

SECCIÓN 10/11E: COMPARTICIÓN

INFORME 631-4*

**COMPARTICIÓN DE FRECUENCIAS ENTRE EL SERVICIO DE
RADIODIFUSIÓN POR SATÉLITE (SONORA Y DE TELEVISIÓN)
Y LOS SERVICIOS TERRENALES**

(Cuestión 1/10 y 11, Programas de Estudios 1A, 1C, 1D y 1E/10 y 11)

(1974-1978-1982-1986-1990)

1. Introducción

Con arreglo al Reglamento de Radiocomunicaciones, revisado por la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones, Ginebra, 1979, el servicio de radiodifusión por satélite tiene atribuciones, o puede funcionar bajo ciertas condiciones, en las siguientes bandas, todas ellas compartidas con otros servicios:

- 620-790 MHz, utilizada principalmente por los servicios fijo, móvil y de radiodifusión terrenal;
- 2500-2690 MHz, compartida con los servicios fijo, móvil, de radiodifusión y fijo por satélite;
- 11,7-12,5 GHz en la Región 1, compartida con los servicios fijo y de radiodifusión a título primario, y con el servicio móvil a título secundario;
- 11,7-12,2 GHz en la Región 3, donde es compartida con los servicios fijo, móvil y de radiodifusión;
- 12,2-12,70 GHz en la Región 2, compartida con los servicios fijo, móvil y de radiodifusión;
- 12,5-12,75 GHz en la Región 3, compartida con los servicios fijo, móvil y fijo por satélite;
- 22,5-23 GHz en las Regiones 2 y 3, donde es compartida con los servicios fijo y móvil (y, en los 0,45 GHz superiores de esa banda, con el servicio entre satélites);
- 40,5-42,5 GHz, compartida con el servicio de radiodifusión a título permitido, y
- 84-86 GHz, compartida con los servicios fijo, móvil y de radiodifusión, con la salvedad de que estos servicios no deben causar interferencia perjudicial a las estaciones terrenas del servicio de radiodifusión por satélite que funcionen de conformidad con un plan que debe adoptar una Conferencia Administrativa de Radiocomunicaciones futura.

2. Elementos que han de tomarse en consideración para la compartición de frecuencias

Al establecer las bases para la compartición de frecuencias entre los servicios de radiodifusión por satélite, radiodifusión terrenal y entre satélites, deben tomarse en consideración diversos elementos. Entre éstos se cuenta la relación de protección necesaria para asegurar que la interferencia causada por uno de los servicios será aceptable para los demás.

Los valores de las relaciones de protección aplicables al servicio de radiodifusión por satélite y los servicios terrenales figuran en el Informe 634. Asimismo, deben tenerse en cuenta las características técnicas de los sistemas que funcionan en compartición de frecuencias, tales como la p.i.r.e., la abertura de las antenas, los niveles de los lóbulos laterales, la sensibilidad de los receptores y el tipo de modulación utilizada, al igual que consideraciones geográficas (tales como la línea que une el emplazamiento del transmisor sujeto a interferencia y el del transmisor interferente y el establecimiento de «zonas de exclusión» y zonas de servicio). Para permitir la compartición de las frecuencias puede ser menester sujetar estos factores a condiciones y limitaciones. Otras comparticiones en una zona común pueden lograrse con el procedimiento de compartición en el tiempo.

Si no es posible la compartición de una frecuencia en la misma zona, puede ser necesario establecer condiciones y limitaciones que permitan la compartición mediante acuerdos de distribución geográfica.

Antes de adoptar una medida que limite o impida el funcionamiento de un servicio atribuido en cierta banda a título primario y que tenga relación con una o más de las situaciones de interferencia tratadas en este Informe, deberá hacerse todo lo posible por aumentar la viabilidad de la compartición entre servicios.

* Este Informe debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 8 y 9.

Entre las medidas que pueden aumentar la viabilidad de la compartición se encuentran las siguientes:

- aplicación de objetivos de funcionamiento y criterios de disponibilidad que estén en proporción con las necesidades del servicio que se desea prestar;
- elección de las características del sistema modelo que se desea proteger, de manera que se obtenga una sensibilidad mínima a la interferencia y se preserve la coherencia con respecto a los diseños prácticos del sistema (por ejemplo, potencia del transmisor y ganancias de antena adecuadas, longitudes de trayecto razonables, métodos de modulación reforzados, etc.) (obsérvese que, en la mayoría de los casos, al disminuir la sensibilidad a la interferencia mejoran también las características de funcionamiento del sistema);
- en el caso de los sistemas muy sensibles, limitar el funcionamiento a segmentos de banda que no estén también atribuidos a un servicio cuyo potencial para causar interferencia sea relativamente elevado.

Algunas de las medidas que podrían limitar o impedir el funcionamiento de un servicio atribuido a título primario son la aplicación de aquellas Recomendaciones del CCIR o del Reglamento de Radiocomunicaciones en que se establecen niveles de umbral (desencadenantes) de interferencia, o límites a la densidad de flujo de potencia.

2.1 Radiodifusión sonora

En las atribuciones actuales a la radiodifusión por satélite, no se distingue entre los sistemas de radiodifusión sonora y de televisión. La radiodifusión por satélite en la banda de 620 a 790 MHz está permitida por el número 693 del Reglamento de Radiocomunicaciones, pero limitada a la modulación de frecuencia (televisión).

La CAMR-79 ha recomendado que se analice la banda de 500 a 2000 MHz a fin de determinar ubicaciones óptimas de bandas para la radiodifusión sonora por satélite. Se necesitan ulteriores estudios a fin de establecer si existe una región determinada de esta banda que sea particularmente conveniente. Hay que determinar también si es posible la compartición y, de serlo, en qué condiciones. El Informe 941 (Comisión de Estudio 9) concluye que en el caso de la protección de los sistemas terrenales de relevadores radioeléctricos contra un eventual sistema de radiodifusión sonora por satélite en MF, que funcione en la banda comprendida entre 1427 y 1530 MHz, se necesita prever alguna forma de dispersión de energía en las emisiones por satélite. En la modulación digital la dispersión de energía es inherente. Es necesario continuar el estudio de la aplicación de la dispersión de energía artificial a las transmisiones de radiodifusión sonora por satélite en MF. El estudio del Informe 941 tomaba como hipótesis potencias del orden indicado en el Informe 955 y que la protección exigía limitar su flujo a los valores aplicables en la banda comprendida entre 2500 y 2690 MHz (véase el § 4.1). Incluso con una dispersión de energía de 14 dB (es decir, una densidad de flujo de potencia en una banda de 4 kHz inferior en 14 dB a la densidad de flujo de potencia total), la protección del servicio fijo sólo parecía posible en determinadas condiciones, incluida una gran separación geográfica entre la zona de servicio de radiodifusión por satélite y los sistemas de relevadores radioeléctricos en cuestión.

2.2 Radiodifusión de televisión

2.2.1 Ecuación general para hallar el valor límite de la densidad de flujo de potencia producida por la señal interferente para proteger el servicio deseado

Como ya se ha mencionado, cuando un servicio de radiodifusión por satélite comparte frecuencias con un servicio terrenal puede ser necesario limitar la densidad de flujo de potencia producida por la señal no deseada en las estaciones receptoras del servicio deseado. Para determinar el límite de densidad de flujo de potencia, una ecuación general es la siguiente:

$$F_s = F_{iqp} - R_q + D_d + D_p - M_r - M_i \quad (1)$$

(Nota. — Esta ecuación puede no ser válida cuando la señal del satélite llega con una incidencia cercana a la incidencia rasante; en tal caso, ha de incluirse un margen adicional.)

donde:

F_s : densidad máxima de flujo de potencia (dB(W/m²)) admisible en la estación protegida;

- F_{iqp} : valor mínimo de densidad de flujo de potencia ($\text{dB(W/m}^2\text{)}$) que debe protegerse; es decir, valor de la densidad de flujo de potencia que, frente al ruido térmico únicamente, proporciona una señal de salida del grado de calidad q que debe excederse durante cierto elevado porcentaje especificado del tiempo p ;
- R_q : relación de protección (relación potencia de la señal deseada/potencia de la señal interferente en la entrada del receptor) (dB), para una interferencia apenas perceptible, cuando la calidad de la señal de salida desciende hasta el valor q por efecto del ruido térmico;
- D_d : discriminación (dB) contra la señal interferente proporcionada por la directividad de la antena receptora;
- D_p : discriminación (dB) contra la señal interferente proporcionada por la polarización de la antena receptora; este factor se combina a menudo con D_d , como un solo término;
- M_r : margen (dB) para tener en cuenta una posible reflexión en el suelo de la señal interferente;
- M_i : margen (dB) para tener en cuenta la posibilidad de interferencias múltiples.

El límite de densidad de flujo de potencia dado por la ecuación (1) asegura que la calidad de la señal de salida en la estación receptora de la señal deseada sea igual a q , incluso si la densidad de flujo de potencia del sistema disminuye hasta el nivel F_{iqp} . Durante $p\%$ del tiempo, la densidad de flujo de potencia del sistema será superior a F_{iqp} y la calidad de la señal de salida será superior a q .

Si se desea expresar F_s en términos del valor mediano de densidad de flujo de potencia del sistema deseado, F_{iqm} , lo cual da como resultado los mismos valores estadísticos de calidad a la salida, la ecuación es:

$$F_s = F_{iqm} - M_p - R_q + D_d + D_p - M_r - M_i \quad (2)$$

en donde M_p es la diferencia (dB) entre el valor mediano del nivel de la señal deseada y el nivel excedido durante $p\%$ del tiempo.

Las ecuaciones (1) y (2) pueden utilizarse para calcular los límites de densidad de flujo de potencia no deseada, apropiados para cualquier servicio deseado. En el caso del servicio terrenal de radiodifusión, se supone que la estación receptora que hay que proteger está en el límite de la zona de servicio potencial del transmisor terrenal. Este límite se define como el contorno geográfico dentro del cual la densidad de flujo de potencia producida por el transmisor terrenal, es igual o superior a la necesaria para producir una señal de salida (de imagen o de sonido) de calidad aceptable en ausencia de interferencia y ruido artificial, en el 50% de los emplazamientos y durante por lo menos $p\%$ del tiempo; en este caso, por ejemplo, p tiene un valor especificado entre 90% y 99%. En el servicio terrenal de radiodifusión es usual también definir la señal incidente en términos de la intensidad de campo expresada en $\text{dB}(\mu\text{V/m})$ en lugar de hacerlo en términos de la densidad de flujo de potencia en $\text{dB(W/m}^2\text{)}$. El primer valor puede obtenerse del segundo sumando simplemente 145,8 dB.

2.2.2 Valores requeridos de densidad de flujo de potencia

En el Informe 215 se examinan, con cierto detalle, ejemplos de la densidad de flujo de potencia requerida para el servicio de radiodifusión por satélite, y los cuadros XIVa y XIVb del mismo Informe contienen valores de densidad de flujo de potencia. En el Informe 811 se indican los valores pertinentes para la planificación de dicho servicio en la banda de 12 GHz.

Para los servicios terrenales de televisión en modulación de amplitud, se indican los valores correspondientes en el Informe 961.

2.2.3 Intensidades de campo y densidades de flujo de potencia que deben protegerse

Los valores de intensidad de campo y de densidad de flujo de potencia que es preciso proteger, se examinan en los puntos relativos a las diversas bandas de frecuencias.

2.2.4 Relaciones de protección

En el Informe 634 se estudia esta cuestión en cierto detalle y se indican los valores de relación de protección que se requieren en diferentes sistemas.

2.2.5 Empleo de técnicas especiales para respetar las limitaciones de densidad de flujo de potencia

Puede considerarse que las técnicas de dispersión de energía utilizadas con modulación de frecuencia «ensanchan» la potencia radiada sobre una banda ancha de radiofrecuencia, con objeto de satisfacer las limitaciones de densidad de flujo de potencia. Sin embargo, deben estudiarse cuidadosamente las repercusiones técnicas y económicas de la aplicación de estos procedimientos.

En los puntos pertinentes se dan ejemplos de utilización de la dispersión de energía.



2.2.6 Cálculo de la densidad de flujo de potencia producida por un satélite geostacionario

La densidad de flujo de potencia producida en un punto de la Tierra por un satélite de radiodifusión puede calcularse por varios métodos (véase, por ejemplo, el Informe 215).

3. Compartición en la banda de 620 a 790 MHz

En este punto se aborda el caso de las transmisiones de televisión desde satélite que sólo utilizan la modulación de frecuencia.

3.1 Compartición con el servicio terrenal de radiodifusión

La compartición de frecuencia entre un sistema de radiodifusión por satélite y un sistema terrenal de radiodifusión requiere que los receptores de cada uno de estos sistemas estén protegidos contra interferencias por el otro sistema. Los receptores terrenales pueden protegerse imponiendo límites a la densidad de flujo de potencia producida por el satélite de radiodifusión en los puntos dentro de la zona del servicio terrenal, como se especifica en el § 3.1.1. Por su parte, los receptores del sistema de radiodifusión por satélite pueden protegerse exigiendo que haya una separación adecuada entre el transmisor terrenal y el receptor que trabaja con el satélite. En el § 3.1.2 se da un ejemplo de la separación necesaria en un caso particular.

3.1.1 Protección del servicio terrenal de radiodifusión

Para proteger el servicio terrenal de televisión contra la interferencia de un sistema de televisión por satélite es necesario limitar la densidad de flujo de potencia que puede producir el satélite en puntos dentro de las zonas de servicio de las estaciones terrenales de televisión.

En la Recomendación N.º 705 de la CAMR-79, se indica el siguiente valor provisional para este límite en la banda de 620 a 790 MHz:

$$F_s = \begin{cases} -129 & \text{para } 0^\circ < \delta \leq 20^\circ \\ -129 + 0,4 (\delta - 20) & \text{para } 20^\circ < \delta \leq 60^\circ \\ -113 & \text{para } 60^\circ < \delta \leq 90^\circ \end{cases} \text{ dB(W/m}^2\text{)}$$

en donde δ es el ángulo de llegada (grados) de la señal del satélite por encima del plano horizontal.

En la Recomendación N.º 705 de la CAMR-79, se insta también al CCIR a estudiar los criterios que deben aplicarse para la compartición de frecuencias en esta banda, y a recomendar el valor que se debe utilizar en lugar del límite provisional. Como consecuencia, varias administraciones han realizado estudios sobre el particular y formulado proposiciones acerca del límite de densidad de flujo de potencia que se debiera adoptar.

En todos los casos, el límite se calculó por medio de una expresión equivalente a las ecuaciones (1) o (2). Los límites propuestos no son iguales, pero las discrepancias pueden explicarse en términos de la diferencia entre los valores supuestos para los parámetros de las ecuaciones. Estas hipótesis se resumen en el cuadro I; serán objeto de minucioso examen a fin de aclarar los problemas que se plantean al tratar de llegar a un acuerdo sobre un límite satisfactorio del valor de la densidad de flujo de potencia.

3.1.1.1 Valor mínimo de densidad de flujo de potencia terrenal que debe protegerse

La Recomendación 417 indica para las intensidades de campo en la banda V (610 a 960 MHz), correspondientes a F_{iqp} y a F_{iqm} en las ecuaciones (1) y (2), los valores de 67 y de 70 dB(μ V/m) respectivamente. En esa Recomendación se dice también que «en la práctica, las intensidades de campo que pueden tener que protegerse son más elevadas, debido a las interferencias de otras emisiones de televisión». Sin embargo, algunas administraciones que estudiaron la cuestión convinieron en que los progresos de la técnica de los receptores y la experiencia adquirida en materia de recepción de televisión terrenal indican que conviene estudiar la posibilidad de proteger valores inferiores de intensidad de campo.

La UER ha señalado que en zonas de servicio basadas en un valor mediano mínimo protegido de intensidad de campo de 70 dB(μ V/m) en el 50% de las ubicaciones, hay a menudo un número considerable de receptores domésticos y de reemisores que proporcionan imágenes satisfactorias con una intensidad de campo menor. Puede considerarse que los puntos con una intensidad de campo de unos 65 dB(μ V/m) proporcionan una cobertura satisfactoria. En muchos casos es esta la única forma de dar servicio, ya que no se dispone de ninguna otra frecuencia. Es pues, necesario proteger una intensidad de campo de 65 dB(μ V/m) contra la interferencia total. Pero, si este valor se aumenta a 68 dB(μ V/m) y admitimos que la adición se efectúa en valores de potencia, la intensidad de campo que debe protegerse contra la interferencia de satélite únicamente, debe considerarse igual a 65 dB(μ V/m). La densidad de flujo de potencia mínima que debe protegerse para el sistema terrenal es entonces -81 dB(W/m²).

El cuadro I contiene ejemplos del cálculo de los valores límites de densidad de flujo de potencia de un satélite de radiodifusión, necesarios para proteger el servicio de televisión terrenal. En el ejemplo de la URSS se ha tenido en cuenta que los valores de densidad de flujo de potencia dependen:

- de la banda de frecuencias ocupada por la señal interferente;
- de la anchura de banda del receptor de modulación de amplitud con banda lateral residual;
- del nivel del ruido aleatorio a la salida del receptor de modulación de amplitud con banda lateral residual.

3.1.1.2 *Relación de protección*

Los valores de relación de protección indicados en el cuadro I se han medido en condiciones diferentes. En el Informe 634, que trata asimismo de diferentes condiciones de medición y parámetros del sistema que afectan a la evaluación de la relación de protección, se dan resultados más detallados. En ese Informe se sugiere que, en la medida de lo posible, se defina la relación de protección para determinada combinación de condiciones y parámetros. En el mismo Informe se especifican también las correcciones que deben introducirse para diferentes condiciones y parámetros. El valor de relación de protección propuesto por la UER (véase el cuadro I) está basado en las condiciones de referencia.

3.1.1.3 *Discriminación por directividad*

Ninguno de los ejemplos tiene en cuenta explícitamente la directividad de la antena receptora; consideran en cambio, el caso más desfavorable, en el que la señal del satélite interferente llega en una dirección cercana a la del eje de la antena receptora. Sin embargo, todas las administraciones parecen aceptar el diagrama de radiación ideal indicado en la Recomendación 419 para la banda V, aunque la Administración de los Estados Unidos de América señala que, en la práctica, es probable que se utilicen antenas más directivas en los límites de la zona de servicio en cuestión. En todo caso, la utilización del diagrama de la Recomendación 419 conduciría a un aumento de la densidad de flujo de potencia del satélite para un ángulo de llegada similar al asociado al límite provisional de la Recomendación N.º 705 de la CAMR-79.

3.1.1.4 *Discriminación por polarización*

Si la emisión del satélite de radiodifusión emplea polarización circular, cabe esperar una discriminación de hasta 3 dB por parte de las antenas receptoras terrenales con polarización lineal. El Informe 339 (Nueva Delhi, 1970) contenía información sobre la discriminación que se obtendrá en el caso normal, cuando la antena transmisora del satélite y la antena receptora terrenal no estén alineadas entre sí.

3.1.1.5 *Margen para tener en cuenta las reflexiones en el suelo*

No existen datos experimentales directos con relación a este parámetro, pero la Administración del Reino Unido ha informado que una extrapolación a la banda V de predicciones teóricas de la reflexión en terreno irregular, verificadas experimentalmente en 230 MHz, indican que 3 dB es un valor razonable. La Administración de Francia y la UER concuerdan con esta suposición y citan casos extremos de un factor de reflexión cercano a la unidad de señales terrenales en el mar, lo cual podría incrementar en 6 dB la intensidad de una señal interferente.

CUADRO I – Ejemplos de cálculo de los valores límite de la densidad de flujo de potencia producida por un satélite de radiodifusión necesarios para proteger el servicio terrenal de radiodifusión en la banda de 620 a 790 MHz

1. Datos relativos a la señal deseada					
Origen de los documentos		(1978-82) 10-11S/11 (UER)	(1970-74) 11/64 (Estados Unidos de América)	(1978-82) 10-11S/53 (URSS)	
1.1	Norma y sistema de televisión	I/PAL, L/SECAM, G/PAL	M/NTSC	K/SECAM	
1.2	Escala de evaluación	Calidad 5 notas (5: excelente)	Degradación 6 notas (1: imperceptible)	Degradación 5 notas (5: imperceptible)	
1.3	Grado de calidad de la imagen	4,5	3	4,5	
1.4	Relación señal de imagen/ruido no ponderado (dB)	$\geq 41,5$	27	No menos de 40	
1.5	Intensidad de campo mínima que hay que proteger frente a la interferencia causada por el satélite (dB(μ V/m))	65	56(1)	70	
1.6	Densidad mínima de flujo de potencia que hay que proteger en un servicio terrenal $F_{i,qp}$ (dB(W/m ²))	-81	-90	-76	
2. Datos relativos a la relación de protección					
Origen de los documentos		(1978-82) 10-11S/11 (UER)	(1970-74) 11/49 (Estados Unidos de América)	(1978-82) 10-11S/53 11/116 (URSS)	
2.1	Imagen contenida en la señal deseada	Diapositivas	Diapositivas y programas recibidos directamente	Diapositivas	
2.2	Características de la señal interferente	Contenido	Barras de color	Barras de color y programas recibidos directamente	Barras de color
		Excursión de frecuencia cresta a cresta (MHz)	12	18	22
		Preacentuación	Sí	No	Sí
		Dispersión de la energía	No	No	No
2.3	Relación de protección R_q (dB)	54(2)	35	47(3)	
3.	Discriminación para la directividad D_d (dB) (4)	-	-	-	
4.	Discriminación para la polarización D_p (dB)	2	-	2	
5.	Margen para la reflexión M_r (dB)	3	-	3	
6.	Margen para interferencias múltiples, M_i (dB)	-	-	-	
7.	Límite resultante de densidad de flujo de potencia, F_s (dB(W/m ²))	-136	-125	-124	

(1) Los márgenes de desvanecimiento supuestos son los correspondientes a una potencia isotrópica radiada equivalente de 2 MW con una antena de 300 m de altura, en el servicio terrenal de radiodifusión. Intensidades de campo de 60 dB(μ V/m) y 65 dB(μ V/m) darían la misma calidad de imagen indicada durante el 90% y el 99% del tiempo, respectivamente.

(2) Para L/SECAM la relación de protección es 50,5 dB.

(3) En la fig. 8 del Informe 634 se indican relaciones de protección para diversos valores de excursiones cresta a cresta de frecuencia.

(4) Debido a que aquí se considera el caso de ángulos de elevación inferiores a 20°, no puede considerarse ninguna discriminación por directividad.

3.1.1.6 Margen para la interferencia múltiple. M_i

Un satélite sólo puede causar interferencia en la zona de servicio de un transmisor terrenal cuando las antenas receptoras están orientadas en una dirección que no es muy distinta de la del satélite. No es necesario prever, pues, un margen para las interferencias de varios satélites si puede suponerse que nunca habrá más de uno transmitiendo al mismo tiempo en un mismo canal y aproximadamente en la misma dirección.

3.1.1.7 Resumen y conclusiones

A partir de información proporcionada por la UER se ha calculado el valor límite que debe fijarse a la densidad de flujo de potencia para proteger la radiodifusión terrenal en la banda de 620 a 790 MHz contra las emisiones de futuros satélites de radiodifusión de televisión con modulación de frecuencia. El resultado de los cálculos se indica para los sistemas I/PAL, L/SECAM y G/PAL. El valor para estos tres sistemas es de $-136 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ en las condiciones de referencia. Este valor es 7 dB menor que el valor provisional recomendado por la CAMR-79.

Los límites de la zona de servicio se definieron en función de los mismos valores mínimos de la intensidad de campo terrenal que debe protegerse, muy próximos a los recomendados por el CCIR; el desvanecimiento probable de la señal terrenal en los límites de la zona de servicio no se tuvo en cuenta.

El ejemplo presentado por la Administración de Estados Unidos de América concede protección a una intensidad de campo menor, teniendo en cuenta tanto una supuesta instalación receptora de mejor calidad como una calidad de imagen inferior y desvanecimientos bastante fuertes en la señal transmitida en el servicio terrenal. Correspondiendo a una calidad inferior de la imagen, el ejemplo estadounidense consideró una relación de protección menor basada en una mayor desviación de frecuencia de la señal interferente modulada en frecuencia del satélite y en un contenido de imagen de un programa radiado típico. El límite de la densidad de flujo de potencia del satélite en el ejemplo presentado por la Administración de los Estados Unidos de América fue de $-125 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$, es decir, 4 dB mayor que el valor provisional recomendado por la CAMR-79.

En las condiciones señaladas por la Administración de la URSS en el cuadro I (nota ⁽²⁾), el límite de la densidad de flujo de potencia producida por el satélite era de $-124 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$, es decir, 5 dB mayor que el valor provisional recomendado por la CAMR-79.

Después de estudiar todos los valores introducidos en la ecuación (1) así como los resultados de las mediciones de la relación de protección en televisión para la densidad de flujo de potencia máxima admisible producida en la superficie de la Tierra por satélites de radiodifusión que funcionan en la banda 620-790 MHz, la Administración de la URSS propuso los siguientes valores:

$$F_s = \left\{ \begin{array}{ll} -77 - R_{oq} + \gamma & \text{para } 0^\circ < \delta \leq 20^\circ \\ -77 - R_{oq} + \gamma + 0,4(\delta - 20) & \text{para } 20^\circ < \delta \leq 60^\circ \\ -61 - R_{oq} + \gamma & \text{para } 60^\circ < \delta \leq 90^\circ \end{array} \right\} \text{ dB(W/m}^2\text{)}$$

donde $\gamma = 0,45 (D_v - D_{ov}) + M_d D_{dv}$, dependiendo el coeficiente de corrección de la distribución de energía de la interferencia MF, teniendo en cuenta su percepción por el espectador:

R_{oq} es la relación de protección para el valor de excursión de frecuencia D_{ov} tomado como referencia (determinado a partir de la curva correspondiente de la fig. 8 del Informe 634);

D_{dv} es la amplitud cresta a cresta de la excursión de frecuencia producida por la señal de dispersión en MHz, y

M_d es el coeficiente determinado por la fig. 9 del Informe 634.

En la evaluación de F_s se supuso que

$$F_{i,qp} = -76 \text{ dB(W/m}^2\text{)}, \quad D_d = 0, \quad D_p = 2 \text{ dB}, \quad M_r = 3 \quad \text{y} \quad M_i = 0$$

Mientras no se llegue a un acuerdo más amplio con relación a los valores que deben suponerse para los parámetros pertinentes, sería prematuro que el CCIR recomendase un valor único como límite de densidad de flujo de potencia del satélite necesario para proteger a la radiodifusión terrenal. No cabe la menor duda de que no debe descartarse la posibilidad de que haya que adoptar límites diferentes de densidad de flujo de potencia para combinaciones de señales deseadas y no deseadas de distintos sistemas.

3.1.2 Protección del servicio de radiodifusión por satélite

Las estaciones receptoras terrenales del servicio de radiodifusión por satélite se protegen normalmente manteniendo una separación mínima entre ellas y el transmisor terrenal. La separación mínima depende de las características de la instalación receptora terrenal y de la estación transmisora del sistema terrenal de radiodifusión. En las figs. 1 y 2 se muestran ejemplos de la densidad terrenal de flujo de potencia y de la separación requeridas para proteger al servicio por satélite, para las características siguientes:

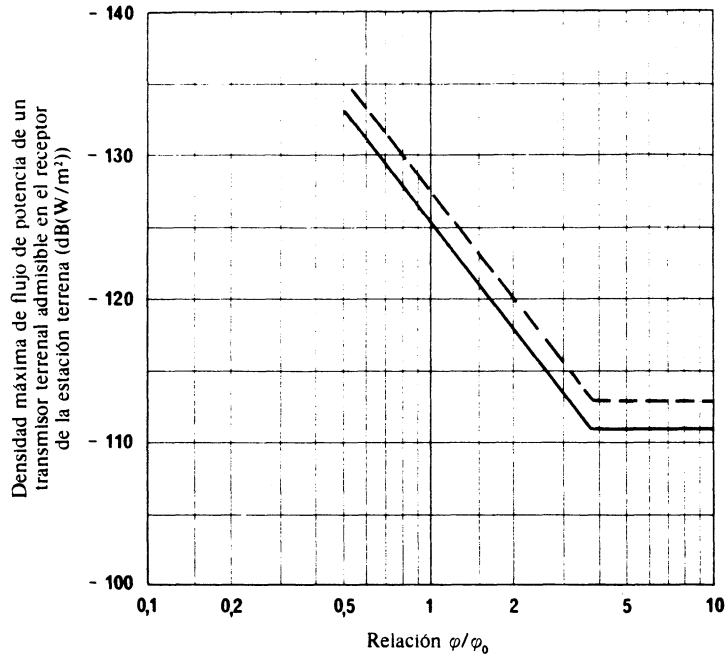


FIGURA 1 — Ejemplo de densidad máxima de flujo de potencia admisible de un transmisor terrenal para proteger al receptor de una estación terrena

- ϕ : Dirección de un transmisor terrenal con relación al eje del haz principal de la antena de la estación terrena
- ϕ_0 : Anchura angular del haz a 3 dB, de la antena de la estación terrena
- : Sistema M de 525 líneas (Canadá, Estados Unidos de América)
- - - : Sistemas de 625 líneas

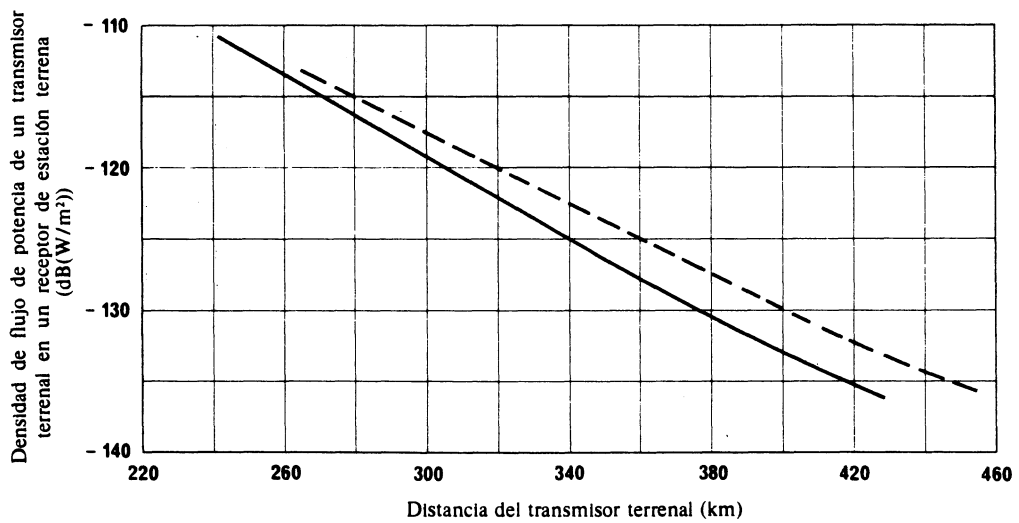


FIGURA 2 — Ejemplo de distancia de separación para proteger a los receptores de las estaciones terrenas contra un transmisor terrenal

- p.l.r.e. del transmisor terrenal: 1 MW
- Altura de la antena sobre el nivel medio del terreno: 300 m
- Frecuencia: 700 MHz
- : Sistema M de 525 líneas (Canadá, Estados Unidos de América)
- - - : Sistemas de 625 líneas

3.1.2.1 Sistema de radiodifusión terrenal

- p.i.r.e. de la estación transmisora: 1 MW;
- altura de la antena transmisora sobre el nivel medio del terreno: 300 m;
- relación señal de luminancia/valor cuadrático medio del ruido no ponderado para una interferencia apenas perceptible: 36 dB (525 líneas) y 45 dB (625 líneas);
- señal mínima que debe protegerse: 64 dB(μ V/m) (525 líneas) y 65 dB(μ V/m) (625 líneas);
- ganancia máxima de la antena receptora (Recomendación 419): 16 dB;
- relación de protección necesaria frente al servicio por satélite: 42 dB (525 líneas) y 52 dB (625 líneas).

3.1.2.2 Servicio de radiodifusión por satélite para recepción comunal

Modulación de frecuencia con excursión cresta a cresta: 10,6 MHz (525 líneas) y 13 MHz (625 líneas):

- relación señal de luminancia/valor cuadrático medio del ruido no ponderado (en el borde de la zona del haz): 36 dB (525 líneas) y 45 dB (625 líneas);
- densidad de flujo de potencia del satélite en el borde del haz:
 - 118 dB(W/m²) (525 líneas);
 - 110 dB(W/m²) (625 líneas);
- ganancia de la antena receptora (3,3 m de diámetro, anchura angular del haz 9°): 25 dB;
- discriminación de la antena receptora (Informe 810): (10,5 + 25 log ϕ/ϕ_0);
- relación de protección necesaria frente al servicio terrenal: 18 dB (525 líneas) y 28 dB (625 líneas).

Nota. – Los cálculos no incluyen margen alguno de discriminación de polarización, ni para las reflexiones en tierra o interferencias múltiples. Obsérvese también que en el ejemplo presentado en este punto se utiliza una relación de protección de 18 dB, que daría como resultado un nivel de degradación de la imagen comprendido entre 3,5 y 4 para los tipos de programas menos sensibles. En el Informe 634 se indica ahora que pueden necesitarse relaciones de protección de hasta 32 dB a fin de reducir la degradación de los tipos de programas más sensibles. Dichas relaciones exigirían mayores distancias de separación y ángulos de discriminación superiores.

3.2 Compartición con los servicios fijo y móvil

Los límites de densidad de flujo de potencia que habría que imponer al servicio de radiodifusión de televisión por satélite para proteger a los servicios fijo y móvil (incluyendo los sistemas de radioenlace transhorizonte) que actualmente tienen atribuidas las mismas bandas de frecuencias que el servicio de radiodifusión, pueden dificultar tal compartición. Por esta razón, antes de introducir un servicio de radiodifusión por satélite se requiere un estudio cuidadoso. Los sistemas por dispersión troposférica orientados en la dirección de la órbita de los satélites geoestacionarios son especialmente vulnerables. En el anexo I figuran ejemplos de los límites de densidad de flujo de potencia requeridos en caso de compartición con los servicios móviles terrestres.

4. Compartición en la banda de 2500 a 2690 MHz

4.1 Compartición con el servicio fijo

(*Nota.* – En la medida en que los sistemas propuestos de telecomunicación por satélite, del servicio fijo, utilizados para distribución de televisión, son técnicamente similares a los sistemas de radiodifusión por satélite, quedan incluidos en estas consideraciones.)

La banda de 2500-2690 MHz es compartida por los servicios fijo, móvil, fijo por satélite y de radiodifusión por satélite, todos los cuales tienen atribuciones en la banda a título primario. Otros servicios tienen atribuciones a título secundario en la parte superior de la banda, de 2655 a 2690 MHz. El servicio de radiodifusión por satélite y el servicio fijo por satélite están sujetos al mismo límite de densidad de flujo de potencia (indicado en los números 2561 a 2564 del Reglamento de Radiocomunicaciones). Por consiguiente, las consideraciones y conclusiones del presente punto se aplican a ambos servicios.

Los sistemas terrenales del servicio fijo considerados para compartir frecuencias con satélites de radiodifusión o del servicio fijo, incluyen sistemas de radioenlace con visibilidad directa y transhorizonte y cierto tipo de sistema de distribución de televisión. No se indican las condiciones de compartición entre la televisión por satélite y otros servicios terrenales por carecerse de la información suficiente.

El tipo de sistema de radiodifusión por satélite elegido para el examen es el concebido para recepción comunal. En el cuadro II figura un ejemplo de los parámetros de un sistema de tal naturaleza.

CUADRO II – Ejemplo de las características de un sistema de televisión por satélite para recepción comunal en unos 2600 MHz

(Sistema M: Estados Unidos de América y Canadá)
Transmisión con polarización circular
Modulación de frecuencia
Anchura de banda rectangular equivalente: 20 MHz
Ganancia de la antena receptora de la estación terrena (paraboloide de 2,5 m): 34 dB ⁽¹⁾
Discriminación de la antena receptora de la estación terrena: $10,5 + 25 \log (\Phi/\Phi_0)$ donde: Φ : ángulo con respecto al eje del haz principal, Φ_0 : ángulo entre puntos de potencia mitad, 3,1°
Ganancia mínima de los lóbulos laterales: 0 dB
Intensidad de campo del satélite que hay que proteger en el borde del haz: 28 dB ($\mu\text{V/m}$)
Relación señal de luminancia/valor r.m.s. del ruido no ponderado: 36 dB
Relación de protección necesaria del SFTE ⁽²⁾ : 30 dB ⁽³⁾

(1) Se ha utilizado en este ejemplo una antena de 2,5 m de diámetro, por estimarse que ello reduciría al mínimo el costo total del sistema en muchas aplicaciones de la Región 2, según se ha comprobado en un estudio realizado en los Estados Unidos de América [Kelley y otros, 1976].

(2) SFTE significa servicio fijo de televisión educativa.

(3) Tomada del Informe 634.

4.1.1 Compartición con sistemas de radioenlace con visibilidad directa

Si bien este caso no ha podido estudiarse a fondo por carecerse de la adecuada información, cabe observar que el establecimiento de circuitos con muchas estaciones repetidoras implica a menudo el empleo reiterado de las frecuencias, según un plan por el que se ocupa una parte continua de la banda atribuida, del que es difícil apartarse (véanse las Recomendaciones 283 y 382).

El funcionamiento en el mismo canal radioeléctrico de un transmisor de un sistema de relevadores radioeléctricos en el interior de la zona de servicio de un sistema de radiodifusión por satélite, o en sus proximidades, debería proibirse, debido al «hueco» que el transmisor del sistema de radioenlace provoca necesariamente en esta zona; por lo tanto, esto hace muy difícil el establecimiento de una red de radioenlaces utilizando un plan de canales.

4.1.2 Compartición con sistemas de radioenlaces transhorizonte

La compartición de frecuencias entre sistemas de radiodifusión por satélite y sistemas de radioenlaces transhorizonte en las proximidades de 2600 MHz, sólo es técnicamente posible en la medida en que cada uno de los sistemas pueda aceptar ciertas limitaciones técnicas y de explotación necesarias para protegerlo de la interferencia provocada por el otro (véase el § 8.4.3 del Informe de la Reunión Mixta Especial, Ginebra, 1971).

4.1.2.1 *Protección de sistemas transhorizonte*

La protección de sistemas transhorizonte contra la interferencia perjudicial procedente del servicio fijo por satélite se proporciona actualmente mediante una combinación de límites de densidad de flujo de potencia para los satélites (números 2561 a 2564 del Reglamento de Radiocomunicaciones), y una disposición en la que se insta a evitar que las antenas de los sistemas transhorizonte estén dirigidas hacia la órbita de los satélites geoestacionarios (número 764 del Reglamento de Radiocomunicaciones) y, en todo caso, a que se aparten por lo menos dos grados de la misma (número 2502 del Reglamento de Radiocomunicaciones).

En el Informe 393 se indican métodos de determinación de los acimutes y los ángulos de elevación que han de evitar las antenas de los sistemas transhorizonte.

4.1.2.2 *Protección de sistemas de radiodifusión por satélite*

Los receptores del servicio de radiodifusión por satélite serían sensibles a interferencia por los transmisores de los sistemas de radioenlaces transhorizonte, en una zona alargada que se extiende en una distancia considerable, en el sentido en que está apuntada la antena transhorizonte; la extensión de esta zona es función de la directividad de la antena y de las direcciones relativas del enlace transhorizonte y el satélite. Por ende, el establecimiento de una zona de servicio de un satélite de radiodifusión impediría la introducción de nuevos sistemas transhorizonte en aquella zona y en su proximidad si la zona entera fuera a protegerse de la interferencia.

4.1.3 *Compartición con un cierto tipo de sistema del servicio fijo terrenal de distribución de televisión*

En el cuadro III se da un ejemplo de las características del tipo de sistema en cuestión. Estas características son típicas del sistema de Servicio Fijo de Televisión Educativa (SFTE), utilizado en partes de la Región 2. Específicamente estos sistemas utilizan transmisores de unos 10 W con antenas omnidireccionales o directivas y tienen puntos determinados de recepción (instituciones docentes) que emplean antenas receptoras parabólicas direccionales. Se utiliza una variedad de antenas receptoras más o menos normalizadas, con aberturas de 0,61, 1,22, 1,83 y 2,44 m (es decir, 2, 4, 6 y 8 pies). Se selecciona la antena apropiada para la distancia a que se encuentra el transmisor. En muchos de los sistemas el factor de ruido del receptor es 9 dB. No obstante, recientes progresos técnicos permiten utilizar receptores con factores de ruido de sólo 3,5 dB.

La compartición de frecuencias cercanas a 2600 MHz entre un sistema de satélite de radiodifusión y un sistema SFTE es técnicamente posible en ciertas condiciones. Habría que especificar un límite para la densidad de flujo de potencia de la señal del satélite, a fin de proteger el servicio SFTE y la interferencia causada por el funcionamiento del servicio SFTE produciría un «hueco» o una zona de interferencia en la zona del servicio por satélite. El tamaño de esta zona de interferencia depende de la potencia del transmisor y de la altura de la antena transmisora del sistema SFTE, de la discriminación angular de la estación receptora terrena del sistema de radiodifusión por satélite y del ángulo de elevación del satélite.

4.1.3.1 *Protección de los sistemas del Servicio Fijo de Televisión Educativa (SFTE)*

El servicio de radiodifusión por satélite (televisión) con modulación de frecuencia de banda ancha puede compartir frecuencias con el SFTE en la banda de 2600 MHz siempre que se limite la densidad de flujo de potencia de cada canal del satélite con arreglo a los valores indicados en la fig. 3.

Puede demostrarse que la densidad de flujo de potencia interferente admisible, ρ_i , es:

$$\rho_i = \frac{C/N}{C/I} \cdot \frac{4\pi kTB}{\lambda^2} \cdot \frac{1}{G(\varphi)} \quad (3)$$

donde $G(\varphi)$ es la ganancia de la antena del SFTE para un ángulo φ con respecto al eje.

En la fig. 3 se han trazado las curvas correspondientes a cada diámetro de antena del SFTE, para los factores de ruido de 9 y 3,5 dB, y una relación señal de luminancia/valor cuadrático medio del ruido no ponderado de 43 dB. La línea de trazo discontinuo indica la densidad de flujo de potencia para el sistema de radiodifusión por satélite basada en el cuadro II (es decir, $-115 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ en el centro del haz).

CUADRO III – *Ejemplo de las características de un sistema típico del SFTE
(con una frecuencia de trabajo próxima de 2600 MHz)*

Modulación de amplitud de banda lateral residual, sistema M (Estados Unidos de América y Canadá)		Omnidireccional
P.i.r.e. (dBW)		20
Alcance de servicio (aproximadamente) (km)		50
Intensidad de campo a proteger (dB(μ V/m))		56
Relación señal de luminancia/valor r.m.s. del ruido no ponderado (dB)		43
Ganancia de la antena receptora (dB) para diámetro (m) de:		
0,61		21,5
1,22		27,5
1,83		31
2,44		33,5
Discriminación de la antena receptora: (dB) donde: φ : ángulo con respecto al eje del haz principal φ_0 : ángulo entre puntos de potencia mitad		$10,5 + 25 \log(\varphi/\varphi_0)$
Relación de protección necesaria de la señal del satélite (dB)		50
Anchura angular del haz de la antena receptora (grados)		12,8; 6,4; 4,3 y 3,2

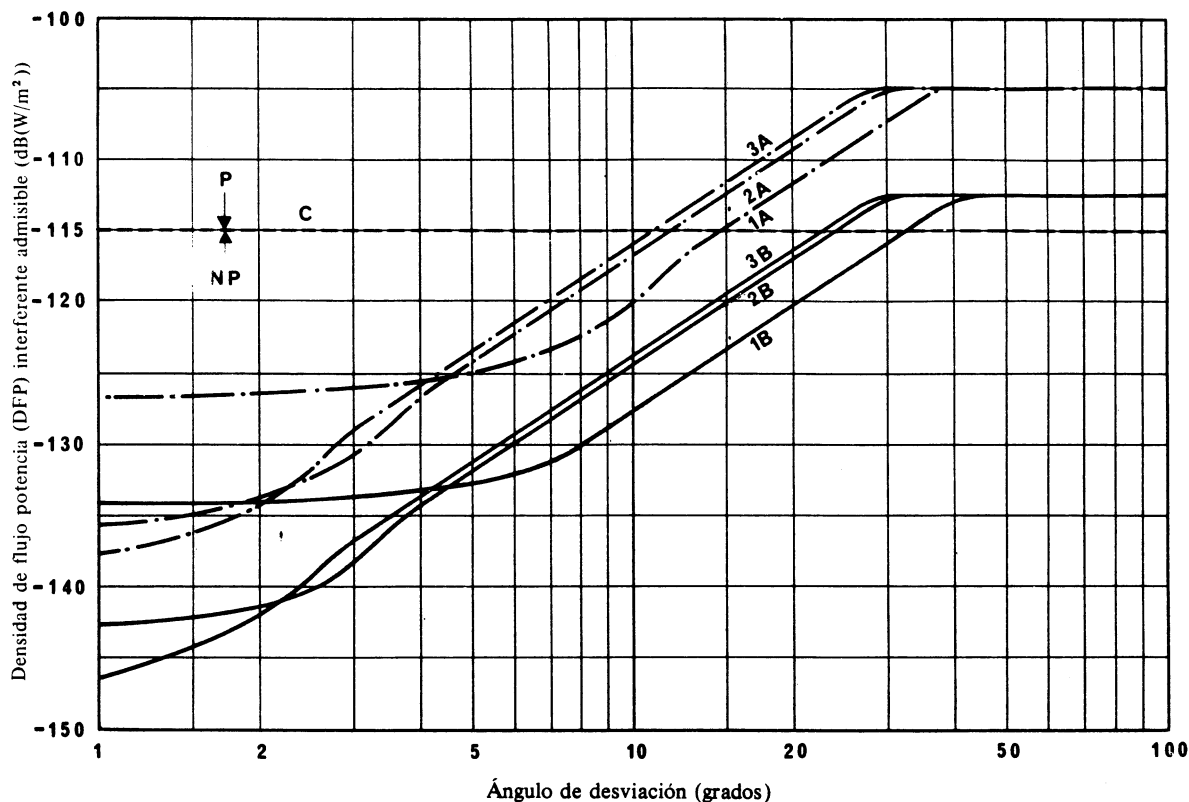


FIGURA 3 – Densidad de flujo de potencia interferente admisible de un satélite de radiodifusión en función del ángulo de desviación (para la protección del sistema SFTE)

Curva	Diámetro, D (m)	Factor de ruido (dB)
1A	0,6	9
1B	0,6	3,5
2A	1,83	9
2B	1,83	3,5
3A	2,44	9
3B	2,44	3,5

Nota. – La relación señal/ruido es de 43 dB y la relación portadora/interferencia de 50 dB, para todas las curvas.

C — — — Señal que ha de protegerse (densidad de flujo de potencia en el centro del haz, -115 dB(W/m²))

P : Región protegida

NP: Región no protegida

Para el territorio principal de los Estados Unidos de América, cuando se trata de satélites emplazados en medio del continente, los ángulos de elevación son casi siempre mayores de 30° . Adviértase, asimismo, que el ángulo de desviación (entre el haz principal de la antena de la estación terrena de radiodifusión por satélite y la antena de una estación terrena) nunca será inferior al ángulo de elevación del satélite, sean cuales fueren los acimutes del sistema terrenal. Por consiguiente, como puede verse en la fig. 3, un sistema de radiodifusión por satélite no causaría interferencia a un sistema SFTE con una relación señal/ruido de 43 dB con las características mostradas en el cuadro III, incluso si el receptor corresponde a un factor de ruido de sólo 3,5 dB (como puede verse en las curvas 1A, 2A, 3A, 1B, 2B y 3B).

Los sistemas SFTE con objetivos más altos para la relación señal/ruido, por ejemplo, 45 ó 49 dB, se protegerían contra la interferencia con ángulos de desviación incluso más pequeños. Del mismo modo, las relaciones de protección inferiores, que pueden ser aceptables para señales del servicio de radiodifusión por satélite interferentes con una desviación de cresta mayor (conforme se indica en el § 1.6 del Informe 634) supondrían también ángulos de desviación más pequeños para lograr el nivel de protección deseado.

4.1.3.2 Protección del sistema de radiodifusión de televisión por satélite

Una instalación terrena para recepción comunal puede protegerse de la interferencia del SFTE si la densidad de flujo de potencia de este último se limita a un valor máximo de $-115 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ como se ve en la fig. 4. Esta protección puede lograrse con un ángulo mínimo de elevación del satélite de 31° .

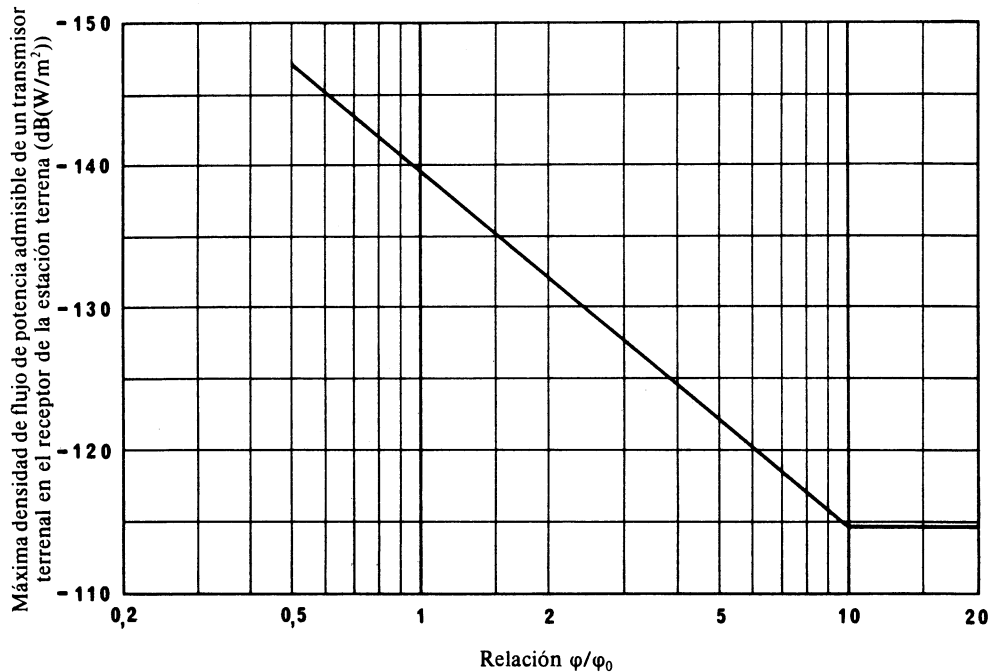


FIGURA 4 – Ejemplo de la máxima densidad de flujo de potencia admisible del transmisor de una estación terrenal para proteger a los receptores de estaciones terrenas del servicio de radiodifusión por satélite (SFTE en 2,6 GHz)

ϕ : Dirección del satélite con relación al eje del haz principal de la antena receptora terrenal
 ϕ_0 : Anchura angular del haz a 3 dB de la antena receptora terrenal

La separación necesaria entre la instalación receptora terrena y el transmisor del SFTE para diferentes valores de densidad de flujo de potencia y ángulos de discriminación, entre 60 km y más de 140 km, se indica en la fig. 5. Estos valores suponen la inexistencia de un factor de pantalla del terreno y se han calculado a base de la siguiente ecuación:

$$E_t(d, r) = p.i.r.e._t - 10 \log(4\pi d^2) - L_t(d, r) + 145,8 \quad (4)$$

donde:

$E_t(d, r)$: señal radiada por el transmisor terrenal (dB($\mu\text{V/m}$)) a la distancia d , con una probabilidad $r\%$;

d : distancia a que se encuentra el transmisor terrenal;

$L_t(d, r)$: atenuación por encima de la pérdida por dispersión, a la distancia d , no rebasada durante $r\%$ del tiempo (se supone aquí 1%).

Obsérvese que en este ejemplo se ha utilizado una relación de protección de 30 dB, lo que concuerda con el Informe 634. El valor de $L_t(d, r)$ concuerda con el Informe 569 y se supone un valor de $H = 200 \text{ m}$.

Las distancias de separación indicadas en la fig. 5 son valores teóricos para los casos más desfavorables. Se han hecho algunas observaciones sobre la interferencia de transmisores del SFTE a receptores similares a los que puedan utilizarse en el servicio de radiodifusión por satélite. Estos valores de interferencia se obtuvieron en experimentos realizados con el vehículo espacial ATS-6 y toda una serie de pequeñas instalaciones receptoras, algunas de ellas situadas cerca de transmisores del SFTE o en diversos puntos situados dentro de los diagramas de radiación de las antenas transmisoras del SFTE.

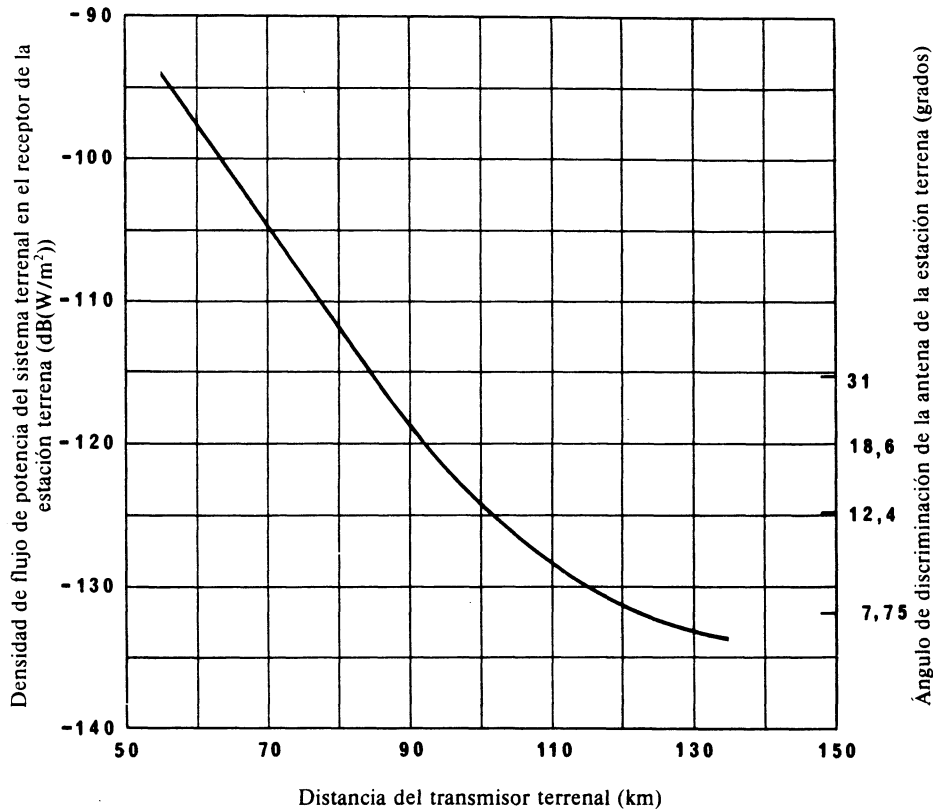


FIGURA 5 - Ejemplo de distancia de separación para proteger a los receptores de estaciones terrenas contra los transmisores terrenales (SFTE en 2,6 GHz)
P.i.r.e.: 20 dBW

En varios casos, las distancias de separación y los ángulos de discriminación reales no eran suficientes para asegurar la recepción sin interferencia según los criterios de este Informe, pero no se observaron interferencias aun cuando dichos receptores estaban bastante cerca de la antena transmisora o casi en el interior de su haz principal.

Si bien las observaciones no fueron lo suficientemente detalladas o amplias para que pueda pensarse en cambiar los métodos de cálculo descritos en este Informe, si sugieren que los mismos son demasiado prudentes y que las ubicaciones y zonas libres de interferencia pueden ser mayores que las indicadas en las curvas que figuran en este Informe.

Los resultados y conclusiones expuestos en este punto se basan en consideraciones teóricas. Para confirmar estas predicciones se necesitan mediciones precisas de la interferencia en la proximidad de sistemas terrenales en la banda de 2500-2690 MHz.

4.2 Dispersión de energía

Una administración ha examinado la utilización de la dispersión de energía en la banda de 2,6 GHz. El cálculo de la anchura de banda requerida y la correspondiente relación señal/ruido lleva a la conclusión de que la necesidad de asegurar la dispersión de energía puede limitar considerablemente la calidad de funcionamiento de un sistema de radiodifusión por satélite en 2,6 GHz que utilice antenas receptoras pequeñas.

4.3 Compartición con el servicio de radioastronomía

En el Informe 224 se examina la compartición entre los servicios de radioastronomía y de radiodifusión por satélite. En la banda compartida, hay que estudiar las posibilidades de compartición geográfica. Al hacer asignaciones, las administraciones deben tener en cuenta los problemas de las bandas adyacentes examinados en los Informes 224 y 807.

5. Compartición de frecuencias en la banda de 11,7 a 12,75 GHz

Se indican aquí las condiciones de compartición de frecuencias en la banda de 12 GHz entre los servicios terrenales y el servicio de radiodifusión por satélite. En los Informes 561 y 809 se trata de la compartición de frecuencias entre los servicios de radiodifusión por satélite y fijo por satélite en la banda de 11,7 a 12,2 GHz (aplicable a la Región 2).

Si se desea un mayor grado de fiabilidad del servicio, la atenuación debida a la lluvia puede requerir importantes márgenes de propagación en determinados climas. Deberán tenerse en cuenta los efectos de esos márgenes cuando se examinen problemas de compartición.

5.1 Condiciones de protección de sistemas terrenales contra la interferencia de sistemas de radiodifusión por satélite

5.1.1 Consideraciones generales

En el Informe 215 se indica, como ejemplo, que la anchura de banda de una emisión de radiodifusión por satélite en 625 líneas es de 27 MHz. En ausencia de información de video, o cuando la información de video es repetitiva en cierto modo, la potencia puede concentrarse en forma de crestas de energía. Como algunos servicios terrenales pueden resultar afectados por la densidad espectral de potencia más que por la potencia total de interferencia, es importante tratar de relacionar la potencia de transmisión de un satélite de radiodifusión con la potencia en diferentes anchuras de banda. Esto lleva a considerar la aplicación de la dispersión de energía a la emisión del satélite de radiodifusión o del servicio interferido.

En el caso de los sistemas terrenales analógicos utilizados para transmitir telefonía MDF-MF, en los cuales se considera una anchura de banda de 4 kHz al evaluar los niveles de interferencia, la dispersión de energía tiene ventajas considerables. Los estudios sobre la dispersión de energía en el servicio de radiodifusión por satélite han demostrado que existen valores de dispersión «natural» del orden de 10 dB [CCIR, 1974-78a, b y c].

La CAMR-RS-77 ha adoptado el uso de dispersión de energía para el servicio de radiodifusión por satélite, especificando un valor de 600 kHz. La CAMR ORB-85, al incorporar el Plan del servicio de radiodifusión por satélite de la CARR SAT-83 para la Región 2 en el Reglamento de Radiocomunicaciones, prescribió la utilización de la dispersión de energía, de modo que la densidad de flujo de potencia espectral medida en una anchura de banda de 4 kHz se reduzca en 22 dB con respecto a su valor en la anchura de banda total. Esa reducción corresponde a una excursión cresta a cresta de aproximadamente 600 kHz.

Con tal valor parecería ser insignificante la mejora aportada en el caso de los sistemas terrenales que transportan señales de televisión. El efecto subjetivo de una señal MF con dispersión sobre una señal de televisión MA equivale de hecho a una reducción de la relación de protección de aproximadamente 1,5 dB por MHz de excursión cresta a cresta de la señal con dispersión (véase el Informe 634).

Es poco probable que se haga un amplio uso de dispersión de energía en servicios terrenales tales como el servicio fijo.

La densidad de flujo de potencia producida en una banda de 4 kHz por la emisión de un satélite de radiodifusión puede obtenerse simplemente sustrayendo el valor apropiado en el cuadro IV de la densidad de flujo de potencia total en la anchura de banda de 27 MHz.

CUADRO IV — Mejora aportada por la dispersión de energía referida a una banda de 4 kHz

Condición de dispersión	Dispersión de energía (dB)
Dispersión natural	10
Dispersión de 600 kHz (CAMR-RS)	22
Dispersión de 1 MHz	25
Dispersión de 2 MHz	27
Dispersión de 4 MHz	30

Puede obtenerse en ciertas circunstancias una protección adicional, que depende también del espectro de la emisión del satélite de radiodifusión, desplazando los canales terrenales con respecto a los del satélite de radiodifusión. Tal protección dependerá, naturalmente, de que la emisión terrenal tenga una anchura de banda igual o inferior a la separación entre canales del satélite de radiodifusión, y el valor exacto de la mejora dependerá del espectro de las dos señales. Se requieren nuevos estudios para determinar valores numéricos, pero éstos pueden oscilar entre 0 y 10 dB, según los factores aludidos. Como en el Informe 634 se indica que la dispersión de energía tiene un efecto adverso en las relaciones de protección, cabría tal vez pensar que tendrá también un efecto adverso en la mejora que supone, para los servicios terrenales, el desplazamiento de sus emisiones con respecto a las de los satélites de radiodifusión.

La CAMR-RS-77 y la CARR SAT-83 ha adoptado la polarización circular para el servicio de radiodifusión por satélite. Los sistemas terrenales que empleen polarización lineal no deben contar con una discriminación por polarización superior a 3 dB.

5.1.2 Interferencia causada por sistemas de radiodifusión por satélite en la radiodifusión terrenal

La interferencia causada por sistemas de radiodifusión por satélite en la radiodifusión terrenal se examina en este punto de acuerdo con el esquema de la fig. 6. En ésta se muestran los dos elementos esenciales de la compartición en la situación de que se trata: la discriminación de la antena del satélite (que puede expresarse en función del ángulo ϕ respecto del eje del haz) y la discriminación de la antena receptora terrenal (que puede expresarse en función del ángulo de llegada θ).

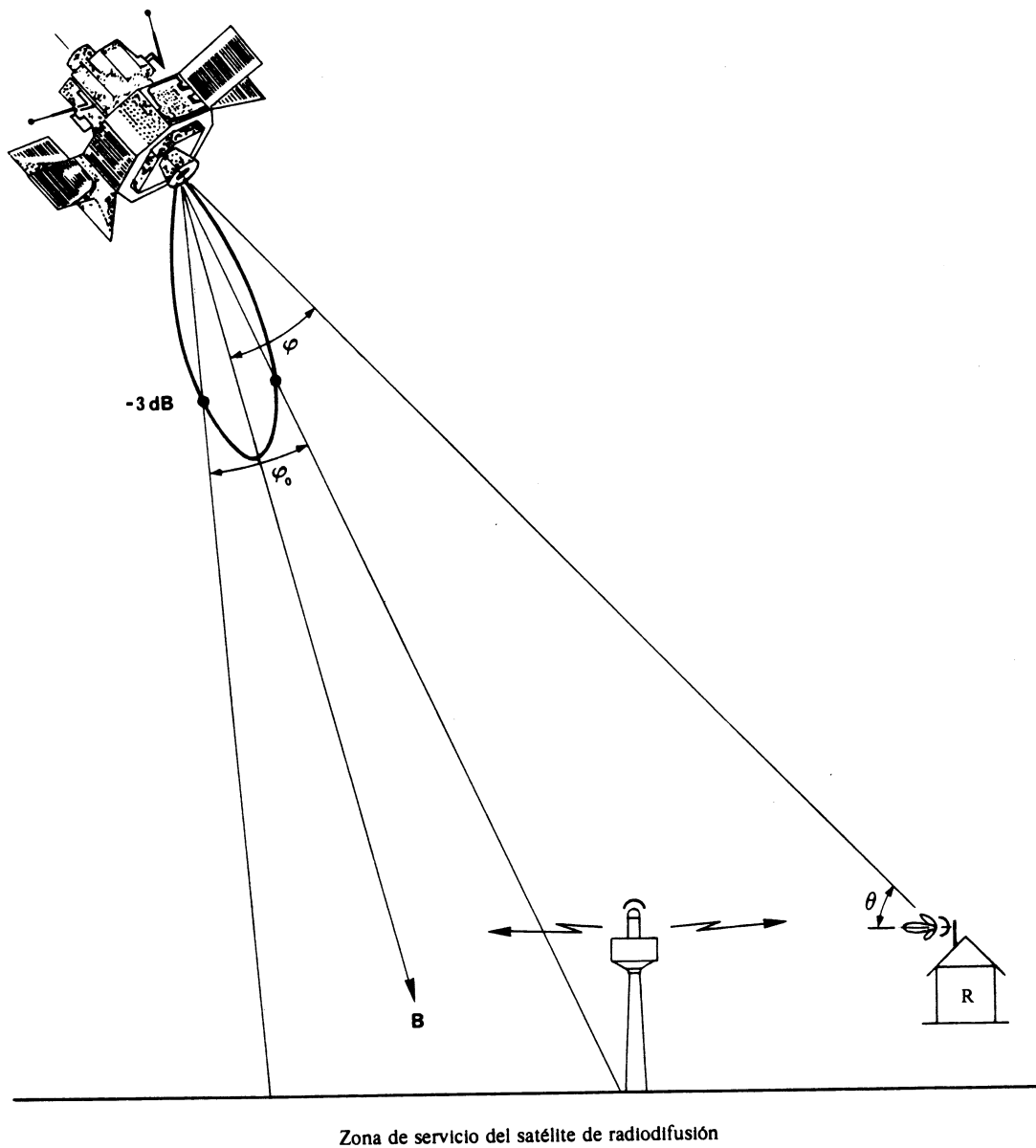


FIGURA 6 — Interferencia producida por un transmisor de radiodifusión por satélite en el receptor de radiodifusión terrenal

- ϕ : Ángulo respecto del eje del haz de la antena del satélite
- B : Eje del haz
- θ : Ángulo de llegada
- R : Receptor terrenal



Para ilustrar los conceptos de este modelo de compartición, se supone que el eje del haz indicado en la fig. 6 está orientado hacia un punto de latitud 40° N, y que la anchura angular del haz de la antena del satélite es de 2° . La densidad de flujo de potencia resultante en la longitud correspondiente a dicho punto está representada en la fig. 7 por la línea de trazo continuo. Los diferentes valores son el resultado de la discriminación de la antena del satélite. La línea de trazo interrumpido indica, para el ejemplo de un sistema de radioenlace que transmite señales de televisión (línea 2 del cuadro V), la densidad de flujo de potencia interferente aceptable. Los diferentes valores son el resultado de la discriminación de la antena del radioenlace. Cuando la línea de trazo interrumpido está por encima de la de trazo continuo, la compartición es posible para cualquier acimut del receptor terrenal. Cuando la línea de trazo continuo está por encima de la de trazo interrumpido, la compartición sólo es posible si la antena del sistema terrenal está desplazada en acimut en una magnitud adecuada con respecto a la posición del satélite en la órbita geoestacionaria. Este mismo ejemplo se representa en la fig. 8 en forma de un mapa de contornos, que muestra que, con este caso particular de sistema terrenal, es posible la compartición en las porciones no sombreadas, sin restricciones. En las regiones sombreadas, la compartición sólo es posible con algunas restricciones en lo que respecta a la dirección de orientación de la antena del sistema de radioenlace.

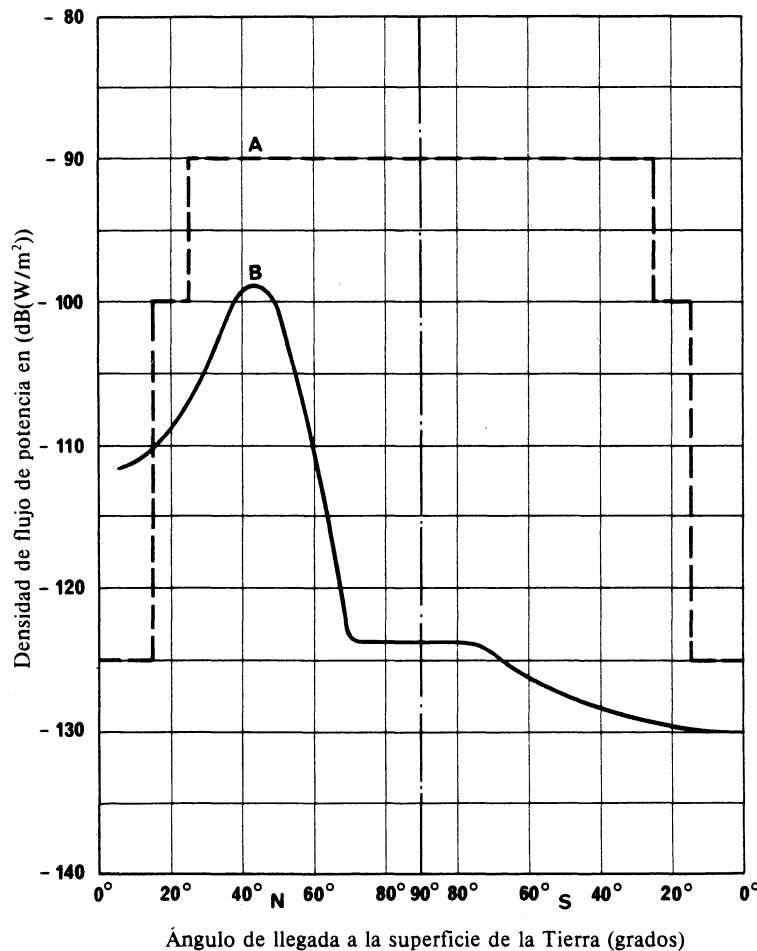


FIGURA 7 - Ejemplo del modelo de compartición 2 que muestra la viabilidad de la compartición de frecuencias entre un satélite de radiodifusión para recepción individual y un sistema de relevadores radioeléctricos para televisión

- Densidad de flujo de potencia del satélite de radiodifusión; punto de incidencia del haz del satélite: 40° N
apertura del haz de la antena del satélite: 2°
- - - Máxima densidad de flujo de potencia interferente admisible en el sistema de relevadores radioeléctricos para televisión (ejemplo del [CCIR, 1974-78e]).
- . - . Ecuador

Curvas A: Sistema terrenal
B: Satélite

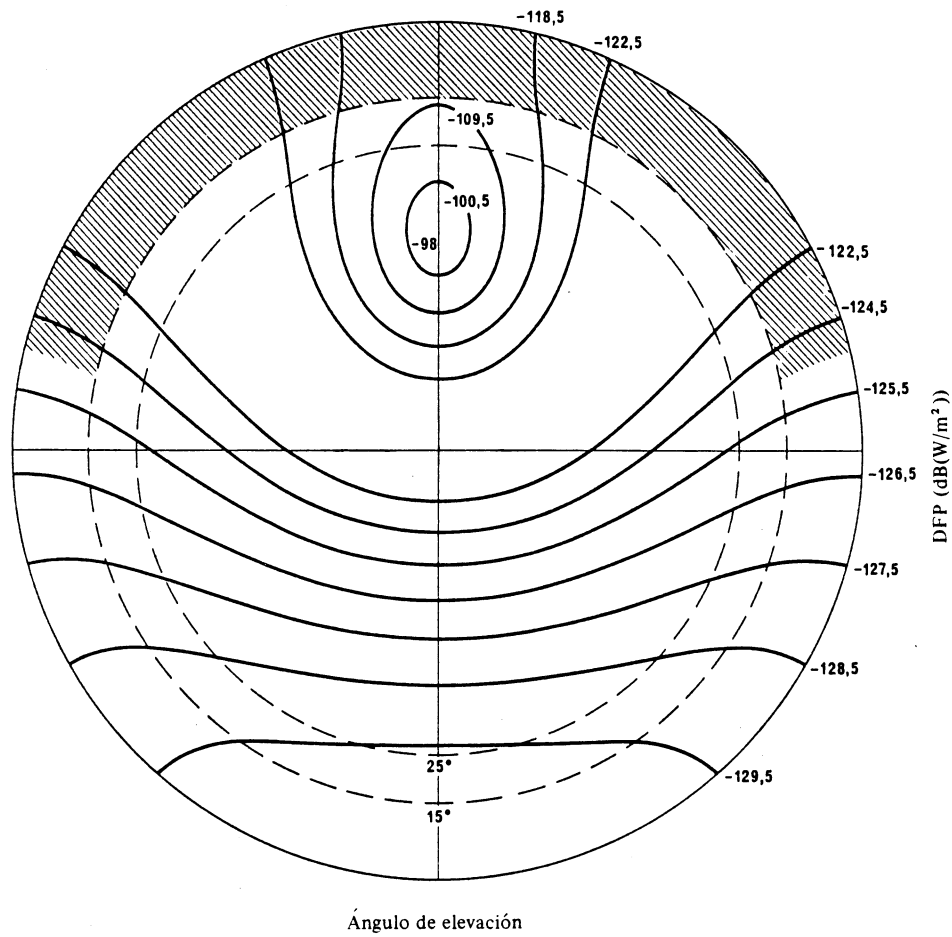


FIGURA 8 – Densidad de flujo de potencia de un satélite de radiodifusión con un haz de 2° orientado hacia la latitud 40° Norte

Nota. – En este diagrama, la superficie rayada indica la zona de la superficie de la Tierra en que se rebasa la densidad de flujo de potencia interferente máxima admisible en un enlace de retransmisores radioeléctricos para televisión [CCIR, 1974-78 f].

CUADRO V – Ejemplos de densidades de flujo de potencia interferentes admisibles por sistemas que funcionan en la banda de 12 GHz

(De [CCIR, 1974-78a])

Sistema deseado	Porcentaje de tiempo	Densidad de flujo de potencia máxima interferente (dB(W/m ²)) para un ángulo de llegada de 0° con relación al eje principal de la antena terrenal	Discriminación de la antena fuera del eje del haz ⁽¹⁾
1	2	3	4
Radioenlaces MF con visibilidad directa para telefonía ⁽³⁾	99,9	—128/4 kHz ⁽²⁾ para cualquier ángulo de llegada	35-25 log φ
Radioenlaces MF con visibilidad directa por los que se transmiten programas de televisión ⁽³⁾	99,9	—125/5 MHz	10,5 + 25 log (φ / φ_0)
Sistemas multicanal MA con visibilidad directa por los que se transmiten programas de televisión ⁽³⁾	99,9	—134/5 MHz	10,5 + 25 log (φ / φ_0)
Sistema terrenal de televisión MA	99	—130/5 MHz	9 + 20 log (φ / φ_0)
Sistema terrenal de televisión MF	99	—130/27 MHz	9 + 20 log (φ / φ_0)
Sistemas de televisión por satélite (recepción individual)	99	—131/27 MHz	—(9 + 20 log (φ / φ_0)) ⁽²⁾ para $0,707\varphi_0 < \varphi \leq 1,26\varphi_0$ —(8,5 + 25 log (φ / φ_0)) para $1,26\varphi_0 < \varphi \leq 9,55\varphi_0$

(1) Ganancia de la antena fuera del eje del haz.

(2) Véase el Informe 810.

(3) Para más información sobre los parámetros de estos sistemas, véase el Informe 608 (Kyoto, 1978).

Debe advertirse que en el ejemplo precedente únicamente se considera el caso de un solo haz en el satélite. Si bien un haz de 2° en 40° N constituye un ejemplo bastante representativo del caso más desfavorable, la zona geográfica exacta en que es posible la compartición dependerá del plan real de asignación de posiciones orbitales/frecuencias que se elabore. La zona geográfica dependerá también en gran medida de la sensibilidad de los servicios terrenales que utilice la banda.

El ejemplo precedente se refiere a una anchura angular determinada del haz de la antena del satélite. A continuación se ilustra una forma más general de expresar los criterios de compartición para cualquier anchura angular de dicho haz, en el caso de un sistema de radiodifusión terrenal [CCIR, 1974-78d].

En el ejemplo, el valor necesario de relación de protección para una interferencia apenas perceptible, PR_0 , es de 56 dB (señal deseada: MA-BLR, 625 líneas; señal interferente: MF, excursión nominal de frecuencia cresta a cresta: 8 MHz). Sin embargo, teniendo en cuenta el enmascaramiento de la interferencia por el ruido errático, se ha adoptado para los cálculos un valor inferior PR_1 , de relación de protección, calculado mediante la ecuación:

$$PR_1 = PR_0 - (49 - S/N) \quad (5)$$

en donde S/N es la relación señal de luminancia cresta a cresta/valor eficaz del ruido ponderado, excedida durante el 99% del tiempo en el borde de la zona de servicio del sistema de radiodifusión terrenal. Se supone que esta relación señal/ruido es de 39 dB.

Así,

$$PR_1 = 56 - (49 - 39) = 46 \text{ dB} \quad (6)$$

La densidad de flujo de potencia mínima de la señal deseada en el borde de la zona de cobertura del sistema de radiodifusión terrenal excedida durante el 99% del tiempo es $-85,5 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$. En consecuencia, la densidad de flujo de potencia de una señal interferente que llega en la dirección menos favorable en el plano horizontal, no debe exceder de $-131,5 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$.

En el supuesto de que la densidad de flujo de potencia típica producida en la superficie de la Tierra por el satélite de radiodifusión en el eje del haz sea de $-98 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ con tiempo claro, debe asegurarse una discriminación de unos 33,5 dB.

Se supone que el diagrama de la envolvente de los lóbulos laterales de la antena receptora del sistema de radiodifusión terrenal se ajusta a la curva A de la fig. 2 del Informe 810. En el cuadro VI se indican los valores de ganancia de antena de acuerdo con esta curva de referencia.

Del cuadro VI se desprende que la respuesta angular de las antenas receptoras del sistema de radiodifusión terrenal no asegura por sí sola la discriminación requerida de 33,5 dB. En consecuencia, no es posible explotar en el mismo canal el servicio terrenal con modulación de amplitud, dentro de la zona de servicio del satélite de radiodifusión.

CUADRO VI – Ganancia y discriminación angular para las antenas receptoras del sistema de radiodifusión terrenal

Ángulo respecto del eje del haz (θ) (grados)	Ganancia de antena (dB)	
	Con relación al radiador isótropo	Con relación a la ganancia máxima del lóbulo principal (34,5 dB)
10	13,5	-21,0
15	8,0	-26,5
20	5,5	-29,0
25	3,0	-31,5
>29,65	1,5	-33,0

Sin embargo, fuera de la zona de servicio del satélite de radiodifusión, se obtiene una discriminación angular adicional merced a la discriminación angular de la antena transmisora del satélite de radiodifusión (véase la fig. 6).

Se supone que la ganancia relativa de la antena transmisora del satélite de radiodifusión se ajusta a la curva A de la fig. 1 del Informe 810. Se ha calculado, y se indica en el cuadro VII, el valor necesario de φ/φ_0 (fig. 6) para obtener una discriminación angular adicional suficiente.

CUADRO VII – Valor necesario de la discriminación angular adicional de la antena del transmisor del satélite de radiodifusión

Ángulo de elevación del satélite de radiodifusión en el punto de recepción (grados)	Valor necesario de discriminación angular de la antena del transmisor del satélite de radiodifusión (dB)	Valor necesario de φ/φ_0
10	12,5	0,98
15	7,0	0,60
20	4,5	0,54
25	2,0	0,33
$\geq 29,65$	0,5	0,25

Otro ejemplo de un sistema de radiodifusión terrenal, en el que se ha supuesto una densidad de flujo de potencia mínima en el borde de la zona de servicio de $-78,2 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$, permite aceptar una densidad de flujo de potencia interferente en la dirección menos favorable en el plano horizontal, no superior a $-124,2 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$. Tal valor permitiría la compartición en zonas geográficas más grandes que en el caso del ejemplo consignado en el cuadro VII.

Aparecen otros ejemplos en [CCIR, 1974-78g, h, i, j, k].

Como resultado de los experimentos efectuados en el Japón con señales de televisión NTSC de 525 líneas [CCIR, 1978-82a] se observó que las señales de radiodifusión por satélite no provocan interferencia perjudicial en un sistema de radiodifusión terrenal MA-BLR a 12 GHz, dentro de su zona de cobertura incluso con canales en superposición en el caso en que la DFP del satélite BSE era de $-106 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ y el ángulo de elevación de unos 40° , mientras que se supuso que el servicio terrenal tenía una gama máxima correspondiente a una DFP de $-70 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$.

5.1.3 Interferencia producida por el servicio de radiodifusión por satélite en el servicio fijo

La interferencia a los sistemas de relevadores radioeléctricos terrenales puede deberse a las transmisiones del servicio de radiodifusión por satélite. La densidad de flujo de potencia producida en la superficie de la Tierra, en el territorio de otros países, por cualquier estación espacial del servicio de radiodifusión por satélite está limitada a un valor del orden de $-128 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$, independientemente del ángulo de llegada.

En estas condiciones pueden establecerse, para la elección del trayecto de un sistema de radioenlace, restricciones tales que la potencia de interferencia en un canal telefónico de un radioenlace de referencia, constituido por 50 estaciones, no exceda de 1000 pW, para una densidad de flujo de potencia en la superficie de la Tierra de $-128 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$, cualquiera que sea el ángulo de llegada.

Se utiliza en los cálculos la siguiente aproximación:

$$P = P_m \cdot W \cdot (G(\theta)/S_i)^* \quad (7)$$

en donde:

W : densidad de flujo de potencia admisible en la superficie de la Tierra; en este caso se supone que es equivalente a $-128 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$;

P : potencia de interferencia del canal telefónico (W);

P_m : potencia de ruido térmico en el canal telefónico, que se supone igual a 20 pW;

* En los cálculos, ha de tenerse cuidado en emplear unidades coherentes.

$G(\theta)$: factor de ganancia de las antenas receptoras del sistema de radioenlace en la dirección de llegada de la señal interferente de una estación espacial:

$$10 \log G(\theta) = 35 - 25 \log (\theta)$$

$$S_r = 4\pi kTB \cdot \lambda^2$$

$$k = 1,38 \times 10^{-23}$$

$$\lambda = 2,5 \text{ cm}$$

$$T = 890 \text{ K}$$

$$B = 4 \text{ kHz.}$$

Como muestran los cálculos, con las hipótesis adoptadas, la potencia total de interferencia no excede de 1000 pW si, por ejemplo, la orientación de una antena receptora del radioenlace difiere en 3° de la de la estación espacial interferente, al tiempo que las demás antenas difieren en 16° de la dirección de las estaciones espaciales interferentes, o si las orientaciones de todas las antenas difieren en 13° aproximadamente de la dirección de las estaciones espaciales interferentes.

Las limitaciones indicadas pueden cumplirse tanto en latitudes bajas como altas. Sin embargo, las restricciones en cuanto a la elección del trayecto de los sistemas de radioenlace pueden diferir en las latitudes altas y bajas.

5.1.3.1 Interferencia en un sistema terrenal de relevadores radioeléctricos que cursa señales MDF-MF

Como se indica en un estudio realizado en los Estados Unidos [Akima, 1980] del que procede gran parte de la información incluida en este punto, en el servicio fijo de los Estados Unidos se explotan en esta banda muchos sistemas de telefonía MDF-MF de corto alcance.

Las anchuras de banda típicas de los receptores son 12 MHz y 20 MHz. En telefonía MDF-MF, la degradación de la calidad de funcionamiento del sistema causada por una señal interferente depende de la densidad espectral de potencia de esta última, así como de su potencia total. Incluso si esa potencia total es tan pequeña que el sistema MDF-MF deseado sigue funcionando por encima de su umbral, algunos canales telefónicos pueden sufrir una seria degradación si la densidad espectral de potencia de la señal interferente es en ellos muy elevada.

En primer lugar, compararemos la potencia total de la señal de radiodifusión por satélite interferente con la de ruido. La potencia total de ruido es -123 dBW en una anchura de banda de 12 MHz y -121 dBW en una anchura de banda de 20 MHz. Estos valores son varios dB mayores de -127 dBW, que es la potencia de la señal de radiodifusión por satélite interferente en el caso más desfavorable indicado en el cuadro VIII. Este cuadro muestra el valor *máximo* de la potencia de una señal de radiodifusión por satélite recibida por un receptor del servicio fijo para diversos valores del ángulo con respecto al eje y del diámetro de la antena de recepción. Los valores dados en el cuadro han sido obtenidos para el diagrama de referencia del Informe 614 y para una densidad espectral (Región 2) de -102 dB(W/m²) durante el 99% como mínimo del mes más desfavorable. Se supondrá que las potencias de interferencia típicas son inferiores en 3,8 dB a esos valores máximos, sobre la base de las variaciones de la densidad espectral entre zonas del servicio de radiodifusión por satélite indicadas en el Plan de la CAMR-RS-77 para las Regiones 1 y 3. Esas variaciones son probablemente similares a las que se observarán en el plan de adjudicación. La potencia total del ruido más la señal interferente es sólo 1 dB mayor, como máximo, que la potencia total de ruido por sí sola en este caso. Por consiguiente, el funcionamiento del sistema MDF-MF deseado se mantendría por encima del umbral en todos los casos si el sistema ha sido diseñado con un margen prudencial en lo tocante a la relación señal/ruido.

CUADRO VIII – Valor máximo de la potencia de una señal de radiodifusión por satélite en un receptor del servicio fijo (θ representa el ángulo con el eje y D , el diámetro de la antena receptora del servicio fijo)
(Se supone un ruido en el receptor de 10 dB)

θ (grados)	Potencia de la señal (dBW)				
	$D = 0,6 \text{ m}$	1,0	1,5	2,0	$\geq 2,41$
20	-134,5	-136,7	-138,4	-139,7	-140,0
15	-131,4	-133,6	-135,3	-136,6	-137,4
10	-127,0	-129,2	-130,9	-132,2	-133,0



Seguidamente, comparemos la densidad espectral de potencia de la señal interferente con la del ruido. La CAMR-RS-77 ha especificado que la dispersión de energía que corresponde a una excursión cresta a cresta de 600 kHz se debe utilizar para los satélites de radiodifusión en el Plan de Ginebra para las Regiones 1 y 3. La CAMR ORB-85, al incorporar el Plan de la CARR SAT-83 para la Región 2, prescribió la utilización de la dispersión de energía como se expone en el § 5.1.1. Supondremos, pues, que en el caso más desfavorable la potencia total de la señal de radiodifusión por satélite está contenida en una anchura de banda de 600 kHz.

La potencia de ruido en una anchura de banda de 600 kHz se estima en $-134 + 10 \log 0,6 = -136,2$ dBW, incluidos 10 dB de ruido del receptor. Dado que este valor es aproximadamente del mismo orden que los valores de la potencia de la señal de radiodifusión por satélite indicados en el cuadro VIII, el efecto de la señal interferente procedente de este servicio no se considera despreciable. En un canal telefónico, la potencia de ruido en la banda de base después de la demodulación es 3 dB mayor con ruido e interferencia que con ruido solamente, si la densidad espectral de potencia de la señal interferente es igual a la del ruido. En los cuadros IX y X se indican los incrementos de la potencia de ruido en la banda de base causados por la señal de radiodifusión por satélite interferente, calculados de conformidad con el cuadro VIII. Estos cuadros muestran la relación que existe entre el ángulo formado por la dirección del satélite de radiodifusión con el eje del haz principal de la antena receptora del servicio fijo, el diámetro de esta antena y el margen de protección contra la interferencia que debe preverse en el diseño del sistema del servicio fijo. En el caso más desfavorable de $\theta = 10^\circ$ y $D = 0,6$ m contemplado en el cuadro X, se necesita un margen de 10 dB. El margen necesario para el sistema disminuye a medida que aumenta el ángulo con el eje o el diámetro de la antena. Cuando el ángulo de elevación del satélite de radiodifusión es de 20° en el lugar de recepción, el margen necesario para el sistema es de menos de 4 dB, con independencia del diámetro de la antena. Cuando el diámetro de la antena es de 2,4 m o más, el margen necesario para el sistema es menor de 5 dB, incluso si el ángulo de elevación es de 10° .

CUADRO IX – Aumento de la potencia de ruido en banda de base debido a la señal interferente de radiodifusión por satélite.
(Se emplean los valores típicos de potencia de la señal de radiodifusión por satélite, inferiores en 3,8 dB a los indicados en el cuadro VIII; θ representa el ángulo con el eje y D el diámetro de la antena de recepción del servicio fijo)

θ (grados)	Aumento de la potencia de ruido en banda de base (dB)				
	$D = 0,6$ m	1,0	1,5	2,0	$\geq 2,41$
20	2,1	1,4	1,0	0,7	0,7
15	3,5	2,4	1,8	1,4	1,2
10	6,5	4,9	3,8	3,1	2,7

CUADRO X – Aumento de la potencia de ruido en banda de base debido a la señal interferente de radiodifusión por satélite.
(Se emplean los valores máximos de la potencia de la señal de radiodifusión por satélite, indicados en el cuadro VIII; θ representa el ángulo con el eje y D el diámetro de la antena de recepción del servicio fijo)

θ (grados)	Aumento de la potencia de ruido en banda de base (dB)				
	$D = 0,6$ m	1,0	1,5	2,0	$\geq 2,41$
20	3,9	2,8	2,0	1,6	1,5
15	5,3	4,5	3,5	2,8	2,5
10	9,3	7,8	6,4	5,5	4,9

5.1.3.2 Interferencia causada en un sistema de relevadores radioeléctricos que cursa TV con MF

Los sistemas MF de retransmisión de televisión constituidos por un reducido número de tramos (no más de cinco) se consideran sistemas del servicio fijo en esta banda. La anchura de banda de los canales considerados en este sistema es de 27 MHz. (En los Estados Unidos también se utiliza el sistema del servicio fijo examinado en el punto anterior para transmitir señales MF de televisión.) El estudio de la interferencia causada a un sistema MF de televisión es esencialmente igual al de la interferencia a un sistema MDF-MF de telefonía, en cuanto en ambos deben tenerse en cuenta la potencia total y la densidad espectral de potencia de la señal interferente.

Por lo que se refiere a la potencia total de la señal interferente, es aplicable también lo expuesto en el punto anterior con respecto al sistema de telefonía MDF-MF. Incluso en presencia de la señal interferente, el sistema sigue funcionando por encima de su umbral.

Dado que, a los efectos del análisis de la interferencia, el espectro de potencia de la señal del servicio de radiodifusión por satélite se considera uniforme en una anchura de banda de 600 kHz, también se aplica a la interferencia causada a un sistema de televisión MF, el examen efectuado en el punto anterior con respecto a un sistema telefónico MDF-MF. La señal de radiodifusión por satélite interferente aumenta la densidad espectral de potencia de ruido en la banda de base del sistema de televisión MF, en una parte de dicha banda, de acuerdo con la relación indicada en los cuadros IX y X. Si el margen del sistema es mayor que esta relación, la interferencia se considera tolerable.

5.1.3.3 Interferencia causada a sistemas de relevadores radioeléctricos que transmiten TV con MA-BLR

Las condiciones para la protección de los relevadores radioeléctricos de televisión que utilizan MA-BLR contra interferencias producidas por satélites de radiodifusión se indican en el Informe 789. La densidad de flujo de potencia máxima admisible de interferencia no deberá exceder de:

$$-134 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 5 \text{ MHz))} \quad \text{para un ángulo de llegada de } \theta = 0^\circ \quad (8)$$

$$-134 + 10,5 + 25 \log(\theta/\theta_0) \quad \text{para } \theta > \theta_0/2 \text{ y ganancias de antena en recepción de } 40,5 \text{ dBi} \quad (9)$$

La RPC de la CARR SAT-83 proponía que, como valor adecuado dentro de haz principal de la antena de los sistemas de relevadores radioeléctricos una DFP de:

$$-134 + 12(\theta/\theta_0)^2 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 5 \text{ MHz))} \quad \text{para } 0 \leq \theta \leq \theta_0/2 \quad (10)$$

(donde θ_0 es la amplitud del haz a media potencia), sería suficiente para proteger a los sistemas de relevadores radioeléctricos que tuvieran las características específicas previstas en el Informe 789 y utilizaran la MA-BLR.

No se dispone en la actualidad de ningún método normalizado para determinar la DFP en una banda tan ancha como la de 5 MHz, que es la anchura de banda de referencia que interesa al servicio terrenal de radiodifusión (utilizando señales MA-BLR) y sistemas de relevadores de televisión que emplean MA-BLR. Un supuesto del caso más desfavorable incluiría toda la potencia del satélite del SRS en una banda de 5 MHz. Para obtener esta medición se utilizan corrientemente métodos de extrapolación de la potencia. Sin embargo, debería prepararse y adoptarse un método normalizado.

Es de esperar que la amplia separación geográfica existente entre las zonas de servicio de la Región 2 y de las Regiones 1 y 3 creará una coexistencia favorable de los servicios fijo terrenal y de radiodifusión por satélite.

A título de ejemplo, se ha comprobado que los valores de DFP en una anchura de banda de 4 kHz producidos en el territorio de Senegal (Región 1) a partir de un satélite situado de forma a dar servicio a la parte más oriental de la Región 2 (por ejemplo, 65° a 95° W, dando servicio a Brasil), cumplen los límites del anexo 5 al apéndice 30 del Reglamento de Radiocomunicaciones, 1982, en más de 16 dB. De manera similar, para satélites cuyas posiciones orbitales sean al Este de 85° W, se proporciona asimismo protección al servicio de radiodifusión MA-BLR en Senegal. Entre 85° W y 95° W, la utilización de haces conformados y la atenuación más elevada que cabe prever para ángulos de llegada más reducidos pueden también hacer cumplir esos límites. Se ha observado que las posiciones de satélites del SRS que den servicio al Noreste de Brasil (al Oeste de 86° W) se podrían probablemente evitar teniendo en cuenta que el ángulo de elevación reducido de las estaciones terrenas receptoras conduciría a valores más elevados de atenuación por la lluvia.

Sin embargo, es mucho más probable que los satélites del SRS de la Región 2 situados más al Oeste causen interferencia a los sistemas del servicio fijo en la parte oriental de la Región 1.

Por ejemplo, la fig. 9 muestra los valores de DFP que produciría en la parte más oriental de la Región 1, a saber, en el territorio de la URSS, un satélite del SRS de la Región 2 situado en 175° W para dar servicio a Alaska y provisto de una antena de haz elíptico de $3^{\circ} \times 1^{\circ}$, utilizando el diagrama de referencia de transmisión del satélite de la CAMR-RS-77.

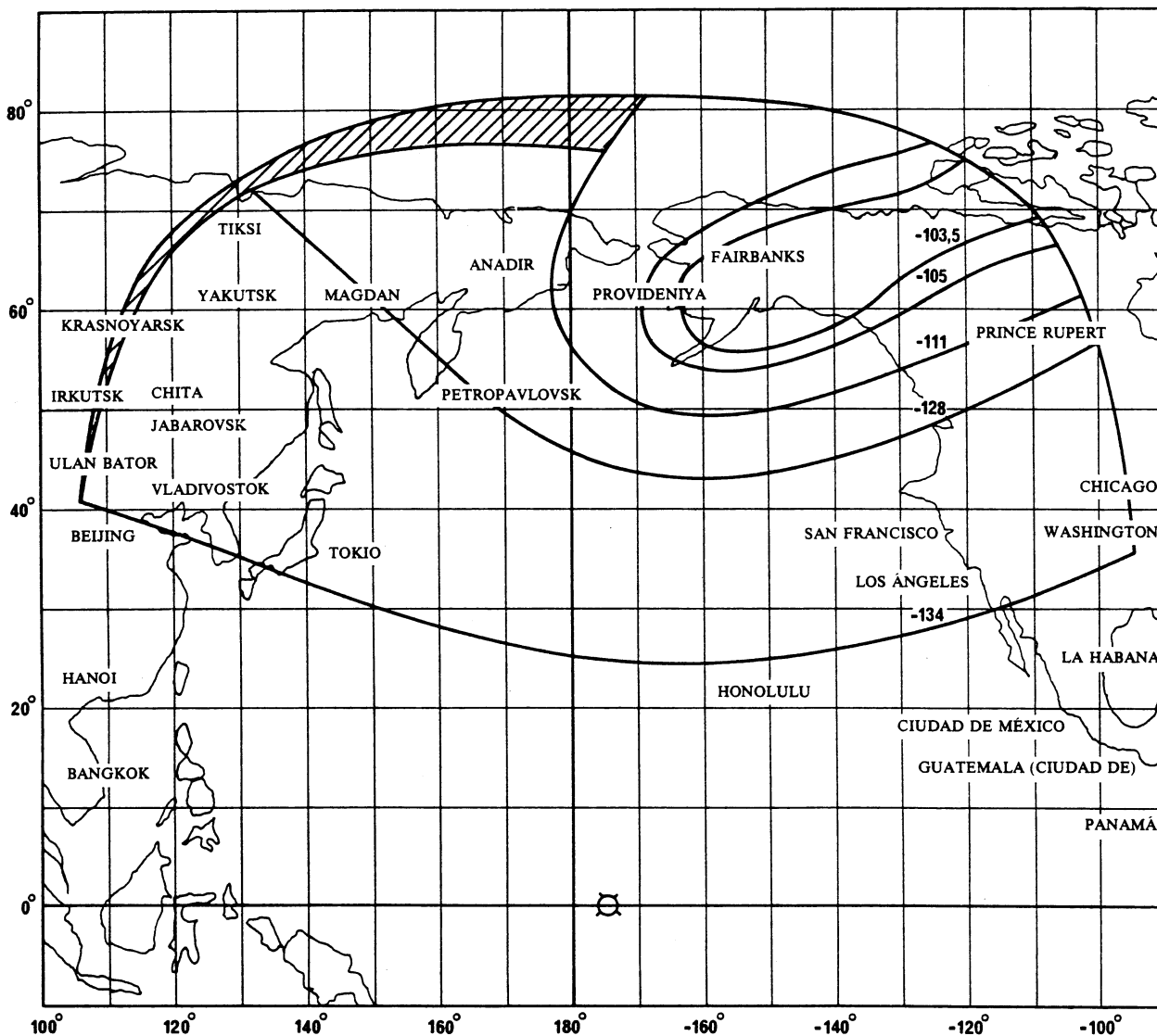


FIGURA 9 – Contornos de densidad de flujo de potencia (DFP) de un satélite del SRS de la Región 2 situado a 175° W (antena de haz elíptico de $3^{\circ} \times 1^{\circ}$)

Hay una zona (sombreada en la fig. 9) en la que se podría exceder los límites de DFP dados en las ecuaciones (8), (9) y (10) para relevadores radioeléctricos que transmitan señales de televisión MA-BLR.

Las conclusiones de la RPE del CCIR para la CARR SAT-83 sobre las posibilidades de mejorar la compartición y sus repercusiones se han resumido en el cuadro XI.

CUADRO XI – Posibilidades de mejorar la compartición interregional y sus consecuencias

Posibilidades de mejorar la compartición		Consecuencias
1	Reducir la p.i.r.e. del satélite del SRS	Se requiere una antena receptora terrena más grande: la recepción individual puede no ser posible
2	Reducir la cobertura utilizando haces pequeños	No recibiría servicio toda la población de la zona de servicio deseada
3	Emplear recepción individual únicamente en zonas densamente pobladas bien alejadas del interfaz regional	Exigiría recepción comunal en las otras partes de la zona de servicio deseada
4	Conformar el haz de la antena transmisora del satélite	DFP más uniforme en la zona de servicio y menos uniforme fuera de ella
5	Modificar la posición del satélite	Puede aumentar la discriminación de la antena de los receptores del SF en zonas de interferencia potencial
6	Asignar solamente ciertos segmentos de frecuencias al SRS a un lado del interfaz regional y asignar (o reasignar) otras frecuencias a los sistemas del SF en el otro lado del interfaz	Se requiere coordinación UIT o bilateral, pero se suprimen todas las consideraciones relativas a la interferencia
7	Utilizar en el satélite una polarización ortogonal a la de la antena receptora del SF	Con polarización circular para el SRS y lineal para el SF, se puede prever una discriminación de hasta 3 dB
8	Mejorar el diagrama de radiación de las antenas receptoras del SF	Reducción del acoplamiento con las transmisiones del SRS
9	Evitar que las antenas receptoras del SF apunten hacia la órbita	Se puede obtener una discriminación de hasta 40 dB
10	Dispersión de energía	Eficaz para distribuir la interferencia en la anchura de banda de referencia de la señal interferida. Para una anchura de banda de referencia de 4 kHz se puede obtener un valor de dispersión de 22 dB con un ensachamiento de 600 kHz ⁽¹⁾

⁽¹⁾ No es eficaz para proteger una señal MA-BLR de 5 MHz.

La absorción gaseosa puede ser un factor significativo para reducir la interferencia en trayectos satélite-Tierra en los que se utilicen frecuencias superiores a 10 GHz y en que la señal llega a la Tierra con ángulos de elevación reducidos.

Se puede llegar a la conclusión de que la compartición entre el SRS y el SF es generalmente viable, aunque en algunos casos se pueden plantear dificultades. Si bien para estos casos son posibles soluciones técnicas (conformación del haz, discriminación por polarización de la antena, mejora del diseño de la antena terrenal, reducción de la p.i.r.e. del satélite, restricciones de puntería del servicio fijo, planificación de frecuencias, reducción de las zonas de servicio), pueden ser necesarios debates bilaterales o multilaterales entre las administraciones interesadas.

5.1.3.4 Resumen del examen de la interferencia causada por el servicio de radiodifusión por satélite en el servicio fijo

Teniendo en cuenta los supuestos adoptados, los resultados de los estudios y del análisis efectuado en este punto indican que con una coordinación adecuada la interferencia causada por el servicio de radiodifusión por satélite al servicio fijo terrenal no constituirá un serio problema.

5.2 Interferencia producida por los servicios terrenales en el servicio de radiodifusión por satélite

En el cuadro XII, se indican valores típicos de p.i.r.e. de algunos servicios terrenales que trabajan o pueden trabajar en la banda de 11,7 a 12,5 GHz, con el riesgo de causar interferencia al receptor de una estación terrena del servicio de radiodifusión por satélite.

CUADRO XII - Ejemplos de valores de p.i.r.e. de transmisores en la banda de 12 GHz

Servicio	p.i.r.e. (dBW)
Radioenlaces con visibilidad directa:	
Telefonía	36
Distribución de programas de televisión	41
Multicanal de televisión	23,5 a 46
Radiodifusión:	
MA	23,5 a 38
MF	26
Sistema por satélite, MF	67,5

La ecuación (1) es también aplicable al caso de protección del sistema por satélite, mediante los cambios necesarios de los factores para representar los parámetros correspondientes del sistema de satélites.

Cuando se desconoce la relación de protección adecuada, para determinar la máxima densidad de flujo de potencia interferente en el receptor de la estación terrena, puede utilizarse otro método basado en la potencia de ruido aparente a la entrada del receptor. De limitarse la máxima interferencia tolerable al 10% de la potencia de ruido aparente a la entrada del receptor, incluso con un fuerte desvanecimiento de la señal deseada, la interferencia no degradará en mayor medida la relación señal/ruido a la salida del receptor, siempre que el desvanecimiento que se produzca en la señal deseada no reduzca su nivel a un valor inferior al del umbral de la portadora.

Cuando se conocen las relaciones de protección, pueden trazarse curvas similares a las representadas en la fig. 8. El ejemplo de la fig. 10 del presente Informe para un sistema de 625 líneas está basado en una densidad de flujo de potencia de $-103 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ y una relación de protección de 35 dB en el caso de una sola fuente de interferencia modulada en frecuencia, para la recepción en el servicio de radiodifusión por satélite. A partir de la fig. 10, pueden determinarse los valores máximos admisibles de densidad de flujo de potencia interferente, en función del ángulo de elevación de la antena receptora de la estación terrena y de la diferencia en acimut entre las direcciones del satélite y de la señal interferente. (Estos valores de densidad de flujo de potencia son los que la CAMR-RS-77 ha especificado para las Regiones 1 y 3.).

Se hace observar que la expresión $D_d = 8,5 + 25 \log (\varphi/\varphi_0)$ (dB), para la discriminación de la antena representa la envolvente de los máximos de los lóbulos laterales de la antena y, por tanto, la discriminación mínima (véase la fig. 2 del Informe 810).

Suponiendo que la discriminación media para un ángulo φ sea aproximadamente 3 dB mayor que la discriminación mínima para ese mismo ángulo, puede decirse, por ejemplo, que en el 90% de las ubicaciones la intensidad de la señal interferente no excederá de un nivel 1,7 dB por debajo del máximo permitido.

Cuando la máxima densidad de flujo de potencia interferente aceptable, para una dirección dada, en el receptor de la estación terrena se determina a base de la fig. 10, la distancia entre un transmisor de reportajes y el receptor de radiodifusión por satélite puede determinarse a base de la fig. 11.

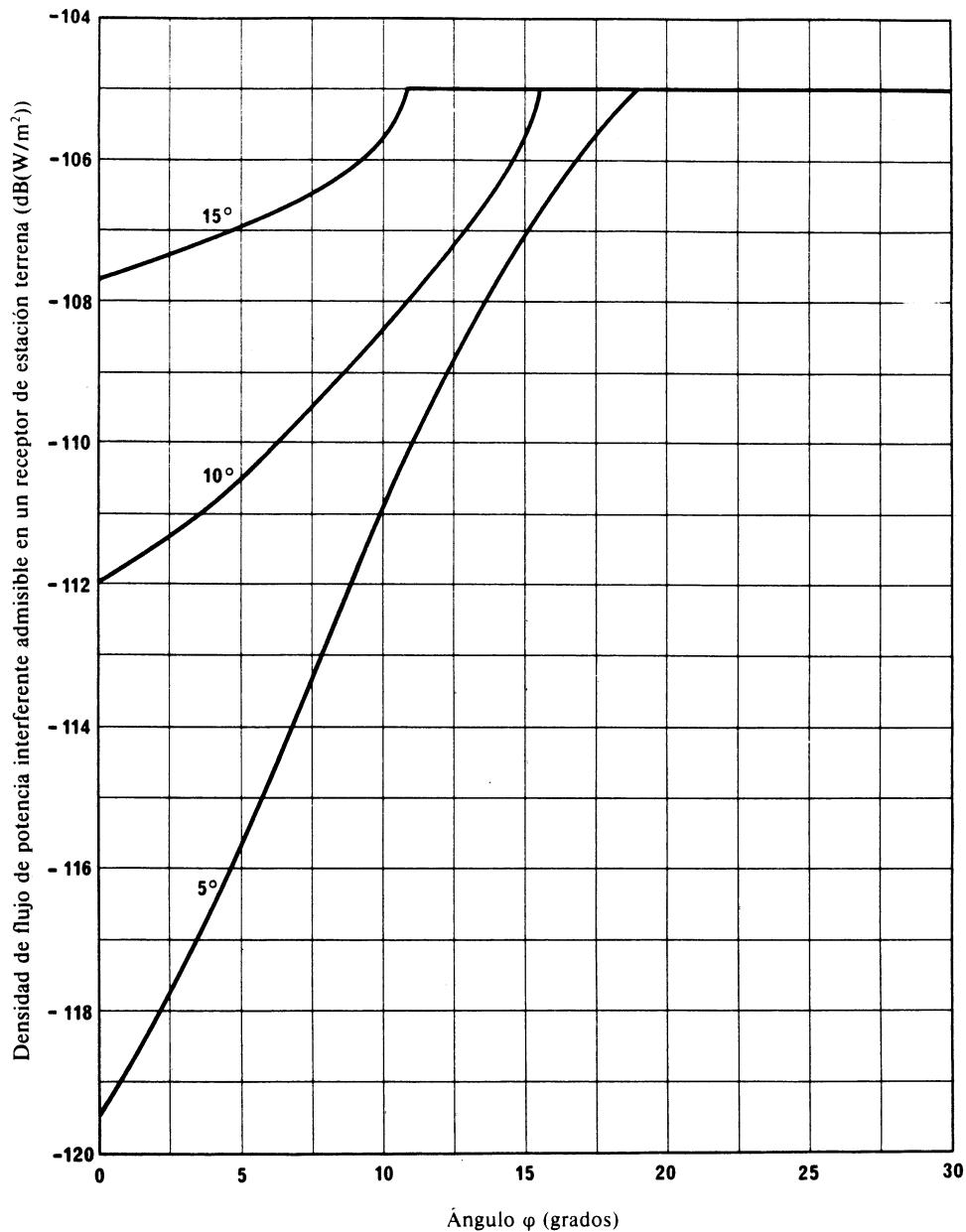


FIGURA 10 – Densidad de flujo de potencia interferente admisible procedente de un transmisor terrenal que no ha de excederse durante el 99% del tiempo en un receptor de estación terrena (para recepción individual), correspondiente al ejemplo del punto 5.2 (En la figura se indica como parámetro el ángulo de elevación del satélite)

ϕ : Diferencia acimutal entre las direcciones del satélite y de la señal interferente.

Máxima ganancia fuera del haz de la antena de receptor terrenal: Véase la curva A de la fig. 2 del Informe 810.

Donde: ϕ_0 : Anchura angular del haz de la antena a 3 dB
 = 2,0° (para la recepción individual en la Región 3) según las Actas Finales de la CAMR-RS-77.



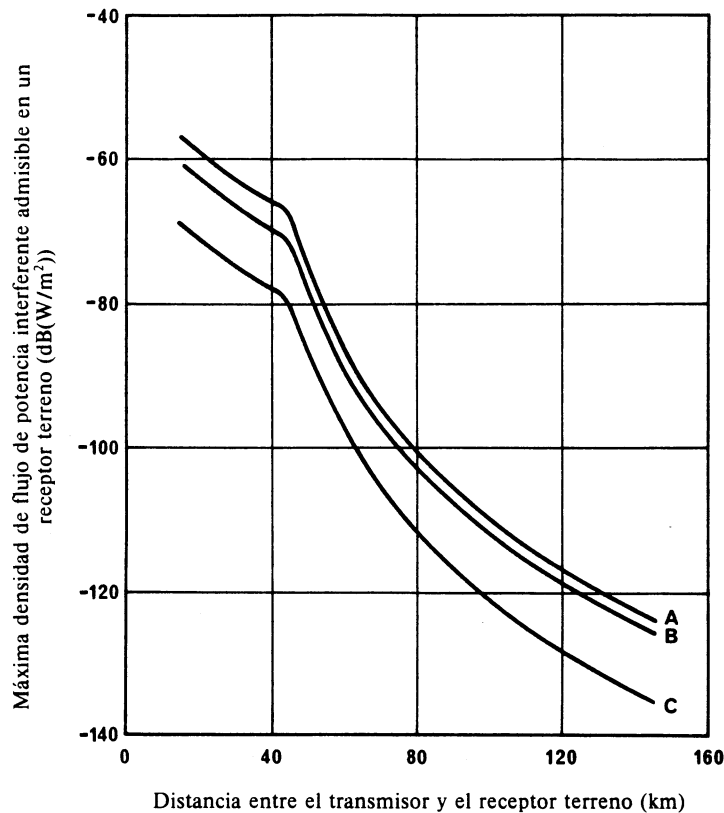


FIGURA 11 - Distancia necesaria para proteger a un receptor terreno contra transmisores terrenales

(basada en curvas de propagación para el 50% de las ubicaciones y el 1% del tiempo)

Densidad de flujo de potencia producida por:

- A : Transmisor de reportajes (p.i.r.e.: 34 dBW)
- B : Transmisor terrenal de televisión con modulación de amplitud (p.i.r.e.: 38 dBW; altura de la antena terrenal transmisora: 75 m)
- C : Transmisor terrenal de televisión con modulación de frecuencia (p.i.r.e.: 26 dBW; altura de la antena terrenal transmisora: 75 m)

La fig. 11 indica también la distancia necesaria, para una densidad de flujo de potencia dada, entre el receptor de la estación terrenal y los transmisores de radiodifusión terrenal de modulación de amplitud y de modulación de frecuencia. Para preparar la fig. 11 se ha utilizado la curva de propagación de Schmeller y Ulonka para el 50% de las ubicaciones y el 1% del tiempo [Goes y otros, 1968].

Para asegurar la protección de un mayor porcentaje de ubicaciones del servicio de radiodifusión por satélite, lo que podría ser necesario a causa de la distribución uniforme de la densidad de flujo de potencia deseada en la zona de servicio, ha de aplicarse una corrección a la densidad de flujo de potencia interferente máxima admisible, semejante a la indicada en la fig. 12 de la Recomendación 370.

El valor del margen para posibles fuentes múltiples de interferencia, M_i , depende del número y tipo de las fuentes posibles. En la banda de 12,1 a 12,7 GHz, pueden causar interferencia a servicios de radiodifusión por satélite otros transmisores de ese servicio, transmisores de satélites del servicio fijo por satélite y transmisores de los servicios fijo, móvil y de radiodifusión. Deben proseguirse los trabajos para determinar cómo debería distribuirse la interferencia total admisible.

Según la fig. 11, para zonas extensas, la compartición de frecuencias dentro de una determinada zona de servicio de un satélite de radiodifusión se lograría mejor en una parte apreciable de dicha zona, explotando el servicio terrenal en partes de la banda no utilizadas por el servicio de radiodifusión por satélite en la zona de servicio considerada, como se sugiere en [CCIR, 1974-78]. Los trabajos experimentales efectuados en el Japón para el caso de un servicio terrenal de radiodifusión MA-BLR han dado un ejemplo de separación de frecuencias que proporcionaría un grado útil de protección [CCIR, 1978-82a y b]. El receptor de señales de satélite empleó una fase de entrada en el mezclador [Konishi, 1980] y una anchura de banda de frecuencia intermedia de unos 25 MHz. En un ejemplo, la recepción estuvo exenta de interferencia cuando la transmisión del satélite (BSE) estaba separada por 16 MHz (borde de banda a borde de banda) de la más próxima de una serie de siete transmisiones MA-BLR en canales alternos de 6 MHz, y la relación de la señal deseada a la señal interferente era de 0 dB en la entrada del receptor. Estudios ulteriores efectuados en el laboratorio muestran que la intermodulación en el receptor no es una limitación primaria. Se necesitan mediciones adicionales con una gama de receptores típicos para proporcionar mejores datos de selectividad. De esta orientación sobre las separaciones de frecuencias requeridas para proteger la recepción de radiodifusión de satélite pueden deducirse, teniendo en cuenta la directividad de la antena, las características de las señales y los niveles de señales que se aplicarán normalmente en los casos prácticos.

5.2.1 Interferencia causada por el servicio fijo en el servicio de radiodifusión por satélite

La cuestión de la interferencia producida por el servicio fijo en los receptores de radiodifusión por satélite, se trata en el anexo 3 al apéndice 30 del Reglamento de Radiocomunicaciones, donde se incluye un método para determinar, en general, la densidad de flujo de potencia interferente en el borde de una zona de servicio de radiodifusión por satélite.

En este punto se examina la interferencia causada en particular por transmisores típicos del servicio fijo de Estados Unidos de América y se calculan las distancias de separación necesarias para permitir el funcionamiento de los receptores de radiodifusión por satélite sin interferencia perjudicial.

La interferencia causada por el servicio fijo al servicio de radiodifusión por satélite (es decir, por un transmisor del primero a un receptor del segundo) no es uniforme en una zona de servicio de radiodifusión por satélite, sino que depende de la situación del receptor con respecto a la antena transmisora de la estación del servicio fijo y a la dirección del haz principal de ésta.

La potencia máxima admisible de la señal interferente depende de la potencia de la señal deseada de radiodifusión por satélite y de la relación de protección necesaria.

En primer lugar, se determinará la potencia de la señal deseada. La CAMR-RS-77 estableció que el valor provisional para la Región 2 de la densidad de flujo de potencia que se debería sobrepasar durante el 99% del mes más desfavorable en el borde de la zona de servicio sería de $-105 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$. La potencia recibida puede determinarse utilizando la superficie efectiva de la antena receptora del servicio de radiodifusión por satélite.

Para recepción individual en la Región 2, la anchura a potencia mitad especificada para el haz de la antena receptora es de $1,8^\circ$. Esto corresponde a una ganancia de haz principal de 39,3 dBi. En 12 GHz, ello exige una abertura efectiva de $0,4 \text{ m}^2$ (es decir, una superficie real de 1 m de diámetro aproximadamente para antenas circulares parabólicas con una eficiencia del 55%).

Así pues, la señal deseada en la entrada del receptor de radiodifusión por satélite en el borde de la zona de servicio será:

$$-105 \text{ dB(W/m}^2\text{)} - 4 \text{ dB(m}^2\text{)} = -109 \text{ dBW}$$

En el anexo 6 al apéndice 30 del Reglamento de Radiocomunicaciones (ORB-85) se especifica una relación de protección en el mismo canal de 35 dB (para una fuente única) que disminuye en forma lineal hasta 0 dB para señales interferentes separadas por 35 MHz de la señal deseada. Por consiguiente, la relación de protección se reduce a 22,1 dB cuando la señal interferente se produce en el centro del canal de radiodifusión por satélite adyacente (es decir, separada por 19,18 MHz) y de 0 dB cuando la separación de la señal interferente es de dos o más canales (38,4 MHz). Sólo es menester, por tanto, examinar la interferencia en el mismo canal y en el canal adyacente.

La potencia de la máxima señal interferente admisible será en tales casos:

$$-109 \text{ dBW} - 35 \text{ dB} = -144 \text{ dBW, en el mismo canal, y}$$

$$-109 \text{ dBW} - 22,1 \text{ dB} = -131,1 \text{ dBW, en el canal adyacente.}$$

La potencia de la señal interferente depende de la potencia del transmisor, de la ganancia de la antena transmisora en la dirección del receptor de radiodifusión por satélite, de la pérdida de propagación y de la ganancia de la antena receptora de radiodifusión por satélite en la dirección del transmisor del servicio fijo interferente.

La potencia del transmisor varía según el sistema. (Cuando la anchura de banda de la señal interferente es mayor que la del receptor de radiodifusión por satélite, sólo es necesario tener en cuenta la potencia en esta última.)

En el Informe 614 figuran los diagramas de radiación de referencia para las antenas circulares utilizadas en sistemas de radioenlaces del servicio fijo. La ganancia en el eje es función de D/λ y el diagrama de la envolvente de los lóbulos laterales es función de D/λ y ϕ , donde D es el diámetro de la antena, λ es la longitud de onda y ϕ es el ángulo con el eje. Se supone que la ganancia en los lóbulos laterales alejados se reduce a la isotrópica (0 dBi). El diagrama de la envolvente de los lóbulos laterales próximos que figuran en el Informe 614 es aplicable entre el primer lóbulo lateral y el punto en que la ganancia se reduce a la isotrópica. Para simplificar, se supone que la ganancia cerca del lóbulo principal (expresada en dB) decrece en forma parabólica con respecto al ángulo con el eje hasta la ganancia del primer lóbulo lateral, permanece constante desde el primer lóbulo lateral hasta el ángulo en que la ganancia sería isotrópica, y sería la de una antena isotrópica en cualquier otro lugar. Esta es una presunción prudente hecha para mayor simplicidad, ya que la ganancia real será igual a los valores supuestos o inferior a éstos.

La relación entre la pérdida de propagación y la longitud y tipo del trayecto está indicada asimismo en el apéndice 30 del Reglamento de Radiocomunicaciones. Aquí supondremos que todos los trayectos son sobre tierra.

El diagrama de referencia de la antena receptora del servicio de radiodifusión por satélite en la Región 2 se indica en forma de relación entre la ganancia fuera del eje y la ganancia en el eje (39,3 dB). Así, la ganancia en ángulos de 10, 15, 20 y 27 grados con el eje es de 12,2 dB, 7,8 dB, 4,7 dB y 0 dB, respectivamente.

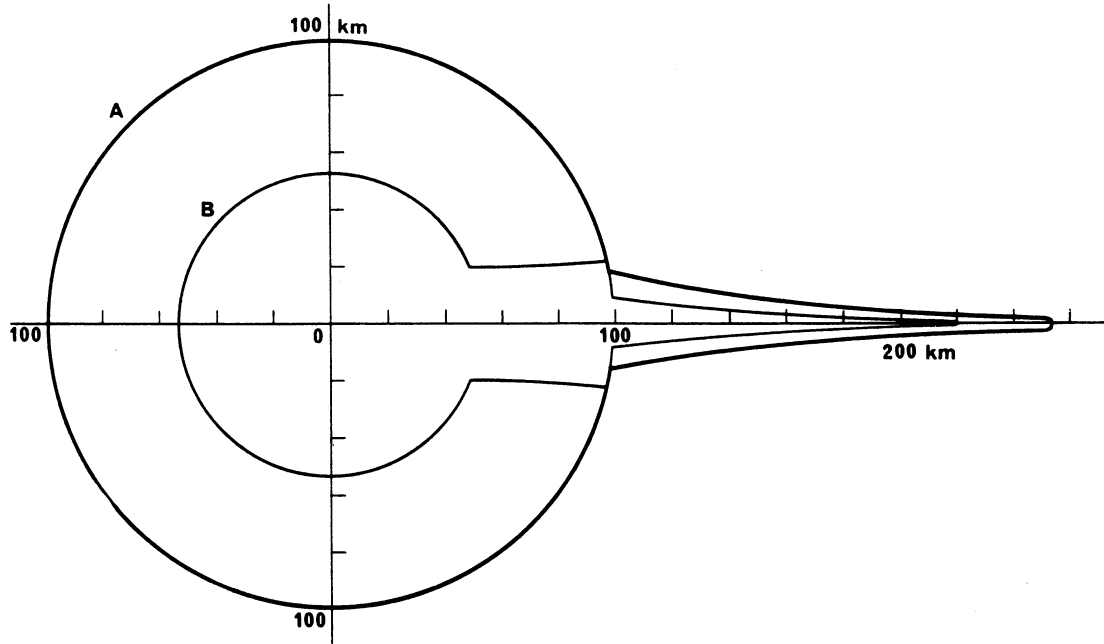
Con estas relaciones, puede calcularse la potencia de la señal interferente o determinarse las distancias de separación necesarias. Para cada transmisor interferente, trácese la curva correspondiente a la distancia mínima entre los dos emplazamientos para cada ángulo con el eje de la antena del transmisor interferente, tomando como origen el emplazamiento de la fuente de interferencia. Esta curva es el contorno de las distancias en que la señal interferente recibida alcanza el límite admisible. En la zona interior al contorno, las señales rebasarán el límite. La fig. 12 es un ejemplo de tales contornos. Estas curvas se han trazado para un sistema terrenal norteamericano típico de un transmisor de 1 W y una antena de 1,8 m de diámetro. La fig. 12a) corresponde al caso de interferencia en el mismo canal y la fig. 12b), al de interferencia en el canal adyacente.

En las figs. 12a) y 12b), los contornos exteriores corresponden al caso más desfavorable, en el que los ángulos de elevación de las antenas receptoras del servicio de radiodifusión por satélite son de 15°. Los contornos interiores corresponden a un caso más favorable, en el que los ángulos de elevación son mayores de 27° y donde la ganancia se ha reducido a la isotrópica. (La diferencia entre los contornos interior y exterior puede considerarse representativa del efecto de la discriminación de la antena receptora del servicio de radiodifusión por satélite.)

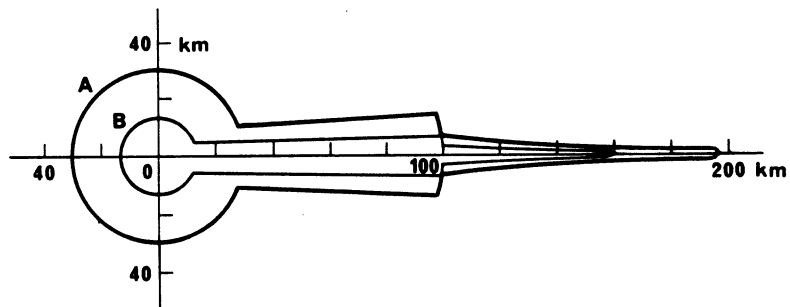
Cada contorno presenta un pico muy acentuado en la dirección del eje de la antena interferente y es un arco de círculo para ángulos suficientemente apartados del haz principal. En los cuadros XIII y XIV se indican las distancias correspondientes a estas dos regiones para los casos de interferencia en el mismo canal y en el canal adyacente, para el sistema de 1 W representado en la fig. 12 y para un sistema de p.i.r.e. menor que emplee un transmisor de 10 mW (-20 dBW) y una antena de 0,6 m de diámetro (sistema tipo «B»).

CUADRO XIII - Distancias mínimas de separación necesarias en caso de interferencia en el mismo canal producida por el servicio fijo en el servicio de radiodifusión por satélite

Sistema del servicio fijo (típico de Estados Unidos)	Diámetro de la antena (m)	Potencia del transmisor (dBW)	Distancia (km)			
			Caso más desfavorable		Caso más favorable	
			En el eje	Distante	En el eje	Distante
Tipo «A»	1,8	Típica 0,0	254,0	100,0	220,4	53,1
		Máxima 10,0	297,0	104,1	263,4	100,0
Tipo «B»	0,6	Típica -20,0	126,8	13,0	100,0	5,3
		Máxima -3,0	200,0	92,2	166,4	37,6



a) Interferencia en el mismo canal



b) Interferencia en el canal adyacente

FIGURA 12 – Contornos en los cuales la potencia de la señal recibida del servicio fijo interferente es igual a sus límites máximos admisibles, para un sistema de 1 W (0 dBW) del servicio fijo en los Estados Unidos de América. El contorno exterior corresponde al caso más desfavorable y el interior, al más favorable

Ángulo de elevación de la estación terrena del servicio de radiodifusión por satélite, θ :

A: $\theta = 15^\circ$ (contorno exterior)

B: $\theta = 27^\circ$ (contorno interior)

CUADRO XIV – Distancias mínimas de separación necesarias en caso de interferencia en el canal adyacente producida por el servicio fijo en el servicio de radiodifusión por satélite

Sistema del servicio fijo (típico de Estados Unidos)	Diámetro de la antena (m)	Potencia del transmisor (dBW)	Distancia (km)			
			Caso más desfavorable		Caso más favorable	
			En el eje	Distante	En el eje	Distante
Tipo «A»	1,8	Típica 0,0	198,4	29,5	164,9	12,0
		Máxima 10,0	241,5	93,3	207,9	38,0
Tipo «B»	0,6	Típica -20,0	100,0	3,0	69,8	1,2
		Máxima -3,0	144,5	20,9	110,9	8,5

5.2.2 Resumen del examen de la interferencia producida por servicios terrenales en el servicio de radiodifusión por satélite

De los análisis efectuados en el presente Informe y los estudios citados, se desprende que la interferencia causada por los sistemas del servicio fijo a las estaciones terrenales de radiodifusión por satélite constituirá un serio problema.

Los dos servicios pueden compartir las mismas frecuencias (sujetos a los límites de la interferencia perjudicial establecidos en el apéndice 30 del Reglamento de Radiocomunicaciones) si los transmisores terrenales se mantienen a una distancia suficiente de la zona de servicio de un haz de radiodifusión por satélite.

Esta compartición puede efectuarse utilizando, en una zona geográfica dada, algunas de las frecuencias para el servicio de radiodifusión por satélite y las restantes frecuencias de la banda para los servicios terrenales.

5.3 Efectos de la propagación

Al efectuar cálculos de interferencia, deberán tenerse en cuenta los efectos de la propagación aplicando los métodos más recientes del CCIR. Deben incluirse en particular los efectos de la absorción atmosférica producida por el oxígeno y el vapor de agua. El apéndice 30 del Reglamento de Radiocomunicaciones y las Actas Finales de la CARR SAT-83, parte I, facilitan en sus correspondientes anexos (relativos a las modificaciones de los Planes respectivos) los niveles de la densidad de flujo de potencia (DFP) producida por el SRS de una región en otra, que pueden hacer necesarias la coordinación con respecto al servicio fijo. Asimismo, el anexo 5 al apéndice 30 del Reglamento de Radiocomunicaciones (1982) establece los niveles de DFP para la protección de los servicios terrenales en las Regiones 1 y 3 frente al SRS y al SFS de la Región 2. La Conferencia Administrativa Regional de Radiocomunicaciones, CARR SAT-83, adoptó en principio la utilización de la absorción atmosférica en los cálculos que permiten determinar si se satisfacen los criterios especificados de coordinación y las limitaciones de la DFP. Igualmente, la Resolución N.º 9 de la CARR SAT-83, tiene por objeto la adopción del empleo de la absorción atmosférica en todos los casos de coordinación intrarregional e interregional. Los cálculos en las direcciones desde las Regiones 1 y 3 a la Región 2 están basados en la utilización de la absorción atmosférica. La Resolución N.º 9 está destinada, entre otras cosas, al empleo de la absorción atmosférica también en el sentido opuesto.

En el Informe 719 se examina el fenómeno de la absorción atmosférica y de su modo de modelación. En 12 GHz, la absorción atmosférica para ángulos de llegada, θ , y densidades de vapor de agua en la estación receptora, ρ g/m³, aparece dada por las siguientes ecuaciones:

$$A_a = (7,226 \times 10^{-3} + 12,75 \rho \times 10^{-4}) R_0 \quad \text{dB} \quad \text{para } \theta \approx 0^\circ$$

$$A_a = \frac{0,1156}{\sin \theta + \sqrt{\sin^2 \theta + 0,0019}} + \frac{0,00511 \rho}{\sin \theta + \sqrt{\sin^2 \theta + 0,0005}} \quad \text{para } 0^\circ < \theta \leq 10^\circ$$

$$A_a = \frac{0,0578 + 25,502 \rho \times 10^{-4}}{\sin \theta} \quad \text{para } \theta > 10^\circ$$

donde:

R_0 : distancia del trayecto horizontal ($\theta \approx 0^\circ$).

La fig. 13 da la absorción atmosférica para ángulos de elevación bajos y para tres valores de ρ : 2, 7,5 y 11,1 g/m³. La primera representa las condiciones invernales en las masas de tierra de latitudes altas, la segunda representa las condiciones estivales (figs. 9 y 10 del Informe 563) y la última representa una media global, como se utiliza en el Informe 719. Obsérvese que, en general, pueden encontrarse valores de $\rho = 25$ a 30 g/m³.

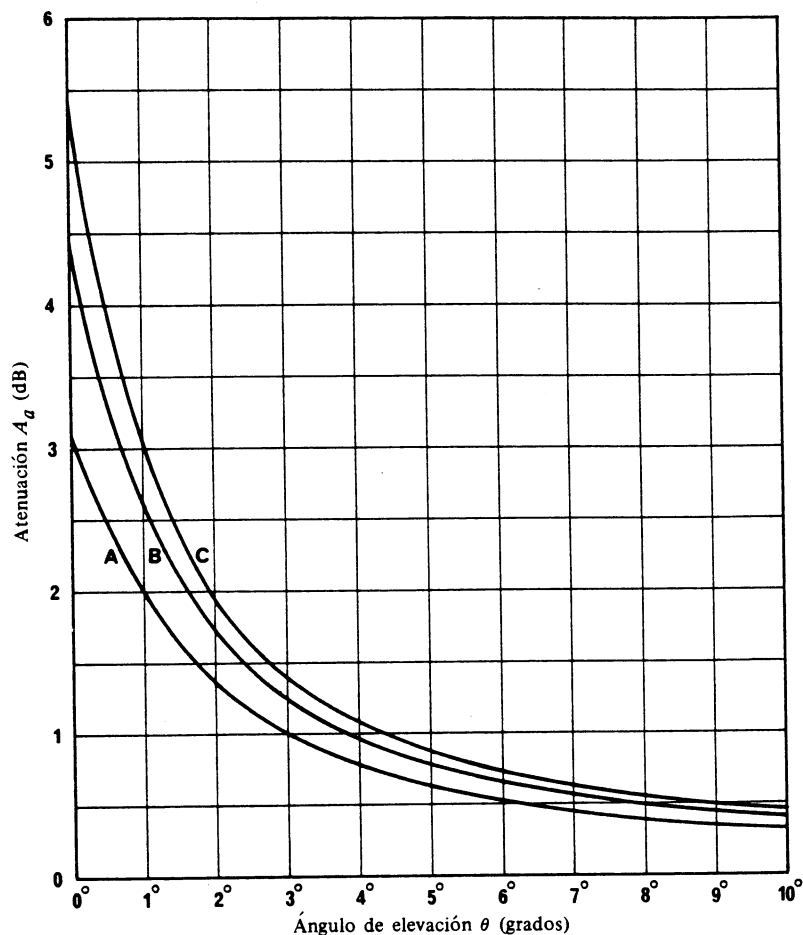


FIGURA 13 - Atenuación atmosférica (A_a) en función del ángulo de elevación (θ)

Curvas A: $\rho = 2,0$ g/m³

B: $\rho = 7,5$ g/m³

C: $\rho = 11,1$ g/m³

ρ indica densidad del vapor de agua

El Informe 719 indica que para una atmósfera completamente seca, en los trayectos espacio-Tierra con un ángulo de llegada próximo a cero, se registrará una atenuación de unos 2 dB en los trayectos espacio-Tierra a 12 GHz y de unos 3 dB en los trayectos a 22 GHz. En presencia de volúmenes importantes de vapor de agua lo que corresponde a la mayor parte del año, la absorción atmosférica a 22 GHz será muy grande.

5.3.1 Conclusiones sobre la absorción atmosférica en trayectos casi horizontales

Por encima de 10 GHz, los trayectos Tierra-espacio y espacio-Tierra en incidencia casi horizontal experimentarán una atenuación importante debido a la presencia de gases en la atmósfera.

Incluso en atmósferas completamente secas, a 12 GHz se prevé una atenuación de 2 dB como mínimo debida al oxígeno exclusivamente. A 22 GHz pueden preverse 3 dB como mínimo.

La presencia de esta atenuación no se tuvo en cuenta al establecer los límites de la densidad de flujo de potencia interregionales y entre servicios.

Por tanto, hay que contar con esta atenuación al determinar los niveles de las señales interferentes que cabe prever en los trayectos espacio-Tierra alrededor de 12 GHz y 22 GHz.

El valor de la atenuación que se debe prever se determinará utilizando la versión actual del Informe 719.

6. Compartición en las bandas de frecuencias superiores a 12,75 GHz

La CAMR-79 atribuyó tres bandas de frecuencias superiores a 12,75 GHz al servicio de radiodifusión por satélite: 22,5 a 23, 40,5 a 42,5 y 84 a 86 GHz. En la banda de 40,5-42,5 GHz corresponde al servicio de radiodifusión por satélite la única atribución a título primario y, por consiguiente, no es necesaria la compartición de frecuencias desde el punto de vista de este servicio. En la banda de 84-86 GHz, hay atribuciones a título primario a los servicios de radiodifusión por satélite, fijo, móvil y de radiodifusión. No obstante, el número 907 del Reglamento de Radiocomunicaciones aplicable a esta banda establece que las estaciones de estos otros servicios «no causarán interferencia perjudicial a las estaciones de radiodifusión por satélite que funcionen de conformidad con las decisiones de la conferencia que se encargue de elaborar un plan de adjudicación de frecuencias para el servicio de radiodifusión por satélite». Esta nota, junto con la carencia de información detallada sobre las características técnicas de los sistemas que pueden funcionar en la banda, dificulta la realización de un análisis de compartición detallado para esta porción del espectro.

6.1 Compartición en la banda de 22,5 a 23 GHz entre el servicio de radiodifusión por satélite y otros servicios

6.1.1 Interferencia entre el servicio de radiodifusión por satélite y el servicio entre satélites

La interferencia entre el servicio de radiodifusión por satélite y el servicio entre satélites se examina en el Informe 951.

6.1.2 Compartición entre el servicio de radiodifusión por satélite y el servicio fijo

6.1.2.1 Características del sistema del servicio fijo terrenal

En América del Norte, el servicio fijo aún no ha utilizado profusamente la banda 22,5-23,0 GHz. Los sistemas que funcionan en esta banda pertenecen a dos categorías principales, cuyas aplicaciones típicas son:

- Circuitos de telefonía de baja capacidad tales como conexiones de centralitas privadas automáticas con centrales principales. Las capacidades normales de los sistemas son de 24/28 circuitos telefónicos utilizando técnicas de transmisión digital.
- Enlaces de video para televigilancia, cámaras de periodismo electrónico, etc., que emplean técnicas de transmisión analógicas (modulación de amplitud). Las longitudes de los sistemas suelen ser de algunos kilómetros.

Las características de un sistema típico del SF terrenal podrían ser las siguientes:

Frecuencia, (GHz)	22,4-23,0
Potencia de transmisión (mW)	100
Ganancia de antena (dBi)	34 a 40
Anchura del haz de la antena (grados)	2-3
Factor de ruido del receptor (dB)	8,0
Anchura de banda (RF)	
(separación entre canales) (MHz)	50
Modulación: digital (MA-MDP)	telefonía/datos
analógica (MF)	video
Longitud del sistema (km)	0,5 a 8

6.1.2.2 Características del sistema de transmisión del SRS

El tipo de servicio de radiodifusión por satélite aquí considerado es la televisión de alta definición (TVAD). Se halla aún en la fase de desarrollo, por lo que no hay establecidas normas de transmisión que definan los requisitos de formato de la señal, modulación y prestaciones del sistema.

Sin embargo, el Informe 1075 estudia los aspectos de transmisión de la TVAD por satélite, y su cuadro II contiene ejemplos de sistemas de TVAD analógica y digital que utilizan la banda 22,5-23,0 GHz. El cuadro XV enumera a continuación algunos de los parámetros de interés para la compartición.

CUADRO XV – Ejemplos de posibles sistemas de TVAD que utilizan la banda 22,5-23,0 GHz
(del cuadro II del Informe 1075)

Parámetro	Analógico	Digital
Tipo de modulación	MF-MDT	MICD
Anchura de banda RF (MHz)	60	195
DFP (en el borde de la zona de servicio) (dB(W/m ²))	-104,7	-93,2
Atenuación producida por la lluvia (99% del mes más desfavorable) (dB)	4,5	4,5
Diámetro de la antena receptora del SRS (m)	2,5	0,62
p.i.r.e. del satélite (dirección de puntería) (dBW)	66,3	78,0

El ejemplo de TVAD analógica con su mayor tamaño de la antena para recepción de TV y su menor requisito de potencia, sería utilizable para aplicaciones de recepción comunal, en tanto que el ejemplo de TVAD digital, que supone una antena pequeña, podría corresponder a sistemas de recepción individual que se utilizaría en un futuro más lejano debido a las actuales limitaciones tecnológicas.

Dos de estos ejemplos de sistemas, así como los parámetros supuestos para los sistemas de radiocomunicaciones terrenales indicados en el § 6.1.2.1, se utilizarán para determinar las distancias de coordinación necesarias con respecto a un emplazamiento de recepción del SRS.

6.1.2.3 Zonas de coordinación para un emplazamiento de recepción del SRS

Puede obtenerse una indicación de la viabilidad de la compartición entre el SRS y el SF atendiendo a factores geográficos, determinando la zona de coordinación necesaria en torno a un emplazamiento de recepción del SRS. (En el caso de recepción comunal, la distancia de coordinación puede considerarse con respecto a un emplazamiento de recepción del SRS, en tanto que para la recepción directa la distancia de coordinación debe considerarse con respecto al borde de la zona de servicio.)

La zona de coordinación proporciona una estimación conservadora de la distancia de separación necesaria, dado que se utilizan las hipótesis del caso más desfavorable para generar los contornos y no se consideran los factores que podrían aliviar la interferencia, como son:

- discriminación con respecto al eje de la antena transmisora terrenal,
- efecto de pantalla del terreno circundante y edificios locales,

además, se utilizan los parámetros de propagación del caso más desfavorable.

El método para obtener los contornos de coordinación se indica en el apéndice 28 del Reglamento de Radiocomunicaciones. La pérdida del trayecto entre la estación transmisora interferente y el emplazamiento de recepción del SRS que debe excederse durante el $p\%$ del tiempo, $L(p\%)$, puede expresarse por:

$$L(p\%) = P_i - P_r(p\%) \quad (11)$$

donde:

P_i : p.i.r.e. en la dirección de puntería de la estación transmisora interferente

$P_r(p\%)$: nivel admisible de potencia interferente a la entrada del receptor SRS que no debe excederse durante el $p\%$ del tiempo.

$P_r(p\%)$ está relacionado con el nivel de la señal deseada, $P_w(p\%)$, y con la relación de protección deseada, R , por la fórmula siguiente:

$$P_r(p\%) = P_w(p\%) - R \quad (12)$$

Utilizando los valores de los parámetros del sistema indicados en los § 6.1.2.1 y 6.1.2.2, la pérdida del trayecto necesaria viene dada por la fórmula siguiente:

$$L_p = R - DFP_w(p\%) - D(\varphi) + 78,5 \quad (13)$$

donde:

$DFP_w(p\%)$: densidad de flujo de potencia de la señal deseada en el receptor del SRS, excedida durante el $p\%$ del tiempo.

$D(\varphi)$: discriminación de la antena del receptor del SRS para un ángulo con respecto al eje de φ grados.

En la determinación de la pérdida del trayecto, se hicieron las siguientes suposiciones:

- para distancias de coordinación superiores a 100 km, se utilizó propagación por el modo 1 (es decir, círculo máximo),
- para distancias inferiores a 100 km, se utilizó propagación por visibilidad directa,
- se supuso una sola zona hidrometeorológica (zona A2),
- factor de elevación sobre el horizonte de 0 dB (caso más desfavorable),
- densidad de vapor de agua de 1 g/m^3 ,
- frecuencia de 22,5 GHz,
- porcentaje de tiempo, $p = 0,29\%$ (equivalente al 1% del mes más desfavorable).

Al obtener los contornos de coordinación para sistemas del SRS tanto analógicos como digitales, se consideraron los dos casos siguientes:

Hipótesis del caso A: (caso más favorable)

- señal interferente atenuada por la lluvia en la misma magnitud que la señal deseada,
- receptor del SRS situado en el centro de la zona de servicio.

Hipótesis del caso B: (caso más desfavorable)

- señal interferente no atenuada por la lluvia,
- receptor del SRS situado en el borde de la zona de servicio.

6.1.2.4 Zona de coordinación para el SRS de TVAD analógica

Características de las antenas receptoras del SRS

Para un diámetro de antena de 2,5 m ($D/\lambda > 100$), supuesto en este caso, la ganancia copolar con respecto al eje viene dada por la fórmula siguiente (apéndice 28 del Reglamento de Radiocomunicaciones):

$$G(\varphi) = \begin{cases} 53,2 - 89,9 \varphi^2 \\ 36,1 \\ 32,0 - 25 \log(\varphi) \\ -10 \end{cases} \text{ dBi} \quad \begin{array}{l} \text{para } 0 < \varphi \leq 0,44 \\ \text{para } 0,44 < \varphi \leq 0,686 \\ \text{para } 0,686 < \varphi \leq 48,0 \\ \text{para } \varphi > 48,0 \end{array}$$

donde φ es el ángulo con respecto al eje, en grados.

Relación de protección requerida

Como no existen datos disponibles sobre los requisitos de relación de protección para la TVAD, se supusieron aplicables los datos correspondientes a los sistemas de televisión convencionales. Basándose en los datos contenidos en el anexo I del Informe 634, parece apropiada la siguiente relación de protección:

Tipo de interferencia	Relación de protección
Coherente (por ejemplo, televisión MA-BLR)	35 dB
No coherente (por ejemplo, digital)	25 dB

La fig. 14 muestra las zonas de coordinación para las hipótesis del caso más favorable (caso A) y las del caso más desfavorable (caso B) y para interferencia coherente y no coherente. El cuadro XVI resume los límites superior e inferior de las distancias de coordinación.

Aunque las distancias de coordinación máximas, que corresponden a direcciones próximas al eje de puntería, son bastante grandes, estos valores corresponden a un ángulo de elevación de 0° . Para ángulos de elevación prácticos de 10° o más, estas distancias se reducen a 100 km o menos.

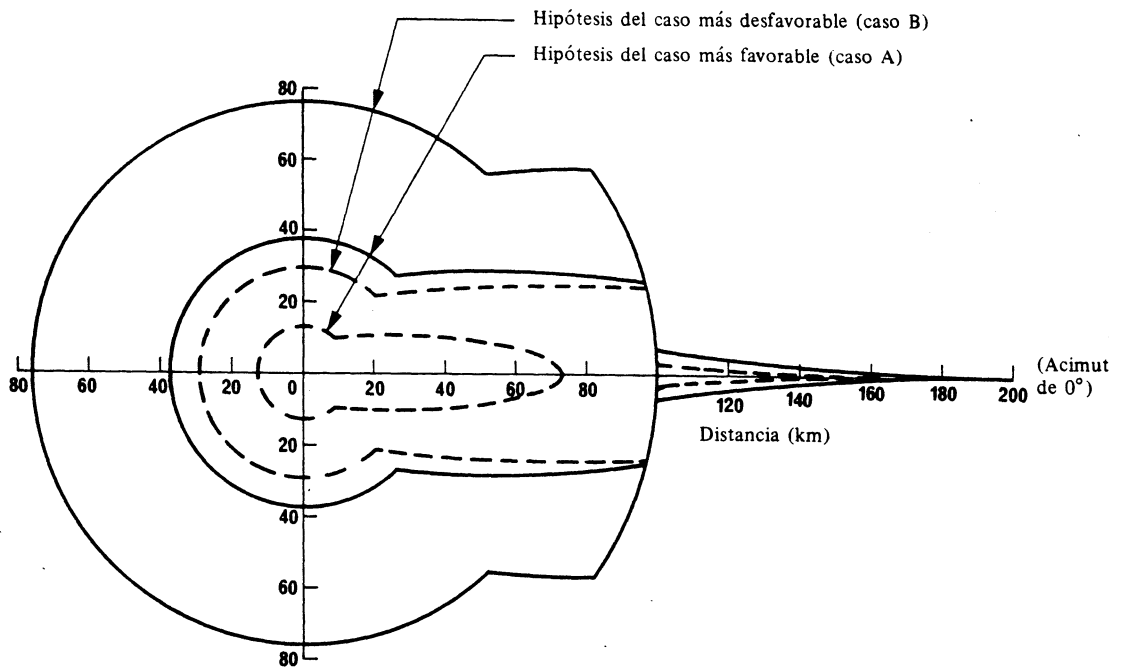


FIGURA 14 – Zonas de coordinación para sistemas de TVAD analógica

— Interferencia coherente (por ejemplo, televisión MA-BLR)
 - - - Interferencia no coherente (por ejemplo, telefonía digital)

CUADRO XVI – Resumen de las distancias de coordinación (km) para la TVAD analógica

	Coherente		No coherente	
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima
Caso más favorable (caso A)	100	37	73,4	12,9
Caso más desfavorable (caso B)	197	75,6	168	28,9

6.1.2.5 Zonas de coordinación para la TVAD digital

Características de las antenas receptoras del SRS

El diámetro de la antena supuesto para la TVAD es de 0,62 m ($D/\lambda < 100$). Por tanto, la ganancia copolar con respecto al eje viene dada por la expresión siguiente (apéndice 28 del Reglamento de Radiocomunicaciones):

$$G(\varphi) = \begin{cases} 41,0 - 5,41 \varphi^2 \\ 27,0 \\ 35,3 - 25 \log(\varphi) \\ -6,7 \end{cases} \text{ dBi} \quad \begin{cases} \text{para } 0 < \varphi \leq 1,61 \\ \text{para } 1,61 < \varphi \leq 2,15 \\ \text{para } 2,15 < \varphi \leq 48,0 \\ \text{para } \varphi > 48,0 \end{cases}$$



Requisitos de relación de protección

Basándose en datos obtenidos para sistemas de televisión convencionales con codificación digital (sistema M/NTSC), la relación de protección requerida para interferencia «apenas perceptible» es aproximadamente 25 dB (véase el Informe 634, anexo I). Este valor de relación de protección se supone también para el caso de TVAD digital.

Fuentes interferentes múltiples

La anchura de banda necesaria para el sistema de TVAD digital es grande comparada con las anchuras de banda utilizadas por los sistemas terrenales (normalmente una separación de 50 MHz entre canales RF). Además, dado que la interferencia será de tipo ruido (es decir, no coherente), su repercusión en la degradación de la imagen no se cree que dependa de la separación de la portadora interferente (es decir, interferencia cocanal y no cocanal). Por tanto, para tener en cuenta la posibilidad de que más de una fuente interferente caiga dentro del canal de TVAD, se supone, como una situación del caso más desfavorable, un factor de exposición múltiple de $10 \log (195/50) = 5,9$ dB.

La fig. 15 muestra las zonas de coordinación para los sistemas de TVAD digital suponiendo las condiciones del caso más favorable (caso A) y del caso más desfavorable (caso B), y para uno o más factores de exposición. El cuadro XVII resume a continuación las distancias de coordinación máximas y mínimas para todos estos casos.

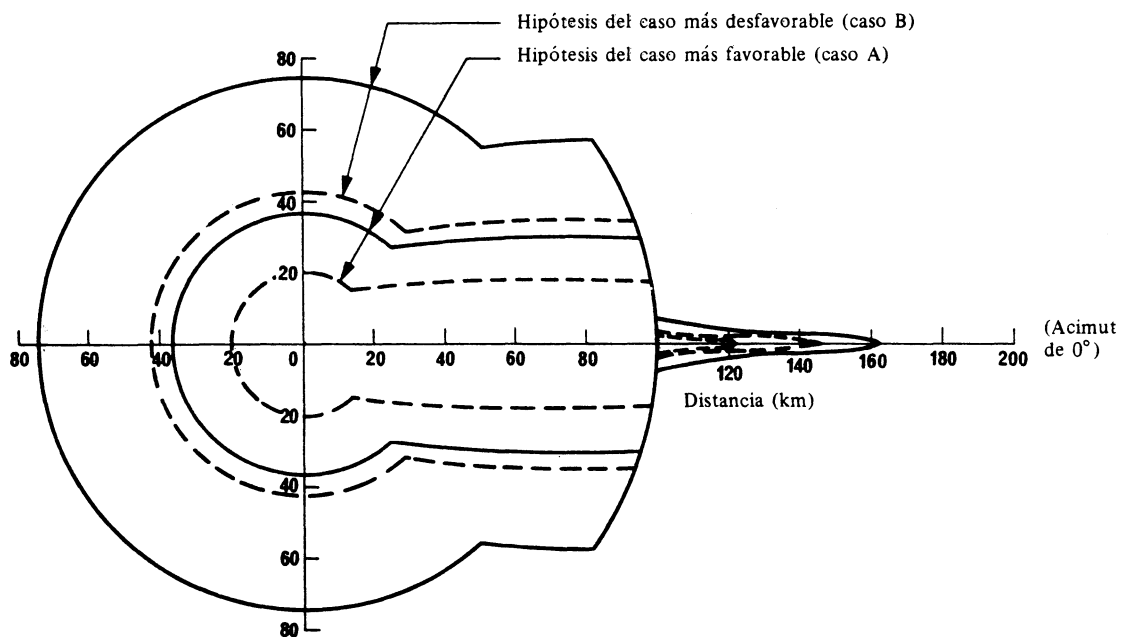


FIGURA 15 – Zonas de coordinación para sistemas de TVAD digital

— Factor de exposición múltiple: 5,9 dB
 - - - Factor de exposición múltiple: 0 dB

CUADRO XVII – Distancias de coordinación (km) para receptores de TVAD digital

	Exposición simple		Exposición múltiple	
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima
Caso más favorable (caso A)	123,4	19,7	140,7	36,4
Caso más desfavorable (caso B)	145,4	42,6	162,7	74,8

Como en el caso de la TVAD analógica, los valores grandes de la distancia de coordinación corresponden a pequeños ángulos con respecto al eje y/o a pequeños ángulos de elevación. Para los ángulos de elevación prácticos de 10° o superiores, la distancia de coordinación máxima se reduce a 100 km o menos.

En comparación con el caso de la TVAD analógica de la fig. 14, las zonas de coordinación para la TVAD caen entre las zonas de coordinación de la TVAD analógica del caso más desfavorable (coherente) y del caso más favorable (no coherente).

6.1.2.6 Interferencia causada por el SRS a sistemas terrenales

Como una indicación de la sensibilidad de las radiocomunicaciones terrenales a la interferencia procedente del SRS, la relación «potencia interferente/potencia de ruido» en una anchura de banda de canal RF a la entrada del receptor se determina mediante el cuadro XVIII. El caso del SRS de TVAD digital se supone que es el caso más desfavorable debido a su elevado nivel de DFP, y los parámetros del sistema de radiocomunicaciones terrenal utilizado se consideran típicos para aplicaciones de videotransmisión (transmisión de televisión MA-BLR).

CUADRO XVIII – Ejemplo de interferencia causada por el SRS a sistemas de relevadores radioeléctricos terrenales

Anchura de banda RF en un canal terrenal (MHz)	5
Factor de ruido del receptor (dB)	8
Ganancia de antena en la dirección de puntería (dBi)	34
Potencia de ruido a la entrada del receptor (kTB) (dBW)	-127,7
DFP de TVAD en la dirección de puntería (tiempo despejado) (dB(W/m ²))	-85,7
Discriminación de la antena transmisora del satélite ⁽¹⁾ (dB)	12,7
Factor de anchura de banda ⁽²⁾ (dB)	15,9
Atenuación atmosférica (tiempo despejado) (dB)	4,0
Ganancia a 22,5 GHz (apertura equivalente de la antena de 1 m ²) (dB)	48,5
Nivel de interferencia a la entrada del receptor (dBW)	-132,8
Relación (interferencia/ruido) (dB)	-5,1

⁽¹⁾ Se supone un ángulo de elevación mínimo de 20° en el borde de la zona de cobertura del SRS y una anchura de banda de la antena transmisora del satélite de 1°.

⁽²⁾ Para modulación digital, se supone que la energía se reparte uniformemente en la anchura de banda total del canal de TVAD, dando lugar a una reducción de potencia de interferencia de $10 \log (195/5) = 15,9$ dB.

Para cada portadora de RF se llevó a cabo un análisis de la interferencia producida sobre un sistema terrenal de media capacidad que utiliza modulación MDP diferencial de 4 fases y que es capaz de proporcionar hasta 672 canales vocales. En el anexo II se indican las suposiciones y las características del sistema.

Este análisis indica que en condiciones medianas (cielo despejado) puede alcanzarse un BER mínimo de 1×10^{-7} con márgenes de C/I por exceso. La magnitud del margen de exceso depende de la longitud del trayecto del sistema digital y del tipo de interferencia del SRS de TVAD. Cabe esperar márgenes inferiores en logitudes de trayecto más largas (8 km) y para interferencias procedentes de señales TVAD analógicas con niveles de d.f.p. diseñados para una recepción individual. Sin embargo, estos márgenes del exceso de C/I implican que no es necesario imponer restricciones en términos del emplazamiento de la antena terrenal de recepción ni que tampoco se necesita evitar ninguna órbita respecto

al modo de interferencia. Estos márgenes positivos implican igualmente que la suposición del ángulo mínimo de elevación en el borde de la zona de cobertura del SRS (es decir 20°) podría relajarse y se cumpliría incluso el criterio de protección para todas las longitudes de trayecto excepto las más largas. Los márgenes serán incluso superiores en el caso de la recepción comunitaria del SRS de TVAD debido a los niveles inferiores de d.f.p.

La influencia de la interferencia sobre las prestaciones del sistema en condiciones de desvanecimiento debido a la lluvia consistirá en reducir ligeramente el margen de desvanecimiento respecto del umbral de BER en recepción. Suponiendo que la señal del satélite se desvanecerá igualmente, al menos en una magnitud similar a la de la señal terrenal, la reducción en el margen de desvanecimiento del trayecto será inferior a 1 dB.

Sin embargo debe observarse, que estas conclusiones se aplican únicamente a los sistemas digitales que utilizan este nivel y tipo de modulación, y características similares de sistema. Por ejemplo, estas conclusiones no pueden aplicarse a los sistemas actualmente en funcionamiento o en desarrollo que utilizan un nivel superior de modulación como el MAC 64, que es más sensible a la interferencia, o que utilizan antenas de recepción sectorial en cuyo caso puede que los desvanecimientos por lluvia a lo largo de los dos trayectos no estén totalmente correlacionados. "

6.1.2.7 Resumen y conclusiones

Se ha examinado la viabilidad de la compartición entre el SRS y el SF, y pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- el análisis de las distancias de coordinación para el caso del SRS de TVAD analógica (recepción comunal) indica que, para ángulos de elevación superiores a aproximadamente 10°, la máxima distancia de coordinación se halla entre 73 y 100 km, correspondiente a acimutes próximos a la dirección de puntería, y la distancia de coordinación mínima entre 13 y 37 km para los acimutes correspondientes al lóbulo posterior de la antena receptora.
- las distancias de coordinación para el caso de TVAD digital (caso de recepción individual) se hallan dentro de los contornos de coordinación máximos y mínimos para el caso de TVAD analógica.
- considerando las zonas de coordinación relativamente menores necesarias en esta banda, la compartición desde el punto de vista geográfico será algo más fácil que en la banda de 12 GHz.
- el análisis de la interferencia causada a los sistemas de relevadores radioeléctricos terrenales por el servicio de radiodifusión por satélite indicado en el § 6.1.2.6 revela que, en las hipótesis del caso más desfavorable, resultaría una relación (I/N) de -5,1 dB. Se necesitan más estudios para determinar si este margen es adecuado para los tipos de servicios terrenales previstos en esta banda.

6.2 Compartición entre el servicio de radioastronomía y el SRS en las proximidades de 22 GHz*

La radioastronomía (RA) tiene interés en varias bandas próximas a 22 GHz.

22,01 a 22,21 GHz
 22,21 a 22,50 GHz
 22,81 a 22,86 GHz
 23,07 a 23,12 GHz

Estas bandas interesan también al SRS para las emisiones de TVAD de banda RF ancha (véase Resolución 521).

En este punto se examina la protección necesaria para la radioastronomía y la anchura de las bandas de guarda que se requerirían para proporcionarle tal protección de manera completa.

* Este punto ha de señalarse a la atención de la Comisión de Estudio 2 del CCIR.

6.2.1 Límites de densidad de flujo de potencia necesarios

En el Informe 224 del CCIR figuran los límites de densidad de flujo de potencia (dfp) necesarios para proteger las observaciones de radioastronomía. Los límites que aparecen en los cuadros se basan en la suposición de que se utiliza una antena isótropa. Como en las observaciones reales de radioastronomía se emplean antenas muy directivas, debe administrarse un factor adicional de 15 dB (por encima de los límites de dfp indicados). Este supuesto se basa en la utilización del diagrama de antena de referencia 32-25 $\log \theta$ para representar la ganancia de los lóbulos laterales en dBi de la antena de radioastronomía (RA). Se supone además que la antena de radioastronomía no apuntará más cerca de 5° de la órbita de satélites geoestacionarios (OSG), de modo que la ganancia de la antena RA hacia la OSG no exceda de $32-25 \log (5^\circ) \approx 15$ dBi.

El límite pertinente de dfp en esta banda de frecuencias se calcula de la forma siguiente: en el Cuadro I del Informe 224 del CCIR se indica una densidad de flujo de potencia espectral de $-233 \text{ dB(W/m}^2 \text{ Hz)}$, que corresponde a una ganancia de antena supuesta de 0 dBi.

Este nivel de densidad del flujo de potencia se reduce además en 15 dB (a $-248 \text{ dB(W/m}^2 \text{ Hz)}$) a fin de permitir las observaciones radioastronómicas a partir de un ángulo de 5° con respecto a la órbita de los satélites geoestacionarios, como se examina más arriba.

El Informe 1075 indica que la dfp en espacio libre de un servicio de TVAD por satélite será del orden de -90 a $-100 \text{ dB(W/m}^2)$ en la zona de servicio. El Cuadro XIX que figura a continuación muestra la densidad espectral de flujo de potencia en una anchura de banda de 1 Hz suponiendo una distribución espectral uniforme (como sería el caso en una transmisión digital) o una dispersión de energía en 4 MHz (como sería el caso en una transmisión con MF). Se necesitan más estudios para determinar si el tipo normalizado de dispersión de energía utilizado en los sistemas de MF es el adecuado para proteger el servicio de radioastronomía.

CUADRO XIX

Densidad de flujo de potencia (dfp) en una anchura de banda de 1 Hz
(en $\text{dB(W/m}^2 \text{ Hz)}$)

Anchura de banda en la que hay dispersión de energía (MHz)	dfp espectral ($\text{dB(W/m}^2 \cdot \text{Hz)}$)	
	dfp de la TVAD= $-90 \text{ dB(W/m}^2)$	dfp de la TVAD= $-100 \text{ dB(W/m}^2)$
4	-156	-166
40	-166	-176
50	-167	-177
100	-170	-180

De estos valores puede deducirse que es preciso introducir una atenuación significativa en la señal de TVAD antes de que pueda funcionar en la banda de radioastronomía sin causar excesiva interferencia.

6.2.2 Consecuencias

Los niveles de interferencia fuera de banda tienen que ser inferiores. Los sistemas de modulación utilizados precisan una conformación espectral y el filtro de salida del satélite debe introducir una atenuación.

Para obtener el nivel deseado de $-248 \text{ dB(W/m}^2 \text{ Hz)}$ se necesitaría una atenuación suplementaria de entre 68 y 92 dB.

6.2.2.1 Sistemas MF

El espectro de los sistemas MF decrece muy rápidamente fuera de la banda. En la Figura 16 aparece un ejemplo representativo de una plantilla de espectro. Este espectro se ha definido a partir de la información suministrada por el Informe 807-2 del CCIR. En el citado Informe figura el espectro de radiofrecuencia de una radiación fuera de banda típica procedente de un satélite de radiodifusión de televisión. La hipótesis de la utilización de un sistema convencional de televisión corresponde casi al caso más desfavorable. Es preciso efectuar algunas aproximaciones para extrapolar de las normas de un sistema convencional a las normas de un sistema de TVAD. La proporcionalidad de la frecuencia de las señales es válida bajo ciertas condiciones. Se han realizado cálculos para anchuras de banda en radiofrecuencia de 54 MHz (véase el sistema B en el Cuadro IX del Informe 1075) y de 100 MHz. Puede admitirse, por tanto, una proporcionalidad de frecuencias de un factor de dos, en el primer ejemplo, y de cuatro en el segundo ejemplo.

De la Figura 16 puede deducirse que es necesario introducir una atenuación adicional para proteger el servicio de radioastronomía*. La Figura 16 muestra también que para un sistema MF sin filtrado adicional, la banda de guarda debe tener un valor entre 65 y 120 MHz, según el ejemplo utilizado. Sería útil realizar un filtrado complementario de la señal de salida.

6.2.2.2 Sistemas digitales

Existe una amplia gama de posibles sistemas digitales que están siendo estudiados. Algunos tienen una envolvente constante y pueden estructurarse de tal forma que proporcionen un espectro que no se degrade cuando la señal pase por un amplificador no lineal. Otros sistemas digitales no tienen una envolvente de amplitud constante y su espectro puede ser modificado por elementos no lineales, principalmente en los ATOP, lo que origina un aumento de las componentes espectrales fuera de banda. Dos de los ejemplos del Informe 1075, (MDP-4 y MAQ-16) pueden considerarse como casos límites. La Figura 17 muestra que un sistema de MDP-4 tendrá niveles de radiación fuera de banda demasiado elevados como para permitir el adecuado funcionamiento del Servicio de Radioastronomía. Además, con las suposiciones hechas, se presentarán problemas con la MAQ-16 (las envolventes espectrales de la Figura 17 corresponden a las señales de salida de un ATOP y a un régimen de caída del 50%). Por consiguiente es indispensable disponer de un filtrado complementario para los sistemas digitales.

* Los valores que aparecen en dicha figura suponen la utilización de dispersión de energía.

6.2.2.3 Requisitos referentes a las bandas de guarda y al filtrado

Es posible determinar el filtrado necesario para proteger la radioastronomía con las mínimas separaciones de frecuencia con respecto a la TVAD por satélite.

El estudio de la Figura 16 demuestra que los sistemas MF utilizados en los ejemplos exigen filtros cuya banda de paso es de 50 y 100 MHz. Es conveniente cierta atenuación de la frecuencia desplazada aproximadamente una anchura de banda con respecto a la frecuencia central del canal. Una atenuación de 20 dB se considera como un objetivo exigente pero alcanzable, a fin de mejorar la eficacia del espectro.

El filtro de salida debe proporcionar la atenuación necesaria para reducir los niveles de radiación fuera de banda por debajo de los valores propuestos para proteger la radioastronomía. En la Figura 17 puede observarse que se precisan valores de atenuación de aproximadamente 50 dB.

De forma más específica, un canal MAQ a 140 Mbit/s necesitaría al menos una atenuación de 50 dB para un desplazamiento de frecuencia mínimo con respecto a la frecuencia central del canal de 68 MHz mientras que un canal MDP-4 a 140 Mbit/s precisaría al menos 60 dB de atenuación para un desplazamiento de frecuencia mínimo de 70 MHz.

6.2.2.4 Cálculo de ejemplo: MDP-4 a 140 Mbit/s en las frecuencias próximas a 22 GHz

En este caso, se puede calcular de la siguiente manera la banda de frecuencias total que debe dejarse libre para el funcionamiento del servicio de radioastronomía:

- Banda de radioastronomía: 50 MHz
- Separación mínima entre el borde de la banda de radioastronomía y la frecuencia central del canal más cercano de TVAD: 70 MHz.
- Anchura mitad del canal de radiofrecuencia para una señal MDP-4 a 140 Mbit/s con un régimen de caída del 50%: 52,5 MHz.

$$B(\text{libre}) = 50 + 2 \times 70 - 2 \times 52,5 = 85 \text{ MHz.}$$

Lo que implica que debe mantenerse libre una banda de gran anchura y que las exigencias en cuestión de filtrado son muy rigurosas.

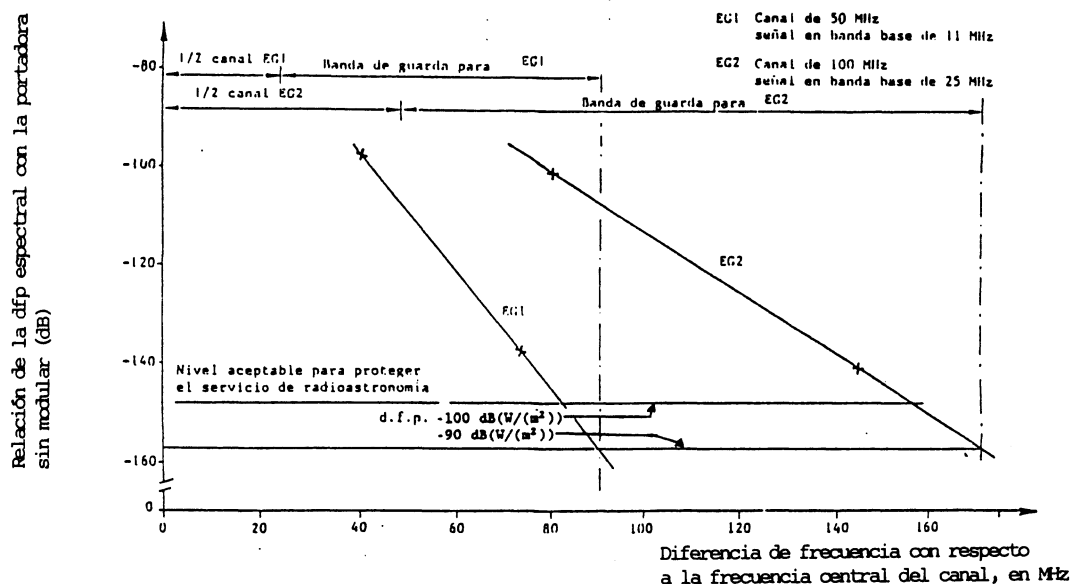


FIGURA 16

Plantilla de espectro para los sistemas MF

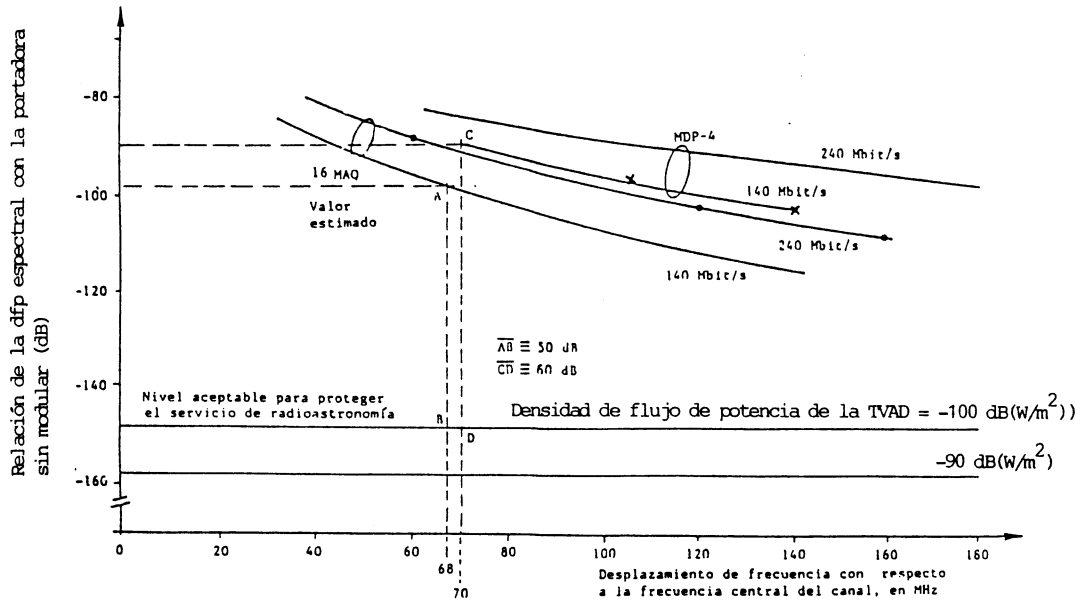


FIGURA 17

Envolvente espectral para sistemas digitales

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKIMA, H. [enero de 1980] Sharing of the band 12,2-12,7 GHz between the broadcasting-satellite and fixed services. NTIA Report, 80-32, US Department of Commerce, Washington, DC, Estados Unidos de América.
- GOES, O. W., HEINZELMANN, G. y VOGT, K. [octubre de 1968] Transmitter-network planning for terrestrial television broadcasting in the 11,7 to 12,7 GHz band. *EBU Rev. Tech.*, Part A, 111-A, 216-226.
- KELLEY, R. L. y otros [1976] Communications systems technology assessment study, Fairchild Space and Electronics Company, Germantown, MD. (Efectuado para la Lewis Research Center de la NASA conforme al contrato NAS 3-20364).
- KONISHI, Y. [1980] Satellite broadcasting receiver – present and future. IEEE MTT-S, International Microwave Symposium Digest, 293-295.

Documentos del CCIR

- [1974-78]: a. 11/112 (Alemania (República Federal de)); b. 11/415 (Francia); c. 11/420 (Francia); d. 11/172 (Países Bajos); e. 11/142 (Reino Unido); f. 9/83 (Reino Unido); g. 11/170 (Países Bajos); h. 11/143 (ESA); i. 11/163 (Suiza); j. 9/92 (Alemania (República Federal de)); k. 11/152 (URSS); l. 11/174 (Australia).
- [1978-82]: a. 11/247 (Japón); b. 10-11S/114 (Japón).

BIBLIOGRAFÍA

- ALTSHULER, E. E., GALLOP, M. A. Jr. y TELFORD, L. E. [septiembre-octubre de 1978] Atmospheric attenuation statistics at 15 and 35 GHz for very low elevation angles. *Radio Sci.*, Vol. 13, 5, 839-852.
- BOROVKOV, V. A. y LOKSHIN, M. G. [1979] Voprosy elektromagnitnoi sovместimosti sluzhb TV veshchaniya (Problemas de compatibilidad electromagnética en servicios de radiodifusión de televisión). *Elektrosviaz*, 7, 1-4.
- DOLUKHANOV, M. [1971] Propagation of Radio Waves. Mir Publishers Moscú, URSS, 1971 (Revisión de la edición de 1965).
- ESA "Study of the applicability of the 20 GHz band for high-definition TV satellite broadcasting", Contract Study Report, TP 8566, 1988.
- ROGERS, D. W. [enero de 1985] Propagation considerations for satellite broadcasting at frequencies above 10 GHz. *IEEE J. Select. Areas in Comm.*, Vol. SAC-3, 1, 100-110.

Documentos del CCIR

- [1974-78]: 11/19 (Reino Unido); 11/22 (Suiza); 11/34 (Japón); 11/108 (Canadá); 11/141 (Reino Unido); 11/153 (Estados Unidos de América); 11/156 (Alemania (República Federal de)).
- [1978-82]: 10-11S/11 (UER); 10-11S/12 (Reino Unido); 10-11S/25 (Estados Unidos de América); 10-11S/53 (URSS); 11/116 (URSS).

ANEXO I

EJEMPLOS DE LÍMITES DE DENSIDAD DE FLUJO DE POTENCIA NECESARIOS
PARA PROTEGER AL SERVICIO MÓVIL TERRESTRE EN UNOS 800 MHz

En el caso de un solo satélite geoestacionario de radiodifusión en una posición visible de la órbita, la densidad aceptable de flujo de potencia producida en la superficie de la Tierra es la siguiente:

- para proteger un servicio de elevada calidad:
 - 133 dB(W/(m² · 16 kHz)) en la antena receptora de la estación móvil,
 - 146 dB(W/(m² · 16 kHz)) en la antena receptora de la estación de base,
- para proteger un servicio de calidad mínima:
 - 127 dB(W/(m² · 40 kHz)) en la antena receptora de la estación móvil,
 - 134 dB(W/(m² · 40 kHz)) en la antena receptora de la estación de base.

Estos valores sólo se aplican al mencionado servicio móvil terrestre en unos 800 MHz.

El valor de -146 dB(W/(m² · 16 kHz)) está basado en la información disponible actualmente y, a modo de ejemplo, se considera un sistema móvil terrestre que funcione en unos 800 MHz, con estas características:

- una separación entre canales de 25 kHz,
- una anchura de banda del receptor de 16 kHz,
- un factor de ruido del receptor de 10 dB,
- un factor de mejora de 12 dB,
- una ganancia de antena de 15 dBi,
- una relación de protección en radiofrecuencia de 18 dB,
- una discriminación por polarización de 3 dB.

Para características distintas o adicionales del sistema móvil terrestre, deberá modificarse en consecuencia la mencionada densidad de flujo de potencia. En el valor indicado de la misma, se han tenido en cuenta pequeños ángulos de elevación del satélite de radiodifusión.

Hay que señalar también que si hay en visibilidad varios satélites de radiodifusión, deberá reducirse en consecuencia el valor de la densidad de flujo de potencia producida por cada uno de ellos.

Sería deseable que pudieran obtenerse de otras administraciones más datos relativos a las características de los sistemas en explotación o en estudio, antes de que se fijara un valor general de la densidad de flujo de potencia, que asegurara la protección de los sistemas del servicio móvil terrestre. Es conveniente, pues, proseguir los estudios para poder disponer de datos suplementarios.

Actualmente, parece prematuro prever si es posible la compartición de frecuencias entre el servicio de radiodifusión por satélite y el servicio móvil terrestre, alrededor de 800 MHz.

ANEXO II

Características de un sistema terrenal digital en 23 GHz y
consideraciones sobre interferencias

Este anexo proporciona los detalles sobre las características del sistema digital terrenal analizado en el punto 6.1.2.6. Se indican también las suposiciones y el método utilizados en el análisis de la influencia de la interferencia.

1. Sistemas digitales radioeléctricos en 23 GHz para la transmisión de voz y datos

Con la rápida evolución de la red digital de voz y datos, la utilización de la banda de 23 GHz para la transmisión de voz y datos empleará, con toda probabilidad, técnicas de transmisión digital. Las actuales limitaciones en el comportamiento de los dispositivos a estas frecuencias restringirán probablemente la elección de la modulación a las técnicas de envolvente constante (por ejemplo MDP-2 o MDP-4) que permiten un funcionamiento del dispositivo en saturación o en sus proximidades. Estos esquemas de modulación permitirán una capacidad de voz y datos entre 96 canales vocales (baja capacidad) y aproximadamente 672 canales vocales (capacidad media) en un radiocanal. Se supone que los parámetros de transmisión básicos del sistema radioeléctrico para estos sistemas son los indicados en el punto 6.1.2.1 del presente Informe.



Las aplicaciones típicas de estos sistemas podrían encontrarse entre los enlaces entre edificios de las zonas metropolitanas, empleando de esta forma trayectos relativamente cortos (1-8 km) con el fin de limitar el desvanecimiento en el trayecto debido a la precipitación que a estas frecuencias puede resultar importante. Considerando diferentes geometrías de trayecto, los ángulos de elevación de las antenas terrenales de transmisión y recepción podrían alcanzar hasta 10° . El ángulo de elevación de la antena de recepción de sistema digital es importante ya que influye en los emplazamientos donde la línea de puntería de la antena de recepción terrenal podría estar ocasionalmente dirigida hacia el satélite interferente.

2. Consideraciones de compartición y análisis de interferencia

En estas frecuencias más elevadas y con sistemas que utilizan longitudes de trayecto relativamente cortas, el principal factor que contribuye a la disponibilidad del trayecto es el desvanecimiento debido a la lluvia. Además, las interferencias procedentes del satélite tendrán lugar cuando el azimut y los ángulos de elevación del trayecto de la señal terrenal estén próximos de los del trayecto de la señal interferente del satélite, en caso contrario la antena de recepción terrenal proporciona una discriminación suficiente. Así pues parece razonable suponer que la señal del satélite se desvanecerá al menos la misma cantidad y en el mismo momento que la señal terrenal en condiciones de lluvia.

El análisis de compartición presentado aquí se basa en satisfacer una relación portadora e interferencia necesaria (C/I) para garantizar un comportamiento aceptable de los errores en el sistema, en condiciones de propagación medias o de cielo despejado.

(Este enfoque es distinto del utilizado en el punto 6.1.2.6 del presente Informe, que se basa en conseguir una relación interferencia a ruido (I/N) aceptable lo que implica una independencia al menos parcial del desvanecimiento de la señal entre los trayectos deseado e interferente.)

Suponiendo que la influencia de la interferencia sobre la proporción de bits erróneos del sistema es equivalente a la del ruido gaussiano, para una modulación MDP-4 un valor de C/I de 13,8 dB producirá un BER de 1×10^{-7} . Si en la práctica se tolera un margen de 3 dB, el valor de C/I necesario en ausencia de ruido térmico ($C/R = \infty$) será de 16,8 dB.

Igualmente, si se supone como prestación mínima aceptable un umbral del BER de 1 en 10^3 (es decir interrupción del sistema) el corte se producirá para una modulación MDP-4 con un valor de C/N igual a 9,8 dB MDP-4. Este valor del umbral de C/N corresponde a la ausencia de interferencia. La presencia de interferencias en condiciones de desvanecimiento tendrá como efecto aumentar ligeramente dicho valor umbral de C/N lo que se traduce en una ligera reducción del margen de desvanecimiento. Por ejemplo, suponiendo que la señal del satélite se atenuara la misma magnitud que la señal terrenal, para un valor de C/I = 16,8 dB el valor de C/N necesario para obtener un BER de 1 en 10^3 es aproximadamente de 10,3 dB, lo que respresenta una reducción del margen de desvanecimiento de 0,5 dB.

El cuadro XX indica las características del trayecto del sistema terrenal para longitudes del trayecto entre 2 y 8 km y con dos tamaños de antenas terrenales de transmisión/recepción. El máximo nivel tolerable de la d.f.p. interferente en el emplazamiento del receptor terrenal se basa en el valor de C/I indicado anteriormente y supone que no existe discriminación de la antena terrenal en la dirección del satélite interferente.

CUADRO XX

Parámetros del trayecto del sistema terrenal

Longitud del trayecto (km)	Nivel mediano de la señal recibida (1) (dBW)		Margen de desvanecimiento ⁽²⁾ por encima del umbral (dB)		Nivel de interferencia tolerable (3) (dBW)		d.f.p. tolerable de interferencia (dBW/m ²)	
	30 cm	68 cm	30 cm	68 cm	30 cm	68 cm	30 cm	68 cm
2	-74,8	-60,6	34,7	48,9	-91,6	-77,4	-77,1	-70,0
4	-81,1	-66,9	28,4	42,6	-97,9	-83,7	-83,4	-76,3
6	-84,8	-70,6	24,7	38,9	-101,6	-87,4	-87,1	-80,0
8	-87,6	-73,4	21,9	36,1	-104,4	-90,2	-89,9	-82,5

- (1) Se supone un nivel de salida de transmisor $P_t = 13$ dBm
- (2) Se supone $NF = 8$ dB: $BER = 1$ en 10^3 (umbral): $C/I = \infty$
- (3) Se supone (C/I) mediano = 16,8 dB ($BER \approx 1$ en 10^7 + margen de 3 dB)

CUADRO XXI- Niveles de interferencia del SRS de TVAD
(recepción individual)

Parámetro	Digital	Analógico	
d.f.p. en n el borde de la zona de cobertura	-94,3	-94,7	dB(W/m ²)
Anchura de banda RF	195	60	MHz
Margen de lluvia	4,5	4,5	dB
Anchura del haz de la antena transmisora del satélite	1,0	1,0	grados
Angulo de elevación <u>mínimo</u> en el borde de la zona de cobertura	20,0	20,0	grados
Angulo de elevación <u>máximo</u> , antena de recepción terrenal	10,0	10,0	grados
d.f.p. en la dirección de puntería (tiempo despejado)	-86,8	-87,2	dB(W/m ²)
Discrimación de la antena transmisora del satélite en la dirección del receptor terrenal	9,6	9,6	dB
Atenuación adicional con cielo despejado	1,26	1,26	dB
Factor de dispersión de la anchura de banda ⁽¹⁾	5,9	0	dB
Diámetro de la antena de recepción terrenal			
Exceso de C/I para: longitud de trayecto (km)	30	68	30 68 cm
2	26,6	33,7	21,0 28,1 dB
4	20,3	27,4	14,7 21,8
6	16,6	23,7	11,0 18,1
8	13,8	21,2	8,2 15,6

(1) Factor de dispersión de la anchura de banda aplicable al SRS de TVAD.

Nota.- Existen algunas diferencias entre el Informe 951 -"Compartición entre el servicio entre satélites y el servicio de radiodifusión por satélite en la proximidad de 23 GHz", y el punto 7.3.2.2.7 del Informe del Grupo Interino de Trabajo Mixto 10-11/3 que trata de las interferencias entre el SRS y el SES.