

Planificación de frecuencias al trasluz

*José Ramón Cambor
Experto de Avilés (Asturias) en la planificación del espectro
radioeléctrico atribuido a la radio y a la televisión.
1 de febrero de 2008*



Introducción

La planificación de frecuencias es el arte de realizar un aprovechamiento óptimo, racional y eficaz del espectro radioeléctrico que, garantizando una calidad de servicio satisfactoria, evita las interferencias entre estaciones. Existen varios métodos que buscan ese objetivo con mayor o menor acierto, porque la planificación de frecuencias no es una ciencia exacta debido a los muchos factores imprecisos que intervienen: estimación de la intensidad de campo, evaluación de la interferencia múltiple, calidad de servicio, etc.

**La planificación de
frecuencias es el arte de
aumentar la capacidad del
espectro radioeléctrico**

Efectivamente, la planificación de frecuencias es un arte, entendido como la habilidad, con astucia, para aumentar la capacidad del espectro radioeléctrico y, sobre todo en el pasado, debido a la falta de medios automáticos, ha sido una actividad artesanal.

No todos los servicios de radiocomunicaciones requieren una planificación de frecuencias previa pero, en España, por imperativo legal, los servicios de radiodifusión sonora y de televisión deben planificarse radioeléctricamente, y sus planes técnicos de asignación de frecuencias a estaciones, o de adjudicación de frecuencias a zonas geográficas, se editan en el Boletín Oficial del Estado (BOE) para conocimiento público.

Métodos de planificación de frecuencias

Los métodos de planificación de frecuencias clásicos son el método de la distancia mínima cocanal, el método de la retícula teórica, y el método heurísticamente óptimo.

El método de la distancia mínima cocanal consiste en calcular, en un ambiente radioeléctrico existente, la distancia mínima a la que pueden situarse dos estaciones en función de sus características de radiación y de factores geográficos y atmosféricos, de manera que sean

compatibles y proporcionen una calidad satisfactoria en sus respectivas zonas de servicio. Este método se utilizó, por ejemplo, para la elaboración de los planes de televisión privada [1], de radio digital local [2], de televisión digital local [3], y de radiodifusión sonora en frecuencia modulada [4].

El método de la retícula teórica consiste en extender una red regular, cuyos nodos corresponden a los emplazamientos de las estaciones y definen las frecuencias de una banda no utilizada. Este método está basado en la consideración de características genéricas idénticas de todas las estaciones distribuidas regularmente en un territorio uniforme. Este método se utilizó para la planificación de emisoras municipales en frecuencia modulada [5].

El método heurísticamente óptimo consiste en probar frecuencias que se asocian simultáneamente a muchas estaciones, o a muchas zonas geográficas, mientras se busca minimizar una función de penalizaciones en un plazo de tiempo razonable y determinado. Como existe una gran multiplicidad de soluciones, se ejecuta por ordenador utilizando matrices de compatibilidad radioeléctrica de considerables dimensiones y, finalizado el tiempo de ejecución programado, se presenta la mejor solución obtenida en ese tiempo. Seguramente esa solución no sea la mejor solución, que requeriría un tiempo de ejecución inabordable, pero será la solución heurísticamente óptima. Este método se utilizó para la elaboración de los planes de radio digital terrenal [6] y de televisión digital terrenal [7].

El método de planificación de frecuencias al trasluz es genuinamente español

Sin embargo, existe otro método, inédito hasta ahora, y completamente desconocido: *la planificación de frecuencias al trasluz*. Este método es genuinamente español. Se utilizó una sola vez, en 1985, hace más de 20 años, para elaborar el plan de emisoras de onda media, que fue aprobado por el Gobierno en 1993, y que, actualmente, continúa vigente. ¡Alta tecnología española!

Radiodifusión sonora en ondas medias

Las primeras emisiones de radiodifusión sonora en España se iniciaron, en 1924, precisamente en la banda de ondas hectométricas, comprendida entre las frecuencias 526,5 kHz y 1606,5 kHz, también denominada banda de ondas medias. Por lo tanto, la radiodifusión sonora en ondas medias es el servicio de difusión con mayor solera.

Esta banda de frecuencias presenta unas condiciones de propagación radioeléctrica muy peculiares: Propagación por onda de superficie (señal estable) y propagación por onda inosférica (señal inestable o fluctuante).

La propagación radioeléctrica por onda de superficie depende de la conductividad del terreno debida a sus características geológicas. La conductividad del terreno es mejor en frecuencias bajas. Típicamente, y en función de la potencia de la emisora, se alcanzan distancias inferiores a unas pocas decenas de kilómetros (corto alcance). La señal de onda de superficie predomina durante el día, y proporciona la zona de cobertura con calidad satisfactoria.

La propagación radioeléctrica por onda ionosférica depende de la densidad en la atmósfera de cargas eléctricas (iones) debidas al efecto de la radiación solar. En esa capa de la atmósfera (ionosfera) se reflejan las ondas de radio. Típicamente, y en función de la potencia de la emisora, se alcanzan distancias de cientos de kilómetros (largo alcance). La señal de onda ionosférica es mucho más intensa de noche que de día, proporcionando zonas de cobertura donde la calidad de servicio no suele ser satisfactoria.

La propagación por onda ionosférica es la causa principal de las interferencias entre emisoras de onda media, reduciendo sensiblemente, durante la noche, la cobertura proporcionada por la onda de superficie.

La propagación por onda ionosférica es la causa principal de las interferencias entre emisoras de onda media

La orografía, el relieve, y la rugosidad del terreno, no tienen trascendencia en la banda de ondas medias.

La radiodifusión sonora en ondas medias utiliza modulación de amplitud, con doble banda lateral que, en España, con una anchura de la señal de audiofrecuencia de 4,5 kHz, ocupa una anchura de banda necesaria de 9 kHz utilizando, además, un sistema con fuerte compresión de la modulación en el transmisor para reducir la interferencia en los canales adyacentes.

En todos los países de nuestro entorno, europeos y africanos, se utiliza una canalización radioeléctrica de 9 kHz para el servicio de radiodifusión sonora en esta banda, de manera que las frecuencias portadoras son números enteros, expresados en kilohercios, que tienen la particularidad de ser múltiplos de 9; es decir, la suma de sus cifras también son divisibles entre 9. La primera frecuencia portadora utilizable es 531 kHz y la última 1602 kHz. En total, la banda dispone de 120 frecuencias.

Criterios técnicos

La planificación de frecuencias destinadas a emisoras de onda media se realiza en tres niveles territoriales: local, estatal e internacional.

A nivel local debe considerarse la proximidad en frecuencia y la generación de productos de intermodulación entre frecuencias a utilizar en la misma localidad. Considerando la discriminación de las emisiones en los receptores, la mínima separación en frecuencia de dos emisoras de onda media que cubran total, o parcialmente, la misma zona de servicio es 27 kHz bajo ciertas condiciones de potencia; es decir, 3 canales de 9 kHz. En la práctica, la mínima separación en frecuencia utilizada en España es de 36 kHz en la misma localidad. Por otra parte, si dos frecuencias utilizan la misma antena deben separarse más de 150 kHz. Los productos de intermodulación a tener en cuenta en esta banda son de segundo grado $2f_1$, y $f_1 \pm f_2$ y de tercer grado $2f_1 - f_2$. En la práctica, únicamente se presentan interferencias por esta causa en circunstancias singulares (proximidad de los sistemas radiantes, saturación de receptores próximos, etc).

A nivel estatal se analiza la influencia mutua entre las emisoras españolas de onda media cuyas frecuencias se encuentren a menos de 27 kHz, en función su proximidad geográfica y asegurando su compatibilidad radioeléctrica tanto de día como, sobre todo, durante la noche.

A nivel internacional se estudia la compatibilidad radioeléctrica con las emisoras de onda media de los países vecinos; es decir, que no se reciba interferencia procedente de esas emisoras, ni se cause interferencia a esas emisoras, ni de día ni de noche. En este estudio se realiza una estimación de las dificultades que puedan presentarse en la coordinación con los países vecinos para obtener el reconocimiento internacional del uso de la frecuencia y la protección internacional frente a interferencias. En el caso de la banda de ondas medias, puede considerarse que son países vecinos todos los que se encuentren a menos de 3000 km de España.

La coordinación con los países vecinos se realiza para obtener el reconocimiento y la protección internacional

Conferencia de 1975

La Delegación de España, encabezada por José María Arto Madrazo, que participó en la Conferencia sobre la utilización por el servicio de radiodifusión de frecuencias en las bandas

de ondas hectométricas (ondas medias) y kilométricas (ondas largas) [8], convocada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), y celebrada en Ginebra durante los meses de octubre y noviembre de 1975, tenía la difícil tarea de conseguir para las emisoras españolas el acuerdo de coordinación de los países vecinos.

Los resultados para España no fueron satisfactorios. En aquella época, España ya era uno de los países europeos con mayor número de emisoras en servicio de radiodifusión sonora en onda media. Sin embargo, sólo se obtuvieron 45 frecuencias inscritas para 276 emisoras. Además, 16 de esas frecuencias se encontraban compartidas por varias emisoras españolas, 14 de ellas con diez o más emisoras, en las que se concentraban 229 emisoras; es decir, unas 16 emisoras por frecuencia.

El distinguido delegado Lorenzo Chamorro Santa Cruz llamaba a ese plan de frecuencias, con ironía pero, también, con acierto, *plan de interferencias*.

Los motivos para ese descalabro pudieron estar en que España no participó en la Conferencia europea anterior [9], celebrada en Copenhague en 1948, porque había sido expulsada por razones políticas de la Organización de Naciones Unidas (ONU) y, por ende, de la UIT. Posteriormente, España ya pudo participar en la Conferencia africana sobre ondas medias [10], celebrada en Ginebra en 1966, que sólo incluía los territorios españoles al sur del paralelo 30N.

**En la Conferencia de 1975,
España presentó una reserva
general al Plan y reclamó su
derecho a adoptar las
medidas necesarias**

No obstante, ejerciendo su derecho al pataleo, y como última alternativa, los delegados españoles, en el momento de la firma de las Actas Finales de la Conferencia de 1975, presentaron “*una reserva general al Plan*” y reclamaron “*el derecho de adoptar las medidas necesarias para restablecer las zonas de servicio...*”

El Acuerdo de Ginebra, firmado el 22 de noviembre de 1975, y que tiene rango de tratado internacional, no solamente lleva asociado un Plan de frecuencias, sino que contiene también las reglas para modificar dicho Plan; es decir, los procedimientos de coordinación internacional de frecuencias entre los países firmantes.

Dicho Acuerdo entró en vigor el 23 de noviembre de 1978, y su Plan asociado, que no se ajustaba a la realidad española, tuvo que aplicarse reduciendo y acomodando las emisoras de la mejor manera posible [11]. La frecuencia 549 kHz, que fue sustituida por 729 kHz, y las

frecuencias insulares 1386 kHz, 1440 kHz y 1494 kHz, no fueron utilizadas. En definitiva, las 42 frecuencias restantes se utilizaron para alojar a 244 emisoras, obteniendo las mismas coberturas con menos emisoras. No obstante, 21 de esas frecuencias continuaban compartidas por varias emisoras españolas, 13 de ellas con diez o más emisoras, en las que se concentraban 188 emisoras; es decir, unas 14 emisoras por frecuencia.

Los titulares españoles de las licencias para la explotación de las emisoras de onda media fueron forzados a adaptarse a la nueva situación bajo amenaza de perder la licencia si no lo hicieran: *“Las Delegaciones Provinciales del Ministerio de Industria y Energía ordenarán el corte del suministro eléctrico a todas las emisoras que en el plazo de seis meses... no posean título de concesión”* [12].

Los años siguientes fueron un rosario de quejas constantes de los radiodifusores por mala calidad de la señal, y por interferencias causadas por otras emisoras, españolas o extranjeras, que compartían las mismas frecuencias.

Por fin, en el año 1984, sobre la base de la reserva efectuada por España al Acuerdo de Ginebra de 1975, se tomó la decisión de elaborar una nueva planificación de frecuencias para mejorar la situación de las emisoras españolas, sin perjudicar a las emisoras extranjeras existentes y, en cualquier caso, aplicando los procedimientos de coordinación radioeléctrica internacional contenidos en el Acuerdo.

El reto era mejorar la situación creada con el Plan de Ginebra de 1975, en un ambiente radioeléctrico muy congestionado durante la noche, sin herramientas informáticas eficaces de ayuda a la planificación; procurando no causar interferencias a las emisoras de otros países, con vistas a obtener, posteriormente, su acuerdo de coordinación internacional.

**El reto fue mejorar la
situación creada con el
Plan de Ginebra de 1975**

Principios de planificación

Las emisoras españolas de radiodifusión sonora en onda media se pueden dividir en dos grandes grupos: Las emisoras públicas de Radio Nacional de España (RNE) y las emisoras privadas, agrupadas mayoritariamente en la Asociación Española de Radiodifusión Comercial (AERC).

Con el fin de ofrecer a las partes interesadas el cauce más amplio de participación en la elaboración del nuevo plan, se efectuaron consultas por separado con RNE y con la AERC, que formalizaron y concretaron sus propuestas en 1985. Las negociaciones llevadas a cabo, posteriormente, permitieron establecer unos principios básicos consensuados para acometer la nueva planificación de frecuencias.

Al objeto de mejorar la calidad del servicio era necesario identificar nuevas frecuencias utilizables inferiores a 1000 kHz, porque en esas frecuencias la propagación por onda de superficie es mejor. Por lo tanto, el criterio general fue intentar desplazar al mayor número posible de emisoras a frecuencias más bajas.

Las emisoras de RNE, divididas en dos programas, eran las únicas que funcionaban en redes sincronizadas para reducir la interferencia mutua cuando utilizan la misma frecuencia. Esta circunstancia constituía un hito tecnológico relevante. Sin embargo, se acordó que también podrían compartir la misma frecuencia las emisoras privadas que, por estar asociadas entre sí, pudieran transmitir el mismo programa durante la noche, de manera que se redujera el efecto de la interferencia mutua aunque esas emisoras no se encontrasen sincronizadas. En cualquier caso, el número de emisoras españolas que compartirían la misma frecuencia debía reducirse sensiblemente.



Mimbres para un plan artesano

La nueva planificación de frecuencias se acometió con unos principios básicos consensuados

Singularmente, las emisoras de Madrid y Barcelona debían disponer de frecuencias inferiores a 1000 kHz, no compartidas con ninguna otra emisora española del territorio peninsular y, además, al cambiar de frecuencia debía seguir manteniéndose, en esas dos ciudades, el mismo orden de prelación que existía anteriormente.

Con estos mimbres se iniciaron los estudios de planificación de frecuencias.

Elaboración del nuevo plan técnico

Aunque el Plan de Ginebra de 1975 no fuese satisfactorio para España, en principio, algunas frecuencias inscritas podían seguir siendo válidas, pero otras eran manifiestamente inutilizables (549 kHz, 1386 kHz, 1395 kHz, 1440 kHz, 1476 kHz, y 1494 kHz) por las interferencias que se recibían procedentes de emisoras extranjeras.

Además, era necesario determinar nuevas frecuencias utilizables para descargar otras que se encontraban muy ocupadas, y para realizar una redistribución basada en los principios de planificación establecidos.

La planificación de frecuencias tenía entonces una gran componente artesanal. Se disponía de algunas herramientas informáticas rudimentarias, todavía no integradas en un único sistema informático, que permitían calcular los productos de intermodulación, realizar estimaciones de la intensidad de campo de la onda ionosférica utilizando los algoritmos adoptados por la Conferencia de 1975, y calcular el efecto combinado de la interferencia múltiple por el método de la suma cuadrática de potencias.

La planificación de frecuencias tenía entonces una gran componente artesanal



Láminas translúcidas con la silueta de España

Con las escasas herramientas informáticas disponibles, se identificaron las nuevas frecuencias que podrían utilizarse en España, sin causar interferencia perjudicial a las emisoras extranjeras. De esta manera, se superaba el nivel de planificación internacional.

Juntando las frecuencias ya inscritas en el Plan de Ginebra de 1975, y consideradas válidas, con las nuevas frecuencias identificadas como utilizables, se obtuvo el juego de frecuencias para redistribuir las emisoras españolas.

La mayoría de las emisoras de RNE de mayor potencia (más de 100 kW) se mantuvieron en su frecuencia original

inscrita en el Plan de Ginebra de 1975 para evitar las dificultades derivadas de la coordinación radioeléctrica internacional.

A continuación, se seleccionaron las frecuencias exclusivas que debían ser asignadas a las emisoras de Madrid y Barcelona, verificando su compatibilidad radioeléctrica en el nivel de planificación local.

Las demás emisoras debían redistribuirse de la mejor manera posible, en el nivel de planificación territorial estatal, entre las frecuencias del juego. En esta fase surgió la *planificación de frecuencias al trasluz*.

En varias hojas de papel vegetal, en tamaño Din A4, se dibujó la silueta de España. Cada hoja fue numerada, en orden creciente, con el valor de una frecuencia del juego, y en ellas se fueron marcando con un punto las ubicaciones de las emisoras según se fueran asignando a una frecuencia-hoja.

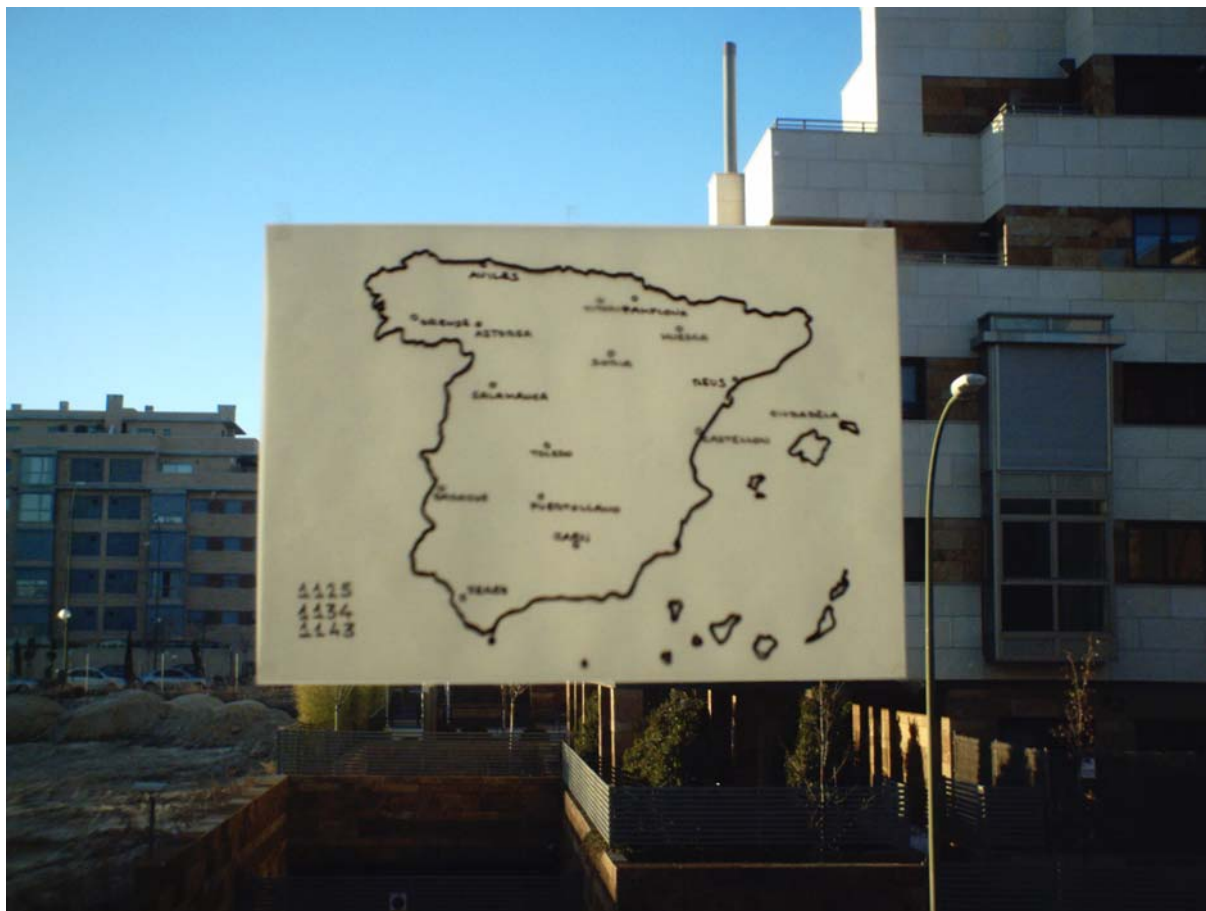
Visualizando al trasluz hasta un máximo de 3 hojas (separación en frecuencia inferior a 27 kHz) se podía analizar la proximidad geográfica entre emisoras, desplazando algunas emisoras de unas hojas a otras, en una estrategia de ensayo y error, si se consideraba que dos emisoras estaban demasiado cerca en función de su potencia y de su separación en frecuencia, teniendo en cuenta, también, la compatibilidad a nivel local.

Visualizando al trasluz hasta un máximo de 3 hojas se podía analizar la proximidad geográfica entre emisoras

El resultado de esta planificación, consensuada y aceptada por RNE y la AERC, fue 76 frecuencias para 237 emisoras, 49 de esas frecuencias compartidas por varias emisoras españolas, pero sólo una con más de diez emisoras en red sincronizada. Esta planificación constituye una optimización sustancial de la situación anterior en cuanto a incremento de coberturas y a mejora de la calidad del servicio.

Finalizada la planificación, pasaron los años sin que se materializase como nuevo plan técnico, hasta que en el año 1993, cuando casi nadie lo esperaba, fue aprobado por el Gobierno [13].

Ahí queda la *planificación de frecuencias al trasluz* como contribución española a la ingeniería del espectro radioeléctrico.



Láminas superpuestas con las emisoras de tres frecuencias-hojas

Dedicatoria

Este artículo está dedicado a la Delegación de España en la Conferencia de 1975 y, muy especialmente, al ingeniero, amigo y caballero Lorenzo Chamorro Santa Cruz.

Referencias

- [1] *Plan Técnico Nacional de la Televisión Privada*. Real Decreto 1362/1988, de 11 de noviembre (BOE nº 275, de 16 de noviembre de 1988), modificado por Real Decreto 946/2005, de 29 de julio (BOE nº 181, de 30 de julio de 2005).
- [2] *Plan Técnico Nacional de la Radiodifusión Sonora Digital Local*. Orden de 15 de octubre de 2001 (BOE nº 266, de 6 de noviembre de 2001).
- [3] *Plan Técnico Nacional de la Televisión Digital Local*. Real Decreto 439/2004, de 12 de marzo (BOE nº 85, de 8 de abril de 2004), modificado por Real Decreto 2268/2004, de 3 de diciembre (BOE nº 292, de 4 de diciembre de 2004).

- [4] *Plan Técnico Nacional de Radiodifusión Sonora en Ondas Métricas con Modulación de Frecuencia*. Real Decreto 964/2006, de 1 de septiembre (BOE nº 223, de 18 de septiembre de 2006).
- [5] *Criterios técnicos de las emisoras de radiodifusión FM correspondientes a las Corporaciones Locales*, por J.R. Cambor y J. Seseña. *Electrónica Hoy*, nº 51. Junio, 1989.
- [6] *Plan Técnico Nacional de la Radiodifusión Sonora Digital Terrenal*. Real Decreto 1287/1999, de 23 de julio (BOE nº 177, de 26 de julio de 1999).
- [7] *Plan Técnico Nacional de la Televisión Digital Terrestre*. Real Decreto 944/2005, de 29 de julio (BOE nº 181, de 30 de julio de 2005).
- [8] *Actas Finales de la Conferencia Administrativa Regional de Radiodifusión por ondas kilométricas y hectométricas, Ginebra, 1975*. Unión Internacional de Telecomunicaciones, 1976.
- [9] *European Broadcasting Convention on the longwave and mediumwave bands, Copenhagen, 1948*. Unión Internacional de Telecomunicaciones, Berna.
- [10] *Actas Finales de la Conferencia Administrativa Regional sobre la utilización por el servicio de radiodifusión de frecuencias de la banda de ondas hectométricas en la Zona Africana de Radiodifusión, Ginebra, 1966*. Unión Internacional de Telecomunicaciones.
- [11] *Cuadros de frecuencias y potencias de las estaciones de radiodifusión española*. Orden de 10 de noviembre de 1978. BOE nº 271, de 13 de noviembre de 1978.
- [12] *Plan Nacional de Radiodifusión Sonora*. Orden de 10 de noviembre de 1978. BOE nº 271, de 13 de noviembre de 1978.
- [13] *Plan Técnico Nacional de Radiodifusión Sonora en Ondas Medias (hectométricas)*. Real Decreto 765/1993, de 21 de mayo (BOE nº 139, de 11 de junio de 1993).