

**COMPARTICIÓN ENTRE EL SERVICIO ENTRE SATÉLITES
Y EL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN POR SATÉLITE
EN LA PROXIMIDAD DE 23 GHz**

(Cuestión 1/10 y 11)

(1982)

1. Introducción

La CAMR-79 atribuyó la banda 22,5-23 GHz en las Regiones 2 y 3 al servicio de radiodifusión por satélite (SRS), parte de la cual, a saber, la banda 22,55-23 GHz está compartida, entre otros, con el servicio entre satélites (SES).

Basándose en los estudios realizados por los Estados Unidos de América y el Japón, el presente Informe examina paramétricamente la separación orbital requerida entre estaciones espaciales, que emplean enlaces entre satélites y satélites de radiodifusión, con respecto a la interferencia causada al enlace del SES [CCIR, 1978-82a y b] y a la interferencia causada al receptor del SRS [CCIR, 1978-82c].

Estos análisis utilizan nuevas características del sistema tomadas de un ejemplo del Informe 215 para la TV de gran definición que utiliza una anchura de banda de RF de 125 MHz. Sin embargo, un ejemplo para la TV clásica figura asimismo en el Informe 215. El análisis expuesto en este Informe también puede aplicarse a ese caso. Los cálculos preliminares hechos en Estados Unidos muestran que el caso de gran definición presentado aquí resultaría el más moderado.

Dado que la definición del SES está en una etapa inicial, los parámetros supuestos en los puntos 2 y 3 son diferentes. Se requieren mayores estudios.

* Este Informe debe señalarse a la atención de la Comisión de Estudio 4.

2. Interferencia causada al servicio entre satélites por emisiones del servicio de radiodifusión por satélite

2.1 Características del servicio entre satélites

Se espera que la mayor parte de los enlaces entre satélites en la banda de 23 GHz ocuparán porciones relativamente pequeñas del arco orbital; por ejemplo 4° basándose en los resultados del análisis que se hace en el Informe 451.

Se supone que el sistema de recepción del enlace entre satélites consiste en una antena con una ganancia de 52 dB y un haz circular de $0,4^\circ$ de anchura de haz a 3 dB y un receptor con una temperatura de ruido de trabajo de 1000 K. Se supone también que la discriminación de la antena fuera del eje se conforma a la indicada en el Informe 558. La anchura de banda del receptor es de 850 MHz.

2.2 Características del servicio de radiodifusión por satélite

En el cuadro XIVa del Informe 215 se proporciona un ejemplo de las características de un sistema de radiodifusión por satélite para recepción comunal que funciona en 22,75 GHz. En ese análisis, se ha partido del supuesto de una anchura de banda de RF de 125 MHz para transmisiones de televisión MF de gran definición y una p.i.e. en el centro del haz del orden de 78 dBW. Además, se ha supuesto que la anchura del haz de la antena transmisora del satélite es de 1° , puesto que puede causar interferencia al receptor SES en el caso más desfavorable. La ganancia de la antena es de 44 dB, y las pérdidas en alimentadores y filtros de 1 dB, por lo que en la alimentación de la antena se requiere una potencia radioeléctrica de 2,5 kW (34 dBW).

2.3 Análisis de la interferencia

En la fig. 1 puede verse la configuración geométrica de los casos de interferencia. El SES (servicio entre satélites) 2 transmite al SES 1, separado una distancia de θ_2 grados de longitud. El SRS (servicio de radiodifusión por satélite) está separado θ_1 grados de longitud del SES 1, y transmite a una zona de servicio en el Ecuador con un haz cuyo centro se encuentra a γ_0 grados del nadir.

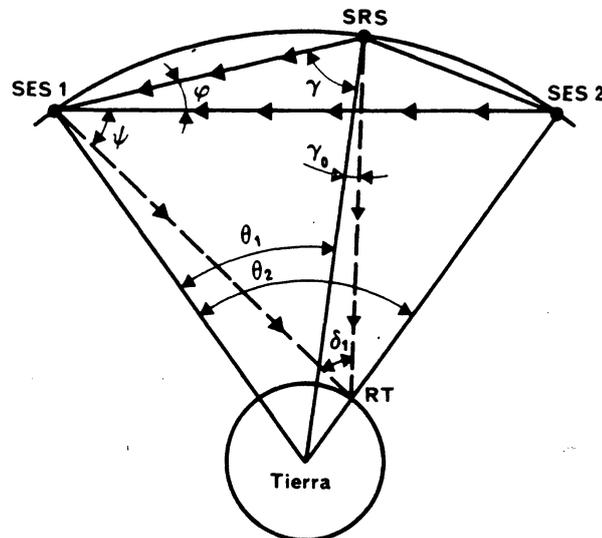


FIGURA 1 - Geometría de la interferencia

RT: Receptor del SRS

δ_1 : Separación angular entre el satélite SES 1 y el satélite del SRS, vistos desde RT

ψ : Separación angular entre el satélite SES 2 y el receptor del SRS, vistos desde el satélite SES 1

La interferencia en la antena receptora del SES 1 aparece a un ángulo de ϕ grados con respecto al eje del haz principal. Análogamente, la p.i.e. del SRS en la dirección del SES 1 corresponde a un ángulo con el eje $\gamma + \gamma_0$.

Para las separaciones orbitales entre el SES y el SRS inferiores a 134° , la ganancia de la antena transmisora del satélite del SRS en el sentido del receptor del SES será isotropa, con independencia de la dirección (γ_0) de puntería de la antena del SRS.

El análisis de la relación interferencia/ruido (I/N) en el SES 1, da como resultado:

$$I/N = R_0 \frac{p_3}{T_1 B_1 f^2}$$

donde:

$$R_0 = \frac{c^2}{(4\pi)^2 k} \frac{G_1 D_1(\varphi)}{x^2}$$

y

- p_3 : potencia de transmisión del satélite de radiodifusión entregada a la antena (W),
- T_1 : temperatura de ruido del receptor del satélite del SES (K),
- B_1 : anchura de banda de ruido del receptor del satélite del SES (Hz),
- f : frecuencia (Hz),
- c : velocidad de la luz (m/s),
- k : constante de Boltzmann (J/K),
- G_1 : ganancia en el eje de la antena del SES 1,
- $D_1(\varphi)$: discriminación de la antena del SES 1 en la dirección del satélite de radiodifusión,
- x : distancia entre el satélite SES 1 y el satélite de radiodifusión (m).

El parámetro R_0 contiene algunas constantes, y tres términos que dependen de la anchura de haz entre puntos a potencia mitad de la antena del satélite SES y de la separación entre el satélite SES 1 y el satélite de radiodifusión. Se ha evaluado R_0 para valores dados de estos parámetros, como se muestra en la fig. 2.

Para un funcionamiento satisfactorio, se supone que la relación I/N debe ser menor o igual a un valor determinado, $(I/N)_0$. El requisito en el receptor del SES para la compartición de frecuencias con el satélite de radiodifusión será por lo tanto:

$$I/N = R_0 \frac{p_3}{T_1 B_1 f^2} \leq (I/N)_0$$

o

$$R_0 \leq (I/N)_0 \frac{T_1 B_1 f^2}{p_3}$$

En decibelios:

$$10 \log R_0 \leq 10 \log (I/N)_0 + 10 \log T_1 + 10 \log B_1 + 20 \log f - 10 \log p_3$$

Esta ecuación, junto con las curvas de la fig. 2, y las características conocidas de los sistemas SES y SRS permiten la evaluación de las posibilidades de compartición.

2.4 Resultados

Se resumen las características del servicio entre satélites y del servicio de radiodifusión por satélite tratadas anteriormente:

- $T_1 = 1000$ K
- $B_1 = 125$ MHz (véase más adelante)
- $f = 22,75$ GHz
- $p_3 = 2500$ W

Se supone que la anchura de banda del SES es mayor que 125 MHz y tiene satélites interferentes posibles del SRS en toda la banda. De esta manera el cálculo se basa en una fuente interferente por cada 125 MHz de anchura de banda. Se supone que $(I/N)_0$ vale 0,1 para interferencia despreciable.

Entonces:

$$R_0 \leq 274 \quad \text{dB}$$

En la fig. 2 se muestra este valor.

En la fig. 2 se analizan tres casos. Se han supuesto separaciones entre los satélites del SES de 4°, 10° y 20°.

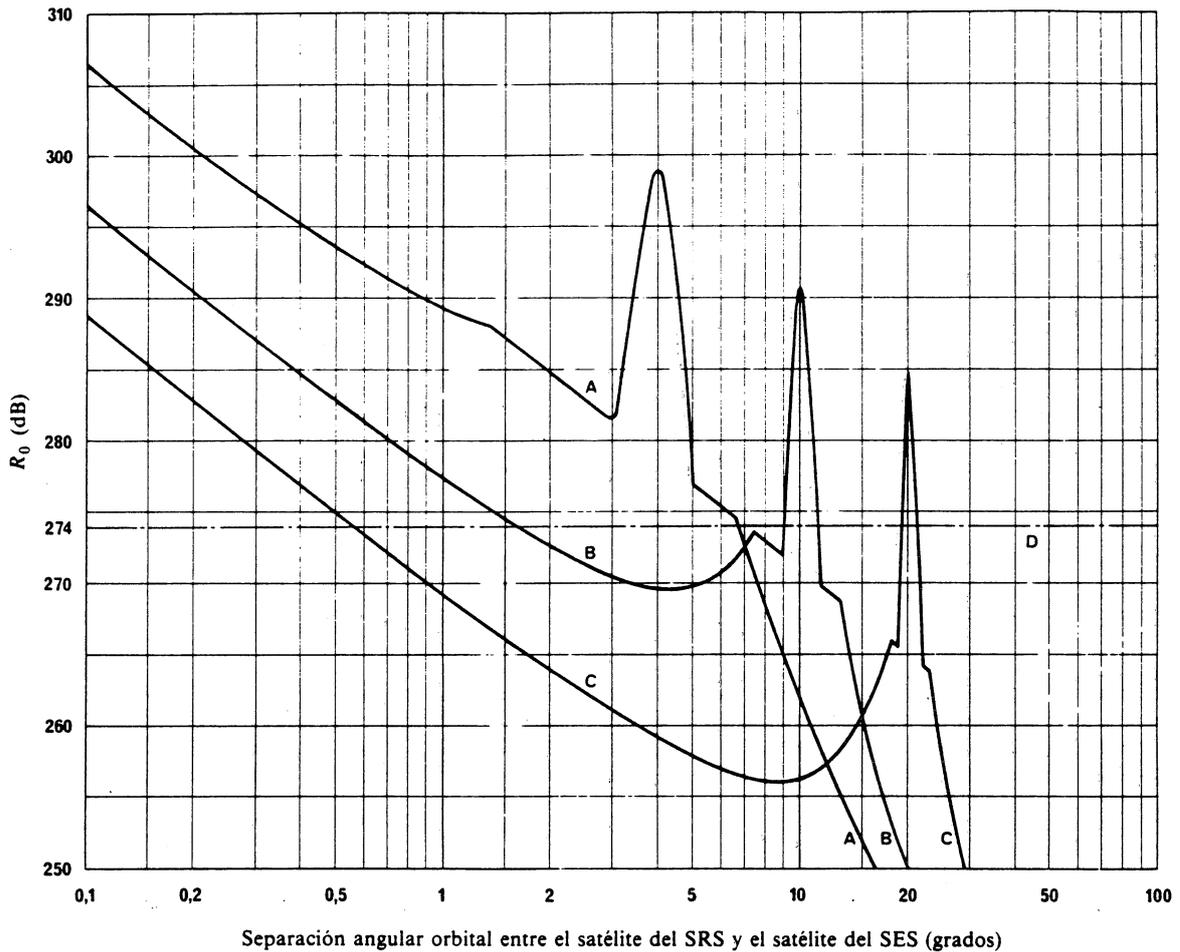


FIGURA 2 – Parámetro R_0 en función de la separación entre los satélites SRS y SES para una ganancia de la antena del satélite del SES = 52 dB

- Curvas A: Separación entre satélites del SES = 4°
 B: Separación entre satélites del SES = 10°
 C: Separación entre satélites del SES = 20°
 D: Región de interferencia insignificante (por debajo de la línea D)
 R_0 : Definido por la ecuación del punto 2.3

Para una separación geocéntrica de 4° entre el SES 1 y el SES 2, no es posible colocar un satélite de radiodifusión más cerca que unos 7° para lograr una relación I/N razonable de -10 dB.

Un aumento de la separación geocéntrica entre el SES 1 y el SES 2 de 10° , permite colocar un único satélite de radiodifusión entre ellos y lograr todavía una relación I/N menor que -10 dB. Se precisa una separación de $1,6^\circ$ a 9° .

Un aumento de la separación geocéntrica entre el SES 1 y el SES 2 hasta 20° , permite colocar algunos satélites de radiodifusión en el margen situado entre $0,6^\circ$ y cerca de 19° y lograr todavía una relación I/N para una sola fuente interferente de -10 dB por lo menos.

Se utiliza la fig. 3 para ilustrar lo que puede llamarse «efecto de desplazamiento» en la evolución de la puesta en servicio de los enlaces del servicio entre satélites. Supóngase que la separación orbital θ_1 entre el SES 1 y el SES 2 es de 4° , que el SES 2 transmite hacia el SES 1, y que, de acuerdo con la curva A de la fig. 2, la separación orbital entre el satélite de radiodifusión y el SES 1 es de 7° de manera que la relación I/N a la entrada del receptor del SES 1 es de -10 dB como máximo. En algún momento posterior, se añade un segundo enlace del servicio entre satélites de manera que el SES 2 transmita también hacia el SES 3, como se muestra en la fig. 3. Con una separación orbital de 4° entre el SES 2 y el SES 3, la relación I/N en el receptor del SES 3 será de unos 6 dB, lo que supone un cambio de 16 dB en R_0 , como se muestra en la curva A de la fig. 2.

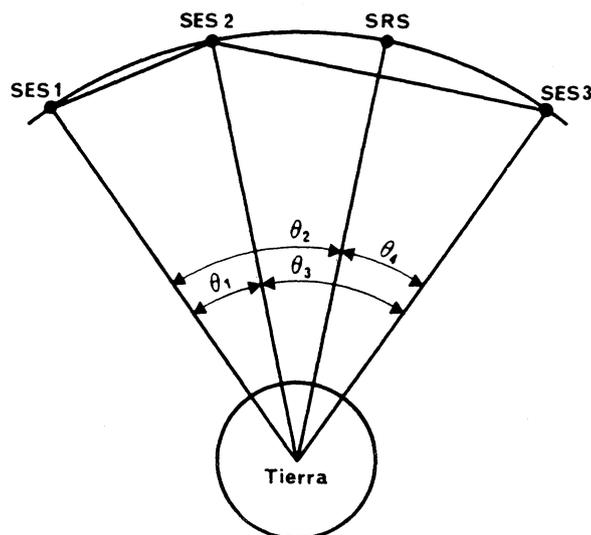


FIGURA 3 – Efecto de desplazamiento

Un método para reducir la relación I/N a la entrada del receptor del SES 3, hasta -10 dB como máximo, consiste en incrementar la separación orbital entre el SES 2 y el SES 3 hasta 10° . Con esta separación, la relación I/N será de unos -12 dB en la entrada del receptor del SES 3. Para este método, el efecto neto de añadir el segundo enlace del servicio entre satélites es que desplaza al SES 3 desde su separación preferida de 4° hasta una separación de 10° .

3. Interferencia causada al servicio de radiodifusión por satélite por emisiones en el servicio entre satélites

3.1 Características del servicio entre satélites

Se suponen dos tipos de enlaces entre satélites, largos y cortos, como se indica en el Informe 451. En los enlaces SES cortos, se han considerado dos clases de antenas de satélite, con seguimiento y sin seguimiento. En enlaces SES largos, se ha supuesto que los parámetros del sistema están extrapolados de los ejemplos de enlaces SES cortos.

Se ha supuesto en el análisis, que la p.i.r.e. máxima de las estaciones del SES es de aproximadamente 55 a 75 dBW en enlaces SES cortos con antenas de seguimiento, de 78 a 80 dBW con antenas sin seguimiento y de 78 a 90 dBW en enlaces SES largos, con un diámetro de antena de 1 m y una anchura de banda en radiofrecuencia de 100 MHz. En el cuadro I se indica la abertura del haz de la antena de satélite necesaria en enlaces SES cortos para antenas de satélite sin seguimiento y en el cuadro II se muestra la abertura del haz de la antena necesaria en relación con el error de puntería en función de la separación entre satélites (cuadro III del anexo I al Informe 451).

CUADRO I – Anchura del haz necesaria de la antena del satélite en enlaces SES cortos para antenas de satélite sin seguimiento

Separación orbital entre los dos satélites (grados)	2	3	4	6	10	15	20
Anchura del haz necesaria de la antena (grados)	12,98	8,47	6,33	4,25	2,64	1,85	1,46

CUADRO II – Anchura del haz necesaria de la antena en relación con el error de puntería en función de la separación entre satélites

Separación*	Error efectivo de puntería*	Anchura del haz necesaria de la antena
2°	1,01°	2,02°
3°	0,833°	1,67°
4°	0,739°	1,48°
5°	0,693°	1,39°

* (Cuadro III del anexo I al Informe 451).

3.2 Características del servicio de radiodifusión por satélite

Se ha tomado como ejemplo de características del sistema de radiodifusión por satélite la modulación analógica de banda ancha cuyo uso es apropiado, entre otros, para la futura televisión de gran definición, como se indica en el cuadro XIVa del Informe 215. Se ha supuesto que el sistema receptor del SRS está formado por una antena de 0,8 m de diámetro (1,2° de abertura del haz) y una temperatura de ruido de funcionamiento de 1100 K. Se ha supuesto que la discriminación de la antena fuera del eje se adapta a la indicada en el Informe 558. Se ha considerado que la relación portadora/interferencia necesaria para proteger el SRS, es de 40 dB, en ausencia de otros datos.

3.3 Análisis de la interferencia y resultados

La geometría de la interferencia se indica en la fig. 1. Se han analizado tres situaciones para el caso de interferencia más desfavorable en el receptor (RT) del SRS, indicándose los resultados en la fig. 4. Se han estudiado enlaces SES cortos con antenas de seguimiento (curva A, con $\theta_2 < 20^\circ$) y con antenas sin seguimiento (curva B) y enlaces SES largos (curva A, con $\theta_2 > 60^\circ$).

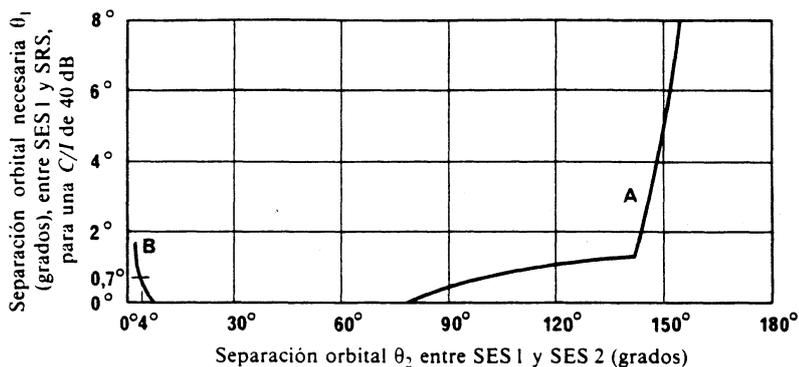
De las figuras se deduce que con enlaces SES cortos con antenas de seguimiento de satélite no debiera existir interferencia en el receptor del SRS. Sin embargo, tratándose de enlaces SES cortos con antenas de satélite sin seguimiento, puede surgir cierta interferencia en el receptor del SRS cuando θ_2 es inferior a unos 6° y θ_1 es de unos 0° , o cuando θ_2 es de unos 4° y θ_1 inferior a 1° (por ejemplo), cuando la abertura del haz de la antena del SES tiene que cubrir variaciones de posición de ambos satélites con una precisión de mantenimiento en posición de $\pm 0,1^\circ$ en las direcciones Norte-Sur y Este-Oeste y errores de actitud del satélite de $\pm 0,15^\circ$. Si los satélites SES con antenas sin seguimiento tienen los errores de puntería indicados en el cuadro II, no debiera existir interferencia en el receptor del SRS. En enlaces SES largos, la relación portadora/interferencia más desfavorable puede ser inferior a 40 dB con θ_2 mayor de 80° y $\theta_1 \approx 0^\circ$.

4. Conclusiones

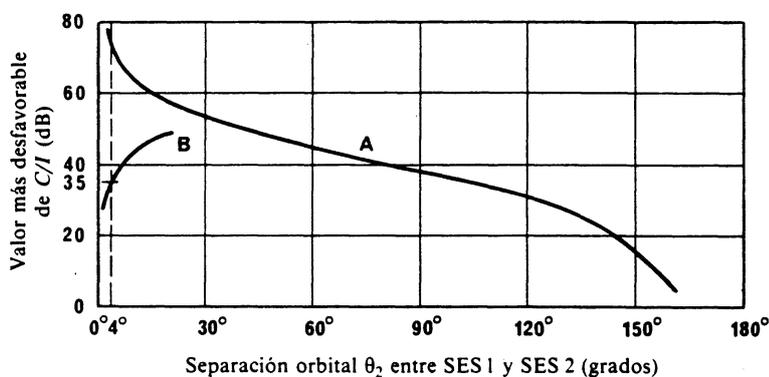
De los parámetros técnicos supuestos en este estudio, que pueden variar en lo futuro, se llega a la conclusión de que:

- para los enlaces cortos entre satélites, en los que la separación orbital es del orden de 4° , tal vez no convenga situar un satélite del servicio de radiodifusión en un emplazamiento intermedio; quizá sea mejor colocar ese satélite fuera del arco orbital ocupado por los satélites SES;
- cuando se trata de un enlace entre satélites separados por 10° o más, puede emplazarse entre éstos un satélite de radiodifusión; a medida que aumenta la separación orbital entre los primeros, aumenta asimismo el intervalo en que pueden emplazarse satélites de radiodifusión dentro del arco correspondiente, y por consiguiente el número de tales satélites que pueden situarse en ese arco;
- en lo que respecta a la interferencia causada al receptor del SRS por emisiones del SES, los enlaces SES cortos con antenas de seguimiento pueden no producir interferencia; sin embargo, el caso más desfavorable de interferencia puede surgir a partir de enlaces SES cortos con antenas sin seguimiento para una separación orbital entre los dos satélites del SES inferior a 6° y entre los dos satélites, del SRS y del SES, aproximadamente igual a 0° . Si los satélites del SES tienen los errores de puntería indicados en el cuadro II, podría no existir interferencia.

Es preciso efectuar un estudio adicional para determinar el grado de interferencia para satélites de radiodifusión y satélites SES de características distintas.



a) θ_2 en función de la separación orbital θ_1 , entre SES 1 y SRS, para un valor C/I de 40 dB



b) θ_2 en función de C/I con $\theta_1 = 0^\circ$

FIGURA 4 – Separación orbital, θ_2 , entre dos satélites del SES y valor más desfavorable de la relación portadora/interferencia, C/I , en el receptor del SRS

Curvas A: SES con antenas de satélite con seguimiento

B: SES con antenas de satélite sin seguimiento

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Documentos del CCIR

[1978-82]: a. 10-11S/26 (Estados Unidos de América); b. 10-11S/136 + Add.1 (Estados Unidos de América); c. 10-11S/115 (Japón).