

SECCIÓN 10/11D: PLANEAMIENTO

INFORME 633-3

**PLANIFICACIÓN DE LA ÓRBITA Y DE LAS FRECUENCIAS
EN EL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN POR SATÉLITE**

(Cuestión 1/10 y 11 y Programa de Estudios 1A/10 y 11)

(1974-1978-1982-1986)

1. Introducción

El establecimiento de servicios de radiodifusión por satélite en los países de una Región exige una cuidadosa planificación de la adjudicación de frecuencias y de la posición de los satélites a fin de reducir las interferencias a un nivel aceptable. En el presente Informe se tratan los problemas de la planificación, principalmente en la banda de 12 GHz, indicándose en líneas generales los parámetros que intervienen en la preparación de un plan, así como los métodos para evaluar las posibilidades de acierto y la eficacia de los planes.

Se comienza por mencionar las siguientes características de la planificación, por ser de naturaleza general y aplicables a los servicios que trabajan en todas las bandas consideradas:

- se supone que todos los servicios de radiodifusión por satélite del mismo tipo y destinados a una misma zona de servicio se proporcionarían generalmente desde una misma posición de la órbita de los satélites geostacionarios, para permitir el uso de antenas receptoras fijas. Algunas importantes excepciones son los servicios destinados a distintos sectores del público (por ejemplo, programas para recepción individual y programas para recepción comunal), necesidades de zonas de servicio excepcionalmente amplias satisfechas mediante la utilización de más de un satélite por zona de servicio, y los servicios prestados a zonas con solape parcial intencionado entre zonas de servicio situadas dentro del territorio de una administración (por ejemplo, para permitir que el territorio sea servido por un número de satélites inferior al autorizado durante las fases iniciales de realización del Plan);
- para calcular la relación señal deseada/señal interferente en el caso de la presencia de varias señales interferentes, se puede calcular la señal interferente total sumando las potencias componentes de las señales interferentes recibidas por la antena;
- en lo posible, la zona de cobertura debe ser la mínima necesaria para facilitar la cobertura requerida;
- aunque se acuerde un plan basado en ciertos parámetros técnicos (por ejemplo, anchura del canal y separación entre canales), una administración puede realizar sistemas con parámetros distintos de los acordados, siempre que no provoque una interferencia mayor que la que causaría, o exija mayor protección frente a la interferencia que la necesaria, si se hubiera adaptado a los parámetros acordados;
- si existe el propósito de explotar inicialmente un servicio de radiodifusión por satélite para recepción comunal y, posteriormente explotar también servicios de radiodifusión por satélite para recepción individual en la misma banda de frecuencias, ambos servicios deben emplear el mismo sistema de modulación para facilitar la compatibilidad. En tales condiciones, sería también necesario suponer criterios de compartición que permitan tener en cuenta las características de los servicios de radiodifusión requeridas en último término. Sin embargo, si un sistema está diseñado para la recepción comunal de forma permanente y no se prevé el empleo ulterior de la misma banda de frecuencias para la recepción individual, la previsión de criterios de compartición más rigurosos que los necesarios para el sistema planificado podría entrañar un desperdicio de los recursos;
- todas las señales transmitidas desde una misma posición orbital y destinadas a un mismo sector del público deben tener generalmente la misma polarización, sin embargo, cuando las necesidades de servicios sean excepcionalmente grandes, puede ser necesario utilizar ambas polarizaciones (en los canales intercalados que se tratan en el § 2.1.2) desde la misma posición orbital y destinadas al mismo sector de oyentes.

Los § 2 a 8 tratan de la planificación de la banda de 12 GHz en términos generales, y los § 9 y 10 tratan de los resultados de la planificación de la banda de 12 GHz en las Regiones 1 y 3, y en la Región 2, respectivamente. El § 11 examina la planificación de satélites de radiodifusión en otras bandas y el § 12 se ocupa de las funciones de servicio del vehículo espacial.

2. Directrices para una planificación eficaz

2.1 Principios generales

La planificación debería utilizar los siguientes principios, en armonía con las demandas de servicios formuladas por las administraciones individualmente y en la máxima medida posible, con objeto de obtener una utilización muy eficaz de la órbita y del espectro.

2.1.1 Polarización ortogonal

La polarización ortogonal ofrece la posibilidad de reducir considerablemente las interferencias mutuas y, por tanto, permite una mayor utilización de la órbita y del espectro. Cuando se utilice en combinación con la intercalación de frecuencias, puede asegurar la suficiente discriminación para permitir la reutilización de la banda de frecuencias en el mismo sistema por satélite. Cuando se utilice en satélites adyacentes, la discriminación adicional puede dar lugar a una disminución de la separación entre ellos equivalente, en muchos casos, a un 50% aproximadamente. En algunos sistemas, el mantenimiento del ángulo de polarización apropiado en todas las instalaciones receptoras puede entrañar toda una serie de problemas, que deben ser examinados antes de aplicar el principio. La utilización de esta técnica se trata también en los Informes 555 y 814.

Conviene observar que este principio no implica que los satélites adyacentes deban utilizar siempre la polarización contraria, sino que debe hacerse de la polarización el uso más eficaz posible. Así, por ejemplo, si las zonas de servicio de dos satélites se hallan bastante separadas, los satélites pueden estar muy cerca uno del otro, aunque empleen la misma polarización. Un tercer satélite que cubra una zona más cercana a la zona servida por el primero, deberá utilizar una polarización contraria.

2.1.2 Intercalación de frecuencias

La intercalación de frecuencias o la técnica de desplazar las frecuencias portadoras de un satélite (o de un conjunto de transpondedores de un mismo satélite), con respecto a las frecuencias portadoras de otro, permite reducir las interferencias. El principio propuesto es que esta técnica se utilice siempre que sea posible. De nuevo, este principio no obliga a aplicar la intercalación de frecuencias en satélites adyacentes, sino que debe aplicarse de modo que permita la utilización más eficaz de la órbita y del espectro. En general, esto significa que deben intercalarse las frecuencias en los satélites que cubren zonas relativamente cercanas entre sí, pero no intercaladas en satélites que cubran zonas muy distantes. Igualmente, una administración que tiene asignado un bloque de frecuencias en una determinada posición orbital, puede elegir el empleo de canales contiguos no intercalados.

La aplicación del principio de la intercalación de frecuencias puede ser difícil cuando diferentes sistemas utilicen transpondedores con anchuras de banda muy distintas y con señales de portadoras múltiples. El empleo de la intercalación de frecuencias puede todavía asegurar algunas ventajas, pero el principio debe asentarse de una manera más general para evitar toda coincidencia de frecuencias portadoras.

2.1.3 Geometría de trayectos cruzados

La geometría de trayectos cruzados se basa en el principio de que pueden lograrse mejoras considerables en la utilización del espectro y la órbita si los satélites adyacentes cubren zonas separadas, al menos por otra zona de servicio intercalada. Si la zona de servicio intercalada es relativamente amplia, los satélites adyacentes pueden situarse relativamente próximos.

2.1.4 Agrupación

Las administraciones que tienen necesidades de servicio que exceden la capacidad de un solo satélite pueden elegir la colocación de dos o más satélites en una sola posición orbital nominal. Esa agrupación de satélites puede permitir la utilización de toda la banda disponible para una determinada zona de servicio a partir de una sola posición orbital. Es posible que los satélites situados en la misma posición nominal tengan que estar ligeramente separados para evitar colisiones, interferencia excesiva del enlace de conexión, etc.

2.1.5 Homogeneidad de los sistemas

Se logrará una máxima eficacia en la utilización de la órbita si todos los satélites en una posición de la órbita transmiten con la misma p.i.r.e. cada señal de televisión. Sin embargo, puede haber razones para cierta inhomogeneidad entre diversos sistemas, debido a que se requieren distintos márgenes de propagación en distintas zonas de servicio, a la existencia de terminales de recepción con distintos valores G/T en diversos sistemas, etc. El efecto de esta inhomogeneidad en la eficacia de la utilización de la órbita requiere nuevos estudios. El Informe 453 ofrece información a este respecto.

2.1.6 Consideraciones sobre enlaces de conexión

La planificación de enlaces de conexión se examina en el Informe 952. Cuando se planifican al mismo tiempo el enlace de conexión y el enlace descendente, puede recurrirse a soluciones transaccionales considerando conjuntamente la calidad global de funcionamiento del enlace de conexión y del enlace descendente. Esto se aplica en particular a las características de relación de protección y dispersión de energía (véase el Informe 215).

Pueden existir casos en los que la zona desde la que se establece el enlace de conexión y la zona de servicio cubierta, no coincidan. Por ejemplo, una administración cuyo territorio abarque varios husos horarios puede considerar deseable servir cada huso horario desde una posición orbital diferente para lograr mejor protección frente a un eclipse y simultáneamente poder acceder a cada satélite desde cualquier punto de su país que tenga un ángulo de elevación adecuado. Esos casos recibieron especial atención en la CARR SAT-83, que demostró las ventajas de la planificación simultánea de los enlaces de conexión y los enlaces descendentes.

2.1.7 Relación de protección

La relación de protección para una sola fuente interferente adoptada en el plan para las Regiones 1 y 3 por la CAMR-RS-77 es de 35 dB. Según el diagrama de antena transmisora de satélite indicado en el apéndice 30 del Reglamento de Radiocomunicaciones, hay una discriminación de 35 dB cuando las zonas de servicio están separadas 5,2 veces la abertura angular del haz, reduciéndose a 30 dB para una separación de 1,58 veces la abertura angular del haz. Por tanto, para esta menor separación no se cumplirá el requisito de una relación de protección de 35 dB. Sin embargo la influencia en la capacidad órbita-espectro sería importante si una relación de protección de 30 dB, para una sola fuente de interferencia, pudiese ser un compromiso aceptable, teniendo en cuenta el aumento de la capacidad órbita-espectro o el aumento de la flexibilidad en la ubicación de satélites de radiodifusión.

La CARR SAT-83 adoptó una relación de protección cocanal compuesta de 28 dB para la Región 2, correspondiente a una relación de protección para una sola fuente de unos 32 dB. Esta es una de las razones por las que el Plan de la Región 2 permitió separaciones entre satélites menores en algunos casos, que el Plan para las Regiones 1 y 3.

2.2 Consideraciones geográficas

Las características geográficas afectan a la utilización de la órbita geoestacionaria de dos modos: determinan los arcos de servicio utilizables para determinadas zonas de servicio e interactúan en varios grados con las tres técnicas empleadas para la reutilización de las mismas frecuencias.

2.2.1 Arcos de servicio

El arco de servicio de una zona de servicio determinada depende directamente de las características geográficas de latitud, tamaño y forma. Requisitos particulares relativos al ángulo de elevación mínimo y a la protección contra eclipses pueden imponer restricciones adicionales.

Por ejemplo, los estudios de 12 zonas de servicio de tamaño mediano muestran que el arco medio disponible (sujeto a las limitaciones de ángulos de elevación del apéndice 30 del Reglamento de Radiocomunicaciones, y a la protección contra eclipses a medianoche, hora local) es de 23°, mientras que el arco medio disponible para un ángulo de elevación de 20° y suponiendo un pleno apoyo de la batería es de 112°, es decir, casi cinco veces mayor.

- **Latitud:** Para un solo receptor y para un ángulo de elevación mínimo, la longitud del arco de servicio depende únicamente de la latitud. En la fig. 1 se indica la longitud del arco de servicio para ese punto en función de la latitud para ángulos de elevación de 0° a 40°. Para una zona estrecha en latitud tal que todos los puntos estén aproximadamente en la misma latitud, esta longitud se encuentra disminuida en la distancia (medida en grados de longitud) que media entre sus puntos más orientales y más occidentales.
- **Tamaño y forma:** El arco de servicio de una zona ampliada de forma irregular se determina por la latitud y longitud de los dos puntos de la zona en la que el ángulo de elevación empieza a descender por debajo del valor determinado a medida que el satélite se dirige hacia el este o hacia el oeste, respectivamente. Estos puntos con frecuencia no son evidentes por inspección y han de determinarse por tanteo o por medios gráficos. En general, cuanto más ancha es la zona de servicio y mayor es su latitud, menor es su arco de servicio. En lo que respecta a la forma, una zona de servicio larga y estrecha tiene un arco de servicio menor que una zona prácticamente circular del mismo tamaño. Para una zona de servicio próxima al Ecuador, la dimensión este-oeste tiende a ser la determinante; para una zona de servicio más próxima a uno de los polos, la dimensión este-oeste en la latitud más alta resulta crítica.

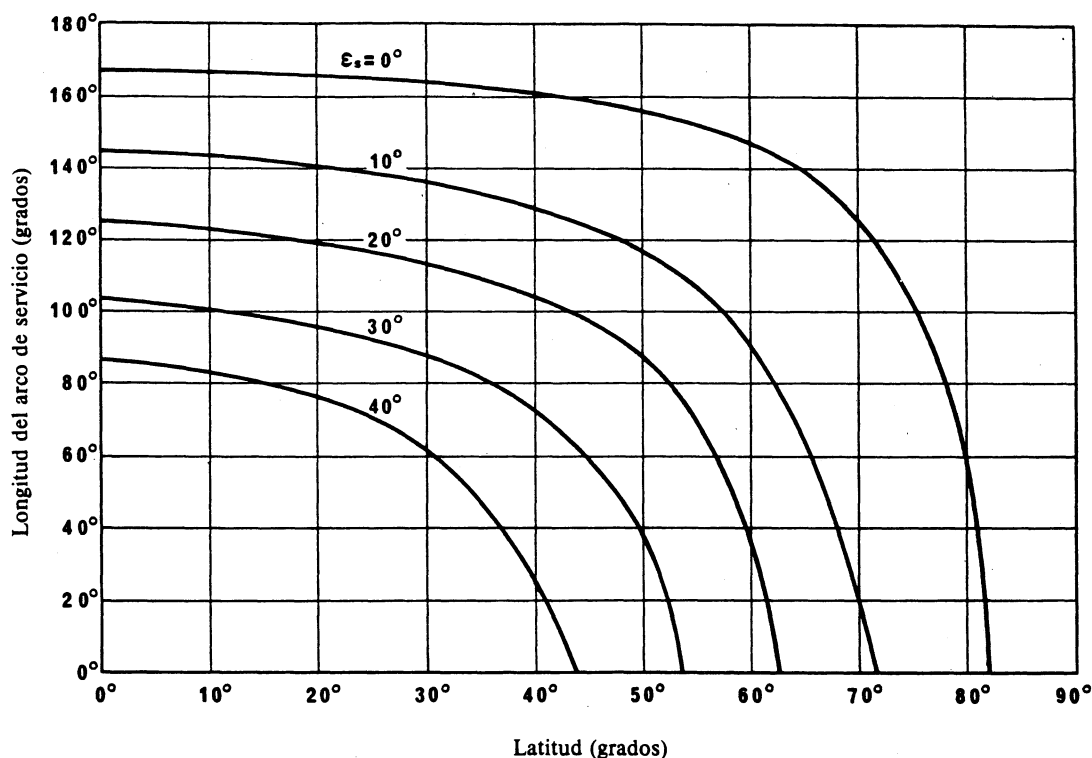


FIGURA 1 - Arco de servicio de un receptor aislado

(ε_s: Ángulo de elevación)

2.2.2 Reutilización de frecuencias

La reutilización de frecuencias es posible primordialmente mediante tres técnicas: polarización ortogonal, discriminación de la antena de la estación terrena y discriminación de la antena del satélite. Las características geográficas tienen algunos efectos en las tres técnicas.

- **Polarización ortogonal:** La discriminación que puede obtenerse entre dos haces contrapolares depende de dos características geográficas: el clima (que determina las estadísticas de pluviosidad) y la ubicación, es decir, la latitud y la longitud de la estación terrena receptora. La despolarización causada por la lluvia es un efecto importante tanto con polarización lineal como con polarización circular. La variación del ángulo de polarización recibido con respecto a la latitud y longitud, que puede ser importante o no según diversos factores, sólo se producirá con polarización lineal. Ambos efectos se examinan detalladamente en el Informe 814.
- **Discriminación de la antena de la estación terrena:** El efecto de las características geográficas en la discriminación de la antena de la estación terrena es pequeño. Para una determinada característica de antena de la estación terrena, la separación entre satélites ha de ser mayor cuando la zona de servicio está cerca del borde de la Tierra visible (vista desde el satélite) que cuando la zona de servicio está en el punto de proyección del satélite. Debido a que la relación entre los ángulos geocéntricos y los topocéntricos de dos satélites varía entre 1,18 y 0,99 sobre la superficie de la Tierra, la relación entre las separaciones necesarias entre los satélites en estos casos extremos es de 1,19 a 1.

- *Discriminación de la antena del satélite:* La discriminación que puede obtenerse con la antena del satélite, con arreglo a los diagramas adoptados por la CAMR-RS-77, es como máximo igual a su ganancia en la dirección del eje, que para el haz menor considerado por dicha Conferencia ($0,6^\circ$), es de 48,9 dB. Este valor se alcanza cuando el receptor está separado del centro del haz por unas 18 anchuras de haz. Sin embargo, se obtienen valores sustanciales de discriminación en puntos mucho más próximos. El diagrama adoptado tiene un rellano que da una discriminación de 30 dB entre puntos distantes del centro del haz de 1,6 a 3,2 anchuras de haz. Análogamente, en la CARR SAT-83 se adoptó un tamaño mínimo del haz de $0,8^\circ$; esto corresponde a una discriminación máxima de 46,4 dB, que se produce a 16,5 anchuras de haz o $13,2^\circ$ fuera del eje. Pueden obtenerse valores de discriminación aún mayores cuando se utilizan haces perfilados. En el Informe 810, se indican ejemplos de la calidad de funcionamiento que puede obtenerse con tecnología de haces perfilados. La ubicación relativa de las diversas zonas de servicio, que determina su separación y, por tanto, el grado de discriminación de la antena del satélite que puede lograrse, es factor geográfico más importante que afecta a la utilización de la órbita y del espectro.

Las zonas de servicio pueden cubrirse de tres formas generales:

- utilizando un único haz elíptico o circular,
- utilizando varios haces elípticos o circulares,
- utilizando un haz perfilado,

como se indica más adelante, en las figs. 2, 3 y 4. Los métodos para adaptar las elipses de superficie mínima a las zonas de servicio se reseñan en el Informe 812. En el caso de varios haces elípticos o circulares, suponiendo que se asigna el mismo canal y la misma polarización, aumenta considerablemente la capacidad de reutilización de frecuencias, puesto que la separación necesaria entre las zonas de servicio para la reutilización de la misma frecuencia, para la componente copolar, será menor en caso de haces más pequeños. Lógicamente, también se reducirá la separación necesaria para la reutilización de frecuencias adyacentes.

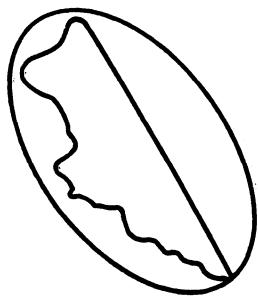


FIGURA 2 - Haz elíptico único

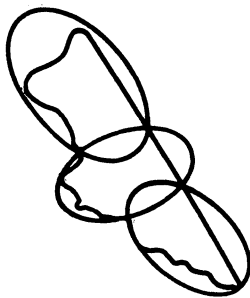


FIGURA 3 - Varios haces elípticos

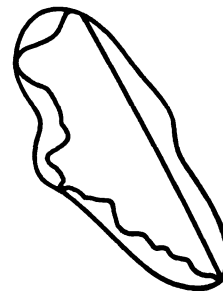


FIGURA 4 - Haz perfilado

En el caso de varios haces, las transmisiones a las diferentes posiciones de la zona de servicio pueden realizarse en frecuencias o polarizaciones diferentes, añadiendo entonces un grado de flexibilidad a los servicios posibles. Si se emplean distintas secuencias (o polarizaciones), se aumenta proporcionalmente el número total de canales utilizados. La capacidad total del recurso órbita-espectro puede aumentar o disminuir, según el tamaño de los haces y la separación de las zonas de servicio a las que se adjudican los mismos canales o canales adyacentes. Si se utilizan transmisiones idénticas, este caso resulta equivalente al del haz perfilado. De hecho los haces perfilados se obtienen normalmente combinando varios haces elípticos con las fases y amplitudes adecuadas.

Debe observarse, sin embargo, que la superficie de la zona de cobertura de las elipses en el caso de varios haces, o de los elementos del haz en el caso de haz perfilado, puede estar limitada por consideraciones análogas a las que condujeron a la adopción de un tamaño de elipse mínimo en la CAMR-RS-77, por ejemplo, el tamaño de la antena del vehículo espacial.

2.3 *Sistemas de radiodifusión por satélite para recepción comunal*

Uno de los principios de la planificación adoptados por la CAMR-RS-77 y por la CAMR-79 (Resolución N.º 701) es que todo plan debería basarse en la recepción individual. Ello puede conducir a una utilización ineficaz del espectro y de la órbita en los casos en la Región 2 en que existe una necesidad con carácter permanente del servicio de radiodifusión por satélite para recepción comunal, es decir, en casos en los que no se tiene intención de cambiar posteriormente a recepción individual. En algunos casos puede ser posible colocar más satélites de radiodifusión para recepción comunal que satélites de radiodifusión para recepción individual en un arco orbital determinado, debido a la mayor discriminación de las antenas receptoras del sistema de radiodifusión por satélite para recepción comunal. No obstante, esta ventaja puede estar limitada debido a las diferencias de p.i.r.e. de los distintos sistemas (véase el § 2.1.5). La medida en que esto puede realizarse depende de las características técnicas de los sistemas implicados y de la separación geográfica entre las distintas zonas afectadas. La eficacia de la utilización del espectro y de la órbita podría aumentarse si se tiene en cuenta dicha posibilidad durante la etapa de planificación. Es necesario estudiar más detalladamente este método de utilización de la banda de 12 GHz en la Región 2.

2.4 *Efectos en la planificación de satélites para múltiples servicios (híbridos) y de satélites de múltiples haces*

En algunos casos, una administración puede lograr importantes ahorros en los costos por la compartición de un solo satélite (híbrido) entre dos o más servicios, como SRS, SFS y SMS. Asimismo, dos o más administraciones pueden efectuar ahorros por la compartición de un solo satélite que tenga múltiples haces fijos (como se indica en el Informe 810) o haces orientables con compartición en el tiempo; en tales casos, el satélite compartido puede proporcionar también dos o más servicios si así se desea. Es probable que tales ahorros alcancen el máximo nivel en las administraciones cuyas necesidades de ciertos servicios no se han desarrollado suficientemente para que sea práctico un satélite especializado.

Los satélites de múltiples servicios pueden utilizar transpondedores especializados de dos o más tipos, un tipo para cada servicio distinto, o transpondedores capaces de proporcionar cada uno más de un servicio.

Ciertos estudios [Edelson y Morgan, 1977; Fordyce y Stamminger, 1979] indican que estos sistemas de múltiples haces o para múltiples servicios pueden ser particularmente interesantes desde el punto de vista económico, dadas las crecientes posibilidades de lanzamiento de grandes plataformas espaciales, aunque también pueden utilizarse eficazmente estaciones espaciales más tradicionales para proporcionar esos servicios cuando la potencia total necesaria es modesta.

La potencia total necesaria dependerá de si las administraciones interesadas desean poner en algún momento en servicio todos los canales de que disponen o toda la potencia del transpondedor atribuida por un plan u otro tipo de reglamentación. Por ejemplo, es imaginable un plan de servicios provisionales en el que se utilice durante cierto tiempo (por ejemplo, la vida útil del satélite) una capacidad o una potencia inferior a la total, en función del deseo de la administración interesada hasta que llegue a prestarse un servicio total. Es posible que varias administraciones, a las que se han atribuido posiciones orbitales distintas sobre la base de sus necesidades finales, deseen compartir para la prestación de un servicio provisional o incipiente, la misma estación espacial con asignación de uno o más canales a cada una de ellas.

En el Informe 665 se observa que los haces de las antenas de las estaciones espaciales pueden orientarse o dirigirse utilizando redes directivas. En los vehículos espaciales ATS-6 y CTS se ha demostrado el uso de antenas orientables mecánicamente que abarcan zonas muy amplias. Así, es posible que dos o más administraciones *compartan en el tiempo* la capacidad de un satélite determinado, incluidos los transpondedores individuales.

Cuando dos o más administraciones comparten en el tiempo el mismo canal, utilizarán las mismas frecuencias, que pueden no ser las adjudicadas a cada una de ellas en un plan. Así, para una sola estación espacial, se necesitarían bandas de frecuencias o partes de bandas separadas del enlace de conexión para el servicio de cada trayecto descendente. Cuando las administraciones servidas son varias, es preciso que cada administración o zona de servicio necesite concretamente frecuencias diferentes, en función de factores como la discriminación de la antena, la anchura del haz, la separación de las zonas de servicio, los objetivos de interferencia, etc. Por lo tanto, las consideraciones relacionadas con el enlace de conexión en los satélites de múltiples haces o para múltiples servicios imponen limitaciones importantes.

Los planes en los que se adjudican posiciones orbitales y frecuencias precisas a un servicio no serán compatibles, en general, con los planes correspondientes a otros servicios. A causa de la variación de las necesidades y de las características técnicas de los diferentes servicios, las adjudicaciones de posición orbital no serán, en general, idénticas para los diferentes servicios de la misma administración o zona de servicio. Así, a menos que se dé a esos planes una flexibilidad considerable o se los coordine detalladamente entre sí, no será posible realizar satélites para varios servicios y no podrán aprovecharse las ventajas económicas que ofrecen [CCIR, 1978-82a].

En la planificación del servicio de radiodifusión por satélite en la Región 2 hay que tener en cuenta las limitaciones que imponen algunos planes al uso compartido, técnicamente posible y económicamente interesante, de estaciones espaciales por diferentes servicios o diferentes administraciones. La flexibilidad en la ejecución de un plan o la puesta en servicio de sistemas afectados por un plan (como los que se consideran principales para la planificación en la Región 2 en el anexo 6 a las Actas Finales de la CAMR-RS-77), podrían contribuir a disipar algunas de estas dificultades.

No se han establecido todavía los métodos precisos para incluir en la planificación las estaciones espaciales para múltiples servicios o con múltiples haces. Este aspecto requiere ulterior estudio.

En el Informe 453, § 7.3, figura un examen de los satélites de servicios múltiples (híbridos).

3. Elementos clave

Los elementos clave de la planificación del espectro para el servicio de radiodifusión por satélite consisten en describir o especificar:

- las necesidades del servicio de radiodifusión por satélite que se han de satisfacer,
- la gama de parámetros técnicos y criterios de interferencia,
- la estructura del Plan y las adjudicaciones resultantes, y
- los métodos aplicados a las modificaciones ulteriores para acomodar los cambios de la tecnología y las necesidades del servicio.

Se tratará correlativamente cada uno de los elementos clave.

3.1 Necesidades del servicio

Las necesidades del servicio son preparadas y/o coordinadas por las distintas administraciones o grupos de administraciones para reflejar las necesidades nacionales o regionales de satélites de radiodifusión. La especificación de dichas necesidades puede variar entre una declaración de la anchura de banda total, la posición orbital preferida y la zona de servicio asociada, y una determinación completa de los tipos y el número de canales de radiodifusión y de su zona de servicio.

Las necesidades del servicio se hallan estrechamente asociadas al elemento tiempo dictado por el enfoque particular que se conceda a la planificación. Conviene tener en cuenta que las previsiones más especulativas son las referentes a un periodo más prolongado, mientras que las más precisas son las relativas a un corto plazo.

3.1.1 Ejemplos de factores relacionados con el servicio requerido

- número necesario de canales de televisión para cada zona de servicio;
- número de zonas de servicio en cada país;
- forma, dimensiones y posición de cada zona de servicio, en forma de coordenadas geográficas de los vértices de un polígono que represente la zona considerada con suficiente aproximación o las características detalladas del haz de la antena previsto, si se dispone de ellas; las coordenadas geográficas de varios puntos dentro de cada zona de servicio, que constituyan un modelo suficientemente exacto para el cálculo de márgenes de protección;
- calidad del servicio, incluida la relación portadora/ruido necesaria, y la relación señal/ruido durante porcentajes dados de tiempo;
- posición preferida del satélite en la órbita geoestacionaria, incluida eventualmente la preferencia de que ciertas zonas de servicio compartan o no una misma posición orbital;
- tipo de servicio deseado en cada zona de servicio, por ejemplo, recepción individual o recepción comunal, y posiblemente en el caso de esta última, número de instalaciones de recepción;
- posiblemente, situación, dimensiones de la antena y p.i.r.e. de todas las estaciones transmisoras de enlace de conexión en cada zona de servicio;
- posiblemente, frecuencias que han de utilizarse para las transmisiones de enlace de conexión;
- criterios para satélites de reserva;
- crecimiento y evolución previstos del servicio.

3.2 Parámetros técnicos y criterios de interferencia

Conforme al tipo de aplicación del satélite de radiodifusión y a su estado de desarrollo, los parámetros técnicos y los criterios de interferencia entre sistemas pueden variar de un sistema a otro y con el paso del tiempo. Por ejemplo, el enfoque de la planificación ha de permitir a cada administración disponer de la flexibilidad precisa para establecer y ampliar su sistema de radiodifusión por satélite conforme a sus necesidades de crecimiento y a sus propios criterios, por ejemplo, el costo mínimo. En este enfoque de la planificación, los parámetros técnicos y los criterios de interferencia entre sistema pueden cambiar con el tiempo en respuesta a las variaciones de las necesidades del servicio, la tecnología y el costo.

Si se utiliza un método de planificación distinto, los parámetros y criterios se especificarían completamente para todos los sistemas, con los procedimientos de modificación adecuados.

3.2.1 Ejemplos de factores relacionados principalmente con normas técnicas

- espaciamiento entre las frecuencias portadoras de los canales adyacentes;
- espaciamiento preferido entre las frecuencias portadoras de los canales adjudicados a una misma zona de servicio;
- relaciones de protección globales para todos los sistemas de radiodifusión incluidos en el plan (cocanal y de canal adyacente), incluidos los enlaces de conexión y descendente;
- características de los receptores, incluido el factor de calidad (G/T);
- diagramas de radiación copolar y de polarización cruzada de las antenas transmisoras del satélite y de las antenas receptoras de las estaciones terrenas;
- tolerancia en la orientación de las antenas transmisoras y receptoras;
- precisión del mantenimiento en posición del satélite;
- datos sobre la propagación, incluidos los márgenes previstos de atenuación causada por la lluvia, la atenuación en atmósfera despejada y la despolarización causada por la lluvia;
- límites del arco orbital utilizable para cada zona, determinados por el tiempo de eclipse del satélite y el ángulo mínimo de elevación;
- densidad de flujo de potencia mínima necesaria dentro de la zona de servicio para el tipo de servicio deseado, por ejemplo, recepción individual o recepción comunal.

3.3 Estructura y adjudicaciones

Las adjudicaciones pueden efectuarse en distintas formas y para diferentes periodos de tiempo independientemente del periodo de tiempo asociado con las necesidades del servicio.

Con un determinado enfoque de planificación, las asignaciones se inscriben en el Registro después de efectuar con éxito la coordinación con otros sistemas. Estas asignaciones de frecuencias y posición orbital contenidas en el Registro constituyen una posible base de un plan.

En el caso de que se utilice otro enfoque, cada administración o grupo de administraciones puede recibir en adjudicación segmentos de banda y posiciones orbitales durante un periodo especificado.

3.3.1 Ejemplos de características determinadas por un plan

Un plan para el servicio de radiodifusión por satélite ha de determinar, para cada transmisión por satélite, las características siguientes:

- configuración, dimensiones y orientación en el espacio del haz de la antena utilizado para cubrir la zona de servicio,
- la potencia transmitida (o la p.i.r.e.),
- la frecuencia (o el canal),
- la posición del satélite en la órbita geoestacionaria,
- la polarización.

Para presentar en un plan determinado el canal, la posición en la órbita y las polarizaciones asignadas, conviene utilizar una matriz en la que cada fila corresponde a un canal y cada columna a una posición en la órbita. Las diversas zonas de servicio se inscriben después como los elementos de la matriz adecuados, acompañadas de un símbolo que indica la polarización. El cuadro I ilustra tal representación de la parte esencial de un plan.

CUADRO I — Representación de las asignaciones en un plan con C canales ($1, \dots, C$), S posiciones orbitales (de longitudes geográficas $\lambda_1, \dots, \lambda_S$) y dos polarizaciones ($1, 2$). Las zonas de servicio se designan A, B, \dots, N

Canal \ Longitud	λ_1	λ_2	...	λ_S
1	A(1)	B(2)	...	G(2)
2	D(2)	E(1)	...	H(1)
...
C	K(1)	L(2)	...	N(2)

3.4 *Modificaciones*

El principal elemento final de los distintos enfoques de planificación es la acomodación de los cambios en las necesidades del servicio, los parámetros técnicos, los criterios y la tecnología, y posiblemente los cambios consiguientes de las adjudicaciones. La capacidad y el grado con que pueden acomodarse dentro de un plan las cambiantes necesidades depende del enfoque adoptado y de la porción de la capacidad total del recurso órbita geoestacionaria/espectro que no se ha adjudicado en la planificación. La capacidad depende de los parámetros técnicos de los sistemas en el plan y de la posición de los satélites en la órbita de los satélites geoestacionarios.

4. **Métodos de planificación**

A continuación se indican posibles métodos de planificación. No todos son necesariamente aplicables a todas las bandas de frecuencias atribuidas al servicio de radiodifusión por satélite.

4.1 *Planes detallados de posiciones orbitales y adjudicación de canales*

En este plan, se establecen valores específicos de la ubicación orbital del satélite, frecuencias y zonas de servicio para cada administración, junto con una p.i.r.e. específica del satélite y un sentido de polarización. Las separaciones orbital y de zona de servicio, según el plan, necesarias para la explotación en canal común y en canal adyacente, se basan en valores específicos supuestos para algunas características adicionales del sistema, entre las que figuran:

- los objetivos de ruido y de densidad de flujo de potencia;
- el factor de calidad del receptor;
- las tolerancias de mantenimiento en posición;
- los objetivos de interferencia;
- las características de la antena;
- el método de modulación y la anchura de banda necesaria;
- las necesidades de protección durante los eclipses y el ángulo de elevación mínimo necesario.

Conviene distinguir entre tres tipos de planes detallados de adjudicación.

Tipo 1: *Plan a largo plazo (15-20 años)*

Plan detallado a largo plazo del recurso frecuencia/órbita en el que se fijan los criterios técnicos, las frecuencias y las posiciones orbitales, y los cambios se limitan a circunstancias especiales en caso de que no introduzcan interferencia adicional o exijan protección adicional. El plan se revisaría al cabo del plazo especificado en una conferencia administrativa de radiocomunicaciones competente.

Tipo 2: *Plan a plazo medio (7-15 años)*

Plan detallado del recurso frecuencia/órbita, con asignaciones de posiciones orbitales y canales a cada administración, acompañado de un procedimiento de modificación que permita la mayor flexibilidad posible conservando la integridad del plan. En el curso de la duración del plan pueden incluirse nuevos requisitos y criterios por acuerdo de las administraciones interesadas. Al final del periodo se celebraría una conferencia administrativa regional o mundial de radiocomunicaciones para actualizar el plan tomando en consideración los cambios tecnológicos y los nuevos requisitos.

Tipo 3: *Plan a corto plazo (3-6 años)*

Plan a corto plazo con asignación de posiciones orbitales y canales a cada país durante un periodo de 3-6 años. Las conferencias se celebrarían antes de terminar el periodo (esto es, cada 5 años) para modificar el plan, incluir nuevos requisitos y reflejar la nueva tecnología. Es evidente que se respetaría la integridad de todos los sistemas notificados o en explotación conforme al plan vigente.

Típicamente, todos los planes deben incluir posiciones orbitales y un número mínimo de canales para cada administración en el plan a fin de que puedan desarrollar sus sistemas o conceptos dentro de un marco definido.

4.2 *Plan detallado de posiciones orbitales y de adjudicación de bloques de frecuencias*

Según este método de planificación se asignan a las administraciones bloques de espectro en determinadas posiciones orbitales. Estos bloques de espectro estarán asociados con determinadas zonas de servicio, pero no se asignan frecuencias ni polarizaciones específicas. La anchura de banda del canal será determinada por la administración interesada. En efecto, este sistema da a las administraciones interesadas flexibilidad para elegir el tipo de sistema de planificación microscópica más adecuado a sus necesidades. Las administraciones tendrán libertad para modificar sus planes de frecuencias, polarizaciones y anchuras de banda a medida que cambien las necesidades, o para aumentar las capacidades de sus bloques de espectro adjudicados al permitirlo los progresos tecnológicos. Concediendo una atención adecuada a la selección de las zonas de servicio y las posiciones orbitales, las administraciones serán capaces de compartir un satélite con otras administraciones en la fase inicial de

desarrollo de sus necesidades, conservando al propio tiempo la flexibilidad precisa para modificar su empleo del bloque de espectro al aumentar sus necesidades. Las adjudicaciones de canal y polarización específicas se harán en el momento en que una administración esté a punto de establecer un sistema para una zona de servicio determinada. La clave para aplicar ese método está en disponer las ubicaciones orbitales de tal modo que se obtenga el aislamiento necesario entre las zonas de servicio de que se trate.

4.3 *Plan detallado de asignación de frecuencias y adjudicación de segmentos del arco orbital*

Según este sistema, se adjudicará a cada administración un número de canales específico por zona de servicio, sin que los canales vayan asociados con ubicaciones orbitales específicas. La experiencia ha mostrado que sin embargo se adjudicarán a las administraciones arcos orbitales geoestacionarios especificados que podrán utilizarse para prestar servicio a las zonas de que se trate. Las asignaciones específicas de ubicación orbital a una zona de servicio se harán en el momento en que una administración se disponga a establecer un sistema para dicha zona de servicio.

Este método de planificación podría ofrecer flexibilidad en algunos aspectos del diseño del sistema. Sin embargo, para obtener el número requerido de canales por zona de servicio, hay que suponer algunas limitaciones técnicas de la planificación, incluida la anchura de banda del canal.

4.4 *Acceso garantizado mediante la coordinación multilateral*

No se establecería un plan formal, sino que habría procedimientos para garantizar el acceso a las frecuencias/órbita de las nuevas solicitudes. De ordinario, el acceso a las frecuencias/órbita sería coordinado de conformidad con los procedimientos del método del § 4.5. Si no se pudiera fácilmente coordinar una nueva solicitud, se convocaría una reunión especial de las administraciones que pudieran resultar afectadas y se buscaría la manera de atender la nueva solicitud, incluidos los ajustes a los sistemas existentes a fin de acomodar los nuevos sistemas de las administraciones.

4.5 *Procedimientos de coordinación y factores técnicos que se modifican periódicamente*

Este tipo de planificación consiste en una revisión, en fases sucesivas, de los procedimientos reglamentarios, reglamentos y Recomendaciones del CCIR existentes y en el desarrollo de nuevos procedimientos, reglamentaciones y Recomendaciones (simplificadas en la medida de lo posible) encaminadas a obtener una utilización eficaz del recurso órbita de los satélites geoestacionarios/espectro.

5. **Procedimientos para la planificación previa detallada**

La planificación del servicio de radiodifusión por satélite se ve gobernada por dos factores técnicos principales: el ruido del sistema y la interferencia. Puesto que, en la mayoría de los casos, estos dos factores afectan a parámetros del sistema diferentes, se pueden considerar de alguna manera por separado en el desarrollo del proceso de planificación. Esto permite dividir el problema de la síntesis en dos pasos.

El primer paso consiste en la optimización de los parámetros técnicos básicos del sistema, de modo que se cumplan los criterios de calidad en cuanto al ruido térmico. Dicho paso se basa en hacer mínima la potencia de transmisión en el satélite, para un determinado factor de calidad de los terminales receptores y unos criterios de funcionamiento específicos para la protección contra el ruido térmico, es decir, una relación C/N mínima que se debe cumplir en todos los puntos del interior de una zona de servicio dada, durante un porcentaje del tiempo especificado. Los parámetros del haz, tal como se describen en el § 7.1, se pueden optimizar con estas restricciones. A estos efectos, los límites de la zona de servicio se aproximan de ordinario por medio de un polígono definido por las coordenadas de sus vértices.

Es necesario, en el proceso de planificación, optimizar el haz para cada una de las posibles asignaciones de ubicaciones orbitales para el satélite que cubre cada una de las zonas de servicio, de manera que, durante la etapa de asignación, los parámetros pertinentes del haz estén disponibles a partir de la lista para calcular la interferencia mutua entre los diferentes sistemas implicados. La exigencia de que en el proceso de asignación se seleccionen haces obtenidos de esta lista de acuerdo con la asignación de ubicación orbital de cada satélite garantizará que todos los sistemas en el plan final estarán protegidos también contra el ruido térmico.

El segundo paso de la síntesis es la asignación de posiciones orbitales, polarizaciones y frecuencias de canal, a fin de que se cumplan los criterios de calidad en cuanto a la interferencia.

En este punto se describe un posible procedimiento para la planificación previa detallada, que es aplicable cuando las anchuras de banda de canal son compatibles entre los sistemas que son objeto de planificación. Es necesario continuar los estudios a fin de reducir esta limitación.

5.1 *Planificación con distribuciones regulares de canales*

Cuando se proyecta establecer desde un comienzo un plan completo, puede ser conveniente dividir la labor en dos fases. Primeramente, establecer un plan que permita difundir un programa de televisión (o su equivalente) dentro de cada zona de servicio utilizando un número limitado C_1 de canales. En segundo lugar, transformar este «plan con un solo programa por zona de servicio» en un plan general que adjudique el número necesario de canales a cada zona de servicio, a condición de utilizar la misma posición en la órbita y la misma polarización en los canales que dan servicio a una misma zona. En un estudio [CCIR, 1974-78a] se describe un método para establecer un plan general de este tipo, fundado en distribuciones regulares de canales. Ese método puede usarse directamente cuando sea preciso adjudicar el mismo número total de canales a cada zona de servicio, y puede modificarse para que se adapte al caso en que ello no sea así (véase el § 5.4).

5.2 Definición de distribución regular

Una distribución regular se caracteriza por:

d : diferencia entre los números ordinales de los canales consecutivos que dan servicio a una zona;

t : número de canales adjudicados a cada zona (un canal puede utilizarse para un programa de televisión o para varios programas de radiodifusión sonora);

C_1 : número de canales para la difusión de un solo programa por zona.

El número total de canales, C , viene dado por:

$$C = tC_1 \tag{1}$$

Esta ecuación indica también que C_1 es el número máximo de zonas de servicio que pueden ser atendidas desde una posición de satélite sin tener que recurrir a la reutilización de frecuencias.

La separación entre portadoras, Δ , viene dada por:

$$\Delta = \frac{W - gb - b}{(C - 1)} \tag{2}$$

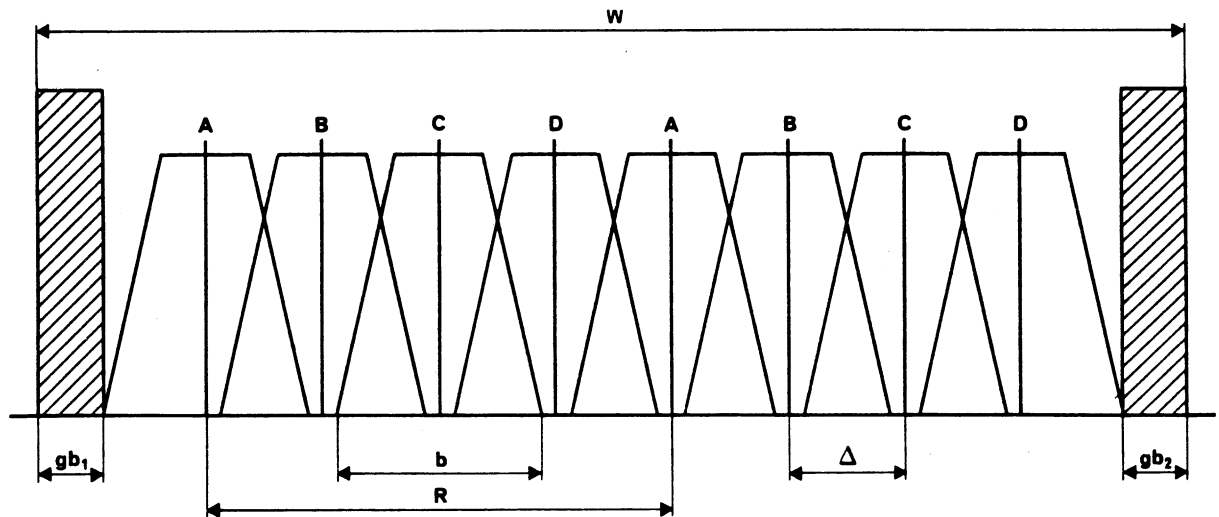
donde:

W : anchura de banda total, incluidas las bandas de guarda,

gb : anchura de banda total ocupada por las dos bandas de guarda en ambos extremos de la banda atribuida,

b : anchura de banda de canal necesaria.

Esto puede verse fácilmente en la fig. 5.



CANALES		1	2	3	4	5	6	7	8	
ZONAS		A	B	C	D	A	B	C	D	

FIGURA 5 - Ejemplo de una distribución regular de canales

$$\begin{aligned}
 C &= 8 \\
 C_1 &= 4 \\
 t &= 2 \\
 d &= 4 \\
 gb &= gb_1 + gb_2 \\
 W &= gb + b + (C - 1) \Delta
 \end{aligned}$$

5.3 Limitaciones a que están sujetas las distribuciones

Las principales limitaciones a que están sometidas las distribuciones regulares son las siguientes:

- El valor de d debe ser superior a 1 para evitar que se asignen a un mismo país dos canales adyacentes, cuyo multiplexado en una misma antena transmisora sería difícil; pero debe también ser pequeño para que no sea excesiva la gama de sintonía de los receptores que deban captar todos los programas de una zona de servicio.

Si R es la gama en la que puede sintonizarse la frecuencia de los receptores será necesario que:

$$d \leq \frac{R}{(t-1)\Delta} \quad (3)$$

- El número t de canales por zona de servicio debe ser normalmente lo más elevado posible, habida cuenta de la anchura de banda disponible.
- El número C_1 de canales para un programa por zona de servicio debe ser múltiplo de d . Se halla además comprendido entre un valor mínimo (que corresponde al caso en que puede despreciarse la interferencia de canales adyacentes, lo que en la práctica exige una gran separación entre canales), y un valor máximo, que viene determinado a la vez:
 - por la necesidad de disponer de un número suficiente de posiciones orbitales para aprovechar la discriminación contra las interferencias que proporciona la antena receptora;
 - por la necesidad de no disminuir la separación entre canales hasta tal punto que el aumento de la relación de protección necesaria en el canal adyacente haga imposible la planificación.

Para los valores de C_1 comprendidos entre el máximo y el mínimo, la separación entre portadoras es, por lo general, menor que la anchura de banda del canal, y las asignaciones deben hacerse de manera que se proteja tanto el propio canal como los canales adyacentes, según exijan las correspondientes relaciones de protección. El valor óptimo de C_1 es el que se traduce en una importancia aproximadamente igual de la interferencia cocanal y del canal adyacente. Según estudios preliminares que abarcaron unas 40 zonas de servicio en la Zona europea de radiodifusión, el valor óptimo de C_1 sería 8.

- Para sacar provecho del uso de polarizaciones ortogonales, es muy conveniente alternar la polarización de un canal con la del siguiente en una estación espacial determinada, así como de una estación a la siguiente en un canal determinado. Esto facilita la adjudicación de canales adyacentes a zonas adyacentes desde una misma posición orbital, y la adjudicación de un mismo canal a zonas poco separadas geográficamente servidas desde satélites cercanos entre sí. Sin embargo, para que todos los canales que dan servicio a una zona determinada tengan la misma polarización, la diferencia d entre los números ordinales de los canales de la zona debe ser un número par. Por consiguiente, C_1 , número de canales para un solo programa por zona, que es necesariamente múltiplo de d , debe ser también par.
- Puede ser útil introducir bandas de guarda, tanto en los extremos de la banda atribuida para radiodifusión por satélite, a fin de reducir la interferencia en la banda adyacente (véase el Informe 809) como entre grupos de canales dentro de la banda a fin de reducir los casos de interferencia en el canal adyacente. Estas últimas bandas de guarda deben eliminarse si se proyecta normalizar la separación entre canales para más de una Región.

Las Actas Finales de la CAMR-RS-77 (véase el § 3.5.3 del anexo 5 al apéndice 30 (ORB-85) de las Actas Finales de la CAMR-79) especifican que la separación entre las frecuencias asignadas de dos canales transmitidos por la misma antena de satélite, debe ser superior a 40 MHz para las Regiones 1 y 3 (véase también el Informe 811). Sin embargo, la separación entre las frecuencias asignadas de dos canales transmitidos a la misma zona de servicio, puede ser inferior a 40 MHz (y por tanto el valor de $d\Delta$ puede ser inferior a 40 MHz) cuando dicha zona sea cubierta desde varios satélites (arracimados) en la misma posición orbital o por un gran satélite con varias antenas. Se requieren más estudios para evaluar la transacción entre la complejidad y el costo de esas disposiciones y la mayor flexibilidad resultante de hacer menos rigurosa la restricción de 40 MHz. La separación vendría limitada en este caso por las características del receptor.

Todas estas restricciones limitan muchísimo el número de distribuciones regulares de canales que revisten interés práctico en la planificación.

La fig. 6 ilustra dos ejemplos de utilización de canales en una posición orbital determinada. En el primero de ellos, los parámetros elegidos para una anchura de banda total de 800 MHz son $d = 4$, $t = 5$, $C_1 = 8$. En el segundo, los parámetros elegidos para una anchura de banda total de 500 MHz son $d = 6$, $t = 5$, $C_1 = 6$. Según el orden de los canales, las zonas de servicio están en la secuencia A, B, C, D o A, B, C, D, E, F.

5.4 Distribuciones no regulares

Cuando es preciso adjudicar números de canales diferentes a las diversas zonas de servicio, las consideraciones precedentes siguen siendo válidas a condición de que t de la distribución regular se haga igual al máximo común divisor de los números totales de canales correspondientes a las diversas zonas de servicio, siendo $t = 1$ el caso límite. Además, es necesario hacer figurar cada zona tantas veces como grupos de t canales existan adjudicados a ella. En algunos casos particulares, otro método podría consistir en distribuir un grupo de t canales entre varias zonas de servicio. El inconveniente de estas distribuciones no regulares radica en la mayor dificultad del problema de la interferencia en el canal adyacente, pero tales situaciones pueden ser inevitables en la práctica.

CANAL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
ZONAS	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	E	F	G	H	E	F	G	H	E	F	G	H	E	F	G	H	E	F	G	H

CANAL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
ZONAS	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F

FIGURA 6 – Ejemplos de distribución regular de canales ocupando una anchura de banda total de 800 y 500 MHz. En ambos ejemplos, el número de canales, t , adjudicados a cada zona de servicio es de 5. En el primer ejemplo, C_i , (número de canales para un solo programa por zona de servicio) es de 8 y la diferencia, d , entre los números de los canales adjudicados a una misma zona es 4. En el segundo caso, los números correspondientes son 6 y 6 respectivamente. La anchura de banda de 800 MHz se divide entonces en 40 canales, con una separación entre portadoras de 19,18 MHz, y la anchura de banda de 500 MHz se divide en 30 canales con una separación nominal entre portadoras de 16,7 MHz. Las adjudicaciones de canales a las zonas de servicio A, B, C, D, ... podrían repetirse (para otras zonas de servicio) en otras posiciones orbitales

5.5 Normalización de la posición y de la separación de portadoras

Podría ser conveniente unificar la separación entre canales y la posición de cada canal dentro de toda la banda atribuida, pues ello permitiría un uso más eficaz del espectro y de la órbita y simplificaría los cálculos de interferencias. El valor exacto de la separación de canales y la posición exacta del canal podrían ser determinadas teniendo en cuenta las características técnicas pertinentes. Podrían establecerse entonces distribuciones regulares detalladas de canales.

6. Cálculo de la interferencia total

Para evaluar la interferencia producida en un punto dado por un solo satélite (enlace descendente) o en una posición de satélite dada por un emisor de estación terrena (enlace de conexión), puede emplearse el concepto de la ganancia equivalente de cada enlace parcial.

En cada enlace parcial intervienen dos antenas, ambas con características de emisión y de recepción copolares y contrapolares. Además, los efectos de propagación atmosférica, representados principalmente por la atenuación copolar y la discriminación contrapolar, influyen en el nivel neto de la señal.

La ganancia equivalente (en forma de relación de potencias) en un enlace parcial puede representarse por la siguiente aproximación:

$$\begin{aligned}
 G &= G_1 \cdot \cos^2 \beta + G_2 \cdot \sin^2 \beta & (4) \\
 G_1 &= G_{ip} \cdot G_{rp} \cdot A + G_{ic} \cdot G_{rc} \cdot A + G_{ip} \cdot G_{rc} \cdot A \cdot X + G_{ic} \cdot G_{rp} \cdot A \cdot X \\
 G_2 &= (\sqrt{G_{ip} \cdot G_{rc} \cdot A} + \sqrt{G_{ic} \cdot G_{rp} \cdot A})^2 + G_{ip} \cdot G_{rp} \cdot A \cdot X + G_{ic} \cdot G_{rc} \cdot A \cdot X
 \end{aligned}$$

donde:

β : para polarización lineal, es el ángulo de alineación relativa entre el plano de polarización de la señal recibida y el plano de polarización de la antena de recepción. Para polarización circular, se supone que $\beta = 0^\circ$ corresponde a la transmisión y recepción copolares y $\beta = 90^\circ$ a la transmisión y recepción contrapolares,

G : ganancia (relación de potencias > 1),

A : atenuación copolar en el enlace parcial interferente (como relación de potencias ≤ 1),

X : discriminación contrapolar en el enlace interferente parcial (como relación de potencias $\ll 1$),

$$X = 10^{-0,1[30 \log f - 40 \log(\cos \varepsilon_s) - 20 \log(-10 \log A)]}$$

para $5^\circ \leq \varepsilon_s \leq 60^\circ$

donde:

f : es la frecuencia en GHz y ε_s , el ángulo de elevación del satélite visto desde la estación terrena (grados).

Para $\varepsilon_s > 60^\circ$, utilícese $\varepsilon_s = 60^\circ$ al calcular el valor de X .

Utilizando el concepto de ganancia equivalente, la potencia de la portadora deseada (dBW), o la potencia interferente de una sola fuente, en cada enlace parcial viene dada simplemente por:

$$P_R = P_T - L_{FS} - L_{CA} + 10 \log G \quad \text{dBW} \quad (5)$$

donde:

- P_R : potencia recibida (dBW),
- P_T : potencia de emisión en la antena (dBW),
- L_{FS} : pérdida por dispersión (en el espacio libre) (dB),
- L_{CA} : absorción con cielo despejado (dB).

En la expresión de G_1 , se supone la suma en potencia de los términos. En las proximidades del eje principal de la transmisión deseada, puede ser más apropiada la suma en tensión de los dos primeros términos debido a la alineación de fase, pero fuera de este eje los efectos aleatorios aconsejan la suma en potencia. Sin embargo, como el segundo término es insignificante en las proximidades de este eje, el criterio de la suma en potencia no compromete la aproximación. La despolarización atmosférica es un efecto aleatorio, por lo que los dos últimos términos se suman en potencia.

En la expresión de G_2 , se supone la adición en tensión de los dos primeros términos pues, en las proximidades del eje, cualquiera de ellos puede ser predominante y la alineación de fase de estos términos aconsejaría la suma en tensión. Fuera de este eje principal, el tercero y el cuarto términos son la contribución predominante, por lo que, aunque se justifica una suma en potencia de los dos primeros términos en esta región, como ocurría en el análisis de G_1 , la validez del modelo considerado no se compromete indebidamente manteniendo la suma en tensión en todas las regiones. Dado que la transición de la adición en tensión cerca del eje a adición en potencia fuera del eje es algo imprecisa, las expresiones indicadas parecen un compromiso razonable entre la exactitud y la sencillez, consecuente con los argumentos formulados.

Si la relación entre las potencias de la portadora deseada y de la señal interferente, calculadas ambas mediante la ecuación (5) anterior, debe evaluarse para el caso más desfavorable, es preciso tener en cuenta parámetros tales como las tolerancias de mantenimiento en posición del satélite, los errores de puntería de la antena del satélite y las condiciones de propagación.

La anterior fórmula para G_2 puede utilizarse para investigar la sensibilidad de discriminación global para la discriminación contrapolar de la antena transmisora y de la antena receptora cerca del eje. Por ejemplo, si se utilizan los diagramas de antena de la CAMR-RS-77 como referencia, y se reduce primero el diagrama de contrapolarización del satélite en 7 dB, para alcanzar -33 dB, se obtiene una disminución de la discriminación neta de 0,5 dB, mientras que si se reduce el diagrama de contrapolarización de la antena receptora en 5 dB, para alcanzar -20 dB, la reducción de la discriminación es de 3 dB.

Las ecuaciones (4) y (5) en la forma expuesta resultan aplicables a la polarización circular; son igualmente válidas para la polarización lineal, siempre que la polarización de las señales deseada y no deseada sea la misma u ortogonal. (Cuando el ángulo entre las polarizaciones de ambas señales tenga cualquier otro valor, aparecen nuevas componentes adicionales de interferencia.)

La potencia total interferente se obtiene sumando las potencias así calculadas para todas las fuentes de interferencia. La relación entre la potencia de la señal deseada y la potencia total interferente es la relación «portadora/interferencia total» (C/I) para el enlace descendente. La potencia total interferente y C/I para el enlace de conexión se obtiene en forma análoga, y los dos valores de C/I se combinan entonces para obtener la relación C/I combinada total.

El mantenimiento en posición y los errores del haz de la antena transmisora del satélite que deben tenerse en cuenta son los que produzcan el nivel más bajo en recepción de la señal deseada y el nivel más alto en recepción de la señal del satélite interferente. Cuando el satélite interferente está en un ángulo de elevación inferior al del satélite que transmite la señal deseada, las condiciones más desfavorables de interferencia suelen producirse durante la explotación con tiempo despejado. A la inversa, si el satélite interferente está en un ángulo de elevación superior, la interferencia del caso más desfavorable suele producirse en condiciones de lluvia intensa. Si no se dispone de datos suficientes para evaluar las condiciones de desvanecimiento, una posibilidad es utilizar la siguiente fórmula:

$$A = S_a(R, f) l(\theta, R) \quad \text{dB} \quad (6)$$

donde:

- A : atenuación de la señal debida al mal tiempo (dB),
- S_a : atenuación específica (dB/km) que depende del índice de pluviosidad R (mm/h) y de la frecuencia de la portadora f . Los valores de R se indican en el Informe 563 para las diversas zonas climáticas y porcentaje del año medio. El valor de S_a puede determinarse a partir del Informe 721 (fig. 1 o fig. 2) con valores dados para R y f ,
- l : longitud efectiva del trayecto (km) a través de la lluvia, que es una función del ángulo de elevación θ y del índice de pluviosidad R (véase el Informe 564).

Los factores de atenuación debida a la lluvia se examinan detalladamente en [CCIR, 1974-78b].

7. Fases principales de la planificación

En este punto se dan ciertas indicaciones sobre las fases sucesivas de la planificación.

7.1 Cálculo del haz de la antena transmisora y de la p.i.r.e.

A efectos de planificación, se ha demostrado que es conveniente suponer que las secciones transversales de todos los haces de diversas zonas de servicio son circulares o elípticas. En la práctica, algunos sistemas emplearán probablemente haces perfilados para adaptarse a la cobertura deseada y otro método posible es suponer haces perfilados para evaluar el margen de protección. Si se utiliza el método de haces perfilados, puede ser necesario modificar algunas de las siguientes fases de planificación, lo que requiere ulterior estudio.

En el caso de haces circulares o elípticos deben determinarse los parámetros siguientes:

- coordenadas del centro de la zona de servicio, definidas como el punto en que el eje del haz corta la superficie de la Tierra;
- dimensiones de los ejes mayor y menor de la sección elíptica del haz. Convendría especificar estas dimensiones de manera que la envolvente de la sección elíptica correspondiera a la envolvente del diagrama de radiación de la antena transmisora en los puntos a -3 dB;
- ΔG , es decir, la reducción de la ganancia de la antena transmisora entre el centro y el límite nominal de la zona de servicio (véase el Informe 810);
- la orientación del eje mayor de la sección elíptica, de ser posible, en forma de acimut de la proyección del eje mayor sobre la superficie de la Tierra con respecto al meridiano que pasa por el centro de la zona de servicio;
- la orientación del eje mayor de la sección transversal elíptica determinada como sigue: en un plano normal al haz, la dirección del eje mayor de la elipse se especifica como el ángulo medido en la dirección levógira entre una línea paralela al plano ecuatorial y el eje mayor de la elipse.

Para calcular estos parámetros, hay que tener presente los errores admisibles de orientación y de rotación de la antena transmisora, de tal manera que el país considerado siga cubierto en todo caso, así como una limitación eventual de las dimensiones de la antena transmisora, limitación correspondiente a la anchura mínima realizable del haz.

Estos parámetros pueden optimizarse en función de criterios específicos. Los estudios de la UER que se describen en el Informe 809 se basan en los criterios siguientes:

- las fronteras de los países se representan aproximadamente mediante un polígono que debiera quedar enteramente cubierto por el haz;
- la optimización consiste en hacer que la relación entre las superficies (medidas en un plano de proyección perpendicular al eje del haz) de la sección transversal de la elipse del haz y la proyección del polígono correspondiente a un país sea lo más cercana posible a la unidad.

En los estudios realizados en Canadá [CCIR, 1974-78c], las fronteras de los países se representan de la manera indicada, pero la optimización (a base de reducir al mínimo la sección transversal del haz) se obtiene mediante la proyección en una esfera centrada en el satélite.

Teniendo en cuenta que el haz óptimo para una zona de servicio depende de la posición orbital, podría resultar ventajoso efectuar los cálculos por adelantado para gran número de ubicaciones en la órbita con una separación de, por ejemplo, $2,5^\circ$ dentro de los arcos utilizables. De este modo, se determinaría una serie de haces óptimos para las diversas zonas de servicio.

Una vez determinados los haces, puede efectuarse el cálculo de la potencia radiada necesaria a base del método habitual de cálculo de enlaces (véase el Informe 215). En la práctica, la potencia real diferirá de la nominal especificada en el plan en una cantidad denominada margen de potencia en explotación (véase el Informe 810).

7.2 Cálculo de las matrices copolar y de polarización cruzada de las discriminaciones de emisión

Estas matrices dan, para las componentes copolar y de polarización cruzada, respectivamente y para el punto más desfavorecido de cada país, la relación:

$$\frac{\text{Densidad de flujo de potencia copolar deseada}}{\text{Densidad de flujo de potencia copolar (o de polarización cruzada) interferente}}$$

Los términos de estas matrices se aplican a todos los pares posibles de países interferente e interferido; los cálculos se han de hacer teniendo en cuenta las condiciones más desfavorables para la orientación de las antenas de transmisión. Estas matrices son, en primera aproximación, invariables para todo cambio de posiciones orbitales, siempre que en cada posición se utilice cada vez el haz óptimo. Se pueden, pues, calcular las matrices eligiendo arbitrariamente posiciones orbitales provisionales.

Estas matrices pueden servir para:

- indicar, independientemente de las posiciones orbitales y, por tanto, independientemente de la discriminación de la antena de recepción, la intensidad relativa de las interferencias potenciales entre zonas de servicio;
- calcular el nivel real de las interferencias entre dos zonas de servicio cuando se conocen las posiciones orbitales; se debe entonces agregar la discriminación de la antena de recepción a la discriminación de la antena de transmisión y tener en cuenta las polarizaciones relativas.

7.3 *Matriz de interferencias para la recepción*

Cuando las posiciones orbitales son asignadas provisionalmente de antemano, se puede calcular asimismo una matriz de interferencias que da, para cada par de países, la relación potencia deseada/potencia de interferencia a la salida de la antena receptora.

La principal ventaja de la matriz de interferencias estriba en que permite identificar, para cada zona de servicio interferida, la transmisión que genera la interferencia predominante. Si se presenta un caso crítico de interferencia y hay que retocar el plan estudiado, la matriz de interferencias facilita una orientación en lo que concierne a las asignaciones que convendría modificar para mejorar el plan.

Además, la matriz de interferencias brinda una primera idea de la repartición real de las interferencias, pues en una primera aproximación se pueden hacer intervenir las interferencias múltiples mediante un factor de corrección, estimado por ejemplo en 3 dB, que se aplica, para un determinado país interferido, al término de la matriz que corresponda a la interferencia principal.

7.4 *Algoritmos de asignaciones de canales, de posiciones orbitales y de polarizaciones*

El número de planes teóricamente imaginables es tan elevado que no es posible examinarlos todos. Existe un método válido, que puede revestir la forma de algoritmos programados en un computador, que permiten obtener con rapidez cierto número de proyectos de planes más o menos satisfactorios. La finalidad de estos algoritmos es proponer asignaciones tales que las interferencias sean débiles. En otros métodos similares, los proyectos de planes pueden prepararse manualmente, sin emplear computadores.

En varios países se han elaborado programas de computador (véase el Informe 812) algunos de los cuales permiten preparar planes en los que o bien todos los márgenes de protección son positivos con el número mínimo de canales o bien se maximiza el margen de protección menor para un determinado número de canales. Los planes obtenidos pueden modificarse manualmente, cuando las modificaciones tienen una incidencia secundaria, por ejemplo, la orientación del haz, la p.i.r.e., etc. Sin embargo, ciertos parámetros no pueden modificarse sin una influencia destructiva en el plan optimizado.

Incluso utilizando un computador, ciertas fases de la planificación pueden efectuarse manualmente; en particular, la asignación de polarizaciones puede realizarse sistemáticamente a base de ciertas normas sencillas. Por ejemplo, de acuerdo con el § 5.3, pueden asignarse polarizaciones ortogonales a los satélites que trabajan en canales adyacentes en la misma posición orbital o que trabajan en el mismo canal en posiciones orbitales adyacentes. Ahora bien, estas normas manuales son de aplicación menos flexible que la de algoritmos de investigación operacional en computadores.

En el caso de la planificación simultánea de los enlaces de conexión y los enlaces descendentes (como en la CARR SAT-83 para la Región 2) son bien sabidas las ventajas considerables que ofrece el reajuste individual de las contribuciones del ruido y la interferencia del enlace de conexión y del enlace descendente. Sin embargo, con esto aumenta considerablemente la complejidad del proceso de planificación y el computador resulta aún más necesario.

Si se supone que el enlace descendente dominará los presupuestos de ruido e interferencia, el método general para la planificación de los enlaces de conexión y los enlaces descendentes consistirá en considerar como etapa inicial de la planificación la atribución de recursos de órbita y espectro al enlace descendente. Esto entraña, en primer lugar, sendos procesos de síntesis y análisis conectados a un bucle de optimización. En la segunda etapa se atribuirán los recursos correspondientes de espectro al enlace de conexión (pues la órbita se ha atribuido ya o al menos limitado en la primera etapa). En esta etapa se realizarán también sendos procesos de síntesis y análisis conectados a un bucle de optimización (sin embargo, este segundo bucle puede ser más sencillo que en el caso del enlace descendente). Estas dos etapas del proceso de planificación pueden después unirse a un proceso global de análisis y repetirse hasta que se logre una asignación aceptable. Todo el proceso se presenta en la fig. 7a.

Un segundo método, mucho más simplificado, permite la optimización simultánea de las asignaciones del enlace de conexión y del enlace descendente, y consiste en los conocidos procesos de síntesis y análisis conectados a un bucle de optimización, como se muestra en la fig. 7b [CCIR, 1978-82b]. Sin embargo, este método ofrecerá las mismas asignaciones relativas para los enlaces de conexión y para los enlaces descendentes. De aquí resulta una frecuencia de conversión común para todos los sistemas que se examinan. En este método se supone que se utiliza un transpondedor completamente transparente, es decir, sin ningún filtrado adicional del canal adyacente ni pequeñas supresiones o aumentos de la señal debidos al funcionamiento con saturación o casi saturación del tubo de ondas progresivas no lineal. Si esta conversión común resulta demasiado restrictiva, el plan resultante puede reajustarse utilizando el primer método descrito anteriormente, a fin de satisfacer algunos requisitos específicos que no permitiría la conversión exacta de frecuencias del plan del enlace descendente, y seguir optimizando el plan.

Este segundo método es sólo un modo de simplificar el problema de la planificación de los enlaces de conexión y los enlaces descendentes. Se requieren ulteriores estudios para identificar otros medios.

8. Criterios para la selección del método de planificación y evaluación del Plan

8.1 Criterios para la selección de un método de planificación

Se pueden aplicar criterios generales para determinar cuál de los diversos métodos posibles permite la utilización más eficaz de la órbita y del espectro en determinadas circunstancias. Se sugieren los criterios siguientes, basados en los estudios del GIT 4/1.

Estos objetivos se presentan aquí en orden arbitrario, reconociendo que la importancia relativa de cada uno diferirá en las distintas administraciones. Sin embargo, la etapa importante consiste en determinar primero los objetivos y su importancia relativa y en evaluar después la capacidad de cada método de gestión del espectro para satisfacer tales objetivos. La duración del Plan también influye en la evaluación de los objetivos.

No todos esos criterios son aplicables a todos los casos de planificación y dependen de la banda de frecuencias que se examine.

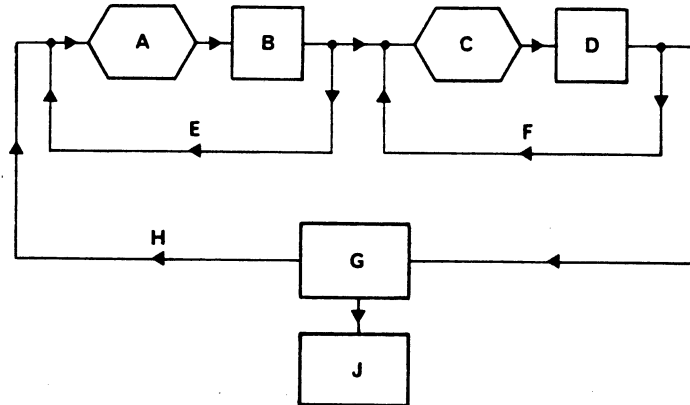


FIGURA 7a – Proceso de planificación de los enlaces de conexión y los enlaces descendentes en el servicio de radiodifusión por satélite

- A: *Síntesis de los enlaces descendentes*
Asignación de – canales descendentes,
– polarización descendente,
– posición orbital
- B: *Análisis de los enlaces descendentes*
- C: *Síntesis de los enlaces de conexión*
Asignación de – canales para el enlace de conexión
– polarización para el enlace de conexión
- D: *Análisis de los enlaces de conexión*
- E: Repetición inaceptable en el plan del enlace descendente
- F: Repetición inaceptable en el plan del enlace de conexión
- G: *Análisis general*
- H: Repetición inaceptable del plan general
- J: *Documentación aceptable del plan general*

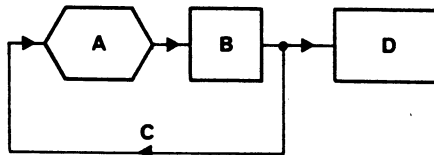


FIGURA 7b – Proceso simplificado para la planificación simultánea de los enlaces de conexión y los enlaces descendentes

- A: *Síntesis del plan*
Asignación de – canales de los enlaces de conexión y descendentes
– polarización y posición orbital
- B: *Análisis del plan*
- C: Repetición inaceptable del plan
- D: *Documentación aceptable del plan*

8.1.1 *Acceso equitativo*

¿Garantiza el método en la práctica a todos los países un acceso equitativo a la órbita de los satélites geoestacionarios y a las bandas de frecuencias que se están planificando?

8.1.2 *Necesidades del servicio*

8.1.2.1 ¿Es posible establecer previsiones realistas de las necesidades del servicio de radiodifusión por satélite que puedan servir de base para las adjudicaciones en el Plan?

8.1.2.2 ¿Pueden definirse en el Plan unas adjudicaciones que permitan dar cabida a la posible variedad de necesidades, incluidos los sistemas por satélite pertenecientes a múltiples administraciones?

8.1.3 *Posibilidad de introducir nuevos sistemas imprevistos o modificaciones de las necesidades*

¿Hay algún procedimiento eficaz para dar cabida a nuevos sistemas imprevistos o a aumentos o disminuciones imprevistos (por ejemplo, cuando se transfieren servicios a nuevos satélites en otras bandas de frecuencias) de las necesidades del servicio de radiodifusión por satélite?

8.1.4 *Tratamiento de los sistemas existentes*

¿Garantiza el método la protección de los sistemas operacionales existentes durante la aplicación práctica y utilización del Plan?

8.1.5 *Establecimiento y modificación de parámetros técnicos y criterios de interferencia*

8.1.5.1 ¿Pueden establecerse y mantenerse durante la vida del Plan unos parámetros técnicos y criterios de interferencia que permitan tener en cuenta los cambios en la tecnología y en las necesidades del servicio previsibles?

8.1.5.2 ¿Hay alguna disposición para modificar los parámetros técnicos y los criterios de interferencia del Plan a fin de sacar provecho de los avances técnicos que son más eficaces y/o menos costosos?

8.1.6 *Restricciones debidas a la compartición con otros servicios*

¿Impone el método alguna restricción adicional de compartición a los servicios espaciales o terrenales planificados o no planificados a causa de la compartición de la misma atribución de frecuencias?

8.1.7 *Utilización eficaz del recurso órbita-espectro*

8.1.7.1 ¿Hace el método de planificación un uso eficaz del recurso órbita-espectro?

8.1.7.2 ¿Hay incentivos para utilizar las normas técnicas óptimas?

8.1.8 *Repercusión sobre los costos del sistema por satélite*

¿Hay características en el Plan que, durante la vida de éste, pudieran obligar a las administraciones a utilizar progresivamente sistemas de satélite más costosos? ¿Permite el Plan a las administraciones el aprovechamiento de los ahorros de costos que facilitan los futuros progresos de la tecnología?

8.1.9 *Costos administrativos*

¿Exigen la aplicación y explotación administrativas del Plan un trabajo importante por parte del personal administrativo y técnico, teniendo en cuenta las magnitudes relativas de los costos administrativos y del sistema?

8.2 *Evaluación de los planes*

8.2.1 *Introducción*

Es conveniente disponer de métodos precisos y, de ser posible, normalizados para evaluar el resultado que se lograría al adoptar tal o cual proyecto, con el fin de poder analizar cierto número de planes y elegir el que presente las máximas ventajas. La calidad de un plan se puede juzgar desde diversos puntos de vista, algunos de los cuales no pueden forzosamente reducirse a cifras.

8.2.2 *Utilización eficaz del recurso órbita-espectro*

Un criterio fundamental es la eficacia con que se utiliza el recurso órbita-espectro de que disponen los usuarios del plan. Esta eficacia se medirá por el número máximo de programas o canales que puedan transmitirse por un número dado de satélites utilizando un arco orbital limitado y una anchura limitada del espectro. Sobre este tema se han realizado varios estudios [CCIR, 1974-78d].

8.2.3 *Márgenes de protección*

Otro factor que hay que considerar son los márgenes de protección que se describen a continuación:

8.2.3.1 Margen de protección cocanal global

El margen de protección cocanal global se define en el § 4.7 de la Recomendación 566. Este margen caracteriza la calidad del plan examinado, ya que si su valor no es en ninguna parte negativo, las interferencias cocanal son aceptables en todos los lugares. Al contrario de la matriz de interferencias, el margen global de protección hace intervenir las interferencias debidas a todas las emisiones cocanal. El cálculo debe hacerse en cada uno de los puntos de recepción considerados y, a fin de tener una idea de su distribución estadística en el interior de cada país interferido, se pueden retener los valores del margen global de protección rebasados en el 100%, 90%, 50% y 0% de puntos de recepción.

8.2.3.2 Márgenes globales de protección para canal adyacente

El margen global de protección para canal adyacente y el margen de protección para segundo canal adyacente se definen en los § 4.8 y 4.9, de la Recomendación 566, respectivamente.

8.2.3.3 Margen de protección global equivalente

Aunque importa para fines de planificación considerar separadamente el margen de protección cocanal y el margen de protección global para el canal adyacente, al evaluar un plan es a menudo útil adoptar un margen de protección global equivalente para el enlace descendente, como se define en el § 4.10 de la Recomendación 566.

Todos los cálculos de márgenes de protección están basados en la adición en potencia de las contribuciones de diferentes sistemas interferentes. Las mediciones efectuadas recientemente en Canadá [CCIR, 1982-86a] y en los Estados Unidos [CCIR, 1982-86b] demuestran que esto es una aproximación y que puede resultar ligeramente pesimista para los sistemas interferentes cocanal y optimista para los sistemas interferentes de canal adyacente. Las mediciones indican que las interferencias de múltiples canales adyacentes se combinan y producen un efecto que es de 2 a 6 dB peor que el de la adición en potencia. Para la combinación de las interferencias cocanal y de canal adyacente, el efecto es una suma en potencia de los efectos de interferencia individuales dentro de toda la gama de C/I . Para valores altos de C/I , en los efectos subjetivos, predomina la interferencia cocanal, mientras que para valores bajos de C/I predomina la interferencia de canal adyacente. Pueden encontrarse detalles de las mediciones en el Informe 634.

En cualquier zona de servicio, un plan puede considerarse aceptable si los márgenes equivalentes globales son positivos o se aproximan a cero.

8.2.4 Pruebas de escenario correspondientes al caso más desfavorable

Al probarse los escenarios, cualquiera que sea el método de planificación, la práctica usual consiste en suponer la presencia simultánea de las condiciones más desfavorables para las numerosas variables que intervienen, como por ejemplo:

- la relación de protección,
- las características de discriminación de la antena,
- las tolerancias de error de puntería de la antena,
- las tolerancias del mantenimiento en posición,
- la atenuación diferencial debida a la lluvia,
- las tolerancias de la potencia de transmisión,
- las tolerancias de la ganancia en recepción, etc.

Idealmente, lo que se necesita es un criterio estadístico relativo al mantenimiento de una relación de protección suficiente, de acuerdo con el cual se salvaguarde una determinada relación portadora/interferencia (C/I), adoptada como objetivo, durante un cierto porcentaje de tiempo, en analogía con el modo de tratar la atenuación causada por las precipitaciones y con la percepción subjetiva de la calidad de imagen (que es, después de todo, el criterio definitivo).

Sin embargo, es prácticamente imposible determinar la naturaleza estadística de una serie de tolerancias de parámetros interrelacionados ya que, en algunos casos, no se conocen las estadísticas, en otros dependen del tiempo (por ejemplo, el clima o el envejecimiento) y en otros casos los valores están determinados por las empresas de explotación (por ejemplo, el mantenimiento en posición y la precisión de puntería del haz), que pueden adoptar diversas estrategias de control. Así, pues, en estas condiciones se debe partir del supuesto de un plan totalmente realizado con la peor combinación de los parámetros y tolerancias mencionados más arriba.

9. Resultados del Plan para las Regiones 1 y 3 y de otros estudios

El Plan que adoptó la CAMR-RS-77 para las Regiones 1 y 3 muestra que normalmente pueden obtenerse cinco programas por zona de servicio con una separación entre canales de 19,18 MHz y una separación nominal entre satélites de 6°. El Plan incluye unos pocos márgenes negativos de protección (del orden de -1 a -3 dB con respecto a una relación de protección de 31 dB), pero, en general, se considera satisfactorio.

La evaluación del Plan mediante análisis por computador reveló varios márgenes de protección global equivalente negativos, pero estos márgenes se consideraron en general aceptables por todas las administraciones participantes en la CARR SAT-83.

La capacidad media por zona de servicio de este Plan es considerablemente mayor que la del Plan para las Regiones 1 y 3. Las principales razones de ello son:

- la menor relación de protección adoptada (28 dB frente a 31 dB);
- el uso de separaciones no regulares entre satélites;
- la adopción de parámetros técnicos que revelan una mejor tecnología, particularmente en cuanto a los diagramas de la antena de referencia de estación terrena;
- el uso de múltiples posiciones orbitales y ambos sentidos de polarización para algunas zonas de servicio;
- la explotación sistemática de las características geográficas especiales de la Región 2; y
- que hay menos zonas de servicio por grado de longitud en la Región 2 que en las Regiones 1 y 3. Estas características se tratan más adelante.

10.2 Características geográficas especiales de la Región 2

10.2.1 Fronteras

La Región 2 difiere de las otras dos Regiones en que, tanto al Este como al Oeste sus fronteras están casi enteramente adyacentes al mar y, con dos excepciones – Islandia y Siberia Oriental – no hay territorios considerablemente poblados fuera de las fronteras y cerca de ellas. Además, tanto la frontera oriental como la occidental están delimitadas en general en una dirección Norte-Sur. En consecuencia, las interacciones entre el servicio de radiodifusión por satélite de la Región 2 y los servicios que funcionan en las mismas bandas de frecuencia en las Regiones 1 y 3 son comparativamente débiles. Estas interacciones se examinan más detalladamente en el Informe 809.

10.2.2 División en subregiones

A fines de la planificación de la órbita puede ser posible pensar que la Región 2 está formada por 3 subregiones: América del Sur, Central y del Norte. Groenlandia, que es parte de la Región 2 no es oficialmente una parte de América del Norte, pero geográficamente depende de ella.

Una particularidad de esta división es la interacción relativamente débil de las adjudicaciones de frecuencias y de posiciones orbitales entre América del Norte y América del Sur. Su separación exacta en términos de anchuras de haz depende, naturalmente, del tamaño de las zonas de servicio elegidas, especialmente en los países más grandes que probablemente deberán estar cubiertos por más de una zona de servicio. No obstante para la mayoría de las probables elecciones, las únicas zonas de servicio de América del Norte y América del Sur que no están separadas entre sí al menos por 1,6 veces la anchura de haz, son México en el Norte y Colombia y Venezuela en el Sur.

Sin embargo, hay fuertes interacciones entre América Central (que se considera incluye las Islas del Caribe) y América del Norte, y entre América Central y América del Sur. Un hecho importante es que aunque es probable que las zonas de servicio de América Central sean pequeñas, su número puede ser relativamente grande. Esto se tuvo en cuenta al efectuar la planificación.

10.2.3 Consecuencias

Las características geográficas mencionadas anteriormente pueden aprovecharse para aumentar la utilización del recurso órbita-espectro del Plan de radiodifusión por satélite en 12 GHz para la Región 2. En particular dos satélites cocanal que sirven zonas de América del Norte y del Sur, respectivamente, pueden colocarse bastante cerca en la órbita de los satélites geoestacionarios. En el caso límite, cuando los satélites dan servicio a zonas separadas como mínimo cinco a ocho veces la anchura de haz (posiblemente menos si se utilizan haces perfilados), utilizando la zona de servicio mayor como base, es posible hacerlos compartir la misma posición orbital. Cuando los satélites sirven a zonas con separación mucho menor, tal como es el caso cuando un satélite da servicio a América Central y el otro da servicio, o bien a América del Norte o a América del Sur, se necesitan separaciones mayores, pero aún menores que las que se requerirían para zonas de servicio adyacentes. Es necesario continuar los trabajos para determinar cuantitativamente la posibilidad de este método al elaborar el Plan de la Región 2.

El Informe 453, § 10.4, contiene también un examen de los factores geográficos útiles para la planificación.

11. Consideraciones relativas a la planificación para las otras bandas en las que el servicio de radiodifusión por satélite tiene atribuciones

11.1 Introducción

Las otras bandas en las que el servicio de radiodifusión por satélite tiene atribuciones son las siguientes: de 620 a 790 MHz, de 2500 a 2690 MHz, de 22,5 a 23 GHz, de 40,5 a 42,5 GHz y de 84 a 86 GHz. Se sabe muy poco acerca de la planificación para las bandas de 23, 42 y 85 GHz, salvo que en ellas los fenómenos asociados a la propagación a través de la atmósfera revestirán gran importancia.

11.2 *Sistemas de 2,6 GHz**

De acuerdo con lo dispuesto por el Reglamento de Radiocomunicaciones, el empleo de la banda de 2,6 GHz para la radiodifusión por satélite está limitado a los sistemas nacionales y regionales destinados a la recepción comunal (véase el número 757 del Reglamento de Radiocomunicaciones).

En el cuadro II del presente Informe figuran los resultados de un estudio [CCIR, 1970-74a] para la recepción comunal.

CUADRO II

Sistema	Frecuencia (GHz)	Anchura de banda (MHz)	Relación de protección (dB)	Separación entre satélites (grados)	Diagrama de recepción
1	2,6	22	30	4	A
2	2,6	22	33	2,8	B

Diagrama A: $\Delta G = 10,5 + 25 \log (\varphi / \varphi_0)$ dB

Diagrama B: $\Delta G =$ el menor de los dos valores: $10 \log [1 + (2 \varphi / \varphi_0)^{6N-9}]$, ó $3 + 10 \log [80 N + (2 \varphi / \varphi_0)^N]$ dB

donde: ΔG es la ganancia en el eje menos la ganancia en el ángulo φ .

Para ambos diagramas $\Delta G < 40$ dB

y N es razón exponencial de atenuación en función de la desviación angular del lóbulo lateral; por ejemplo, para la recepción individual $N=2$ y para la recepción comunal $N=2,5$.

11.3 *Sistemas de 700 MHz**

Respecto a la utilización eficaz de la órbita de los satélites geoestacionarios, estudios realizados indican que para el servicio de televisión por satélite en frecuencias de unos 700 MHz, los siguientes criterios son adecuados para la modulación de frecuencia, suponiendo una excursión cresta a cresta de unos 8 a 16 MHz:

11.3.1 En el caso de compartición de frecuencias entre zonas que no se superpongan y que reciban servicio desde la misma posición orbital geoestacionaria, la discriminación total necesaria para asegurar la relación de protección requerida, debe obtenerse mediante la reducción de los lóbulos laterales de las antenas transmisoras. En general, esto requeriría una separación mínima de las zonas de servicio aproximadamente igual a la separación correspondiente al primer mínimo del diagrama de radiación de la antena transmisora. El uso de polarizaciones circulares ortogonales podría ser de utilidad en el caso de zonas de servicio con menor separación entre sí.

11.3.2 Para transmisores que compartan el mismo canal y estén situados en diferentes posiciones orbitales, constituirá aproximadamente una separación mínima adecuada la correspondiente al ángulo entre el eje del haz principal y el primer mínimo del diagrama de la antena receptora, que se supone igual para todas las instalaciones de recepción. Las antenas transmisora y receptora deben asegurar, conjuntamente, la suficiente discriminación para lograr la relación de protección necesaria.

11.3.3 Para que los efectos de propagación sean reducidos y, al mismo tiempo, para una economía de las posiciones orbitales geoestacionarias disponibles, la longitud de un satélite de radiodifusión no debe diferir más de 45° aproximadamente de la longitud media de su zona de servicio. En la determinación de la posición real del satélite en relación con la longitud media de la zona de servicio deben también tenerse en cuenta las condiciones de compartición con los servicios terrenales de televisión.

Se ha realizado un estudio [CCIR, 1970-74b] del número de canales necesario para dar servicio a unos treinta países por separado, cuyos resultados se indican en la fig. 9. Se ha supuesto una antena receptora para recepción comunal. Estos resultados son provisionales y corresponden a un sólo ejemplo; es preciso continuar los estudios.

* Como esta banda es compartida con otros servicios, muchos de los cuales ya están funcionando en los países de algunas administraciones, las tentativas de planificación de estas bandas pueden encontrar dificultades prácticas importantes en cuanto a la compartición, en el caso de los equipos existentes que funcionan de conformidad con sus asignaciones.

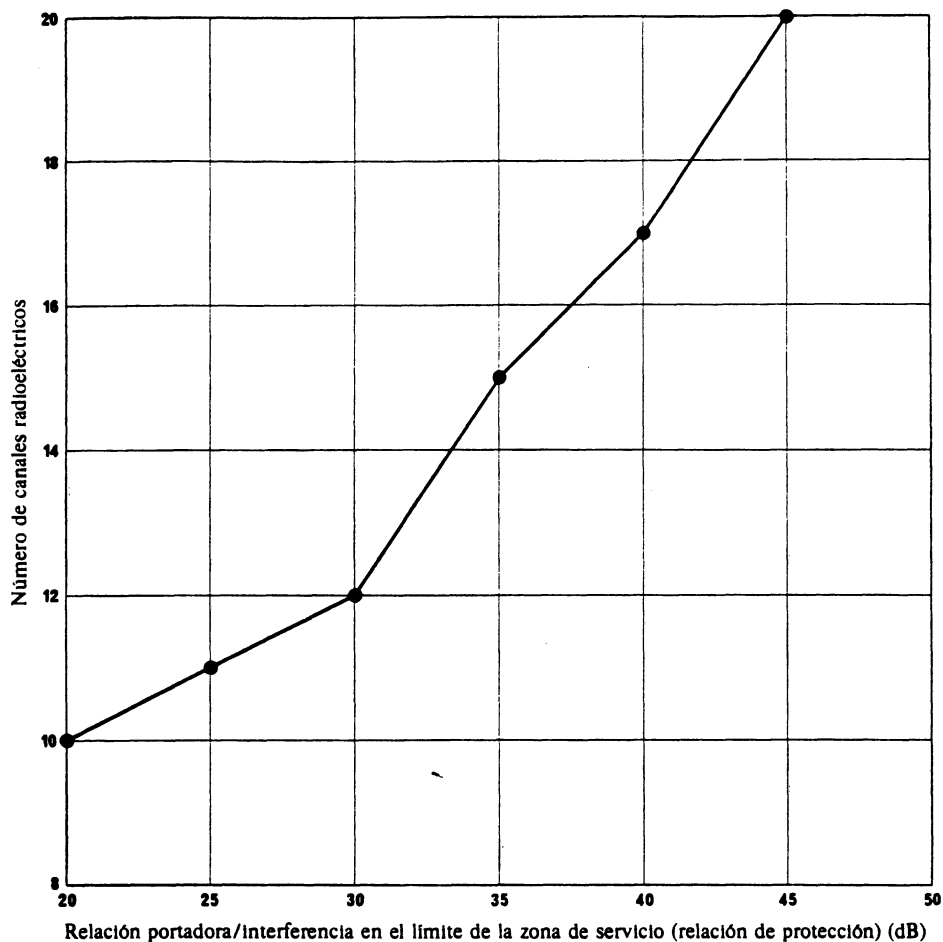


FIGURA 9 – Número de canales radioeléctricos necesarios para suministrar un programa nacional a unos treinta países de un continente, en función de la relación portadora/interferencia

(El ejemplo es típico de una región de Asia oriental)

Frecuencia: 700 MHz, recepción comunal
 Diámetro de la antena receptora terrena: 3,5 m aprox. (anchura angular del haz, 8°)
 Satélite en la longitud de la zona de servicio
 Anchura angular del haz de la antena del satélite φ : $7^\circ > \varphi \geq 3^\circ$

12. Funciones de servicio de operaciones del vehículo espacial

Según lo previsto en el Reglamento de Radiocomunicaciones, las funciones de servicio de operaciones del vehículo espacial tales como telemida, telemando y seguimiento (TTS) deberían acomodarse dentro de las bandas de frecuencias del servicio a que corresponde la estación espacial. Para el sentido espacio-Tierra, dichas funciones pueden resumirse como sigue:

- telemida: transmisión continua a baja velocidad de datos;
- determinación de la distancia: no continua, por tonos o código;
- seguimiento de la antena de la estación terrena: continuo, en la portadora residual de telemida o con barrido de portadora.

Además de las señales de funciones de servicio del enlace descendente del vehículo espacial antes señaladas, deben acomodarse también las funciones del servicio del enlace ascendente, entre las que figuran las siguientes:

- telemando,
- seguimiento (determinación de la distancia),
- ejecución de órdenes (previa verificación),
- posible cooperación mediante una baliza emitida desde Tierra para la puntería del haz.

El telemando y la determinación de la distancia son necesidades evidentes. La mayoría de los sistemas de mando requieren un proceso en dos etapas para la ejecución de la orden: la orden de telemando se retransmite al equipo de tierra para la verificación vía el canal de telemedida y después se ejecuta por medio de una orden de ejecución distinta procedente de tierra. La baliza puede ser recibida por un sensor RF en el vehículo espacial y utilizada para mejorar la precisión de puntería de la antena del enlace descendente del vehículo espacial.

Cuando los satélites colocalizados están agrupados en una sola posición orbital, es a menudo necesario que reciban órdenes de distintos usuarios o administraciones. En tales casos puede producirse una interferencia con las señales video debida a las múltiples señales de mando que ocupan un solo canal no lineal del satélite. Un estudio [CCIR, 1978-82c] muestra que las no linealidades de canal, debidas principalmente a los amplificadores de tubos de ondas progresivas, crean productos de intermodulación procedentes de las señales múltiples de telemando que provocan interferencia en los canales adyacentes a las bandas de guarda. Ese estudio se resume brevemente en el § 6 del anexo al Informe 634.

En el Informe 1076 se examinan con más detalle las funciones TTS.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- EDELSON, B. I. y MORGAN, W. L. [septiembre de 1977] Orbital antenna farms. *Astron. Aeronaut.*, Vol. 15, 9, 20-28.
- FORDYCE, S. y STAMMINGER, R. [10-14 de junio de 1979] The use of geostationary platforms for future US domestic satellite communications. IEEE International Conference on Communications (ICC'79), Boston, Ma., Estados Unidos de América, Conf. Record, Vol. 3, 49.4/1.5.
- MERTENS, H., ARNAUD, J. F., BROWN, A., GALIC, R. y PHILLIPS, G. J. [marzo de 1976] Satellite broadcasting, design and planning of 12 GHz systems. Doc. Tech. 3220, EBU.

Documentos del CCIR

- [1970-74]: a. 11/69 (Estados Unidos de América); b. 11/30 (Japón).
- [1974-78]: a. 11/26 (UER); b. 11/384 (Canadá); c. 11/105 (Canadá); d. 11/155 (Estados Unidos de América); e. 11/107 (Canadá).
- [1978-82]: a. 10-11S/32 (Estados Unidos de América); b. 10-11S/111 (Canadá); c. 10-11S/153 (Francia).
- [1982-86]: a. 10-11S/55 (Canadá); b. 10-11S/49 (Estados Unidos de América).

BIBLIOGRAFÍA

- IZUMI, T., MATSUSHITA, M., KANEDA, S. y OHMI, K. [diciembre de 1976] A study for planning broadcasting-satellite service in the 12 GHz band. NHK Lab. Note N.º 205.
- REINHART, E. E. [mayo de 1974] Orbit spectrum sharing between the fixed satellite and broadcasting satellite services with applications to 12 GHz domestic systems. National Aeronautics and Space Administration, R-1463-NASA.
- SIOCOS, C. A. [1975] Broadcasting satellite service: Minimum elliptical beam determination. *JSMPT*, Vol. 84, 147-150.

Documentos del CCIR

- [1970-74]: 11/312 (UER).
- [1978-82]: 10-11S/31 (Estados Unidos de América); 10-11S/40 (Canadá).

INFORME 811-2

SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN POR SATÉLITE

Elementos de planificación incluidos los utilizados para preparar planes de asignaciones de frecuencias y de posiciones en la órbita para el servicio de radiodifusión por satélite en la banda de 12 GHz

(Cuestión 1/10 y 11, Programa de Estudios 1A/10 y 11)

(1978-1982-1986)

1. Introducción

Para preparar un plan de asignaciones de frecuencias y de posiciones orbitales en el servicio de radiodifusión por satélite, como primera medida hay que seleccionar las diversas características del sistema a la luz de sus repercusiones en la planificación. En el presente Informe se examina el número máximo posible de dichas características que sirvieron de base para los Planes en la banda de 11,7 a 12,5 GHz en la Región 1, en la banda de 11,7 a 12,2 GHz en la Región 3 y en la banda de 12,2 a 12,7 GHz en la Región 2.