

## SISTEMAS PARA EL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN POR SATÉLITE (SONORA Y DE TELEVISIÓN)

(Cuestión 2/10 y 11 y Programa de Estudios 2A/10 y 11)

(1963-1966-1970-1974-1978-1982-1986 -1990)

### 1. Introducción

En el presente Informe se describen los elementos esenciales de un sistema de radiodifusión por satélite y las relaciones entre ellos. El Informe tiene por objeto ayudar al proyectista de sistemas, al planificador de frecuencias y al ingeniero especializado en vehículos espaciales y estaciones terrenas en la elección de las características del sistema. Tal elección, como en todos los casos de planificación de sistemas en general, está sujeta a distintas restricciones: las limitaciones impuestas por el estado de la técnica, los acuerdos internacionales y, lo que es más importante, por consideraciones económicas.

En las Recomendaciones e Informes que se enumeran a continuación figura otra información pertinente sobre los aspectos de los sistemas del servicio de radiodifusión por satélite:

- Terminología  
Recomendación 566
- Sistema de radiodifusión de televisión  
Recomendación 650, Informes 1073, 1074
- Sistemas de radiodifusión sonora  
Informe 955
- Sistema de radiodifusión de televisión de alta definición  
Informe 1075
- Enlaces de conexión  
Informe 952
- Modulación, multiplexión y codificación  
Recomendación 651, Informes 632, 953, 954
- Antenas de transmisión y de recepción  
Recomendación 652, Informe 810
- Equipo de recepción terrena  
Informe 473
- Tecnologías de satélite  
Informe 808
- Compartición de frecuencias entre servicios  
Informe 634

### 2. Principales parámetros del sistema

La elección de los parámetros del sistema puede enfocarse de distintas maneras. Una de ellas se estudia en este punto.

La primera medida consiste en determinar los factores básicos del sistema, esto es, la calidad deseada durante diversos porcentajes de tiempo, el número de canales (incluido el número de canales de sonido asociados) y la zona de cobertura en la Tierra. La cuestión de la calidad de recepción se estudia con mayor detalle en el § 3.



## 2.1 Factores que influyen en la elección de la órbita y en la posición orbital en la órbita de los satélites geoestacionarios

### 2.1.1 Generalidades

Entre los factores que han de considerarse al elegir las órbitas preferidas para la radiodifusión por satélite figuran: la zona de servicio, el número de horas diarias de emisión deseado y las características de la antena.

La órbita del satélite para un servicio de radiodifusión tiene que proporcionar la cobertura de regiones determinadas de la Tierra durante las horas en que se desean asegurar las emisiones de radiodifusión de sonido y de televisión, que pueden variar entre unas pocas y las veinticuatro horas del día. En las emisiones discontinuas, es de desear que los intervalos de recepción se repitan cada día, a la misma hora local. Cualquiera que sea la duración del periodo de emisión es conveniente que la órbita sea tal que no exija equipo de seguimiento en las antenas de las instalaciones receptoras.

### 2.1.2 Orbita de los Satélites Geoestacionarios (OSG)

Para la mayoría de los sistemas de radiodifusión por satélite existentes y planificados se ha elegido la **Orbita de los Satélites Geoestacionarios (OSG, a 35.786 km de altura sobre el Ecuador)**. Permite asegurar un servicio continuo de radiodifusión a zonas pequeñas de la superficie de un país o a regiones grandes como continentes, pudiendo llegar a cubrir hasta aproximadamente un tercio de la superficie terrestre. Las limitaciones que impone el ángulo de elevación mínimo utilizable pueden determinarse con ayuda de la fig. 1 del Informe 206. El satélite geoestacionario permite también usar, en caso necesario, una antena receptora fija de mucha ganancia y, por tanto, de directividad muy elevada.

### 2.1.3 Orbitas inclinadas

Un satélite con una órbita circular ecuatorial subsincrónica puede proporcionar servicio a la misma hora local cada día. El número de horas de emisión continua posible, desde uno de estos satélites con destino a una zona determinada de la superficie de la Tierra, es función de la altura del satélite y de la latitud del punto de recepción. En el Anexo I (Véase el Cuadro XI) se indica la duración de los intervalos de visibilidad.

Como los satélites subsincrónicos de órbita circular tienen una altura inferior a la de los satélites geoestacionarios, la intensidad de la señal es mayor con igual p.i.r.e. en el transmisor. Por consiguiente, estos satélites pueden ofrecer una ventaja cuando la ganancia máxima de la antena transmisora está limitada por restricciones de tamaño y cuando la antena receptora puede ser casi omnidireccional.

### 2.1.4 Elección de la posición orbital en la OSG

Al elegir la posición orbital en la OSG se tendrán en cuenta los factores siguientes:

- ángulo de elevación de la antena receptora en la zona de servicio de radiodifusión;
- efecto del eclipse debido a la luna.

(Por lo general, la posición orbital del satélite de radiodifusión se elige situándolo entre unos 20 y 40 grados al oeste del centro de la zona de servicio de radiodifusión para evitar la interrupción de las comunicaciones debida al eclipse durante el periodo del servicio).

## 2.2 *Frecuencia de funcionamiento*

### 2.2.1 *Consideraciones generales*

Al seleccionar una banda de frecuencias para un sistema de radiodifusión por satélite, la elección se halla evidentemente limitada no sólo por las de frecuencias que atribuye el Reglamento de Radiocomunicaciones para el servicio de radiodifusión por satélite, sino también por otros factores, como el uso actual o previsto de ciertas frecuencias compartidas con otros servicios dentro de la zona de cobertura deseada o en zonas sujetas a interferencias causadas por el sistema que se proyecta (véase, por ejemplo, el Informe 634).

Los efectos principales de propagación que hay que tener en cuenta son la atenuación debida a los gases atmosféricos y a la lluvia, y la despolarización.

#### 2.2.1.1 Atenuación

La atenuación atmosférica es debida principalmente a la lluvia y a las nubes. Varía con la frecuencia, el ángulo de elevación y el clima local. Puede deducirse a partir de un modelo de atenuación debido a la lluvia.

En el Anexo II se describen amplias mediciones efectuadas en Europa<sup>(1)</sup>, Japón, Malasia, Australia, Estados Unidos y Francia. En el Cuadro I se señalan los valores de la atenuación no excedida durante el 99% o el 99,9% del mes más desfavorable.

CUADRO I

Atenuación del mes más desfavorable observada en distintas ubicaciones y a frecuencias comprendidas entre 11.6 y 30 GHz

Ubicación de las mediciones	Frecuencia (GHz)	Angulo de elevación (grados)	Atenuación (dB) no rebasada durante un porcentaje dado del mes más desfavorable	
			99%	99,9%
Europa <sup>(1)</sup>	11,5	20 a 45	1,1	3,3
Francia (París)	11,6 y 11,8		1,8	4,0
Francia (Bretaña)	11,6 y 11,8		1,5	3,4
Japón (12 emplazamientos)	12	30 a 60	2,4	6,9
Malasia (Klang)	12	corregida a 45	1,7	8,7
Australia (Darwin)	12,75	50	6	16
Australia (Sydney)	12,75	53	1	20
EE.UU. (Maryland)	11,7	29,5	<1	5,4
EE.UU. (Carolina del norte)	11,7	36	1	1,8
EE.UU. (Carolina del Norte)	20	36	1,5	11,0
EE.UU. (Carolina del Norte)	30	36	2,4	19,5

(1) Mediciones efectuadas en algunos países de Europa occidental por la Agencia Espacial Europea (ESA).

Para la planificación de los enlaces descendentes y enlaces de conexión en el servicio de radiodifusión por satélite a 12 GHz se ha aplicado el modelo de atenuación debida a la lluvia, basado en las estadísticas de desvanecimiento debido a la lluvia correspondientes al 1% del mes más desfavorable, tal como se describe en los Apéndices 30 (ORB-85) y 30A del Reglamento de Radiocomunicaciones. (En el Informe 723 figura un método para la estimación de las estadísticas del mes más desfavorable a partir de las estadísticas anuales.)

Los Informes 564 y 565 contienen información suplementaria, y en el Informe 563 se indica un método para calcular la atenuación producida por la lluvia.

\* Mediciones efectuadas en algunos países de Europa occidental por la Agencia Espacial Europea (ESA).

Para cualquier frecuencia  $f$ (GHz), distinta de 11,5 GHz, la atenuación atmosférica  $A_f$  puede calcularse de forma aproximada a partir de los valores para 11,5 GHz ( $A_{11,5}$ ) mediante la siguiente fórmula, que es válida de 11,0 a 14,5 GHz:

$$A_f = A_{11,5} [1 + 0,2 (f - 11,5)] \quad \text{dB}$$

Las mediciones pueden corregirse respecto al ángulo de elevación utilizando la ley de la cosecante [CCIR, 1978-82a].

Se dispone de pocos datos sobre la atenuación producida por la lluvia en las zonas hidrometeorológicas tropicales. Para obtener un conjunto de datos útiles, hay que efectuar en estas zonas más mediciones a frecuencias superiores a 11,6 GHz.

### 2.2.1.2 Despolarización

Además de sus efectos sobre la atenuación, las nubes y la lluvia pueden provocar la despolarización de la señal. De los análisis estadísticos de resultados de mediciones efectuadas con polarización circular en la Región 1 se desprende que el nivel de la componente despolarizada después de la atenuación (respecto al nivel de la componente copolar) puede expresarse aproximadamente en términos de la atenuación causada por la atmósfera, de acuerdo con la ecuación siguiente:

Nivel relativo de la componente despolarizada (para la polarización circular)

$$\approx - [30 - 20 \log A] \quad \text{dB}$$

en donde  $A$  es la atenuación atmosférica, en dB.

En el Informe 564 se analizan las estadísticas de mediciones reales y en él figura una ecuación más detallada que tiene en cuenta la influencia de la frecuencia y del ángulo de elevación.

Para un análisis más detallado de los efectos de la despolarización debida a la precipitación (véase el Informe 814, el Anexo 5 del Apéndice 30 (ORB-85) del Reglamento de Radiocomunicaciones y el Apéndice 30A).

### 2.2.2 Efectos del ruido radioeléctrico aditivo

El ruido radioeléctrico aditivo ————— proviene de fuentes naturales y artificiales (líneas de transporte de energía, aparatos eléctricos, sistemas de encendido de automóviles). La fig. 1 indica los niveles de ruido típicos correspondientes a estas fuentes y muestra que en la parte inferior de la banda 10 y en la mayor parte de la banda 9 se introduce un mínimo de ruido dependiendo de las condiciones. **No obstante, se señala que, si bien se han realizado muchas mediciones de nivel de ruido impulsivo, es todavía incompleta la evaluación de estos datos. En consecuencia, los niveles de ruido indicados en la Figura 1 deben considerarse provisionales.**

Actualmente, se dispone sólo de información limitada sobre los aspectos subjetivos del ruido impulsivo [Pacini y otros, 1971]. Son suficientes los conocimientos actuales sobre la dependencia del ruido artificial con respecto al ángulo de llegada, polarización, frecuencia, altura de la antena, etc., para realizar los análisis técnicos adecuados de los niveles probablemente existentes en los terminales de la antena receptora.

Además de las fuentes de ruido indicadas en la fig. 1 puede producirse un aumento importante de nivel de ruido durante los cortos periodos en que el Sol está dentro del haz de la antena, si se utilizan antenas receptoras de haz estrecho (anchura angular del haz inferior a 5°). Para satélites de órbitas geoestacionarias, estos periodos se producen de día, durante unos pocos días consecutivos en primavera y otoño. La temperatura de ruido y el tamaño angular del disco solar observado a 12 GHz son, respectivamente, de unos 12 000 K y 0,6° de arco. ————— En el Anexo III se incluyen efectos de interferencia solar causada a antenas pequeñas, obtenidos como resultado de experimentos llevados a cabo con el satélite experimental de radiodifusión BSE de Japón.

### 2.3 Margen necesario

La elección de las frecuencias y de la calidad deseada durante diversos porcentajes de tiempo exigen un margen de funcionamiento (véase el Informe 811) **que depende de las estadísticas de atenuación aplicables a la zona del servicio de radiodifusión y de los valores de las relaciones de potencia portadora/ruido correspondientes a los objetivos de calidad de la señal y a los parámetros de modulación de la señal y el receptor.**

En el caso de la modulación de frecuencia es necesario mantener la relación portadora/ruido por encima del umbral durante el mayor porcentaje de tiempo posible (normalmente, el 99,9%), así como lograr una determinada relación señal/ruido para un porcentaje de tiempo especificado (normalmente, el 99%). Por consiguiente, es preciso elegir un margen por encima del umbral que permita cumplir los dos requisitos simultáneamente. Ese margen debe abarcar la atenuación atmosférica y otros factores no comprendidos específicamente en las previsiones de potencia. Al calcular el valor necesario de  $G/T$  deben tenerse en cuenta los efectos atmosféricos sobre la temperatura de ruido del sistema.

**El Cuadro I ofrece ejemplos de márgenes de atenuación atmosférica para la Zona de Radiodifusión Europea, parte de Estados Unidos, Australia, Japón y Malasia.**

**Nota.** - En el caso del satélite de radiodifusión operacional japonés BS-2a, se obtuvieron las estadísticas en el tiempo de la relación portadora/ruido que superaba 14 dB durante un 99% del tiempo y de la que superaba 10 dB durante un 99,95% del tiempo para un periodo de siete meses, incluyendo los meses más desfavorables de junio y julio para la atenuación debida a la lluvia. Los resultados se muestran en el cuadro II.

CUADRO II - *Estadísticas en el tiempo de la relación portadora/ruido recibida medidas del 12 de mayo al 24 de diciembre de 1984*

Relación portadora/ruido (C/N) (dB)	14,0	12,0	10,0	8,0
Porcentaje de tiempo durante el que se supera la relación portadora/ruido anterior (%)	99,0	99,9	99,95	99,98

Frecuencia:	11,996 GHz
Antena receptora:	75 cm de diámetro (ganancia = 37,6 dB)
Factor de ruido del receptor:	3,0 dB
Efecto del enlace de conexión sobre la relación portadora/ruido del enlace descendente:	0,2 dB
Cantidad de lluvia acumulada durante el periodo:	710 mm
Lugar de medición:	Tokio (zona hidrometeorológica M)

**El Informe del Grupo Interino de Trabajo Mixto 10-11/3 [Documento 1986-90a] señalaba la necesidad de estudiar criterios alternativos para determinar los márgenes apropiados correspondientes a las señales de televisión de alta definición (TVAD) que puedan requerir relaciones portadora/ruido superiores a las de las señales de televisión convencional y que puedan funcionar en las bandas de frecuencia en las que los márgenes de atenuación son superiores a los de las bandas de 12 GHz.**

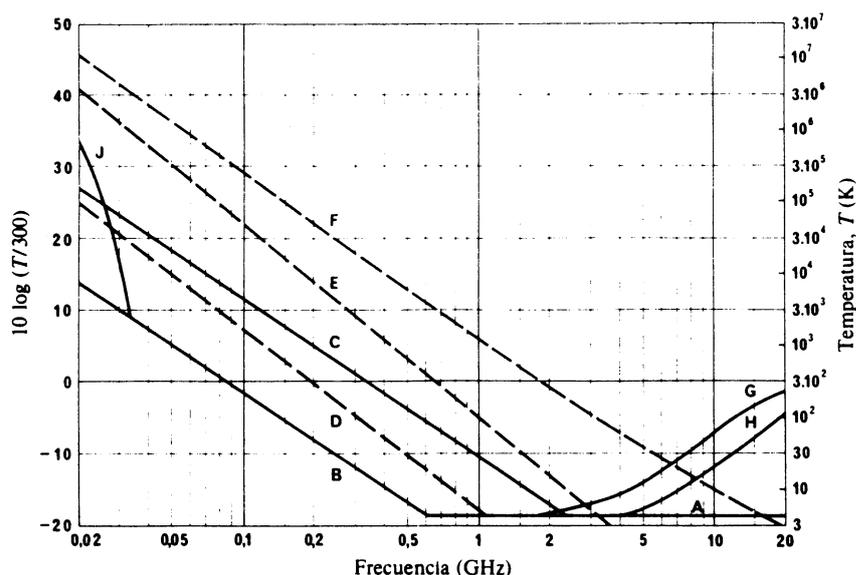


FIGURA 1 — Temperatura de ruido debida a fuentes de ruido naturales y artificiales

*Nota.* — Este gráfico debe ampliarse hasta 100 GHz y las curvas G y H deben tratarse de acuerdo con los mejores datos disponibles, a fin de incluir previsiones de calidad de funcionamiento para las atribuciones del servicio de radiodifusión por satélite en 40 y 80 GHz. Se ha observado que la curva E está en contradicción con la fig. 1 del Informe 258 para frecuencias de hasta 250 MHz. Por tanto, dicha curva y, como consecuencia, la curva F, deben emplearse con prudencia. Se invita a las administraciones y a las Comisiones de Estudio correspondientes del CCIR a que estudien la cuestión y presenten datos.

- Curvas A: Fondo de ruido cósmico (Informe 205)  
 B: Ruido cósmico mínimo (Informe 205)  
 C: Ruido cósmico máximo (Informe 205)  
 D: Ruido típico de origen industrial en zona «rural» (antena receptora omnidireccional) (Informe 670, fig. 3)  
 E: Ruido típico de origen industrial en zona «urbana» (antena receptora omnidireccional) (Informe 670, fig. 3)  
 F: Ruido «urbano» calculado para una antena directiva orientada en ángulos de elevación superiores a 45°. Se supone una discriminación de ruido igual a la mitad de la ganancia de antena (dB), con 8 dB de ganancia en 20 MHz y 25 dB de ganancia en 2500 MHz  
 G: Ruido típico debido a la lluvia y a la absorción atmosférica, 0,1% del tiempo — latitudes templadas — ángulo de elevación de 30°  
 H: Ruido típico debido a la lluvia y a la absorción atmosférica, 1% del tiempo — latitudes templadas — ángulo de elevación de 30°  
 J: Ruido atmosférico nocturno (Informe 322)

#### 2.4 Modulación y anchura de banda necesaria

En la transmisión de señales radioeléctricas es por satélite se emplea normalmente un método de modulación que permite \_\_\_\_\_ optar entre el uso de mayor potencia o usar una anchura de banda mayor. Hasta el presente las transmisiones desde satélite han estado limitadas por la potencia disponible, más bien que por la anchura de banda y, por tanto, utilizan generalmente la modulación de frecuencia. La modulación de amplitud, si bien necesita una anchura de banda considerablemente menor, requiere tanta mayor potencia que no está en condiciones de competir. La señal de MF presenta también la ventaja de ser de envolvente constante y, por tanto, no ser sensible a la no linealidad de amplitud del transpónder.

En el Informe 632 se examinan los detalles de los métodos de modulación utilizados en los sistemas de satélite, incluyendo una comparación de las técnicas de modulación MF y digital.

#### 2.4.1 Radiodifusión de televisión utilizando la modulación de frecuencia

La anchura de banda necesaria en RF ( $b$ ) para una subportadora MF combinada de vídeo y audio se expresa aproximadamente por la ecuación siguiente:

$$b = D_{b_{p-p}} + 2f_b$$

siendo  $D_{b_{p-p}}$  la desviación cresta a cresta de la portadora debida a la señal compuesta de banda de base y  $f_b$  la anchura de banda de la señal compuesta de banda de base.

El comportamiento del sistema para señales de video únicamente se examina en el § 3.2 para sistemas de 625 líneas. La dispersión artificial de energía, que es una técnica útil para facilitar la compartición con otros servicios cuyas señales tienen una energía que se limita a anchuras de banda mucho menores que las necesarias para la transmisión analógica con modulación de frecuencia (como sucede en el SRS), aumentaría la anchura de banda ocupada por la señal procedente del satélite. (En el apéndice 30 al Reglamento de Radiocomunicaciones se incorpora la necesidad de emplear dispersión artificial de energía de 600 kHz en todas las transmisiones que sirven a las Regiones 1 y 3. Se requiere también dispersión de energía en algunas circunstancias en transmisiones para la Región 2.) Otros detalles se examinan en el § 2.4.4 y se presentan en el Informe 631.

Pruebas de laboratorio hechas en la banda de 12 GHz demuestran que para la transmisión con modulación de frecuencia de una señal de televisión en color de 625 líneas acompañada de una señal de sonido transmitida por una subportadora modulada en frecuencia, se logró un compromiso aceptable entre la anchura de banda transmitida y de calidad de la señal, en una anchura de banda de radiofrecuencia de unos 25 MHz.

Algunas pruebas efectuadas en Japón ————— han demostrado que en la transmisión de señales de televisión con modulación de frecuencia acompañadas por señales de sonido en un solo canal, usando una subportadora modulada en frecuencia en multiplaje a 4,5 MHz, se pueden obtener resultados satisfactorios con una anchura de banda de 23 MHz. Además, puede ser ventajoso utilizar la sobre-excursión para transmitir seis señales suplementarias de sonido de calidad media, por medio de una segunda subportadora modulada en frecuencia con multiplaje por distribución en el tiempo mediante impulsos.

La anchura de banda ocupada por una señal procedente de un satélite de radiodifusión debe aumentarse para dar cabida a uno o más canales de sonido. Normalmente, este aumento es un porcentaje muy pequeño de la anchura de banda necesaria para la señal de video únicamente. La anchura del canal de radiofrecuencia del transmisor del satélite debe también ser mayor que la anchura de banda ocupada para tener en cuenta la inestabilidad de frecuencia del transmisor y mantener la interferencia del canal adyacente en un pequeño valor aceptable.

El aumento de la anchura de banda para dar cabida a los canales de sonido y a las bandas de guarda es del orden del 10% de la anchura de banda de radiofrecuencia,  $b$ .

**En el Informe 1075 figuran otros detalles sobre las características de la señal, los requisitos de anchura de banda y las características del sistema para las señales de banda de base que se están considerando de cara a los futuros sistemas de radiodifusión por satélite.**

#### 2.4.2 Radiodifusión sonora

Para la radiodifusión sonora se considera la modulación MF y la modulación digital.

En los Informes 955 y 1128 se examinan los métodos de modulación y la anchura de banda necesaria. Los sistemas descritos en el Informe 955 están concebidos para receptores portátiles, móviles y fijos en las bandas 7 y 9. Los sistemas que se expresen en el Informe 1128 están destinados al servicio de radiodifusión por satélite en la banda de 12 GHz, generalmente para recepción fija.

### 2.4.3 *Excursión de frecuencia*

La planificación del servicio de radiodifusión por satélite se ha basado en la utilización de las características de preacentuación expuestas en la Recomendación 405. Ello no impide sin embargo el uso de otras características de preacentuación, siempre que no causen una interferencia mayor (Reglamento de Radiocomunicaciones, apéndice 30 (ORB-85) (anexo 5, § 3.1.3)). [D'Amato y Stroppiana, 1979] se muestran los resultados de una investigación destinada a optimizar las características de preacentuación. En ella se tuvieron presentes todos los factores que influyen en la calidad de la señal (visibilidad en el umbral de ruido, modulación de amplitud no deseada, distorsiones, diafonía sonido/video y video/sonido). Los datos obtenidos en ese experimento respaldan el empleo de las características de preacentuación recomendadas actualmente por el CCIR para los satélites de radiodifusión.

**Las especificaciones sobre preacentuación para los formatos de la señal recomendados que se utilizarán en los futuros sistemas de radiodifusión por satélite figuran en una publicación especial del CCIR [CCIR, 1988].**

En [CCIR, 1974-78a] se analiza un método para mejorar la relación señal/ruido en video, en un enlace con modulación de frecuencia por satélite, que consiste en optimizar al mismo tiempo la excursión de frecuencia y la característica de preacentuación. Son necesarios nuevos estudios para determinar la aplicabilidad de este método al servicio de radiodifusión por satélite.

### 2.4.4 *Dispersión de energía en los enlaces de conexión y descendente*

La dispersión de energía se utiliza en relación con las transmisiones de TV con MF via satélite a fin de reducir la interferencia a otros sistemas que comparten las mismas bandas de frecuencias. En el caso de las transmisiones de radiodifusión por satélite puede requerirse la dispersión de energía en el enlace descendente a fin de proteger los radioenlaces terrenales mientras que, en el enlace de conexión, puede necesitarse para proteger las transmisiones a los satélites del servicio fijo situados en órbitas vecinas y que compartan las mismas bandas de frecuencias (por ejemplo, de 14 a 14,5 GHz). (Nota. — Las bandas de 11 GHz, de 14,5 a 14,8 GHz y de 17 GHz (Tierra-espacio) están reservadas a los enlaces de conexión del servicio de radiodifusión por satélite.) **En las Conferencias CARR-83 y CAMR ORB-88 se desarrollaron planes mundiales para las asignaciones a los enlaces de conexión de las bandas de 14 y 17 GHz, y figuran en el Apéndice 30A del Reglamento de Radiocomunicaciones.**

En principio la anchura de banda de la dispersión de energía requerida es distinta en las dos direcciones de la transmisión, siendo típicamente mayor en el enlace de conexión. Por otra parte, en el enlace descendente conviene utilizar la menor anchura de banda de dispersión posible para que pueda reducirse al mínimo el coste de eliminación de la señal de dispersión en los receptores de TV domésticos. Al propio tiempo, la dispersión de la frecuencia de línea de TV puede alcanzar la máxima eficacia en el enlace de conexión para proteger las transmisiones del servicio fijo por satélite, mientras que una señal de dispersión de la frecuencia de imagen de la TV puede ser de eliminación menos costosa en el enlace descendente. Si surge tal conflicto entre los requisitos de enlace de conexión y descendente, deberá considerarse la conversión de modulación de la dispersión de energía en el satélite de radiodifusión como un medio posible de mejorar la utilización de la órbita. Se requieren más estudios sobre la necesidad y viabilidad de esta técnica.

**En la práctica, los valores de dispersión de energía que han de utilizarse en relación con las asignaciones de los planes para enlaces descendentes en la banda de 12 GHz y los planes para los enlaces de conexión en las bandas de 14 y 17 GHz, figuran en los Apéndices 30 (ORB 85) y 30A, respectivamente.**

### 2.4.5 *Preservación de la componente de corriente continua en los moduladores de frecuencia* [CCIR, 1982-86a].

A fin de lograr la máxima utilización de la anchura de banda disponible para señales de blanco y negro o para señales de color, debe mantenerse constante la frecuencia central de la portadora modulada por una señal de video (por ejemplo, mediante la preservación de la componente de corriente continua en el modulador de frecuencia), principalmente en circuitos de satélite que funcionan con limitaciones de energía y de anchura de banda.

La frecuencia central puede ajustarse de manera que corresponda al punto medio de una señal de video de blanco máximo preacentuada [AuBC, 1983].

Si no se mantiene la frecuencia central, no sólo puede degradarse el comportamiento del sistema, sino que las señales pueden radiarse fuera de la anchura de banda del canal asignada durante los periodos de rápidos cambios de luminancia, creando así la posibilidad de interferencia a los segundos canales adyacentes. En ese caso se requerirán filtros más restrictivos, con todas sus limitaciones, en la salida del modulador para suprimir estas componentes fuera de banda de la señal.

En el caso de transmisiones que utilizan componentes analógicas multiplexadas (MAC), la característica de preacentuación que es probable que se utilice atenuará sólo ligeramente las bajas frecuencias de video. Por tanto, es aún más importante que esos sistemas preserven la frecuencia central de la señal de video [CCIR, 1988].

## 2.5 p.i.r.e. del satélite y factor de calidad (G/T) del receptor terreno

### 2.5.1 Optimización de la p.i.r.e. del satélite y del factor de calidad del receptor terreno

En el diseño de los sistemas de telecomunicaciones por satélite se cuenta de ordinario con la posibilidad de optar entre disminuir el costo y la complejidad de los equipos a bordo del satélite a cambio de aumentar los del terminal terreno o vice-versa, por lo que una de las principales decisiones será la referente a la p.i.r.e. del satélite y el factor de calidad  $G/T$  de esos terminales. De no alterarse ninguno de los demás parámetros del sistema, la p.i.r.e. y la relación  $G/T$  pueden variar mientras su suma permanezca constante.

La Figura 2 muestra gráficamente la suma de la p.i.r.e. y el factor de calidad, en el caso de sistemas que funcionan a 12 GHz con una relación  $S/N$  mínima de 45 dB, para distintas anchuras de banda y relaciones mínimas portadora/ruido ( $C/N$ ). No se incluyen otras pérdidas que la pérdida en el espacio libre. Pueden obtenerse resultados análogos en el caso de otras bandas de frecuencias o de otras relaciones  $S/N$  mínimas.

La p.i.r.e. disponible del satélite por canal para una potencia de salida determinada del transmisor del satélite depende de la ganancia de la antena transmisora correspondiente a la zona de cobertura requerida. Actualmente son difíciles de realizar los diseños de satélite con p.i.r.e. elevada, concebidos para ofrecer varios canales de televisión a amplias zonas geográficas de servicio, debido a la gran potencia primaria requerida.

Otras opciones disponibles para disminuir la p.i.r.e. necesaria consisten en utilizar métodos de modulación que requieren menos energía, o el logro de una compresión de la señal de video suficiente para hacer eficaces desde el punto de vista energético las técnicas de modulación digital (véase el Informe 631).

La determinación de los efectos del aumento del tamaño de la antena de la estación terrena receptora es relativamente sencilla, ya que se conoce bien la ganancia en función del tamaño y se dispone de datos sobre los costos de las antenas. Ha de contemplarse asimismo su carácter práctico (colocación, resistencia al viento, etc.), particularmente para uso en viviendas (recepción individual). En el punto 3 del Informe 473 se examinan estos aspectos.

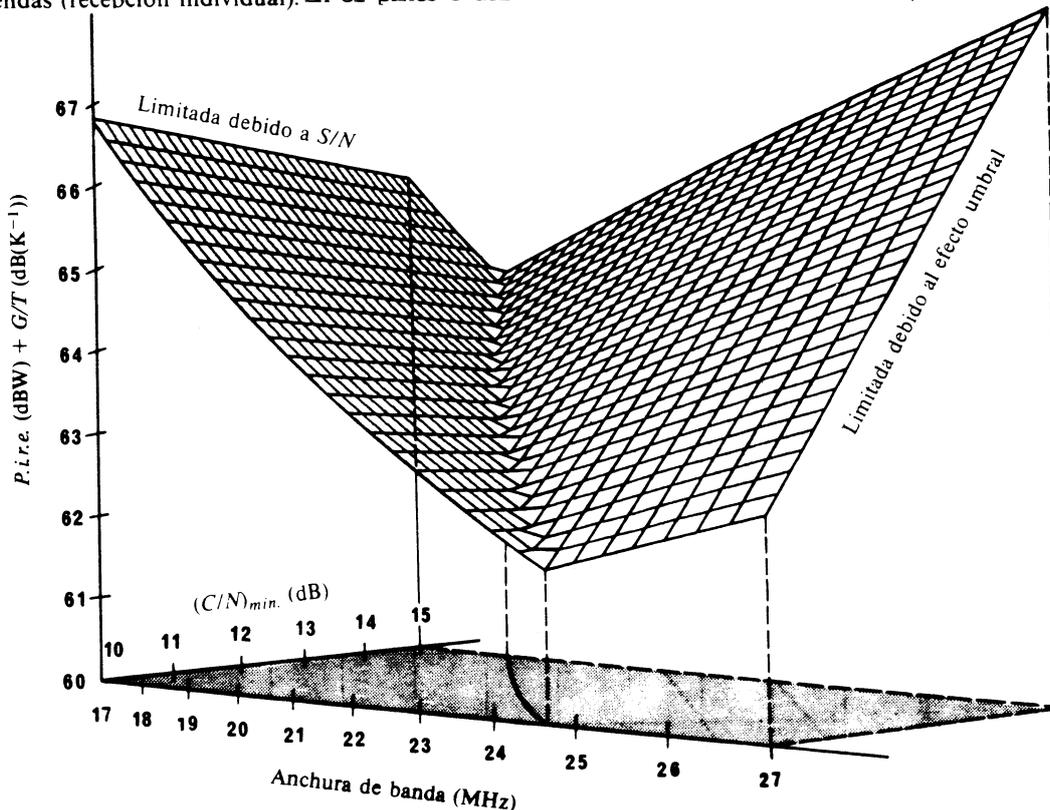


FIGURA 2- Superficie paramétrica para la determinación de la anchura de banda óptima (Relación  $S/N$  mínima, para la transmisión de video = 45 dB)

### 2.5.2 Fórmulas para el cálculo del sistema

La relación entre la p.i.r.e. del satélite y el factor de calidad de la estación terrena es la siguiente:

$$\begin{aligned} C/N_d &= p.i.r.e. - L_{FS} + G/T - 10 \log kB - L_A - L_R, & \circ \\ p.i.r.e. &= C/T + L_{FS} + L_A + L_R - G/T & \text{dB} \end{aligned}$$

donde:

$C/N_d$ : relación mínima aceptable portadora/ruido en el trayecto descendente (dB);

$C/T$ : relación portadora/temperatura de ruido en el trayecto descendente, (dBW(K<sup>-1</sup>));

$p.i.r.e.$ : potencia isotrópica radiada equivalente del satélite hacia un punto en el borde de la zona de servicio necesaria (dBW);

$k$ : 10 log constante de Boltzmann (dB(WK<sup>-1</sup>Hz<sup>-1</sup>));

$L_{FS}$ : pérdida de propagación en el espacio libre en el trayecto descendente (dB)

= 20 log 4πR/λ (donde R es la distancia y λ es la longitud de onda medida con las mismas unidades);

$L_A$ : pérdidas en el trayecto debidas a la absorción en aire puro (dB);

$L_R$ : nivel del desvanecimiento debido a la lluvia (dB);

$G/T$ : valor mínimo, incluida la degradación del factor de calidad del receptor (dB(K<sup>-1</sup>));

$B$ : anchura de banda de ruido de un canal individual (Hz).

La p.i.r.e. requerida del satélite puede convertirse en potencia requerida a la salida del transmisor del satélite  $P_S$ , si se conoce la ganancia de la antena del satélite,  $G_T$ .

$$P_S = p.i.r.e. - G_T \quad \text{dB}$$

La anchura angular del haz a potencia mitad,  $\theta_0$ , puede determinarse una vez que se haya especificado la ganancia de antena del satélite:

$$\theta_0 = \sqrt{27\,843/G_T} = 225 (\lambda/\pi D)$$

donde  $G_T$  es la ganancia de la antena, expresada como una relación, y  $D$  es el diámetro de la antena, expresado en las mismas unidades que λ, la longitud de onda. Se ha supuesto una eficacia de abertura de la antena del 55%.

La determinación exacta de la zona de cobertura en la Tierra es una operación complicada, dada la dificultad en determinar la intersección del haz de la antena del satélite con la superficie esférica de la Tierra. Por lo que respecta a haces dirigidos cerca del punto de proyección del satélite, un haz de 1,5° asegura una zona de cobertura de unos 1000 km de diámetro. El mismo haz dirigido hacia latitudes más elevadas, o hacia zonas muy distantes en longitud del punto de proyección del satélite, cubrirá una zona mucho más amplia de la superficie de la Tierra [Ostrander, 1967; Sollfrey, 1966].

Entre las magnitudes de intensidad de campo y de densidad de flujo de potencia existe la siguiente relación:

La conversión directa de las unidades de intensidad de campo  $E$ , (dB(μV/m)), y de densidad de flujo de potencia  $\Phi$ , (dB(W/m<sup>2</sup>)), se logra mediante la fórmula:

$$\Phi = E - 145,8$$

Se pueden señalar otras relaciones útiles:

- la potencia de ruido en una anchura de banda de 1 MHz es de -144,0 dBW a una temperatura de ruido de 290 K,
- una fuerza electromotriz de 1 μV en los terminales de una fuente de 75 Ω corresponde a una potencia disponible de -144,8 dBW,
- una fuerza electromotriz de 1 μV en los terminales de una fuente de 50 Ω corresponde a una potencia disponible de -143,0 dBW.

La relación entre la p.i.r.e. de un satélite geoestacionario y la densidad de flujo de potencia en la superficie de la Tierra, es la siguiente:

$$\text{Densidad de flujo de potencia} = \text{p.i.r.e.} - \text{pérdida por dispersión} + B - W - X$$

donde:

la densidad de flujo de potencia se expresa en  $\text{dB}(\text{W}/\text{m}^2)$  en la anchura de banda de referencia  $B$

la p.i.r.e. se expresa en  $\text{dBW}$

$B$  (anchura de banda de referencia) se expresa en  $\text{dBHz}$   
(véase la nota 1)

$W$  (anchura de banda real de la señal) se expresa en  $\text{dBHz}$  ( $W > B$ )

$X$  es un factor, en  $\text{dB}$ , que tiene en cuenta la uniformidad del espectro de la señal en la anchura de banda  $W$ .  $X$  varía entre  $0 \text{ dB}$  cuando el espectro de la señal es uniforme y  $(B - W) \text{ dB}$  cuando la anchura de banda de la señal  $W \leq B$ .

Para el punto sobre la superficie de la Tierra que tenga una latitud  $\varphi^\circ$  y una longitud relativa (punto de proyección del satélite =  $0^\circ$ )  $\lambda^\circ$ , con  $\cos \Delta = \cos \lambda \cos \varphi$ , la correspondencia es:

Ángulo $\Delta$ (grados)	Pérdida por dispersión, $\text{dB}(\text{m}^2)$ (véase la nota 2)
0 (punto de proyección del satélite)	162,1
80	163,4

Para el ángulo de elevación  $\varepsilon$ , con  $\text{tg } \varepsilon = (\cos \Delta - 0,1513) / \text{sen } \Delta$ , la correspondencia es:

Ángulo $\varepsilon$ (grados)	Pérdida por dispersión, $\text{dB}(\text{m}^2)$ (véase la nota 2)
0	163,4
90	162,1

*Nota 1.* — La anchura de la banda de referencia tiene distintos valores. Para la investigación espacial, es de  $1 \text{ Hz}$ ; para el servicio fijo por satélite, puede ser de  $4 \text{ kHz}$  o  $1 \text{ MHz}$ , según las características del servicio terrenal con el que se comparte una banda. Cuando la emisión de un satélite no está uniformemente distribuida en la anchura de banda necesaria, se interpreta generalmente que el límite de la DFP se aplica a la anchura de banda de referencia «más desfavorable».

*Nota 2.* — Restando la pérdida por dispersión ( $\text{dB}/(\text{m}^2)$ ) de la p.i.r.e. ( $\text{dBW}$ ), se obtiene, la densidad de flujo de potencia ( $\text{dB}(\text{W}/\text{m}^2)$ ), excluida la atenuación atmosférica.

**Las fórmulas anteriores son un caso típico de las utilizadas en relación con la planificación de las asignaciones de frecuencia de la radiodifusión por satélite de los enlaces de conexión en las bandas de 12 y 14/17 GHz, respectivamente.**

### 3. Calidad de recepción

#### 3.1 Consideraciones generales

La calidad de las imágenes de televisión en la pantalla del receptor depende de la relación señal/ruido, del nivel y de la naturaleza de una posible interferencia y de las distintas distorsiones que tienen lugar en la cadena de transmisión (estudio, enlace terrenal, enlace de conexión, transmisor de satélite, trayecto descendente y receptor). En las referencias del Informe 405, se describen diferentes métodos de evaluación subjetiva de la calidad de las imágenes de televisión, así como los parámetros pertinentes.

**En la Recomendación 500 figura el método recomendado para evaluar la calidad de las imágenes de televisión.**

Parece importante determinar el rendimiento global de todo el sistema y definir entonces las especificaciones adecuadas de los componentes, tales como los repetidores del satélite y los receptores domésticos, en forma de valores deseables. En el cuadro III de este Informe, aparecen los parámetros principales típicos de los componentes utilizados en los sistemas de radiodifusión por satélite, y se plantea la discusión referente a la mínima calidad exigible en el borde de la zona de servicio a efectos de planificación. Como un sistema de radiodifusión por satélite es capaz de ofrecer una señal de televisión de alta calidad comparable a la obtenida en los estudios y dirigida al público en general, es posible fijar una norma de calidad elevada.

CUADRO III - Valores de los parámetros

Elemento del sistema	Parámetro				
	Fase diferencial (grados)	Ganancia diferencial (%)	Desigualdad de ganancia entre las señales de crominancia y luminancia (%)	Diferencia de tiempo de propagación entre las señales de crominancia y luminancia (ns)	Relación señal/ruido (ponderado) (dB)
Estudio	± 5 <sup>(1)</sup>	± 5 <sup>(1)</sup>	± 5 <sup>(1)</sup>	± 10	48
Circuito terrenal	± 5 <sup>(1)</sup>	± 10 <sup>(1)</sup>	± 10 <sup>(1)</sup>	± 50	56 <sup>(2)</sup>
Sistema por satélite	± 5 <sup>(1)</sup>	± 10 <sup>(1)</sup>	± 10 <sup>(1)</sup>	± 50	
Receptor doméstico	± 10 <sup>(5)</sup>	± 15 <sup>(5)</sup>	<sup>(3)</sup>	± 100	46 <sup>(4)</sup>

(<sup>1</sup>) Estadísticamente variable y no excedida durante, por lo menos, el 80% de cualquier mes.

(<sup>2</sup>) Excedida durante, por lo menos, el 80% de cualquier mes.

(<sup>3</sup>) Se supone que la distorsión del receptor se corrige con el control manual de crominancia.

(<sup>4</sup>) Se supone que la relación señal/ruido no ponderado es de 33 dB y que el factor de ponderación (incluido el efecto de la preacentuación) es de 13 dB. Debe alcanzarse esta calidad de funcionamiento mínima en el caso más desfavorable en el límite de la zona de servicio y durante el 99% del tiempo.

(<sup>5</sup>) Diversos estudios han demostrado que estas tolerancias pueden conseguirse con filtros simples y desprovistos de circuitos correctores en el receptor, cuando la excursión de frecuencia es de unos 14 MHz/V y la anchura de banda a -3 dB es de 27 MHz. En una primera aproximación, estos valores deben considerarse constantes en el curso del tiempo.

Debe considerarse como referencia, la norma de transmisión de la señal de televisión de un circuito ficticio de referencia de 2500 km, como el que se indica en la Recomendación 567. En el cuadro IV aparecen como ejemplo los objetivos de calidad de la parte de la cadena de radiodifusión por satélite que ha de sustituir a la cadena de radiodifusión terrenal. En la práctica el objetivo de calidad debe establecerse teniendo en cuenta la posibilidad que tiene cada componente de alcanzar los objetivos y mediante una investigación individualizada de la relación de distribución, de tal forma que se minimicen los costes totales requeridos. En el anexo II al Informe 405 se señala que hay una posibilidad de otra ley de adición para determinar la distribución global de las degradaciones entre los diferentes componentes. Esto también debe tenerse en cuenta en la consideración anterior. Se insta a las administraciones a que prosigan estudios ulteriores en este campo.

La relación señal/ruido es uno de los parámetros más importantes en el cálculo de sistemas de televisión y en la planificación de redes de transmisión; por ello se concentra la atención en este parámetro particular. Al elegir el valor necesario de la relación señal/ruido deben también tenerse en cuenta en muchos casos otras distorsiones de la señal de televisión. En televisión la relación señal/ruido en videofrecuencia se define como la relación expresada en dB, entre la amplitud nominal cresta a cresta de la señal de luminancia y el valor cuadrático medio del ruido en videofrecuencia (Recomendación 567).

La calidad de servicio de un sistema de radiodifusión por satélite (que será esencialmente uniforme en toda la zona de servicio) debe ser superior a la recomendada en los bordes de la zona de servicio de la radiodifusión terrenal (en la cual la calidad es mucho mayor en el centro que en los bordes). En la Recomendación 566 se han definido dos grados de calidad de recepción (primaria y secundaria).

La calidad de recepción que debe tomarse como objetivo en el caso de la recepción comunal debe ser buena, para responder a las necesidades especiales de los programas de la televisión educativa y debería no ser inferior a la que se considera adecuada para los sistemas terrenales de radiodifusión destinados a la recepción individual.

El efecto subjetivo del ruido depende de su distribución espectral de energía en la banda de videofrecuencia. Para la medición de la potencia de ruido se acostumbra a utilizar redes de ponderación que tienen en cuenta este hecho, con lo cual, la potencia ponderada de ruido en videofrecuencia es inferior a la potencia de ruido total según un factor que depende de la distribución espectral. En la mayor parte de los sistemas de televisión, las redes de ponderación disponibles están concebidas de manera que, para diversas distribuciones espectrales del ruido, las mediciones representan más estrechamente la impresión subjetiva en las imágenes en blanco y negro que las mediciones de ruido no ponderado; para la televisión en color, debe tenerse especialmente en cuenta el efecto subjetivo.

CUADRO IV – *Ejemplo de atribución de las características principales en un sistema de transmisión de televisión con señales video compuestas*

Parámetro	Características globales	Atribución para el equipo receptor <sup>(1)</sup>	Factor de distribución	Ley de adición <sup>(4)</sup>
Relación señal/ruido aleatorio continuo <sup>(2)</sup> (dB (cresta a cresta/valor cuadrático medio))	53	48/54 <sup>(3)</sup>	0,9	2
Relación señal/ruido periódico: Zumbido de la fuente de alimentación (dB cresta a cresta/cresta a cresta)	35	-/41	0,5	2
Una sola frecuencia superior a 1 kHz (dB cresta a cresta/cresta a cresta)	55	-/58	0,5	2
Ganancia diferencial (%)	10	10/6	0,5	1,5
Fase diferencial (grados)	5	5/3	0,5	1,5
Sobreimpulso de corta duración (%)	15	-/8	0,5	Sin ley
Características en régimen permanente: Ganancia/frecuencia (dB) (500 kHz – 4,2 MHz)	± 1	± 1,0/ ± 0,6	0,5	1,5
Retardo/frecuencia (ns) (500 kHz – 4,2 MHz)	± 100	-/ ± 60	0,5	1,5

<sup>(1)</sup> Indicado bajo la forma (valor normalizado mínimo)/(objetivo de calidad).

El *mínimo valor normalizado* significa que es el valor mínimo aceptable en cualquier sitio dentro de la zona de servicio.

*Objetivo de calidad* significa que es un objetivo para alcanzar una calidad buena, dentro de la zona de servicio.

<sup>(2)</sup> La relación señal/ruido aleatorio incluye todos los orígenes de ruido aleatorio y no sólo los procedentes de la unidad de entrada sino también los de la etapa FI y los de los amplificadores de video.

<sup>(3)</sup> La CAMR-RS-77 ha señalado un valor de  $C/N$  de 14 dB para el 99% del mes más desfavorable en el borde de la zona de servicio. Esta cifra indica el valor esperado durante el 50% del tiempo en el área principal de la zona de servicio.

<sup>(4)</sup> La calidad global,  $D_t$ , puede calcularse mediante la calidad de cada subsistema,  $D_i$ , y la ley de adición  $p$  mediante la siguiente ecuación:

$$D_t = \left[ \sum_{i=1}^n (D_i)^p \right]^{1/p}$$

### 3.2.1 Transmisión de vídeo

La fórmula indicada a continuación constituye un método para calcular la relación señal/ruido tras la demodulación para las señales de televisión con modulación de frecuencia;

$$S/N = C/N + 10\log[3(D_{p-p}/f_v)^2] + 10\log(b/2f_v) + k_w \quad (\text{dB})$$

donde:

- $S/N$ : relación «amplitud cresta a cresta de luminancia/valor cuadrático medio del ruido ponderado» (dB),
- $C/N$ : relación portadora/ruido antes de la detección en la anchura de banda de radiofrecuencia (dB),
- $F$ :  $3(D_{c-c}/f_v)^2 \cdot (b/2f_v)$  (relación de potencias que es igual a  $F_{dB}$  cuando se expresa en dB),
- $D_{c-c}$ : excursión cresta a cresta producida por la señal de vídeo (incluyendo los impulsos de sincronismo),
- $f_v$ : frecuencia de vídeo más elevada (4,2 MHz para el sistema M),
- $b$ : anchura de banda de radiofrecuencia (generalmente  $D_{c-c} + 2f_v$ ),
- $k_w$ : factor de mejora combinada de la desacentuación y de la ponderación, en los sistemas de modulación de frecuencia (dB) (véase el cuadro V).

Por ejemplo, en el Cuadro VI, se evalúa la relación señal/ruido en vídeo utilizando la ecuación anterior, en la que con una  $C/N$  de 14 dB, la desviación cresta a cresta de la frecuencia de vídeo es de 12 MHz (véase el Apéndice 30 del Reglamento de Radiocomunicaciones), habiendo tomado del Informe 624 la frecuencia de vídeo máxima para el sistema en utilización,  $f_v$ , y del Cuadro V el factor combinado de desacentuación y de mejora de la ponderación,  $k_w$ .

CUADRO V — Factores de reducción de la red de ponderación del ruido en videofrecuencia, para la televisión en blanco y negro

Sistema	Ponderación (dB)		( $k_w$ ) Ponderación incluida la desacentuación (dB)
	Ruido blanco	Ruido triangular	Ruido triangular
B, C, E, F, G, H y M (Japón)	8,5	16,3	16,3
D, K, L	9,3	17,8	18,1
I	6,5	12,3	12,9
M (Canadá, Estados Unidos de América) <sup>(1)</sup>	6,8	10,2	13,8

(1) Los factores de ponderación para el sistema M de 525 líneas (Canadá, Estados Unidos de América) están basados en la Recomendación 567 (valores según el Informe 637).

Nota — Al utilizar la preacentuación de conformidad con la Recomendación 405, el efecto combinado de ponderación y desacentuación para el ruido triangular es aproximadamente el mismo que el de ponderación solamente. En el Informe 637 se dan más detalles.

En el Cuadro V figuran ejemplos del factor de reducción de ponderación del ruido en vídeo aplicable. Para más detalles véase el Informe 637.

CUADRO VI

### Relaciones típicas señal/ruido en vídeo

Sistema	$f_v$ (MHz)	$k_w$ (dB)	S/N (dB)
M (EE.UU. y Canadá)	4,2	13,8	45,5
B y G	5,0	16,3	46,1
D, K y L	6,0	18,1	45,9
I	5,5	12,9	41,7

### 3.2.2 Transmisión audio

La relación señal/ruido no ponderado de los canales de audio asociados, que consisten en subportadoras MF situadas por encima de la banda de base de video, se determinan por la ecuación siguiente:

$$S/N_a = 10 \log \left[ \frac{3}{4} \left( \frac{b}{f_a} \right) \left( \frac{D_s}{f_s} \right)^2 \left( \frac{D_a}{f_a} \right)^2 \right] + \left( \frac{C}{N} \right) + k_a$$

donde:

- $S/N_a$ : relación señal eficaz/ruido eficaz del canal de audio (dB),
- $D_s$ : desviación máxima de la portadora principal por la subportadora (MHz),
- $D_a$ : desviación máxima de la subportadora por la señal de audio (MHz),
- $f_s$ : frecuencia de la subportadora (MHz),
- $f_a$ : frecuencia de audio superior (MHz),
- $C/N$ : relación portadora/ruido antes de la detección (dB),
- $k_a$ : factor de mejora combinado debido a la preacentuación y desacentuación para los canales de audio (dB). (Véase el Informe 496 de la CMTT, cuadro II, para los factores de mejora correspondientes a diversas anchuras de banda de la banda de base del canal de audio),
- $b$ : anchura de banda de radiofrecuencia antes de la detección (MHz) definida por la ecuación (1) del § 2.4.1.

En el Cuadro VII se evalúa la relación señal/ruido en audio (después de la demodulación) utilizando la ecuación anterior y suponiendo la misma C/N de 14 dB y la desviación de frecuencia cresta a cresta de 12 MHz debida a la señal compuesta de banda de base, que es aproximadamente igual a la desviación debida a la señal de video.

Se aplican los siguientes valores del sistema:

- desviación de la cresta de la subportadora causada por la señal de audio ( $D_a$ ) a la frecuencia de dicha subportadora ( $f_s$ ): 15 kHz
- factor de mejora combinado ( $K_a$ ) debido a la preacentuación y la desacentuación para la anchura de banda de radiofrecuencia antes de la detección ( $b$ ) definida en el § 3.2.1, pero utilizando parámetros de banda base compuesta<sup>1</sup>: 9 db
- desviación de cresta ( $D_s$ ) debida a la subportadora de sonido cuya amplitud provoca aproximadamente el 30% de la desviación total cresta a cresta de la portadora<sup>2</sup>: 1,8 MHz

En el Cuadro VII figuran ejemplos de valores previsibles de la relación señal/ruido en audio.

#### CUADRO VII

##### Relaciones típicas señal/ruido en audio

Sistema	$D_a$ (MHz)	$f_s$ (MHz)	$b$ (MHz)	S/N (dB)
M	0,025	4,5	21	49,7
B y G	0,050	5,5	23	54,4
D, K y L	"	6,5	25	53,3
I	"	6,0	24	53,8

<sup>1</sup> Véanse las condiciones de ruido blanco en el Cuadro II del Informe 496.

<sup>2</sup> Véase el Informe 632.

### 3.2.3 Combinación de video y audio

En los Informes 632, 1073 y 1074 se describen otros esquemas combinados de modulación de vídeo y audio tales como el de vídeo con subportadoras múltiples de audio MF o con modulación audio digital. Además, el Informe 632 ofrece unos resultados subjetivos de la calidad de la imagen y del sonido en función de la relación portadora/ruido.

### 3.3 Influencia de las normas de televisión

Para establecer los servicios de radiodifusión de televisión por satélite, se pueden considerar los planteamientos siguientes:

- atender a las necesidades específicas del servicio de radiodifusión por satélite que figuran en la Recomendación 650 y en el Informe 1073;
- atenerse exactamente a las normas de la radiodifusión terrenal en la zona geográfica de que se trate;
- montar un dispositivo receptor para convertir la señal del satélite en otra utilizable por el receptor corriente;
- emplear un receptor expresamente concebido para el servicio de radiodifusión por satélite.

En el Informe 473, se trata de los conversores para recepción.

### 3.4 *Influencia del enlace de conexión*

La relación total portadora/ruido se obtiene a partir de la relación portadora/ruido del enlace de conexión y la relación portadora/ruido del enlace descendente mediante una fórmula que debe incluir los dos factores siguientes [CCIR, 1978-82b]:

- la característica de transferencia del transpondedor del satélite,
- las estadísticas de atenuación debida a la lluvia en los enlaces de conexión y descendente.

Por ejemplo, para limitar a 0,5 dB una degradación de la relación C/N del enlace descendente debida a la presencia del enlace de conexión en el caso de desvanecimientos simultáneos causados por la atenuación debida a la lluvia en ambos enlaces, se requiere una relación C/N de 24 dB en el enlace de conexión. Ambos valores, 14,5 dB y 24 dB se calculan para el 99% del mes más desfavorable en todos los puntos de la zona de servicio.

Cuando se emplean para el enlace de conexión terminales pequeños fijos o transportables, puede ser conveniente que la relación  $(C/N)_u$  sea un poco más pequeña para mantener la potencia y el costo de los enlaces de conexión dentro de límites razonables y reducir la interferencia producida por las transmisiones del enlace de conexión en los enlaces de microondas terrenales cercanos. En el Informe 952 se dan más detalles de esta repartición de las contribuciones de ruido del enlace.

En los Informes 561 y 952 se examinan detalladamente los enlaces de conexión, incluida su importancia en la planificación.

## 4. **Ejemplos de sistemas**

Los cuadros de este punto contienen a modo de ejemplos ilustrativos únicamente, los parámetros de sistemas de radiodifusión por satélite que quizá sean posibles en el futuro, mediante un satélite geoestacionario. Se observará que algunos de estos ejemplos requieren en los transmisores potencias superiores a las probablemente posibles durante muchos años. Además, en estos ejemplos no se tiene en cuenta la compartición de frecuencias con otros servicios. No obstante, los parámetros de esos ejemplos pueden modificarse para adaptarlos a otras posibilidades que exijan menor potencia en el satélite.

*Nota.* — Los ejemplos corresponden a las bandas atribuidas por la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones, Ginebra, 1979. Se señala que en los ejemplos dados se han hecho distintas hipótesis, especialmente en lo que respecta a calidad de recepción, instalación receptora (factor de ruido, dimensiones de la antena) y zona de servicio, determinada por la anchura angular del haz de la antena transmisora. Por ello es necesario proceder con prudencia al comparar la potencia transmitida y otras características indicadas en los cuadros.

Seguidamente se resume la forma en que se podrían modificar los valores señalados en los cuadros para la potencia del transmisor del satélite, en el caso de hacerse algún reajuste de los parámetros supuestos:

- si se utilizara una antena transmisora con un haz cuya sección transversal fuera circular, al reducir a la mitad la anchura angular del haz se podría reducir la potencia en 6 dB. Al duplicar la anchura angular del haz se necesitaría una potencia 6 dB mayor;
- un aumento en la relación señal/ruido, efectuado con objeto de acrecentar la calidad, exigiría un incremento correspondiente (en decibelios) de la potencia del transmisor. De igual manera, una disminución de la relación señal/ruido permitiría una reducción equivalente de la potencia; pero, en el caso de la modulación de frecuencia, si se acercara a la región del umbral del discriminador, habría que reducir también la anchura de banda de radiofrecuencia y la excursión;
- un aumento del factor de calidad del sistema receptor llevaría a reducir (en cantidad igual, en decibelios) la potencia del transmisor, y viceversa.

Vemos pues, que estos ejemplos, modificados según se desee, pueden indicar los requisitos indispensables para que el público pueda recibir los programas de televisión con una calidad técnica comparable en todo momento a la de los servicios que proporcionan en la forma clásica las redes de transmisores terrenales.

De estos ejemplos se deriva la intensidad de campo necesaria para ciertas características establecidas del receptor. Puede partirse de otras hipótesis, como por ejemplo las que tratan de los sistemas de televisión en color y que dan intensidades de campo necesarias distintas así como diferentes requisitos de la p.i.r.e. del satélite. La finalidad de todos estos ejemplos es determinar razonablemente una serie de condiciones sobre la potencia de salida del satélite en un servicio de radiodifusión.

#### 4.1 Radiodifusión de televisión

En los Cuadros VIIIa y VIIIb se dan ejemplos de sistemas de televisión para recepción comunal e individual, respectivamente, con frecuencias diferentes.

En la Recomendación 650 y en el Informe 1073 se describen las normas para la radiodifusión de televisión en el servicio de radiodifusión por satélite, y en el Informe 1074 figuran descripciones sobre las técnicas de componentes analógicos multiplexados.

#### 4.2 *Radiodifusión sonora*

El Cuadro IX, —————, presenta distintos ejemplos de parámetros para obtener cierto número de canales de sonido adecuados para servicios monofónicos destinados a la recepción individual en 12 GHz. Puede asegurarse la radiodifusión estereofónica mediante dos (o más) de tales canales (véase el Informe 632). Algunos canales de sonido pueden estar también asociados a programas de televisión, además del canal de sonido transmitido como se propone en el § 4.1.

En la República Federal de Alemania se halla en servicio desde 1989 un sistema digital de radiodifusión por satélite diseñado para la transmisión de 16 canales de programa de sonido estereofónico con codificación digital. Está en estudio la utilización de otros sistemas. En el Informe 955 y 1128, se describen detalladamente los sistemas de radiodifusión sonora. i

El Informe 955 presenta los resultados de estudios de sistemas de radiodifusión sonora por satélite para recepción individual que funcionan en otras bandas.

#### 4.3 Televisión de alta definición

En el Informe 1075 se describe el sistema de TVAD y se ofrece un ejemplo de parámetros del enlace para los enlaces de TVAD que utilizan satélites de radiodifusión en las diversas bandas de frecuencia.

CUADRO VIIIa - Ejemplos de parámetros de un sistema de recepción comunal de televisión

Parámetro	1	2	3	4	5	6	Observ.
<b>1. Sistema</b>							
Frecuencia de la portadora (GHz)	0,7	2,6	12	12,5	22,75	42	Nota 7
Anchura de banda rectangular equivalente aproximada (MHz)	19	20	27	24	40	40	Nota 1
Relación portadora/ruido antes de la modulación (dB)	16	15	16	14	11	11	Nota 1
Ruido adicional del enlace de conexión (dB)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
Relación C/N necesaria (dB)	16,5	15,5	16,5	14,5	11,5	11,5	
<b>2. Instalación receptora</b>							
Factor de calidad G/T (dB(K <sup>-1</sup> ))	-4,4	5,9	16,5	14,7	11,6	11,5	Nota 2
Temperatura de ruido del sistema(K)	750	750	500	500	1100	1500	
Diámetro de la antena (m)	3,4	3	1,8	1,4	0,8	0,5	
DFP requerida en el borde de la zona del haz (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-116,5	-116,2	-111,3	-111,6	-104,1	-98,7	Nota 6
<b>3. Propagación</b>							
Pérdidas de dispersión (dB)	162,4	162,4	162,4	162,4	162,4	162,4	Nota 3
Atenuación adicional para la propagación (dB)	0	0	0	0	2,0	2,0	Nota 4
Atenuación debida a la lluvia durante el 99% del mes más desfavorable (dB)	0	0	1,0	1,0	4,0	8,0	Nota 4
p.i.r.e. requerida del satélite en el borde de la zona del haz (dBW)	45,9	46,2	52,1	51,8	64,3	73,7	
<b>4. Transmisor del satélite</b>							
Anchura angular del haz de la antena en los puntos de -3 dB (grados)	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	Nota 5
Diámetro de la antena (m)	23,0	6,2	1,3	1,3	0,7	0,4	Nota 5
Ganancia de la antena (dBi)	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	Nota 5
Pérdidas en línea de alimentación filtros, interconexiones, etc. (dB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
Potencia requerida del transmisor del satélite (dBW)	8,3	8,6	14,6	14,3	26,8	35,2	
(W)	6,8	7,3	29	27	480	4200	

CUADRO VIIIb - Ejemplos de parámetros de un sistema de recepción individual en televisión

Parámetro	7	8	9	10	11	Observ.
<b>1. Sistema</b>						
Frecuencia de la portadora (GHz)	0,7	12	12,5	22,75	42	Nota 1
Anchura de banda rectangular equivalente aproximada (MHz)	19	27	24	40	40	Nota 1
Relación portadora/ruido antes de la modulación (dB)	16	14	14	11	11	
Ruido adicional del enlace de conexión (dB)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
Relación C/N necesaria (dB)	16,5	14,5	14,5	11,5	11,5	
<b>2. Instalación receptora</b>						
Factor de calidad G/T (dB(K <sup>-1</sup> ))	-14,4	6,0	10,0	7,5	9,5	Nota 2
Temperatura de ruido del sistema(K)	-	1100	750	1100	1500	
Diámetro de la antena (m)	-	0,8	1,0	0,5	0,4	
DFP requerida en el borde de la zona del haz (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-107,0	-102,8	-106,9	-100,0	-96,7	Nota 6
<b>3. Propagación</b>						
Pérdidas de dispersión (dB)	162,4	162,4	162,4	162,4	162,4	Nota 3
Atenuación adicional para la propagación (dB)	0	0	0	2	2	Nota 4
Atenuación debida a la lluvia durante el 99% del mes más desfavorable (dB)	0	1	1	4	8	Nota 4
p.i.r.e. requerida del satélite en el borde de la zona del haz (dBW)	55,4	60,6	56,5	68,4	75,7	
<b>4. Transmisor del satélite</b>						
Anchura angular del haz de la antena en los puntos de -3 dB (grados)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	Nota 5
Diámetro de la antena (m)	32,0	1,8	1,8	1,0	0,5	Nota 5
Ganancia de la antena en el borde de la zona de servicio (dBi)	41,4	41,4	41,4	41,4	41,4	Nota 5
Pérdidas en línea de alimentación filtros, interconexiones, etc. (dB)	1,0	2,0	2,0	3,0	3,0	
Potencia requerida del transmisor del satélite (dBW)	15,0	21,2	17,1	30,0	37,3	
(W)	32	130	50	1000	5400	

### Notas de los Cuadros VIIIa y VIIIb:

Nota 1 - La anchura de banda y relación portadora/ruido requeridas, dependen del método de modulación y de la calidad de la señal.

Nota 2 - Los valores corresponden al "factor de calidad utilizable", conforme a la definición del Anexo I del Informe 473 . Se supone un 55% de eficacia y 1 dB de error de puntería para el cálculo de la ganancia de la antena la cual es normalmente mejor que el valor indicado, especialmente por debajo de la banda de 12,5 GHz, debido a la mejora de la temperatura de ruido del receptor y de la eficacia de la antena.

Nota 3 - Se supone que el ángulo de elevación del satélite es de 40°.

Nota 4 - Ha de corregirse la atenuación debida a la lluvia utilizando el valor adecuado para cada zona climática.

Nota 5 - La anchura del haz de la antena debe ajustarse para el tamaño de la zona de servicio. Se modificarán en consecuencia el diámetro y la ganancia de la antena.

Nota 6 - Los valores de la DFP indicados se basan en cálculos destinados a cumplir la relación C/N requerida para el sistema de radiodifusión del satélite y serán necesarios para el 99% del mes más desfavorable.

Nota 7 - La frecuencia portadora indicada en las columnas 5 y 10 (22,75 GHz) es un ejemplo de la frecuencia central de la banda atribuida al servicio de radiodifusión por satélite en las Regiones 2 y 3.

#### 5. *Otras aplicaciones a servicios nuevos y existentes*

Se reconoce como premisa básica que la realización de estas transmisiones por un canal de televisión no debe crear interferencias adicionales a otros sistemas ni requerir una protección superior a la necesaria para la explotación normal del servicio de radiodifusión por satélite, como por ejemplo, la transmisión de televisión.

##### 5.1 *Radiodifusión de datos en un canal de televisión con modulación de frecuencia*

Resulta posible en la actualidad prever la utilización de ciertas líneas de la señal de televisión para la transmisión de datos en el servicio de radiodifusión por satélite.

La introducción de estas nuevas señales no debe alterar las características del canal de televisión ni los niveles de **interferencia** ni los criterios de compartición con otros servicios definidos por la CAMR-RS-77.

Un estudio realizado en Francia demostró la posibilidad de utilizar este nuevo servicio de radiodifusión en el canal de radiodifusión por satélite. Este servicio, definido en \_\_\_\_\_ utiliza un sistema de modulación digital en la banda de base, con una señal binaria NRZ limitada en frecuencia a la banda de video. La velocidad binaria es de unos 6 Mbit/s. La subportadora de sonido de 6,5 MHz de la señal de televisión puede o no superponerse a esta señal.

##### 5.2 Conexión interactiva

En los Estados Unidos de América y en Canadá se están estudiando nuevas e innovadoras aplicaciones del servicio de radiodifusión por satélite para recepción comunal por medio del Satélite de Aplicaciones Tecnológicas (ATS-6) [IEEE, 1975] y del Satélite de Tecnología de Telecomunicaciones (CTS-Hermes). Como ejemplo de estas nuevas aplicaciones cabe citar la distribución de documentación didáctica, informativa, médica y de otras especialidades a escuelas, hospitales y centros comunales. En [CCIR, 1974-78b] figura un examen más detallado de estas aplicaciones, incluidos ejemplos de aplicaciones específicas. Se considera que muchas de ellas caen dentro de la definición de recepción comunal (número 124 del Reglamento de Radiocomunicaciones).

Algunas han sido también asociadas a la transmisión por satélite de radiodifusión, por ejemplo, la comunicación de retorno que permite a los estudiantes de un aula ponerse en contacto con un instructor situado a gran distancia. En algunos casos este enlace de retorno o enlace «interactivo» ha utilizado la transmisión por satélite. Es de esperar que la mayoría de estos enlaces interactivos consten de uno o varios canales de sonido. Un ejemplo de parámetros representativo para un canal de sonido que utilice un enlace por satélite a 12 GHz figura en el cuadro XXII.

CUADRO IX - Ejemplos de parámetros del sistema para recepción individual en la radiodifusión sonora

Parámetro	1	2	3	4	5	6	Obser.
<b>1. Sistema</b>			Nota 6	Nota 6			
Frecuencia de la portadora (GHz)	12	12	6	6	12	12	
Tipo de modulación	MF	MF/MF	MDP-4	MDP-4	MDP-4	MDP-4	
Anchura de banda de la frecuencia de sonido (kHz)	15	15	15	20	15	15	
Frecuencia de muestreo (kHz)			32	48		32	
Número de canales de sonido	1	12	48	24	96	32	Nota 1
Ley de codificación			14/10 NIC	lineal 16bit	MDA Nota 7	16/14, coma flot.	
Velocidad binaria en transmisión (Mbit/s)			24,6	24,6		20,48	
Anchura de banda rectangular equivalente aproximada (MHz)	0,18	22	27	27			
Relación portadora/ruido antes de la modulación (dB)	19	14	15,1 Nota 2	15,1 Nota 2		Nota 3 82 (C/No)	
Ruido adicional del enlace de conexión (dB)	0,5	0,5					
Relación C/N requerida (dB)	19,5	14,5	15,6	15,6			
<b>2. Instalación receptora</b>						Nota 8	
Factor de calidad (dB(K <sup>-1</sup> ))	4	4	12,0			3,0	
DFP requerida en el borde de la zona del haz (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-118	-103	-110,3			-103	Nota 4
Relación C/N recibida (dB)			16,4				Nota 5
Relación C/No (dB)						85	
<b>3. Propagación</b>							
Pérdidas de dispersión (dB)	162,4	162,4	162,4			162,4	
Atenuación adicional para la propagación (dB)	0,5	0,5	0,2			0,5	
Atenuación debida a la lluvia durante el 99% del mes más desfavorable (dB)	1,5	1,5	2,0			2,0	
<b>4. Transmisor del satélite</b>							
Anchura del haz de la antena (grados)	1,4	1				1,6x0,7	
Ganancia de la antena (dB)	38	41	37			40,9	
Pérdidas en las líneas de alimentación, etc. (dB)	1	1	2,5			2	
Potencia del transmisor (dBW)	10	23	20			23,6	
(W)	10	200	100			230	
p.i.r.e. del satélite en el borde de la zona del haz	47	63	54,5			62,5	

NIC: Compresión-expansión casi instantánea «Near Instantaneous Companding».

(1) Canales monofónicos.

(2) Relación portadora/ruido (C/N), para la anchura de banda de Nyquist, requerida para obtener una BER de  $1 \times 10^{-3}$  (antes de la corrección de errores).

(3) Relación «portadora/densidad de ruido» (C/N<sub>0</sub>) requerida para obtener una BER de  $1 \times 10^{-3}$  (antes de la corrección de errores) correspondiente a una calidad de sonido excelente.

(4) Relación C/N alcanzable con un receptor que tenga el ancho de banda de Nyquist. En el diseño del receptor se puede asignar un margen a la diferencia entre la C/N requerida y la recibida. En el caso del ancho de banda de 27 MHz necesario para recepción de la señal de televisión, la C/N será de unos 14 dB con los parámetros dados en este cuadro.

(5) La diferencia entre la C/N<sub>0</sub> recibida y requerida puede utilizarse para reducir aún más el tamaño de la antena.

(6) Se trata de variantes posibles de los parámetros del sistema basadas en la transmisión de canales de sonido que se describe en el sistema del § 2.3 del Informe 1073. Este sistema especifica también los parámetros de la primera columna de este cuadro que son conformes a la Recomendación 651.

(7) Equivalente al uso de codificación con modulación delta adaptable (MDA) descrita en el Informe 953.

(8) Correspondiente a un disco de 40 cm para recepción de sonido únicamente.



### 5.3 Radiodifusión de acceso condicional

Una nueva aplicación del servicio de radiodifusión por satélite es la distribución de programas de televisión de acceso selectivo, lo que ha llevado a la Administración francesa a estudiar una técnica de aleatorización en banda de base que cumple este requisito [CCIR, 1978-82c].

Si la señal sujeta a aleatorización debe seguir cumpliendo las características de la norma de 625 líneas, el sistema de aleatorización elegido debe conservar la estructura de línea de la imagen de televisión. Las componentes verticales de la imagen deben por tanto destruirse de forma que incluso si no se asegura el secreto absoluto, la imagen sea suficientemente compleja para desalentar todo intento de descifrado.

Esto se consigue introduciendo transformaciones en cada línea de televisión a continuación de una secuencia pseudoaleatoria que se desplaza a la velocidad de los impulsos de línea y que es iniciada por cada campo.

El receptor (o receptores) objeto se selecciona por medio de teclas (conocidas como «teclas de servicio»), que comprenden palabras de 18 bits que determinan las secuencias pseudoaleatorias.

El equipo que se ha estudiado durante años se ha desarrollado en forma de sistemas integrados destinados a su utilización en circuitos analógicos (CCD) o digitales lo que permite la aleatorización efectiva de la imagen.

### 5.4 Radiodifusión digital de servicios integrados (RdDSI)

Los avances de la tecnología digital en materia de radiodifusión permiten transmitir información digital ya sea de forma exclusiva, o junto con la señal principal. Un canal de radiodifusión por satélite es un medio apropiado para este fin. Su calidad de transmisión y capacidad elevadas sirven para la utilización integrada de diversas clases de información, manteniendo una gran flexibilidad y eficacia. Es necesario tener en cuenta no sólo los casos de compatibilidad posible entre todos los medios de radiodifusión, sino también entre otros servicios de comunicación y medios agrupados.

El Programa de Estudios 2N/10-11 decide que se estudie la determinación de la composición de los servicios desde el punto de vista técnico y la especificación de los parámetros técnicos para la RdDSI que permitan una explotación altamente flexible y eficaz utilizando un canal de televisión de radiodifusión por satélite, y que faciliten el diseño de sistemas rentables. (Véase el Informe 1227.)

## 6. Funciones adicionales para la radiodifusión y las operaciones de los vehículos espaciales

### 6.1 Canales de control («cueing») de banda estrecha

En un sistema de explotación que utilice estaciones transportables con enlaces de conexión pueden necesitarse canales de control independientes de tipo SCPC transmitidos utilizando el mismo transpondedor del satélite que la señal de televisión conexas. Al parecer, para la información de control y la respuesta se requieren, como mínimo, dos de esos canales SCPC de banda estrecha. Como las antenas de las estaciones con enlaces de conexión probablemente sean mayores, estos canales SCPC se transmitirían a una potencia inferior, para limitar la intermodulación en la banda. Es preciso seguir estudiando la transmisión de esos canales de control en cuanto a la posibilidad de acomodarlos en los planes y su posible influencia sobre la calidad de la transmisión.

### 6.2 Funciones de servicio ————— del vehículo espacial

El número 25 del Reglamento de Radiocomunicaciones establece que las funciones de servicio de operaciones espaciales del vehículo espacial (Telemedida, Telemando y Seguimiento (TTS)) se realizarán normalmente dentro del servicio en el que funcione la estación espacial. Para el caso del servicio de radiodifusión por satélite, esto quiere decir dentro de las bandas del enlace descendente de radiodifusión por satélite y las correspondientes bandas del enlace de conexión, incluyendo la posibilidad de utilizar bandas de guarda. Las funciones de servicio que deben disponerse se resumen en el cuadro X.

CUADRO X - Funciones básicas de servicio de operaciones espaciales del vehículo espacial

Función	Notas
<i>Tierra-espacio:</i> - telemando - determinación de la distancia - seguimiento de la antena del satélite	Transmisión no continua a baja velocidad de datos Determinación no continua de la distancia por tonos o código Detección continua por RF, en onda continua o con barrido de portadora (por ejemplo, portadora residual de la señal de telemando)
<i>Espacio-Tierra:</i> - teledemida - determinación de la distancia - seguimiento de la antena de la estación terrena	Transmisión continua a baja velocidad de datos Determinación no continua de la distancia por tonos o código Continuo, en portadora residual de teledemida o con barrido de portadora

\* Mediciones efectuadas con el satélite TDF-1 indican que puede lograrse una precisión de 0,01 grados en la puntería de la antena transitoria con un sector RF de radiobaliza en tierra. [CCIR, 1986-90b.]

Aunque quizá convenga utilizar parte de las asignaciones de frecuencias de radiodifusión a servicios TTS exclusivamente, puede no ser posible hacerlo desde el punto de vista de la explotación y de la tecnología. Esto implica que en algunas fases de la vida útil de cualquier satélite de radiodifusión, puedan tener que utilizarse bandas de frecuencias diferentes.

La asignación de canales específicos de servicio del vehículo espacial dentro de las bandas de frecuencias del enlace descendente y del enlace de conexión de radiodifusión tendrá que efectuarse consultando detenidamente las asignaciones de frecuencia y de polarización de los canales de radiodifusión para asegurar la compatibilidad con los condicionamientos tecnológicos y las características de explotación del sistema. Además, estas asignaciones tendrán que ser compatibles con la transmisión de radiodifusión y no deben causar interferencia inadmisibles en otros servicios que comparten estas bandas de frecuencias. Estas consideraciones sugieren la posibilidad de tener que elaborar criterios de compartición apropiados. En el Informe 1076 puede verse información más detallada sobre la introducción de las funciones del servicio de operaciones espaciales dentro de las bandas de guarda del servicio de la radiodifusión por satélite.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AuBC [1983] Australian Broadcasting Commission. Engineering Development Report No. 127 - Peak levels in a PAL signal after **pre-emphasis** to CCIR Recommendation 405-1.
- CCIR [1988] **Specifications of transmission systems for the broadcasting-satellite service**
- D'AMATO, P. y STROPPIANA, M. [marzo-abril de 1979] Ottimizzazione della rete di enfasi per trasmissioni televisive MF, standard a 625 righe (Optimización de la red de preacentuación para transmisión MF de norma de 625 líneas). *Elettronica e Telecomunicazioni*, Vol. L.1000, 2, 55-69.
- IEEE [noviembre de 1975] Special issue on ATS-6. *IEEE Trans. Aerospace Electron. Systems*, Vol. AES - 11, 6.
- OSTRANDER, N. C. [septiembre de 1967] The Rand Sync-Sat Calculator. Memorandum RM-5228-NASA, Rand Corporation, Santa Mónica, Ca., Estados Unidos de América.
- PACINI, G. P., GAUDIO, R. y ROSSI-DORIA, F. [febrero de 1971] Experimental investigation on man-made noise in 850 MHz and 12 GHz frequency bands. *Alta frequenza*, Vol. XL, 2, 132-139.
- SOLLFREY, W. [febrero de 1966] Earth coverage patterns with high-gain antennae on stationary satellites. Memorandum RM-4894-NASA, Rand Corporation, Santa Mónica, Ca., Estados Unidos de América.

#### Documentos del CCIR

- [1974-78]: a. 11/419 (Francia); b. 11/396 (EE.UU.)
- [1978-82]: a. 10-11S/117 (Japón); b. 10-11S/175 (Canadá); c. 11/265 (Francia)
- [1986-90]: a. 10-11S/8 (GITM 10-11/3); b. 10-11S/139 (Francia).

## ANEXO I

Tiempo de visibilidad para el satélite

Un satélite de órbita elíptica inclinada unos  $63^\circ$  respecto al plano del Ecuador, con un periodo de 12 horas y un apogeo de 40 000 km muy al Norte del Ecuador, puede cubrir una zona en el hemisferio septentrional, mayor que la de un satélite geostacionario. Varios satélites en órbitas de ese tipo pueden facilitar un servicio permanente. En el cuadroXII se indican los intervalos de visibilidad de un satélite, para una latitud dada ( $60^\circ$  N) del punto receptor y un ángulo de elevación mínimo ( $20^\circ$ ). En teoría, como consecuencia de la forma esférica irregular de la Tierra, una inclinación de la órbita de  $63,4^\circ$  garantizaría que el eje mayor no sufriría deriva en el plano de la órbita y, por tanto, que los apogeos sucesivos ocurrirían en la misma latitud terrestre.

CUADRO XI — Duración del intervalo de visibilidad de satélites colocados en órbita geostacionaria o en órbita ecuatorial circular subsincrónica (no retrógrada)

Periodo aproximado (h)	Altitud (km)	Número de pasos diarios sobre un punto determinado	Duración aproximada de visibilidad por encima del horizonte durante cada paso (h)			
			En el ecuador	En una latitud de $\pm 15^\circ$	En una latitud de $\pm 30^\circ$	En una latitud de $\pm 45^\circ$
24 <sup>(1)</sup>	35 786	Estacionario	Continua	Continua	Continua	Continua
12	20 240 <sup>(2)</sup>	1	10,1	10,0	9,9	9,3
8	13 940 <sup>(2)</sup>	2	4,8	4,7	4,6	4,2
6	10 390 <sup>(2)</sup>	3	3,0	2,9	2,8	2,5
3	4 190 <sup>(2)</sup>	7	1,0	1,0	0,9	0,6

(<sup>1</sup>) Periodo exacto: 23 h 56 min 4 s.

(<sup>2</sup>) Valor aproximado.

En el ejemplo del cuadroXII el eje menor de la elipse de la órbita se supone paralelo al plano ecuatorial. El periodo máximo de visibilidad desde un punto determinado de la superficie de la Tierra a  $60^\circ$  de latitud (10,6 horas) ocurre cuando el apogeo tiene la misma longitud geográfica que dicho punto.

CUADRO XII — Duración del intervalo de visibilidad de un satélite colocado en órbita elíptica tipo con una inclinación de unos  $63,4^\circ$

Periodo aproximado (h)	Apogeo aproximado (km)	Perigeo aproximado (km)	Duración aproximada de visibilidad durante cada paso (h) en un punto de recepción situado a $60^\circ$ de latitud, con un ángulo de elevación de la antena receptora superior a $20^\circ$	
			Máxima	Mínima
12	40 000	500	10,6	4,5

## ANEXO II

Mediciones de la atenuación atmosférica y de la despolarización a las  
frecuencias de interés para el servicio de radiodifusión  
por satélite

La Agencia Espacial Europea ha efectuado, durante una serie de años, amplias mediciones de la temperatura de ruido ionosférico en 11,5 GHz en la Zona europea. Se esperaba que la atenuación atmosférica variase en función del ángulo de elevación y del clima local. No obstante, en la Zona europea y para la gama de ángulos de elevación (de 20° a 45°) objeto de la experiencia, estas dependencias son tan reducidas que no es necesario tenerlas en cuenta al compararlas con las variaciones aleatorias de un año para otro en los valores de atenuación. Los valores de atenuación en el mes más desfavorable obtenidos en las mediciones se indican en el cuadro XIII. Para la planificación de sistemas, se propone el empleo de valores medianos, correspondientes al mes más desfavorable de un año normal.

CUADRO XIII — *Atenuación en el mes más desfavorable en 11,5 GHz (Europa)*

Porcentaje de tiempo (%)	Atenuación no rebasada durante los meses más desfavorables (dB)		
	Valor 90%	Valor mediano	Valor 10%
20	0,3	0,4	0,6
5	0,4	0,6	0,9
1	0,9	1,1	1,4
0,3	1,2	1,8	2,4
0,1	1,5	3,3	6,0
0,03	3,1	7,3	11,0

En la Región 3, se han efectuado mediciones de la atenuación atmosférica en la banda de 12 GHz, utilizando el satélite experimental japonés de radiodifusión BSE (en Japón) y utilizando un radiómetro (en Malasia), en las zonas climáticas moderada y tropical de Asia. El resumen de los resultados figura en el cuadro XIV. Si bien los datos presentados deben considerarse provisionales, los mismos pueden ser útiles hasta que se disponga de resultados más precisos.

CUADRO XIV — *Atenuación observada a 12 GHz durante el mes más desfavorable en Japón y en Malasia*

Lugar de medición	Periodo	Atenuación no rebasada durante los meses más desfavorables (dB)	
		99% del tiempo del mes más desfavorable de un año normal	99,9% del tiempo del mes más desfavorable de un año medio normal
12 puntos en Japón	Agosto de 1978 a diciembre de 1979	2,4	6,9
Klang en Malasia	Octubre de 1970 a noviembre de 1972	1,7	8,7

Los valores observados en Japón, que figuran en el cuadro XIV, son valores medianos de los datos del mes más desfavorable durante 12 a 14 meses, obtenidos en 12 puntos distribuidos por todo el Japón, con ángulos de elevación que varían entre 30° y 60°, aproximadamente. Las medidas obtenidas en Malasia se han corregido utilizando la ley de la cosecante, con referencia a un ángulo de elevación de 45° [CCIR, 1978-82a].

Se efectuaron mediciones de la atenuación producida por la lluvia en 11,7 GHz en Greenbelt, Maryland y en Rosman, Carolina del Norte, (Estados Unidos de América), por el «Goddard Space Flight Center» de la NASA, sirviéndose para ello del radiofaro del satélite CTS. Las mediciones de Greenbelt, Maryland, dieron comienzo en junio de 1976 y se ultimaron en el otoño de 1979. Los ángulos de elevación del CTS desde Greenbelt y Rosman son de 29,5° y 36°, respectivamente.

Se ha medido también la atenuación producida por la lluvia en 20 GHz y 30 GHz en Rosman por medio del satélite ATS-6 [Ippolito, 1975].

En el cuadro XV se resumen los resultados de estas mediciones en los dos meses más desfavorables del periodo de medición.

CUADRO XV — *Atenuación producida por la lluvia en 11,7 GHz (CTS) y en 20 y 30 GHz (ATS-6), observada en Maryland y Carolina del Norte (USA)*

Lugar de la medición	Frecuencia (GHz)	Mes	Atenuación media en un minuto (dB), no rebasada durante el mes y el porcentaje de tiempo indicados		
			99%	99,9%	99,99%
Greenbelt (Maryland)	11,7	Junio de 1976	<1	1,6	9,2
		Agosto de 1976	<1	5,4	15,6
Rosman (Carolina del Norte)	11,7	Julio de 1976	1	1,8	8,3
	20	Julio de 1974	1,5	11,0	>20
	30	Julio de 1974	2,4	19,5	>35

En el periodo 1978-1980 CNES-TDF (Francia) realizó mediciones de atenuación y transpolarización en Bretaña (11 700 horas) y cerca de París (3500 horas) recibiendo señales de balizas polarizadas circularmente en 11,8 GHz y polarizadas linealmente en 11,6 GHz, respectivamente, del satélite OTS [CCIR, 1978-82b]. Los valores de atenuación no excedidos durante el 99% y el 99,9% del mes más desfavorable fueron 1,8 y 4 dB respectivamente para París y 1,5 y 3 dB respectivamente para Bretaña. El aislamiento por polarización de la baliza polarizada circularmente fue sólo superior a 20 dB durante el 99,9% del mes más desfavorable y el 99,99% del periodo total de mediciones; por el contrario, nunca fue inferior a 30 dB para la baliza polarizada linealmente.

Por otra parte, se hicieron mediciones de despolarización en la región de los 12 GHz, con el satélite CTS, puesto en órbita en 1976, empleándose tanto la polarización circular como la vertical. En el Informe 564 se han analizado las estadísticas de mediciones reales establecidas a partir de este programa de mediciones.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IPPOLITO, L. J. [noviembre de 1975] ATS-6 millimeter wave propagation experiments at 20 and 30 GHz. *IEEE Trans. Aerospace Electron. Systems*. Vol. AES-11, 6, 1067-1083.

#### Documentos del CCIR

[1978-82]: a. 10-11S/117 (Japón); b. 10-11S/13 (Francia).

## ANEXO III

INTERFERENCIA CAUSADA POR EL SOL EN UN  
SISTEMA DE RADIODIFUSIÓN POR SATÉLITE (MEDIDA DURANTE LOS  
EXPERIMENTOS LLEVADOS A CABO CON EL SATÉLITE JAPONÉS BSE)

La fig. 3 muestra la degradación de la relación portadora/ruido, debida a la interferencia solar, del sistema de recepción con las siguientes características: antena de 1,6 m de diámetro, frecuencia de 12 GHz, anchura de banda de 27 MHz, ruido de receptor de 650 K y eficacia de antena del 55%.

La degradación máxima producida por la interferencia solar es de 6,7 dB, el tiempo máximo de degradación superior a 1 dB es de 8,4 min y el tiempo acumulado de degradación de 32,8 min a lo largo de un periodo de interferencia.

Para antenas de otros tamaños, se obtienen también valores de degradación máxima, duración máxima de la degradación y tiempo de degradación acumulado como se muestra en el cuadro XVI.

CUADRO XVI

Diámetro de antena (m)	Degradación máxima (dB)	Duración máxima (min)	Duración acumulativa (min)
1,0	3	9,8	53,3
2,5	7	5,8	17,5
4,5	8	4,0	8,6

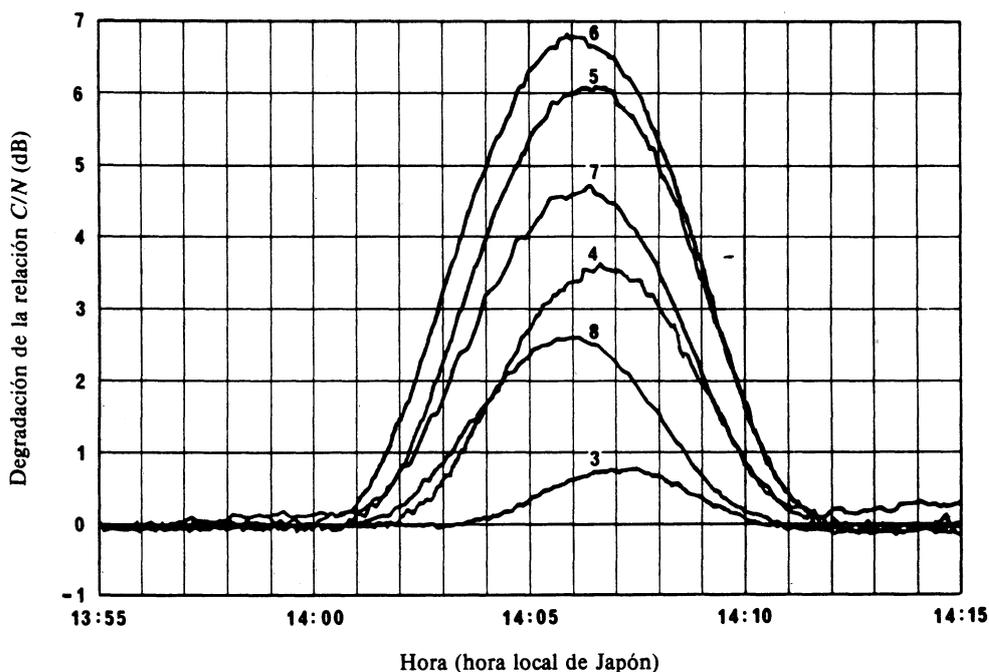


FIGURA 3 - Ejemplo de interferencia solar causada a un sistema de recepción con antena de 1,6 m de diámetro, medida en un experimento con el satélite BSE durante un periodo de interferencia solar

(Los números de las curvas corresponden a los días del mes de marzo de 1980 en los que se efectuaron las mediciones)

