

## RECOMENDACIÓN UIT-R BS.598-1\*

**Factores que influyen en los límites de la zona de cobertura en radiodifusión sonora con modulación de amplitud en la banda 6 (ondas hectométricas)**

(1982-1990)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que, en una banda de frecuencia dada, no es posible mejorar la cobertura en radiodifusión sonora con modulación de amplitud más allá de un determinado límite impuesto por factores físicos y técnicos;
- b) que, en una determinada banda de frecuencias, la mejora de la cobertura está directamente relacionada con una utilización más eficaz del espectro;
- c) que la utilización más eficaz del espectro únicamente puede obtenerse de la manera siguiente:
  - aumentando al máximo la eficacia de todos los transmisores integrados en la red considerada;
  - reduciendo al mínimo posible los efectos de la interferencia de todos los transmisores de dicha red;
  - eligiendo una anchura apropiada para el canal;
  - disponiendo los canales radioeléctricos de manera que se reduzca al mínimo posible la interferencia en la red;
- d) que se puede definir un factor de cobertura que represente la eficacia de la utilización del espectro radioeléctrico;
- e) que entre los factores que influyen en la cobertura en radiodifusión en la banda 6 (ondas hectométricas) figuran:
  - la intensidad de campo mínima utilizable;
  - el nivel de potencia de las emisiones de la red;
  - las relaciones de protección en radiofrecuencias;
  - la distancia entre los transmisores que utilizan el mismo canal;
  - la separación entre canales;
  - la anchura de banda de la emisión;
  - la propagación de las ondas y los factores que influyen en la propagación;
  - la distribución de los canales,

*recomienda*

que en la planificación de las frecuencias y en la solución de los problemas de asignación de frecuencia en la banda 6 (ondas hectométricas) se aprovechen los conocimientos que se tienen en la actualidad acerca de las relaciones entre los diversos factores que influyen en la cobertura en radiodifusión, que se describen en el Anexo 1.

---

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

Las informaciones contenidas en el Anexo 1 se han obtenido a partir del estudio de redes regulares, con una distribución lineal de los radiocanales, y sólo tienen en cuenta antenas de transmisión omnidireccionales.

Los aspectos prácticos de la cobertura en ondas hectométricas se indican en los Anexos 2, 3, 4 y 5.

## ANEXO 1

### 1 Introducción

En el curso del decenio anterior a la Conferencia Administrativa Regional de Radiodifusión por ondas kilométricas y hectométricas para las Regiones 1 y 3 (Ginebra, 1974-75), se estudiaron detenidamente en diversos países los factores que influyen en los límites de la zona de cobertura en radiodifusión sonora y sus relaciones. Los resultados obtenidos hasta la fecha permiten hacerse una idea bastante exacta de este problema y parecen representar incluso una respuesta concluyente al mismo.

Por razones evidentes, habida cuenta de la limitación de la banda de ondas hectométricas atribuida al servicio de radiodifusión, en los estudios se supuso que ningún canal se atribuiría exclusivamente a un solo transmisor en todo el mundo. Sin embargo, la asignación de un mismo canal a varios transmisores, que se supone suficientemente distantes entre sí, suscita inevitablemente problemas de interferencia cocanal.

### 2 Definición del factor de cobertura

En primer lugar se supone que, en una zona de extensión infinita, todos los transmisores (en número infinito) funcionan en la misma frecuencia con la misma potencia  $p$  (kW). La distancia entre transmisores adyacentes es  $D$  (km). En esta red de transmisores que funcionan en el mismo canal (transmisores cocanal), se logra una densidad máxima cuando cada conjunto de tres transmisores adyacentes forma un triángulo equilátero cuyos lados tienen una longitud igual a  $D$  (véase la Fig. 1), y se supone que, en estas condiciones, la utilización del espectro es casi óptima. En presencia de ruido y de interferencia proveniente de las estaciones cocanal circundantes, el alcance  $R$  (km) de cada transmisor depende de:

- la frecuencia;
- las características de propagación que afectan a la intensidad de campo de las señales deseada ( $E_w$ ) e interferente ( $E_i$ );
- la intensidad de campo mínima utilizable ( $E_{min}$ );
- las relaciones de protección en radiofrecuencia ( $a_i$ ).

El alcance o radio de cobertura es la distancia, desde el transmisor deseado, a la cual la intensidad de campo producida por el transmisor deseado es igual a la intensidad de campo utilizable  $E_u$ :

$$E_u = E_w = \sqrt{E_{min}^2 + \sum_{i=1}^n (E_i \times a_i)^2} \quad (\text{véase el Informe UIT-R BS.945})$$

NOTA – Cuando la intensidad de campo o la relación de protección se expresa en dB( $\mu$ V/m) o dB, respectivamente, la conversión puede efectuarse mediante las siguientes fórmulas:

$$\underline{E}(\mu\text{V/m}) = 10^{\frac{E(\text{dB}(\mu\text{V/m}))}{20}} \quad a = 10^{\frac{A(\text{dB})}{20}}$$

En ausencia de ruido, o cuando la interferencia predomina mucho, el alcance no depende del nivel de potencia del transmisor, pero sí en el caso opuesto.

De una forma general, el factor de cobertura,  $c$ , puede definirse como la relación entre la suma de las superficies  $S_n$  cubiertas por cada emisor trabajando en la misma frecuencia sobre una zona muy extensa y la superficie total,  $S$ , de la zona:

$$c = \sum S_n / S$$

Para determinar el factor de cobertura, en el caso teórico de una red regular la zona de extensión infinita se subdivide en zonas unitarias, cada una de las cuales se compone de dos triángulos equiláteros que tienen un lado común. En estas condiciones, cada zona unitaria corresponde a uno solo de los transmisores cocanal (véase la Fig. 1). Así, el factor de cobertura (por canal) puede definirse:

- ya sea como la relación entre la zona de cobertura  $\pi R^2$  y la zona unitaria  $1/2 \sqrt{3} D^2$  (cobertura en superficie):

$$c = \frac{2\pi}{\sqrt{3}} \left(\frac{R}{D}\right)^2 \times 100 \quad (\%)$$

- ya sea como la relación entre las poblaciones de las dos zonas mencionadas más arriba (cobertura demográfica).

En el resto del Anexo 1 se utilizará la noción de cobertura en superficie, ya que para poder utilizar el concepto de cobertura demográfica habría que disponer de más información sobre la distribución de la población, lo que dificultaría la realización de un estudio de carácter general.

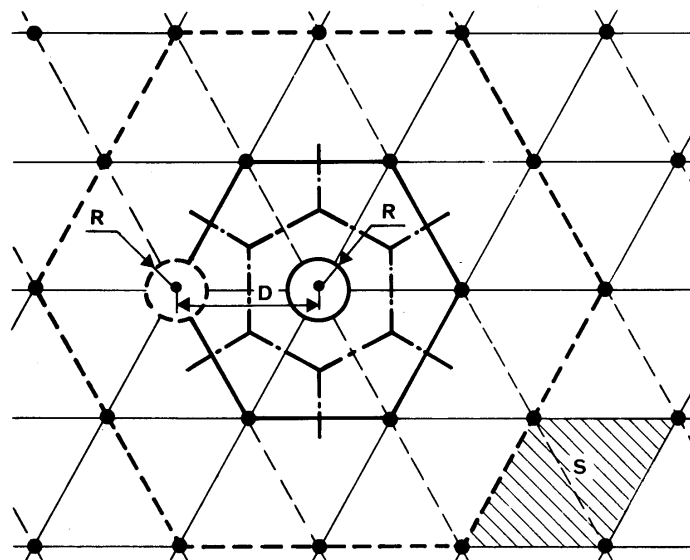


FIGURA 1 - Reticula regular del emplazamiento de los transmisores

D: Distancia entre transmisores cocanal  
 R: Radio de cobertura o alcance  
 S: Zona unitaria

También debe tenerse en cuenta la influencia de los demás canales en su capacidad de fuentes posibles de interferencia (por ejemplo, canales adyacentes, canal segundo). En principio, en una zona unitaria, cada canal puede asignarse a un solo transmisor. Según se desee o no la cobertura uniforme, los canales tendrán que distribuirse uniformemente dentro de la zona unitaria, de una manera geoméricamente regular y según un plan apropiado (por ejemplo, lineal) de distribución de canales, o – en el caso de una cobertura irregular – tendrán que disponerse de una manera diferente pero manteniendo una distancia suficientemente grande entre los transmisores que puedan causar o sufrir interferencia.

El factor de cobertura  $c$  se expresa normalmente en porcentaje. Si la cobertura de zona que puede obtenerse con todos los canales disponibles en la banda 6 (ondas hectométricas) excede la unidad (100%), este número representa, por término medio, el número de programas que pueden recibirse en cualquier punto de toda la zona considerada.

### 3 Factor de cobertura $c$ , en función de la distancia $D$ entre los transmisores cocanal

#### 3.1 Generalidades

Para establecer curvas que muestren la dependencia del factor de cobertura  $c$  con respecto a la distancia  $D$  entre transmisores cocanal, siendo variables los demás parámetros, se utilizaron dos métodos diferentes A y B, que tienen, sin embargo, las siguientes bases comunes:

- transmisores de igual potencia  $p$ ;
- curvas de propagación de la onda de superficie según la Recomendación UIT-R P.368;
- curvas de propagación de la onda ionosférica según la Recomendación UIT-R P.1147, véase también el Manual del UIT-R – La ionosfera y sus efectos en la propagación de la ondas radioeléctricas;
- radiación constante en todas las direcciones azimutales y en todos los ángulos de elevación.

Los dos métodos, A y B, difieren con relación a los siguientes parámetros:

*Método A (los resultados aparecen en la Fig. 2):*

- el nivel de potencia permanece inalterado ( $p = 1$  kW);
- no existe limitación a causa del ruido ( $E_{min} = -\infty$  dB);
- la relación de protección en radiofrecuencia varía, en escalones de 5 dB, entre los límites  $A = 20$  dB y  $A = 45$  dB;
- la conductividad del suelo es  $\sigma = 3 \times 10^{-3}$  S/m.

*Método B (los resultados aparecen en las Figs. 3 y 4):*

- el nivel de potencia varía, en escalones de 5 dB, entre los límites  $p = 1$  kW y  $p = 1\,000$  kW;
- la intensidad de campo mínima utilizable es  $E_{min} = 60$  dB( $\mu$ V/m);
- las relaciones de protección en radiofrecuencia son  $A = 40, 30$  ó  $27$  dB;
- los valores de conductividad del suelo son  $\sigma = 10^{-3}, 3 \times 10^{-3}$  ó  $10^{-2}$  S/m.

De hecho, se ha estudiado también el empleo sistemático de antenas directivas para el método B. Los resultados obtenidos indican que, en estas condiciones, no cabe esperar una mejora sustancial en la eficacia de utilización del espectro. Esto no significa, sin embargo, que no haya ninguna ventaja en emplear, en una gran proporción, antenas directivas con diagramas de radiación horizontal acordes con las condiciones particulares en materia de interferencia y cobertura (véase el Anexo 2).

### 3.2 Resultados obtenidos con un modelo de Tierra plana

Las curvas de las Figs. 2, 3 y 4 se presentan a título de ejemplo. Muestran la dependencia del factor de cobertura  $c$  con respecto a la distancia entre transmisores cocanal  $D$  y para una frecuencia de 1 MHz, en diversas condiciones. Las Figuras tienen en cuenta los transmisores cocanal interferentes de los dos hexágonos más cercanos al transmisor deseado (véase la Fig. 1). Es decir, que en los cálculos se ha incluido la interferencia proveniente de 18 estaciones, esto es, 6 estaciones a cada una de las distancias  $D$ ,  $D\sqrt{3}$  y  $2D$ . Por razones de simetría, para el alcance se tomó la media cuadrática de los valores obtenidos para dos direcciones azimutales significativas:

- la dirección hacia las estaciones interferentes situadas a las distancias  $D$  y  $2D$ ,
- la dirección hacia la estación interferente a la distancia  $\sqrt{3}D$ .

En particular, la Fig. 2 muestra los resultados obtenidos con el método A y es válida cuando la interferencia por onda ionosférica limita la cobertura por onda de superficie y cuando, en ausencia de ruido, no existe dependencia de la potencia. El parámetro indicado en las curvas es la relación de protección en radiofrecuencia  $A$ . También se muestra, en decibelios con relación a  $1\ \mu\text{V/m}$ , la intensidad de campo  $E_1$ , del transmisor deseado en el límite de la zona de cobertura, para una potencia de transmisión de 1 kW con una antena vertical corta. Por ejemplo, los puntos de intersección de la curva formados por puntos y rayas para  $E_1 = 40\ \text{dB}$ , con las curvas  $c = f(D)$ , para  $A = 20\ \text{dB}$  derivadas para una interferencia por onda ionosférica del tipo 1 (línea de trazo continuo) o del tipo 2 (línea de trazo discontinuo), significan que si la distancia cocanal es  $D$  (abscisas de los puntos de intersección, es decir, 2800 km o 4800 km respectivamente), para una relación de protección  $A = 20\ \text{dB}$ , la intensidad de campo en el límite de la zona, donde la relación de protección en radiofrecuencia es  $\geq 20\ \text{dB}$ , es igual a  $0,1\ \text{mV/m}$ .

La Fig. 2 demuestra que:

- el factor de cobertura aumenta cuando los valores de la relación de protección en radiofrecuencia disminuyen, con independencia del tipo de propagación de las señales interferentes por onda ionosférica;
- la forma general de las curvas varía considerablemente según el tipo de propagación;
- para distancias superiores a unos 1500 km, el factor de cobertura aumenta cuando la propagación de la onda ionosférica interferente es del tipo 1;
- para una propagación del tipo 2, el factor de cobertura es en gran medida independiente de la distancia cocanal;
- no existe una separación óptima clara entre transmisores cocanal mientras no existan limitaciones por ruido.

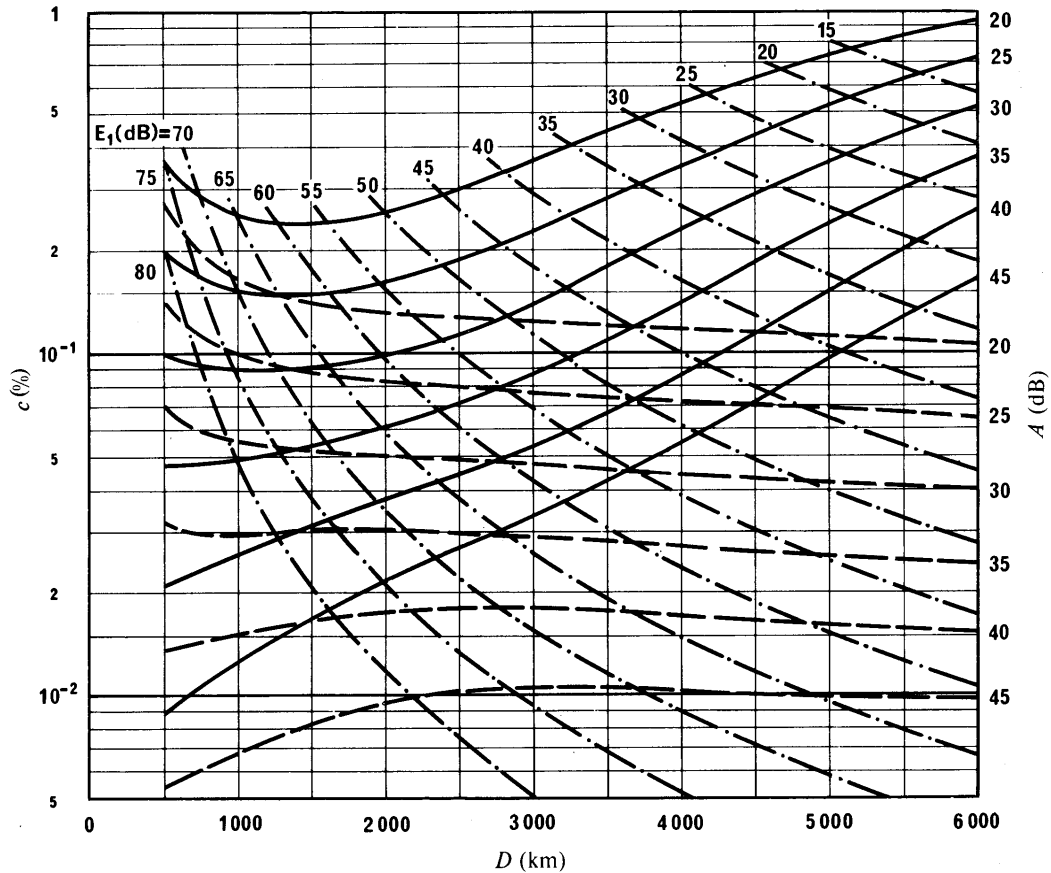


FIGURA 2 – Factor de cobertura por canal ( $c$ ) en función de la distancia entre transmisores cocanal ( $D$ ) para diversas condiciones de propagación

Parámetros: – relación de protección en radiofrecuencia,  $A$   
 – intensidad de campo del transmisor deseado en el límite de la zona de cobertura,  $E_1$ ; ( $p = 1$  kW)

Condiciones de propagación:  
 – señal útil: onda de superficie ( $\sigma = 3 \times 10^{-3}$  S/m) (Recomendación UIT-R P.368)  
 – señales interferentes: onda ionosférica: Recomendación UIT-R P.1147

Sin limitación de cobertura por el ruido

0598-02

Las curvas de las Figs. 2, 3 y 4 ilustran los resultados obtenidos con el método B y muestran la influencia de la potencia  $p$  (que es el parámetro indicado en las curvas), en presencia de ruido, para los tres valores de relación de protección mencionados más arriba. El factor de cobertura  $c$  se ha representado en escala logarítmica para facilitar en cada una de las Figuras la comparación entre los cinco ejemplos presentados:

- servicio por onda de superficie interferido por señales de onda de superficie (condiciones diurnas): grupo de curvas A;
- servicio por onda de superficie interferido por señales de onda ionosférica (condiciones nocturnas) para los dos tipos de curvas de propagación de la onda ionosférica en estudio: grupos de curvas B<sub>1</sub> y B<sub>2</sub>;
- servicio por onda ionosférica interferido por señales de onda ionosférica (condiciones nocturnas) para los dos tipos de curvas de propagación de la onda ionosférica en estudio: grupos de curvas C<sub>1</sub> y C<sub>2</sub>;

Las Figs. 3 y 4 muestran que, en presencia de ruido:

- la separación óptima entre los transmisores cocanal varía considerablemente con la potencia del transmisor;
- la separación óptima es totalmente diferente en condiciones diurnas y nocturnas;
- la cobertura es mínima cuando un servicio por onda de superficie se ve interferido por señales de onda ionosférica de los transmisores no deseados.

Las Figuras muestran también que, cuando las distancias entre transmisores cocanal son inferiores a la distancia óptima, predomina la interferencia, de modo que el incremento de la potencia no aporta sino un beneficio limitado y una reducción de la potencia puede no entrañar ninguna pérdida de cobertura.

También puede verse que, cuando la onda ionosférica es del tipo 1:

- las separaciones óptimas entre los transmisores cocanal no son muy diferentes, en condiciones nocturnas, para un servicio por onda de superficie y por onda ionosférica;
- al menos con transmisores de alta potencia ( $p \geq 30$  kW), un servicio por onda ionosférica proporcionará una cobertura similar a la de un servicio por onda de superficie durante el día.

Pero los resultados son considerablemente diferentes cuando la propagación de la onda ionosférica es del tipo 2. En este caso:

- las eventuales separaciones óptimas entre los transmisores cocanal son perceptiblemente diferentes en condiciones nocturnas para un servicio por onda de superficie y un servicio por onda ionosférica;
- la cobertura para un servicio por onda ionosférica será en todo caso inferior a la de un servicio por onda de superficie durante el día.

Por último, según la conductividad del suelo, la cobertura por onda de superficie durante la noche puede aumentar, para distancias cortas, al disminuir la distancia entre transmisores cocanal. Este efecto entraña una mayor cobertura cuando las distancias entre transmisores cocanal son menores, mientras que los alcances se reducen a unos pocos kilómetros únicamente.

De las Figs. 3a y 3b puede deducirse la influencia que tiene la relación de protección en radiofrecuencia sobre la cobertura, mientras que la comparación de las Figs. 3b, 4a y 4b permite determinar la influencia de la conductividad del suelo.

Como es de prever, el aumento de la relación de protección se traduce en una reducción de la cobertura, lo que, al menos en parte, puede compensarse aumentando la distancia entre transmisores cocanal. Esta pérdida de cobertura es particularmente pronunciada en el caso del servicio nocturno por onda ionosférica obtenido con las curvas del tipo 2.

Análogamente, al disminuir la conductividad del suelo, se reduce la cobertura por onda de superficie, tanto de día como de noche. Esto puede remediarse en cierta medida reduciendo la distancia entre transmisores cocanal, pero únicamente en condiciones diurnas. Como es natural, la conductividad del suelo no tiene efecto alguno sobre la cobertura por onda ionosférica.

### 3.3 Resultados obtenidos con un modelo de Tierra esférica

En el caso de interferencia por ondas ionosféricas, ya sea en el servicio por onda de superficie o bien en el servicio por onda ionosférica, las distancias más adecuadas entre los transmisores que trabajan en un mismo canal, son del orden del radio de la Tierra, de modo que es preciso tener en cuenta la forma esférica de la Tierra. Así se ha hecho, estudiándose únicamente el caso del servicio por onda ionosférica, habiéndose tenido en cuenta la interferencia eventual de los transmisores cocanal más próximos, todos ellos equidistantes.

Se ha tratado de cubrir una esfera mediante una red de triángulos esféricos equiláteros. Puede demostrarse que esto puede conseguirse substituyendo, en una primera aproximación, la esfera por un poliedro: entre ellos, el tetraedro, el octaedro y el icosaedro, dan superficies formadas por 4, 8 y 20 triángulos equiláteros, respectivamente. Estos triángulos pueden extenderse sobre una superficie plana, pudiéndose conseguir entonces sin dificultad una distribución lineal de los canales.

Sin embargo, cuando se reconstruyen los poliedros, ciertos triángulos tendrán vértices o lados comunes con otros triángulos, de los que estaban separados en el desarrollo sobre el plano. En estos grupos de triángulos la distribución de canales no es necesariamente lineal, por lo que existirán restricciones en la utilización de los canales que figuren en estos triángulos. El porcentaje máximo de triángulos no utilizables, en relación con el número total, será, como máximo, del 40% en el caso del icosaedro, del 25% en el caso del octaedro y del 50% en el caso de tetraedro. Ahora bien, en la mayoría de los casos pueden no tenerse en cuenta estos triángulos, puesto que las tierras ocupan solamente un tercio de la superficie del globo. Por consiguiente, siempre es posible utilizar los resultados obtenidos considerando redes planas.

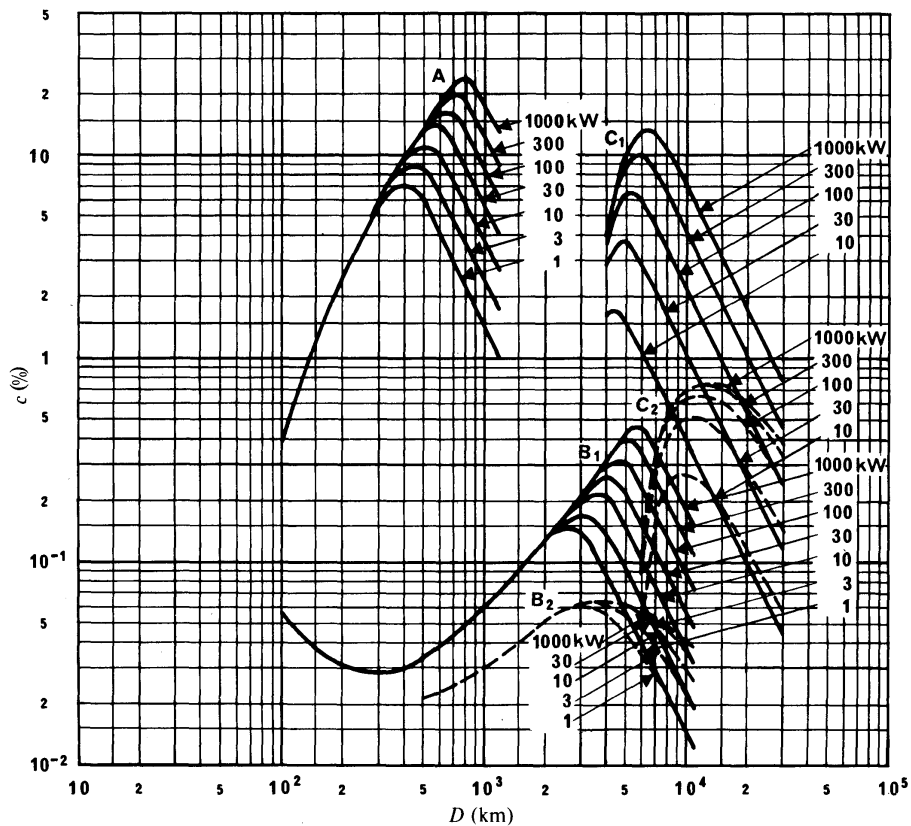


FIGURA 3a – Factor de cobertura por canal ( $c$ ) en función de la distancia entre transmisores cocanal ( $D$ ) para diversas condiciones de propagación

Parámetro: p.r.a.v. del transmisor,  $p$  (kW); ( $p$  es constante para todos los ángulos de elevación)

Familias de curvas ( $f = 1$  MHz):

- A: Servicio por onda de superficie en condiciones diurnas
- B: Servicio por onda de superficie en condiciones nocturnas
- C: Servicio por onda ionosférica en condiciones nocturnas

Condiciones de propagación:

- onda de superficie: Recomendación UIT-R P.368
- onda ionosférica: Recomendación UIT-R P.1147

Intensidad de campo mínima utilizable:  $E_{min} = 60$  dB( $\mu$ V/m)

Conductividad del suelo:  $\sigma = 10^{-2}$  S/m

Relación de protección:  $A = 40$  dB



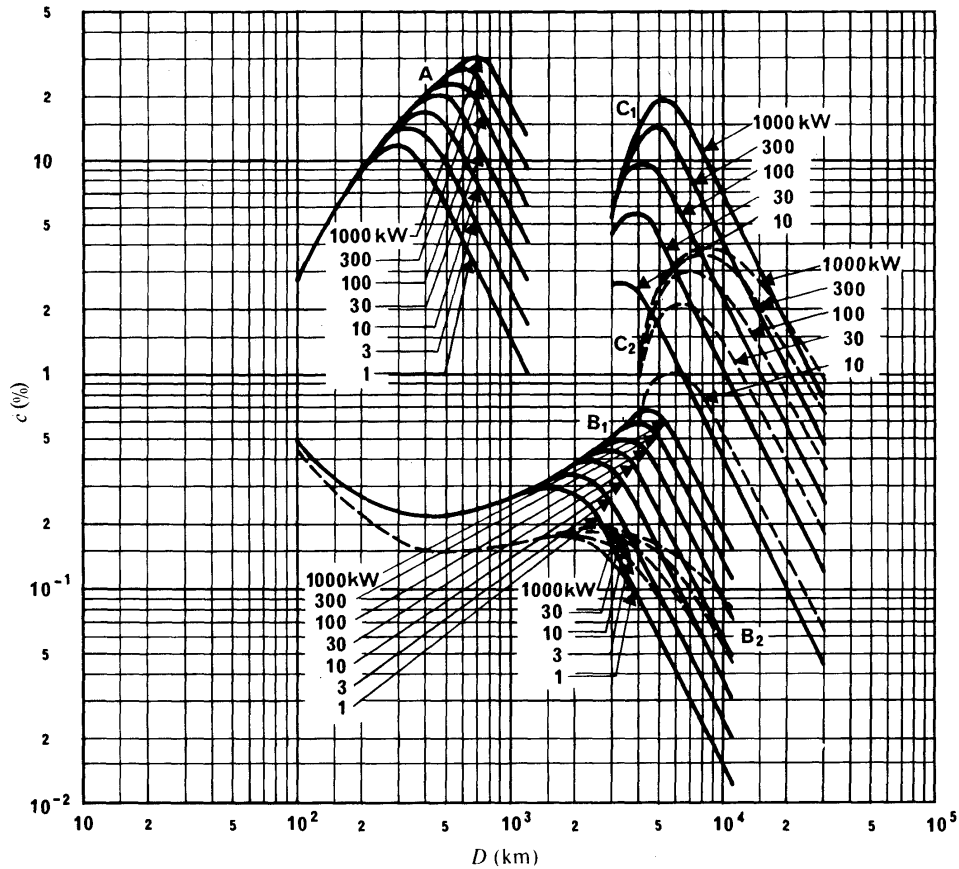


FIGURA 3b – Factor de cobertura por canal ( $c$ ) en función de la distancia entre transmisores cocanal ( $D$ ) para diversas condiciones de propagación

Parámetro: p.r.a.v. del transmisor,  $p$  (kW); ( $p$  es constante para todos los ángulos de elevación)

Familias de curvas ( $f = 1$  MHz):

- A: Servicio por onda de superficie en condiciones diurnas
- B: Servicio por onda de superficie en condiciones nocturnas
- C: Servicio por onda ionosférica en condiciones nocturnas

Condiciones de propagación:

- onda de superficie: Recomendación UIT-R P.368
- onda ionosférica: Recomendación UIT-R P.1147

Intensidad de campo mínima utilizable:  $E_{min} = 60$  dB( $\mu$ V/m)

Conductividad del suelo:  $\sigma = 10^{-2}$  S/m

Relación de protección:  $A = 30$  dB

0598-03b

Si se supone que para cubrir las superficies terrestres se utilizará en realidad un 50% de las superficies triangulares y se tiene en cuenta que en cada dos superficies triangulares se utiliza el número total de canales disponibles, es evidente que en estas circunstancias cada canal puede utilizarse exactamente 0,25 veces el número de planos triangulares existentes. Cabe señalar que esta restricción en el empleo de cualquier canal es imputable exclusivamente a la extensión y a las propiedades de la superficie de la Tierra, y que las distancias entre transmisores cocanal resultantes de la elección del poliedro serían de unos 12 740 km, 10 000 km y 7 050 km para un tetraedro, un octaedro y un icosaedro, respectivamente. Pueden obtenerse distancias más pequeñas entre transmisores cocanal y, por consiguiente, un número mayor de transmisores cocanal, subdividiendo los triángulos equiláteros esféricos en triángulos más pequeños, aunque éstos sólo serán equiláteros después de su desarrollo en un plano.

Es posible mostrar ahora, como resultado final, en un solo diagrama, la relación completa entre:

- el número de transmisores,  $b$ , que utilizan el mismo canal;
- la distancia entre transmisores cocanal,  $D$ ;
- la potencia necesaria del transmisor,  $P$ , y
- el factor de cobertura,  $c$ , que se puede obtener.

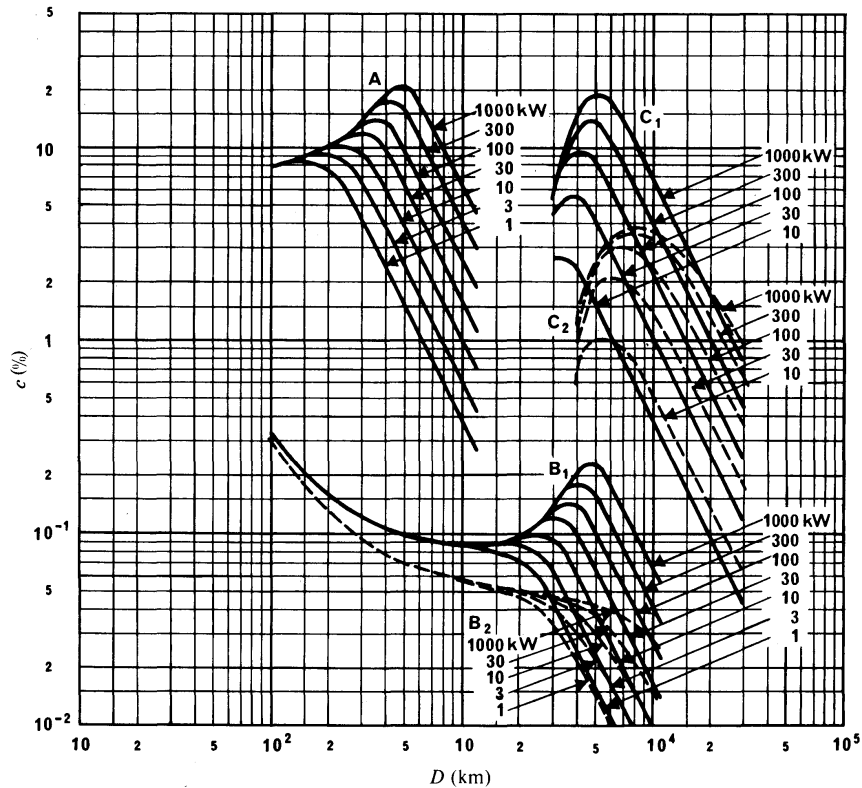


FIGURA 4a – Factor de cobertura por canal ( $c$ ) en función de la distancia entre transmisores cocanal ( $D$ ) para diversas condiciones de propagación

Parámetro: p.r.a.v. del transmisor,  $p$  (kW); ( $p$  es constante para todos los ángulos de elevación)

Familias de curvas ( $f = 1$  MHz):

- A: Servicio por onda de superficie en condiciones diurnas
- B: Servicio por onda de superficie en condiciones nocturnas
- C: Servicio por onda ionosférica en condiciones nocturnas

Condiciones de propagación:

- onda de superficie: Recomendación UIT-R P.368
- onda ionosférica: Recomendación UIT-R P.1147

Intensidad de campo mínima utilizable:  $E_{min} = 60$  dB( $\mu$ V/m)

Conductividad del suelo:  $\sigma = 3 \times 10^{-3}$  S/m

Relación de protección:  $A = 30$  dB

0598-04a

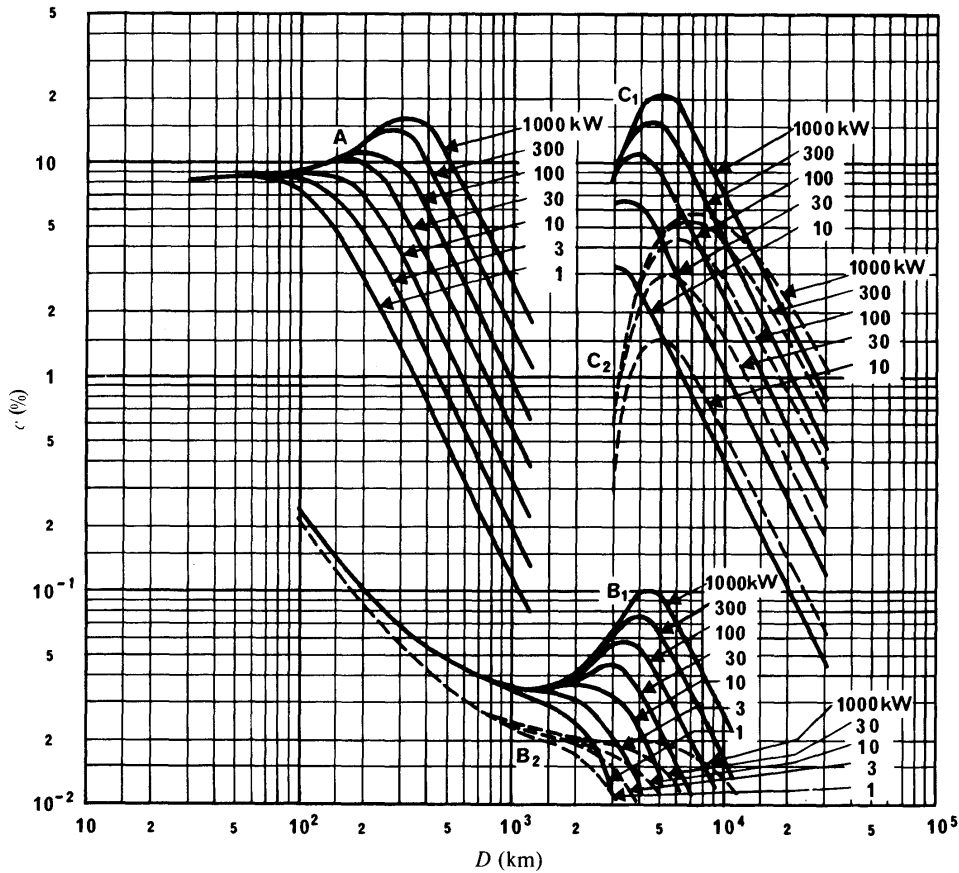


FIGURA 4b – Factor de cobertura por canal ( $c$ ) en función de la distancia entre transmisores cocanal ( $D$ ) para diversas condiciones de propagación

Parámetro: p.r.a.v. del transmisor,  $p$  (kW); ( $p$  es constante para todos los ángulos de elevación)

Familias de curvas ( $f = 1$  MHz):

- A: Servicio por onda de superficie en condiciones diurnas
- B: Servicio por onda de superficie en condiciones nocturnas
- C: Servicio por onda ionosférica en condiciones nocturnas

Condiciones de propagación:

- onda de superficie: Recomendación UIT-R P.368
- onda ionosférica: Recomendación UIT-R P.1147

Intensidad de campo mínima utilizable:  $E_{min.} = 60$  dB( $\mu$ V/m)

Conductividad del suelo:  $\sigma = 10^{-3}$  S/m

Relación de protección:  $A = 27$  dB

0598-04b

La Fig. 5 ilustra este resultado. Debe advertirse que el valor absoluto que se fije para cualquiera de estos parámetros determinará los valores de todos los demás. Cuando se utiliza la Fig. 5 conviene tener presente que la misma sólo puede dar una idea aproximada de estas relaciones.

Utilizando las mismas hipótesis que en el caso anterior, se ha calculado, en un estudio complementario, el efecto de la relación de protección en radiofrecuencia sobre el factor de cobertura. Los resultados se indican en la Fig. 6 y ponen de manifiesto que el factor de cobertura aumenta más rápidamente cuando los valores de la relación de protección en radiofrecuencia disminuyen, para una distancia reducida entre los transmisores que funcionan en la misma frecuencia. Por ejemplo, para una distancia de 3 000 km, el factor de cobertura es 100 veces mayor cuando la relación de protección en radiofrecuencia es de 20 dB que cuando es de 40 dB.

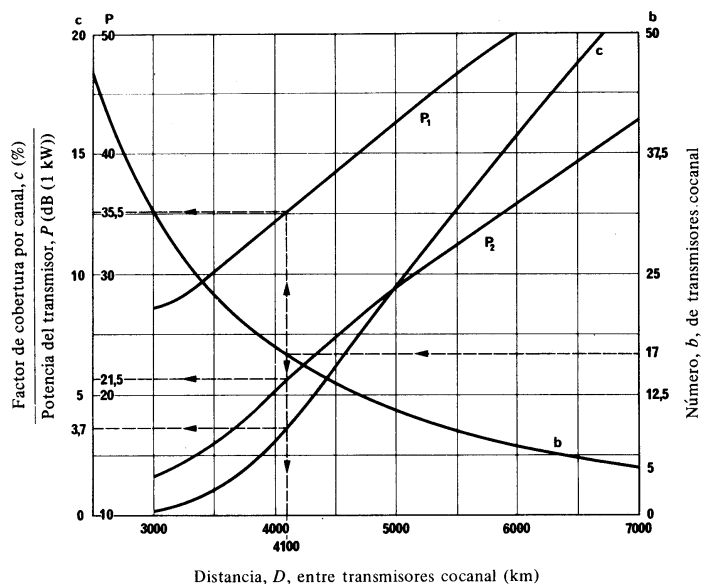


FIGURA 5 – Número  $b$  de transmisores, potencia  $P$  del transmisor y factor  $c$  de cobertura por transmisor en función de la distancia  $D$  entre transmisores cocanal

- Curvas  $P_1$ : Potencia del transmisor (dB (1 kW)) para  $E_{min} = 74$  dB( $\mu$ V/m)  
 $P_2$ : Potencia del transmisor (dB (1 kW)) para  $E_{min} = 60$  dB( $\mu$ V/m)  
 $b$ : Número de transmisores cocanal  
 $c$ : Porcentaje del factor de cobertura por canal  
 Relación de protección en radiofrecuencia: 40 dB  
 Frecuencia  $f$ : 1 MHz

*Ejemplo:*

Si el número  $b$  de transmisores que comparten el mismo canal es de 17, la distancia  $D$  entre los transmisores de este canal será de 4100 km, el factor  $c$  de cobertura por canal será de 3,7% y la p.r.a.v. de cada transmisor para que la cobertura quede limitada por las interferencias (más bien que por el ruido) será de:

$$P = 21,5 \text{ (dB (1 kW)) para } E_{min} = 60 \text{ dB}(\mu\text{V/m})$$

$$\text{o}$$

$$P = 35,5 \text{ (dB (1 kW)) para } E_{min} = 74 \text{ dB}(\mu\text{V/m})$$

D07-sc

#### 4 Factor de cobertura en función de la separación entre canales

La UER y Japón han investigado la influencia de la separación entre canales en la cobertura de zona en ondas hectométricas, para los servicios tanto por onda de superficie como por onda ionosférica durante la noche, para separaciones entre canales entre 5 y 10 kHz. Los estudios se basaron en distribuciones regulares de los canales y en la curva de relación de protección en radiofrecuencia de la Recomendación UIT-R BS.560. Además, se supuso que el número de transmisores  $N$  en una zona determinada permanecía constante cuando se hacía variar la separación entre canales; se tomó como hipótesis la región formada por las Zonas Europea y Africana de Radiodifusión (aproximadamente  $42 \times 10^6$  km<sup>2</sup>). Se realizaron estudios análogos en la URSS basados, sin embargo, en una curva de relaciones de protección en radiofrecuencia de receptores de alta calidad con anchuras de banda ajustables, que son de uso corriente en dicho país. Se calculó la cobertura de zona total, con varias hipótesis, y algunos de los resultados obtenidos por la UER y Japón se presentan en la Fig. 7 (servicio por onda de superficie) y en la Fig. 8 (servicio por onda ionosférica), que muestran el factor de cobertura en función de la separación entre canales entre los límites indicados, para diversos números de asignaciones de frecuencia como parámetro.

Las Figs. 7 y 8 muestran que se obtiene la máxima cobertura cuando la separación entre canales es de aproximadamente 8 kHz, casi independientemente de la diversas hipótesis presentadas, y en particular del número de asignaciones dentro de la zona de que se trata. Sin embargo, el valor absoluto de la cobertura no depende mucho del número de asignaciones cuando el servicio se proporciona por onda de superficie (Fig. 7), pero sí depende mucho de este parámetro en el caso del servicio por onda ionosférica (Fig. 8).

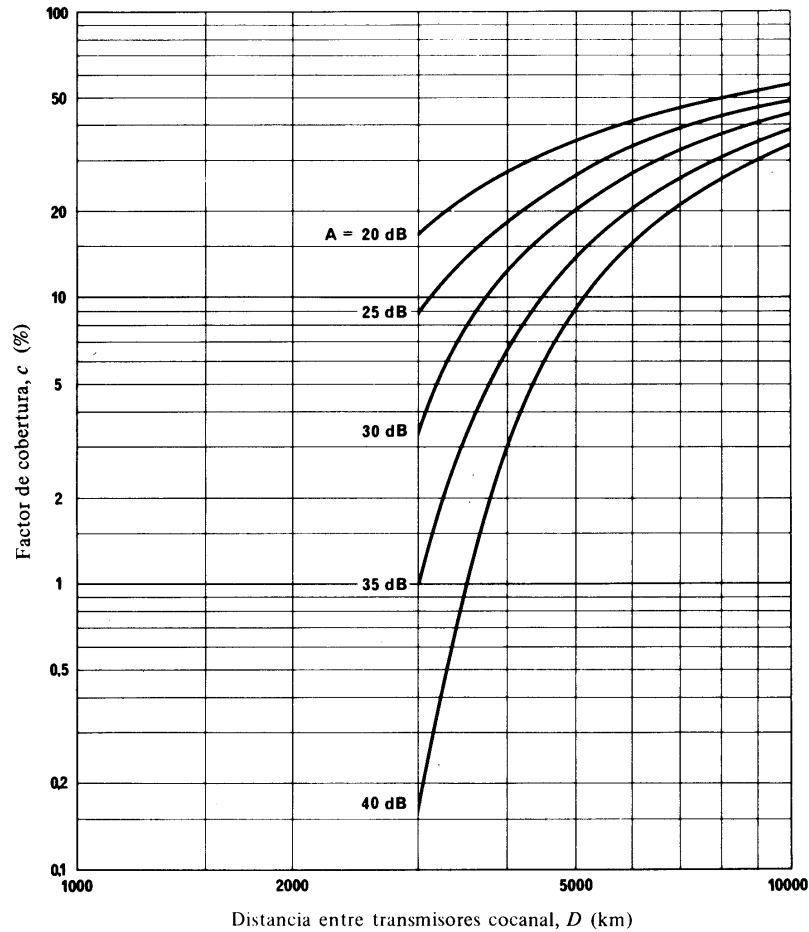


FIGURA 6 – Factor de cobertura,  $c$ , para una Tierra esférica en función de la distancia entre transmisores,  $D$ , con la relación de protección en radiofrecuencia,  $A$ , como parámetro

Frecuencia: 1 MHz

D08-sc

Los resultados obtenidos en la URSS indican que se puede esperar la máxima cobertura con una separación entre canales de aproximadamente 9 kHz. Puesto que las bases técnicas de los estudios realizados en varias partes del mundo son casi idénticas, a excepción de la curva de la relación de protección en radiofrecuencia, salta a la vista que la diferencia de los resultados obedece exclusivamente a las formas diferentes de las curvas de relaciones de protección en radiofrecuencia utilizadas.

La Fig. 9 puede ayudar a explicar que sólo haya un valor óptimo específico para cada conjunto de condiciones básicas, es decir, 8 kHz o 9 kHz, respectivamente.

Si se requieren  $N$  asignaciones de frecuencia en la banda 6 (ondas hectométricas) para transmisores (o grupos sincronizados) en una zona determinada  $S$  y sólo ha de tenerse en cuenta la interferencia cocanal, la cobertura aumenta a medida que disminuye la separación entre canales, aumentando así el número de los canales disponibles. Es evidente que, en tal caso, también aumentará la distancia media entre transmisores cocanal (curva A de la Fig. 9) y que esto reducirá la interferencia. En este caso, sería preferible utilizar valores bajos de separación entre canales.

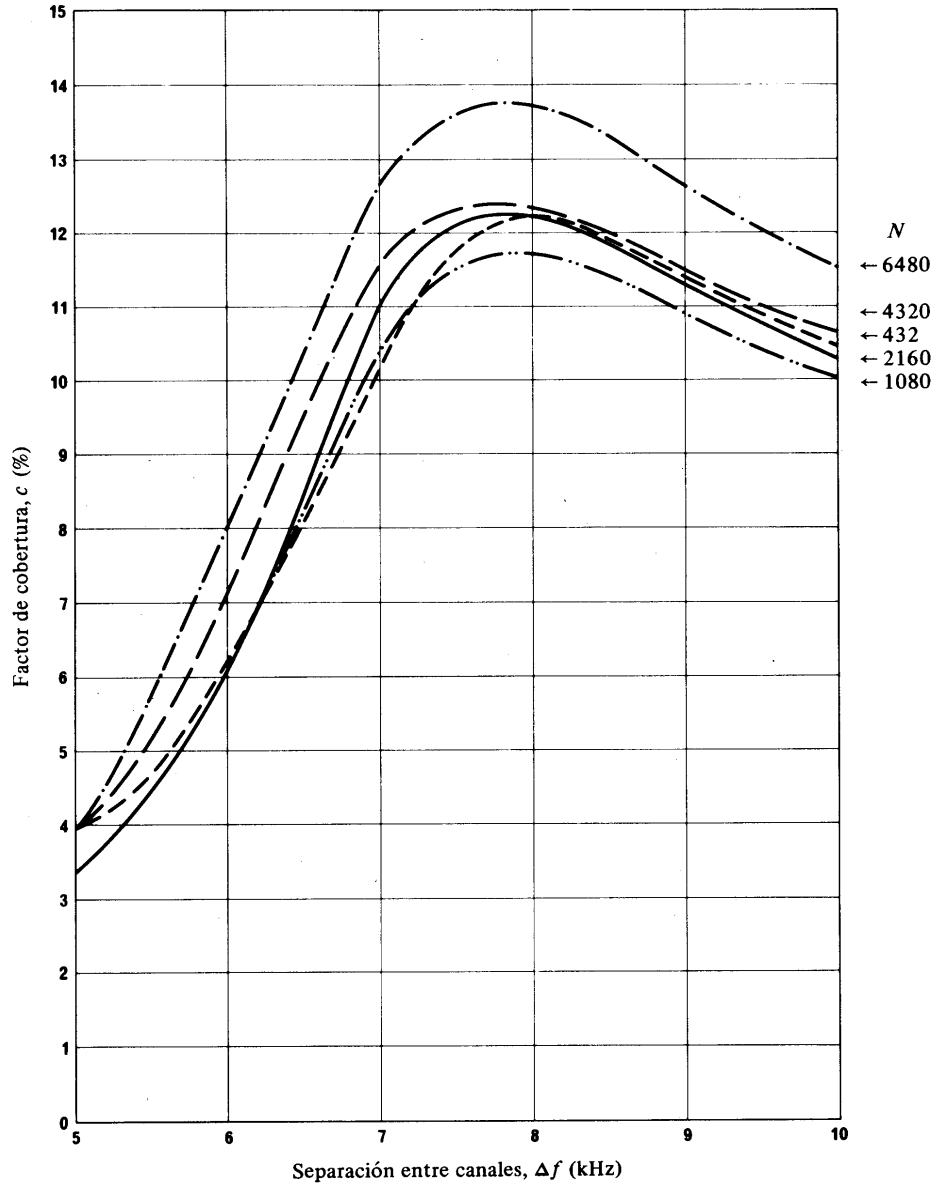


FIGURA 7 – Cobertura,  $c$ , que puede obtenerse en la banda de 1080 kHz con  $N$  estaciones en una zona de  $42 \times 10^6 \text{ km}^2$  con un servicio nocturno por onda de superficie

*Curva de propagación utilizada:*

Onda de superficie:	Recomendación UIT-R P.368 ( $\sigma = 3 \times 10^{-3} \text{ S/m}$ ) a 1 MHz
Onda ionosférica:	Recomendación UIT-R P.1147
Relación de protección, $A$ :	26 dB
Curva de la relación de protección para el canal adyacente:	Recomendación UIT-R BS.560, curva A

0598-07

Pero si en lugar de la interferencia cocanal hubiese que tener en cuenta la interferencia de canal adyacente, sin que varíen los restantes parámetros, la interferencia aumentaría y, por lo tanto, la cobertura disminuiría a medida que disminuyese la separación entre canales (curva B de la Fig. 9). Por eso, en este caso convendría utilizar valores altos de separación entre canales.

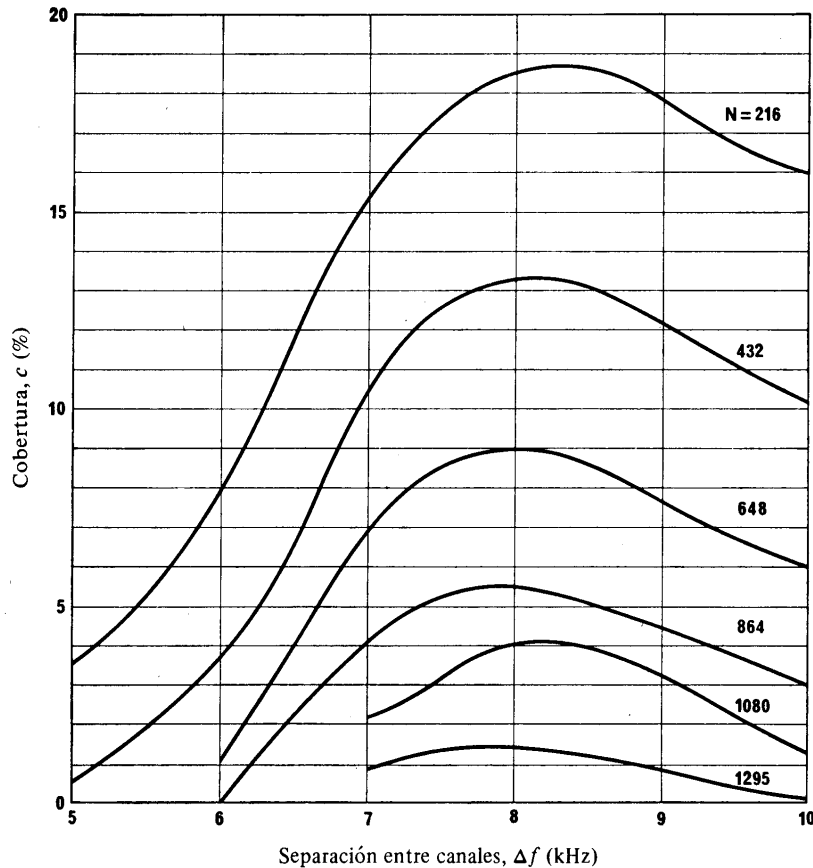


FIGURA 8 – Cobertura,  $c$ , que puede obtenerse por onda ionosférica con todos los canales disponibles en la banda de ondas hectométricas

Parámetro: Número de asignaciones de frecuencia,  $N$

- Hipótesis de base:
- Superficie total:  $42 \times 10^6 \text{ km}^2$
  - Relación de protección cocanal para la intensidad de campo mediana: 27 dB
  - Relaciones de protección relativas: curvas de la Recomendación UIT-R BS.560
  - Cada transmisor deseado sufre interferencias de tres transmisores cocanal y de otros tres en el canal adyacente
  - Curvas de propagación por onda ionosférica: Recomendación UIT-R P.1147

0598-08

En la práctica, sin embargo, es preciso tener en cuenta ambos tipos de interferencia, y salta a la vista que la curva de cobertura en función de la separación de frecuencia estará por debajo de las dos curvas que acabamos de examinar.

Además, a juzgar por la forma de las dos curvas límite, es muy probable que la curva resultante tenga un máximo y, de hecho, hay un máximo (curva C de la Fig. 9), aunque es relativamente poco pronunciado.

En otro estudio se ha demostrado que la separación óptima entre canales correspondiente a la cobertura máxima depende principalmente de la curva de relación de protección en radiofrecuencia y corresponde concretamente a un valor  $A_{rel} = -20 \text{ dB}$ , aproximadamente. En consecuencia, los diferentes resultados obtenidos en diversas partes del mundo no son en modo alguno contradictorios; más bien confirman, hasta cierto punto, la utilidad de este estudio adicional.

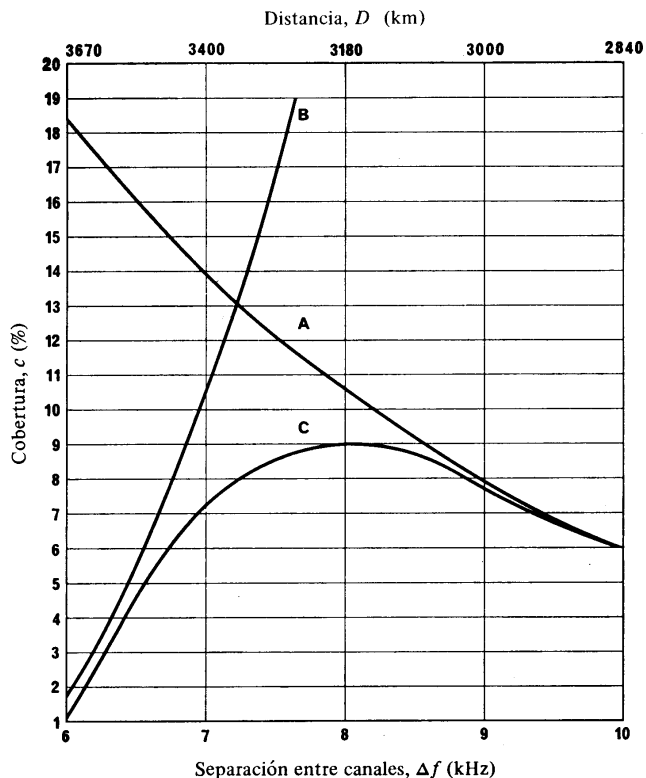


FIGURA 9 – Límites de cobertura (relación de protección en radiofrecuencia: 27 dB)

Curva A: Cobertura en presencia de interferencia cocanal (tres transmisores)

Curva B: Cobertura en presencia de interferencia de canal adyacente (tres transmisores)

Curva C: Cobertura en presencia de interferencia tanto cocanal como de canal adyacente

Relación de protección A: 27 dB

Número de asignaciones de frecuencia  $N$ : 648

D11-sc

Mediante la familia de curvas de la Fig. 10 se puede determinar de manera sencilla y eficaz la separación óptima entre canales para una curva dada de relación de protección en radiofrecuencia. La Fig. 10 representa el factor de cobertura en función de la separación entre canales, habiéndose tenido en cuenta tanto la interferencia cocanal, como la del canal adyacente, pero, a estos efectos, la relación de protección del canal adyacente se utiliza como un parámetro que es independiente de la separación entre canales. Por eso las curvas de la Fig. 10 pueden utilizarse con la Fig. 1 de la Recomendación UIT-R BS.560 o con cualquier otra curva pertinente que dé la relación de protección relativa en radiofrecuencia para los fines considerados. Si en la Fig. 10 se marca, para cada separación entre canales, la curva que representa la relación de protección real en radiofrecuencia, por ejemplo, mediante un pequeño círculo (así se ha hecho en la Fig. 10 con la curva de relación de protección en radiofrecuencia C de la Recomendación UIT-R BS.560) o un pequeño cuadrado (que representa los valores relativos de la relación de protección en radiofrecuencia obtenidos con los receptores de alta calidad y banda de paso ancha utilizados en la URSS), la sucesión de estos pequeños círculos y cuadrados mostrará la dependencia real del factor de cobertura con respecto a la separación entre canales, y de hecho pone de manifiesto, como se ve en la Figura, que existe un valor máximo para una separación de aproximadamente 8 kHz o 9 kHz, respectivamente.



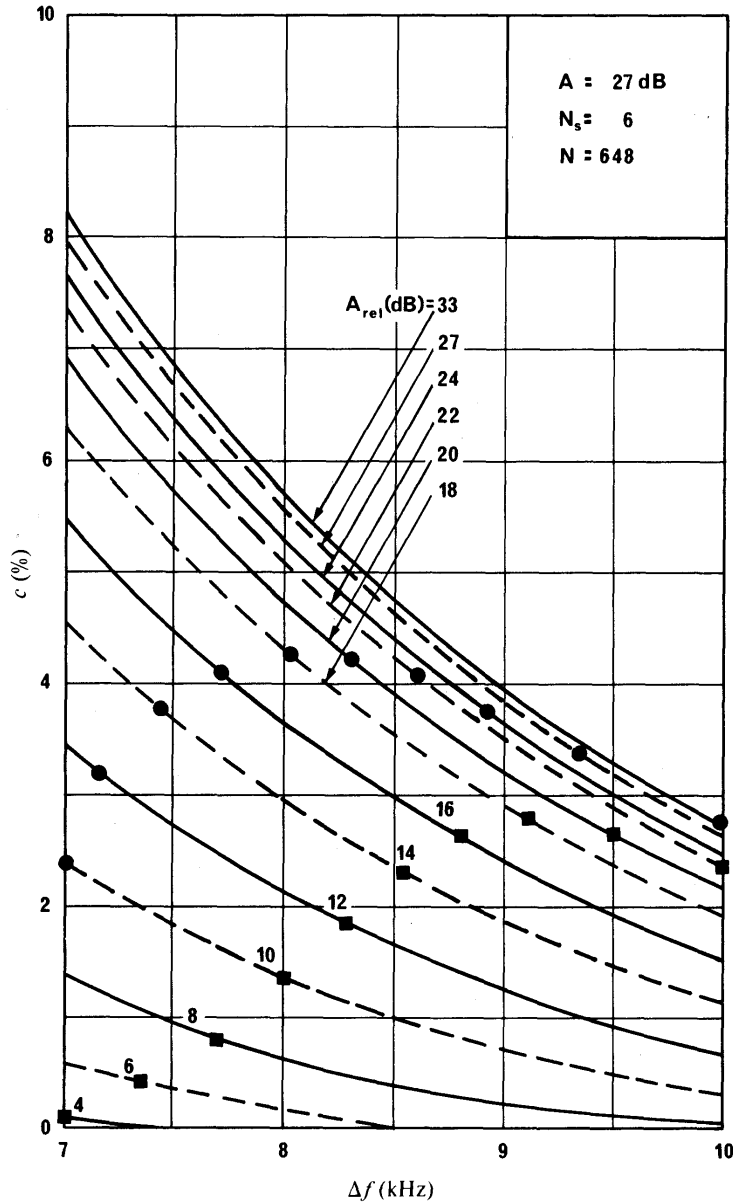


FIGURA 10 – Factor de cobertura ( $c$ ) en función de la separación entre canales

Parámetro: Relación de protección relativa en radiofrecuencia ( $A_{rel}$ )

- : Valor  $A_{rel}$ , véase la Recomendación UIT-R BS.560, Fig. 1, curva C
- : Valor  $A_{rel}$

$N$  : Número total de asignaciones de frecuencia  
 $N_s$  : Cantidad de grupos de transmisores interferentes compuestos cada uno por un transmisor cocanal y un transmisor que funciona en el canal adyacente

0598-10

No debe olvidarse, no obstante, que los resultados que demuestran la superioridad de un valor específico de separación de canales se han obtenido en estudios basados en transmisores dispuestos en retículas regulares y en distribuciones lineales de los canales. En particular, si la distancia entre transmisores que funcionan en canales adyacentes varía dentro de una gama amplia dentro de la

zona de planificación e incluyendo en muchos casos distancias relativamente cortas, el efecto de la interferencia del canal adyacente será más pronunciado que en el caso teórico. En dichas condiciones, quizá sea necesario elegir separaciones entre canales superiores a la óptima teórica.

## 5 Conclusiones

La cobertura que puede obtenerse en la banda 6 (ondas hectométricas) está determinada principalmente por la distancia entre dos transmisores cualesquiera que comparten el mismo canal, es decir, la distancia entre transmisores cocanal, y por la separación de frecuencia entre los canales adyacentes.

La distancia óptima entre transmisores cocanal depende de muchos parámetros; la frecuencia, el nivel de potencia de la red de transmisores, la relación de protección en radiofrecuencia, la intensidad de campo mínima utilizable y las características de propagación de la onda de superficie y, en su caso, de la onda ionosférica. La elección de una cierta distancia entre transmisores cocanal determina automáticamente y definitivamente la cantidad de transmisores que pueden trabajar en el mismo canal, y viceversa. Esta relación se muestra, entre otras, en la Fig. 5.

La separación óptima entre canales depende de la curva de relación de protección relativa en radiofrecuencia que se considera representativa de la mayoría de los receptores utilizados en la zona que se planifica.

Cabe señalar, sin embargo, que se puede mejorar considerablemente la cobertura, más allá de los límites determinados en el presente Anexo, mediante (véase el Anexo 2):

- el empleo de antenas transmisoras directivas, especialmente adaptadas a la situación de que se trate;
- el empleo de redes de transmisores sincronizados;
- el empleo de potencias de transmisión cuidadosamente adaptadas al caso de cobertura considerado.

## ANEXO 2

### **Problemas operacionales de la cobertura en radiodifusión en ondas hectométricas**

#### **1 Cobertura diurna**

Los siguientes resultados se basan en las curvas de propagación por onda de superficie que figuran en la Recomendación UIT-R P.368.

Debido a la importante absorción de la onda ionosférica en ondas hectométricas durante el día, sólo cabe utilizar la onda de superficie. El radio de cobertura (véase el Anexo 3) depende de la frecuencia y de las características eléctricas del suelo en el interior de la zona de cobertura; para potencias de transmisión elevadas, ese radio es del orden de los 100 km. Una red de transmisores optimizada para la cobertura diurna puede establecerse con distancias muy pequeñas entre transmisores que comparten el mismo canal, es decir, con una densidad de transmisores considerablemente

superior a la actual. Por ejemplo, con transmisores que funcionen en un mismo canal y guarden entre sí una distancia media de 500 km, una red explotada de día cubriría la totalidad del territorio con diez programas aproximadamente y una buena calidad de recepción.

La cobertura diurna no plantea, pues, problemas desde el punto de vista técnico.

## 2 Cobertura nocturna

En el crepúsculo la absorción de la onda ionosférica es muy reducida y, a distancias de varios miles de kilómetros, aparecen intensidades de campo elevadas en un periodo de una o dos horas. Como consecuencia se producen interferencias que limitan la zona de cobertura por onda de superficie. La onda ionosférica se considera, sobre todo, una fuente de interferencia y sólo en casos especiales puede preverse su empleo sistemático.

Durante la noche, la presencia de la onda ionosférica plantea complejos problemas técnicos y obliga a preparar planes para zonas muy amplias sobre la base de acuerdos internacionales.

Para tener una idea clara de las posibilidades de transmisión de programas radiofónicos en la banda de ondas hectométricas según varias hipótesis básicas, se han efectuado, en el marco de la UER, gran número de asignaciones experimentales de frecuencias, habiéndose calculado los factores de cobertura obtenidos. Los estudios se hicieron para regiones geográficas concretas, en particular, para las Zonas de Radiodifusión Europea y Africana.

En estas pruebas se partió de transmisores distribuidos bastante uniformemente, de potencia idéntica radiada por antenas omnidireccionales, pero cuyos emplazamientos coincidían con los reales o previstos en Europa y África. Las zonas de cobertura se calcularon por un método estadístico, teniendo solamente en cuenta las interferencias debidas a los demás transmisores. Este método de cálculo permite comparar válidamente los resultados obtenidos en dos pruebas diferentes, pero los valores absolutos obtenidos deben emplearse con cautela.

Para efectuar los cálculos se utilizaron diferentes valores de la relación de protección en radiofrecuencia (según se define en la Recomendación UIT-R BS.638) que corresponden, evidentemente, a distintas calidades de servicio. Por supuesto, la extensión de las zonas de cobertura así calculadas es tanto mayor cuanto menor sea la relación de protección. El aumento de la zona de cobertura, cuando la relación de protección (es decir, la calidad de servicio) disminuye, no significa que se lograrán mejores condiciones de escucha; las condiciones de escucha no dependen de la relación de protección sino sólo de la potencia y de la disposición de los transmisores interferentes.

Conviene observar que si se comparan los resultados de dos pruebas diferentes, esas diferencias pueden ser más o menos pronunciadas según la relación de protección, es decir, la calidad de servicio adoptada. Por tal motivo, no deben discutirse los resultados de los cálculos sin una indicación de la calidad de servicio correspondiente.

Por último, conviene recordar que en los cálculos se han utilizado datos estadísticos de propagación. En particular, se han elegido curvas de previsión de la intensidad de campo ionosférica que representan valores medianos (es decir, durante el 50% del tiempo) para una frecuencia media de 1 000 kHz.

Cabe suponer, pues, que los resultados obtenidos representan la situación media en el conjunto de la banda de ondas hectométricas.

A continuación se resumen algunos de esos resultados.

## 2.1 Cobertura nocturna por onda de superficie

La cobertura global por onda de superficie depende, en primer lugar, de la distancia entre transmisores que comparten el mismo canal, es decir, de la densidad de transmisores. Para una potencia de transmisión dada, la cobertura por onda de superficie crece con dicha distancia. Así pues, para transmisores de 300 kW y relaciones de protección supuestas de 40, 33 ó 27 dB, el empleo de los 121 canales actualmente disponibles en la banda de ondas hectométricas permite cubrir los siguientes porcentajes de toda la superficie de Europa y África.

CUADRO 1

Distancia entre transmisores que comparten el mismo canal (km)	Cobertura por onda de superficie					
	Relación de protección en radiofrecuencia (dB)					
	40		33		27	
	Número de programas	Superficie cubierta (%)	Número de programas	Superficie cubierta (%)	Número de programas	Superficie cubierta (%)
2700	1	6	1	11	1	21
3500	1	8	1	15	1	25
4100	1	9	1	17	1	28

Los valores de cobertura mencionados en el Cuadro podrían mejorarse eventualmente mediante el empleo de redes sincronizadas y de antenas directivas. Además, puede hacerse que la cobertura de las zonas pobladas sea superior a la de la superficie eligiendo adecuadamente la ubicación de los transmisores. Se dispone de poca información numérica sobre estas posibles mejoras.

El problema de la potencia de transmisión que proporciona la mayor cobertura posible por onda de superficie para una determinada densidad de transmisores, ha sido objeto de estudios detallados de los que puede deducirse una respuesta suficientemente precisa. Debe recordarse, además, que la cobertura nocturna por onda de superficie se ve también limitada por las interferencias entre la onda de superficie y la onda ionosférica del mismo transmisor. Sin embargo, no se ha tenido en cuenta este efecto para calcular los valores aproximados de alcance de servicio indicados en el Anexo 4.

## 2.2 Cobertura nocturna por onda ionosférica

Partiendo de las mismas hipótesis que en el § 2.1 (transmisores de 300 kW y relaciones de protección respectivas de 40, 33 ó 27 dB), la onda ionosférica facilitaría la siguiente cobertura de las zonas de Europa y África, utilizando toda la banda de ondas hectométricas (véase el Cuadro 2).

Se comprueba que la cobertura nocturna por onda ionosférica depende, mucho más que la cobertura por onda de superficie, de la densidad de transmisores adoptada: para grandes densidades de transmisores (es decir, para distancias inferiores a 2 700 km entre transmisores que comparten el mismo canal), la cobertura nocturna disminuye rápidamente, mientras que una distancia de 4 100 km entre transmisores que comparten el mismo canal permitiría la recepción de varios programas en

cualquier lugar de la zona considerada. Naturalmente, la mayoría de esos programas procedería de un transmisor situado a gran distancia del punto de recepción. No debe perderse de vista, además, que no es posible obtener permanentemente una buena calidad por onda ionosférica, contrariamente a lo que ocurre con la onda de superficie. Debe tenerse también en cuenta que, en la práctica, la zona cubierta durante la noche será discontinua, ya que habrá una zona anular, entre unos 100 a 200 km, con fuertes desvanecimientos selectivos producidos por la interferencia entre las ondas ionosférica y de superficie. Hasta ahora no se ha tenido en cuenta ese fenómeno en los estudios. En el Anexo 4 se dan ejemplos de valores aproximados del alcance de la cobertura. Además, el empleo de la onda ionosférica permitiría una mejor utilización del espectro en lo que respecta a la cobertura de superficie ya que la relación entre las superficies de las zonas cubiertas y de las zonas de interferencia es más favorable. Conviene recordar, finalmente, que una cobertura nocturna satisfactoria por onda de superficie dará también lugar, normalmente, a una cobertura satisfactoria por onda ionosférica.

CUADRO 2

Distancia entre transmisores que comparten el mismo canal (km)	Cobertura por onda ionosférica					
	Relación de protección en radiofrecuencia (dB)					
	40		33		27	
	Número de programas	Superficie cubierta (%)	Número de programas	Superficie cubierta (%)	Número de programas	Superficie cubierta (%)
2700	despreciable		1	30	6,1	100
3500	1	15	7,4	100	23,3	100
4100	2,5	100	14,9	100	31,6	100

### 2.3 Combinación de coberturas por onda de superficie y por onda ionosférica

De los § 2.1 y 2.2 puede deducirse la posibilidad de lograr buenos resultados con ambos tipos de cobertura, a condición de que los transmisores de gran potencia que comparten el mismo canal estén suficientemente alejados.

## 3 Combinación de las coberturas nocturna y diurna

Como se ha indicado en los § 1 y 2, las redes de transmisores concebidas para una buena cobertura diurna difieren fundamentalmente de las dispuestas para una buena cobertura nocturna; las distancias entre transmisores que comparten el mismo canal serían, por ejemplo, de unos 500 km en el primer caso y de unos 4000 km en el segundo. Como el número total de transmisores de las dos redes correspondientes estaría en una relación igual al cuadrado de la relación de distancias entre transmisores que comparten el mismo canal, la coexistencia de las dos redes significaría que, en este ejemplo, de 64 transmisores, sólo podría funcionar uno después de la puesta del Sol. En este ejemplo, se comparan dos casos extremos de condiciones de cobertura óptimas, ninguno de los cuales coincide con la práctica actual. Toda red en que se mantuvieran en servicio de día y de noche todos los transmisores daría lugar a una cobertura reducida, ya sea de día, ya sea de noche, o, en el caso de una red constituida con arreglo a una solución de compromiso entre ambos tipos, daría lugar a una cobertura menos favorable, tanto de día como de noche.

Por otra parte, el paso de una red diurna a una red nocturna, ambas concebidas para una cobertura eficaz, plantearía problemas administrativos y de explotación. Como se ha demostrado, en efecto, la mayoría de los transmisores diurnos deberían dejar de funcionar desde el ocaso hasta el orto, para evitar interferencias inaceptables durante las horas nocturnas. La hora del cese de la emisión depende, en efecto, de la época del año y de la latitud, sobre todo para latitudes altas y medias. Además, debido a la aparición relativamente lenta de la onda ionosférica tras el ocaso, habrá siempre un periodo en que las redes de transmisores diurnos por onda de superficie estarán interferidas (en caso de que funcionen todavía todos los transmisores), o durante el cual, la onda ionosférica será todavía demasiado débil. Aunque parezca que los inconvenientes mencionados impiden la generalización de este modo de explotación, son tan importantes las ventajas que podría proporcionar que conviene proceder a un examen más profundo, especialmente para ciertos casos particulares.

Las normas de asignación utilizadas por la Conferencia Administrativa Regional de Radiodifusión por ondas hectométricas (Región 2) (Río de Janeiro, 1981) pueden servir de ejemplo para una cobertura diurna y nocturna combinada.

Están previstas tres clases de estaciones, A, B y C. Las de clase A están autorizadas en general a utilizar una potencia máxima de 100 kW de día y de 50 kW de noche, las de clase B de 50 kW en cualquier condición y las de clase C de 1 kW, exceptuando la zona de ruido 2 en que las estaciones de clase C están autorizadas a utilizar una potencia máxima de 5 kW de día. Las estaciones de clase A están destinadas a proporcionar zonas de servicio secundarias extensas (onda ionosférica), las de clase B zonas de servicio primarias relativamente grandes (ondas de superficie) y las de clase C zonas de servicio primarias locales de pequeña extensión.

La cobertura nocturna, basada en una protección de  $26 \text{ dB}$  en el mismo canal de las zonas de servicio por onda de superficie contra las múltiples fuentes de interferencia por onda ionosférica, se establece en base a la adición de las señales interferentes de acuerdo con el método de cálculo de la raíz cuadrada de la suma de los cruzados (RSS, *root-sum square*). Pero en la determinación de la intensidad de campo utilizable ( $E_u$ ) sólo intervienen las contribuciones principales. Una vez enumeradas por orden de magnitud las señales interferentes, se considera que cualquier contribución cuya señal sea inferior a la mitad del valor aritmético de la *RSS total de los campos interferentes*, calculada a base de todas las contribuciones más grandes, no causa interferencia. Este proceso se aplica solamente cuando  $E_u$  es mayor que la intensidad de campo nominal utilizable ( $E_{nom}$ ). Generalmente, son sólo dos o tres las estaciones interferentes que contribuyen a la  $E_u$ , pese a la presencia de numerosas estaciones cocanal en la Región. La contribución a la interferencia de las nuevas estaciones debe ser inferior a la mitad del valor existente de  $E_u$ , y además deben contribuir menos que el contribuyente más pequeño que se considere interferente, a fin de no desplazar este contribuyente.

## 4 Cobertura de las zonas pobladas

Aunque la superficie abarcada representa un aspecto importante de la cobertura, ésta presenta otra faceta, a saber, la cobertura de la población. En algunos países, se han iniciado estudios sobre este problema que deben ser proseguidos.

## 5 Mejora de la cobertura

### 5.1 Redes sincronizadas

Se denomina red sincronizada a un grupo de transmisores que funcionan en la misma frecuencia y transmiten el mismo programa. La red así constituida está esencialmente destinada a la cobertura por onda de superficie.

En la mayoría de los países europeos, gracias al uso de redes sincronizadas en lugar de un transmisor único de potencia equivalente a la suma de la potencia de los transmisores de la red, se consigue adaptar mejor las zonas servidas a la distribución de la población y, por consiguiente, aumentar el número de oyentes. En el Anexo 5, se dan algunos ejemplos de los resultados obtenidos en distintos países. La eficacia de las redes sincronizadas se revela especialmente en países con zonas de gran densidad de población relativamente dispersas.

Debe señalarse también que:

- la calidad de la recepción por onda ionosférica sólo es aceptable en zonas donde la intensidad de campo de uno de los transmisores predomina netamente;
- la interferencia producida por una red sincronizada equivale a la de un transmisor único (con potencia igual a la potencia total de la red) teóricamente ubicado en el «centro de gravedad» de la red, por lo menos cuando la distancia media entre transmisores de la red es inferior a la décima parte, aproximadamente, de la distancia del transmisor más próximo que comparte el mismo canal;
- las redes sincronizadas son poco útiles en países de muy pequeña extensión;
- el empleo de antenas transmisoras directivas mejora la cobertura de los transmisores sincronizados;
- el uso de demoduladores sincrónicos da lugar a una disminución de las distorsiones no lineales producidas por las interferencias entre transmisores de una red sincronizada, lo que permitiría aumentar la cobertura obtenida con tales redes.

Por otra parte, los transmisores de una red sincronizada pueden difundir programas diferentes, aunque únicamente de día y a condición de que estén suficientemente alejados.

Evidentemente, los gastos de inversión y de explotación son superiores para una red sincronizada que para un transmisor único; sin embargo, debiera preverse el empleo de redes sincronizadas siempre que puedan aprovecharse las ventajas mencionadas.

## 5.2 Directividad de las antenas

### 5.2.1 Diagrama vertical de antenas transmisoras con polarización vertical

Puede concebirse una antena con un diagrama de radiación especial en el plano vertical, de modo que se concentre la potencia en uno o varios sectores verticales particulares, permitiendo con ello la realización del tipo de cobertura deseado.

Concentrando la energía en el *plano horizontal*, es posible aumentar la cobertura diurna por onda de superficie, o utilizar una potencia de transmisión inferior, sin disminuir la cobertura. Si la cobertura por onda de superficie está limitada a causa de desvanecimientos y no por la interferencia de transmisores que comparten el mismo canal, podrá mejorarse la cobertura por onda de superficie mediante una antena antidesvanecimientos. Sin embargo, sólo podrá obtenerse esa mejora en frecuencias de la parte inferior de la banda de ondas hectométricas y en lugares donde la conductividad del suelo sea superior a la media. Por último, aunque estas antenas pueden contribuir a reducir la intermodulación ionosférica, ofrecen, en cambio, una cobertura de inferior calidad por onda ionosférica, con el mismo nivel de interferencia, para alcances menores (distancias inferiores a 2000 km).

Concentrando la energía fuera del plano horizontal se mejora la cobertura por onda ionosférica, pero la cobertura por onda de superficie disminuye y aumenta el riesgo de intermodulación ionosférica.

### **5.2.2 Diagrama horizontal de antenas transmisoras con polarización vertical**

Pueden obtenerse condiciones particulares de cobertura concentrando la energía radiada en determinadas direcciones horizontales. Aunque no se obtenga una mejora de la cobertura global, el empleo generalizado de antenas directivas en un plan de asignación de frecuencias puede favorecer la cobertura nacional de los países, debido esencialmente a que estas antenas permiten una mejor adaptación a determinadas zonas de cobertura deseadas, así como, en ciertos casos, la reducción de la interferencia. Además, en casos particulares, el empleo de antenas directivas en el plano horizontal puede permitir el uso de un canal en una zona determinada, cuando sería imposible utilizarlo con una antena omnidireccional. En efecto, la antena directiva permite reducir la interferencia en la zona de cobertura de otro transmisor que comparta el mismo canal y, por consiguiente, disminuir la distancia de compartición. Esta es una de las principales ventajas de las antenas directivas.

### **5.2.3 Aspectos económicos**

De modo general, cualquier antena que ofrezca características de radiación especiales en los planos horizontal o vertical, resultará más costosa que una simple antena no directiva. Las características especiales del diagrama vertical se traducen generalmente por estructuras más altas cuyo costo aumenta rápidamente con la altura.

Las características especiales del diagrama horizontal requieren antenas de varios elementos y un terreno de mayor superficie para su instalación.

El costo de cualquier tipo de antena será inferior para la parte superior de la banda de ondas hectométricas. Las condiciones climáticas locales pueden constituir un factor importante del precio de la antena.

### **5.2.4 Mejora de la cobertura en ondas hectométricas con el empleo de antenas directivas**

Desde mediados de los años treinta, se están utilizando en Estados Unidos de América antenas de emisión directivas en ondas hectométricas, para reducir las interferencias. Actualmente, están en servicio más de 1500. Otros países emplean también antenas de este tipo con los mismos fines.

El empleo de antenas directivas por transmisores que compartan el mismo canal pero no estén sincronizados, en el interior de un mismo país, puede aumentar sustancialmente la cobertura. De modo general, cuanto mayor sea el número de antenas directivas empleadas, mejor será la cobertura obtenida.

Las antenas directivas resultan particularmente útiles durante la noche, y también dan buenos resultados para el funcionamiento diurno. Sirven también para disminuir la interferencia ocasionada a otros países. Otra ventaja de las antenas directivas, para transmisores cocanal que no funcionen sincronizados, es la de permitir programas locales independientes.

## **5.3 Comparación entre las antenas de elementos radiantes verticales y las de elementos radiantes horizontales**

Una antena transmisora vertical clásica asegurará una buena cobertura por onda de superficie con alcance reducido y una cobertura nocturna por onda ionosférica con alcances superiores. A distancias intermedias, aparece una zona en la que los desvanecimientos son más molestos, debido a que las ondas de superficie e ionosférica producen en ella intensidades de campo aproximadamente iguales.

El empleo de un elemento o grupo de elementos radiantes horizontal, es factible en la banda de ondas hectométricas, y presenta ventajas seguras si el objetivo principal consiste en asegurar una cobertura nocturna por onda ionosférica, pero no es adecuado para una cobertura diurna por onda de superficie.

La ventaja esencial es que permite producir una intensidad de campo ionosférica aproximadamente constante desde el transmisor hasta los bordes de la zona de cobertura. Pueden concebirse antenas



de este tipo para obtener un radio de cobertura igual al máximo realizable (unos 1 000 km) o para un alcance más limitado (500 km, por ejemplo). Sin embargo, en las cercanías del transmisor (algunos kilómetros), puede producirse una disminución de la calidad a consecuencia de la interferencia entre la onda de superficie, débil pero inevitable, y la onda ionosférica. Para servir adecuadamente la zona en cuestión, puede recurrirse a un pequeño transmisor «de relleno» que trabaje en otra frecuencia y con polarización vertical.

Se han efectuado cálculos teniendo en cuenta las diferencias de directividad y de pérdida por acoplamiento de polarización en el caso de un dipolo horizontal simple en lugar de una antena vertical corta. Conviene subrayar la importancia de tener en cuenta la conductividad imperfecta del suelo que, no sólo disminuye la radiación de las antenas verticales para pequeños ángulos de elevación, sino que aumenta también la radiación de las antenas horizontales en esos ángulos, en ciertas direcciones. En este último caso, se corre el riesgo de sobreestimar hasta en 20 dB la reducción de la interferencia cocanal, que cabe esperar con pequeños ángulos de radiación, utilizando una antena transmisora horizontal en vez de una antena vertical, en la hipótesis de un suelo perfectamente conductor cuando, en la práctica, éste es de conductividad mediocre.

Los resultados de estudios teóricos muestran que, para una potencia de transmisión dada, cuando las reflexiones se limitan a la región E, el empleo de un dipolo horizontal simple, en lugar de una antena vertical corta, puede reducir de 10 a 15 dB el nivel de interferencia cocanal en el caso de terrenos de características medias. Estudios y mediciones efectuados en latitudes templadas han demostrado, sin embargo, que en las frecuencias y periodos en que se producen reflexiones con grandes ángulos de incidencia en la región F, la ventaja es mucho menos importante debido a la intensa excitación de los modos de propagación por saltos múltiples.

El uso de una antena horizontal presenta el inconveniente de que es preciso reemplazarla por una antena vertical para asegurar el servicio diurno; pero, en general, puede obtenerse una zona de cobertura comparable, sin tener que emplear varios transmisores. También en este caso se plantea un problema práctico de cambio de las condiciones de explotación, ya examinado en el § 3. Otro inconveniente es el aumento del costo de las antenas de transmisión, sobre todo en las frecuencias inferiores de la banda de ondas hectométricas.

Por lo general será necesario limitar la potencia radiada en función del ángulo en el plano vertical, a fin de evitar una grave intermodulación ionosférica (véase el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R BS.498). Puede resultar más difícil respetar esta condición con sistemas de antenas horizontales que con antenas verticales.

Recientemente se ha sugerido que una antena horizontal debiera componerse de uno o más pares de dipolos cruzados, debidamente alimentados para transmitir ondas polarizadas elípticamente en las direcciones deseadas, a fin de excitar la onda ordinaria con más intensidad que la extraordinaria. La principal ventaja frente a un sistema de radiación de ondas de polarización lineal es que, como la intermodulación ionosférica se debe principalmente a la onda extraordinaria, esta intermodulación sería teóricamente inferior para una potencia de transmisión dada. Otra ventaja sería la reducción de las pérdidas por acoplamiento de polarización.

En conclusión puede decirse que la radiación vertical de antenas de polarización horizontal puede ser útil en ciertos casos especiales. Sin embargo, la información disponible no permite recomendar su introducción general en un plan de asignación de frecuencias, como medio para obtener una mayor densidad de asignaciones.

En la República Popular de Polonia se han realizado mediciones para comparar la eficacia de las polarizaciones vertical y horizontal en un servicio por onda de superficie, utilizando frecuencias de la parte superior de la banda de ondas hectométricas. Tales mediciones se han hecho a distancias de hasta 20 km del transmisor, en trayectos sobre regiones edificadas (por oposición a los trayectos despejados). Los resultados muestran que la atenuación de las ondas de polarización horizontal es considerablemente inferior a lo que sería de prever conforme a la teoría de la propagación de la onda de superficie sobre un terreno uniforme.

En relación con la reducción del campo de la onda ionosférica en la radiodifusión en la banda 6 (ondas hectométricas), se han emprendido en Australia estudios sobre un método que permite reducir el campo de la onda ionosférica gracias a la importante absorción del rayo extraordinario en las frecuencias de transmisión próximas de la girofrecuencia. Con este sistema, la antena transmisora debe radiar una onda polarizada de modo que la propagación en la ionosfera se haga únicamente según el modo extraordinario. Este sistema se denomina de «transmisión ortogonal».

Pruebas de propagación, efectuadas en 1965 y 1967, han demostrado que el valor mediano de la intensidad de campo de la onda ionosférica de un transmisor de radiodifusión en ondas hectométricas (banda 6), puede reducirse 16 dB en los trayectos orientados hacia el Norte en el Hemisferio Sur, si la transmisión con polarización vertical convencional se reemplaza por la transmisión ortogonal. No se han comprobado variaciones apreciables de esta disminución en trayectos Sur-Norte en distancias comprendidas entre 243 km y 695 km. La disminución era menor en trayectos parcialmente orientados hacia el Este o el Oeste, a causa de las características particulares de la antena transmisora, que no permitían lograr en esos trayectos la inclinación apropiada de la elipse de polarización. Las mediciones han demostrado una disminución de 13 dB del campo en los trayectos que formaban un ángulo de 19° hacia el Este o el Oeste con la dirección de la zona que se querrá servir (Norte magnético).

Este método utiliza principalmente modos extraordinarios, por lo que no puede recomendarse para todas las clases de potencia debido a los efectos de intermodulación ionosférica especialmente debidos a la onda extraordinaria (véase más arriba).

#### 5.4 Transmisores de baja potencia

Los transmisores de baja potencia están destinados a servir zonas de muy poca extensión, como por ejemplo ciudades, en las que la intensidad de campo producida por los transmisores principales es insuficiente o, eventualmente, a la difusión de programas locales.

Para la eficacia del servicio, dichos transmisores deben formar parte del plan. En la práctica, sólo pueden funcionar con un campo utilizable claramente superior al de las otras estaciones (particularmente de noche).

Dejando de lado el caso de los transmisores de baja potencia que forman parte de una red sincronizada (véase el § 5.1), estos transmisores pueden utilizar:

- ya sea canales asignados a transmisores de diferentes potencias,
- ya sea uno o varios canales especiales (anteriormente denominados «Frecuencias Comunes Internacionales» (FCI)).

En el primer caso deben precisarse claramente en el plan la ubicación de los transmisores y sus demás características; toda inserción ulterior sería peligrosa. En el segundo, bastaría con precisar las zonas geográficas donde pueden hallarse esos transmisores (tomando en consideración la interferencia de canal adyacente) y, además, señalar el número de transmisores por zona y la potencia máxima que no debe rebasarse.

Los estudios ya realizados indican que el número actual de frecuencias comunes internacionales es muy insuficiente y que sería preferible un total de cinco a diez.

Desde el punto de vista técnico, esos transmisores serían más eficaces si sus canales se dispusieran en la parte inferior de la banda de ondas hectométricas, pero, en la práctica, será sin duda necesario distribuirlos en el espectro. Por otra parte, la potencia máxima por transmisor y el número de esos transmisores están en función de la frecuencia.

## ANEXO 3

**Valor aproximado del alcance en cobertura diurna**

El alcance en cobertura diurna se ha calculado, en ausencia de interferencia producida por otros transmisores, con ayuda de las curvas de propagación de la Recomendación UIT-R P.368. En lo que respecta a la limitación del alcance de la cobertura, se han supuesto, en principio, los siguientes valores de intensidad de campo mínima:

2,2 mV/m (67 dB( $\mu$ V/m)) para el tercio inferior de la banda de ondas hectométricas (525 a 900 kHz aproximadamente),

0,8 mV/m (58 dB( $\mu$ V/m)) para el tercio superior de la banda de ondas hectométricas (1 250 kHz aproximadamente, a 1 605 kHz).

Para la conductividad del suelo, se han adoptado tres valores:

- buena conductividad ( $\sigma = 10 \times 10^{-3}$  S/m)
- conductividad media ( $\sigma = 3 \times 10^{-3}$  S/m)
- conductividad mediocre ( $\sigma = 1 \times 10^{-3}$  S/m).

Al examinar las cifras así obtenidas, no debe perderse de vista que la situación media de las ubicaciones de transmisores en numerosos países no corresponden, de ningún modo, a una conductividad de  $\sigma = 3 \times 10^{-3}$  S/m; además, el que esos emplazamientos estén a menudo en terreno accidentado o montañoso es normalmente causa de alcances en cobertura inferiores a los indicados.

Se supone que la p.r.a.v. en el plano horizontal es de 500 kW (f.c.m.: 6 700 V).

CUADRO 3

Frecuencia (kHz)	Alcance de servicio (km)		
	$\sigma = 1 \times 10^{-3}$ (S/m)	$\sigma = 3 \times 10^{-3}$ (S/m)	$\sigma = 10 \times 10^{-3}$ (S/m)
<i>Tercio inferior de la banda de ondas hectométricas</i> 525 900	80	180 130	310
<i>Tercio superior de la banda de ondas hectométricas</i> 1 250 1 605	60	105 90	180

## ANEXO 4

**Valor aproximado del alcance en cobertura nocturna**

El alcance en cobertura nocturna ha sido calculado habida cuenta de las siguientes hipótesis:

- dos transmisores de igual frecuencia distantes 3 500 km y que radian con potencias iguales de valor tal que su interferencia mutua sea el único factor limitativo de su alcance en cobertura\*; no se ha tenido en cuenta la interferencia entre la onda de superficie y la onda ionosférica del transmisor deseado;

\* La tendencia indicada en el Cuadro 4 se pone igualmente de manifiesto para otros casos de interferencia (más de dos transmisores, distancias diferentes, etc.).

- propagación por onda de superficie según la Recomendación UIT-R P.368;
- conductividad del suelo:  $\sigma = 3 \times 10^{-3}$  S/m;
- propagación de la onda ionosférica según la Recomendación UIT-R P.1147;
- relación de protección: 27, 33 y 40 dB.

CUADRO 4

Relación de protección (dB)	Alcance de servicio (km)	
	525 kHz	1 605 kHz
<i>Cobertura por onda de superficie</i>		
27	170	90
33	135	70
40	95	55
<i>Cobertura por onda ionosférica</i>		
27	635	850
33	420	660
40	<300 <sup>(1)</sup>	450

(1) Las curvas empleadas en este estudio no son aplicables a distancias inferiores a 300 km.

## ANEXO 5

### Cobertura con redes sincronizadas

El Cuadro 5 muestra el resultado de estudios comparativos de la cobertura diurna y nocturna, obtenida con una red de transmisores sincronizados, con la que se habría obtenido con un transmisor ficticio único, ubicado en un lugar adecuado y radiando una potencia equivalente a la suma de las potencias de los transmisores de la red sincronizada.

CUADRO 5

**Relación entre los valores de cobertura obtenidos con un grupo de transmisores sincronizados y los obtenidos con un transmisor único**

Fuente	Frecuencia (kHz)	Número de transmisores	Potencia total (kW)	Relación de cobertura			
				Diurna		Nocturna	
				Superficie	Población	Superficie	Población
O.R.F.	1025	4	300	1,45	1,68		1,83
B.B.C.	1214	16	270		1,26		3,2 <sup>(1)</sup> 3,0 <sup>(2)</sup>
RAI	1367	14	85	2,12	3,84	1,39 <sup>(3)</sup> 1,18 <sup>(4)</sup> 0,81 <sup>(5)</sup>	6,24 <sup>(3)</sup> 7,39 <sup>(4)</sup> 17,74 <sup>(5)</sup>

- (1) Teniendo en cuenta las interferencias producidas por transmisores distintos de los pertenecientes a la red sincronizada.
- (2) Interferencias mutuas producidas solamente por transmisores de la red sincronizada.
- (3) Relación de protección para transmisores que comparten el mismo canal no pertenecientes a la red sincronizada: 20 dB.
- (4) Relación de protección para transmisores que comparten el mismo canal no pertenecientes a la red sincronizada: 25 dB.
- (5) Relación de protección para transmisores que comparten el mismo canal no pertenecientes a la red sincronizada: 40 dB.