

INFORME 1076

**CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ACOMODACIÓN DE LAS FUNCIONES
DE SERVICIO DE LOS VEHÍCULOS ESPACIALES (TELEMEDIDA, TELEMANDO
Y SEGUIMIENTO-TTS) DENTRO DE LAS BANDAS DEL SERVICIO DE
RADIODIFUSIÓN POR SATÉLITE Y DE LOS ENLACES DE CONEXIÓN**

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

(1986)

1. Introducción

El Reglamento de Radiocomunicaciones especifica (número 25) que las funciones de servicio (TTS) de los vehículos espaciales serán normalmente realizadas dentro del servicio en el que funcione la estación espacial. La CAMR-RS-77 no estipuló intervalos de frecuencias específicos para estas funciones, si bien reservó bandas de guarda en los bordes de la banda 11,7-12,5 GHz para la Región 1 y en la banda 11,7-12,2 GHz para la Región 3. Se supone también un plan compatible de frecuencias para los enlaces de conexión en la banda 17-18 GHz. Estas bandas de guarda podrían emplearse para asignaciones TTS en los sentidos espacio-Tierra y Tierra-espacio.

Conviene advertir que algunos países de las Regiones 1 y 3 pueden prever la explotación de la banda de 14 GHz para los enlaces de conexión del SRS. El uso de bandas de guarda en esta banda de frecuencia puede presentar dificultades debidas a las condiciones de compartición con el SFS. Es necesario continuar el estudio de este problema.



Las Actas Finales de la CARR SAT-83 especificaban que los servicios espaciales podrían utilizar las bandas de guarda asignadas de 12 MHz en cada extremo de la banda 12,2-12,7 GHz y 17,3-17,8 GHz en la Región 2. El planteamiento deseado pretende aislar los enlaces TTS y de radiodifusión en la medida en que ningún servicio esté limitado por el otro dentro de los límites establecidos por las normas reglamentarias.

Las bandas de guarda están limitadas si se considera el número de satélites potenciales del SRS que pueden situarse en una sola posición orbital. Si se cubren muchos sistemas de satélites en una sola posición orbital en la que cada sistema consta de varios satélites, cada uno de los cuales requiera canales TTS, existe la posibilidad de que se produzca una interferencia excesiva entre las señales TTS y las señales de radiodifusión de televisión. Por consiguiente, parece necesario desarrollar directrices técnicas para las asignaciones de frecuencia TTS. Este Informe trata de definir algunas de las consideraciones más importantes asociadas a las estrategias de asignación TTS y proporciona algunos datos técnicos para estimar la interferencia entre las señales TTS y las señales de radiodifusión y de los enlaces de conexión. Los criterios de compartición propuestos se han obtenido a partir de las características de modulación de las Regiones 1 y 3 con empleo de la dispersión de energía. En consecuencia, los resultados pueden no ser directamente aplicables a los satélites de la Región 2.

Aunque tales directrices se basan en la aplicación de técnicas tradicionales de modulación de la subportadora, conviene advertir que existen otros sistemas de modulación que se examinan en el § 4 del Informe.

La alternativa a la utilización de las bandas de guarda sería acomodar las asignaciones TTS en canales de radiodifusión y de enlaces de conexión no utilizados o no abridados. Esta posibilidad existirá prácticamente en cualquier posición orbital y las frecuencias tendrán que convenirse caso por caso y no de manera regular.

2. Requisitos de los sistemas TTS

2.1 Funciones TTS [CCIR, 1978-82a, b]

Las funciones TTS que han de prestarse en el sentido Tierra-espacio son el telemando, la determinación de distancias y el seguimiento de antenas de vehículos espaciales por detección de radiofrecuencia. En el sentido espacio-Tierra las funciones son la telemida, la determinación de distancias y el seguimiento de antenas de estaciones terrenas.

Las señales de telemando se caracterizan por ser transmisiones no continuas de datos de baja velocidad, en tanto que las señales de telemida suelen ser transmisiones continuas de datos también de baja velocidad. La determinación de distancias suele hacerse con una señal no continua o mediante procesos codificados. Para el seguimiento de antenas se utiliza la detección continua en radiofrecuencia de señales de onda continua o de señales de portadora de barrido que utilizan la portadora residual de las señales de telemando o telemida según proceda.

2.2 Requisitos de anchura de banda [CCIR, 1982-86a]

La anchura de banda mínima de un canal TTS viene determinada por las técnicas de medición de distancias por tonos y la estabilidad de los osciladores locales a bordo. Si se aplican técnicas de control de la temperatura en este oscilador, la asignación de una anchura de banda de 400 kHz puede ser suficiente para un satélite geoestacionario. Este valor no incluye el efecto Doppler debido al desplazamiento del satélite con respecto a la Tierra durante la fase de transferencia. Sin embargo, el valor de 400 kHz parece marginal si se consideran la medición de distancias por tonos y las bandas de guarda individuales entre canales TTS. Un planteamiento que permite la conservación del espectro y proporciona la flexibilidad oportuna consiste en asignar 3×400 kHz, es decir 1200 kHz, a cada sistema de radiodifusión por satélite. Cada sistema puede coordinar internamente sus operaciones de determinación de la distancia hasta con tres satélites dentro de esta banda compuesta de 1200 kHz. Se requieren bandas de guarda entre las bandas compuestas para diferenciar entre los sistemas de satélites. La fig. 1 representa un ejemplo de este planteamiento.

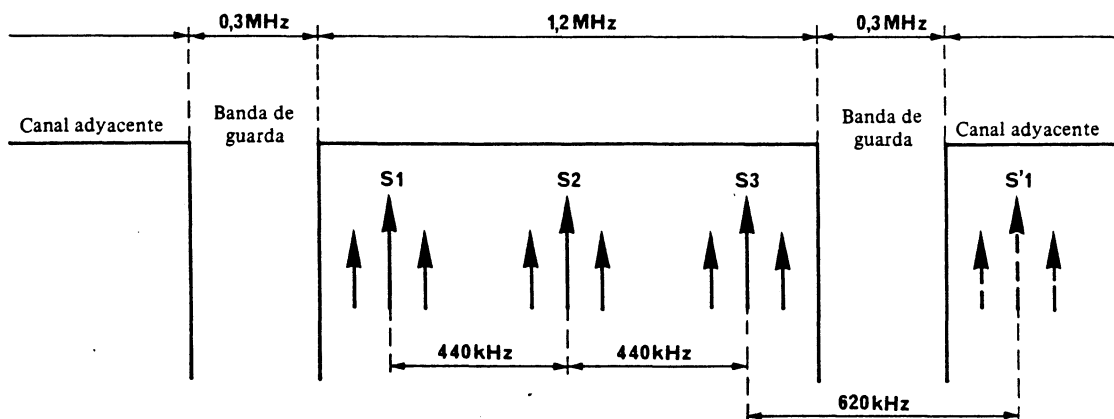


FIGURA 1 – Separación de las señales en los canales del servicio de operaciones espaciales

El número de canales TTS que se puede acomodar en las bandas de guarda (25 MHz para las Regiones 1 y 3 y 24 MHz para la Región 2) no parece constituir un problema en términos de la anchura de banda disponible, excepto en algunos casos. Más bien el problema reside en la separación de frecuencia que se requiere entre el canal TTS más próximo y los canales de radiodifusión de televisión, y en la forma de conseguir un desacoplamiento suficiente de las señales TTS y de radiodifusión.

2.3 *Requisitos operacionales* [CCIR, 1982-86a]

Los requisitos TTS durante las fases de lanzamiento, paso a la órbita de transferencia y puesta en órbita de un satélite geoestacionario son claramente diferentes. En la última de las fases citadas intervienen operaciones nominales asociadas a la estabilidad del satélite y operaciones no nominales asociadas por lo general a la pérdida del control de actitud.

Durante las operaciones nominales de un vehículo espacial deben poder prestarse todas las funciones TTS, y deberá tratarse de asegurar una calidad adecuada de las señales, lo que es especialmente importante en el seguimiento de antenas de vehículos espaciales. Cuando un vehículo espacial se halla en su fase de lanzamiento o en la órbita de transferencia, o en periodo de funcionamiento no nominal en la órbita de los satélites geoestacionarios, bastarán requisitos más reducidos. No se requiere en particular el seguimiento de las antenas del vehículo espacial. La diferencia física principal entre estos dos modos de explotación será la ganancia de las antenas de los vehículos espaciales. En el segundo caso, deberán utilizarse antenas omnidireccionales, con las que se obtendrán los requisitos limitadores de los niveles de p.i.r.e. de un sistema TTS general. Cuando se utilicen las antenas de transmisión del servicio (radiodifusión) primario podría reducirse la potencia.

La estrategia que se aplique a las asignaciones de frecuencia TTS examinadas en el § 4 debe permitir, en principio, el uso de las frecuencias de 12 y 17-18 GHz para las operaciones TTS durante cualquier fase de la vida del satélite. Sin embargo, habrá que respetar ciertas limitaciones de la p.i.r.e. a fin de evitar una excesiva interferencia al SRS o a otros servicios. Estas materias se examinan en los § 3 y 4. Sin embargo, la coordinación entre las administraciones afectadas puede resolver caso por caso los diversos problemas de carácter temporal que se planteen.

Desde el punto de vista de la gestión de frecuencias, se considera que la aplicación exclusiva de las frecuencias de 12 y 17-18 GHz será beneficiosa a largo plazo y debe constituir realmente la base de toda estrategia de asignación. Otras limitaciones, en particular la disponibilidad de redes de estaciones terrenas de TTS, pueden exigir la utilización de frecuencias más bajas durante la fase de transferencia y durante el comportamiento no nominal en órbita del vehículo espacial.

La polarización de las señales TTS en 12-18 GHz deberá ser la misma que la de las señales del servicio (radiodifusión) primario, lo que permitirá utilizar las mismas antenas de vehículo espacial durante los periodos nominales de control de estos vehículos. Desde el punto de vista de la explotación del enlace de conexión es preferible que exista polarización circular opuesta entre los enlaces Tierra-espacio y espacio-Tierra [Fromm y McEwan, 1981].

Utilizar las mismas antenas para la radiodifusión y las funciones TTS supone también la necesidad de que exista suficiente separación de frecuencias entre las señales TTS y la señal de radiodifusión más próxima en el mismo satélite. Conviene que esta separación sea, como mínimo, de unos 100 MHz para facilitar los requisitos de filtrado, pero pueden aceptarse separaciones menores del orden de sólo 30 a 40 MHz.

Los enlaces deben disponerse para cada vehículo espacial por separado durante el lanzamiento y la transferencia de órbita del mismo con dos o más estaciones terrenas en torno a la Tierra, y posteriormente con una estación terrena principal durante las operaciones nominales y no nominales en la órbita de los satélites geoestacionarios. Tendrán que incluirse márgenes adecuados para tener en cuenta los efectos atmosféricos. Serán obligatorios satélites de reserva para la mayor parte de los sistemas de radiodifusión por satélite operacionales, y será necesaria una asignación TTS individual para cada vehículo espacial. Los estudios efectuados indican que pueden ser necesarios hasta tres satélites en órbita para cualquier sistema nacional de radiodifusión por satélite. Esto significa que será preciso asignar hasta 48 canales TTS en el caso de que en cada ubicación de satélite se utilicen todos los canales disponibles de radiodifusión.

2.4 *Estaciones terrenas TTS*

Las principales estaciones terrenas deberán poder emplazarse en cualquier punto del territorio nacional del país al que da servicio o incluso fuera del mismo. Desde el punto de vista del seguimiento de la antena del vehículo espacial, es preferible un emplazamiento próximo al centro del haz. Sería conveniente utilizar antenas de estación terrena que tengan un diámetro que permita la reutilización de frecuencias TTS para satélites situados en posiciones orbitales nominales diferentes.

2.5 *Repercusiones en el Plan de radiodifusión directa por satélite de la Región 2* [CCIR, 1982-86b]

El Informe 952 describe la posibilidad de coubicar satélites de radiodifusión procediendo a un ligero espaciado de los satélites que tengan canales adyacentes de radiodifusión con polarización cruzada. El espaciado nominal propuesto de 0,4° proporciona un aislamiento mínimo de 10 dB para antenas de estación terrena de 5 m sobre la base de las características de lóbulos laterales recomendadas por el CCIR para esta aplicación. Este nivel de aislamiento es aplicable a las estaciones TTS y puede constituir otro factor de reducción de la interferencia entre las señales TTS y las señales de radiodifusión y de los enlaces de conexión.

2.6 *Técnicas alternativas de modulación* [CCIR, 1982-86a]

Actualmente, casi todos los servicios TTS utilizan técnicas tradicionales de modulación de la subportadora. Sin embargo, teniendo presentes las limitaciones de la anchura de banda, si se requieren muchos canales TTS, otras técnicas de modulación pueden ofrecer una solución a los posibles problemas de interferencia, en particular cuando se consideran las operaciones TTS durante las fases de lanzamiento, transferencia y comportamiento no nominal del vehículo espacial. Resultan prometedoras las técnicas de modulación de espectro ensanchado, en las que todos los satélites cubricados utilizarían las mismas frecuencias para la señal RF TTS, diferenciándose entre sí por la utilización de códigos especiales.

3. Consideraciones relativas a la compartición de frecuencias y la compatibilidad entre servicios

3.1 *Introducción*

La utilización de bandas de guarda para transmitir señales TTS plantea problemas sobre la compatibilidad mutua entre el servicio de operaciones espaciales y cualquier otro servicio que opere en la misma banda de frecuencias o en bandas próximas. Conviene considerar dos tipos de compatibilidad:

- La compatibilidad con los servicios que utilizan bandas adyacentes a las atribuidas al servicio de radiodifusión por satélite y a los enlaces de conexión. Por no disponerse de información, no se examina aquí este punto. Se necesitan nuevos estudios.
- La compatibilidad con el servicio de radiodifusión por satélite y el enlace de conexión. Las señales TTS pueden interferir a los servicios de radiodifusión en los canales inmediatamente adyacentes y sufrir interferencia de emisiones de radiodifusión fuera de banda desde el servicio (radiodifusión) primario. Esta interferencia mutua indica que se deberían definir relaciones de protección para asegurar la compatibilidad entre servicios. Tal compatibilidad dependerá de las características de los sistemas y, en particular, de las características de modulación de las señales TTS. En especial, se espera que el concepto clásico de subportadora TTS sea más sensible a las emisiones no deseadas que las técnicas de modulación de espectro ensanchado.

3.2 *Protección de canales adyacentes de radiodifusión contra señales TTS*

Las señales TTS no deben en ningún caso perturbar las emisiones de radiodifusión. En cuanto a los enlaces de conexión, pruebas realizadas en Francia [CCIR, 1982-86c] han demostrado que la relación de protección de los canales adyacentes frente a la suma de portadoras interferentes TTS debe ser igual a 20 dB:

$$P_{TV} / (P_{TTS})_{total} \geq 20 \quad \text{dB} \quad (1)$$

donde:

P_{TV} : potencia de la portadora de la señal del canal adyacente a la entrada del receptor de la carga útil del satélite,

$(P_{TTS})_{total}$: potencia de las portadoras interferentes TTS a la entrada del receptor de la carga útil del satélite.

Sin embargo, debido a que el efecto de la interferencia disminuye rápidamente a medida que aumenta la separación de frecuencias, entre las señales de radiodifusión y TTS, se ha demostrado que es suficiente una relación:

$$P_{TV} / P_{TTS} \geq 26 \quad \text{dB} \quad (2)$$

donde P_{TTS} es la potencia de una sola portadora interferente TTS a la entrada del receptor de la carga útil del satélite. Es necesario continuar los estudios para confirmar este valor.

3.3 *Protección de las señales TTS contra las señales de radiodifusión*

Teniendo en cuenta la importancia de las señales TTS para el funcionamiento adecuado del satélite, la transmisión de esas señales no debe resultar afectada por emisiones fuera de banda de las señales de televisión. Con respecto al enlace de conexión, la principal fuente de interferencia es la señal en el canal adyacente (canales 1 ó 40, en las Regiones 1 y 3). En Francia [CCIR, 1982-86d] se han realizado pruebas sobre estos riesgos de interferencia. Con las señales de televisión de que se dispone en el laboratorio, las pruebas han mostrado que para una señal de TTS la relación de protección siguiente es necesaria para una señal TTS adyacente al enlace de conexión (la separación nominal de frecuencias entre la señal TTS y la señal del enlace de conexión es igual a 13,5 MHz):

$$P_{TTS} / P_{TV} \geq -27 \quad \text{dB} \quad (3)$$

donde:

P_{TTS} : es la potencia de la portadora de la señal TTS a la entrada del receptor TTS del satélite.

P_{TV} : es la potencia de la portadora de la señal del enlace de conexión a la entrada del receptor TTS del satélite.

En el anexo I se indican las condiciones de prueba y los resultados detallados.

En relación con el enlace descendente, el problema de la interferencia es más complejo, debido a los productos de intermodulación en el repetidor del satélite y a otras fuentes de interferencia. Es necesario continuar los estudios al respecto. Provisionalmente, pueden aplicarse también al enlace descendente los requisitos de protección derivados para la interferencia de los enlaces de conexión.

4. Consideraciones relativas a las asignaciones de frecuencias TTS

La finalidad de toda asignación de frecuencia TTS debe ser proporcionar la máxima flexibilidad para el diseño de enlaces TTS, respetando todos los requisitos de protección. La máxima flexibilidad en el medio de que se trata se obtiene cuando los enlaces TTS, se explotan en un intervalo de frecuencia dado con la más amplia gama posible para las variaciones de las señales. El límite superior del nivel de la señal TTS está condicionado por la interferencia admisible en el canal de radiodifusión adyacente. El límite inferior se fija teniendo en cuenta la necesidad de proteger el propio enlace TTS. Este nivel depende en gran medida de los parámetros de modulación TTS. En el § 3 figuran datos típicos válidos del entorno de interferencia en las Regiones 1 y 3, y en el anexo I figura información complementaria.

4.1 *Atenuación atmosférica y despolarización*

La atenuación atmosférica y la despolarización afectan a los enlaces de radiodifusión por satélite, a los enlaces de conexión y a los enlaces TTS. En todo diseño hay que incluir márgenes adecuados para los enlaces. En el Informe 564 figuran datos pertinentes. En el requisito de disponibilidad del servicio aplicable para los enlaces TTS pueden influir condiciones específicas, pero, por lo que se refiere a este estudio, para las bandas de 12 GHz y 18 GHz, se suponen márgenes pluviométricos de 5 dB y 10 dB, respectivamente. Para sistemas TTS, conviene proporcionar una disponibilidad rebasada durante el 99,9% del mes más desfavorable. Cuando debido a la intensidad de la lluvia y al ángulo de elevación la atenuación rebasa los valores supuestos, puede ser preciso utilizar medios especiales, como la diversidad de emplazamientos.

Al determinar la máxima p.i.r.e. admisible para las señales TTS (técnicas de subportadora) tiene gran influencia la despolarización atmosférica. La despolarización debida a la lluvia, a falta de control de potencia, tiene generalmente poca importancia en la práctica, debido a la atenuación simultánea de la componente despolarizada. En cambio, la despolarización debida al hielo puede determinar una situación de interferencia crítica. Como se carece de información detallada, se sugiere suponer factores de despolarización de -20 dB y -15 dB para los enlaces de 12 GHz y 18 GHz respectivamente.

4.2 *Modulación de las subportadoras*

Al aplicar los requisitos de protección del § 3 para la interferencia mutua entre enlaces de radiodifusión, enlaces de conexión y TTS, resulta evidente la necesidad de aislar los enlaces interferentes mediante polarizaciones ortogonales. Esto, junto con los requisitos del sistema considerados en los § 2.1 y 2.2, nos lleva a la noción de asignación generalizada de frecuencias y polarización que se ilustra en la fig. 2a. Esa noción se ha desarrollado en torno al Plan de enlaces descendentes para las Regiones 1 y 3, y supone tácitamente que el Plan de los enlaces de conexión consistirá en una transposición de ese Plan de enlaces descendentes. Utiliza la regularidad de las asignaciones de radiodifusión. A los enlaces de conexión y de radiodifusión, así como a los enlaces de servicio de los vehículos espaciales que han de trabajar con zonas de servicio adyacentes se les han asignado frecuencias con polarizaciones ortogonales.

Algunas posiciones orbitales disponen, para sus canales primero y último, de asignaciones de frecuencias en una sola polarización. En tales casos, puede considerarse una disposición de frecuencias alternativas para canales TTS, conforme se muestra en la fig. 2b. Esta noción es totalmente compatible con la de la fig. 2a, sin ningún requisito de anchura de banda adicional. La diferencia consiste en que todos los enlaces TTS se encuentran en polarización opuesta con respecto a los canales interferente e interferido del enlace de radiodifusión o del enlace de conexión.

Conforme se dice en el § 2, a todo sistema de satélites se le asignará una anchura de banda de 1200 kHz. Para tener en cuenta el desacoplamiento entre sistemas de satélites, debe insertarse una banda de guarda de unos 100 a 300 kHz. Esto puede plantear en algunos casos problemas con la anchura de banda disponible en la banda de guarda, pero, en la mayoría de los casos prácticos, pueden acomodarse todas las señales TTS. Es preciso seguir estudiando nociones específicas para asignaciones de frecuencias detalladas.

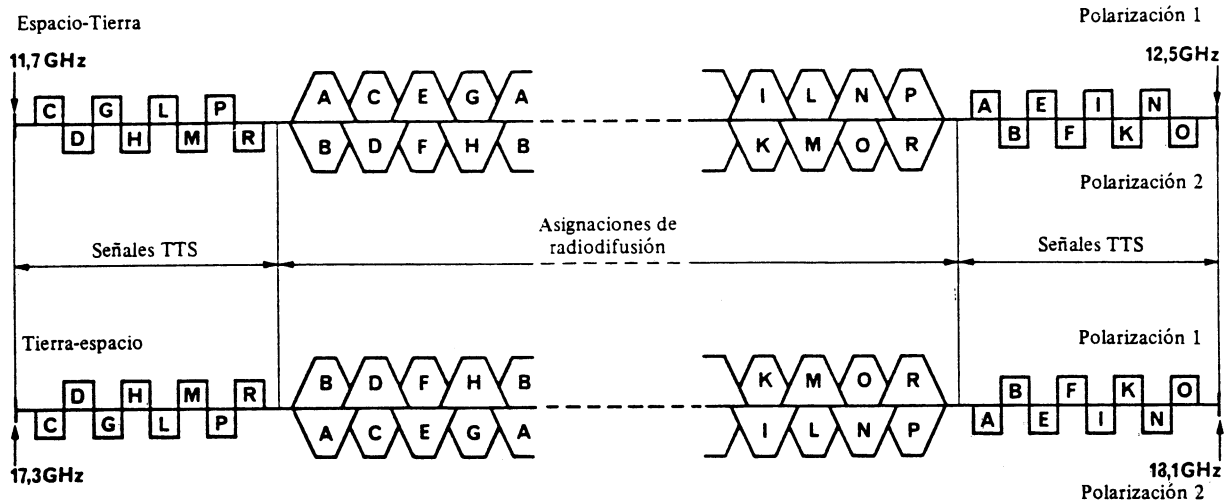


FIGURA 2a – Propuesta de asignaciones TTS para satélites de radiodifusión suponiendo técnicas de modulación de subportadoras para las señales TTS: Noción generalizada para asignaciones en la Región 1

Nota 1. – A a R denota zonas de servicio o países.

Nota 2. – La noción para la Región 3 puede derivarse introduciendo las frecuencias y el número de canales aplicables.

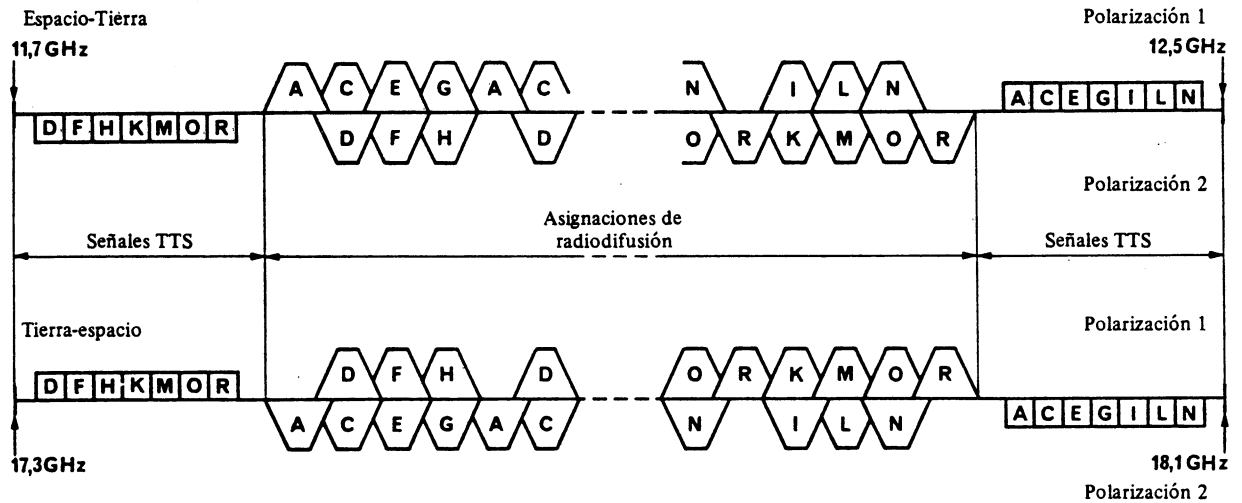


FIGURA 2b – Propuesta de asignaciones TTS para satélites de radiodifusión suponiendo técnicas de modulación de subportadoras para las señales TTS: Noción de atenuación (véase texto)

Nota 1. – A a R denota zonas de servicio o países.

Nota 2. – La noción para la Región 3 puede derivarse introduciendo las frecuencias y el número de canales aplicables.

Para proteger los canales primero y último de los enlaces de radiodifusión o de conexión hay que especificar una p.i.r.e. máxima admisible para las señales TTS de subportadoras. Desde el punto de vista de la interferencia, esto sólo será necesario para los canales TTS más próximos al canal de enlace de radiodifusión o de conexión, pero las consideraciones de homogeneidad global del sistema aconsejan aplicar generalmente un nivel máximo. También habrá que tener en cuenta los márgenes para la atenuación atmosférica y la despolarización. Sin embargo, no parece necesario suponer una atenuación simultánea en el enlace de conexión o en el enlace de radiodifusión, ni la despolarización debida al hielo en el enlace TTS. Para información más detallada, véase una consideración análoga sobre los enlaces de conexión [Fromm y McEwan, 1981]. Partiendo de este supuesto, la máxima p.i.r.e. admisible para los enlaces TTS se calcula como sigue (todos los valores están expresados en dB):

Dirección Tierra-espacio:

$$p.i.r.e.TTS \leq p.i.r.e.TV - PR + 15 \quad \text{dB}$$

Dirección espacio-Tierra:

$$p.i.r.e.TTS \leq p.i.r.e.TV - PR + 20 \quad \text{dB}$$

donde:

$p.i.r.e.TTS$: p.i.r.e. máxima admisible de las señales TTS;

$p.i.r.e.TV$: p.i.r.e. nominal del canal del enlace de radiodifusión o del enlace de conexión interferido;

PR : relación de protección para señales TTS que interfieren a los canales de radiodifusión/de enlaces de conexión (véase el § 3).

Los valores «15 dB» y «20 dB» se han tomado del § 4.1, y representan las despolarizaciones atmosféricas en el caso más desfavorable. En el anexo II se dan presupuestos de los enlaces típicos que satisfacen estos requisitos.

El aislamiento por polarización cruzada global con cielo despejado es del orden de 25 dB, debido al imperfecto rendimiento de las antenas. Esto indica que los márgenes de protección para los enlaces de radiodifusión o de conexión superiores a 5 dB y 10 dB, respectivamente, requerirían una especificación distinta de la máxima p.i.r.e. admisible de enlaces TTS en ambas direcciones:

$$p.i.r.e.TTS \leq p.i.r.e.TV - PR - ATT + 25 \quad \text{dB} \quad (4)$$

donde:

ATT : atenuación admisible (proyectada) en el enlace de conexión (Tierra-espacio) (> 10 dB) o en el enlace de radiodifusión espacio-Tierra (> 5 dB).

Las nociones propuestas para la asignación de frecuencias TTS evitan la reutilización de frecuencias, por lo que son compatibles sobre todo con las antenas TTS omnidireccionales o similares del vehículo espacial, con un escaso rendimiento de polarización cruzada. Esas antenas serían necesarias si los enlaces TTS en 12 GHz y 18 GHz funcionaran también durante el lanzamiento del satélite, la transferencia o el comportamiento no nominal del vehículo espacial en órbita. Evidentemente, esas operaciones han de ajustarse a los requisitos de protección considerados, pues, de no ser así, las administraciones interesadas habrán de coordinar las desviaciones temporales de los mismos. En particular, los niveles de la p.i.r.e. requeridos para las señales TTS de los enlaces de conexión sobre las antenas omnidireccionales de los vehículos espaciales pueden exceder del valor máximo permitido. Esto podría conducir a situaciones de interferencia críticas, y se requerirá una coordinación especial para tales casos. Se espera que la aplicación del concepto de frecuencia con desacoplamiento por polarización ortogonal, presentado en la fig. 2b, ha de facilitar esta coordinación de frecuencias.

En el anexo II figuran ejemplos de presupuestos de enlaces, así como otras observaciones.

4.3 Otras técnicas de modulación TTS

La noción de asignación de frecuencias sugerida en el § 4.2 supone que toda otra técnica de modulación TTS ha de ser compatible con la anchura de banda y con las asignaciones de la p.i.r.e. analizadas en el § 4.2. De disponerse de una técnica como la modulación de espectro ensanchado, ésta no es probable que cause ninguna interferencia adicional considerable en comparación con las señales de subportadora. Además otras técnicas de modulación TTS deben poder coexistir con esas señales. Esto se considera posible con las técnicas de espectro ensanchado, aunque deben realizarse más estudios detallados. En el anexo III se considera una noción preliminar, que puede facilitar la explotación simultánea de enlaces TTS nominales y los requeridos para el lanzamiento del satélite, su transferencia y su comportamiento no nominal en órbita.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FROMM. H. H. y McEWAN. N. J. [mayo de 1981] Direct broadcast satellite feeder links: an example of possible implications of the Regions 1 and 3 Plan for feeder links to European broadcast satellite. ITU/Canada Seminar on RARC 1983, Ottawa, Ontario, Canadá.

Documentos del CCIR

[1978-82] a. 10-11S/178 (ESA); b. 10-11S/153 (Francia).

[1982-86] a. 10-11S/35 (ESA); b. 10-11S/26 (Estados Unidos de América); c. 10-11S/8 (Francia); d. 10-11S/9 (Francia).

ANEXO I

PROTECCIÓN DE LAS SEÑALES DE TTS CONTRA UN CANAL
ADYACENTE DE TELEVISIÓN PARA EL ENLACE DE CONEXIÓN

Se han efectuado pruebas en Francia sobre los problemas de la interferencia causada a señales de TTS (telemando y teledida) por un canal adyacente de televisión para el enlace de conexión. En las pruebas se utilizó el equipo de una estación terrena del servicio de operaciones espaciales y un modelo de receptor de telemando del satélite. Para las señales de TTS se emplearon técnicas convencionales de modulación de la subportadora. Los elementos interferentes de televisión eran compatibles con las características técnicas de los canales radioeléctricos especificados en las Actas Finales de la CAMR-RS-77. También se utilizó la dispersión de energía (600 kHz). La portadora de televisión estaba modulada por las señales de video y de sonido siguientes:

- líneas de prueba del CCIR (17, 18, 330, 331), líneas de blanco, gris y negro o carta de ajuste SECAM;
- dos subportadoras de sonido analógicas.

Las mediciones se efectuaron en el enganche de la portadora, la proporción de bits erróneos en la señal de telemando y el error en la teledida. Con las señales de video y sonido disponibles en el laboratorio, el caso más desfavorable de interferencia estaba producido por líneas discretas provocadas por emisiones de espectro de televisión fuera de banda, que incidían en la banda de TTS. Estas líneas discretas tenían una potencia equivalente a -30 dB (siendo el nivel de referencia de 0 dB la potencia total del canal de televisión adyacente). Este valor de -30 dB corresponde a una densidad espectral de potencia de -50 dB(W/Hz) en una banda de 4 kHz, habida cuenta de la dispersión de energía. Este valor es compatible con la información dada en el Informe 807 sobre las envolventes típicas fuera de banda del espectro de televisión. En este caso, las pruebas dieron una relación de protección de -27 dB para la señal de TTS cuando está situada en el borde del canal adyacente de televisión.

En vista del número limitado de señales de video que se utilizaron en las pruebas, para obtener el caso más desfavorable de interferencia se han tomado en cuenta otras consideraciones sobre el valor máximo de las líneas discretas en la banda de TTS. En ese caso, las mediciones dieron una relación de protección de -17 dB, que corresponde a líneas discretas instantáneas que pueden alcanzar un nivel de -20 dB (con relación a la potencia total del canal adyacente de televisión). Hay que proseguir los estudios para confirmar este valor, probablemente pesimista, de -20 dB.

ANEXO II

ENLACES TTS DE SUBPORTADORAS

1. Ejemplo de presupuestos de enlace para enlaces TTS de subportadoras [CCIR, 1982-86a]

Estos presupuestos de enlace se ofrecen sólo a título de ilustración. Se explican las hipótesis cuando sea necesario. Los presupuestos para diseños de satélites específicos pueden ser distintos.

1.1 Enlace Tierra-espacio

1.1.1 Operaciones nominales

En el cuadro I se presenta un presupuesto de enlace que es válido para el funcionamiento nominal del vehículo espacial en la órbita de los satélites geoestacionarios. Se hace una distinción entre las funciones clásicas de telemando y teledida y los requisitos específicos debidos a la detección de radiofrecuencia que realmente determinan el diseño del enlace.

1.1.2 Operación no nominal

En el cuadro II se presenta un presupuesto de enlace que se refiere a operaciones durante la transferencia del satélite y durante el funcionamiento no nominal del vehículo espacial en la órbita de los satélites geoestacionarios.

CUADRO I – Ejemplo de presupuesto de enlace para funcionamiento nominal, enlaces TTS de subportadoras

	Parámetro del enlace	Funciones de telemando y teledada	Función de detección de RF	Observaciones
1	C/N_0 (dB(Hz))	60	60	Necesario para la detección de RF
2	Ganancia de la antena de recepción del vehículo espacial (dBi)	40	26 ⁽¹⁾	Ganancia de detección RF inferior debido a la pérdida por acoplamiento
3	Temperatura de ruido térmico en recepción (dBK)	33	43 ⁽¹⁾	Temperatura de ruido de detección RF más elevada debido a conmutación de redundancia
4	Densidad de potencia de ruido en recepción (dB(W/4 kHz))	-160	-150	A la entrada de recepción
5	Densidad de flujo de potencia interferente en recepción (dB(W/(m ² · 4 kHz)))	-148		Se supone una $p.i.r.e._{TV} = 85$ dBW. Ganancia por polarización cruzada 20 dB y espectro de ± 15 MHz respecto a la frecuencia central (-50 dB(W/4 kHz))
6	Densidad de potencia interferente en recepción (dB(W/4 kHz))	-154	-168	(5) + (2) - 46 dB(m ²)
7	Densidad de potencia de ruido total en recepción, N_0 (dB(W/4 kHz))	-154	-150	Suma de (4) y (6)
8	Nivel de recepción necesario a la entrada del receptor (dBW)	-130	-126	
9	Margen del enlace (dB)	10		Margen de atenuación debida a la lluvia (véase el § 4.1)
10	p.i.r.e. necesaria de la estación terrena (dBW)	49	67	Puede ser necesario aplicar un nivel superior
11	p.i.r.e. admisible máxima según el § 4 (dBW)	69		Se supone una $p.i.r.e._{TV,min} = 80$ dBW

(¹) Los datos se refieren a un diseño de satélite particular y no son de aplicación general.

CUADRO II – Ejemplo de presupuesto para órbita de transferencia del satélite y operaciones no nominales, enlaces TTS de subportadoras

	Parámetros del enlace	Funciones de telemando y teled medida	Observaciones
1	C/N_0 necesaria en recepción (dB(Hz))	45	(¹)
2	Ganancia de la antena de recepción del vehículo espacial (dBi)	-6	Antena omnidireccional
3	Pérdidas a bordo (dB)	2	Conmutación, longitudes de guíasondas
4	Densidad de potencia de ruido de recepción (dB(W/4 kHz))	-160	$T = 2000$ K
5	Densidad de flujo de potencia interferente en recepción (dB(W/(m ² · 4 kHz)))	-128	Se supone $p.i.r.e.TV = 85$ dBW sin ganancia por polarización cruzada y espectro de ± 15 MHz respecto a la frecuencia central (-50 dB(W/4 kHz))(²)
6	Densidad de potencia interferente en recepción (dB(W/4 kHz))	-182	A la entrada del receptor
7	Densidad de potencia del ruido total (dB(W/4 kHz))	-160	Suma de (4) y (6) (en el enlace predominaba el ruido)
8	Nivel mínimo necesario de la portadora en recepción	-151	
9	Margen de aplicación (dB)	10	Margen de atenuación debida a la lluvia (véase el § 4.1)
10	Máxima pérdida por dispersión (dB(m ²))	163	
11	p.i.r.e. necesaria de transmisión en la estación terrena (dBW)	74	Puede necesitarse coordinación especial (³)

(¹) El valor común para las funciones tradicionales de servicio del vehículo espacial en la banda de 2 GHz es de 40 dB netos. Sin embargo, es posible que este valor no sea suficiente para esta aplicación concreta, en vista de la frecuencia de transmisión más elevada. Por esa razón, se ha supuesto aquí un valor superior. Con todo, el valor en la realidad puede ser superior al estimado y, por tanto, se necesitan ulteriores estudios para establecer un presupuesto fiable del enlace.

(²) La antena de recepción del vehículo espacial tendrá un aislamiento contrapolar muy limitado, pero no se cree que esto influya considerablemente en la densidad de potencia de ruido total, por lo que se ha despreciado.

(³) Si las asignaciones de frecuencia TTS se utilizan con arreglo a la fig. 1a, con el posible riesgo de un desacoplamiento insuficiente entre el canal de TTS y los enlaces de conexión adyacentes copolares, este desacoplamiento debe realizarse mediante la antena receptora del enlace de conexión a bordo del satélite interferido. Se estima que este desacoplamiento será del orden de 20 a 30 dB, valor que se conseguirá normalmente con los diagramas de radiación copolar de las antenas receptoras del satélite.

1.2 Enlaces espacio-Tierra

1.2.1 Operación nominal

CUADRO III – Ejemplo de presupuesto para operación nominal, enlaces TTS de subportadoras

	Parámetros del enlace	Funciones de telemando y teledemida	Observaciones
1	C/N_0 necesaria en recepción (dB(Hz))	55	Suficiente para una buena calidad de la señal de teledemida
2	Ganancia de la antena de la estación terrena en recepción (dBi)	53	Antena de 5 m
3	Temperatura de ruido de la estación terrena en recepción (K)	500	Receptor de bajo ruido
4	Densidad de potencia de ruido en recepción (dB(W/4 kHz))	-165	
5	Densidad de flujo de potencia interferente en recepción (dB(W/(m ² · 4 kHz)))	-170	$DFP_{TV} = -100$ dB(W/m ²) ganancia por polarización cruzada de 20 dB y espectro de ± 15 MHz respecto a la frecuencia central (-50 dB(W/4 kHz))
6	Densidad de potencia interferente en recepción (dB(W/4 kHz))	-160	(5) + (2) - 43 dB(m ²)
7	Densidad de potencia de ruido total (dB(W/4 kHz))	-159	(6) + (4) con predominio marginal de la interferencia
8	Pérdida por dispersión (dB(m ²))	163	Órbita geoestacionaria
9	Margen del enlace (dB)	5	Margen de atenuación debida a la lluvia (véase el § 4.1)
10	p.i.r.e. mínima necesaria del satélite (dBW)	18	Fácilmente realizable con una antena de transmisión de elevada ganancia
11	p.i.r.e. admisible máxima (dBW)	37	El límite se determina por el límite de densidad de flujo de potencia admisible

DFP: Densidad de flujo de potencia.

1.2.2 *Funcionamiento no nominal*CUADRO IV – *Ejemplo de presupuesto para órbita de transferencia del satélite y operación no nominal en órbita, enlaces TTS de subportadoras*

	Parámetros del enlace	Funciones de telemando y telemedida	Observaciones
1	C/N_0 necesaria en recepción (dB(Hz))	33	Requisito neto sin inclusión de márgenes ⁽¹⁾
2	Ganancia de la antena de recepción de la estación terrena (dBi)	53	Antena de 5 m
3	Temperatura de ruido de recepción de la estación terrena (K)	500	Calidad típica
4	Densidad de potencia de ruido en recepción (dB(W/4 kHz))	-165	
5	Densidad de flujo de potencia interferente en recepción (dB(W/(m ² · 4 kHz)))	-170	$DFP_{TV} = -100$ dB(W/m ²), 20 dB de ganancia por polarización cruzada y espectro de ± 15 MHz respecto a la frecuencia central (-50 dB(W/4 kHz))
6	Densidad de potencia interferente en recepción (dB(W/4 kHz))	-160	(5) + (2) - 43 dB(m ²)
7	Densidad de potencia de ruido total (dB(W/4 kHz))	-159	(6) + (4) el enlace está marginalmente dominado por la interferencia
8	Pérdida por dispersión (dB(m ²))	163	Órbita de los satélites geoestacionarios
9	Margen del enlace	10 dB	Margen de atenuación debida a la lluvia (véase el § 4.1) y pérdidas de aplicación
10	p.i.r.e. mínima necesaria del satélite (dBW)	1	
11	Ganancia de la antena de emisión del satélite (dBi)	-6	Cobertura casi omnidireccional
12	Pérdidas (dB)	2	
13	Potencia de transmisión necesaria (dBW)	9	8 W, requiere un amplificador de TOP

(¹) Este requisito neto es común para las funciones tradicionales del servicio de operaciones de los vehículos espaciales que funcionan en la banda de 2 GHz, pero puede no ser suficiente para esta aplicación si se consideran la banda de frecuencias bastante más alta y las desviaciones causadas por el efecto Doppler. Es necesario continuar los estudios para poder establecer un enlace fiable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Documentos del CCIR

[1982-86]: a. 10-11S/35 (ESA).

ANEXO III

ENLACES TTS CON TÉCNICAS DE ESPECTRO ENSANCHADO

1. Ejemplo de presupuestos para enlaces TTS con espectro ensanchado [CCIR, 1982-86a]

Estos presupuestos de enlaces se ofrecen sólo a título de ilustración. A falta de un concepto específico, los cálculos se basan en la fórmula y los parámetros siguientes:

$$(C/N)_{FI} = \frac{C \cdot D}{\frac{1}{2} C \cdot N \cdot P \cdot B + kTB + \frac{N \cdot B}{4 \text{ kHz}}} \quad (5)$$

donde:

- $(C/N)_{FI}$: relación portadora/ruido en la anchura de banda B (Hz),
 D : pérdida de aplicación, 5 dB,
 P : $1/\text{velocidad de chips}$ ($3,1 \times 10^6$)⁻¹,
 B : anchura de banda de FI, 250 Hz,
 N_0 : densidad espectral de potencia fuera de la banda de TV, 60 dB por debajo de la portadora en 4 kHz; demuestra no ser crítica para el diseño del enlace debido a la ganancia de polarización cruzada adicional (20 dB),
 k : constante de Boltzmann = $-228,6 \text{ dB(W(K}^{-1}\text{))}$,
 T : temperatura de ruido del receptor (K),
 N : número de usuarios, 25,
 $(C/N_0)_{FI}$: relación portadora/densidad de ruido, $(C/N)B$ (dBHz).

1.1 Enlace Tierra-espacio

1.1.1 Detección RF (incluye telemando/telemidada)

Suponiendo:

$$C/N_0 = 45 \text{ dBHz.}$$

Nota. – No son realizables relaciones mucho mayores, pues esto requiere un diseño de detección RF especial. Queda por evaluar la influencia de los desvanecimientos atmosféricos.

$$T = 20\,000 \text{ K, detección RF}$$

y utilizando la fórmula (5) se obtiene:

$$C = -133 \text{ dBW}$$

Empleando los mismos datos del enlace que en las técnicas de subportadoras, es decir:

Ganancia de la antena de recepción del satélite:	26 dBi
Pérdida por dispersión:	163 dB(m ²)
Margen de desvanecimiento:	10 dB

se obtiene una p.i.r.e. de 60 dBW.

1.1.2 Funciones de telemando/telemidada sólo durante el funcionamiento en órbita no nominal y durante la transferencia

Suponiendo:

$$C/N_0 = 34 \text{ dBHz.}$$

$$T = 2000 \text{ K, receptor de telemando}$$

y utilizando la fórmula (5) se obtiene:

$$C = -157 \text{ dBW}$$

Empleando los mismos datos del enlace que en las técnicas de la subportadora, es decir:

Ganancia de la antena de recepción del satélite:	-6 dBi
Pérdida por dispersión:	163 dB(m ²)
Margen de desvanecimiento:	15 dB

se obtiene una p.i.r.e. de 73 dBW.

Esta última p.i.r.e. es mayor que la necesaria para la operación nominal y por tanto necesita aplicarse a lo largo de todas las fases de la misión.

1.2 Enlaces espacio-Tierra

El enlace determinante es el necesario durante la transferencia del satélite y la operación no nominal en órbita.

Suponiendo:

$C/N_0 = 34$ dBHz, suficiente para 125 bit/s,

Antena de recepción = 53 dBi, antena de estación terrena de 5 m

$p.i.r.e._{TV} = 63$ dBW, reducida por una ganancia por polarización cruzada de 20 dB,

y utilizando la fórmula (5) se obtiene:

$$C = -161 \text{ dBW}$$

Empleando los mismos datos del enlace que en las técnicas de subportadoras, es decir:

Pérdida por esparcimiento: 163 dB(m²)

Margen: 10 dB

se obtiene una p.i.r.e. de 2 dBW.

Esta p.i.r.e., empleando una antena de transmisión de vehículo espacial omnidireccional de -6 dBi y pérdidas en los cables de 2 dB, requiere una potencia de transmisión de 10 dBW (10 W). Esto puede obtenerse con un amplificador por tubo de ondas progresivas (TOP).

2. Ejemplo de plan de frecuencias

En la fig. 3 se ilustra un ejemplo de plan de frecuencias:

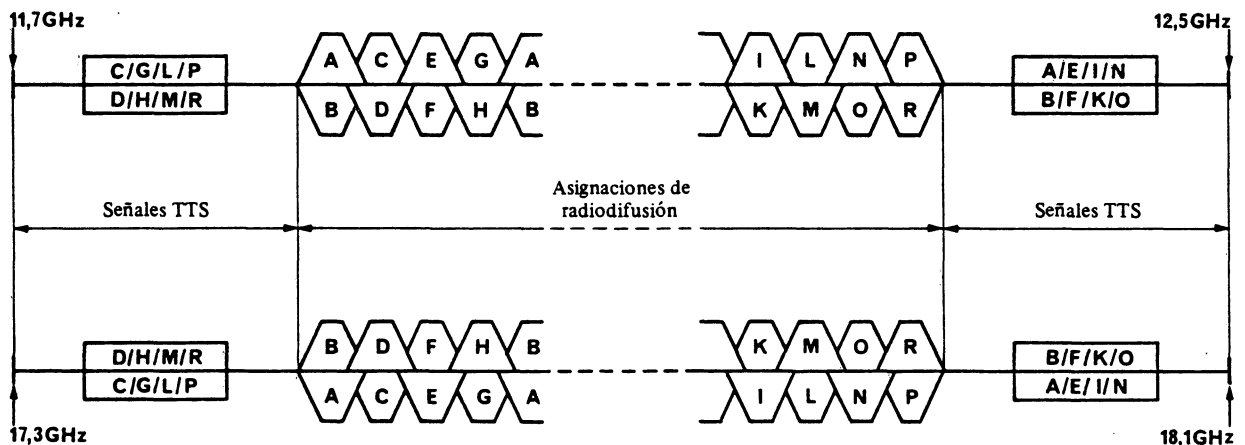


FIGURA 3 - Propuesta de asignaciones TTS para satélites de radiodifusión que utilizan técnicas de modulación de espectro ensanchado para las señales TTS

Nota 1. - A a R denotan zonas de servicio o países.

Nota 2. - Las asignaciones para transmisiones de espectro ensanchado requieren un nuevo enfoque de la coordinación de frecuencias. La supresión de la interferencia se logra aplicando más bien la distinción de códigos que la separación de frecuencias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Documentos del CCIR

[1982-86]: a. 10-11S/35 (Agencia Espacial Europea).