

INFORME 401-6

ANTENAS DE EMISIÓN PARA RADIODIFUSIÓN EN ONDAS
KILOMÉTRICAS Y HECTOMÉTRICAS

(Cuestión 44/10, Programa de Estudios 44G/10)

(1966-1970-1974-1978-1982-1986-1990)

1. Antenas de radiación cenital vertical reducida

Una antena antidesvanecimiento ————— de gran eficacia debe construirse en secciones fraccionadas y tener una altura eléctrica de $2\lambda/3$ a λ para obtener un aumento rápido de la intensidad de campo de la onda ionosférica cerca del punto en que es igual a la de la onda de superficie. El efecto de la componente resistiva de la corriente de antena, en el diagrama vertical de radiación de una torre fraccionada, puede reducirse o compensarse por alimentaciones múltiples. Debe hacerse observar que la posición y la extensión de la zona de desvanecimiento varían con las propiedades de las capas ionosféricas reflectoras.

En la práctica, la zona de desvanecimiento es algo mayor que la calculada y esto podría deberse, por una parte, a las variaciones de la capa E y, por otra, a reflexiones en la capa F, efectos que hay que tener en cuenta al estudiar las antenas.

2. Influencia de la conductividad del suelo en el diagrama de radiación vertical (incluido el sistema del suelo)

En [CCIR, 1970-74a] se dan resultados de un estudio teórico sobre la influencia de la conductividad del suelo en los diagramas de radiación vertical de antenas verticales típicas. El estudio tiene en cuenta la difracción de las ondas siguiendo la curvatura de la Tierra.

La pérdida debida al suelo puede definirse como la reducción de intensidad de campo que se produce sobre una Tierra curva, cuando la tierra sustituye a una extensión marítima. ——— El aumento correspondiente que se produce cuando una extensión marítima sustituye a la tierra se considera como ganancia debida al mar.

En [CCIR, 1966-69a] se dan los resultados de mediciones de intensidad de campo realizadas para verificar los efectos de la conductividad del suelo con pequeños ángulos de elevación en un trayecto relativamente largo, de 1400 km. Las emisiones de Roma en 845 kHz se midieron en diversos puntos de la costa y tierra adentro, en el sur de Inglaterra a lo largo de un trayecto que penetraba 100 km tierra adentro. Teniendo en cuenta el principio de reciprocidad, poco importa que la antena se utilice en la recepción o en la transmisión. La fig. 1 indica, en valores relativos, las intensidades de campo medidas tierra adentro *B* a *K* y en la costa *A*.

En este texto se llega a la conclusión de que para un transmisor que funcione en ondas hectométricas (banda 6), la radiación de ondas ionosféricas será más eficaz con ángulos de elevación pequeños si la antena se instala en la costa frente a la zona de servicio y que las pérdidas debidas al suelo no alcanzan su valor máximo hasta que la antena está por lo menos a 50 km tierra adentro. Para obtener la ganancia máxima, es preciso que el mar se extienda en la dirección de propagación hasta una distancia de 100 longitudes de onda por lo menos.

Las pérdidas debidas al suelo influyen tanto en la recepción como en la transmisión. Para más información, véase la Recomendación 435.

Italia [CCIR, 1966-69b] y la URSS [CCIR, 1970-74b] han comunicado los efectos de la ganancia debida al mar en ondas kilométricas y hectométricas. Los resultados concuerdan ——— con los valores teóricos calculados.

Estudios realizados en Italia [CCIR, 1982-86a] han mostrado la influencia combinada de un suelo de conductividad finita y un sistema de tierra sobre el diagrama de radiación vertical de la onda ionosférica de antenas emisoras en ondas hectométricas. —————

——— Mediante la utilización de un procedimiento de cálculo por computador, se ha derivado un factor de corrección que ha de aplicarse al diagrama de radiación de una antena de un solo mástil sobre tierra plana y perfectamente conductora.

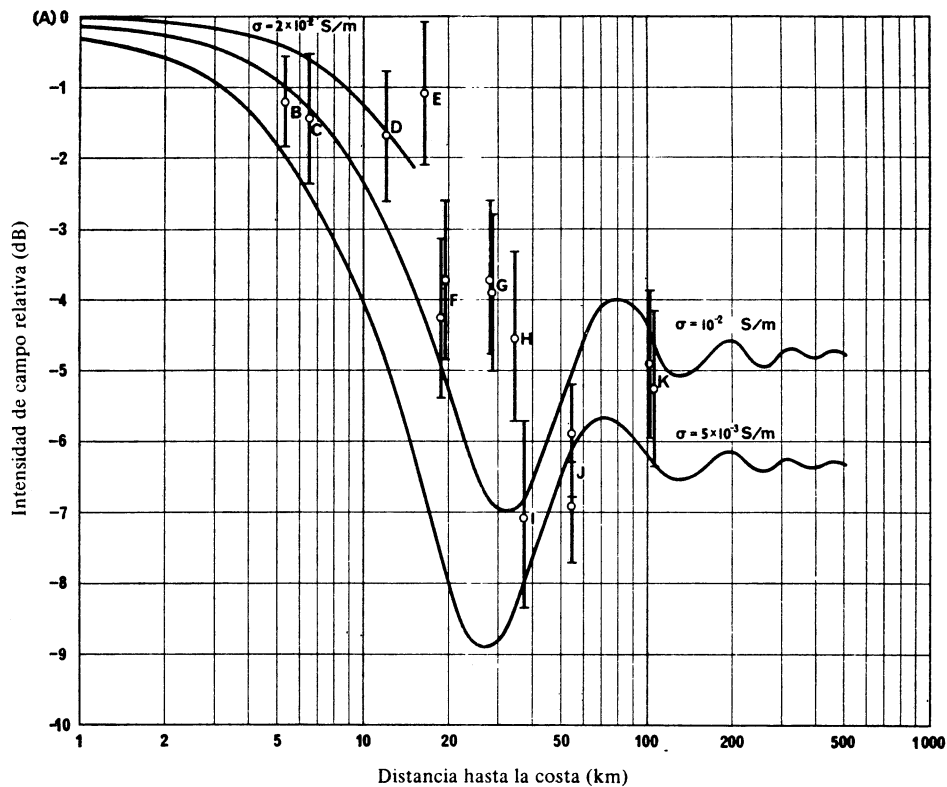


FIGURA 1 - Pérdidas teóricas y medidas debidas al suelo

————— : Pérdidas teóricas debidas al suelo
 ● : Pérdidas medidas

(Las líneas verticales indican los márgenes de error)

La figura 1 muestra que las pérdidas debidas al suelo varían con la distancia a la costa, en la frecuencia de 845 kHz, para un ángulo de llegada de 4° aproximadamente. En la figura se dan igualmente curvas teóricas para suelos de conductividad de $5 \times 10^{-3} \text{ S/m}$ y 10^{-2} S/m que parecen ser los valores extremos de la conductividad en la región considerada. También se ha indicado una parte de la curva teórica para $2 \times 10^{-2} \text{ S/m}$, porque se sabía que los diez primeros kilómetros del trayecto terrestre presentaban, poco más o menos, esta conductividad. La fig. 1 muestra con claridad la importancia de esta atenuación en ubicaciones claramente alejadas de las costas.

3. Antena transmisora de gran eficacia

Conviene destacar que el costo de una antena de gran eficacia, desde el punto de vista de la inversión y del mantenimiento, no debe considerarse aisladamente, sino en relación con el costo y la eficacia de una estación de radiodifusión en su conjunto. Por ejemplo, para una estación que tenga un transmisor con una potencia de salida de 100 kW o más, el precio de una antena simple puede ser sólo una parte relativamente pequeña del costo total.

3.1 Antenas antidesvanecimiento en ondas kilométricas

En [CCIR, 1966-69c] se describen las experiencias efectuadas en una antena de ondas kilométricas en anillo de la estación de radiodifusión de Motala (191 kHz). Se trata de una antena de ondas estacionarias constituida por un elemento radiante central (elemento vertical de 250 m) y de cinco elementos verticales de 200 m igualmente espaciados en un radio de 630 m ($0,4 \lambda$). La medición de la intensidad de campo a distancias de hasta 300 km desde la antena aumentó sustancialmente la zona sin distorsión de desvanecimiento.

3.2 Antenas antidesvanecimiento en ondas hectométricas

En [CCIR, 1970-74c] se describe una antena de jaula de dos medias ondas para la banda 6 (ondas hectométricas). Comprende cuatro jaulas de hilo de cobre o de aluminio, soportadas por un mástil no seccionado y conectado a tierra; cada jaula ($\lambda/4$) está conectada galvánicamente al mástil por su extremidad superior y aislada en el extremo inferior (véase la fig. 2).

Si se eligen de una manera adecuada la amplitud y la fase de las corrientes en ambos dipolos puede ajustarse la forma del diagrama vertical dentro de límites muy amplios. Ello permite elegir las condiciones óptimas de explotación diurnas y nocturnas.

En [CCIR, 1970-74d] se señala la existencia en Lille-Camphin de una antena de radiodifusión para ondas hectométricas de elevada ganancia, en 1376 kHz. Esta antena es del tipo «de onda completa» y está concebida de modo que la ganancia horizontal aumente al reducirse la radiación en direcciones distintas del horizonte. Está alimentada por el centro, pero su estructura con faldones de cuarto de onda evita cortar el mástil con aisladores. Tampoco hay aislador en la base del mástil. La adaptación a la línea de alimentación se efectúa sin dispositivo adaptador, sin la inductancia o capacidad clásicas. El ajuste de diagrama de radiación se ha efectuado a base de mediciones hechas desde helicóptero. Puede encontrarse una descripción detallada de esta antena en [Lacharnay, 1969].

En [CCIR, 1970-74e] se describe una antena cuyo diagrama de radiación se puede ajustar en el plano vertical. La parte superior de la antena es un elemento radiante vertical de tipo corriente, mientras que la inferior es un elemento vertical con una reactancia en forma de bucle en corto circuito conectado a la base. Para reducir la impedancia característica, de la parte superior de la antena cuelgan alambres inclinados. A la parte inferior de la antena va fijada una contraantena de hilos verticales que llega desde el suelo hasta una altura $H_1 = 0,4 H$.

El diagrama de radiación en el plano vertical se modifica ajustando la distribución de la corriente por medio de líneas de constantes distribuidas. La antena posee propiedades antidesvanecimiento en una amplia banda de frecuencias y su ganancia llega a ser doble de la de una antena de media onda con excitación en la base.

3.3 Antenas direccionales en ondas hectométricas

En [CCIR, 1970-74f] se describe una antena que incluye un dispositivo de conmutación con el que puede obtenerse de día y de noche un servicio óptimo en la banda 6 (ondas hectométricas). En dos estaciones de radiodifusión ~~estaban~~ en servicio antenas de este tipo (Ismaning, 1602 kHz y Langenberg, 1586 kHz). La antena consta de tres secciones separadas, lo que asegura una gran flexibilidad para ajustar la distribución de la corriente y permite modificar el diagrama de radiación vertical dentro de amplios límites. Combinando racionalmente estos elementos, puede obtenerse una mejora de 3 a 10 dB en la relación señal/interferencia en radiofrecuencia en el canal compartido.

En [CCIR, 1974-78a] se describe un sistema de antena directiva para la banda 6 (ondas hectométricas) con un diagrama de radiación controlable en el plano horizontal [Timonina, 1971].

Esta antena consta de cuatro elementos radiantes colocados en los cuatro vértices de un cuadrado de lado D . Dos de los elementos radiantes están alimentados, mientras que los otros dos son reflectores pasivos sintonizados mediante un adaptador en cortocircuito. El diagrama de radiación puede ser gobernado en el plano horizontal de 0 a 360°. Puede modificarse la dirección de radiación máxima por pasos de 90°. Suponiendo que D esté comprendido entre $0,25 \lambda$ y $0,28 \lambda$, la radiación hacia atrás es de -18 a -20 dB referida a la del haz principal, y en un sector angular de 100° esta radiación tiene un valor medio de unos -14 dB.

Una antena de cuatro mástiles, con regulación de la distribución de la corriente [Bielousov, 1974; Bielousov y otros, 1976], de una altura $H = \lambda$ y con $D = 0,28 \lambda$, tiene una ganancia de 10 dB cuando está sintonizada para obtener una radiación máxima en la dirección hacia adelante.

En [CCIR, 1974-78b] se refiere a un artículo publicado [Lacharnay, 1976] que describe diversas antenas directivas de mástiles verticales para la radiodifusión en ondas hectométricas y kilométricas, caracterizadas por una radiación muy reducida en amplios sectores angulares, en elevación y en acimut. Estas antenas permiten reducir las interferencias en bandas de frecuencia saturadas. Se describen realizaciones prácticas y se indica el límite de las atenuaciones que pueden obtenerse (30 dB actualmente), así como la estabilidad de los ajustes en el tiempo, comprobada a lo largo de varios años.

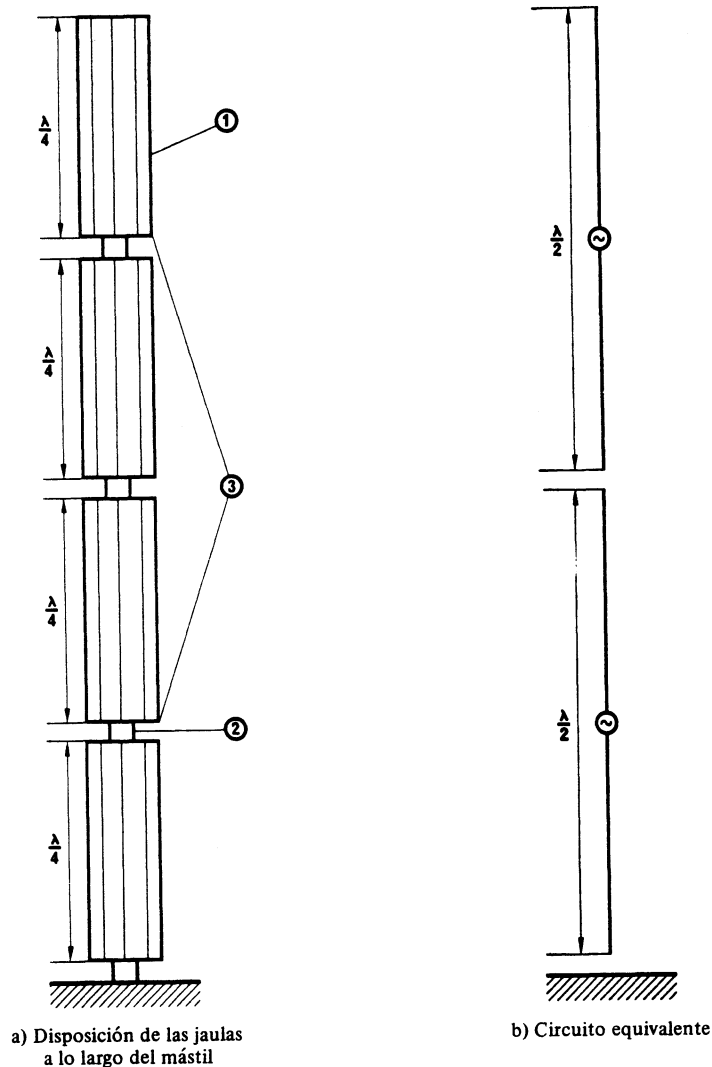


FIGURA 2- Antena de jaula de doble media onda

4. Métodos de predicción de los efectos de las radiaciones reflejadas

El problema de los efectos de la radiación reflejada en estructuras tales como líneas de transmisión de energía, postes metálicos, edificios con estructuras metálicas e instalaciones metálicas subterráneas es grave, puesto que tales estructuras pueden modificar el diagrama de radiación deseado. La eliminación de los efectos no deseados guarda estrecha relación con el conocimiento de la distribución de corriente a lo largo de la estructura de la antena en presencia de esas estructuras próximas.

Se ha informado de varios métodos para determinar la distribución de corriente a lo largo de la estructura de la antena. Un método sencillo, el llamado "método de equiparación de puntos", variante del "método del momento" (Harrington, 1968) ha sido elaborado en Yugoslavia [Popovic, 1970] y aplicado con éxito al tratamiento de aplicaciones conexas [Surutka y Mitic, 1975].

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BIELOUSOV, S. P. [1974] Srednevolnovyie anteny s regulirujemym raspredelenijem toka (Antena para ondas hectométricas con distribución ajustable de la corriente). *Sviazizdat*.
- BIELOUSOV, S. P., KUZNETSOV, V. D. y TIMONINA, V. I. [1976] Srednevolnovyie antifedingovaya antena s zazemlennym osnovaniem ARRTZ-2 (Antena antidesvanecimiento con la base a tierra ARRTZ-2). *Elektrosviaz*, 2, 40-46.
- HARRINGTON, R.F. [1968] - **Field computation by moment methods** (McMillan, Nueva York).
- LACHARNAY, S. [1969] Nouvelle antenne hectométrique à grand gain à l'émetteur de radiodiffusion de Lille-Camphin (antenne à jupe). *Rev. Française de Radiodif. et de Télév.*, 11.
- LACHARNAY, S. [septiembre-octubre de 1976] Antennes directives pour la radiodiffusion en ondes kilométriques et ondes hectométriques. *Radiodif-Télév.*, 44, 4/5, 1-11.
- POPOVIC, B.D. [mayo 1970] - **Polynomial approximation of current along thin symmetrical dipoles**, *Proc. IEE*, Vol. 117, N° 5, p. 873.
- SURUTKA, J.V. y MITIC, D.N. [1975] - **The field strength in the near field zone of the antennas of high-power MF/LF transmitters**, *Proceedings of the XIX Yugoslav Conference of Electronics, Telecommunications, Automation and Nuclear Engineering, Ohrid (Yugoslavia)*.
- TIMONINA, V. I. [1971] Srednevolnovaya napravlennaya antennaya sistema soupravljajmov diagrammoi napravlennosti v gorizontanoi plosnosti (Antena directiva para ondas hectométricas con diagrama de radiación controlado en el plano horizontal). *Radiotekhnika*, Vol. 26, 1, 17-25.

Documentos del CCIR

- [1966-69]: a. X/143 (Reino Unido); b. X/31 (Italia); c. X/190 (Suecia).
- [1970-74]: a. 10/188 (Reino Unido); b. 10/294 (URSS); c. 10/62 (Polonia) _____
(República Popular de); d. 10/73 (Francia); e. 10/292 (URSS); f. 10/28 (Alemania (República Federal de)).
- [1974-78]: a. 10/108 (URSS); b. 10/272 (Francia).
- [1982-86]: a. 10/49 (Italia).

BIBLIOGRAFÍA

- AIZENBERG, G. Z., BIELOUSOV, S. P., LINDBERG, A. H. y JAMPOLSKIJ, W. S. [1961] Antifedingovaya antienna dlia radiowieszczanija (Antena antidesvanecimiento para la radiodifusión). *Radiotekhnika*, 16, 12, 21-30.
- BEM, D. J. [1973] Antena klatkowa z ksztaltowana charakterystyka promieniowania w plaszczynie pionowej. (Antena de jaula con conformación del diagrama de radiación vertical). *Prace Instytutu Łączności*, XX, 1(69).
- BIELOUSOV, S. P. [1967] Sredniewolnowyje antienny s regulirujemym raspredelenijem toka (Antena con distribución de corriente reglable para ondas hectométricas). *Westnik Sviasi*, 8.
- CCIR [1978] Diagramas de antenas.
- CLEMMOV, P. C. [1953] Radio propagation over a flat earth across a boundary separating two different media. *Phil. Trans. Roy. Soc., Series A*, 246, 905, 1-55.
- COLLARD, M. [octubre de 1973] The reduction of the results of field-strength measurements to standardized conditions, for the purpose of studying LF and MF ionospheric propagation. *EBU Rev. Tech.*, 141.
- KNIGHT, P. y THODAY, R. D. C. [1969] Influence of the ground near transmitting and receiving aerials on the strength of medium frequency sky-waves. *Proc. IEE*, 116, 6, 911-919.
- LACHARNAY, S. [1983] *Antennes pour la radiodiffusion*. Primera Ed. 83, Information Promotion Française, Paris, Francia.
- LACHARNAY, S., FONTEYNE, J. y MASSUCCI, M. [1978] Radiodiffusion en ondes kilométriques et hectométriques. *Radiodif-Télév.*, 1.
- MAGNUSSON, E. y STRANDEN, F. [junio de 1960] Planning the new Motala Long-Wave Broadcasting Station. *EBU Rev. A*, 107-113.
- MALLACH, P. [1971] Gestaltung des Vertikaldiagramms von Mittelwellen-Antennen. (Diseño del diagrama vertical de radiación de antenas de ondas hectométricas). *Nachrichtentechn. Fachber.*, 41, Hörrundfunk 2, VDE - Verlag, Berlin.
- MILLAR, R. F. [1967] Propagation of electromagnetic waves near a coastline on a flat earth. *Radio Sci.*, 2, 261-286.
- MONTEATH, G. D. [1951] Application of the compensation theorem to certain radiation and propagation problems. *Proc. IEE*, 98, IV, 1, 23-30.
- MONTEATH, G. D. [marzo de 1958] The effect of the ground constants, and of an earth system, on the performance of a vertical medium-wave aerial. *Proc. IEE*, Vol. 105, Parte C, 7, 292.
- PAGE, H. y MONTEATH, G. D. [mayo de 1955] The vertical radiation patterns of medium-wave broadcasting aerials. *Proc. IEE*, Vol. 102, Parte B, 3, 279.
- SPONZILLI, L. [1968] Confronto tra ricezione notturne indirette di onde medie su terra e su mare (Comparación entre la recepción nocturna de la onda ionosférica sobre tierra y sobre mar en ondas medias). *Electronica*, 3, III° trim.