

RECOMENDACIÓN UIT-R BT.1123*

**Métodos de planificación de la televisión terrenal de 625 líneas
en las bandas de ondas métricas y decimétricas**

(1994)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que las redes de transmisores de radiodifusión deben planificarse de manera que proporcionen la cobertura de la zona deseada con un número mínimo de frecuencias;
- b) que la teoría de las redes de transmisores uniformes es útil para el diseño de redes de transmisores nuevas o la remodelación de las existentes;
- c) que, si bien existen redes bien establecidas, sigue existiendo la necesidad de directrices sobre métodos de planificación para los nuevos sistemas de 625 líneas,

recomienda

1 que se utilicen los métodos establecidos en el Anexo 1 y el Anexo 2 en el diseño de redes de transmisores para la planificación preliminar de nuevas redes de televisión terrenal de 625 líneas en las bandas de ondas métricas y decimétricas.

ANEXO 1

**Métodos de planificación de la televisión terrenal en las bandas
de ondas métricas y decimétricas****1 Consideraciones generales**

Las redes de transmisores de radiodifusión deben estar planificadas de manera tal que proporcionen la cobertura de la zona deseada con un número mínimo de frecuencias. La zona de cobertura de un transmisor depende de cierto número de factores, tales como potencia, intensidad de campo mínima utilizable, relación de protección en radiofrecuencia, distancia entre transmisores que comparten el mismo canal (cocanal) o de canales adyacentes, separación entre canales, anchura de banda de la emisión y factores que influyen en la propagación de las ondas. También puede depender del esquema de distribución de canales.

Cuando numerosos canales deben ser planificados o replanificados para la radiodifusión sonora con modulación de amplitud (MA) o de frecuencia (MF) o para la televisión, se ha comprobado que la utilización eficaz del espectro puede resultar difícil si sólo se utilizan métodos empíricos. Es por esto por lo que se desarrolló una teoría de las redes de transmisores uniformes.

Este método puede aplicarse con éxito cuando existe una cierta uniformidad de normas para los servicios que se van a planificar. Por su parte, la banda de frecuencias que se planifica debe estar sometida al menor número de limitaciones posible, es decir, que en teoría se debería tener plena libertad para asignar cualquier frecuencia a cualquier transmisor.

* La Comisión de Estudio 6 de Radiocomunicaciones efectuó modificaciones de redacción en esta Recomendación en 2002 de conformidad con la Resolución UIT-R 44.

Esta teoría no sólo es útil en la concepción de nuevas redes de transmisores o en la reorganización de redes existentes, sino que también constituye una excelente base para determinar los parámetros técnicos óptimos tales como la separación entre canales, las características de los transmisores, etc., así como para determinar cuál es la mejor cobertura posible.

Es posible que algunos países prefieran asegurar una cobertura completa de la zona con un pequeño número de programas, mientras que otros sacrifican la cobertura total de la zona para poder difundir más programas en las zonas más densamente pobladas. En estos casos se puede aplicar la teoría de la red uniforme para dar valores de referencia de la cobertura alcanzable; estos valores son útiles para comparar las diferentes redes de países que han utilizado métodos distintos para realizar su cobertura interna.

Este Anexo se refiere únicamente a los sistemas de 625 líneas. Se señala este hecho a las administraciones que utilizan otros sistemas. Se necesitan más datos sobre todos los sistemas.

2 Técnicas teóricas para un plan internacional

2.1 Consideraciones generales

Las técnicas de planificación que derivan del principio de las redes uniformes de transmisores están constituidas por dos elementos básicos:

- retículas geométricas regulares,
- sistemas de distribución lineal de los canales.

Debido a los numerosos parámetros y efectos que pueden influir en la planificación de frecuencias, por ejemplo, las diferencias en las condiciones de propagación, en las potencias de los transmisores, en las alturas y en las directividades de las antenas transmisoras, así como las irregularidades del terreno, el problema debe ser antes que nada simplificado suponiendo que todos los transmisores tienen la misma potencia, que tienen antenas no direccionales, todas a la misma altura y con la misma polarización, y que están situados en un área extendida infinitamente formando una retícula geométrica regular. Se supone además que las condiciones de propagación no varían en toda la zona considerada.

El desarrollo de tales retículas regulares se examina con cierto detalle en el Apéndice 1, llegándose a las siguientes conclusiones fundamentales:

- la manera más económica de proporcionar una cobertura de zona total es utilizar una red constituida por triángulos elementales equiláteros, es decir, previendo una distancia igual entre transmisores vecinos. Un cierto solapamiento de la cobertura es inevitable, si se quiere obtener una cobertura de zona total. Se puede expresar este efecto en términos de «factor de cobertura», es decir, la suma de las coberturas de cada transmisor dividida por la zona total a cubrir. La inversa del factor de cobertura se denomina a menudo eficacia de cobertura. Este factor tiene un valor mínimo de 1,21 en el caso óptimo en que se utilicen triángulos elementales equiláteros;
- para la radiodifusión de televisión, la relación de protección cocanal necesaria es predominante con respecto a otras relaciones de protección correspondientes a distintas separaciones en radiodifusión de frecuencia, de manera tal que la cobertura óptima se obtendrá probablemente maximizando la distancia entre transmisores cocanal, es decir, haciendo que los triángulos de transmisores cocanal sean equiláteros;

- únicamente determinados números de canales permiten que tanto los triángulos de transmisores cocanal como los triángulos elementales sean equiláteros. Se les llama «números rombo» y para ello es preciso que el número de canales, C , sea tal que:

$$C = a^2 + ab + b^2$$

donde a y b son números enteros no nulos sin divisor común.

Para valores de $C < 80$, estos números vienen dados por:

a	1	2	3	3	4	4	5	5	5	5	6	7	7	7	8
b	1	1	1	2	1	3	1	2	3	4	1	1	2	3	1
C	3	7	13	19	21	37	31	39	49	61	43	57	67	79	73

Si el espectro total utilizable por la red no corresponde a un número de canales que sea un «número rombo», se podrá todavía aplicar una solución empleando el número total posible de canales, pero para ello será preciso por lo general adoptar una formulación reticular en la que o bien el triángulo de los transmisores cocanales o bien el triángulo elemental no sean equiláteros. Tal solución puede conducir a una cobertura sensiblemente superior a la que se podría obtener limitando la utilización del espectro a la correspondiente al número rombo inmediatamente inferior. Excepcionalmente, otros números de canales permiten también obtener triángulos elementales y triángulos cocanal equiláteros, pero en tales casos no se pueden utilizar distribuciones lineales de canales (véase el § 3 del Anexo 1) y, por consiguiente, los niveles de interferencia no son necesariamente uniformes en el conjunto de la retícula. La Fig. 14 da un ejemplo de este tipo de red.

Si se considera más importante que los triángulos elementales sean equiláteros, puede conseguirse esto mediante una transformación (por ejemplo, afin) que conserve el lado más largo haciendo girar los otros y alargándolos hasta que se igualen. La Fig. 3b) ilustra esa transformación para una retícula de 8 canales.

Una vez establecidas las retículas del tipo que se acaba de describir, el problema consiste en organizar los canales necesarios de manera tal que se minimicen las interferencias, sin olvidar que un rombo cualquiera de transmisores cocanal no constituye sino una parte de la retícula que se extiende sobre el conjunto de la zona planificada. El cálculo de los esquemas de distribución lineal se examina en detalle en el Apéndice 1.

Dicha distribución lineal tiene la propiedad de crear una situación de interferencia idéntica en todos los canales, excepto en los de las frecuencias más elevada y más baja (en los casos en que sea importante la interferencia procedente de los canales adyacentes).

Este método puede aplicarse también cuando (véase el ejemplo del § 2.6) se desee proporcionar n programas en cada emplazamiento utilizando un total de nC canales en sub-bandas contiguas cada una de las cuales tiene C canales; en este caso, los canales asignados a cada transmisor serán:

$$c, c + C, c + 2C, \text{ etc.}, \quad \text{donde } 0 \leq c \leq C - 1$$

2.2 Consecuencias de la aplicación de los principios de planificación en retículas regulares en bandas específicas de televisión terrenal

En los puntos siguientes se va a examinar la aplicación de estos principios al número real de canales disponibles en cada una de las bandas, y se van a utilizar al mismo tiempo estos ejemplos para desarrollar más ciertos aspectos de los principios de planificación.

No obstante, antes de considerar cada una de las bandas, será oportuno examinar cuáles son las relaciones entre las frecuencias distintas de las cocanal que es preciso tener en cuenta en la planificación de las redes de televisión (véase el Anexo 2).

Dichas relaciones son las siguientes:

Relación entre frecuencias	Diferencias entre los números de canales
Canal adyacente	1
Radiación del oscilador local ⁽¹⁾	4 ó 5
Canal imagen ⁽¹⁾	8, 9 ó 10

⁽¹⁾ Para las separaciones entre canales y las frecuencias intermedias generalmente utilizadas en los receptores.

Así pues, para cualquier retícula basada en triángulos elementales aproximadamente equiláteros, cada uno de los transmisores será casi equidistante de los otros seis, los cuales, salvo en el caso de retículas con un número muy reducido de canales, funcionarán todos en canales diferentes. Por consiguiente, a menos de que se adopten triángulos elementales muy deformados, ninguna retícula que cuente con menos de 8 canales podrá evitar un solapamiento entre canales adyacentes. La Fig. 2b) da un ejemplo de retícula de siete canales, que evita los solapamientos de canales adyacentes a costa de una deformación suplementaria, lo que da lugar a que aumente de manera notable el radio de cobertura exigido a cada uno de los transmisores.

2.3 Banda I

La anchura total de esta banda es de 21 MHz, por lo que el número máximo de canales disponibles en cualquier sistema actual de transmisión que utilice canales de 7 MHz es de 3. No puede haber más que una retícula de 3 canales, cuyas características son las siguientes:

- los tres canales están en el vértice superior de los triángulos elementales;
- los triángulos elementales y cocanal son equiláteros (tres es un número rombo);
- la distancia entre transmisores cocanal es $=\sqrt{3}$ veces la distancia entre transmisores contiguos;
- para proporcionar una cobertura completa, la distancia máxima entre un transmisor y el punto más próximo de la zona de cobertura del transmisor cocanal siguiente (en el baricentro del triángulo elemental) es igual a dos veces el radio de cobertura.

De la característica a) se deduce que los solapamientos entre canales adyacentes son inevitables.

La consecuencia de la característica d) es que la cobertura completa de la zona sólo es posible si la intensidad de campo en el extremo del radio de cobertura es superior a la intensidad de campo existente a dos veces la distancia en un valor por lo menos igual a la relación de protección cocanal exigida, (incluso si se desprecian los márgenes para interferencias múltiples o para las interferencias debidas a transmisores distintos de los cocanal).

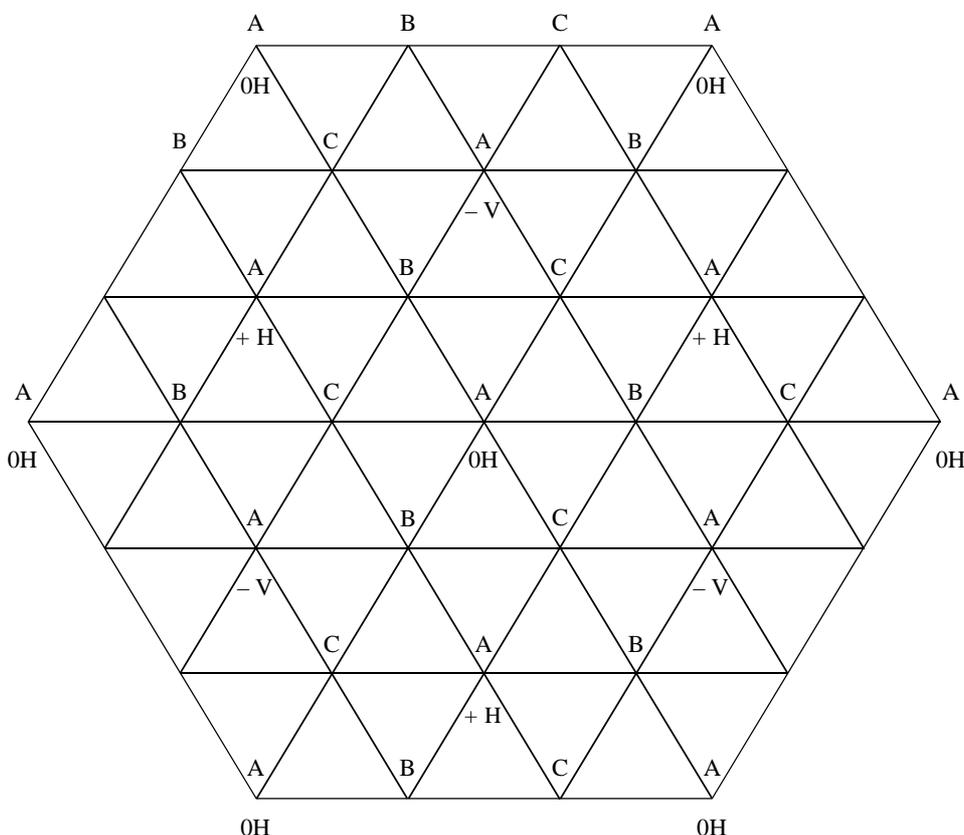
La Fig. 1 muestra, en el caso de una retícula de tres canales, cómo la utilización sistemática de los desplazamientos de frecuencia y de las polarizaciones vertical y horizontal puede servir para reducir las interferencias cocanal. En general, se puede utilizar la discriminación por polarización para reducir la interferencia de los canales adyacentes. Sin embargo, en el caso particular de tres canales, según se indica en la Fig. 1, las ventajas son limitadas, ya que el canal central (B) es equidistante de los dos canales adyacentes, y la discriminación por polarización no se podría obtener más que con respecto a uno de ellos. El mismo principio es aplicable, evidentemente, a otras retículas. Se observa que:

- la distancia entre transmisores cocanal sin protección por discriminación de polarización o desplazamiento es ahora tres veces la existente entre canales adyacentes;

- todos los anillos más próximos de seis transmisores cocanal tienen desplazamientos, pero solamente tres tienen además polarización ortogonal (ya que aunque son posibles tres posiciones de desplazamiento, solamente hay dos polarizaciones).

FIGURA 1

Redícula de 3 canales que muestra la utilización del desplazamiento de frecuencia y la polarización para reducir las interferencias



A, B, C: Canales
 H, V: Polarizaciones
 0, +, -: Desplazamientos (1/3 de la frecuencia de línea)

Los desplazamientos y las polarizaciones sólo están indicados para el canal A. 1123-01

A la vista de la importante protección cocanal que necesita un servicio de televisión, incluso teniendo en cuenta la reducción de interferencia conseguida por el desplazamiento de frecuencia y la discriminación por polarización, resulta imposible obtener una cobertura de zona completa en una redícula de tres canales, es decir, que no se puede cubrir completamente una vasta zona utilizando sólo la Banda I.

2.4 Banda III

El espectro total disponible es de 56 MHz, lo que permite prever siete canales de 8 MHz u 8 canales de 7 MHz. En la Región 1 de la UIT se utilizan sistemas de televisión que tienen anchuras de banda nominales de 7 y 8 MHz, y debe tenerse en cuenta que en bandas decimétricas, la separación entre canales adoptada en el conjunto de la Región es de 8 MHz. Parece, pues, que este valor debería adoptarse de manera uniforme en cualquier planificación futura. Además, la adopción de una separación entre canales de 8 MHz no impediría conservar los sistemas de televisión que tengan una anchura de banda nominal de 7 MHz, si así se desea. No obstante, para que el análisis sea completo, se examinan a continuación tanto la redícula de 7 como la de 8 canales.

2.4.1 Retícula de siete canales

A primera vista, la retícula más adecuada es la indicada en la Fig. 2a), que tiene triángulos elementales y cocanal (lo cual es posible porque 7 es un «número rombo»).

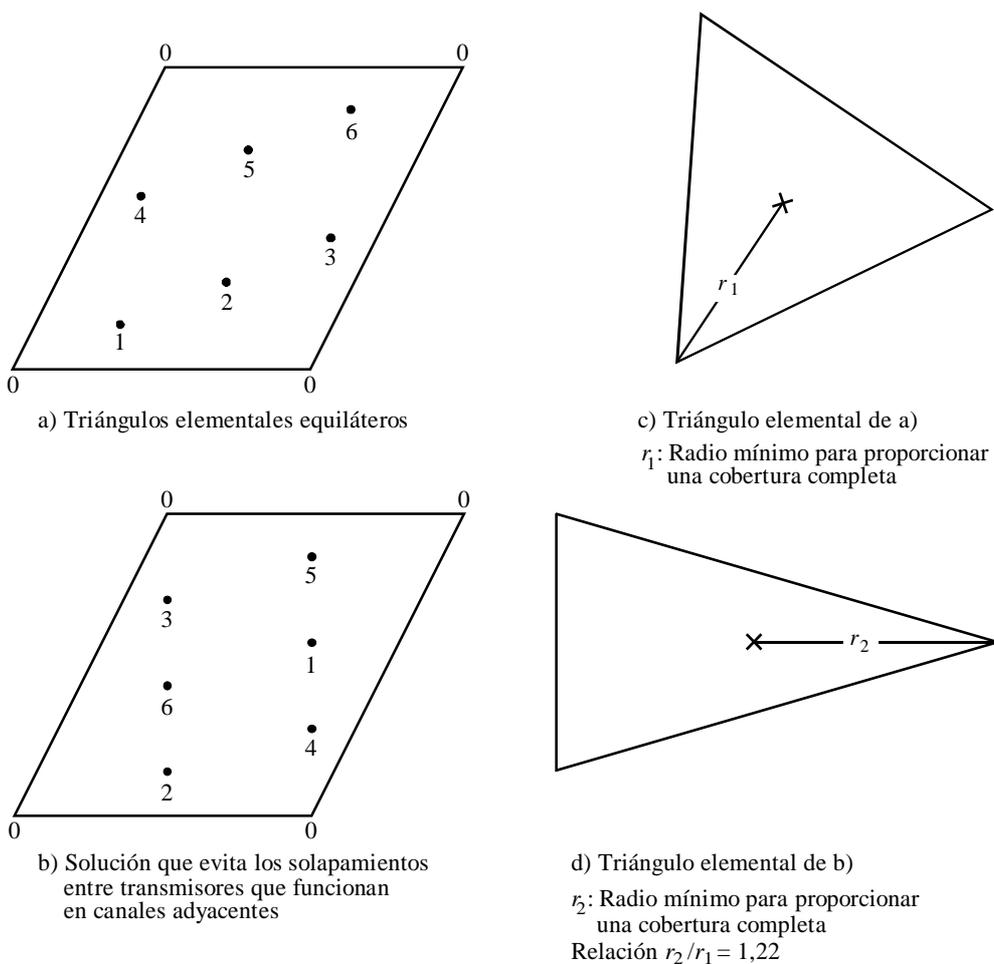
La retícula tiene las siguientes características:

- solapamiento entre canales adyacentes,
- distancia entre transmisores cocanal de $\sqrt{7}$ veces la distancia entre transmisores contiguos. (La relación distancia cocanal/distancia entre transmisores es $\sqrt{N.º \text{ de canales}}$. Esta es una característica intrínseca de esta retícula.)

La Fig. 2b) presenta una versión alternativa de la retícula de 7 canales. La preferencia por esta retícula se basó en que la distancia entre canales adyacentes es más grande, pero como indican las Figs. 2c) y 2d), se obtuvo a costa de una deformación considerable de los triángulos elementales y, por consiguiente, de un aumento del 22% del radio de cobertura que deben tener los transmisores para lograr una cobertura completa de la zona.

FIGURA 2

Ejemplos de retículas de 7 canales



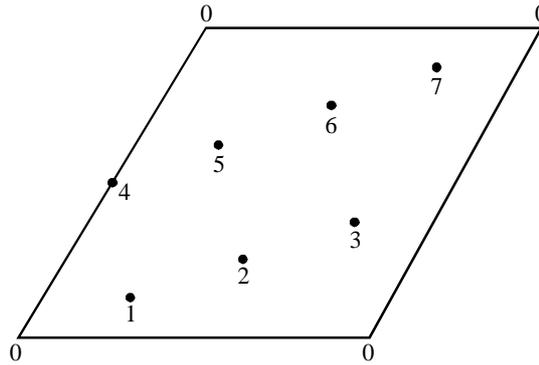
Nota 1 – Las figs. c) y d) están normalizadas a las mismas distancias entre transmisores cocanal. D02

2.4.2 Retícula de ocho canales

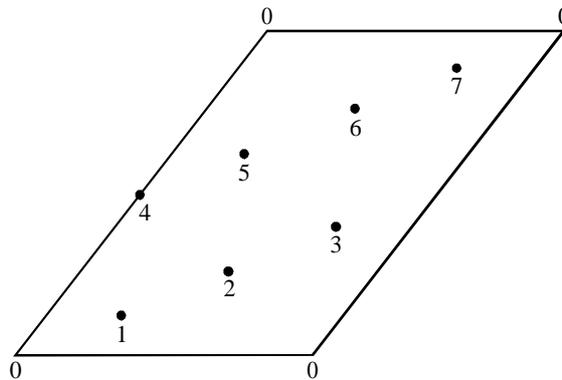
Puesto que 8 no es un número rombo, no es posible elaborar una distribución de canales lineal con triángulos elementales y triángulos de transmisores cocanal equiláteros. La retícula que más se le

aproxima es la presentada en las Figs. 3a) (triángulos cocanal equiláteros) y 3b) (normalizada para dar triángulos elementales equiláteros). En la Fig. 3c) se muestra otra retícula cuyos triángulos elementales están más deformados y en donde la distancia más pequeña entre transmisores no es igual a la distancia entre transmisores que funcionan en canales adyacentes. No obstante, esta solución no impide cierto solapamiento de las coberturas entre transmisores que funcionan en canales adyacentes, cuando se desea lograr la cobertura completa de la zona.

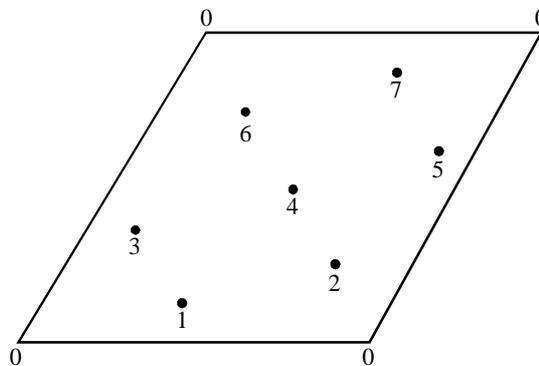
FIGURA 3
Ejemplos de retículas de 8 canales



a) Representación más aproximada de una retícula de triángulos elementales equiláteros



b) Transformación de la retícula a) para obtener triángulos elementales equiláteros



c) Solución alternativa que reduce la importancia de las interferencias de los canales adyacentes

2.5 Observaciones generales sobre la planificación de la televisión en las bandas de ondas métricas

Como ya se ha dicho, es imposible proporcionar cobertura completa en una vasta zona con los tres canales disponibles en la Banda I. Sin embargo, se puede obtener una cobertura única de esa clase con los siete u ocho canales disponibles en la Banda III, pero esta banda no permite por lo general proporcionar dos coberturas. De todos modos la importancia de la propagación por la capa E esporádica es tal, en la parte inferior de la Banda I, que el porcentaje de tiempo durante el cual se puede asegurar un servicio, es muy reducido.

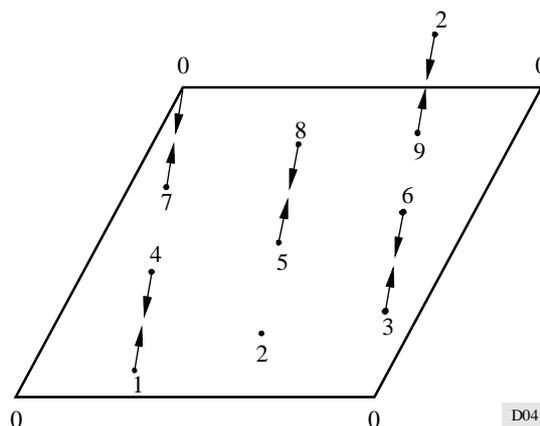
Sería posible, teóricamente, utilizar las Bandas I y III conjuntamente y de manera coordinada para lograr alto grado de cobertura de zona con dos programas, es decir, utilizando cinco canales para cada uno de ellos. No obstante, haría falta adoptar un sistema de separación entre canales de 7 MHz en por lo menos una de las bandas.

Esta solución presenta también las siguientes dificultades:

- aunque sea lógico utilizar conjuntamente dos de los tres canales de la Banda I para obtener coberturas iguales, se corre el riesgo de tener problemas de tipo técnico en el emplazamiento transmisor;
- el tercer canal de la Banda I (sin duda el central) deberá, de todos modos, ser utilizado con un canal de la Banda III, lo que hará aumentar el precio de las antenas en emisión y recepción, planteando al mismo tiempo problemas para lograr coberturas iguales;
- los principios de la planificación en retículas lineales descritos anteriormente no son aplicables a una red mixta de este tipo, debido a la diferencia de características de propagación y a la distribución no continua de los canales.

Sin embargo, es posible contemplar la utilización de una red en las Bandas I y III con dos programas y sobre la base de una retícula de 10 canales, tal como la que se muestra en la Fig. 4, con los canales agrupados por pares según se indica. Se observará que, para el establecimiento de esos pares, si los canales 0 a 2 están en la Banda I, cada uno de los canales de esta banda estará emparejado con otro canal de la Banda III. Si se desean mantener juntos dos canales de la Banda I, se pueden invertir las posiciones de los canales 2 y 7 y las de los canales 3 y 9. Dado que esta red tiene una separación de dos canales a un lado de cada uno de los triángulos elementales, cabe pensar que el emparejamiento sería posible a lo largo de este eje. Sin embargo, es imposible realizar el emparejamiento completo de números alternativos en secuencia consecutiva, salvo si el total es divisible por cuatro.

FIGURA 4
Retícula de 10 canales con los «emparejamientos»
para la difusión de dos programas



2.6 Bandas de ondas decimétricas

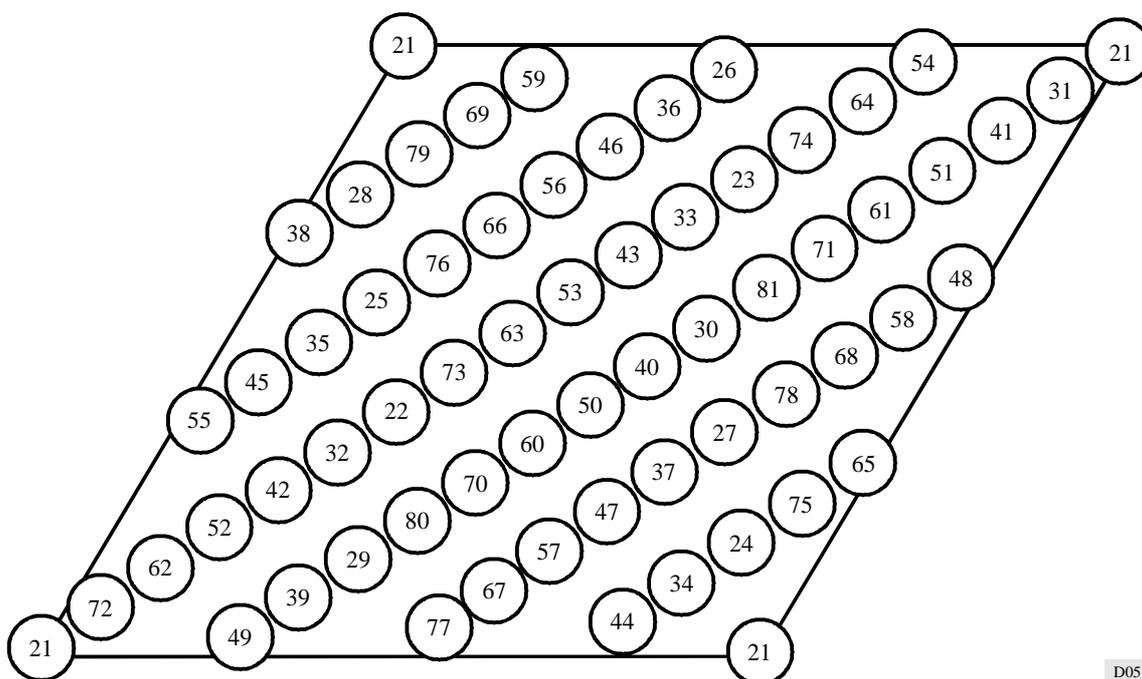
Aunque la banda de ondas decimétricas está compuesta por las Bandas IV y V, es conveniente a efectos de planificación considerarla como un todo. Con todos los canales en las dos bandas, es posible lograr coberturas múltiples, incluso en el caso de que no todos ellos estén enteramente disponibles para la radiodifusión.

La idea de subdividir la banda atribuyendo sub-bandas a coberturas o programas determinados plantea problemas en la banda de televisión de ondas decimétricas, porque implica una utilización del espectro muy amplia en cada zona de cobertura. Esto, a su vez, da lugar a dificultades de tipo técnico, debido a la gran anchura de banda que necesitan las antenas de emisión y de recepción.

Las necesidades pueden variar de un país a otro en la zona planificada, por lo que quizá sería preferible basar la planificación en una sola retícula concebida de manera que permita «agrupar» las frecuencias de varias maneras.

La retícula utilizada en la Conferencia Europea de Radiodifusión está representada en la Fig. 5 y la de la Conferencia Africana de Radiodifusión en la Fig. 6. Ambas tienen una característica común: la diferencia de frecuencias entre transmisores adyacentes corresponde a la anchura de tres canales en una dirección dada y en toda la retícula. Así pues, resulta posible crear «grupos» de tres programas utilizando los canales n , $n + 3$, $n + 6$.

FIGURA 5
Distribución teórica de canales en las Bandas IV y V,
adoptada por la Conferencia Europea de Radiodifusión
(Estocolmo, 1961)



D05

La ampliación a cuatro programas añadiendo ($n + 9$) no sería posible porque daría lugar, en primer término, a un gran alargamiento de una de las dimensiones de la retícula y, en segundo lugar, al riesgo de interferencia del canal imagen entre los canales n y $n + 9$. La retícula adoptada en la Conferencia de Estocolmo de 1961 comporta también una separación correspondiente a 10 canales entre transmisores adyacentes en otra dirección en toda la red, lo que permite constituir grupos de n , $n + 3$, $n + 6$, $n + 10$ (véase la Nota 1) o bien n , $n + 3$, $n + 6$, $n + 13$. El primero es preferible desde el punto de vista de la utilización del espectro, y el segundo desde el punto de vista del escalonamiento

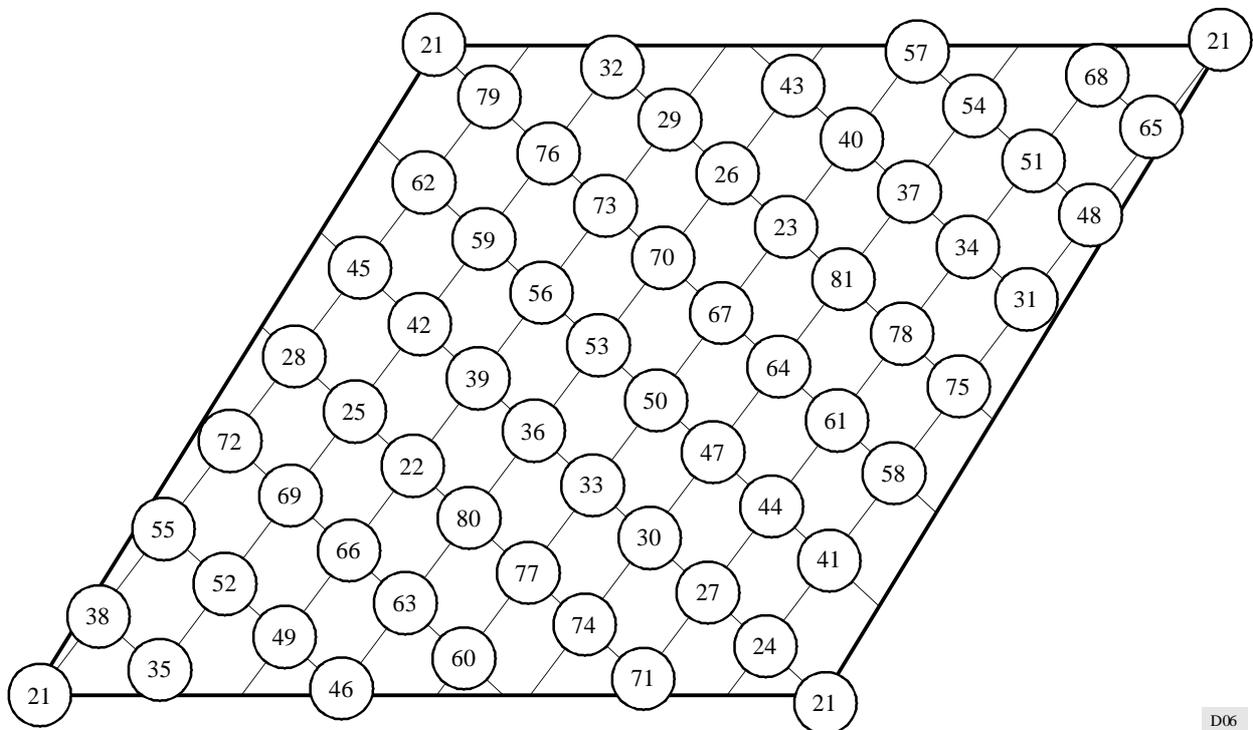
de los emplazamientos en la retícula. Sin un nuevo aumento de la separación en la retícula, no es posible contemplar nuevas ampliaciones de este principio de «agrupamientos» en una retícula «Europa» para proporcionar:

- cinco programas con los canales $n, n + 3, n + 7, n + 10, n + 13$;
- seis programas con los canales $n, n + 3, n + 6, n + 10, n + 13, n + 16$.

NOTA 1 – O bien, simétricamente, $n, n + 4, n + 7, n + 10$.

La retícula adoptada en la Conferencia Africana de 1963 no parece que admita fácilmente la ampliación de los «agrupamientos» más allá de los tres programas, si no es con un aumento excesivo de la utilización del espectro o la introducción de interferencia por canal imagen, n y $n + 9$, en la misma localización de transmisor.

FIGURA 6
Retícula teórica de canales en las Bandas IV y V adoptada por la Conferencia Africana de Radiodifusión (Ginebra, 1963)



D06

3 Plan con desplazamiento de frecuencia

3.1 Consideraciones generales

La aplicación óptima de una retícula, conforme se ilustra en las Figs. 5 y 6 y se describe en el Apéndice 1 con respecto a una distribución lineal de los canales, no depende únicamente de la frecuencia nominal de un canal asignado. Una manera muy adecuada de asegurar una mejor utilización de las bandas de frecuencias atribuidas al servicio de radiodifusión de televisión consiste en establecer un desplazamiento adecuado entre los canales, optimizando por consiguiente la protección entre los transmisores que utilizan el mismo canal (véase la Recomendación UIT-R BT.655). Puede calcularse entonces la separación cocanal óptima mediante estos desplazamientos, y utilizarse para determinar la retícula cocanal.

3.2 Desplazamiento de poca precisión

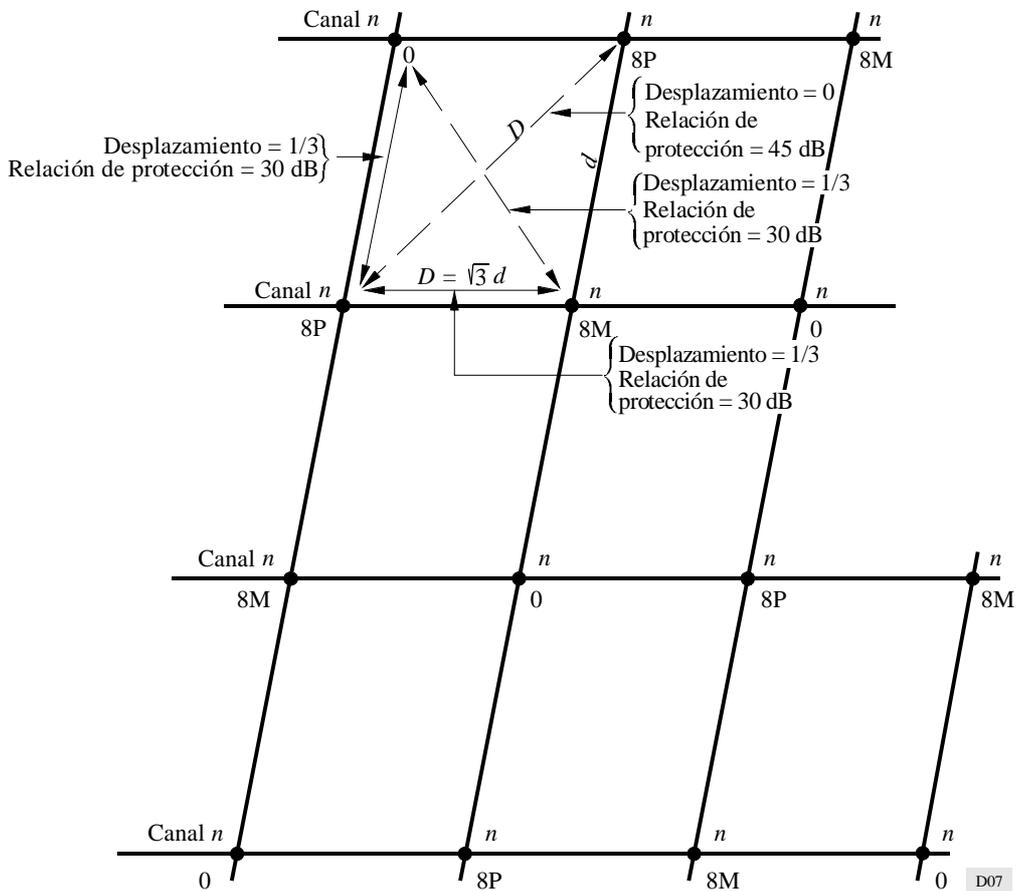
La separación óptima entre transmisores cocanal se obtiene estableciendo desplazamientos que proporcionen la misma protección entre todos los transmisores en una retícula cocanal, es decir, 8M, 0 y 8P (desplazamiento por múltiplos de 1/3 de la frecuencia de línea; relación de protección de 30 dB en todas partes, interferencia troposférica) asignados alternativamente en las tríadas de transmisores de las semirretículas (véase la Fig. 7). Los transmisores situados a lo largo de la diagonal de mayor longitud son los únicos que tienen un desplazamiento relativo de 0 y, por consiguiente, se encuentran menos protegidos (relación de protección de 45 dB). Sin embargo, esto queda compensado por el hecho de que la separación cocanal entre el par de transmisores es 1,73 veces mayor que la de las tríadas de transmisores con desplazamiento efectivo de 1/3 de la frecuencia de línea.

3.3 Desplazamiento de precisión

Se puede mejorar la eficacia de utilización del espectro recurriendo a un desplazamiento de precisión. Sin embargo, las posibilidades quedan limitadas si la planificación de la red se basa en una retícula cocanal, puesto que los transmisores situados a lo largo de la diagonal de mayor longitud, que tienen un desplazamiento relativo 0, pueden funcionar únicamente con un desplazamiento de poca precisión, y la separación cocanal en la retícula viene determinada por esta separación mínima necesaria.

FIGURA 7

Distribución del desplazamiento de frecuencia en una retícula cocanal (plan con desplazamiento de frecuencia)



3.4 Distribución del desplazamiento en el funcionamiento con desplazamiento de precisión

Además de las relaciones de protección de las señales de imagen, la Recomendación UIT-R BT.655 especifica también las relaciones de protección de la señal de sonido analógica. En las distribuciones comunes del desplazamiento de los canales de televisión (8M, 0, 8P) existe una diferencia de unos 10 kHz entre las portadoras de sonido de transmisores cocanal adyacentes, lo que se traduce en la necesidad de una relación de protección de 31 dB.

Cuando se emplea desplazamiento de precisión, se necesita una relación de protección de solamente 22 dB para las señales de imagen. A fin de obtener la misma relación de protección para las señales de sonido es preciso ajustar el desplazamiento en una magnitud igual a varios múltiplos de la frecuencia de línea. La diferencia de frecuencia de las señales de sonido debe ser del orden de 50 kHz para obtener una relación de protección de 22 dB (igual a la de las señales de imagen). Las relaciones de protección de las señales de imagen no varían, siempre que esas señales no se desplacen unas con respecto a otras en una magnitud superior a tres veces la frecuencia de línea.

4 Capacidad de las bandas de televisión

4.1 Capacidad de las bandas de ondas métricas

Como ya se ha visto, la Banda I puede proporcionar como máximo tres canales, y esto solamente si se adopta un sistema de canales de 7 MHz. No puede, por tanto, ser considerada sino como un complemento de la Banda III, salvo si se utiliza para aplicaciones que no exijan una cobertura completa de zona.

Las bandas de ondas métricas combinadas pueden proporcionar nueve canales si se utiliza un sistema de transmisión con canales de 8 MHz, y 10 u 11 canales en un sistema con canales de 7 MHz. En el primer caso no sería razonable tratar de proporcionar cobertura con más de un solo programa en las bandas de ondas métricas únicamente, pero con 10 canales hay la posibilidad de proporcionar dos programas con una cobertura de zona bastante elevada, aunque probablemente no total. En tal caso, sería deseable tratar de minimizar las interferencias en la medida de lo posible mediante la utilización sistemática de las polarizaciones horizontal y vertical.

Hay que tener presente, además, que en la práctica no se aplican, por lo general, las simplificaciones hechas en la teoría (véase el § 2.1). Consecuencia de ello es que harán falta más canales, para un grado determinado de cobertura, que los previstos por la teoría. En el § 2.5 se indican otros problemas.

Cualquier forma de cobertura mixta en las Bandas I y III obligaría a las autoridades de radiodifusión a efectuar gastos suplementarios, por la necesidad de utilizar antenas de transmisión separadas. El empleo de antenas de recepción log-periódicas podría quizá evitar esta dificultad al telespectador, si los dos servicios utilizaran la misma polarización en una zona dada, pero una antena así sería bastante voluminosa.

Otra posibilidad que debe tenerse en cuenta, si se deben difundir dos programas en ondas métricas, es proporcionar cobertura completa mediante reemisores en la banda de ondas decimétricas. Se puede proceder de esta manera en los países en los que no esté previsto difundir más de tres programas en ondas decimétricas.

4.2 Capacidad de las bandas de ondas decimétricas

La experiencia adquirida en Europa permite evaluar en la práctica la capacidad de las bandas de ondas decimétricas. Debe tenerse en cuenta que sólo se dispone de un máximo de 48 canales (21 a 68), y que existe en ciertas regiones de Europa, entre las Bandas IV y V, un intervalo inutilizable para la radiodifusión, que puede alcanzar una anchura de cinco canales. No obstante, es posible lograr, por lo general, tres coberturas con protección contra las interferencias durante el 99% del tiempo. En ciertos casos, como por ejemplo en el Reino Unido, el tiempo durante el cual se obtiene la protección se reduce al 95% y se ha demostrado en este caso que es posible lograr la cobertura con cuatro programas.

De cualquier modo, hay que decir en primer lugar si se pretende dar una cobertura de zona o una cobertura de población. Si la distribución de la población es bastante uniforme, la diferencia entre las dos coberturas será pequeña, pero si la mayor parte de la población está concentrada en zonas urbanas, puede ser importante. En este caso, es posible alcanzar la cobertura de las zonas urbanas con un mayor número de programas que si se persigue una cobertura más uniforme.

5 Evaluación de un plan de cobertura

En las bandas de ondas métricas y decimétricas, conviene establecer una relación entre las intensidades de campo previstas o medidas y el grado de satisfacción de los telespectadores con la calidad de imagen y de sonido que reciben. Para llegar a establecer esa relación, es muy importante que la distribución de los puntos de medida esté en estrecha relación con la densidad de la población. Hay que tener además en cuenta en qué medida es posible que los telespectadores utilicen instalaciones de recepción diferentes de la normal. La utilización de antenas de alta ganancia o de preamplificadores de bajo ruido en zonas escasamente pobladas permite una ampliación de la cobertura proporcionada por un transmisor sin tener que aumentar la intensidad del campo.

APÉNDICE 1

AL ANEXO 1

Planificación en retícula: Principios fundamentales para el establecimiento de retículas geométricas regulares con distribución lineal de los canales

1 Hipótesis fundamentales

Se considera que todos los transmisores:

- tienen la misma potencia y utilizan antenas no direccionales de la misma altura efectiva y polarización; y
- están repartidos en una zona de dimensiones infinitas, en la que las características de propagación son invariables.

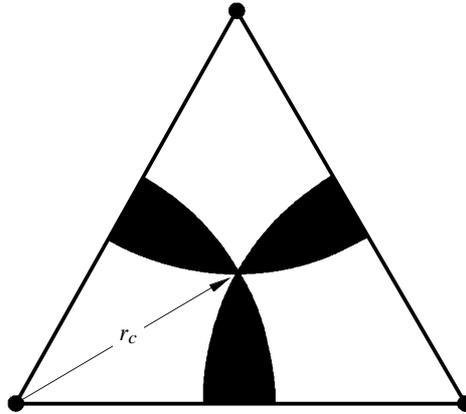
2 Retículas geométricas regulares

Se supone que los transmisores están situados en el punto de intersección de dos conjuntos de paralelas equidistantes entre sí y que cubren la totalidad de la zona. Estos dos conjuntos de paralelas subdividen la zona en paralelogramos, cada uno de los cuales corresponden a un punto de intersección, es decir, al emplazamiento de un transmisor. Se obtendría así una cobertura completa si cada transmisor diera cobertura únicamente en una zona de superficie igual a la del paralelogramo (aunque casi con toda certeza, de forma diferente).

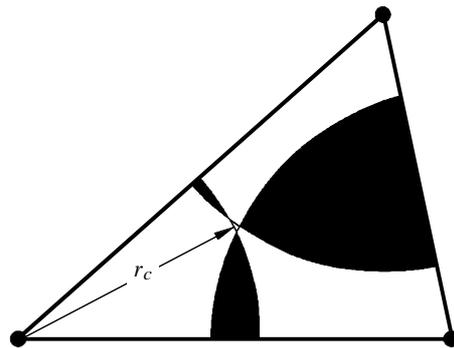
Puede considerarse, para simplificar, un tercer conjunto de paralelas que pasen por los puntos de intersección y dividan así cada uno de los paralelogramos en dos triángulos iguales. Si se supone que las antenas de transmisión son no direccionales y que las zonas de cobertura son por tanto circulares (en ausencia de interferencia o en presencia de interferencia uniforme), la cobertura completa de la zona exige que el alcance de cada uno de los transmisores, r_c , sea igual a la mayor de las distancias desde un vértice al baricentro del triángulo elemental (véase Fig. 8). Es inevitable un cierto solapamiento de coberturas, que debe reducirse lo más posible para conseguir una cobertura eficaz.

FIGURA 8

Ejemplos de triángulos elementales con los solapamientos necesarios para lograr una cobertura completa



a) Triángulo equilátero



b) Triángulo no equilátero

D08

El solapamiento se reduce al mínimo si los triángulos son equiláteros, pero incluso si se alejan un poco de esa condición, el solapamiento aumentará sólo ligeramente. En esta situación óptima, los paralelogramos se convierten en rombos, y la distancia de cada uno de los vértices al baricentro del triángulo es $r/\sqrt{3}$. En estas condiciones, la zona de cobertura (S_c) de cada uno de los transmisores viene dada por la relación:

$$S_c = \pi \left(\frac{r}{\sqrt{3}} \right)^2 = \frac{\pi r^2}{3}$$

y la superficie de cada uno de los paralelogramos es $S = \frac{\sqrt{3} r^2}{2}$.

Al cociente S_c/S se le denomina factor de cobertura, y a su inversa S/S_c , eficacia de cobertura. El mayor valor de S_c/S se obtiene con triángulos equiláteros, y es igual a $2\pi/3\sqrt{3} = 1,21$. La utilización de una retícula de triángulos no equiláteros puede ser ventajosa en ciertos casos, aunque reduzca la eficacia de cobertura. Se examinará este problema cuando se analice la distribución de los canales.

La televisión requiere relaciones de protección cocanal de valor elevado, del orden de 30 a 45 dB, incluso para las interferencias discontinuas. En consecuencia, las zonas de cobertura cocanal no sólo no deben solaparse, sino que han de estar bien separadas. De las explicaciones anteriores se infiere que, si los transmisores cocanal forman una retícula de triángulos equiláteros en la que D es la distancia entre transmisores cocanal vecinos, se obtendrá el factor de cobertura máxima c de la siguiente manera:

$$c = 2\pi r_c^2 / \sqrt{3} D^2$$

Una cobertura completa de la zona exigirá la utilización de un número suficiente de canales, C . Retículas idénticas de transmisores cocanal para estos C canales deberán por tanto superponerse, a fin de que la retícula resultante sea de nuevo total y geoméricamente regular. El número de soluciones posibles de este problema es más bien limitado.

Se pueden encontrar todas las soluciones posibles si el paralelogramo (o el rombo) cocanal está subdividido por dos conjuntos de $C - 1$ rectas equidistantes paralelas a uno de los pares de lados del paralelogramo. Las Figs. 9a) y 10a) lo muestran en el caso de una retícula equilátera de transmisores cocanal, para $C = 7$ y $C = 12$, respectivamente. La regularidad geométrica de la retícula de triángulos elementales resultantes se obtiene cuando cada una de las $C - 1$ paralelas de uno de los conjuntos corresponde a un solo transmisor. Las $C - 1$ paralelas del otro conjunto corresponderán también a un solo transmisor si C es número primo (por ejemplo, 7). Si C es el producto de dos o más números primos, p_i , (por ejemplo $12 = 2 \times 2 \times 3$) también hay soluciones;

pero en el otro conjunto, sólo las paralelas que sean múltiplos de p_i (o de sus productos $\prod_{i=1}^{i < n} P_i$)

tendrán p_i (o $\prod_{i=1}^{i < n} P_i$) transmisores (Figs. 10c) a 10e)). Para $C = 7$, todas las soluciones posibles

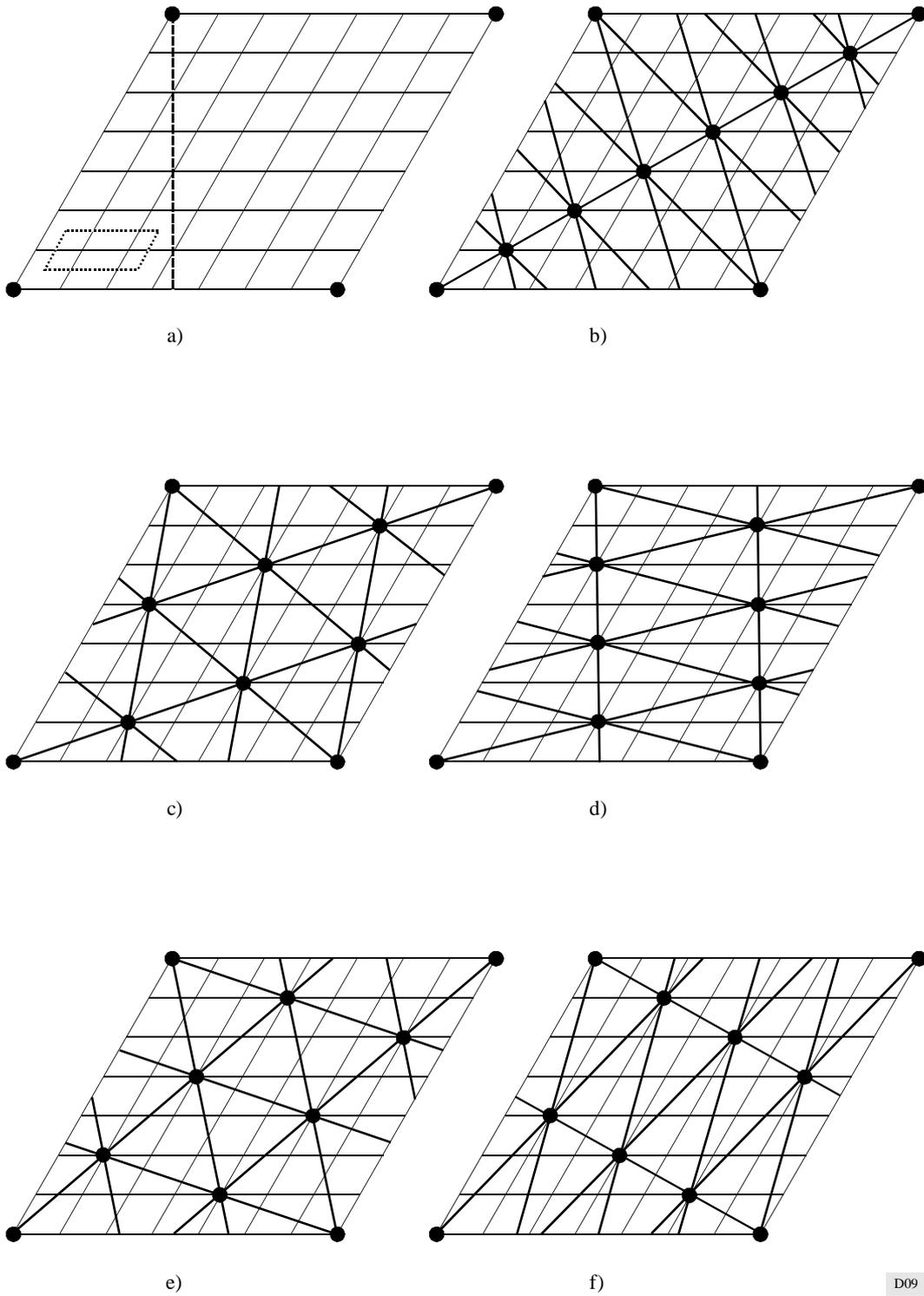
(salvo una que no hay que tener en cuenta porque en ella todos los transmisores se hallarían sobre uno de los lados del triángulo) están representadas en las Figs. 9b) a 9f).

Resulta conveniente a estas alturas introducir un sistema de coordenadas no rectangulares (x, y) que tengan su origen en el ángulo inferior izquierdo y sus ejes dirigidos, respectivamente, hacia el ángulo inferior derecho (x) o superior izquierdo (y). Las paralelas de subdivisión están situadas a una distancia unitaria la una de la otra.

En este sistema de coordenadas, las soluciones de las Figs. 9b) a 9f), comportan todas ellas un transmisor en $y = 1$, pero su posición con respecto a x varía entre $x = 1$ y $x = 5$. Las coordenadas de los demás transmisores en cada una de las soluciones son múltiplos de las primeras coordenadas, es decir, que en la Fig. 9b) las coordenadas son (1, 1), (2, 2), (3, 3), (4, 4), (5, 5) y (6, 6). Los valores de las coordenadas superiores a C pueden ser normalizados dividiendo el múltiplo real por C , o por un múltiplo de C , dado que los valores iniciales y resultantes de las coordenadas son congruentes entre sí en módulo C .

Las Figs. 9b) a 9f) muestran que ciertas soluciones son «simétricas» (simetría triangular), como por ejemplo, las de las Figs. 9c) y 9e) o las de las Figs. 9b), 9d) y 9f). Esto reduce el número de soluciones «genuinas» a dos. De ello se sigue que, salvo para $C = 3$, se pueden encontrar todas las soluciones conociendo una de ellas si las coordenadas de uno de los transmisores vienen fijadas por $x \leq C/2$ e $y = 1$ (o viceversa), es decir, a la izquierda de las verticales de trazos de las Figs. 9a) y 10a), y más precisamente en el interior del paralelogramo formado por las líneas de trazos. Por consiguiente, en el ejemplo de la Fig. 9 ($C = 7$), sólo han de tenerse en cuenta las coordenadas (1, 1) y (2, 1) mientras que en el ejemplo de la Fig. 10 ($C = 12$), sólo se presentan las soluciones «genuinas».

FIGURA 9
 Distribuciones posibles de canales en el caso de una
 retícula equilátera de transmisores cocanal con $C = 7$



Las soluciones de las Figs. 9 y 10 se han obtenido a partir de una retícula de triángulos equiláteros para transmisores cocanal. En tal retícula, el cuadrado de la distancia, d , entre puntos de coordenadas (x_1, y_1) y (x_2, y_2) con $(x_2 - x_1) = a$ e $(y_2 - y_1) = b$ es $d^2 = a^2 + ab + b^2$. El rombo cocanal de las Figs. 9 y 10 tiene un lado de longitud, D , lo que corresponde en los dos casos a un C unitario y a una superficie $S = \sqrt{3} D^2/2 = \sqrt{3} C^2/2$. Si este área se subdivide en C paralelogramos elementales congruentes, la superficie de cada uno de ellos será $S_c = \sqrt{3} C/2$ y, en el caso en que la superficie elemental sea un rombo, se tendrá $S_c = \sqrt{3} d^2/2$, es decir $d^2 = C$. Las Figs. 9 y 10 muestran que los triángulos elementales no son por lo general equiláteros y tienen lados de longitud d_1, d_2 y d_3 . Sólo en casos excepcionales (Figs. 9c) y 9e)) el triángulo elemental es equilátero. No existen soluciones en las cuales el triángulo cocanal y el triángulo elemental sean equiláteros sino en el caso en que C sea un número rombo, es decir, cuando existan dos enteros, a y b , que satisfagan la relación $C = a^2 + ab + b^2$. Esta condición se debe a que las coordenadas de los transmisores sólo pueden ser números enteros. Las superficies de los triángulos equiláteros y no equiláteros son iguales si:

$$3d^4 = 4d_1^2 d_2^2 - (d_1^2 + d_2^2 - d_3^2)^2$$

Ejemplo: en la Fig. 10d) las longitudes de los lados son:

$$d_1 = \sqrt{13}, \quad d_2 = 3, \quad d_3 = 4$$

de donde:

$$3d^4 = 4 \times 13 \times 9 - (13 + 9 - 16)^2$$

o:

$$d^2 = \sqrt{(13 \times 12) - 12} = 12 = C$$

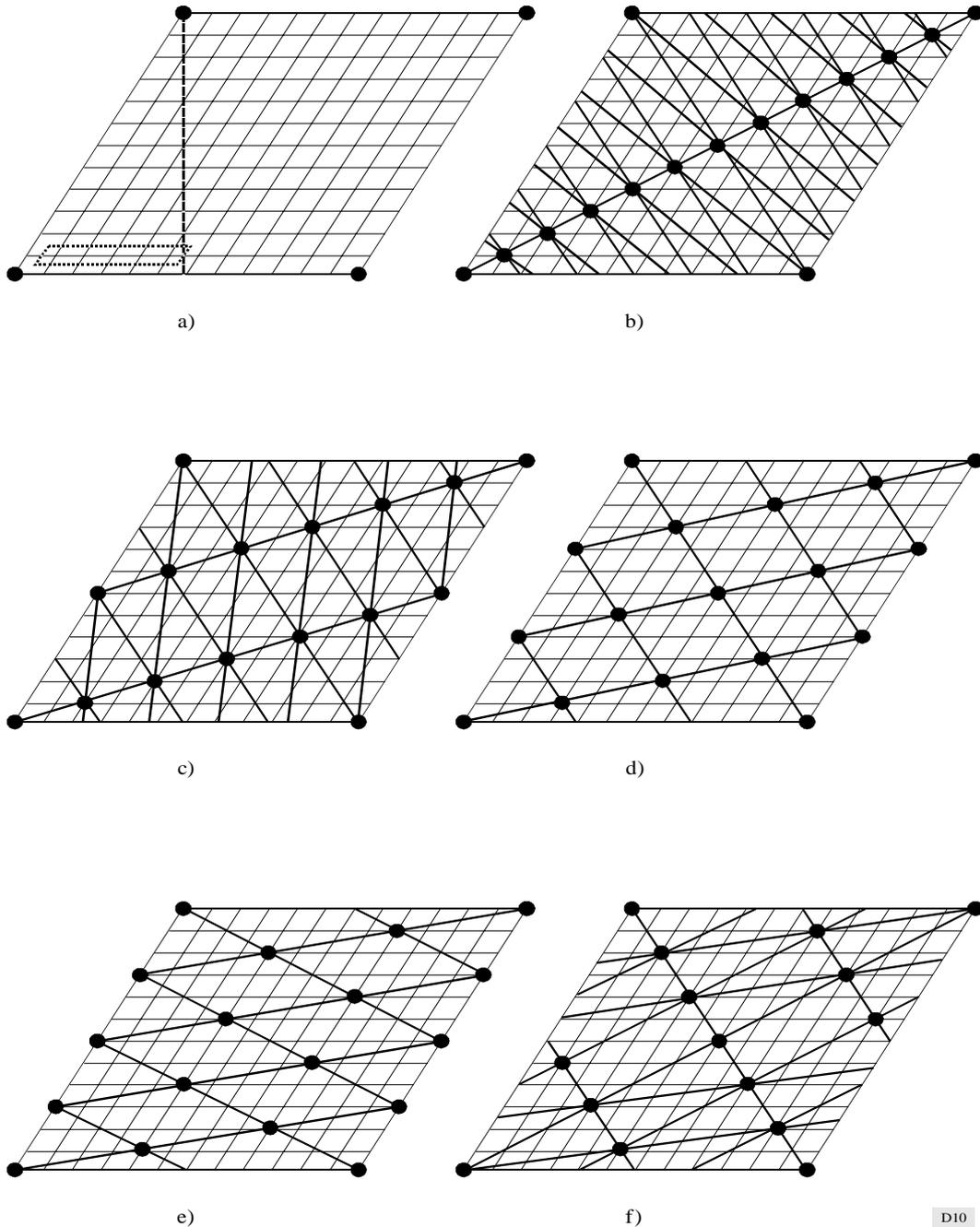
En el § 2.1 del texto principal se encuentran los valores de los números rombo para $C < 80$ junto con los números enteros generadores a y b , así como algunas de las conclusiones fundamentales a las que se llega tras las anteriores consideraciones.

Se pueden sacar además otras conclusiones:

- Si los transmisores situados en los vértices del rombo cocanal experimentan interferencias de otros transmisores situados en cualquier emplazamiento en el interior del rombo y que transmiten en canales diferentes, como el canal adyacente o el canal imagen, la distancia de estos transmisores a los vértices debe maximizarse, es decir, que se les debe colocar tan cerca como sea posible del baricentro del triángulo. Sin embargo, estas interferencias tendrán tendencia a reducir la cobertura y, para compensar esta pérdida, será preciso aumentar el número de canales necesarios.
- Los efectos de las interferencias dependen esencialmente de la distancia entre los transmisores en cuestión y de la relación de protección exigida. Debido a la distancia menor entre el baricentro y los vértices de los triángulos cocanal, puede ocurrir, particularmente en los casos de interferencia del canal adyacente con una separación de 100 kHz en radiodifusión MF, que la interferencia cocanal ya no sea la predominante. Para la mayor parte de los sistemas de televisión no ocurrirá esto. Para información, cabe señalar que esto es aplicable especialmente en la radiodifusión sonora MF con separación de 100 kHz e interferencia de canal adyacente. En este caso, los triángulos elementales equiláteros pueden ser preferibles a los triángulos cocanal equiláteros. No obstante, cualquiera que sea la solución que se elija, aumentará el número de canales necesarios para obtener la cobertura completa de la zona.

FIGURA 10

Distribuciones posibles de canales en el caso de una retícula equilátera de transmisores cocanal con $C = 12$



D10

3 Sistemas de distribución lineal de los canales

Después de haber establecido las características geométricas de la retícula, queda por hallar la organización de los C canales necesarios para proporcionar cobertura completa, a fin de reducir lo más posible las interferencias. Bueno será recordar aquí que todo rombo de transmisores cocanal forma parte de una retícula que se extiende al infinito y está formada por C retículas de transmisores cocanal superpuestos de manera regular. Todo resultado obtenido por el método de planificación en retículas estará por tanto caracterizado por una repetición periódica en todas las direcciones de la disposición geométrica de los canales, indicada a título de ejemplo en uno de los rombos de transmisor cocanal.

Parece conveniente utilizar como referencia el canal número 0 para estudiar la disposición de los canales, y, en cualquier ejemplo que se elija, designar con 0 los vértices del rombo de transmisores cocanal. En consecuencia, las diferencias de números de canales (1, 2, ... $C - 1$) representarán de manera automática la diferencia entre los números de canales del transmisor considerado y de los transmisores situados en los vértices del rombo cocanal. No obstante, cuando se consideren, por ejemplo, las interferencias de los canales adyacentes, no hay que olvidar que este tipo de interferencias no se da únicamente entre los canales 0 y 1, sino también entre los canales 1 y 2, 2 y 3, etc. Por razones de simplicidad y de regularidad en el sistema de distribución de canales, parece conveniente asignar el canal 1 a un transmisor de coordenadas (x_1, y_1) que, como ya se ha explicado, deberá estar bastante próximo al baricentro, el canal 2 al transmisor de coordenadas $(2x_1, 2y_1)$, etc. De ello se sigue que la diferencia entre los números de canales asignados a transmisores equidistantes y alineados será constante. Si esa diferencia es superior a un canal, puede resultar un número de canales superior a C , que debe ser normalizado restando C o uno de sus múltiplos. Los números de canal iniciales y normalizados son por tanto congruentes entre sí en módulo C . A los sistemas de distribución de canales así elaborados se les conoce con el nombre de distribución lineal. Existen, evidentemente, otras soluciones, pero las distribuciones no lineales son menos prácticas, aunque no por ello no utilizables (en el § 5 se examinan brevemente estas soluciones).

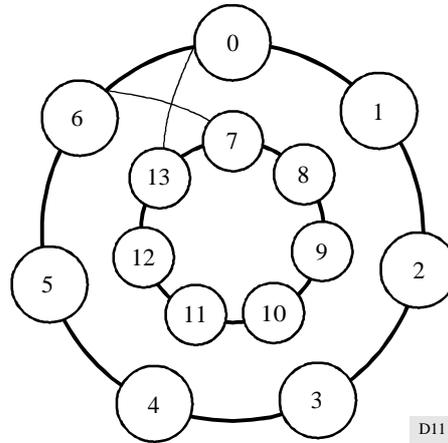
Es conveniente examinar los sistemas de distribución lineal de canales para el estudio de la eficacia de cobertura, ya que la situación de las interferencias en cada una de las C retículas de transmisores cocanal superpuestos es la misma, a excepción de ciertas irregularidades asociadas al primero y al último de los C canales. Puede, no obstante, ignorarse esta excepción si se supone que los canales en cuestión forman un sistema cíclico en el que los canales 0 y $C - 1$ son adyacentes. Cabe señalar a este respecto que tal sería en parte el caso si se insistiera en conseguir la cobertura con n programas utilizando una secuencia de canales ininterrumpida subdividida en n grupos de C canales cada uno. En la Fig. 11 se presenta un sistema de canales cíclico.

Dado que la situación de interferencia en cada uno de los C canales, así como cada uno de los transmisores en una cualquiera de las retículas cocanal es idéntica, la zona de cobertura de todos los transmisores es igualmente idéntica tanto en forma como en dimensión. La verificación de la cobertura obtenida por el conjunto de transmisores en los C canales no exige, por tanto, más que, la determinación de la zona de cobertura de uno de ellos.

Los sistemas de distribución lineal de canales permiten igualmente tener en cuenta interferencias distintas de la cocanal. En el caso de la televisión, éstas incluyen la interferencia de los canales adyacentes (± 1), la del canal imagen ($+8$ ó ± 9 ó $+10$) y la del oscilador local de un receptor sintonizado a los canales ± 4 ó -5 . En principio, estos canales deberían situarse en la proximidad del baricentro de uno de los dos triángulos que constituyen un rombo cocanal. Su distancia a los vértices debe, en teoría, ser más grande cuando la relación de protección sea mayor. En los sistemas de distribución lineal de canales, por razones de simetría, los canales cuyo número difiere en una misma cantidad del transmisor de referencia, pero con signo contrario, están situados de manera simétrica con respecto a esos dos baricentros.

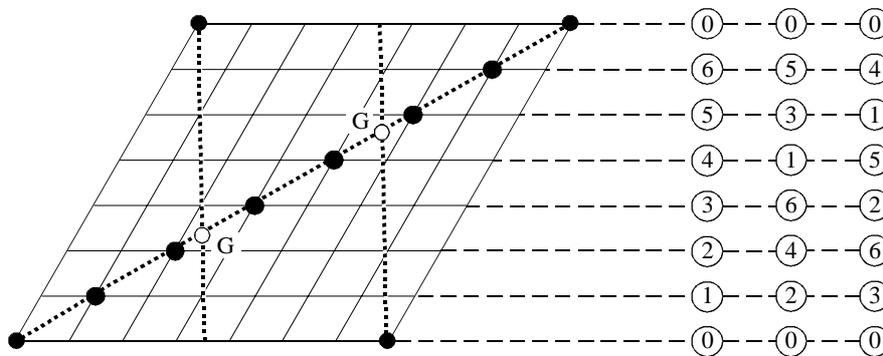
Puesto que los canales z y $C - z$ son simétricos uno respecto al otro, no pueden evidentemente existir más de $C/2$ distribuciones de canales diferentes, es decir, en el ejemplo de la Fig. 9b), solamente tres; que se muestran en la Fig. 12 repartidas en las tres columnas. Los dos baricentros están indicados por el símbolo G. La tercera solución permitiría obtener la mayor distancia de los vértices al canal adyacente. En el ejemplo de la Fig. 9c), la distancia de cada transmisor al vértice más próximo es idéntica; las tres soluciones posibles son, por tanto, equivalentes en este caso, de tal modo que, en realidad, sólo existe una sola solución particular como consecuencia de la simetría. Esta situación especial se presenta cuando C es un número rombo y la retícula está formada por triángulos equiláteros.

FIGURA 11
 Sistema cíclico de agrupación de canales
 (número de programas $n = 2$)



D11

FIGURA 12
 Ejemplos de distribución de canales en el caso
 de una retícula regular equilátera ($C = 7$)

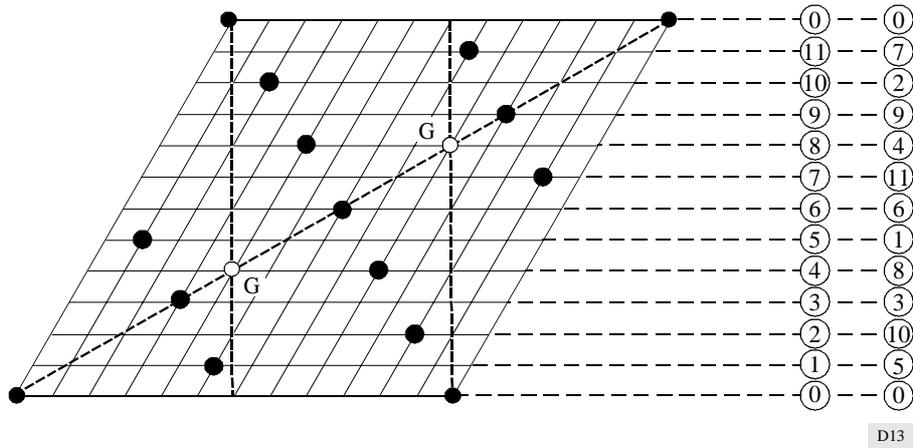


D12

El número de soluciones posibles aumenta en principio con el de canales necesarios para proporcionar una cobertura completa. Sin embargo, la diferencia, Δ , entre los números de canales utilizados por transmisores vecinos, y el número de canales disponibles, C , no debe tener factores comunes (excepto la unidad), ya que en tal caso no se utilizarían más que los canales cuyos números fuesen múltiplos de este factor, mientras que los otros permanecerían inutilizados. Evidentemente en tal caso resulta imposible obtener una distribución lineal de canales. En consecuencia, sólo existirá el número total $C/2$ de soluciones (parte entera de esta fracción) si C es un número primo. Si C es el producto de dos a más números primos, existirán muchas menos soluciones. Por ejemplo, para $C = 12$, sólo existen dos, que están representadas en la Fig. 13 para el caso de la retícula geométrica de la Fig. 10f). Una vez más, los dos baricentros vienen indicados por la letra G. Ninguna de las dos soluciones es enteramente satisfactoria con este tipo de retícula geométrica.

FIGURA 13

Ejemplos de distribución de canales en el caso de una retícula regular equilateral (C = 12)



La Fig. 14 muestra un ejemplo para $C = 19$, en el que los triángulos elementales son equiláteros. El sistema de distribución de canales elegido es bastante adecuado para televisión por ondas decimétricas que utilice sistemas G, I o L, ya que tiene en cuenta al máximo las interferencias de las diferencias de canales 1, 9 y 18, suponiendo que los 61 canales que constituyen el conjunto de las bandas de ondas decimétricas estén subdivididos para difundir tres programas cada uno mediante 19 frecuencias. La distancia de los transmisores de estos canales a los vértices es, respectivamente, de $\sqrt{3}$ veces, 2 y $\sqrt{3}$ veces la longitud del lado del triángulo elemental. La posición del transmisor para una diferencia de canal de 5 es, de todos modos, bastante poco satisfactoria, ya que es inmediatamente adyacente a la del canal de referencia. Es fácil comprobar que, con esta geometría, no se puede encontrar ninguna solución en la cual las diferencias de canales de 1, 5, 9 y 18 sean todas igualmente buenas y satisfactorias.

El problema de la obtención de una cobertura completa de la zona puede finalmente resolverse determinando, mediante el organigrama de la Fig. 15, las etapas siguientes:

Etapas 1: el factor de cobertura, $c_{(1)}$, cuando se utiliza un solo canal y cuando, en ausencia de ruido, no se tiene en cuenta más que la interferencia cocanal:

$$c_{(1)} = 2\pi r_{(1)}^2 / \sqrt{3} D^2$$

Etapas 2: el número mínimo de canales, $C_{mín}$, necesario para proporcionar una cobertura: $C_{mín} \cong 1,2/c_{(1)}$.

Etapas 3: la estructura geométrica más favorable (triángulos elementales, equiláteros o cuasiequiláteros) para $C_{mín}$ o valores un poco más elevados, si esto es útil o necesario.

Etapas 4: el sistema de distribución de canales más adecuado para la solución geométrica de la etapa 3 anterior.

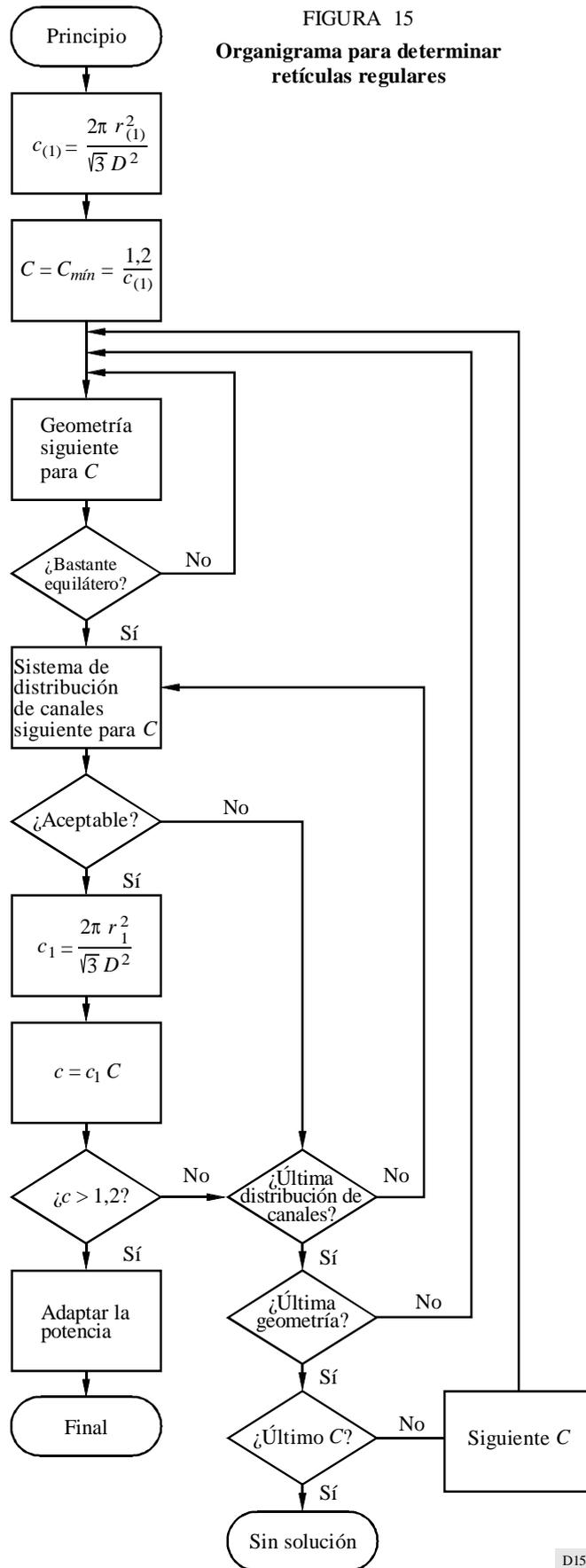
Etapas 5: el factor de cobertura c_1 , que se puede obtener con uno cualquiera de los C canales teniendo en cuenta todos los tipos de interferencia:

$$c_1 = 2\pi r_1^2 / \sqrt{3} D^2$$

Etapas 6: el factor de cobertura, c , que se puede obtener con todos los canales: $c = c_1 C$.

Etapas 7: el nivel de potencia necesario para una recepción exenta de ruido a una distancia r_1 del transmisor para aproximadamente el 90% de los emplazamientos:

FIGURA 15
Organigrama para determinar
retículas regulares



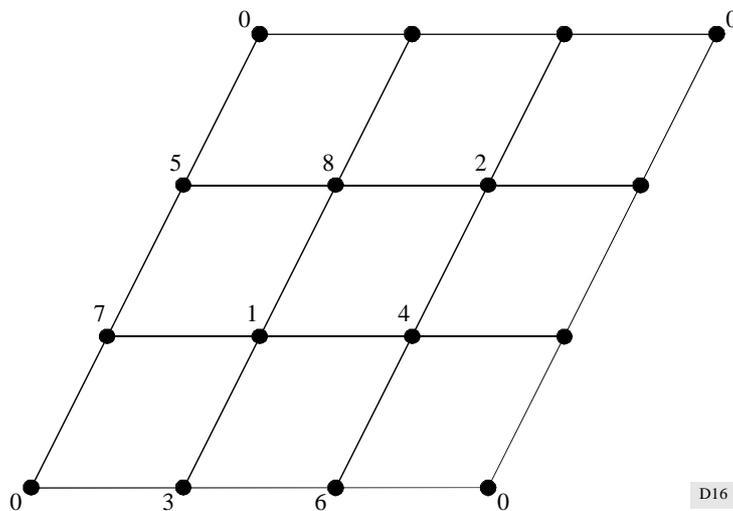
El primer método garantiza una cobertura idéntica para los P programas, dejando aparte excepciones específicas, tales como los niveles más bajos de interferencia por los canales adyacentes en los canales inferior y superior. Asegura además, una diferencia igual entre los números de los canales utilizados en cada emplazamiento, lo cual tiene ventajas e inconvenientes. El segundo método es más flexible, puesto que el número de retículas posibles aumenta con el número total de canales. Supone la agrupación de P asignaciones en cada emplazamiento de emisión. Estos emplazamientos deben ser elegidos de entre puntos muy próximos entre sí. Si se constituyen grupos de más de dos canales en cada emplazamiento y si los canales se obtienen a partir de transmisores alineados en la retícula, estarán, como en el primer caso, a distancias iguales los unos de los otros.

La agrupación realizada según el segundo método obliga a una cierta deformación de la retícula de base, lo cual no es necesariamente inconveniente, pero es claro que deberán ser no equiláteros los triángulos elementales resultantes de la agrupación, y no los de la retícula de base inicial. Por esto, pueden resultar interesantes las soluciones de base con triángulos elementales que están lejos de ser equiláteros.

5 Distribuciones no lineales

Se ha indicado anteriormente que las distribuciones no lineales de los canales pueden igualmente llevar a soluciones válidas, pero por lo general menos manejables. La Fig. 16 presenta un ejemplo de distribución no lineal basada en una retícula de 9 canales. Esta distribución tiene la particularidad de crear una retícula en la cual tanto los triángulos cocanal como los triángulos elementales son equiláteros, aunque 9 no sea un número rombo. Se puede ver cómo esta distribución no permite que la diferencia de números de canales sea constante en una dirección cualquiera de la retícula. De ello se sigue que los niveles de interferencia no serán necesariamente los mismos en todos los emplazamientos de los transmisores.

FIGURA 16
Ejemplo de retícula no lineal para 9 canales



D16

ANEXO 2

**Factores que limitan la planificación de frecuencias
(Sistemas de 625 líneas)****1 Introducción**

Para la planificación eficaz de los servicios de televisión terrenal en las bandas 47-68 MHz (Banda I), 174-230 MHz (Banda III) y 470-960 MHz (Bandas IV y V), quizás sea necesario tener en cuenta ciertos factores que limitan la utilización de frecuencias a fin de evitar la interferencia a otras transmisiones de televisión y asegurar la compatibilidad con otros servicios de radiodifusión, tales como el servicio de radiodifusión sonora en la banda 87,5-108 MHz.

El presente Anexo identifica los condicionantes que pueden resultar de las limitaciones técnicas en el diseño del receptor y de la transmisión de varios programas de televisión o de radiodifusión sonora desde el mismo emplazamiento o desde dos emplazamientos diferentes, pero cuyas zonas de servicio se superponen. Las transmisiones en el mismo canal, en el canal adyacente y en el canal imagen se tratan en la Recomendación UIT-R BT.655.

Las señales interferentes pueden mantenerse a niveles aceptables siempre que la distancia entre las estaciones transmisoras sea suficiente, pero la banda relativamente estrecha atribuida a la televisión impone la economía de frecuencias y exige la reutilización de canales a distancias lo más cortas posible.

No se tienen en cuenta las interferencias resultantes de la radiación de armónicos y de productos de intermodulación desde el emplazamiento transmisor, pues se admite que el organismo de radiodifusión puede tomar las precauciones necesarias para reducir esas radiaciones no esenciales a niveles aceptables.

2 Límites introducidos por los receptores de televisión**2.1 Radiación del oscilador local del receptor de televisión**

Los receptores superheterodinos crean posibilidades de interferencia que impiden la utilización de ciertos canales. Los osciladores locales, salvo los del sistema L y algunos receptores del sistema K1, funcionan en frecuencias situadas entre 38,0 y 40,2 MHz por encima de la portadora de imagen de la señal deseada. Por consiguiente, si la separación entre canales es de 7 u 8 MHz y el canal n se utiliza para un servicio, la elección del canal $n + 4$ o $n + 5$ para un servicio próximo que depende del sistema utilizado (véase el Cuadro 1), provocaría la aparición de interferencias causadas por los osciladores locales de los receptores sintonizados en el canal n . Para el sistema L y algunos receptores del sistema K1, el oscilador local funciona a una frecuencia inferior en 32,7 MHz a la de la portadora de imagen de la señal deseada, y el canal interferido en este caso es el canal $n - 4$.

La información precedente ha sido tomada del Informe UIT-R BT.625.

Además, con esta diferencia en los números de los canales, se puede producir interferencia debida a los batidos de la frecuencia intermedia. En la práctica, la importancia de estos problemas disminuye gradualmente con la mejora de las técnicas de recepción.

La radiación de los receptores de televisión en la banda 47-68 MHz puede influir en la recepción de la radiodifusión con modulación de frecuencia en la B.m, lo que se produce cuando la frecuencia del oscilador local del receptor de televisión está próxima a la de la portadora de un transmisor de radiodifusión con modulación de frecuencia en la B.m.

2.2 Canal imagen

La interferencia por el canal imagen se produce cuando la diferencia de frecuencia entre las dos transmisiones es aproximadamente el doble de la frecuencia intermedia. El canal imagen que afecta a los receptores sintonizados en el canal n sería el canal $n + 9$, salvo en el caso del sistema B ($n + 10$), de los sistemas D y K ($n + 8$ y $n + 9$), del sistema K1 ($n + 9$ y $n + 10$) y del sistema L ($n - 9$).

Aunque la mejora de las características de rechazo del canal imagen de los modernos receptores minimiza el problema, el rechazo no es completo y la situación se debe evitar cuando se prepara un plan de frecuencias. La interferencia del canal imagen no plantea problemas en las Bandas I y III.

2.3 Armónicos de los osciladores locales de receptores de radiodifusión con modulación de frecuencia en la banda de ondas métricas

El segundo y tercer armónicos de los osciladores locales de los receptores MF en la B.m, según que la frecuencia del oscilador local sea respectivamente superior o inferior, pueden caer en la Banda III. Sería pues preferible escoger las frecuencias de transmisión de radiodifusión MF en la B.m y los canales de televisión de forma que no se produzca esa situación, pero por lo general no se puede tener en cuenta esta circunstancia al establecer el plan de frecuencias.

2.4 Armónicos y productos de intermodulación debidos a la saturación de los receptores

Las señales de radiodifusión MF en la B.m y/o de televisión de nivel elevado pueden dar lugar a no linealidades en el paso de entrada del receptor, lo que produce armónicos y productos de intermodulación. Es imposible tener en cuenta estos mecanismos de interferencia cuando se elabora un plan de frecuencias. Los posibles problemas se resolverán a medida que surjan, por ejemplo, utilizando en recepción filtros de ranura y atenuadores.

3 Limitaciones debidas al sistema de antena de transmisión

Es frecuente que los transmisores de televisión coubicados utilicen un sistema común de antenas. La mínima separación de frecuencia posible viene determinada por las limitaciones en el diseño práctico del combinador.

A efectos de planificación, la mínima separación de frecuencia no debe ser generalmente inferior a dos canales en las Bandas I y III y a tres canales en las Bandas IV y V. Es técnicamente posible concebir combinadores que funcionen con diferencias de frecuencia tan sólo de dos canales en las Bandas IV y V; sin embargo, pueden resultar más costosos, particularmente en el caso de transmisores de alta potencia.

En teoría, es posible asignar canales adyacentes a transmisores en una misma ubicación a condición de que la polarización de las emisiones sea ortogonal y que la potencia radiada aparente (p.r.a.) sea similar. Sin embargo, se plantearán seguramente problemas técnicos importantes en la ubicación del transmisor. Además, se prevén problemas graves en las instalaciones receptoras que tienen que utilizar sistemas de antenas separados para recibir las dos señales.

4 Conclusiones aplicables a los procedimientos de planificación de la televisión

En el Cuadro 1 siguiente se indica, para los diferentes sistemas de televisión, las diferencias en números de canales que hay que evitar en el caso de transmisores coubicados, debido a la radiación de los osciladores locales o a la interferencia del canal imagen. Se considera que los problemas son menos graves en el caso de los transmisores situados en ubicaciones distintas con zonas de cobertura que se superponen parcialmente. Sería sin embargo prudente evitar estas relaciones entre canales en la planificación inicial.

CUADRO 1

Sistema	Número de canales de diferencia	
	Radiación del oscilador local	Interferencia del canal imagen
Bandas I y III		
B, I, K1	5	–
D, L, K1 ⁽¹⁾	4	–
Bandas IV y V		
B	5	10
D, K	4	8, 9
G, H, I	5	9
K1	5	9, 10
L, K1 ⁽¹⁾	4	9

⁽¹⁾ Si la frecuencia del oscilador local es la misma que la del sistema L.

Hay que tener en cuenta que estas limitaciones se refieren a una separación uniforme de canales para toda la zona de planificación. En el caso de transmisores que utilizan diferentes sistemas y/o diferentes separaciones entre los canales con zonas de cobertura que se superponen, es necesario realizar una investigación detallada caso por caso.

