

## INFORME 1172

**COMPARTICIÓN Y REUTILIZACIÓN DE FRECUENCIAS ENTRE SISTEMAS  
EN LOS SERVICIOS MÓVILES POR SATELITE QUE FUNCIONAN  
EN LOS TRAMOS MEDIO A ELEVADO DE LA BANDA 9**

(Cuestión 83/8)

(1990)

1. Introducción

En el presente Informe se examinan las condiciones técnicas en las que las redes de satélites geoestacionarios de los diversos servicios móviles por satélite pueden compartir frecuencias entre sí. Las redes de satélite de este tipo pueden compartir frecuencias, es decir, transmitir y recibir en el mismo canal de radiofrecuencia o en canales superpuestos, sólo si la interferencia mutua (tanto procedente del enlace ascendente como del enlace descendente) puede mantenerse por debajo de niveles especificados.

Existe únicamente un número limitado de mecanismos por los que una red de satélite puede discriminar o aislar las señales de interferencia procedentes de otra red de satélite de forma suficiente como para lograr su objetivo de interferencia:

- utilizando la directividad angular de las antenas receptora y transmisora de la estación espacial;
- utilizando la directividad angular de las antenas de las estaciones terrenas transmisoras y receptoras;
- utilizando polarizaciones opuestas en los canales deseado e interferente;
- entrelazando los canales para evitar un funcionamiento cocanal completo.

El grado en el que cada uno de estos cuatro mecanismos puede utilizarse para lograr el aislamiento total o parcial entre sistemas necesario o la discriminación contra la interferencia depende del tamaño y del diseño de las antenas de las estaciones terrenas y espaciales, de las posiciones orbitales y cobertura geográfica de las antenas de las estaciones espaciales en los dos sistemas, del grado en que cada uno de estos mecanismos haya sido empleado para reutilizar frecuencias en los sistemas individuales y de factores relativos al coste y al funcionamiento.

Se ha investigado la eficacia de estos mecanismos para diferentes tipos de redes de satélite en otros Informes (por ejemplo véase el Informe 453 sobre el servicio fijo por satélite y el Informe 772 sobre los sistemas del servicio móvil por satélite que funcionan en torno a 7 - 8 GHz). En estos Informes se presumía que existía considerable interferencia producida por la otra red de

satélite en el mismo canal, tanto en el enlace ascendente como en el descendente. En este Informe, por otra parte, se consideran las redes del servicio móvil por satélite que funcionan en las bandas de 1,5/1,6 GHz con enlaces de conexión en diferentes bandas de frecuencia y antenas de estación terrena de enlace de conexión con una directividad considerablemente mayor que la de las antenas de estaciones terrenas móviles.

Este Informe se refiere a la compartición entre enlaces en las bandas de 1,5/1,6 GHz en los sistemas móviles por satélite. Se examinan varios factores que afectan a la compartición de frecuencias, tales como los criterios de interferencia, la discriminación de las antenas del satélite y de la estación terrena, los desplazamientos de frecuencia de las portadoras, la discriminación por polarización y la carga del transpondedor. En el Anexo IV se hace una estimación del límite superior de la capacidad teórica de la órbita de los satélites geoestacionarios para acomodar enlaces de comunicaciones de redes del servicio móvil por satélite en las bandas de 1,5/1,6 GHz.

## 2. Criterios de interferencia y de carga de los transpondedores

Los criterios de compartición entre enlaces de servicio se basan en dos tipos de criterios respecto de las señales no deseadas:

- 1) criterios aplicables al máximo nivel aceptable de interferencia en el canal de comunicaciones, y
- 2) criterios aplicables a la máxima carga aceptable en los transpondedores del satélite provocada por todas las señales de 1,6 GHz recibidas en el satélite.

Los niveles "aceptados" de interferencia (RR 162) se determinan en el transcurso de la coordinación; este Informe trata de niveles máximos admisibles de interferencia (RR 161).

### 2.1 Niveles admisibles de interferencia en un canal

No existen todavía Recomendaciones del CCIR que especifiquen los niveles de interferencia admisible máxima en los canales de los servicios móviles por satélite. Sin embargo, el Informe 917, sugiere un criterio de interferencia combinada equivalente a una relación C/I de unos 18 dB y un criterio con una sola fuente de interferencia de unos 23 dB para los canales MF de telefonía de 30 kHz con compresión-expansión utilizados en el servicio móvil marítimo por satélite. Los criterios de  $\Delta T/T$  equivalentes correspondientes a las atribuciones de potencia del ruido del Informe 917 son:

$\Delta T/T = 0,12$  para el valor combinado total;

$\Delta T/T = 0,04$ , para cada fuente individual.

Cabe señalar que la CAMR-ORB-88 adoptó un valor de  $\Delta T/T$  de 0,06 como nuevo umbral de coordinación entre sistemas de satélite.

Es necesario realizar estudios ulteriores para determinar los niveles admisibles de interferencia correspondientes a las diferentes situaciones, en particular cuando se tienen en cuenta diferentes modulaciones y antenas (por ejemplo, omnidireccionales) de las estaciones terrenas móviles.

## 2.2 Nivel de la potencia de interferencia total admisible debida a las señales del enlace ascendente de servicio en los transpondedores

Las señales no deseadas que no están en el mismo canal del enlace ascendente de servicio procedentes de estaciones terrenas móviles de baja directividad en zonas de cobertura de haces de satélites adyacentes podrían capturar una cantidad finita de potencia del alimentador del enlace descendente, reduciendo así la potencia de la portadora y el margen de desvanecimiento del enlace descendente. Concretamente, las portadoras del enlace ascendente de servicio de un sistema asignadas en la banda de paso del transpondedor de otro sistema pueden incrementar el nivel de ruido térmico en el enlace descendente. El enlace descendente puede tener un margen suficiente para las señales no deseadas que pudieran cargar el transpondedor.

Es preciso realizar estudios para determinar los criterios de interferencia efectiva aplicables a esta interacción. Entre otros deberían tenerse en cuenta los factores siguientes:

- 1) la reducción de la potencia de la portadora en el alimentador del enlace de conexión descendente en función de la carga de señales interferentes;
- 2) proyecciones estadísticas de la carga por señales no deseadas y deseadas, incluyendo los efectos combinados;
- 3) efectos combinados del desvanecimiento y de la carga del alimentador del enlace descendente producidos por las señales deseada y no deseada;
- 4) dificultades, si las hubiere, para mantener los ajustes de ganancia adecuados del transpondedor;
- 5) influencia de la reducción del margen de desvanecimiento del alimentador del enlace descendente en el margen de desvanecimiento efectivo total, incluido el enlace ascendente en las bandas de 1,5/1,6 GHz;
- 6) efectividad de los filtros fijos o programables en la atenuación de estas señales no deseadas; y
- 7) el nivel de reducción de la potencia de portadora previsto para la degradación dentro del sistema, en un sistema de satélite multihaz.

## 3. Discriminación de la antena del satélite

Las antenas de cobertura terrestre han sido ampliamente utilizadas en satélites que proporcionan cobertura global. Sin embargo, el incremento de la demanda conjunta de los servicios móviles por satélite y la evolución de las necesidades de los sistemas nacionales están llevando a la introducción en los satélites de antenas que tienen haces puntuales múltiples a pesar de su mayor complejidad y coste. A continuación se describen las discriminaciones disponibles por los dos tipos de sistemas.

### 3.1 Antenas que proporcionan cobertura de la Tierra con un solo haz

Cuando se necesita cobertura global, la zona de servicio se define normalmente como la zona para la cual el ángulo de elevación hacia el satélite es superior a un valor mínimo determinado, por ejemplo 5 ó 10 grados, por debajo del cual no puede mantenerse la calidad del servicio. En este caso, la antena se diseña generalmente para proporcionar cobertura con una ganancia específica hacia el borde de la Tierra, en vez de hacia el borde de la zona de servicio.

Los satélites MARECS e INMARSAT II utilizan un haz conformado de cobertura terrena con una ganancia aumentada hacia el borde de la Tierra para lograr márgenes mayores en esas direcciones. Los diagramas de ganancia nominal para las antenas del enlace ascendente y descendente de INMARSAT II son las siguientes:

- a 1,5 GHz, 18 dBi en el borde de la zona de cobertura y 17 dBi en el eje de puntería con una ganancia máxima de 19,5 dBi (es decir, un haz de cobertura hemisférica conformado);
- a 1,6 GHz, 15,5 dBi en el borde la zona de cobertura y 18,5 dBi en el eje de puntería (es decir, el diagrama del enlace ascendente es el de un haz no conformado convencional que da cobertura de la Tierra).

### 3.2 Antenas que proporcionan cobertura de haz puntual múltiple

Para facilitar la reutilización de frecuencia dentro del sistema en el diseño de estos haces se pretende generalmente obtener la mayor discriminación posible fuera del eje. Por consiguiente, la discriminación hacia las estaciones terrenas móviles utilizadas por otras redes puede ser también bastante grande y suficiente para permitir la compartición coordinada (por ejemplo, funcionamientos cocanal en todas las zonas de servicio de los dos satélites). La ganancia hacia cualquier punto dentro de la zona de servicio de un haz no diferirá más de 4 a 5 dB de la ganancia del haz principal, pero disminuirá rápidamente a medida que aumente el ángulo fuera del eje más allá de este punto.

Se han llevado a cabo estudios teóricos y experimentales para caracterizar los diagramas de ganancia que se pueden conseguir con antenas multihaz [NASA, 1982, 1984, 1986; Naderi, 1982] y se ha desarrollado la tecnología de sistemas que funcionan en otros servicios especiales. Véanse también los Informes 558 y 810.

#### 3.2.1 Ejemplos de conceptos sistémicos que utilizan la ganancia de la antena del satélite para permitir la reutilización de frecuencias

En los Anexos I y II se presentan dos ejemplos de conceptos sistémicos que permiten una sustancial reutilización de frecuencias. El primer concepto (Anexo I), se basa en la investigación realizada en Canadá, y utiliza diagramas de haz puntual fijos; el segundo concepto (Anexo II), basado en investigaciones efectuadas en los Estados Unidos, utiliza haces puntuales cuya dirección de apuntamiento depende de la frecuencia.

### 3.3 Importancia de las zonas de servicio y de cobertura

Cuando en un análisis de compartición se considera la discriminación que puede proporcionar la antena del satélite es importante distinguir entre zonas de cobertura y zonas de servicio. La zona de cobertura se corresponde nominalmente con la zona cubierta por la anchura del haz de la antena del satélite, mientras que la zona de servicio de un haz viene definida por la zona dentro de la cual debe obtenerse una calidad de servicio determinada. En consecuencia, la discriminación de la antena del satélite debe determinarse en la dirección de la zona de servicio del otro satélite (es decir, no en la dirección de la zona de cobertura del otro satélite). En el caso de un satélite que utilice múltiples haces puntuales, cada haz debe ser evaluado separadamente de esta forma.

### 3.4 Utilización de la información de posición procedente de las estaciones terrenas móviles

Aun en los casos en los que la discriminación de la antena del satélite y otros factores son suficientes para permitir la compartición de frecuencias sólo en una parte de la zona de servicio del otro sistema, puede lograrse cierta compartición si el Equipo de Señalización de Control y Acceso (ESCA) que asigna frecuencias a las Estaciones Terrenas Móviles (ETM) tiene información sobre las ubicaciones aproximadas de dichas estaciones. Con esta información, el ESCA puede determinar si la estación terrena se encuentra en una zona donde, por un acuerdo de coordinación, es posible compartir una asignación de frecuencia, permitiendo así la reutilización del espectro. Por ejemplo, en un sistema de haz puntual que emplee la reutilización de frecuencias internamente, el ESCA debe conocer el haz puntual en el que está ubicada una ETM con el fin de asignar una frecuencia reutilizable. En un sistema de haz global, como el que ahora funciona en INMARSAT, debe depender del Informe de la ETM sobre su posición (si ésta es solamente aproximada), o del conocimiento previo del ESCA sobre la posición aproximada de la ETM (o de alguna combinación de ambos métodos).

INMARSAT está desarrollando esta técnica de reutilización de frecuencia en sus nuevas normas de ETM mediante el diseño de ESCA capaces de asignar frecuencias basándose en los datos sobre la ubicación de la ETM (siempre que sea posible), derivados de la información de la ETM sobre el haz puntual que está utilizando (en el futuro, ya que INMARSAT no tiene en la actualidad satélites con haces puntuales) o por la información de la ETM acerca de sus ángulos de puntería de la antena, en función de la norma, o de la zona declarada de funcionamiento. Tal como se especifican actualmente las estaciones terrenas móviles aeronáuticas de normas B y M de INMARSAT, pueden informar en general del acimut y de los ángulos de elevación de la antena. Además, esas estaciones terrenas móviles son capaces de identificar e informar acerca del haz puntual de satélite que utilizan. Sin embargo, existen algunos casos en el sistema INMARSAT en los que no se dispone de información sobre la ubicación de la estación terrena móvil.

En la situación de interferencia representada en la Figura 1, no es posible la compartición de frecuencias entre los sistemas A y B en la zona de superposición. El sistema A utiliza dos bandas, una para el tráfico en la región con superposición (banda 2), y otra para el tráfico en la región sin superposición (banda 1); el sistema B utiliza una banda distinta (banda 3) para sus ETM en la región con superposición, y la misma banda (banda 1) que el sistema A para el tráfico en la región sin superposición. Dependiendo del informe de ubicación aproximada de la ETM (por ejemplo a qué cuadrante está apuntado su antena), el ESCA asignará entonces una frecuencia de una de las dos bandas utilizadas por el sistema.

Aunque la técnica de Asignación de Frecuencias Según la Ubicación (AFSU) es en general un medio muy útil para evitar la interferencia, no lo es tanto en los casos de satélites de haz global con cobertura total prácticamente sin superposición, o cuando ambos sistemas tienen necesidad de una cantidad importante de anchura de banda en la región con superposición. Habrá cierta ineficiencia de capacidad de tráfico si el conjunto de frecuencias se divide en un número de pequeños conjuntos utilizados por los distintos sistemas, es decir, se deben dar más canales para mantener el mismo grado de servicio en cada uno de los conjuntos más pequeños. Puede haber también un efecto negativo, en términos de costes, en el ESCA, en la ETM y en la instalación y explotación de la ETM para suministrar al ESCA información fiable sobre la ubicación. No sería práctico añadir estas técnicas a los sistemas existentes, tales como el sistema de norma A de INMARSAT, pero sería útil para los sistemas planificados. La AFSU es la técnica más útil para tratar los casos de interferencia entre satélites con haces puntuales y entre satélites con haz puntual y haz global.

Si una ETM funciona con un satélite de haz puntual, el ESCA conoce su ubicación entre los haces puntuales en virtud de la frecuencia del canal de control en la que está funcionando la estación terrena. Si no se utilizan haces puntuales y no está disponible la información sobre la puntería de la antena, la ETM podría comunicar sus zonas de funcionamiento y esta información se podría utilizar para asignar frecuencias de bandas específicas. En los sistemas de radiodeterminación puede ser posible la utilización de otras técnicas.

#### 4. Discriminación de antena de estación terrena móvil

##### 4.1 Generalidades

Si la zona de servicio de una red se superpone con la zona de cobertura de otra, la interferencia mutua viene determinada por la separación del satélite, las características de la antena móvil, y el balance del enlace del satélite de cada red. Se supone en esta sección que se superpone al menos un haz en cada sistema y que la discriminación de la antena de la estación terrena móvil es la única fuente de aislamiento entre los sistemas en estas zonas de superposición. La antena del satélite proporcionará discriminaciones adicionales en otras zonas para facilitar la compartición y puede emplearse el desplazamiento de la frecuencia portadora y la discriminación por polarización para aumentar el aislamiento en todos los haces.

Las relaciones entre estos factores pueden examinarse calculando la separación entre satélites requerida en función de los valores de ganancia de la estación terrena móvil y de otros parámetros del balance del enlace.

En el Anexo III se exponen las formas de obtener las ecuaciones generales utilizadas para determinar la separación orbital entre satélites requerida cuando ambas redes utilizan modulación digital MDP suponiendo funcionamiento cocanal.

Además del parámetro  $\Delta T/T$ , los factores concretos de los que depende la separación orbital para el enlace directo son:

- la ganancia en el eje de las antenas de la estación terrena móvil del sistema deseado (que determina la p.i.r.e. por portadora del enlace descendente del satélite deseado);

- el diagrama de radiación (niveles de ganancia de los lóbulos laterales) de las antenas receptoras de las estaciones terrenas móviles del sistema deseado;
- la velocidad de codificación (relación entre la velocidad binaria de la información y la velocidad binaria del canal) en el sistema interferente;
- el margen de desvanecimiento utilizado en los sistemas interferentes; y
- el valor mínimo necesario de la relación entre la energía por bit de datos y la densidad de potencia de ruido térmico en el sistema interferente.

Para el enlace inverso, la separación orbital depende no sólo de los anteriores factores sino también de:

- el diagrama de radiación (niveles de ganancia de los lóbulos laterales) de la antena transmisora de las estaciones terrenas móviles del sistema interferente;
- las asignaciones en el balance del ruido para las antenas deseada e interferente;
- la relación entre los factores de equilibrio del ruido en los sistemas deseado e interferente;
- la relación entre las temperaturas de ruido del receptor de los satélites deseado e interferente y la relación entre las ganancias de las antenas receptoras del satélite en los satélites interferentes y deseado, en la dirección de sus respectivas estaciones terrenas móviles transmisoras; y
- la ganancia en el eje de la estación terrena móvil transmisora del sistema interferente.

El Informe 1135 contiene información adicional y técnica que puede ser de utilidad para determinar la separación orbital necesaria entre las estaciones espaciales del servicio móvil por satélite.

#### 4.2 Ejemplos de cálculos de la separación orbital entre satélites - Caso homogéneo

El caso más simple es el de dos redes de satélite idénticas, comúnmente denominado caso de "sistemas con cobertura común homogéneos". En este caso, las ecuaciones para los sentidos espacio-Tierra y Tierra-espacio son idénticas, de manera que la sola curva representada en la Figura 2 bastará para ilustrar la sensibilidad de la separación orbital para la ganancia de la antena de estación terrena móvil.

En este ejemplo se suponen los siguientes parámetros:

$$\Delta T/T = 0,1$$

Modulación - MDPC

$$\text{Relación de codificación} = 0,75$$

$$E_b/N_0 = 3 \text{ dB (con desvanecimiento)}$$

$$\text{Margen} = 5 \text{ dB}$$

En la Figura 2 se muestran cuatro curvas que describen los efectos de una variedad de hipótesis de discriminación de antena (incluida toda posible combinación de efectos de discriminación de polarización cruzada o copolarización), en particular:

- 1) la envolvente del diagrama de radiación del lóbulo lateral de referencia indicado en el Informe 922 del CCIR (o en el Anexo 3 del Apéndice 29 del Reglamento de Radiocomunicaciones);
- 2) referencia más 4 dB, el mismo diagrama de referencia pero con 4 dB más de discriminación para todos los ángulos;
- 3) referencia más 7 dB, la misma referencias más 4 dB anterior pero con 3 dB más de discriminación angular adicional para todos los ángulos;
- 4) referencia más 11 dB, la misma referencia más 7 dB pero con 4 dB de discriminación angular adicional únicamente en la zona del lóbulo lateral.

De estas curvas puede desprenderse que la compartición cocanal no es posible sobre la base de discriminar solamente en la antena de la estación terrena móvil en zonas en las que la zona de cobertura del haz de un sistema se superpone a la zona de servicio del haz del otro sistema. Sin embargo, la discriminación adicional lograda desplazando o entrelazando portadoras al añadirse a la discriminación disponible en la antena de la estación terrena móvil, incluida cualquier discriminación posible por polarización cruzada, podría permitir separaciones de satélite menores que las indicadas en la Figura 2. La cantidad de discriminación que se puede conseguir con entrelazado es igual o superior a 10 dB.

#### 4.3 Ejemplo de cálculos de separación orbital entre satélites - Caso inhomogéneo

La separación orbital entre satélites es mayor cuando existen diferencias en los parámetros de los enlaces por satélite de ambas redes, que cuando ambas redes son idénticas.

El aumento de la separación es muy radical cuando las características del satélite de retorno son diferentes.

Por ejemplo, considérese el caso de una señal de enlace ascendente móvil optimizada para un haz global de estación espacial de recepción que produce interferencia a un enlace ascendente de una red regional adyacente.

Si la red adyacente es optimizada para una ganancia de la antena de recepción de estación espacial 10 dB superior a la del haz global, pero todos los demás parámetros de ambas redes son los mismos y, suponiendo que la discriminación de la antena de la estación terrena móvil es la única fuente de aislamiento entre los sistemas (por ejemplo, modulación, codificación, margen, como en el ejemplo anterior del punto 4.2), la separación orbital sería la que se muestra en la Figura 3. Como en el caso de sistemas homogéneos, otras discriminaciones además de la antena móvil facilitarían la compartición de las frecuencias.

#### 5. Entrelazado/Desplazamiento de canales

En algunos casos es posible lograr una mejor utilización del espectro entrelazando los canales de un sistema con los de otro. Ello puede verse facilitado por la amplia variedad de canales utilizados en los sistemas del SMS. Entre los factores que deben tenerse en cuenta al aplicar esta técnica figuran el tipo de modulación, la anchura de banda del canal, las separaciones de canal, los niveles de potencia y las necesidades de protección.

Los canales adyacentes dentro del mismo haz de cualquier sistema del SMS deben estar suficientemente separados en frecuencia para mantener su interferencia mutua entre portadoras a niveles aceptables, dada la carencia de cualquiera otra discriminación y la presencia de inestabilidades de frecuencia atribuibles a varios efectos. Es, por supuesto, posible entrelazar canales de un sistema con los del otro. En este caso, las bandas laterales de las portadoras moduladas en los canales de un sistema pueden solaparse a las de los canales adyacentes del otro sistema, pero las portadoras no coinciden. Así, la relación de protección puede reducirse en una cantidad que depende de los parámetros de modulación y codificación, los diseños del receptor, la cantidad de desplazamiento de frecuencia de la portadora, etc. Para sistemas que utilizan múltiples haces puntuales, el grado en el cual esta técnica puede ser utilizada para facilitar la compartición entre sistemas depende del grado en que es también utilizada para mejorar la reutilización de frecuencias del sistema.

Como medida aproximada del grado en que el entrelazado de un canal puede reducir el objetivo de interferencia cuando es aplicable, se ha calculado el factor de rechazo fuera de banda FRFB resultante de las características del filtro del receptor (por ejemplo, véase el Informe 654). Con estos cálculos se ha determinado el valor de dicho factor en función de anchuras de banda de la señal a la frecuencia normalizada (con respecto a las de la señal deseada) y las características de corte del filtro.

Cuando las señales deseada e interferente tienen el mismo esquema de modulación y están situadas en canales que tienen la misma anchura de banda, pueden lograrse fácilmente Factores de Rechazo Fuera de Banda (FRFB) de alrededor de 10 dB. Esto permitiría una disminución del valor de la relación de protección de unos 7 dB, cuando se deja un margen para la interferencia procedente de los dos canales entrelazados adyacentes superior e inferior. Sin embargo, en la práctica, el desplazamiento Doppler y otras incertidumbres de frecuencia requerirán una separación de frecuencia mayor de la supuesta previamente, lo que se traduce potencialmente en unos valores reales del FRFB más elevado. Cabe destacar que las inestabilidades de frecuencia provocan a la vez una discriminación en la separación de los canales superiores entrelazados y un aumento en la separación de los canales inferiores y viceversa, lo cual tiende a estabilizar el valor neto del factor de rechazo fuera banda.

Los estudios indican que las frecuencias desplazadas entre muchos de los tipos de portadoras que pueden utilizarse en sistemas del SMS pueden proporcionar una discriminación superior a 10 dB (Informes 770, 1018, 358, 319, 899, 903 y 525).

Conviene señalar que el desplazamiento de las portadoras en satélites adyacentes es práctica habitual en el servicio fijo por satélite para conseguir el aislamiento necesario entre tipos de funcionamiento que serían incompatibles de otra forma. A menudo solamente presentan problemas una parte de las combinaciones potenciales portadora cocanal/estación terrena; por consiguiente, la planificación de frecuencias de estas portadoras tiene por objeto mejorar los requisitos de discriminación total necesaria (véase el Informe 870). Al aceptar estas limitaciones de funcionamiento, que no deben tener ninguna influencia real sobre el servicio global, se hacen avances importantes en la eficacia de utilización del recurso órbita/espectro. Los efectos potenciales sobre la carga del transpondedor, etc., necesitan estudio ulterior.

#### 6. Discriminación por polarización

Se ha demostrado que los efectos de la propagación por trayectos múltiples en 1,5/1,6 GHz sobre señales polarizadas circularmente influyen en gran medida en la elipse de polarización de la envolvente de la señal compuesta presente en los elementos de alimentación de las antenas idóneas para los servicios móviles por satélite (Informes 884 y 1009). A medida que la relación axial de la elipse de la señal se desvía del valor unitario, se reduce la discriminación por polarización de una antena ideal con polarización circular. En la práctica, la relación axial de la elipse de polarización es variable.

La discriminación por polarización que se puede conseguir depende en gran medida de las características de la antena y de su instalación (plataforma y superficies próximas) así como del entorno en el cual se utiliza (permitividad y conductividad de superficie del medio de dispersión, reflexión y difracción). Se podría generalizar con respecto a los entornos marítimo, aeronáutico y terrestre. Por ejemplo, en el entorno marítimo se puede obtener discriminación por polarización suficiente mediante antenas de ganancia media a fin de permitir la aplicación eficaz de técnicas de compensación por trayectos múltiples basadas en dicha discriminación (Informes 1047 y 1048). Por otro lado, las superficies reflectoras en entornos terrestres generalmente tienen ángulos de Brewster mayores que en entornos marítimos; lo cual causará una despolarización de las señales interferentes, y consecuentemente, conducirán a una discriminación por polarización menor. Las antenas de aeronave pueden presentar relaciones axiales altas que podrían limitar la discriminación por polarización que se pueda conseguir.

Se necesitan estudios ulteriores para determinar la discriminación por polarización que podría obtenerse para facilitar la compartición; sin embargo, los estudios actuales indican que con la aplicación de esta técnica se obtendrá solamente una ventaja modesta desde el punto de vista estadístico. En algunos casos, no se logrará ninguna discriminación por polarización. Una posible complicación es la de que la implantación de la discriminación por polarización puede causar problemas al interfuncionamiento entre sistemas del servicio móvil por satélite, en la medida en que las antenas de la estación terrena móvil que tendrían que ser capaces de funcionar con cualquier tipo de polarización son complejas y costosas.

## 7. Conclusiones

Hay diversas técnicas para mejorar el aislamiento entre dos sistemas del servicio móvil por satélite a fin de permitir la compartición de frecuencias. En muchas situaciones, puede ser necesaria una combinación de estas técnicas para hacer posible la compartición. Cuando uno o los dos sistemas utilicen antenas de satélite multihaz, debe contarse con una apreciable discriminación de antena en la mayoría de los haces. La discriminación disponible en antenas de estaciones terrenas móviles de media y alta ganancia facilita la compartición y puede que por sí misma sea suficiente para permitir la compartición de frecuencias entre sistemas.

Es necesario llevar a cabo más trabajos sobre los factores de compartición de frecuencias para sistemas del servicio móvil por satélite en varios sectores, tales como la elaboración de:

- 1) conceptos de planificación de sistemas de haz puntual que permitan una atribución flexible de frecuencias y potencias a los haces, a la vez que posibiliten una utilización eficaz del espectro atribuido a los servicios móviles por satélite;
- 2) criterios de interferencia admisibles para la coordinación de frecuencias entre sistemas;
- 3) estrategias prácticas para obtener una utilización eficaz de la órbita de los satélites geostacionarios y de las frecuencias atribuidas a los servicios móviles por satélite, habida cuenta de que algunas redes serán optimizadas para cobertura regional y otras para cobertura global.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

NADERI, F. y otros [febrero de 1982] Land Mobile Satellite Service (LMSS); A Conceptual System Design and Identification of the Critical Technologies, JPL Publication 82-19, California Institute of Technology, Pasadena, CA, Estados Unidos de América, 15 de febrero de 1982.

NASA [1982, 1984 y 1986] Proceedings of the Conference on Large Space Antenna Systems Technology, NASA Conference Publications, Research Information and Applications Division, Langley Research Center, Hampton, VA, Estados Unidos de América.

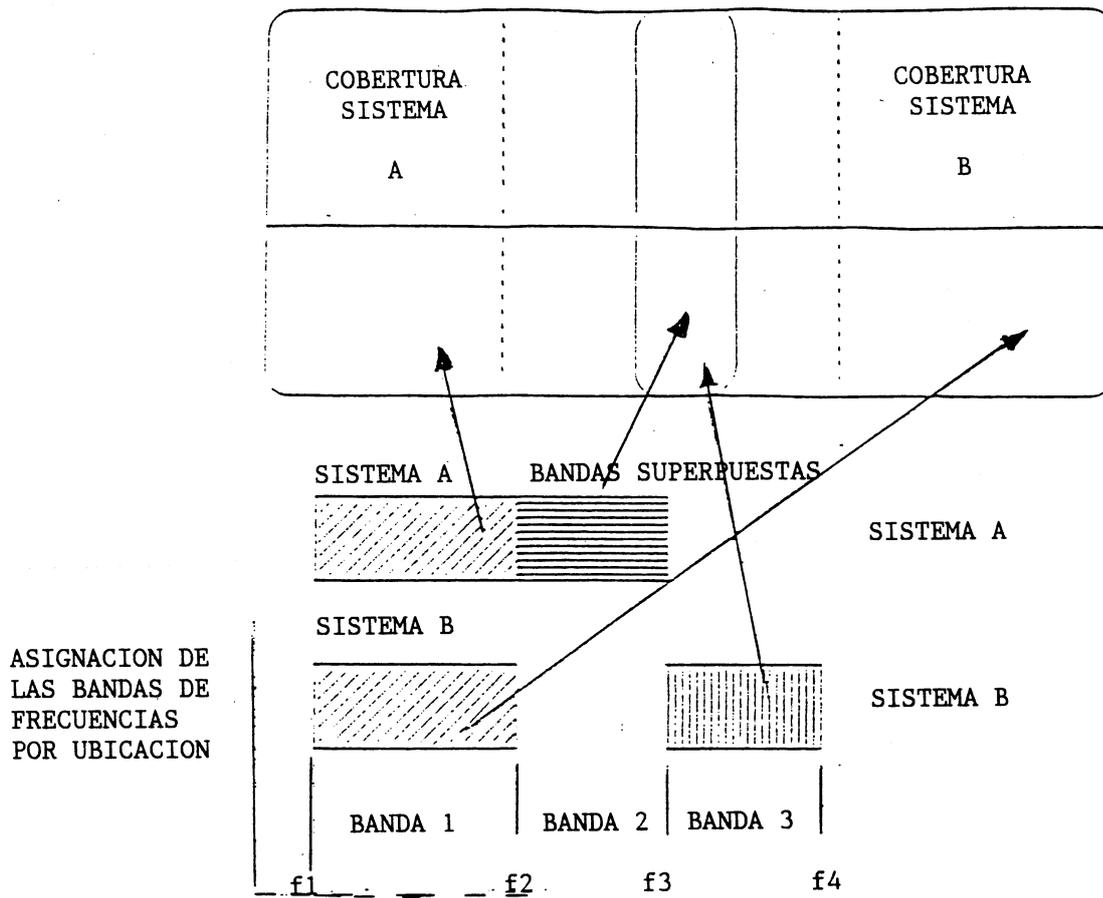


FIGURA 1 - Asignación de las frecuencias por ubicación

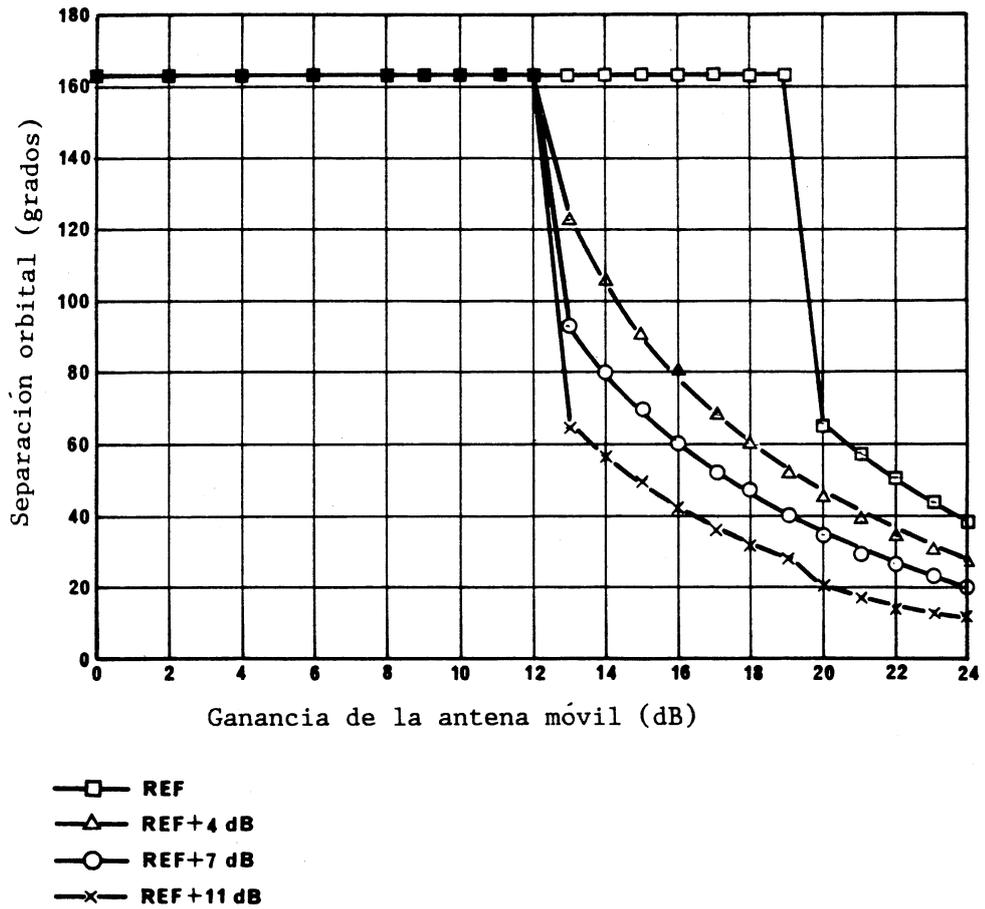


FIGURA 2 - Separación orbital entre satélites para sistemas homogéneos con cobertura común suponiendo que solamente las antenas de la estación terrena móvil proporcionan la discriminación disponible

$$(\Delta T/T = 0,1)$$

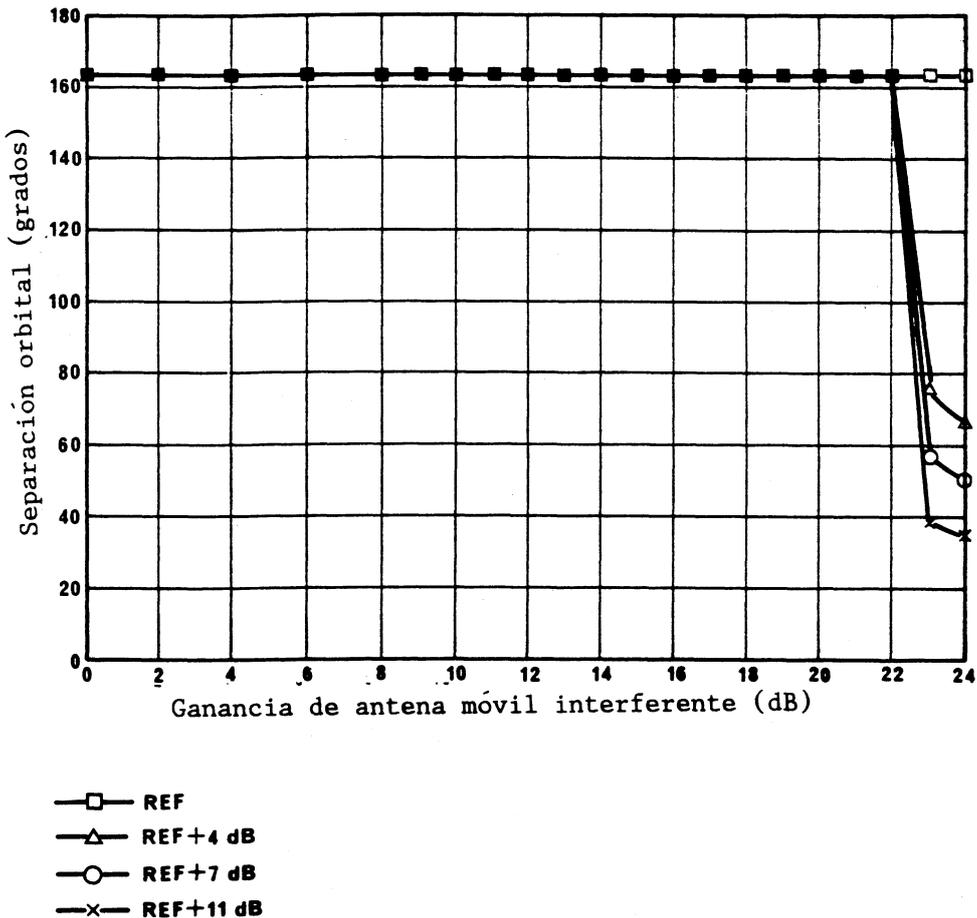


FIGURA 3 - Separación orbital entre satélites requerida para sistemas no homogéneos con cobertura común suponiendo que solamente las antenas de la estación terrena móvil proporcionan la discriminación disponible

(Enlace de retorno,  $\Delta T/T = 0,1$ , ganancia de la antena del satélite deseado 10 dB por encima del satélite adyacente)

## ANEXO I

## REUTILIZACION DE FRECUENCIAS UTILIZANDO HACES PUNTUALES FIJOS

1. Introducción

Con ayuda de los parámetros de diseño especificados en el § 2 más adelante, se han estudiado algunos diagramas de reutilización del espectro con haces estrechos para obtener una cobertura mundial. A efectos del análisis, se supone que el espectro disponible total es A MHz en cada sentido de transmisión, es decir, enlace ascendente A MHz + enlace descendente A MHz, del cual B MHz se utilizaría para sistemas móviles por satélite subregionales o nacionales.

Se supone también que los sistemas que dan servicio a zonas oceánicas utilizarán haces globales, es decir, haces que cubren el globo visto desde el satélite, utilizando la anchura de banda restante, esto es, (A-B) MHz.

Salvo para circunstancias especiales, tales como las descritas en el § 5, o cuando se utilizan antenas de estación terrena móvil muy directivas, el espectro (A-B) MHz, utilizado por estos sistemas de haz global estará esencialmente disponible para otros sistemas.

Para los sistemas de haz global, el factor de reutilización de frecuencias máximo es 2 y se produciría cuando cuatro satélites de haz global están separados 90° entre sí.

2. Parámetros de haces puntuales para ejemplos de reutilización de frecuencias

Los parámetros de diseño de la antena del satélite utilizados en los puntos que siguen para ilustrar el principio de reutilización de frecuencias son los considerados actualmente para la realización del primer sistema nacional móvil por satélite de Canadá (MSAT).

- El tamaño de abertura de la antena está limitado a 5 metros (reflector desplegable o elementos en fase articulados).
- La separación angular de los haces adyacentes es aproximadamente de 2 grados.
- La cobertura de zona del haz es de 2,5 grados x 2,5 grados.
- La relación compuesta entre la portadora en el mismo canal y la interferencia es igual o mayor a 20 dB (el criterio de C/I utilizado en los estudios).
- La separación angular entre los haces de reutilización de frecuencias es por lo menos de 5 grados.

Mediante el empleo de un diseño de antena que responda a las necesidades básicas, se ha hecho una evaluación de los contornos típicos de los lóbulos laterales, que aparece en la Figura 4.

### 3. Ejemplos de reutilización de frecuencias

Las Figuras 5 y 6 ilustran una estructura celular conceptual para América del Norte, América Central y Sudamérica (Región 2). En este caso se ha adoptado un enfoque de siete sub-bandas. Según este criterio, se divide el espectro disponible en siete segmentos y se utilizan estas sub-bandas como bloques de construcción básicos para la cobertura de la superficie terrestre. En los ejemplos indicados, se supone que las siete sub-bandas ( $f_1, f_2, \dots, f_7$ ) tienen la misma magnitud y se emplean dos posiciones orbitales distintas  $60^\circ$  y  $106,5^\circ W$  para mostrar el alcance de la cobertura y las posibilidades de reutilización de las frecuencias en esta región, sin depender de la discriminación de la antena móvil.

Como sólo se trata de un ejemplo conceptual, no se ha intentado dar una información a los haces en el espacio ni orientarlos sobre diversas fronteras nacionales. Esto es lo que se haría en la práctica, y los sistemas en las diversas posiciones orbitales estarían coordinados estrechamente para obtener una cobertura y calidad de servicio óptimas. Podría adoptarse un enfoque de sub-banda no uniforme para todos los casos analizados en este Informe, a los fines de lograr una capacidad proporcional a las pautas de concentración de población y la demanda de tráfico.

Las Figuras 5 y 6 muestran además que una estructura celular de reutilización de frecuencias puede mantener la integridad entre dos posiciones orbitales muy separadas. Los contornos elípticos son ejemplos de niveles de interferencia derivados de la presencia de haces en el mismo canal recibidos desde una posición orbital al sistema que funciona en la posición orbital alternativa. El factor de reutilización de frecuencias obtenido en las Américas, en estos ejemplos, es aproximadamente 3,7.

Se puede suponer que dicho concepto básico cubre las masas terrestres incluidas en las Regiones 1 y 3 de la UIT.

La cobertura completa de la Región 1 necesitaría 27 haces, obteniéndose un factor de reutilización de aproximadamente 3,9. Del mismo modo, para la Región 3 se necesitarían 29 haces que darían un factor de reutilización de aproximadamente 4,1. El potencial de reutilización del espectro total que resultaría sería la suma de los factores individuales de reutilización y estaría próximo a 12.

### 4. Medios de acomodar sistemas independientes

Tras haber considerado las pautas mundiales para la cobertura de todas las zonas terrestres, es necesario examinar cómo respondería este modelo ideal a la necesidad de dar cabida a los sistemas nacionales y/o regionales que puedan surgir. A continuación se examinan dos ejemplos.

En el primer caso, América del Norte podría ser servida por dos sistemas separados, que entre ambos proporcionen la cobertura de la Figura 5 siempre que se hayan tomado disposiciones internacionales necesarias que contemplen ejemplos de un país cubierto por el satélite de otro. Con arreglo a estas hipótesis no sería necesario modificar los modelos que aparecen en la Figura 5.

En el segundo caso, cuando una extensa masa de tierra es servida por varios sistemas, cada uno de los cuales está pensado para dar servicio a zonas adyacentes, es evidente que dos o más sistemas pueden tener haces puntuales que se superpongan. En este caso, como cada sistema da servicio a una parte de la zona en cuestión, habrá que utilizar canales separados en la zona de superposición, a menos que la antena de la estación terrena pueda permitir una importante discriminación. Se trata, pues, de una cuestión de coordinación de frecuencias.

##### 5. Inclusión de la distribución de tráfico no uniforme

Además de dar cabida a varios sistemas nacionales y regionales, el modelo de reutilización mundial elaborado debe poder incluir los niveles variables de utilización sobre la superficie terrestre, para aprovechar el máximo el espectro. Esto puede obtenerse principalmente de dos maneras. En primer lugar, mediante la utilización de sub-bandas desiguales dentro del espectro de 8 MHz disponible. En segundo lugar, gracias a la reutilización selectiva de partes del espectro atribuido para la cobertura mundial, en zonas donde la interferencia con los haces globales está limitada por la Tierra.

##### 6. Resumen

En este anexo se ha presentado la posibilidad de lograr una mejora en la eficacia de la utilización del espectro mediante reutilización de frecuencias empleando haces puntuales y separación geográfica de las zonas de cobertura.

Si los adelantos de la tecnología permiten construir antenas para satélite más grandes, será posible mejorar sustancialmente la capacidad de reutilización de frecuencias. Este último desarrollo no exigirá necesariamente reconsiderar en gran medida los modelos a escala mundial aquí presentados, puesto que los modelos de haz más pequeños se ajustarán en la mayoría de los casos a los contornos globales de los modelos señalados en este documento.

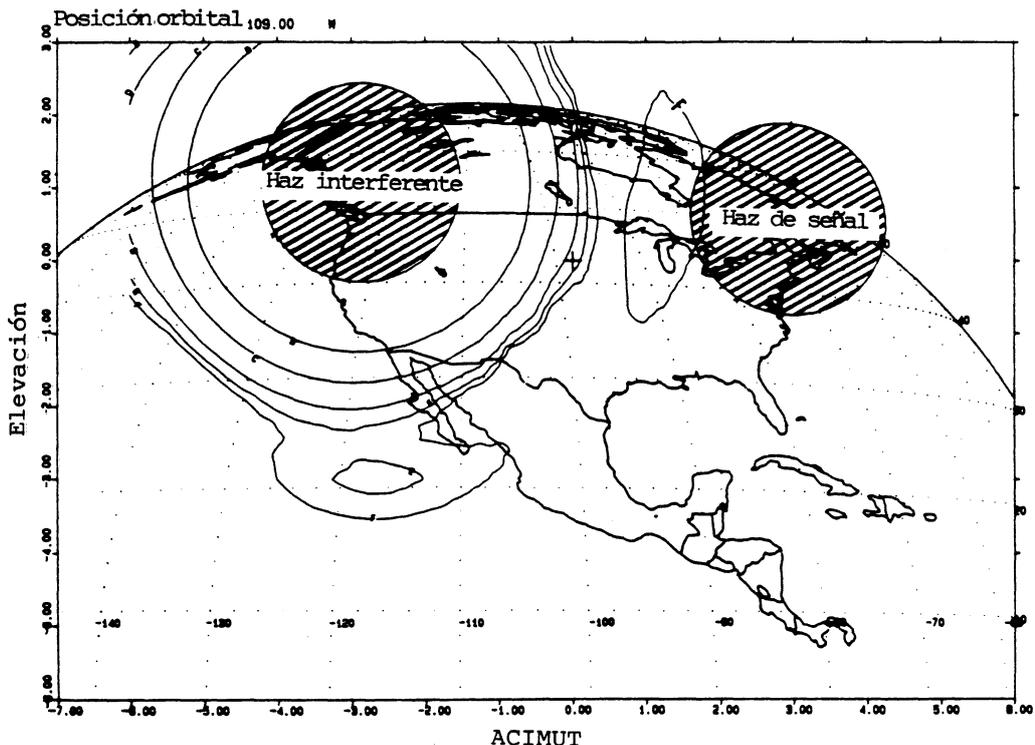
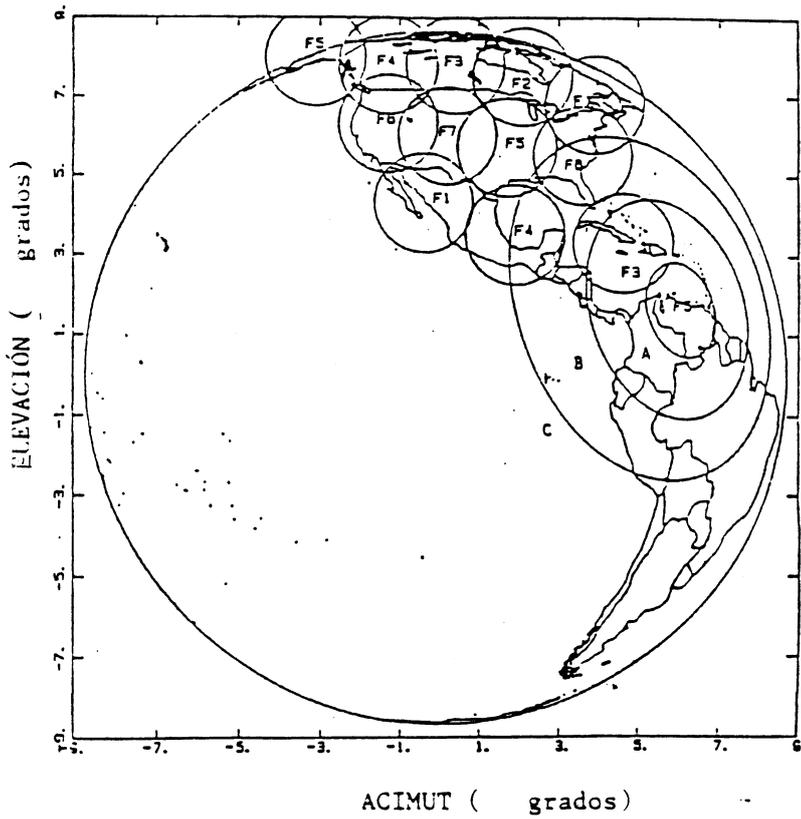


FIGURA 4 - Contornos típicos de reutilización de frecuencia en un haz de cada tres



FACTOR DE REUTILIZACIÓN 1,7

FIGURA 5 - América del Norte vista desde 106.5°W

A = 3 dB

B = 20 dB

C = 25 dB



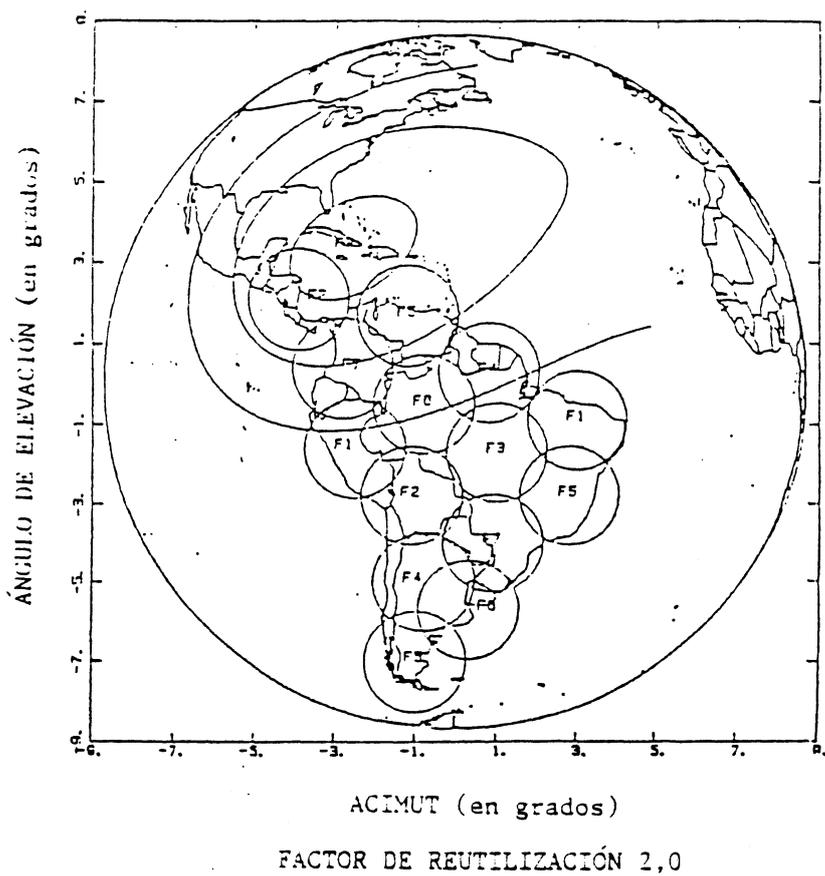


FIGURA 6 - América Centra y del Sur vistas desde 60°W

## ANEXO II

REUTILIZACION DE FRECUENCIAS MEDIANTE HACES EN ABANICO  
ORIENTABLES CON LA FRECUENCIA1. Concepto de haces en abanico orientables con la frecuencia1.1 Generalidades

La cobertura de una zona extensa mediante un haz estrecho en abanico se logra dirigiendo el centro del haz al acimut de cada usuario. Esto se consigue utilizando un sistema de antenas cuyos elementos se alimentan mediante señales con desplazamiento de fase dependiente de la frecuencia, lo que provoca que el haz se desplace en direcciones distintas para frecuencias portadoras diferentes. Una asignación por demanda de los intervalos de frecuencia portadora optimiza simultáneamente la ganancia de la antena del satélite para un gran número de usuarios distribuidos en una amplia zona.

1.2 Red de conformación del haz

Los desplazamientos de fase dependientes de la frecuencia para los elementos de la antena se obtienen mediante una red conformadora del haz que consiste en una serie alternada de acopladores y de elementos de retardo de tiempo. En cada uno de los puntos de alimentación de la antena se sitúa un acoplador. Para obtener la distribución de potencia de antena deseada deben ajustarse los factores de acomplamiento. Los elementos de retardo de tiempo pueden ser líneas de transmisión de la longitud adecuada o, en sistemas de banda estrecha, redes de elementos concentrados diseñadas adecuadamente.

Se está evaluando, para el diseño del sistema de antenas, un sistema bidimensional de dipolos con polarización circular agrupados con gran densidad. El sistema tiene 32 columnas que pueden alimentarse de forma apareada, de manera que sólo se precisan 16 puntos de alimentación. El sistema proporciona los haces de transmisión y recepción, lo que exige la utilización de diplexadores en cada punto de alimentación.

2. Reutilización de frecuencia

La reutilización del espectro de frecuencias de la banda 1,5 - 1,6 GHz se logra dividiendo el área de servicio en zonas, en cada una de las cuales se hace uso de todo el espectro atribuido. En cada zona, se dirige el extremo inferior de la banda al borde occidental de la zona, y el extremo superior hacia el borde oriental. De esta manera, en el lugar en que las zonas son adyacentes el extremo superior de las frecuencias de una zona coincide con el extremo inferior de las frecuencias de la otra. La interferencia provocada por la utilización simultánea de cada canal de frecuencia múltiples veces se reduce a niveles aceptables utilizando una iluminación decreciente en el sistema de antenas obteniendo de esta manera niveles de lóbulos laterales suficientemente bajos.

3. Ventajas del funcionamiento con un sistema de antenas activas

Las características de las comunicaciones se mejoran utilizando amplificadores de alta potencia y receptores de bajo nivel de ruido en cada uno de los puntos de alimentación de la antena, de tal forma que las pérdidas por inserción de las redes conformadoras del haz no afecten ni a la eficacia de

la transmisión ni a la sensibilidad del receptor. Para evitar los costes del diseño y fabricación que supone el uso de amplificadores con diferentes niveles de potencia, las distintas potencias empleadas por los elementos del sistema de antenas se generan mediante amplificadores dobles con acoplamiento híbrido. En esta disposición todos los amplificadores funcionan al mismo nivel de potencia a pesar de las distintas potencias presentes en sus entradas y salidas. Además, presenta la ventaja adicional de dispersar geográficamente los productos de intermodulación, reduciendo de esta forma su nivel en los emplazamientos de los usuarios. Sin embargo, fuera de la zona de servicio aparecen algunos productos de intermodulación que pueden afectar la utilización de las frecuencias por las redes de los satélites adyacentes. Se necesitan estudios ulteriores para evaluar la magnitud de este efecto.

#### 4. Resumen

La utilización de haces orientables con la frecuencia generados por un sistema de antenas activo proporciona una ganancia de antena elevada en una zona extensa y posibilita la utilización múltiple del espectro de frecuencias de la banda 1,5 - 1,6 GHz. La disposición de amplificadores de potencia consistente en que cada uno de ellos amplifica todas las señales, permite la máxima flexibilidad en el proceso de asignación de potencia. Como el repetidor es lineal, la potencia del enlace directo para cada señal viene determinada por la potencia del enlace ascendente de la estación de base. La utilización del control de potencia en la estación de base permite una atribución ajustable de la potencia del satélite a fin de compensar tanto las variaciones de la ganancia de antena entre los diversos usuarios móviles como sus posiciones en los diagramas de antena del vehículo espacial. Además, se encuentra disponible para cualquier distribución de tráfico toda la potencia de la banda 1,5 - 1,6 GHz utilizada por el vehículo espacial. La dispersión geográfica de los productos de intermodulación de la banda 1,5 - 1,6 GHz reduce su intensidad en los emplazamientos de los usuarios y, por consiguiente, permite la utilización de transmisores más eficaces.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

JOHANNESSEN, K.G. [julio, 1987] - Scan beam antenna intermodulation improvement due to spatial dispersion. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems Vol. AES-23, N<sup>o</sup> 4, páginas 543-557.

ROSEN, H. [1987] - Frequency addressable beams for satellite communications, Telecom 87, Ginebra.

## ANEXO III

FACTORES DE SEPARACION DE SATÉLITES PARA REDES  
DIGITALES MÓVILES POR SATÉLITE1. Protección contra la interferencia de satélite a Tierra

Utilizando la misma notación que figura en el apéndice 29 al Reglamento de Radiocomunicaciones, se ha demostrado que la separación mínima entre satélites para obtener protección contra la interferencia del enlace descendente (véase [Sue y otros, 1988]) viene dada por:

$$g^{-2,5} = \frac{(\Delta T/T) g_1^{0,5} g'_1}{(3,85 \times 10^5) (2 \rho') m' (E_b/N_0)'} \quad (1)$$

donde los parámetros adicionales se definen como sigue:

- $(E_b/N_0)'$ : energía mínima requerida por bit de datos/densidad de potencia de ruido para el enlace de satélite adyacente interferente;
- $\rho'$ : velocidad de codificación (velocidad binaria de información/velocidad binaria de canal) utilizada en el sistema adyacente;
- $m'$ : margen para el desvanecimiento utilizado en el sistema adyacente

y donde se ha supuesto un formato de modulación de canal MDPG.

2. Protección contra la interferencia de Tierra a satélite

Se ha demostrado que la separación mínima entre satélites para obtener protección contra la interferencia en el sentido del enlace ascendente (véase [Sue y otros, 1988]) viene dada por:

$$g^{-2,5} = \frac{[\Delta T/T] [a/a'] [T_s/T'_s] [g'_2(\delta)/g_2(\delta)] [g'_1]^{1,5}}{(3,85 \times 10^5) (2 \rho') m' (E_b/N_0)'} \quad (2)$$

donde los nuevos factores  $a$  y  $a'$  se han introducido para reflejar la relación entre el ruido del enlace ascendente y el ruido total en el enlace móvil de Tierra a satélite, es decir,  $a = T/\gamma T_s$  y  $a' = T'/\gamma' T'_s$ .

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SUE, M. y otros [febrero de 1988] - Intersystem Technical and Operational Sharing Considerations in the Mobile-Satellite Services. NTIA TN-88-3, National Telecommunications and Information Administration, Estados Unidos de América.

## ANEXO IV

ESTIMACION DE UN LIMITE SUPERIOR DE LA CAPACIDAD TEORICA DE LA ORBITA  
DE LOS SATÉLITES GEOESTACIONARIOS PARA DAR CABIDA A ENLACES DE  
COMUNICACIONES DE LAS REDES DE LOS SERVICIOS MOVILES  
POR SATÉLITE EN LAS BANDAS DE 1,5/1,6 GHZ1. Introducción

En este anexo se hace una estimación del número total de canales de comunicación que podrían teóricamente acomodarse en una amplia zona determinada mediante sistemas del servicio móvil por satélite que funcionan en la banda 1,5/1,6 GHz. Se efectúa una estimación de la capacidad máxima disponible para varias combinaciones de parámetros técnicos de sistemas de servicios móviles por satélite examinados en la parte sustantiva del Informe. Dicha estimación consiste simplemente en el número de circuitos vocales o equivalentes que podrían estar disponibles en diversas circunstancias. No se ha hecho ningún intento de convertir este número en bits de datos por segundo o en número de erlangs que se podrían acomodar.

Este análisis proporciona una estimación inicial de la suficiencia del recurso órbita-espectro en 1,5/1,6 GHz para atender las necesidades previstas de tráfico del servicio móvil por satélite, y para indicar el grado en que puede mejorarse el volumen disponible del recurso órbita-espectro empleando algunas de las técnicas tratadas en el Informe.

2. Definición de capacidad en este análisis

A los efectos de este análisis, "capacidad" es el número de circuitos vocales dúplex disponibles en cualquier zona de servicio determinada de cierta extensión. El concepto se puede utilizar cuando se comparan diferentes técnicas de conservación del espectro en el diseño y explotación de los sistemas del servicio móvil por satélite. Se supone que estas técnicas se utilizan en las bandas 1 530 - 1 544 MHz, 1 545 - 1 559 MHz, 1 626,5 - 1 645,5 MHz y 1 646,5 - 1 660,5 MHz y que se dispone en cada dirección de una anchura de banda de 28 MHz; no se pretende dividir esta capacidad entre los servicios móviles por satélites terrestre, aeronáutico y marítimo.

3. Técnicas consideradas para la conservación del espectro

Existe un cierto número de técnicas que pueden utilizarse para la conservación del espectro. En el presente análisis se examinan tres:

- i) utilización de la antena del vehículo espacial para el aislamiento entre sistemas;
- ii) utilización de la antena del terminal terreno para el aislamiento entre sistemas;
- iii) utilización de técnicas de modulación de banda estrecha para codificar un canal vocal;

### 3.1 Aislamiento en la antena del vehículo espacial

Algunos vehículos espaciales utilizan antenas globales; otros han sido diseñados para utilizar una antena más compleja que proporcione haces independientes de  $2^\circ$ . Desde el punto de vista de una estimación de la capacidad orbital es posible que este concepto de la utilización de haces puntuales múltiples pudiera ser ampliado para cubrir la porción de la Tierra visible desde la Órbita de los Satélites Geoestacionarios (OSG), como se muestra en la Figura 7. Las diferentes coberturas de haz indicadas en dicha figura no provienen necesariamente del mismo satélite. Podrían pertenecer a vehículos espaciales distintos situados en emplazamientos orbitales similares. Es decir, emplazamientos orbitales demasiado próximos para conseguir un aislamiento eficaz entre sistemas si las estaciones terrenas terminales utilizan antenas directivas.

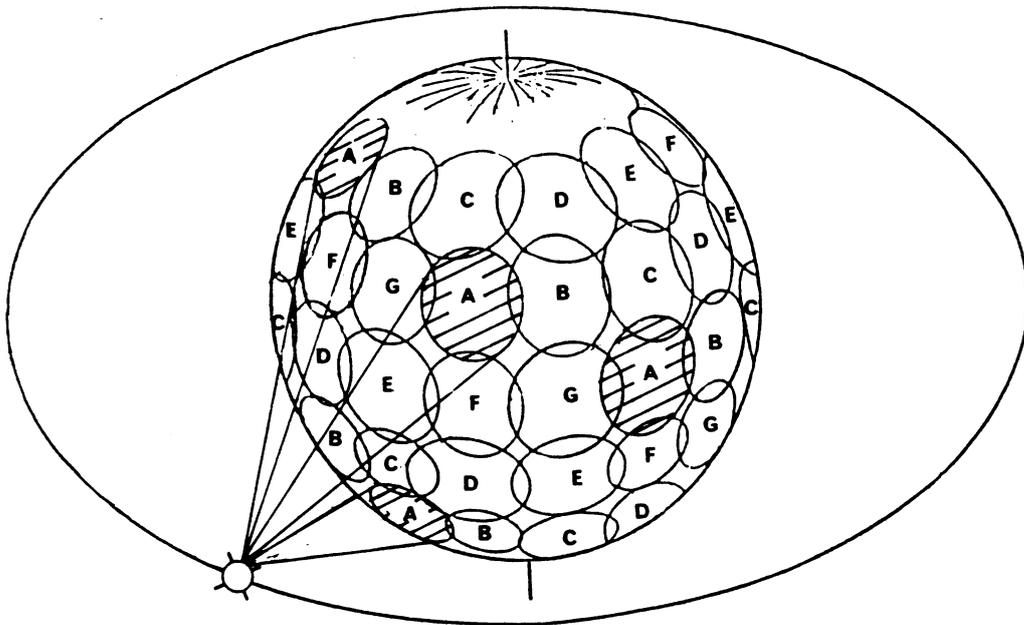


FIGURA 7

Reutilización de la frecuencia desde un emplazamiento orbital único

### 3.2 Aislamiento en la antena del terminal terreno

Los terminales terrenos para el servicio móvil por satélite, en general tienen poca discriminación en la antena (véase el Informe 1047), a diferencia de los del servicio fijo por satélite en que la discriminación proporcionada por la antena es suficiente para permitir la utilización de separaciones de satélites en órbita de sólo  $2^\circ$ . La Figura 8 muestra cómo, gracias a esta discriminación, puede conseguirse la reutilización;  $\theta$  es el ángulo entre las posiciones orbitales del satélite.

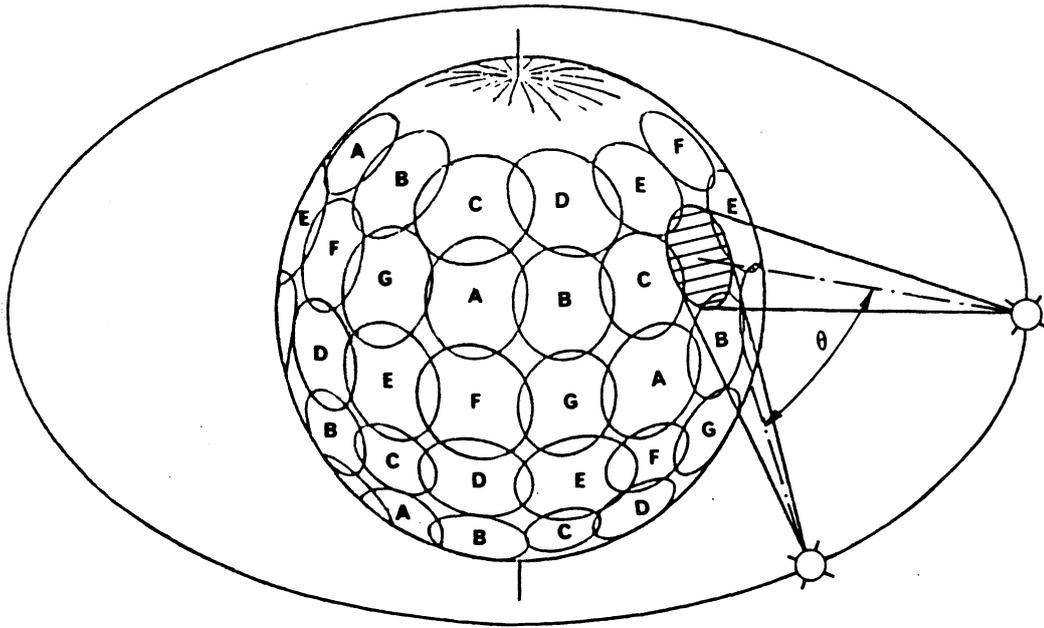


FIGURA 8

Reutilización de frecuencia desde una zona de cobertura única

3.3 Técnicas de modulación y anchuras de banda de canal asociadas

En los sistemas del servicio móvil por satélite se utilizan y se piensa utilizar diversas técnicas de modulación. Algunos sistemas utilizan canales analógicos con MF y una separación entre canales de 50 kHz. En otros se logra reducir la anchura de banda llegando a un compromiso entre la anchura de banda, la potencia y la calidad. Se están desarrollando sistemas en los que se prevé utilizar una separación entre canales de 5 kHz.

4. Valores supuestos de los parámetros del sistema

4.1 Tamaño del haz de antena del vehículo espacial

Se está trabajando en nuevas tecnologías de sistemas que permitan la utilización de antenas de haz múltiple de unos  $2^\circ$  de diámetro, que cubrirán de 1 a 2 millones de kilómetros cuadrados, según el ángulo de elevación del satélite visto desde la zona de servicio (véanse las Figuras 7 y 8). Alrededor de  $1/7$  de la anchura de banda total disponible puede utilizarse en cualquiera de las zonas de servicio, suponiendo que exista una distribución uniforme de los canales entre los haces y que los haces que utilizan las mismas frecuencias estén separados por unas dos anchuras de haz.

#### 4.2 Separación en la OSG entre satélites que utilizan la misma banda de frecuencia

Algunas estaciones terrenas móviles pueden utilizar antenas orientables con anchuras de haz de unas decenas de grados en la dirección del acimut. En ausencia de cualquier otro tipo de discriminación, la separación mutua entre los satélites que hacen uso de la misma banda y dan servicio a terminales terrenos provistos de tales antenas es del orden de  $90^\circ$  en la OSG.

#### 4.3 Número de canales disponibles

Si se dispusiera de una anchura de banda de  $2 \times 28$  MHz, podrían acomodarse en ella 560 canales dúplex, utilizando una separación de canales de 50 kHz, o 5.600 canales dúplex si el estado de la tecnología permitiera una separación de canales de 5 kHz.

#### 5. Capacidad disponible en una zona de servicio determinada

##### 5.1 Capacidad disponible a latitudes elevadas

Suponiendo una separación de satélites de  $90^\circ$  en la OSG (véase el punto 4.2), solamente será visible un satélite a latitudes elevadas. En estas condiciones, cuando se utilizan haces puntuales para permitir la reutilización de frecuencias desde una posición orbital dada, se dispondrá de  $1/7$  del número total de canales (por ejemplo, de 80 a 800 canales, según la anchura de banda del canal en una zona de servicio dada).

##### 5.2 Capacidad disponible a latitudes bajas

En latitudes bajas dos satélites, separados  $90^\circ$ , como en el caso anterior serán visibles desde una zona determinada, y podrán utilizarse antenas con la discriminación suficiente para permitir la compartición de frecuencias entre satélites. En tal situación el número total de canales disponibles puede ser el doble en el caso de latitudes elevadas (por ejemplo, de 160 a 1.500, según la anchura de banda del canal).

---