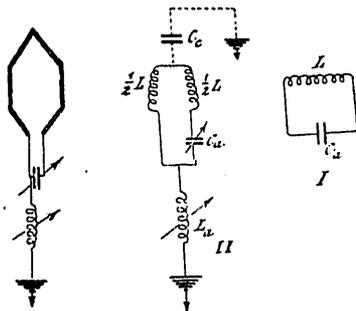


Fig. 13. Supresión de la ambigüedad. Procedimiento Lyot.

Circuito I (fig. 13): cuadro solo, al que corresponde la f. e. m. (efecto cuadro)

$$M \text{ sen } z \text{ cos } \omega t$$

[c]

Circuito II (fig. 13): antena ficticia; supuesta la capacidad del arrollamiento, concentrada en el punto medio, se induce una f. e. m. (efecto antena)

$$N \text{ sen } \omega t$$

que como la antena está sintonizada produce una corriente en fase, de la cual una parte se deriva por la rama $\frac{1}{2} LC_a$ dando lugar en el condensador a una diferencia de potencial

$$\frac{I_a}{C_a \omega} \text{ cos } \omega t$$

[A]

que vemos está en fase con la [c].

En el procedimiento Bellini (fig. 14) tampoco se utiliza antena independiente; se forma también con el cuadro mismo, para lo cual el punto medio del arrollamiento está unido a tierra mediante una resistencia, y existe un condensador fijo que desempeña papel análogo al de la inductancia del caso anterior. A través de este condensador y del de acorde se transmiten al circuito filamento-regilla de la primera lámpara las f. e. m. inducidas, para lo cual el filamento está puesto a tierra. El funcionamiento difiere notablemente del caso anterior, debido a que el circuito antena abierta no está acordado y no se obtendrá una suma algebraica de f. e. m.; pero siempre resultará un aumento o disminución de la recepción, según el sentido en que se encuentra el emisor.

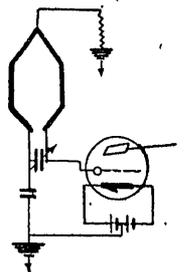


Fig. 14. Supresión de la ambigüedad. Procedimiento Bellini.

Compensación.—La simetría eléctrica del cuadro queda alterada en cuanto hagamos intervenir los aparatos de amplificación y detección, pues considerando éstos reducidos a una sola lámpara, uniremos la rejilla y el filamento a cada uno de los terminales del condensador. Siguiendo estas dos ramas del circuito (figura 15) encontramos, en la correspondiente al filamento, las baterías de acumuladores que presentan

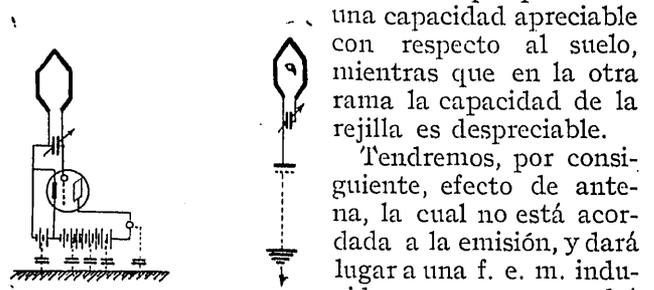


Fig. 15. Dismetría eléctrica del cuadro.

una capacidad apreciable con respecto al suelo, mientras que en la otra rama la capacidad de la rejilla es despreciable.

Tendremos, por consiguiente, efecto de antena, la cual no está acordada a la emisión, y dará lugar a una f. e. m. inducida, que se compondrá geométricamente (pues no están en fase) con la del cuadro, impidiendo las extinciones y falseando la posición de los máximos.

La compensación, como su nombre lo indica, tiene por objeto evitar este inconveniente. El procedimiento más natural consiste en restablecer la simetría por adición de un condensador regulable entre el otro terminal del de acorde y la tierra. De este modo, las f. e. m. creadas en ambos circuitos abiertos se contrarrestan.

Otro sistema consiste en encerrar todas las partes del circuito en que pueden inducirse f. e. m. constantes (efecto antena) en cajas de Faraday, que las aislen de tierra y las protejan del campo eléctrico.

Otra causa de perturbación en el método, que impide la verificación de las extinciones, es la correspondiente al cuadro fijo formado por los conductores que van a los terminales del condensador de acorde, y, en general, todo circuito cerrado que no gira y recibe flujo. Esto se remedia, o encerrando dichos circuitos en cajas de Faraday, o procurando que los conductores simétricos estén muy próximos, de modo que la superficie que limitan sea despreciable.

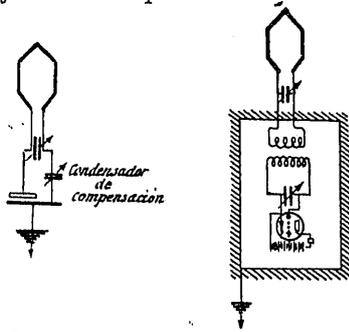


Fig. 16. Procedimientos generales de compensación: A, por condensador adicional; B, por cajas de Faraday.

Errores.—Las principales causas de error en el método son las siguientes:

- 1.^a Inclinación del eje del cuadro.
- 2.^a Excentricidad del limbo horizontal.
- 3.^a Disimetría eléctrica del cuadro.

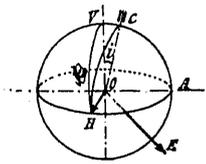


Fig. 17. Error por inclinación del eje del cuadro.

La extinción se verifica cuando el plano del cuadro (fig. 17) contiene al vector intensidad de campo magnético OH , que es horizontal y normal a la dirección del emisor OE ; por consiguiente, si el eje del cuadro OC no es vertical, sino que forma un cierto ángulo i con OV , el azimut leído en el limbo será $\widehat{ACH} - 90^\circ$ en lugar de $\widehat{AVH} - 90^\circ$, que es el verdadero. El error, por consiguiente, es

$$\epsilon = A \widehat{CH} - A \widehat{VH}$$

que supuesto pequeño y expresado en grados así como i , resulta

$$\epsilon \approx \frac{i^2}{229}$$

De la que deducimos que esta causa tiene poca importancia, pues se necesitaría una desviación del

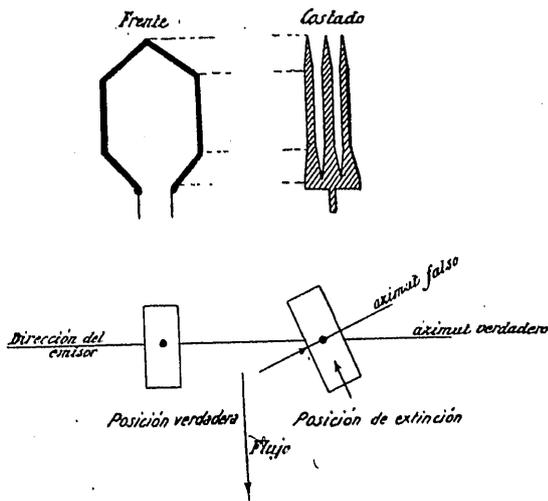


Fig. 18. Error por efecto del cuadro transversal.

eje de 15° para producir error de 1° en la lectura. El error por excentricidad del limbo debido a la

no coincidencia del centro de éste en el eje de rotación puede fácilmente evitarse haciendo dobles lecturas (para las dos posiciones simétricas del cuadro) y tomando la semisuma.

Respecto a los errores por disimetría eléctrica del cuadro ya hemos citado algunas causas, apuntando los procedimientos para evitar sus efectos. Podemos indicar otra que se presenta únicamente en los cuadros de arrollamiento prismático, en los que éste limita transversalmente una cierta superficie por la que penetra flujo (exagerada en la fig. 18), siendo necesario, para obtener la extinción, desplazar el cuadro de la posición verdadera hasta conseguir que los flujos que penetran por ambas caras engendren fuerzas electromotrices iguales y de signo contrario.

IV. Radiogoniometría por cuadros fijos

En este sistema la captación de la energía se verifica al través de dos grandes cuadros verticales, situados en planos perpendiculares, idénticos y simétricos con respecto a una misma vertical.

Estos cuadros, que constan de un solo hilo, tienen generalmente forma triangular, y sus dimensiones son del orden de 30 m. En el centro de la parte horizontal de cada uno existe una bobina cilíndrica, partida

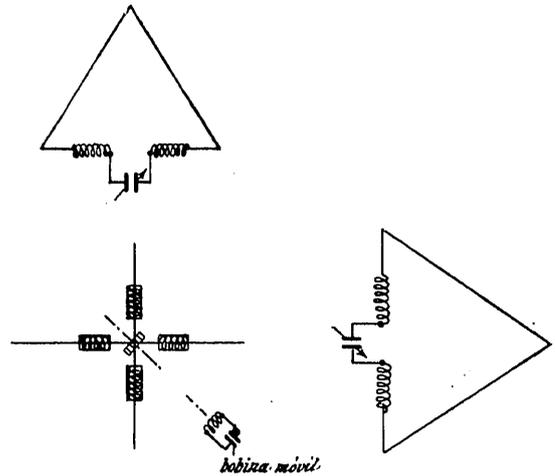


Fig. 19. Radiogoniometría por grandes cuadros fijos.

en dos mitades, unidas por medio de un condensador variable que sintoniza el conjunto. En el espacio dejado libre por las dos bobinas se mueve una tercera alrededor del eje general de simetría que, unida a un condensador variable, forma el tercer circuito oscilante que se acorda también a la emisión (fig. 19).

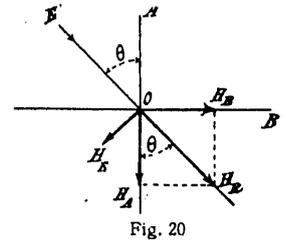


Fig. 20

Determinación de la dirección.—Suponiendo el emisor situado en la dirección OE (fig. 20), los cuadros acordados y las bobinas teniendo sus ejes situados en los planos de los cuadros correspondientes, las intensidades inducidas en cada uno de ellos serán

Cuadro oA	$\frac{H_e S \sin \theta}{R}$
Cuadro oB	$\frac{H_e S \cos \theta}{R}$

siendo

- H_e La intensidad del campo magnético.
- S y R La superficie y la resistencia de los cuadros (iguales para ambos, pues los hemos supuestos idénticos).
- θ El ángulo que forma la dirección del emisor con el plano oA .

El campo que se crea en la parte central será la suma de

Campo debido a oA $H_a = \frac{0,4 \pi n H_e S \sin \theta}{R l}$

Campo debido a oB $H_b = \frac{0,4 \pi n H_e S \cos \theta}{R l}$

y el campo resultante $H_R = \frac{0,4 \pi n S}{R l} H_E$

y dirigido según el emisor, para los sentidos de arrollamiento implícitamente supuestos.

Por consiguiente, el papel de los cuadros consiste en reproducir, amplificado, el campo magnético debido a la radiación del emisor, en la zona comprendida entre sus dos bobinas.

La tercera bobina desempeña aquí misión idéntica a la que el cuadro móvil en el sistema anterior. Para que pueda cumplirla eficazmente, es preciso que el campo sea rigurosamente uniforme en el espacio explorado por la bobina, o de no realizarse estrictamente esta condición, la bobina tiene que ser de forma especial, de revolución alrededor del eje vertical, con espiras dispuestas en planos equidistantes.

Supresión de la ambigüedad.—Por las mismas razones que en el caso anterior existe ambigüedad respecto al sentido, que se resuelve por procedimientos idénticos a los indicados; es decir, bien empleando antena separada, bien aprovechando el efecto de antena de los mismos cuadros. En este último caso se unen entre sí los puntos medios de las bobinas y se adiciona un condensador o inductancia variable que, puesto a tierra, introduce la disimetría necesaria.

Compensación.—En este caso, además de la simetría eléctrica particular de cada cuadro, que se altera y se restablece por las mismas razones y medios que en el caso anterior, tenemos que conseguir la identidad absoluta de ambos cuadros. Esto resulta fácil en cuanto se refiere a las inductancias y resistencias, no así con respecto a los condensadores, que manejados por intermedio de un mismo engranaje (por motivos de rapidez) no realizarán movimientos de una precisión absoluta, y aunque esto se consiguiese, la desigualdad subsistiría por no poder construirse dos condensadores de aire idénticos. Esto da lugar al defasamiento de los campos correspondientes a los dos cuadros, que al componerse dan una resultante variando elípticamente, con lo que desaparecen las ex-

tinciones y se falsea la posición de los máximos. Para evitarlo se hace que siempre uno de los condensadores sea inferior al otro, compensando la diferencia para cada longitud de onda por medio de un pequeño condensador suplementario, que se añade en paralelo con el menor.

El modo de realizar la compensación de capacidades es análogo al seguido para compensar los efectos de antena abierta. Primero se acordan los dos cuadros a la emisión por maniobra común de los condensadores, y luego, moviendo la bobina exploradora, se orienta al mínimo de recepción; si éste no es cero, se maniobra el condensador de compensación hasta obtener el máximo de disminución, y moviendo ligeramente la exploradora se conseguirá la extinción, o se procederá a un nuevo tanteo.

A veces, y principalmente cuando se reciben ondas amortiguadas, se emplea el montaje del cuadro en aperiódico (figura 21), es decir, sin condensadores, con lo que desaparecen los anteriores inconvenientes. Además este montaje tiene la ventaja de permitir la recepción de cortas longitudes de onda.

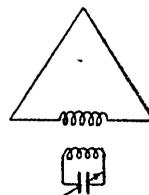


Fig. 21. Cuadros aperiódicos.

Errores.—Pueden provenir de la falta de perpendicularidad de los planos de los cuadros, lo cual da lugar a reacciones entre ellos que falsean las observaciones; de la falta de identidad, que reside principalmente, como ya hemos visto, en los condensadores, y que supuestos valores corrientes introduce una desviación de 5° en la dirección para medio grado de diferencia entre los condensadores de aire; de la irregularidad del campo en el interior de las bobinas cuando la exploradora no tiene una forma especial y de otras causas menos importantes.

V. Comparación de sistemas

El sistema de cuadro móvil es mucho más sencillo de establecimiento, sus circuitos son menos complicados, de donde resulta mayor economía y menor riesgo de errores.

El radiogonómetro de grandes cuadros requiere una instalación importante, pero la recepción es mucho más intensa y la maniobra más rápida. De las características enunciadas se deduce la especial adecuación de cada uno de los sistemas a las instalaciones de a bordo y a las terrestres. Corresponden casi generalmente a los dos primeros sistemas de radiofaros de nuestra clasificación, es decir, el cuadro móvil para la recepción a bordo de las señales de un radiofaro de emisión ordinaria y los grandes cuadros en las estaciones radiogoniométricas. Pero a veces se utilizan en el primer caso los grandes cuadros.

Carlos FERNÁNDEZ CASADO
Ingeniero de Caminos, de Telecomunicación y de Radio E. S. E., París.

BIBLIOGRAFIA

R. HESNY: «Usage des cadres et radiogoniométrie».—E. Chiron. París.

ARTICULOS DE REVISTAS

«Etude d'un cas particulier d'effect d'antenne sur un cadre de radiogonometre.»—*Onde Electrique*. 3 de noviembre de 1924.
«Un nouveau radiogonometre avec levée de doute.»—*Onde Electrique*. 3 de mayo de 1924.

«Un método de radiogoniometría y sus aplicaciones a la radiogoniometría marítima y aérea.»—*Radio Review*, febrero y marzo de 1920.
«Un método de radiogoniometría.»—*Radio Review*, 1.º de noviembre de 1920.
«Discusión de los sistemas prácticos de radiogoniometría.»—*Radio Research Board*, 1923.
«Teoría y detalles prácticos sobre la construcción y el empleo de los aparatos radiogoniométricos.»—*Journal of Frank Institute*, septiembre de 1919.
«Recepción dirigida. Teoría del funcionamiento del cuadro.»—*Wireless World*, 8 de julio de 1925