

## PARTE 5D – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y DE EXPLOTACIÓN DE LOS SERVICIOS MÓVILES POR SATÉLITE

## RECOMENDACIÓN UIT-R M.1188

**INFLUENCIA DE LA PROPAGACIÓN EN EL DISEÑO DE SISTEMAS DEL SERVICIO MÓVIL POR SATÉLITE CON SATÉLITES NO GEOESTACIONARIOS QUE NO UTILIZAN DIVERSIDAD DE SATÉLITES Y PROPORCIONAN SERVICIO A EQUIPOS PORTÁTILES**

(Cuestión UIT-R 88/8)

(1995)

**Resumen**

Esta Recomendación señala los factores que deben tenerse en cuenta en el diseño de los sistemas de comunicación con equipos manuales portátiles del SMS. En el Anexo 1 figuran diversas consideraciones sobre las degradaciones de propagación.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que en el diseño de los sistemas del servicio móvil por satélite (SMS) deben tenerse en cuenta las características de la propagación;
- b) que los trayectos de propagación con satélites no geoestacionarios presentan características distintas a las de los sistemas móviles terrenales;
- c) que para ofrecer fiabilidad y calidad a las comunicaciones con equipos manuales portátiles deben establecerse en el sistema los márgenes del enlace adecuados para combatir las degradaciones de propagación;
- d) que en la determinación del margen del enlace necesario tienen una gran influencia la naturaleza de las degradaciones de la propagación y los detalles de la realización del sistema;
- e) que el ángulo de elevación tiene una gran repercusión en el desvanecimiento;
- f) que la velocidad a la que cambia el nivel de la señal (anchura de banda del desvanecimiento) debido a la variación de la geometría entre los dos puntos extremos de la comunicación parece variar con frecuencias de hasta 200 Hz;
- g) que debido al movimiento del usuario y a la interferencia provocada por su cuerpo o su cabeza puede aparecer un desvanecimiento considerable tanto en condiciones de línea de visibilidad directa despejada como en condiciones de fuerte apantallamiento;
- h) que en la Recomendación UIT-R P.681 aparecen métodos de previsión de la propagación para sistemas del servicio móvil terrestre por satélite y que la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones continúa sus trabajos en el marco de la Cuestión UIT-R 207/3 para ampliar esta información,

*recomienda*

- 1** que en el diseño de los sistemas de comunicaciones con equipos portátiles del SMS en la banda 1-3 GHz (véase la Nota 1):
  - se tengan en cuenta los efectos producidos por la variación de la anchura de banda del desvanecimiento al establecer los tiempos de adquisición del receptor;
  - los márgenes de enlace y el diseño del sistema sean los adecuados en condiciones de desvanecimiento profundo debido al movimiento del usuario y a la interferencia provocada por su cabeza o su cuerpo, así como a los efectos de apantallamiento; además el diseño del sistema debe compensar las degradaciones del canal;

- se utilice la información de la Recomendación UIT-R P.681 como referencia para la información de propagación. La información sobre degradación de la propagación del Anexo 1 se refiere a un sistema propuesto;
- se utilicen las técnicas de entrelazado de datos y corrección de errores en recepción teniendo en cuenta su efectividad para combatir las condiciones de desvanecimiento.

NOTA 1 – Los datos disponibles y el modelo de propagación de la Recomendación UIT-R P.681 son válidos con ángulos de elevación bajos para frecuencias inferiores a 1,5 GHz; con ángulos de elevación por encima de 30° es aplicable la gama de frecuencias 1-3 GHz. Convendría que se aportaran más mediciones y contribuciones a fin de completar el modelo para ángulos de elevación bajos (por debajo de 30°) y frecuencias superiores a 1,5 GHz.

## ANEXO 1

### **Degradaciones de propagación en el diseño de los sistemas del servicio móvil por satélite con satélites no geostacionarios que proporcionan servicios de comunicaciones personales sin emplear la diversidad por satélite**

#### **1 Introducción**

Para lograr un comportamiento óptimo y eficaz del sistema de comunicaciones, en su diseño deben considerarse las degradaciones introducidas en el trayecto de propagación y tomar las medidas oportunas para reducir sus efectos.

#### **2 Resumen de los efectos de propagación aplicables**

Los datos de propagación correspondientes a estas aplicaciones se dan en la última revisión de la Recomendación UIT-R P.681. En la presente Recomendación se dan detalles sobre las estadísticas del desvanecimiento previsible en trayectos obstruidos por árboles y en zonas urbanas con distintos ángulos de elevación y se analiza además el efecto del bloqueo producido por la cabeza. El acimut puede influir en dicho bloqueo. En muchos casos se observará un desvanecimiento uniforme con respecto a la frecuencia.

Por consiguiente, cabe esperar que los formatos de señal de banda estrecha, tengan algunos efectos del desvanecimiento a lo largo de su anchura de banda de funcionamiento.

También se ha confirmado que el desvanecimiento en esta banda tendrá una característica de ráfaga tanto en condiciones de visibilidad directa (line-of-sight (LOS)) despejada como con apantallamiento, debido al movimiento del satélite y al movimiento del usuario. Cuando en el diseño del sistema se especifica la estructura de la señal y de la banda de base, deben considerarse cuidadosamente estas características de desvanecimiento.

##### **2.1 Desvanecimiento con visibilidad directa despejada**

En condiciones de visibilidad directa despejada no aparece ningún obstáculo que bloquee la señal del satélite. Un terminal de comunicaciones portátil que funcione en estas condiciones debe enfrentarse a dos efectos de degradación que pueden exigir un margen adicional. Estos efectos son la reflexión en la superficie y la interferencia producida por el cuerpo. Este último caso puede describir también como bloqueo o interferencia producidos por la cabeza cuando la estación terrena móvil manual portátil con antena integrada se utiliza como aparato telefónico de bolsillo.

La geometría de los ángulos de elevación más bajos introduce degradaciones más pronunciadas. Para ángulos de orientación de la fuente arbitrarios, aumenta ligeramente la probabilidad de que la cabeza produzca un apantallamiento parcial de la línea de visibilidad directa de la antena o de la dirección de trayecto múltiple por la superficie.

La velocidad de variación máxima del desvanecimiento, también denominada anchura de banda del desvanecimiento, viene determinada por la geometría variable entre los dos puntos extremos de la comunicación y también por los obstáculos que pueden dar lugar a desvanecimientos, por ejemplo, árboles, colinas ... etc. Por ejemplo, cuando uno de los puntos extremos es un satélite no geostacionario y el otro es una estación terrena móvil manual portátil estacionaria,

la anchura de banda del desvanecimiento será baja y se verá influida por el movimiento relativo del satélite. De forma alternativa, cuando los dos puntos son una estación terrena móvil en desplazamiento y un satélite geostacionario, la anchura de banda del desvanecimiento será más elevada y estará influida fundamentalmente por la velocidad del terminal móvil. El examen de datos recogidos con anterioridad ha demostrado que la anchura de banda del desvanecimiento varía entre 20 Hz y 200 Hz. Los valores más elevados de dicha anchura de banda afectarán al diseño del receptor de adquisición así como al diseño de los sistemas con dependencia sobre el control de potencia.

## **2.2 Degradaciones debidas al apantallamiento por árboles**

Probablemente, la diferencia sea muy pequeña en las degradaciones por desvanecimiento entre las gamas de ángulos de elevación intermedia y alta, en condiciones de apantallamiento debido a los árboles, ya que el efecto predominante es el del apantallamiento y no el del ángulo de elevación (véanse los § 4.1 a 4.4 del Anexo 1 de la Recomendación UIT-R P.681).

## **2.3 Efectos debidos a los trayectos múltiples originados por las estructuras**

Cuando aparecen estructuras elevadas, como sucede en entornos urbanos o suburbanos, es posible que aparezcan dos efectos adicionales de degradación de la señal, a saber:

- bloqueo casi total de la componente de la señal de visibilidad directa, y
- señales por trayectos múltiples (distintos de la reflexión especular en el suelo) causadas por estructuras de gran tamaño (por ejemplo, edificios o depósitos elevados de agua) con respecto a las señales de visibilidad directa.

En las comunicaciones personales por satélite, el fenómeno de trayectos múltiples, si aparece con un nivel de potencia significativo, reviste gran importancia si el retardo debido a los trayectos múltiples es grande en comparación con la duración del símbolo. La consecuencia inmediata es la existencia de desvanecimiento selectivo en frecuencia y la necesidad de utilizar ecualizadores en el diseño del receptor. El efecto es muy distinto que el producido en los sistemas celulares terrenales o en los sistemas de comunicaciones troncales terrenales, puesto que ambos han sido diseñados para solventar esta degradación utilizando una elevada potencia de transmisión en relación con la distancia oblicua.

Se dispone de muy pocos datos cuantitativos sobre trayectos múltiples para establecer la geometría de los trayectos de transmisión por satélite. No obstante, un conjunto de datos de una campaña de mediciones en un entorno urbano densamente poblado mostró que los componentes de la señal por trayectos múltiples registrados en estas mediciones tienen todos ellos un bajo nivel de potencia o un nivel de probabilidad muy reducido, o ambas cosas, en comparación con esos mismos parámetros de los componentes de visibilidad directa. Por consiguiente, estas mediciones llevan a la conclusión de que el fenómeno de trayectos múltiples provocado por las estructuras no será perjudicial en las comunicaciones con visibilidad directa del SMS con satélites no geostacionarios.

En el Apéndice 1 se describe un ejemplo de diseño de sistema MDT/MDF teniendo en cuenta lo anterior.

### APÉNDICE 1

#### AL ANEXO 1

## **1 Degradaciones de propagación en los sistemas de los servicios móvil por satélite con satélites no geostacionarios que proporcionan servicios de comunicaciones personales sin emplear la diversidad por satélite**

### **1.1 Calidad de funcionamiento en un canal de banda estrecha con vocodificador**

Utilizando el número reducido de datos de propagación recogidos durante el diseño de este sistema en concreto (a los que se hará referencia en este apéndice como «datos de prueba»), se evaluó la calidad de funcionamiento de una comunicación por ráfagas AMDT en banda estrecha para un servicio por satélite no geostacionario destinado a una estación terrena móvil manual portátil. El formato de ráfaga realizó una compresión en el tiempo por un factor de 11 formando paquetes de transmisión de 8 ms para establecer una comunicación cada 90 ms de los datos con vocodificador. Los resultados de una evaluación resumen los requisitos de margen del enlace para lograr una calidad

aceptable de la comunicación vocal con vocodificador. Las degradaciones se caracterizan por el nivel de desvanecimiento (dB), para el percentil 90. Las degradaciones incluyen condiciones de visibilidad directa despejada o apantallamiento por árboles. Los datos representan una forma de robustez de la señal. Es decir, en un entorno en donde el 90% de los desvanecimientos se encuentran por debajo de un nivel específico y en un enlace con una BER definida, el margen requerido en el vocodificador para lograr una comunicación de calidad vocal es notablemente inferior que la profundidad de desvanecimiento máxima. Por ejemplo, con un margen del enlace de 8 dB, el 90% de los desvanecimientos son inferiores a 10 dB. Se ha determinado, utilizando técnicas de simulación, que la calidad aceptable de la comunicación vocal con vocodificador es igual al menos al 90% de la nota de calidad del canal ideal del vocodificador (por ejemplo, valor de la nota media de opinión).

Los valores del margen del enlace son valores en dB por encima de los valores de la relación  $E_b/N_0$  necesarios para mantener una BER determinada para señalización MDP-4 en un canal gaussiano estático. En este ejemplo los valores se determinaron aplicando las mediciones de desvanecimiento del canal a un enlace vocal con vocodificador y codificación selectiva de índice 2/3. El vocodificador utilizado en este caso fue el VSELP 4800. Un esquema de protección contra errores/vocodificador correctamente diseñado permitirá establecer una comunicación de calidad en un canal con una BER del 1%. La recta de la BER del 1% es el ajuste lineal con error cuadrático medio mínimo de los valores de los datos. Es posible, por medios teóricos, extrapolar la calidad de funcionamiento requerida para unos valores de BER superiores, situación que también se representa en la Fig. 1. En concreto, para una curva de BER normalizada en una señal MDP-4, el aumento de la BER del 1 al 5% es equivalente a una disminución de la potencia de la señal de 3 dB. Por consiguiente, para mantener constante la calidad vocal con un determinado nivel de desvanecimiento, el margen del enlace debe aumentar en la misma proporción en que disminuye la BER. Esta condición se aplica también a los canales con desvanecimiento no gaussiano. En general, los niveles de desvanecimiento que aparecen en los canales de comunicación que rebasan las condiciones de la BER del 1 al 3% introducen el requisito de ofrecer protección adicional a los datos del vocodificador. La forma más eficaz de satisfacer esta necesidad es mediante el margen del enlace en exceso.

En un enlace con vocodificador existen otros factores distintos del margen del enlace que afectan también a la calidad de la comunicación. De forma concreta, las estadísticas de degradación del canal, la velocidad del vocodificador, la codificación de protección contra errores y el entrelazado de bits pueden afectar dicha calidad. Si la evaluación de los efectos de las degradaciones del canal se basan en datos reales en el dominio del tiempo, se pueden extraer conclusiones más precisas. Además, con una evaluación basada en datos reales no es preciso realizar hipótesis en cuanto a la naturaleza estadística del canal; por ejemplo, estacionario, no estacionario, de Rayleigh, de Rician, log-normal, etc., evitando de esa forma la necesidad de justificación adicional. Un ejemplo de los datos de prueba de comunicación AMDT se ilustra en la Fig. 1 que muestra los resultados de las pruebas sobre el nivel de desvanecimiento para el percentil 90. El nivel del percentil 90 se utilizó para dar una mayor fiabilidad a las conclusiones. En la figura puede verse que un valor de 16 dB como margen de degradación es suficiente para lograr una comunicación de calidad con el diseño de sistema del servicio móvil por satélite que aquí se considera cuando el nivel de desvanecimiento para el percentil 90 es 18 dB. Si se mostrasen resultados similares para el nivel (mediano) del percentil 50, la propia profundidad del desvanecimiento sería menor y, por consiguiente, el margen del enlace necesario compensaría dicho nivel de desvanecimiento.

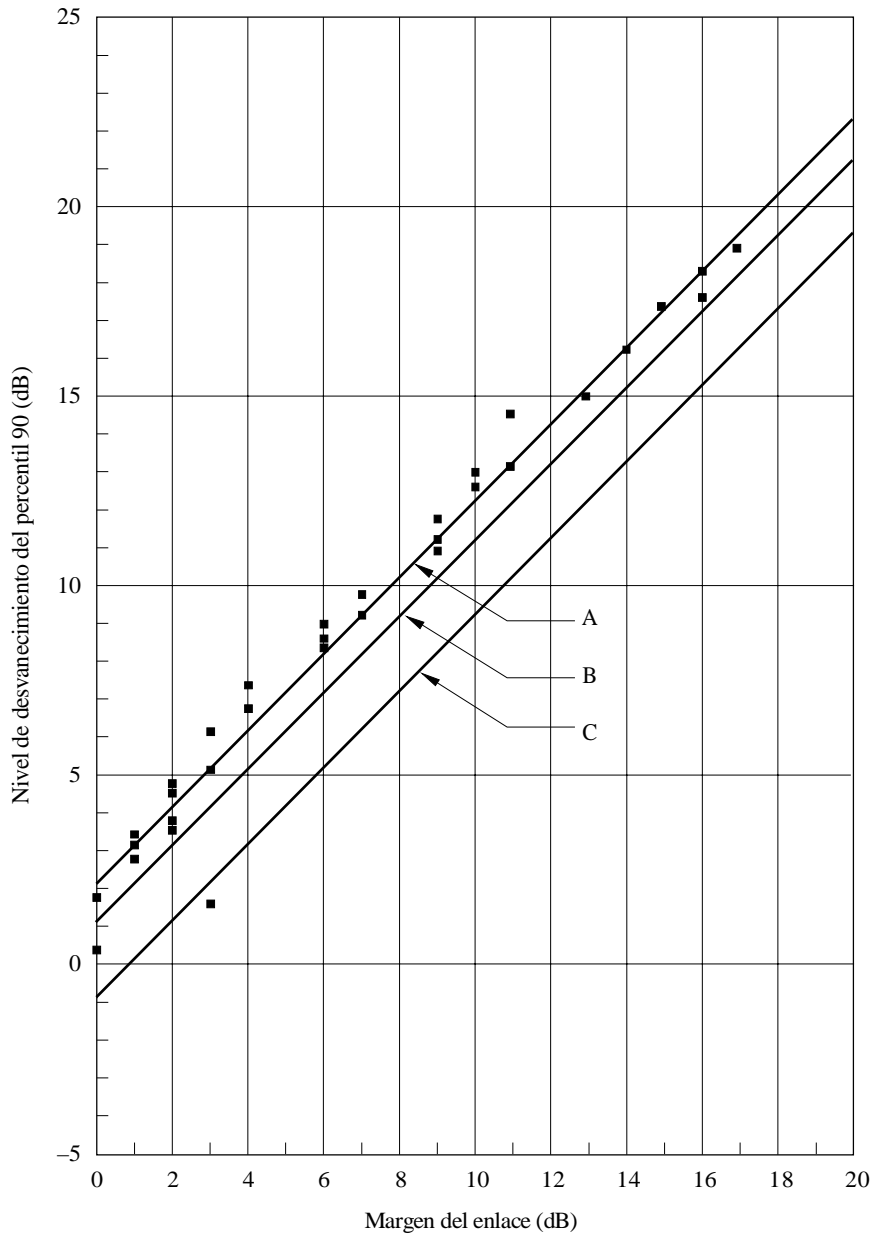
Por regla general, los vocodificadores con velocidades más altas son más resistentes en los canales con degradación. Además, la velocidad de codificación puede ajustarse para lograr una mayor protección contra errores. Pero en estos casos las velocidades mayores suponen una menor capacidad de canal si se trata de un canal limitado en anchura de banda. En consecuencia, es necesario llegar a una solución de compromiso entre margen del enlace y velocidad del vocodificador o entre margen del enlace y velocidad de codificación. Hasta la fecha la tendencia es que en tales compromisos se tiende a favorecer el mantenimiento de márgenes del enlace más elevados. Es bien conocido el hecho de que el entrelazado de bits de duración relativamente larga aumenta la calidad; sin embargo, esta técnica plantea un inconveniente en los canales vocales: aumenta el retardo de la comunicación. En consecuencia, si bien se mejoraría la calidad de la comunicación de datos, se produciría una degradación en la calidad de la comunicación vocal.

## 1.2 Margen del enlace

Los sistemas del SMS manuales portátiles basados en satélites no geoestacionarios, diseñados para ofrecer con un solo satélite un solo servicio a la vez, puede que tengan que enfrentarse a los casos de ángulo de elevación bajo. En estas condiciones, las degradaciones de la propagación pueden provocar una profundidad de desvanecimiento entre 6 dB y 12 dB, dependiendo de la posición de la antena en relación con la cabeza, el acimut, el ángulo de elevación y el entorno de propagación.

Según la Fig. 1, suponiendo el caso más desfavorable de 12 dB (valor de la ordenada), un enlace con una BER del 1% requiere por lo menos 10 dB de margen de enlace para proporcionar una comunicación de calidad vocal.

FIGURA 1  
 Margen del enlace necesario para una calidad vocal aceptable



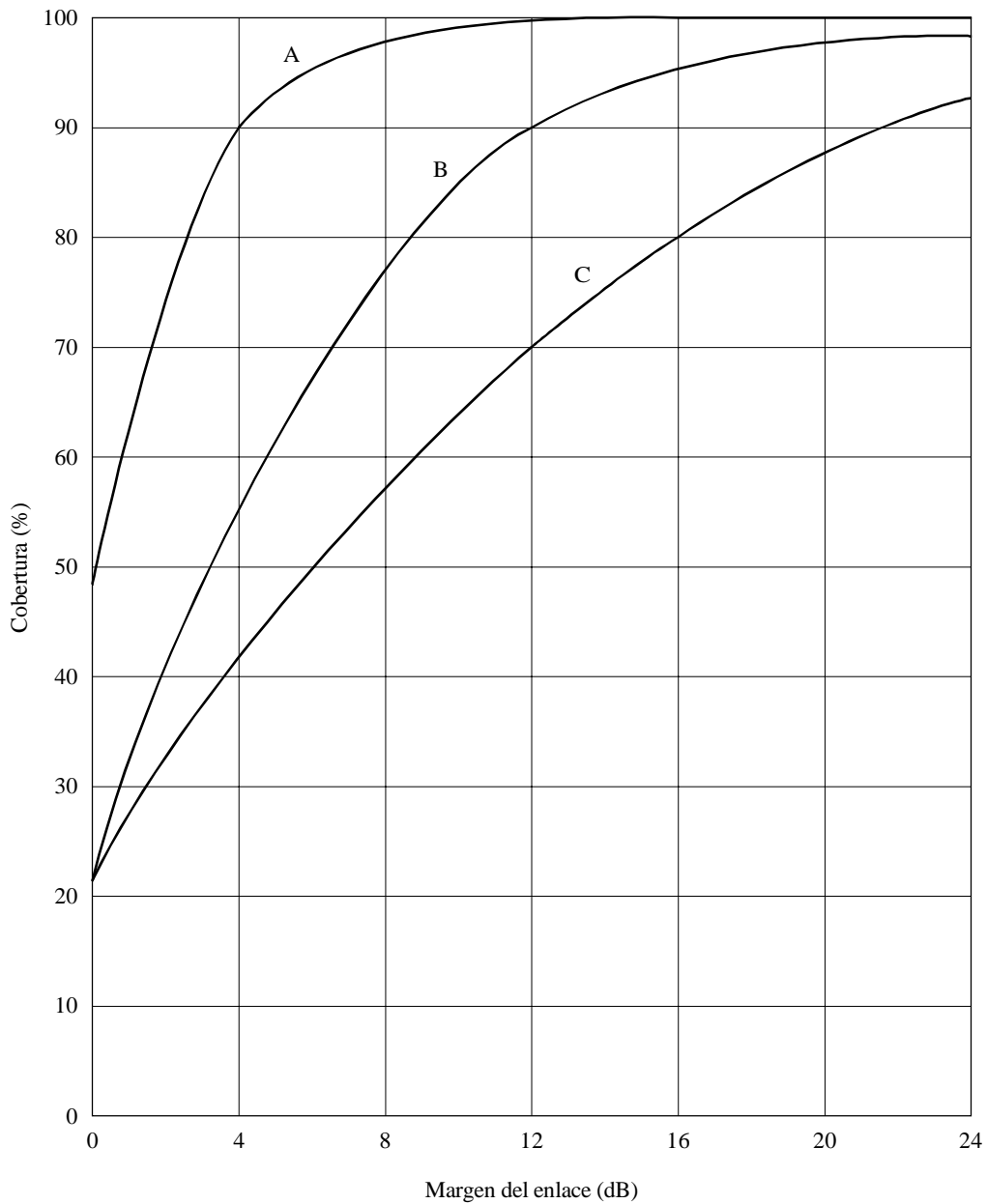
D01

### 1.3 Influencia del apantallamiento en la cobertura

Se utilizó un conjunto de datos de propagación en la banda 1,6 GHz a fin de determinar las estimaciones de cobertura para distintas condiciones de apantallamiento y márgenes de desvanecimiento en el caso del diseño de sistema del servicio móvil por satélite que aquí se considera. Los resultados se representan en la Fig. 2. Los datos se caracterizaron como de apantallamiento severo, moderado o ligero. La caracterización de cada grupo se basó en la probabilidad de apantallamiento y en el desvanecimiento medio cuando había apantallamiento. Posteriormente se estimó la degradación de la calidad vocal en función del margen de desvanecimiento, suponiendo un módem MDP-4 ideal con unas pérdidas de realización de 2 dB. El margen de desvanecimiento se define como el margen en exceso sobre la componente de

visibilidad directa suponiendo un valor de referencia de la relación  $E_b/N_0$  de 4,3 dB. Las cifras de degradación se calcularon utilizando el vocodificador VSELP de 4 800 bit/s y una codificación de canal por bloques de decisión fija e índice 2/3. La degradación de la calidad vocal se estimó utilizando una relación entre calidad vocal y BER de canal y la velocidad de supresión de trama. Esta relación se obtuvo tras diversas pruebas de escucha. Mediante esta relación, se determinó la calidad vocal para cada segundo de datos de desvanecimiento en los periodos de tiempo. Una degradación superior al 10% en ausencia de errores se consideró inaceptable y la cobertura se estimó inadecuada. Las cifras de cobertura indicadas en la Fig. 2 representan el porcentaje de ventanas de 1 s en las cuales la degradación de la calidad vocal fue inferior al 10%. Estas cifras de cobertura se calcularon para condiciones de apantallamiento severo, moderado y ligero.

FIGURA 2  
Cobertura para una degradación inferior al 10%  
con respecto a las condiciones ideales



Curvas A: apantallamiento ligero  
B: apantallamiento moderado  
C: apantallamiento fuerte

## 2 Conclusión

En el presente Apéndice se han descrito algunas de las degradaciones que afectan a un sistema del SMS con satélites no geoestacionarios en la banda de 1,6 GHz. Se ha demostrado cómo pueden adaptarse las degradaciones al diseño de los sistemas del SMS con satélites no geoestacionarios. Las conclusiones más importantes relativas a los efectos sobre la propagación en estos trayectos con satélites no geoestacionarios son las siguientes:

- la naturaleza dinámica temporal de los niveles de la señal recibida, que es debida al movimiento del satélite, a la utilización por el abonado de estaciones terrenas móviles manuales portátiles y al entorno físico;
- la presencia de un desvanecimiento importante variable en el tiempo en condiciones de visibilidad directa despejada entre el satélite no geoestacionario y el terminal manual portátil. (Este desvanecimiento viene causado por la reflexión especular en la superficie en las proximidades del abonado y por la interferencia o apantallamiento producidos por la cabeza y el cuerpo del abonado);
- la existencia de desvanecimientos significativos en los trayectos de propagación con apantallamiento por árboles;
- es necesario confirmar que, si existe la probabilidad de que se produzca desvanecimiento no selectivo en frecuencia (plano) puede compensarse mediante el margen del enlace a fin de aumentar la calidad de la comunicación;
- algunas mediciones efectuadas en un entorno urbano densamente poblado indican que, en ese entorno, las reflexiones por trayecto múltiple con gran retardo provocadas por las estructuras tienen una potencia relativamente baja con respecto a la componente de visibilidad directa y desde el punto de vista estadístico su aparición es poco frecuente.

Las características de estas degradaciones de propagación con satélites no geoestacionarios son distintas de las que aparecen en los servicios con redes de comunicaciones personales terrenales. Por ello, algunas soluciones para los sistemas empleadas en las comunicaciones móviles terrenales, tales como aumentar la potencia del transmisor o disminuir el alcance oblicuo, no son adecuadas para llevar a cabo una implantación de un sistema con satélites no geoestacionarios atractiva desde el punto de vista económico.

En base a las características de esta información sobre propagación con satélites no geoestacionarios, puede decirse que es preciso utilizar márgenes apropiados del enlace de al menos 12 dB en los sistemas MDT/MDF de banda estrecha, a fin de lograr una comunicación de calidad bajo una amplia gama de posibles condiciones de propagación con visibilidad directa del vehículo espacial no geoestacionario. Se ha demostrado además que un formato de señal AMDF/AMDT de banda estrecha puede compensar las degradaciones de propagación observadas en los canales no geoestacionarios en la banda de 1,6 GHz, utilizando el margen del enlace adecuado.

---