

INFORME 1063

**PREDICCIÓN Y CONTROL DE LA RE-RADIACIÓN EN LA
RADIODIFUSIÓN EN ONDAS HECTOMÉTRICAS**

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

(1986)

1. Introducción**1.1 Re-radiación**

Cuando el campo radiado por una instalación transmisora de radiodifusión es interceptado por una estructura metálica, se inducen corrientes en esa estructura que radian un segundo campo, que se suma vectorialmente al original. Este fenómeno se conoce con el nombre de re-radiación.

1.2 Estructuras re-radiantes

En la radiodifusión sonora en ondas hectométricas intervienen normalmente elementos radiantes verticales, normalmente aislados en la base y situados sobre una amplia pantalla conductora de puesta a tierra compuesta por muchos hilos radiales. Las estructuras metálicas verticales de apreciable altura (alrededor del 15% o más de la longitud de onda) situadas en la proximidad de tales antenas transmisoras pueden causar problemas de re-radiación. Estructuras típicas son los mástiles, las torres, las chimeneas altas y los grandes complejos industriales. Los edificios altos pueden también ser fuente de perturbaciones. Sin embargo, el riesgo de re-radiación más común lo constituyen las líneas de transmisión de energía de alta tensión que utilizan torres de acero. Es normal instalar en tales líneas uno o dos «hilos de guarda», que discurren paralelos y por encima de los conductores de energía, para protegerlos contra el rayo y para que dispersen las posibles corrientes destructoras originadas por una descarga de rayo o por una avería que afecte a los conductores de energía. Las torres e hilos de guarda, así como sus imágenes en tierra, forman bucles que suelen resonar a una frecuencia situada en la parte inferior de la banda de ondas hectométricas, y a un segundo armónico situado en la parte superior. Los conductores de energía propiamente dichos tienen poco efecto sobre la re-radiación.

1.3 Resultados de la encuesta

En Canadá, alrededor de las tres cuartas partes de las estaciones de ondas hectométricas emplean formaciones de antenas direccionales.

Una encuesta realizada en 1976 reveló que el 28% de los encuestados habían tenido problemas de re-radiación y otro 25% los preveían. Las líneas de energía con torres de acero eran los principales agentes perturbadores, y se citaban también los mástiles, los edificios altos, las chimeneas y los complejos industriales. El costo de las medidas correctivas había variado entre 1000 y 500 000 dólares, y en tres casos el emplazamiento del transmisor había tenido que abandonarse. Una estación en la que se preveían problemas con una nueva formación de antenas crítica tuvo que adoptar medidas que supusieron los siguientes gastos: 5 días de asesor de radiodifusión, 30 días de personal de estación, 6 días de ingenieros de servicios eléctricos y 40 días de montadores y celadores [DOC, 1985].

2. Métodos de predicción

La magnitud del problema de la re-radiación puede predecirse por métodos analíticos, mediante pruebas con modelos a escala o con mediciones a escala real.

2.1 Métodos analíticos

Un método preciso y que se ha visto que guarda buena correlación con las pruebas con modelos a escala y en escala real, es el código electromagnético numérico (NEC — «Numerical Electromagnetics Code»), desarrollado en los Laboratorios Lawrence, Livermore, en 1979 [Burke y otros, 1979].

Se trata de un análisis por el método de los momentos, en el que todos los conductores de corriente principales se descomponen en segmentos de 0,1 de longitud de onda o menores, y se representan por hilos individuales de diámetro apropiado o por placas de dimensión apropiada. Se ajustan luego las corrientes y las fases entre límites predeterminados de cada uno de estos segmentos hasta que se cumplen las leyes electromagnéticas. El NEC es un instrumento extremadamente útil, pero tiene el inconveniente de que exige un gran computador, y resulta costoso por el tiempo necesario de pasada y análisis de los datos.

Otro planteamiento para el método de los momentos es el que proporciona el programa Richmond [Richmond, 1974a y b]. Sin embargo, el NEC parece un método más versátil y se ha utilizado para analizar torres, edificios y líneas de energía.

Con la teoría de las líneas de transmisión pueden desarrollarse programas de computador mucho menos complejos para el análisis de las líneas de energía. Un programa realizado por una empresa de suministro de energía eléctrica, la Ontario Hydro, muestra distorsiones de los diagramas similares a las obtenidas con los

métodos de los momentos, pero con una re-radiación en las crestas resonantes 1,8 veces más pequeña. En el informe canadiense [DOC, 1985] se recomienda otro programa, suficientemente sencillo para pasarse por un minicomputador y conocido como AMPL, para el análisis inicial de las líneas de energía. El programa se detalla en dicho informe. La concordancia con los métodos de los momentos es buena hasta 1100 kHz, pero lo es menos en las frecuencias superiores de la banda de ondas hectométricas.

2.2 Pruebas con modelos a escala

La modelación de una antena transmisora y de los objetos re-radiantes normalmente a escalas de 200 : 1 ó 600 : 1 se ha efectuado en Canadá en medios radiantes y en una cámara anecoica. En un medio radiante, los modelos se disponen en una plataforma de superficie conductora y se realizan las mediciones en el borde de la pantalla de la superficie conductora. En la cámara anecoica, al no disponerse de reflexión en tierra, se da a los modelos una altura doble de la normal para que incluyan sus imágenes en tierra.

2.3 Pruebas a escala real

Las pruebas en condiciones reales incluyeron numerosas pruebas «anteriores y posteriores» con líneas de energía en las que el diagrama de radiación de radiodifusión se medía con especial cuidado antes y después de la construcción de la línea de energía y una vez más después de aplicarse procedimientos de desintonización apropiados. Otras pruebas consistían en la instalación temporal de un transmisor de baja potencia cerca de edificios aislados o de secciones de prueba aisladas de líneas de transmisión de energía. Los detalles figuran en el informe canadiense [DOC, 1985].

3. Procedimientos de evaluación

Cuando se prevé la construcción de un nuevo transmisor de radiodifusión o un nuevo riesgo de re-radiación, se sugiere una evaluación preliminar de los posibles efectos, seguida por la acción correctiva indicada en tales circunstancias.

3.1 Líneas de transmisión de energía

Una evaluación preliminar con el programa AMPL daría una indicación de la gravedad del problema. Esta evaluación podría ir seguida, en caso necesario, de un análisis con el programa NEC, y podrían sugerirse procedimientos apropiados. Una estación canadiense con un diagrama direccional bastante crítico tuvo que hacer frente a la construcción en sus proximidades de dos líneas de energía. Las previsiones por computador por el método de los momentos indicaron en qué torres de las líneas de energía circularían corrientes re-radiantes y que la re-radiación sería ciertamente excesiva. Se construyeron las líneas, y se confirmó que la re-radiación era intolerable mediante mediciones en condiciones reales. Se aislaron luego los hilos de guarda de las torres más perturbadoras y la re-radiación bajó a niveles aceptables.

3.2 Mástiles y torres

Con el método de los momentos, el Centro de investigación canadiense Communications Research Centre calculó gráficos de la «sección transversal de dispersión» (σ/λ^2) para un conjunto representativo de mástiles o torres, que permiten una rápida evaluación de la amplitud, aunque no de la fase, de la componente de re-radiación de un campo [Royer, 1985] (véase la fig. 1).

En el punto, p , a la distancia, d :

$$|E| = |E_p| \pm |E_s|$$

donde:

E_s : campo por dispersión y,

E_p : campo normal.

E_s puede determinarse, después de obtenerse σ/λ^2 con la curva, y conociendo el campo incidente en la fuente de dispersión, E_{s0} , a partir de:

$$\sigma = 4\pi d_p^2 \left| \frac{E_s}{E_{s0}} \right|$$

$|E|$ puede determinarse para cualquier ángulo horizontal o vertical mediante análisis por el método de los momentos. Royer proporciona a tal fin una extensa familia de curvas. Si interesa el valor en condiciones de explotación real, puede iniciarse la acción apropiada.

3.3 Edificios de gran altura

El trabajo de Royer en el Centro de investigación canadiense CRC (véase el § 3.2) incluía también predicciones para un conjunto representativo de edificios, modelados como rejillas de alambre. En la fig. 2 se muestra un ejemplo. Pueden emplearse técnicas similares a las del § 3.2.

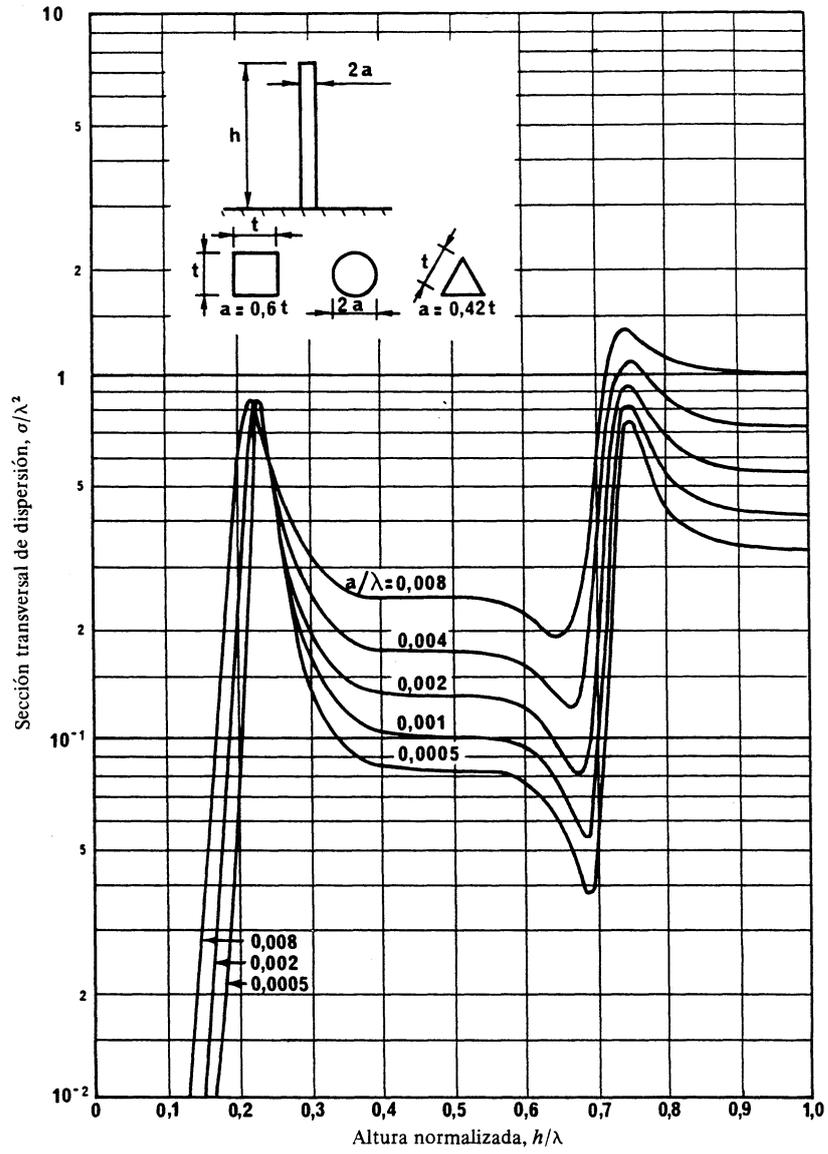


FIGURA 1 – Sección transversal de dispersión para un conjunto representativo de mástiles y torres, con la relación a/λ como parámetro

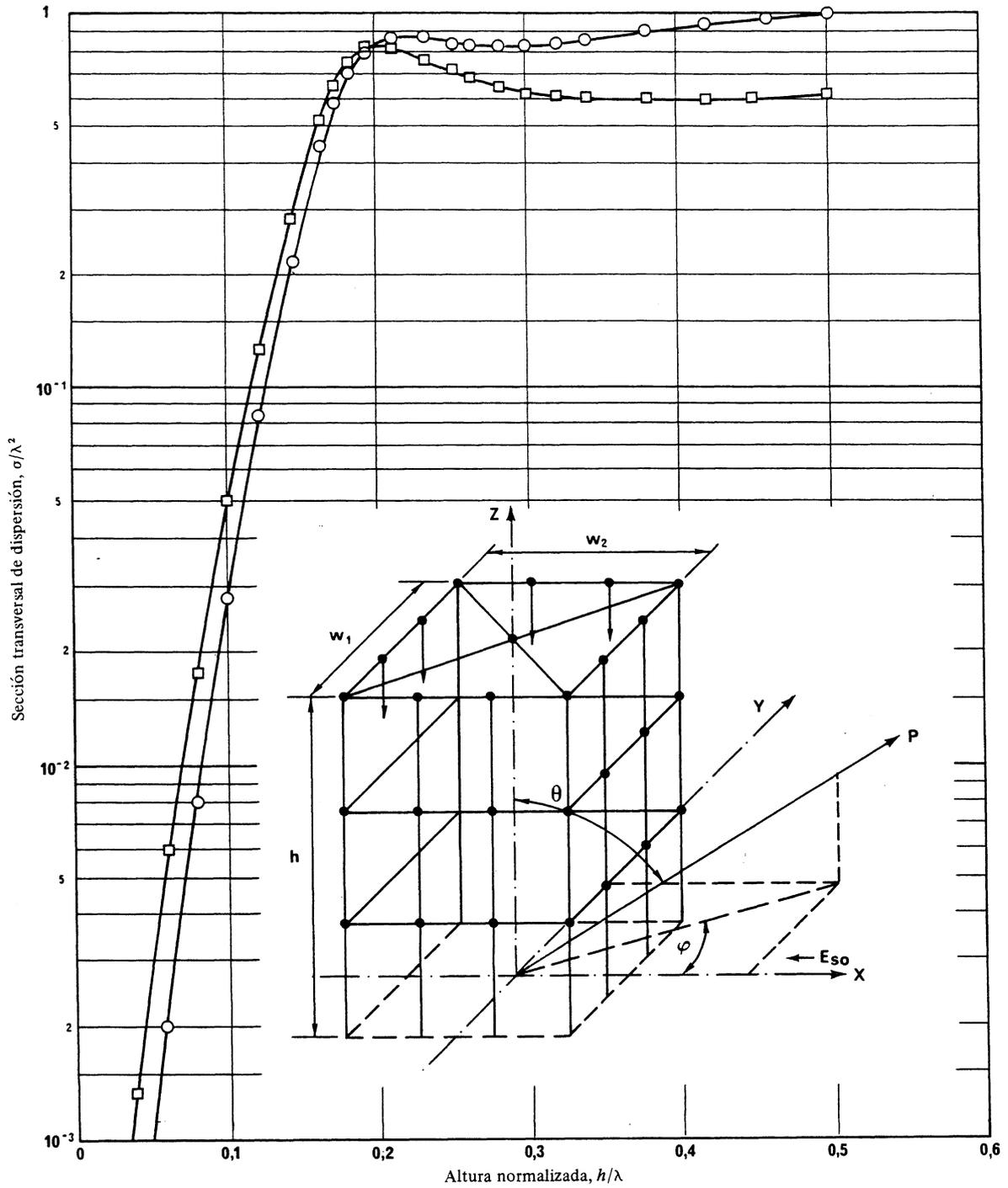


FIGURA 2 – Sección transversal de dispersión para un conjunto representativo de edificios, modelados como rejillas de alambre

- : $\varphi = 0^\circ$
- : $\varphi = 180^\circ$
- $w_1 / \lambda = w_2 / \lambda = 0,200$
- a_0 (radio del hilo) / $\lambda = 0,0016$



4. Técnicas de desintonización

4.1 *Aislamiento de los hilos de guarda*

Cuando las líneas de distribución de energía constituyen un problema, una técnica común es instalar aisladores entre las torres y el hilo de guarda, normalmente puesto a tierra en estos puntos. Se reduce así al mínimo la corriente en los bucles adyacentes. Este método debe utilizarse con prudencia, ya que, crea riesgos adicionales, en el caso de circulación de corrientes de rayo o inducidas por averías, y puede causar resonancia a otra frecuencia, afectando a otra estación en la zona.

4.2 *Líneas de adaptación*

Cuando una estructura o bucle es resonante, se producen ondas estacionarias de corriente y de tensión. La introducción de un aislador en el punto de máxima circulación de corriente sería el remedio más eficaz, pero en la mayoría de los casos no es práctico. Una línea de adaptación de cuarto de onda abierta puede introducir una gran impedancia en ese punto, y estas líneas suelen utilizarse de este modo. Desgraciadamente, en las líneas de energía, la máxima corriente suele producirse a cierta distancia de la torre en el hilo de guarda. La inserción de una línea de adaptación o de un aislador en ese punto es muy eficaz, pero no tiene buena acogida por las autoridades de distribución de energía, que no desean instalaciones extrañas sobre los conductores de energía. Las líneas de adaptación son también difíciles de instalar o ajustar en este lugar. La práctica normal ha sido, por tanto, conectar líneas de este tipo a los apoyos de la torre inmediatamente debajo de los conductores de energía, suspendiéndolas a aproximadamente 1 m de distancia, paralelas a los apoyos y terminándolas en la torre unos 5 m por encima del suelo con una reactancia sintonizada. Como las líneas de adaptación tienen una longitud invariablemente inferior a un cuarto de longitud de onda, se utiliza un condensador variable, que se sintoniza para que sea mínima la corriente en la base del apoyo de la torre.

Se ha realizado una línea alternativa de adaptación de la torre, conocida como «línea auxiliar acodada» [DOC, 1985]. Esta línea comienza en la torre, inmediatamente debajo de los conductores de energía, pero se atiranta desde la torre de manera que forme un ángulo recto a mitad de su longitud, volviendo luego a la torre cerca de la tierra, donde pueden ajustarse las componentes de sintonización. Se comprobó que las líneas acodadas para dos frecuencias eran muy eficaces cuando se instalaban en esquinas ortogonalmente opuestas de la torre. Se comprobó también que las líneas acodadas tienen mayor anchura de banda que las líneas paralelas a los apoyos de la torre.

4.3 *Edificios*

Las predicciones con modelos a escala y las predicciones analíticas de la re-radiación causada por edificios muestran una concordancia razonable y se prestan al empleo de técnicas de desintonización. Sin embargo, la indeterminación de la impedancia de los apoyos y la naturaleza de las pérdidas debidas al material utilizado en la construcción, como es el hormigón, producen resultados algo anómalos en los procedimientos de desintonización a escala real.

La desintonización puede conseguirse mediante líneas de adaptación tales como las que se utilizan en las torres, pero estas líneas no suelen ser estéticamente aceptables. Otra posibilidad es instalar estas líneas por medio de apoyos en el tejado del edificio 3 ó 4 m por encima de la periferia del mismo, y conectadas por una reactancia adecuada al sistema de protección contra el rayo. Una versión mejorada de la línea de adaptación instalada en el tejado se consigue mediante una especie de paraguas de hilos poco tupidos sobre el tejado, conectándose su punto común de una manera similar a la expuesta.

En las mediciones a escala real realizadas en Canadá, se comprobó que la desintonización, calculada para conseguir una reducción de unos 18 dB, produjo sólo una mejora de unos 4 ó 5 dB. Como se ha dicho, este fenómeno se atribuye a la naturaleza de las pérdidas debidas a la estructura. Es necesario proseguir los estudios al respecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BURKE, G. J., POGGIO, A. J., LOGAN, J. C. y ROCKWAY, J. W. [junio de 1979] NEC-numerical electromagnetics code for antennas and scattering, Proc. IEEE International Symposium on Antennas and Propagation, Seattle, WA, Estados Unidos de América, Vol. 1, 147-150.
- DOC [1985] Final Report of the working group on re-radiation problems in AM broadcasting. Dept. of Communications (DOC), Ottawa, Ontario, Canadá.
- RICHMOND, J. H. [mayo de 1974a] Radiation and scattering by thin-wire structures in the complex frequency domain. NASA Contractor Report CR-2396. NASA, Washington, DC, Estados Unidos de América.
- RICHMOND, J. H. [junio de 1974b] Computer program for thin-wire structures in a homogeneous conducting medium. NASA Contractor Report CR-2399. NASA, Washington, DC, Estados Unidos de América.
- ROYER, G. M. [marzo de 1985] The distortion of AM broadcast antenna patterns as caused by nearby towers and high-rise buildings. RC Report No. 1379. Communications Research Centre, Dept. of Communications, Ottawa, Ontario, Canadá.

BIBLIOGRAFÍA

- ALFORD, A. [diciembre de 1977] Re-radiation from tall guyed towers located in a strong field of a directional AM radio station. *IEEE Trans. Broadcasting*, Vol. BC-23, 4, 97-106.
- KAVANAGH, S. J. y BALMAIN, K. G. [marzo de 1984] High-rise building re-radiation and detuning at MF. *IEEE Trans. Broadcasting*, Vol. BC-30, 1, 8-16.
- SAWADA, Y. y NAKAMURA, H. [1963] Development of a new trap by parallel sub-conductors. *Electron. and Telecomm. in Japan*, Vol. 8, 1/2, 70-77.
- SILVA, M. M., BALMAIN, K. G. y FORD, E. T. [septiembre de 1982] Effects of power line re-radiation on the patterns of a dual-frequency MF antenna. *IEEE Trans. Broadcasting*, Vol. BC-28, 3, 94-103.
- TILSTON, M. A. y BALMAIN, K. G. [septiembre de 1983] Medium frequency re-radiation from an unstrung steel power line tower. *IEEE Trans. Broadcasting*, Vol. BC-29, 3, 93-100.
- TILSTON, M. A. y BALMAIN, K. G. [marzo de 1984a] Medium frequency re-radiation from a steel tower power line with and without a detuner. *IEEE Trans. Broadcasting*, Vol. BC-30, 1, 17-26.
- TILSTON, M. A. y BALMAIN, K. G. [junio de 1984b] A microcomputer program for predicting AM broadcast re-radiation from steel tower power lines. *IEEE Trans. Broadcasting*, Vol. BC-30, 2, 50-56.
- TRUEMAN, C. W. y KUBINA, S. J. [junio de 1981] Numerical computation of the re-radiation from power lines at MF frequencies. *IEEE Trans. Broadcasting*, Vol. BC-27, 2, 39-45.
- TRUEMAN, C. W., KUBINA, S. J. y BELROSE, J. S. [agosto de 1983] Corrective measures for minimizing the interaction of power lines with MF broadcast antennas. *IEEE Trans. Electromag. Compt.*, Vol. EMC-25, 3, 329-338.
- TRUEMAN, C. W., KUBINA, S. J., MADGE, R. C. y JONES, D. E. [septiembre de 1984] Comparison of computed RF current flow on a power line with full scale measurements. *IEEE Trans. Broadcasting*, Vol. BC-30, 3, 97-107.

INFORME 458-5

**CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE RADIODIFUSIÓN EN ONDAS
KILOMÉTRICAS, HECTOMÉTRICAS Y DECAMÉTRICAS**

(Cuestión 44/10)

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

1. Introducción

La Cuestión 44/10 trata de la posibilidad de normalizar, en el plano internacional, uno o más sistemas de radiodifusión sonora. El estudio de este complejo problema no se halla todavía suficientemente avanzado para ello. Por lo tanto, el presente Informe se limita a recoger las informaciones disponibles a fin de alentar a las administraciones, organismos de radiodifusión y empresas privadas a considerar el problema y a emprender los estudios necesarios para resolverlo.

En la actualidad, contrariamente a la radiodifusión sonora y de televisión en ondas métricas, la explotación de la radiodifusión en ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas se efectúa con una ausencia casi total de características de transmisión normalizadas en el plano internacional, salvo en lo que concierne a la separación de los canales y a los valores numéricos de las frecuencias portadoras (cabe señalar, sin embargo, que incluso estas características varían de una Región a otra en las bandas de ondas kilométricas y hectométricas). Las otras características de transmisión varían de un país a otro y, en ciertos casos, de un transmisor a otro [UER, 1971].

2. Sistemas que podrían normalizarse

La siguiente lista de sistemas no puede considerarse completa en la actualidad. En [Haviland, 1969] se encontrará un estudio comparativo de varios de estos sistemas. En él se ve, también, que para poder definir un sistema, es necesario tener en cuenta las interferencias entre transmisores. El estudio pone de relieve la importancia de una definición precisa de la separación entre canales.

Cada uno de estos sistemas puede estar asociado a dispositivos de «tratamiento de la modulación» (véase la nota 1). En el caso de ser necesario un dispositivo semejante en el receptor para sacar pleno provecho del instalado en el transmisor, deberá completarse la designación codificada mediante una abreviatura adecuada. Por ejemplo, un sistema con modulación de amplitud, doble banda lateral y demodulación de la envolvente que tenga un compresor en el transmisor y un expansor en el receptor, se designará MA-DBL-ENV-COM-EXP. En el anexo I se da un ejemplo.