

RECOMENDACIÓN UIT-R F.1335*

**CONSIDERACIONES TÉCNICAS Y OPERACIONALES RELATIVAS
A LA TRANSICIÓN GRADUAL DE LAS BANDAS COMPARTIDAS
ENTRE EL SERVICIO MÓVIL POR SATÉLITE
Y EL SERVICIO FIJO EN 2 GHz****

(Cuestión UIT-R 208/9)

(1997)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que el servicio móvil por satélite (SMS) (Tierra-espacio) y el servicio fijo tienen frecuencias atribuidas a título primario compartido en la banda 1 980-2 010 MHz en las tres Regiones y en la banda 2 010-2 025 MHz en la Región 2;
- b) que el SMS (espacio-Tierra) y el servicio fijo tienen frecuencias atribuidas a título primario compartido en la banda 2 170-2 200 MHz en las tres Regiones y en la banda 2 160-2 170 MHz en la Región 2;
- c) que en muchos países el servicio fijo utiliza ampliamente estas bandas;
- d) que para muchos países en desarrollo, la utilización de la banda 2 GHz ofrece una ventaja sustancial para sus redes de radiocomunicaciones y que puede no ser interesante transferir estos sistemas a bandas de frecuencias más altas debido a las consecuencias económicas que ello acarrearía;
- e) que en la Resolución 716 (CMR-95) relativa a la utilización de la banda 2 GHz por el servicio fijo y el SMS y las disposiciones transitorias asociadas, se insta a las administraciones a que, cuando sea factible, elaboren planes para la transferencia gradual de las asignaciones de frecuencia a sus estaciones del servicio fijo en las bandas del SMS en 2 GHz compartidas a bandas que no se superpongan, dando prioridad a la transferencia de sus asignaciones de frecuencia en las bandas 1 980-2 010 MHz (Tierra-espacio) en las tres Regiones y 2 010-2 025 MHz en la Región 2, habida cuenta de los aspectos técnicos, operacionales y económicos;
- f) que en la Recomendación UIT-R F.1098, el UIT-R ha elaborado una nueva disposición de radiocanales para el servicio fijo en la banda 2 GHz que facilitará la introducción de los sistemas fijos en 2 GHz en bandas que no se superponen con la banda del SMS en 2 GHz;
- g) que en la Resolución 716 (CMR-95) se pide al UIT-R que elabore los instrumentos de planificación necesarios para asistir a las administraciones que examinan una nueva planificación de sus redes fijas terrenales para acomodar al SMS en la banda 2 GHz,

recomienda

- 1** que es conveniente que las administraciones tengan en cuenta el material que figura en los Anexos 1 a 4 al considerar las disposiciones transitorias para el SMS y el servicio fijo en 2 GHz.

* Esta Recomendación fue elaborada conjuntamente por las Comisiones de Estudio 8 y 9 de Radiocomunicaciones, y cualquier revisión ulterior debe ser realizada también por ambas Comisiones de Estudio. Esta Recomendación debe señalarse a la atención de la Oficina de Radiocomunicaciones.

** De acuerdo con la Resolución 716 (CMR-95) de la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (Ginebra, 1995), las bandas de frecuencia tratadas en esta Recomendación están principalmente en las bandas 1 980-2 010 MHz (mundial) y 2 010-2 025 MHz (Región 2) atribuidas al SMS (Tierra-espacio) y en las bandas 2 160-2 170 MHz (Región 2) y 2 170-2 200 MHz (mundial) atribuidas al SMS (espacio-Tierra).

Consideraciones técnicas y operacionales para la transición gradual de las bandas compartidas entre el SMS y el servicio fijo en 2 GHz

1 Introducción

Una administración puede elegir efectuar la transición entre servicios para facilitar la introducción del SMS. En estos casos, es necesario determinar los criterios para determinar la interferencia que será causada o recibida por un determinado sistema SMS, y las medidas o reglas subsiguientes. Esta situación se puede plantear durante una coordinación bilateral, o cuando una administración ha decidido realizar uno o más sistemas SMS específicos. Los instrumentos que se podrán utilizar para esta determinación, para un sistema del SMS se examinan actualmente en la Recomendación UIT-R M.1319. El UIT-R está investigando aún la repercusión de la interferencia procedente de múltiples sistemas del SMS sobre la planificación de la transición.

En este contexto se considera que el periodo de transición está comprendido entre el momento en que una administración pone espectro a disposición del SMS y el momento en el cual requiere que los sistemas del servicio fijo sean transferidos fuera del espectro necesario para la realización del sistema del SMS.

En este Anexo se examinan dos aspectos:

- el funcionamiento continuo de sistemas fijos dentro del espectro identificado para el SMS durante un periodo de tiempo razonable; y
- el funcionamiento continuo de los sistemas del servicio fijo en la gama 2 GHz después de este periodo de transición, incluidos los instrumentos de planificación y coordinación necesarios para transferir el sistema, o una porción del sistema, a espectro fuera del que se requiere para la realización del SMS (véase el § 1.2 del *pide* de la Resolución 716 (CMR-95)).

2 Atribuciones al SMS a título primario compartido en 2 GHz

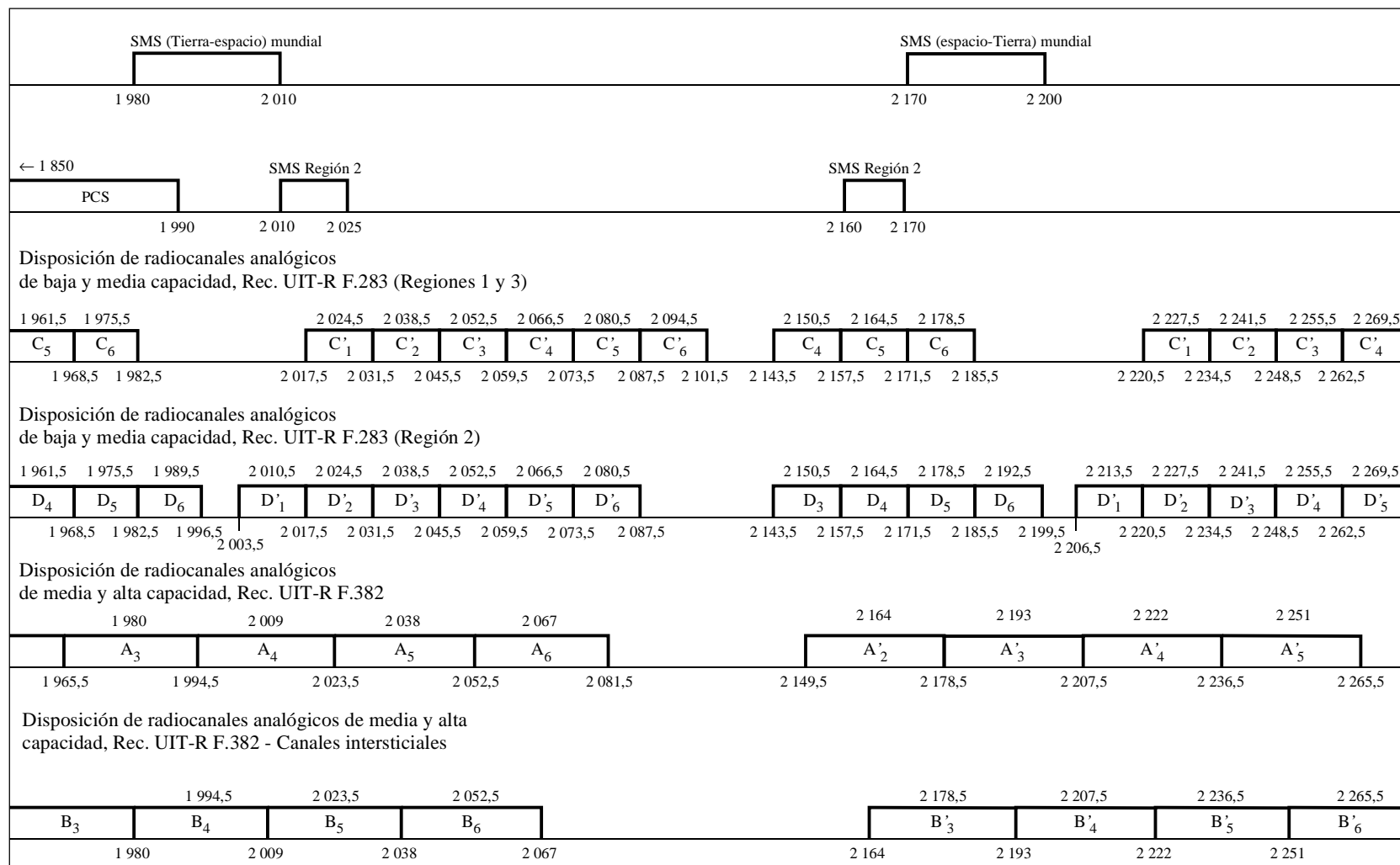
Actualmente, las bandas 1 980-2 010 MHz y 2 170-2 200 MHz están atribuidas a los SMS mundialmente a título primario compartido con los servicios fijo y móvil. En la Región 2, la banda 2 160-2 170 MHz está también atribuida a título primario compartido. Como resultado de la CMR-95, la banda 2 010-2 025 MHz fue atribuida al SMS a título primario compartido con los servicios fijo y móvil en la Región 2.

3 Antecedentes

Hay dos disposiciones de radiocanales principales utilizadas por los sistemas fijos existentes (véanse las Recomendaciones UIT-R F.283 y UIT-R F.382. La Recomendación UIT-R F.283 proporciona las disposiciones de radiocanales para las dos sub-bandas 1 900-2 100 MHz y 2 100-2 300 MHz con seis pares de canales en cada sub-banda, cada uno con una anchura de banda de 14 MHz. La Recomendación UIT-R F.382 proporciona disposiciones de radiocanales para la banda 1 900-2 300 MHz con seis pares de canales, cada uno con una anchura de banda de 29 MHz, dos disposiciones de radiocanales de 29 MHz se superponen en un desplazamiento de 14,5 MHz. Estas disposiciones y su relación con las actuales atribuciones al SMS se ilustran en la Fig. 1.

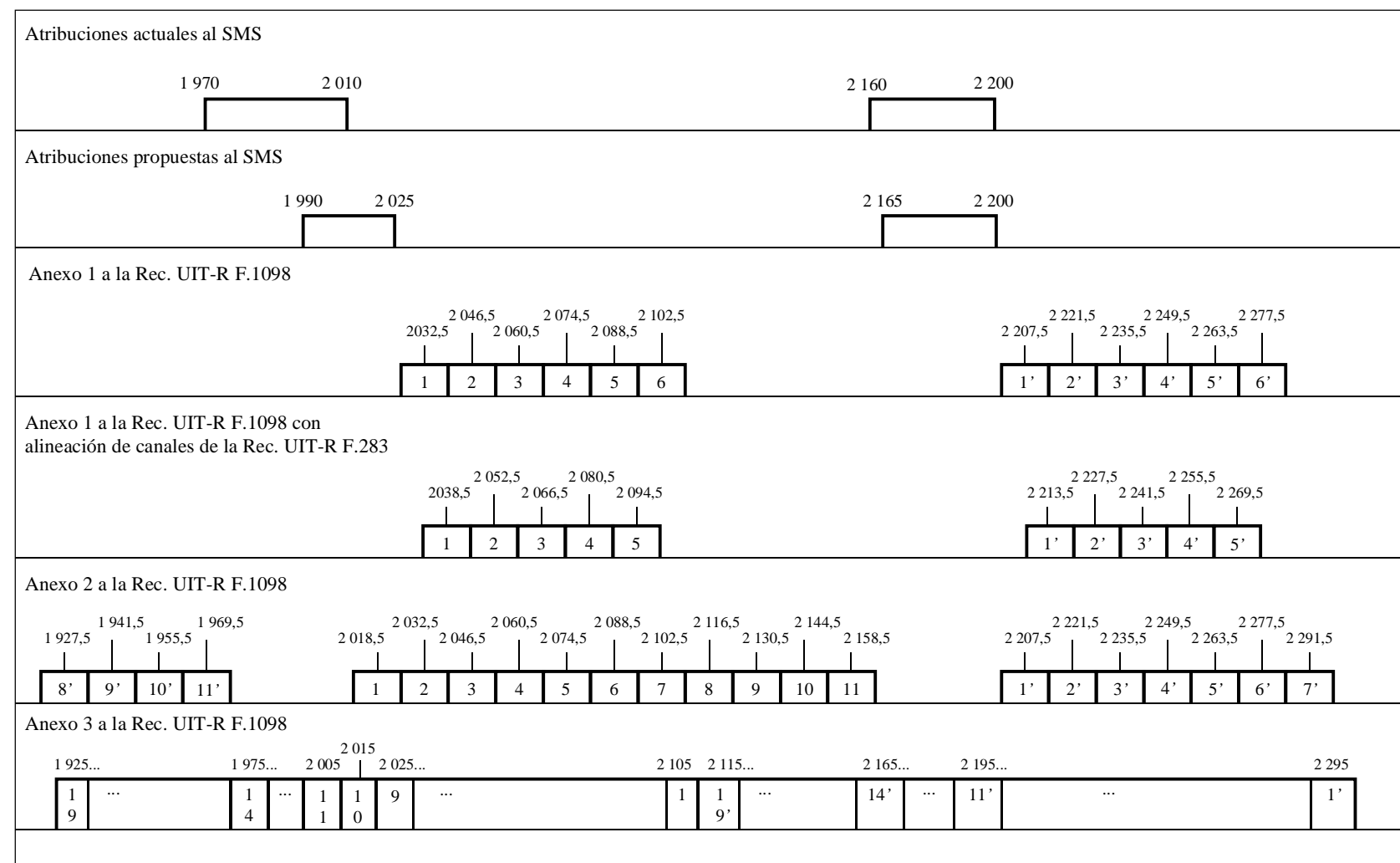
La Recomendación UIT-R F.1098, elaborada en respuesta a la Resolución 113 (CMR-92) como resultado de las atribuciones efectuadas por la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones para examinar la atribución de frecuencias en ciertas partes del espectro (Málaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92), proporciona tres disposiciones de radiocanales para los nuevos sistemas fijos en la banda 1 900-2 300 MHz. Se concentra en las bandas «fundamentales» 2 025-2 110 MHz y 2 200-2 290 MHz en las que los servicios fijos, móviles, de operaciones espaciales, de investigación espacial y de exploración de la Tierra por satélite comparten la atribución a título primario compartido. Estas descripciones de disposición de radiocanales se ilustran en la Fig. 2.

FIGURA 1
Disposiciones de radiocanales de las Recomendaciones UIT-R F.283 y UIT-R F.382



1335-01

FIGURA 2
Disposiciones de radiocanales de la Recomendación UIT-R F.1098



El Anexo 1 a la Recomendación UIT-R F.1098 describe dos disposiciones de radiocanales que están enteramente dentro de las bandas fundamentales definidas anteriormente para hasta seis canales de ida y retorno con una separación de portadoras de 14 MHz. Una descripción alternativa proporciona hasta cinco pares de canales de ida y retorno donde las frecuencias centrales están alineadas con los canales indicados en la Recomendación UIT-R F.283.

El Anexo 2 a la Recomendación UIT-R F.1098 describe una disposición de radiocanales para las bandas fundamentales así como una disposición de radiocanales ampliada para hasta once pares de canales de «ida» y «retorno» con una separación de portadoras de 14 MHz. La disposición de radiocanales evita la atribución mundial existente al SMS entre 1 980-2 010 MHz y 2 170-2 200 MHz.

El Anexo 3 a la Recomendación UIT-R F.1098 describe una disposición de canales para las bandas fundamentales así como una disposición de radiocanales ampliada para hasta diecinueve pares de canales de «ida» y «retorno» con una separación de portadoras de 10 MHz. Las disposiciones de radiocanales se basan en la separación dúplex de transmisor-receptor de la actual asociación por pares de la atribución al SMS.

En los Anexos 2 y 3 a la Recomendación UIT-R F.1098 se toman en consideración disposiciones de radiocanales ampliadas con separación geográfica y/o de frecuencia adecuadas que harían posible la compartición con el SMS o con los futuros sistemas públicos de telecomunicaciones móviles terrestres (FSPTMT).

4 Repercusión de las atribuciones mundiales al SMS sobre las disposiciones de radiocanales de las Recomendaciones UIT-R F.283 y UIT-R F.382 para los sistemas fijos

En la disposición de radiocanales de la Recomendación UIT-R F.283, la banda de guarda entre transmisión/recepción en cada una de las sub-bandas es 35 MHz y en la Recomendación UIT-R F.382, 39 MHz. La actual atribución mundial al SMS toma hasta 27,5 + 14,5 MHz de esta banda de guarda de 35 MHz en las Regiones 1 y 3 y 7 + 0,5 MHz en la Región 2.

A continuación se muestra la repercusión de la atribución mundial al SMS en cada una de las disposiciones de radiocanales de estas Recomendaciones:

– Recomendación UIT-R F.283	(Regiones 1 y 3)	1 980-2 010 MHz	2,5 MHz de C6
	(Región 2)	1 980-2 010 MHz	2,5 MHz de D5
	(Región 2)	1 980-2 010 MHz	14 MHz de D6
	(Región 2)	1 980-2 010 MHz	6,5 MHz de D1'
	(Regiones 1 y 3)	2 170-2 200 MHz	1,5 MHz de C5
	(Regiones 1 y 3)	2 170-2 200 MHz	14 MHz de C6
	(Región 2)	2 170-2 200 MHz	1,5 MHz de D4
	(Región 2)	2 170-2 200 MHz	14 MHz de D5
	(Región 2)	2 170-2 200 MHz	14 MHz de D6
– Recomendación UIT-R F.382	(Disposición)	1 980-2 010 MHz	14,5 MHz de A3
	(Disposición)	1 980-2 010 MHz	15,5 MHz de A4
	(Disposición desplazada)	1 980-2 010 MHz	29 MHz de B4
	(Disposición desplazada)	1 980-2 010 MHz	1 MHz de B5
	(Disposición)	2 170-2 200 MHz	8,5 MHz de A2'
	(Disposición)	2 170-2 200 MHz	21,5 MHz de A3'
	(Disposición desplazada)	2 170-2 200 MHz	23 MHz de B3'
(Disposición desplazada)	2 170-2 200 MHz	7 MHz de B4'	

5 Repercusión de las atribuciones al SMS de la Región 2 en las disposiciones de canales de las Recomendaciones UIT-R F.283 y UIT-R F.382 para los sistemas fijos

A continuación se muestra la repercusión de las atribuciones al SMS de la Región 2 en las disposiciones de radiocanales de las Recomendaciones siguientes:

– Recomendación UIT-R F.283	(Regiones 1 y 3)	2 010-2 025 MHz	7,5 MHz de C1'
	(Región 2)	2 010-2 025 MHz	7,5 MHz de D1'
	(Región 2)	2 010-2 025 MHz	7,5 MHz de D2'
	(Regiones 1 y 3)	2 160-2 170 MHz	10 MHz de C5
	(Región 2)	2 160-2 170 MHz	10 MHz de D4
– Recomendación UIT-R F.382	(Disposición)	2 010-2 025 MHz	13,5 MHz de A4
	(Disposición)	2 010-2 025 MHz	1,5 MHz de A5
	(Disposición desplazada)	2 010-2 025 MHz	15 MHz de B5
	(Disposición)	2 160-2 170 MHz	10 MHz de A2'
	(Disposición desplazada)	2 160-2 170 MHz	6 MHz de B3'

6 Repercusión sobre la disposición de radiocanales de la Recomendación UIT-R F.1098

La actual atribución mundial al SMS afecta a la disposición de radiocanales de la Recomendación UIT-R F.1098 como sigue:

- Anexo 1 No es afectado
- Anexo 2 0,5 MHz de canal 11 de ida y retorno
- Anexo 3 10 MHz de canal 11 de ida y retorno
10 MHz de canal 12 de ida y retorno
10 MHz de canal 13 de ida y retorno
10 MHz de canal 14 de ida y retorno

La actual atribución al SMS en la Región 2 afecta a la disposición de radiocanales de la Recomendación UIT-R F. 1098 como sigue:

- Anexo 1 No es afectado
- Anexo 2 13,5 MHz de canal 1
5,5 MHz de canal 11
- Anexo 3 10 MHz de canal 10
5 MHz de canal 9
10 MHz de canal 14

7 Fechas operacionales para las atribuciones mundiales al SMS en la Región 2 en la banda 2 GHz

La utilización de las bandas 1 980-2 010 MHz y 2 170-2 200 MHz atribuidas mundialmente al SMS no comenzará antes del 1 de enero de 2000 (véase el número S5.389A del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR)).

La utilización de la banda 1 980-1 990 MHz en la Región 2 atribuida mundialmente al SMS y las bandas 2 010-2 025 MHz y 2 160-2 170 MHz atribuidas al SMS en la Región 2 no comenzará antes del 1 de enero de 2005 (véanse los números S5.389A y S5.389C del RR) con la excepción de que en Canadá y Estados Unidos de América el SMS no comenzará a utilizar estas últimas bandas antes del 1 de enero de 2000 (véase el número S5.389D del RR).

8 Principios aplicables al período de transición

Cuando una administración decide poner en servicio el SMS, se podrían observar los siguientes principios durante el periodo de transición.

Para facilitar la realización del SMS, se podría congelar el universo de servicios fijos, es decir, no efectuar:

- ninguna expansión de las redes fijas existentes en las bandas que se superponen con las bandas del SMS; y
- ninguna nueva instalación de redes de sistemas fijos existentes.

Cuando el SMS se introduce inicialmente en las bandas del servicio fijo, se deben hacer todos los esfuerzos posibles para coordinar y compartir el espectro entre el servicio fijo existente y el nuevo SMS. En estos esfuerzos de coordinación se debe:

- considerar la transición cuando los criterios de interferencia predicen interferencia inadmisibles a redes fijas establecidas o enlaces o a los sistemas del SMS;
- dar prioridad a la transición en las bandas Tierra-espacio del SMS dadas las dificultades de compartición de los sistemas del servicio fijo con los enlaces ascendentes del SMS (véase el § 4.3 del *resuelve* de la Resolución 716 (CMR-95));
- considerar a largo plazo, a medida que aumente el tráfico del SMS, que puede ser conveniente una reubicación total.

Dado que las redes existentes del servicio fijo serán transferidas fuera del espectro identificado para la realización del SMS, se podría identificar espectro alternativo (y/o tecnología no radioeléctrica alternativa) para acomodar los sistemas fijos existentes reubicados, teniendo en cuenta que:

- el espectro alternativo esté en bandas que no se superpongan con el espectro identificado para el SMS (por ejemplo, en la Recomendación UIT-R F.1098 o en bandas del servicio fijo en frecuencias más altas);
- la expansión de los servicios fijos existentes y la nueva instalación de sistemas de los servicios fijos existentes se efectúe en espectro alternativo.

La transición de los sistemas fijos existentes se puede efectuar en un periodo de tiempo razonable, equilibrando los intereses de las entidades operadoras de los servicios fijos existentes y de las entidades operadoras del nuevo SMS, por ejemplo:

- cuando expiren las licencias existentes o cuando se amorticen los equipos;
- después de un periodo razonable, cuando los sistemas fijos puedan continuar funcionando en el espectro requerido para la realización del SMS sin interferencia y sin protección.

Cuando llegue el momento en que hay que transferir los sistemas del servicio fijo fuera del espectro requerido para el SMS, se pueden utilizar los instrumentos de planificación usuales para la realización de sistemas (véase la Nota 1).

NOTA 1 – Por ejemplo, los sistemas fijos se pueden acomodar en la disposición de radiocanales de la Recomendación UIT-R F.1098 o en disposiciones de radiocanales en bandas más altas como se indica en la Recomendación UIT-R F.746.

La reordenación de canales dentro de la misma disposición de radiocanales o la migración a nuevos canales dentro de la misma gama de frecuencias con nuevas disposiciones de radiocanales que estén fuera del espectro requerido para la realización del SMS proporcionará la ventaja de retener la mayor parte de la infraestructura existente. Esto es particularmente importante para enlaces de mayor longitud, que sería más difícil establecer en gamas de frecuencias más altas.

9 Información adicional relativa a las disposiciones transitorias

El Anexo 2 ofrece una visión de conjunto de la compartición de frecuencias entre el servicio móvil por satélite y el servicio fijo en la gama 2 GHz.

El Anexo 3 presenta algunas técnicas para reexaminar los sistemas de multiplexación por división de frecuencia – modulación de frecuencia (MDF-MF) existentes con miras a mejorar la calidad de funcionamiento en presencia de interferencia causada por el SMS y aprovechar la capacidad adicional del sistema, cuando esté disponible.

El Anexo 4 describe un método para evaluar la repercusión de la nueva planificación de los sistemas del servicio fijo existentes con el fin de evitar la superposición con el espectro identificado para el SMS. Este Anexo se podría considerar junto con las Recomendaciones vigentes que tratan de metodologías de coordinación, tales como la Recomendación UIT-R F.1095 relativa a un procedimiento para determinar la zona de coordinación entre estaciones de relevadores radioeléctricos del servicio fijo.

Compartición de frecuencias entre el SMS y el servicio fijo en la gama de 2 GHz

1 Atribuciones al servicio fijo compartidas con atribuciones espacio-Tierra del SMS

Las Recomendaciones UIT-R M.1141 y UIT-R M.1142 indican los niveles de umbral de coordinación entre los sistemas no geoestacionarios (no OSG) del SMS (espacio-Tierra) y el SMS OSG (espacio-Tierra) por una parte y los sistemas del servicio fijo por otra parte que comparten las mismas bandas de frecuencias en la gama de 1-3 GHz.

Los Anexos 2 y 3 a la Recomendación UIT-R M.1143 muestran una metodología específica del sistema para la coordinación de estaciones espaciales no OSG del SMS (espacio-Tierra) con el servicio fijo que comparte las mismas bandas de frecuencias.

Además, el UIT-R ha elaborado la Recomendación UIT-R M.1319 para considerar, en coordinación detallada, la repercusión de la interferencia de los satélites del SMS a los sistemas del servicio fijo de visibilidad directa en 2 GHz. Esta Recomendación describe la base de una metodología que se ha de utilizar para calcular la estadística de la relación $C/(N+I)$ de radiofrecuencia de los sistemas del servicio fijo, teniendo en cuenta los niveles de la portadora interferente del SMS, I , y de la portadora del servicio fijo deseada, C . Los niveles de la portadora deseada del servicio fijo se calculan tomando en consideración los parámetros en la estación pertinente del servicio fijo, la portadora, el trayecto de la antena y la degradación dentro del servicio fijo junto con las predicciones de niveles típicos de propagación por trayectos múltiples de acuerdo con la versión más reciente de la Recomendación UIT-R P.530-6 (Ginebra, 1995) o modelos de propagación alternativos, según proceda. Los niveles interferentes del SMS se calculan teniendo en cuenta los parámetros orbitales de la constelación del SMS, los parámetros de la portadora del haz puntual y la antena del SMS y, si es necesario, la carga de tráfico del haz puntual y los planes de frecuencias del SMS.

Las estadísticas de $C/(N+I)$ se pueden comparar con las Recomendaciones aplicables del UIT-R para la calidad de funcionamiento de sistemas digitales y analógicos del servicio fijo con el fin de evaluar, por ejemplo, si estos objetivos de calidad de funcionamiento del UIT-R se respetan aún para un determinado sistema del servicio fijo que sufre interferencia del sistema SMS dado.

El UIT-R está estudiando la metodología para evaluar la interferencia producida por estaciones terrenas móviles a sistemas del servicio fijo. Para ello se aplican los modelos de propagación de las Recomendaciones UIT-R P.452 y UIT-R P.617, según proceda.

1.1 Efectos sobre sistemas del servicio fijo analógicos para telefonía

Los sistemas del servicio fijo analógicos para telefonía en la gama de 1-3 GHz se utilizan en general para una capacidad baja a medias de 960 canales o menos. Hay dos métodos para considerar el efecto de la capacidad de canales sobre la interferencia producida por estaciones espaciales del SMS.

1.1.1 Primer método

En el primer método, se supone que con cualquier capacidad de canales, la ruta de relevadores radioeléctricos está diseñada de modo que la característica de ruido global satisfaga los objetivos de ruido admisibles máximos de un enlace real especificado en la Recomendación UIT-R F.395 (Volumen IX-1 (Düsseldorf, 1990)). En este caso, el nivel de potencia recibido en una estación receptora para un sistema con menor capacidad será correspondientemente bajo. Por consiguiente, según esta hipótesis, en general el efecto de la interferencia del SMS será casi igual, con independencia de la capacidad de canales.

Sin embargo, aun en este caso, el efecto de dispersión de energía de la interferencia a través del proceso de demodulación MF es mayor en un sistema de menor capacidad (véase el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R F.1246). En consecuencia, el efecto global de la interferencia del SMS será un poco menor en los sistemas del servicio fijo de menor capacidad.

1.1.2 Segundo método

El primer método citado anteriormente puede no ser realista, porque en general es más difícil que un sistema de relevadores radioeléctricos con una capacidad más alta seleccione estaciones repetidoras que satisfagan los objetivos de características de ruido requeridos especificados en la Recomendación UIT-R F.395.

Como un caso extremo, se supone que el nivel de potencia recibida en una estación terrena para un sistema de relevadores radioeléctricos es constante, con independencia de la capacidad de canales. En este caso, el efecto de la interferencia es aproximadamente proporcional al cuadrado de la frecuencia de banda de base más alta. Por ejemplo, la interferencia a un sistema de 600 canales es 4 dB más baja que a un sistema de 960 canales. A esto se debe añadir una magnitud adicional debida al efecto de dispersión de energía mencionado en el § 1.1.1.

1.1.3 Resumen

El efecto real de la interferencia del SMS en los sistemas del servicio fijo analógicos dependerá de los parámetros de cada sistema de relevadores radioeléctricos. Sin embargo, en general estará comprendido en algún punto entre los primero y segundo métodos y el efecto de la interferencia del SMS será menor en los sistemas del servicio fijo analógicos con menor capacidad de canales.

1.2 Efectos en los sistemas del servicio fijo digitales

Los sistemas del servicio fijo digitales en la gama de 1-3 GHz se utilizan en general para una capacidad baja a media de 2 a 45 Mbit/s o menos. La mayoría de los comentarios hechos en las secciones precedentes se aplican también a los sistemas del servicio fijo digitales (salvo el comentario relativo al efecto de dispersión de energía que sólo se aplica a los sistemas del servicio fijo analógicos). Por consiguiente, el efecto de la interferencia del SMS será en general menor en los sistemas del servicio fijo digitales con menor capacidad.

En el proceso de coordinación detallada, se puede determinar la repercusión de los sistemas SMS en los sistemas del servicio fijo reales. Esto permitirá determinar cualquier necesidad de disposiciones transitorias.

2 Atribuciones al servicio fijo compartidas con atribuciones Tierra-espacio del SMS

Las Recomendaciones UIT-R M.1141 y UIT-R M.1142 tratan de la compartición en las bandas de frecuencias en la gama de 1-3 GHz entre estaciones espaciales no geoestacionarias y geoestacionarias que funcionan en el SMS y en el servicio fijo, respectivamente.

En el Anexo 2 a la Recomendación UIT-R M.1141 se indica que los estudios de compartición han mostrado que en general no sería posible el funcionamiento cocanal de estaciones transmisoras del nuevo servicio fijo y receptores de estaciones espaciales no OSG del SMS en la banda 1 980-2 010 MHz.

En el Anexo 2 a la Recomendación UIT-R M.1142 se indica que la compartición cocanal en la gama de 1-3 GHz no es viable para estaciones espaciales OSG del SMS que emplean antenas de haz global y que es imposible para estaciones espaciales OSG que emplean haces puntuales (por ejemplo, para cobertura subregional o nacional o para vehículos espaciales de múltiples haces que proporcionan cobertura global) debido a las restricciones de densidad de p.i.r.e. baja, al requisito de que las futuras estaciones fijas eviten la OSG en 5° y a la imposibilidad de elaborar controles reglamentarios sobre el número total de estaciones fijas.

La conclusión anterior condujo al § 4.3 del *resuelve* de la Resolución 716 (CMR-95), en el cual se insta a las administraciones a que, cuando sea factible, elaboren planes para la transferencia gradual de las asignaciones de frecuencia a sus estaciones del servicio fijo en las bandas compartidas con el SMS en la gama de 2 GHz a bandas que no se superpongan, considerando los aspectos técnicos, operacionales y económicos.

ANEXO 3

Algunas disposiciones transitorias para los sistemas de relevadores radioeléctricos analógicos utilizados para telefonía en la gama de 2 GHz

1 Examen de la excursión de frecuencia óptima

La excursión de frecuencia preferida para los sistemas de relevadores radioeléctricos analógicos para telefonía que utilizan multiplexación por división de frecuencia (MDF-MF) se indica en la Recomendación UIT-R F.404-2 (Volumen IX-1 (Düsseldorf, 1990)). En el Cuadro 1 se reproducen los valores aplicables a capacidades de 960 canales o menos.

CUADRO 1

Excursión de frecuencia sin preacentuación

Número máximo de canales	Excursión eficaz por canal ⁽¹⁾ (kHz)
12	35
24	35
60	50, 100, 200
120	50, 100, 200
300	200
600	200
960	200

⁽¹⁾ Para 1 mW, tono de 800 Hz en un nivel de referencia punto cero.

Cuando se utiliza preacentuación, de preferencia la característica de preacentuación debe ser tal que la excursión eficaz (de frecuencia) (excursión cuadrática media) debida a la señal multicanal sea igual con y sin preacentuación.

El motivo para elegir los valores preferidos indicados en el Cuadro 1 es el siguiente.

La calidad de funcionamiento de los sistemas de relevadores radioeléctricos analógicos MDF-MF se suele medir utilizando una señal de espectro uniforme continuo (véase la Recomendación UIT-R F.399-3) (Volumen IX-1 (Düsseldorf, 1990)). En general, la relación señal/ruido (S/N) de la banda de base muestra una característica de la Fig. 3 en función de la excursión eficaz de frecuencia por canal (nivel de carga).

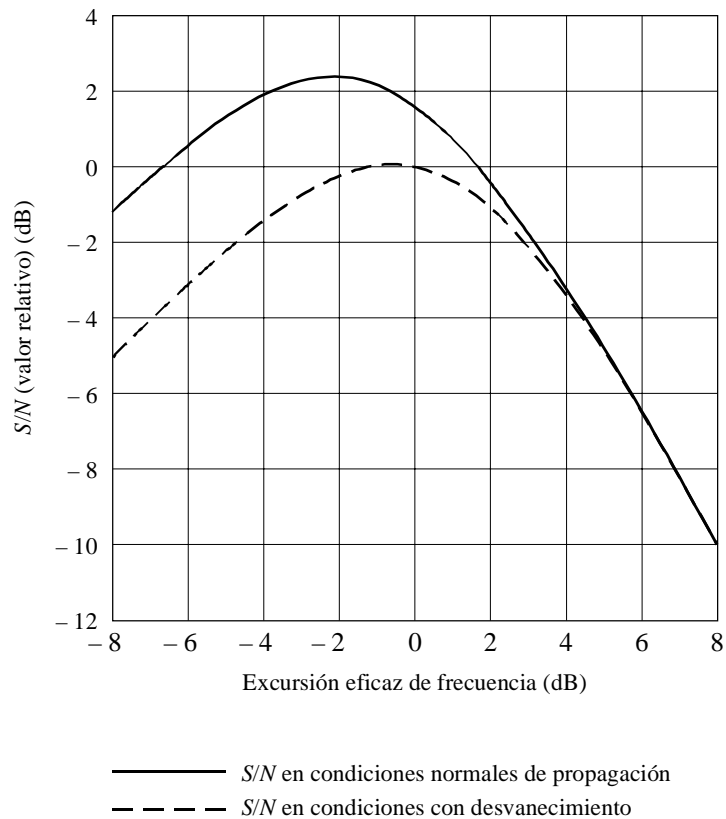
La curva de trazo continuo de la Fig. 3 corresponde a la curva de la relación S/N medida en condiciones normales de propagación. Si el nivel de carga es mucho más bajo que el valor nominal, S/N se degrada principalmente debido al ruido térmico más alto. Por otra parte, si el nivel de carga es mucho más alto que el valor nominal, S/N se degrada también debido principalmente al ruido de intermodulación más alto. S/N alcanza el valor más alto en un determinado nivel de carga que suele ser un par de decibelios por debajo del valor nominal. Esto se debe a que es necesario tener en cuenta cierta degradación del ruido térmico causada por el desvanecimiento.

En consecuencia, idealmente S/N alcanza su valor máximo en el nivel de carga nominal en condiciones con desvanecimiento (véase la curva de trazo interrumpido). Los valores preferidos de la excursión eficaz de frecuencia por canal indicados en el Cuadro 1 se determinaron de acuerdo con esta consideración.

Sin embargo, cabe señalar los siguientes factores:

- Los valores preferidos del Cuadro 1 se determinaron hace muchos años, cuando el ruido de intermodulación debido a imperfecciones del equipo era una restricción importante. Los sistemas de relevadores radioeléctricos analógicos más recientes funcionan mejor con respecto al ruido de intermodulación. Esto puede permitir aumentar la excursión eficaz de frecuencia por canal.
- Los valores preferidos del Cuadro 1 se determinaron sin tener en cuenta la interferencia producida por el SMS.

FIGURA 3
S/N de un sistema de relevadores MDF-MF analógicos
 en función de la excursión de frecuencia



1335-03

La interferencia producida por las estaciones espaciales del SMS se comporta como un ruido térmico añadido. En consecuencia, si se aumenta la excursión eficaz de frecuencia por canal, disminuirá el efecto del ruido térmico y del ruido de interferencia, mientras que el efecto del ruido de intermodulación será más importante.

Por ejemplo, si la excursión eficaz de frecuencia se aumenta en 3 dB (280 kHz en vez de 200 kHz en el caso de sistemas de 300, 600 y 960 canales), el efecto en la interferencia producida por las estaciones espaciales del SMS será como sigue:

- la interferencia disminuirá en 3 dB por lo menos;
- además, el efecto de dispersión del espectro del sistema de relevadores radioeléctricos analógicos será mayor con una desviación eficaz de frecuencia mayor por canal; en el caso del SMS que emite señales en ráfagas en varias bandas estrechas, el efecto de dispersión resultará en una reducción adicional del ruido de interferencia en 1 ó 2 dB aproximadamente, dependiendo este valor del espectro del SMS.

Por consiguiente, se invita a las administraciones que explotan sistemas de relevadores radioeléctricos analógicos MDF-MF a que reexaminen el valor óptimo de excursión de frecuencia. Si el diseño del equipo lo permite, un aumento de 3 dB de la excursión eficaz de frecuencia por canal puede reducir el ruido de interferencia del servicio móvil por satélite a expensas de un ligero aumento del ruido de intermodulación. (No es necesario decir que en el extremo receptor, el nivel de señal se debe atenuar en 3 dB para retornar al nivel original.) Sin embargo, en general no se recomienda un aumento de la excursión eficaz de frecuencia en más de 3 dB porque:

- un aumento mayor de la excursión de frecuencia producirá en general un aumento excesivo del ruido intermodulación;
- si la separación de canales adyacentes no es suficientemente grande, un aumento mayor de la excursión de frecuencia resultará en un gran ensanchamiento del espectro del sistema de relevadores radioeléctricos, lo que puede producir una interferencia mayor a un canal adyacente de la misma ruta de relevadores radioeléctricos.

2 Posible reducción de la capacidad del sistema

En algunas situaciones, el tráfico real cursado por un sistema de relevadores radioeléctricos puede ser menor que su capacidad nominal. Por ejemplo, un sistema de relevadores radioeléctricos diseñado para una capacidad máxima de 960 canales puede transportar señales con una capacidad menor que 600 canales.

En este caso, si se modifica el terminal múltiplex de modo que la frecuencia de banda de base más alta (4 028 kHz para 960 canales) se cambie a una más baja (2 540 kHz para 600 canales), se mejorará el efecto de interferencia producida por el SMS.

Así pues, hay dos opciones según se modifique o no el circuito de preacentuación.

2.1 Nuevo circuito de preacentuación

La característica de preacentuación para los sistemas de relevadores radioeléctricos MDF-MF para telefonía figura en la Recomendación UIT-R F.275-3 (Volumen IX-1 (Düsseldorf, 1990)).

Si es factible, se debe adoptar un nuevo circuito de preacentuación y un nuevo circuito de desacentuación aplicables a la capacidad más baja. En el caso de un cambio de 960 canales a 600 canales, la interferencia producida por SMS se reducirá por lo menos en $20 \log(4\,028/2\,540) = 4$ dB debido al cambio de la frecuencia de banda de base más alta.

Además, se debe aumentar también la excursión eficaz de frecuencia. En este caso, si el diseño del equipo así lo permite, un aumento de hasta 5 dB (360 kHz en vez de 200 kHz por canal) será aceptable. Esto contribuirá a reducir considerablemente el efecto de interferencia (mejora adicional de unos 7 dB resultante en una mejora total de 11 dB).

2.2 Ninguna modificación del circuito de preacentuación

En algunos casos, puede no ser factible adoptar un nuevo circuito de preacentuación apropiado para una capacidad más baja.

En este caso, si el diseño del equipo así lo permite, se debe aumentar la excursión eficaz de frecuencia por canal. En el caso de un cambio de 960 a 600 canales, se prefiere un aumento de 5 a 6 dB. Si es viable, el efecto de interferencia producida por el SMS se reducirá notablemente (en unos 7 a 8 dB).

ANEXO 4

Algoritmos y metodologías para simular la interferencia entre redes del servicio fijo

1 Introducción

Este Anexo describe los algoritmos y métodos requeridos para simular la interferencia entre redes que funcionan en el servicio fijo terrenal.

El motivo de este tipo de simulación es doble:

- responder al § 1.2 del *pide* de la Resolución 716 (CMR-95) en el que se encarga al UIT-R que elabore los instrumentos de planificación necesarios para asistir a las administraciones en la posible nueva planificación de los sistemas del servicio fijo en 2 GHz con el fin de evitar la superposición con las atribuciones al SMS en 2 GHz;
- permitir que las administraciones investiguen la viabilidad de una nueva planificación de los sistemas del servicio fijo existentes en 2 GHz utilizando, por ejemplo, la Recomendación UIT-R F.382 o la Recomendación UIT-R F.283 para sustituir los canales del servicio fijo que se superponen actualmente con las atribuciones al SMS en 2 GHz, en particular en el sentido Tierra-espacio del SMS, con otros canales disponibles del servicio fijo. Este instrumento de simulación podría ser útil para determinar si en el sistema del servicio fijo planificado de nuevo se continuaría respetando o no los objetivos de calidad de funcionamiento de red.

1.1 Características de un modelo de análisis dentro del servicio fijo

Los requisitos de alto nivel se pueden resumir como sigue:

- se debe definir un sistema del servicio fijo como el sistema deseado;
- se definen todas las estaciones de los otros sistemas del servicio fijo como potencialmente interferentes;
- se calcula la interferencia combinada procedente de todos los enlaces interferentes a cada enlace deseado;
- se aplica el modelo de propagación deseado basado en la Recomendación UIT-R P.530-6 (Ginebra, 1995);
- se aplica el modelo de propagación interferente basado en la Recomendación UIT-R P.452-7 (Ginebra, 1995), que incluye el modelo de difracción basado en el terreno y datos digitales del terreno;
- se calculan C/I , C/N y $C/(N+I)$, la función de distribución de probabilidad (PDF) y la función de distribución acumulada (CDF) para cada estación del sistema deseado;
- se calculan las estadísticas de extremo a extremo, distinguiendo entre sistemas digitales y analógicos;
- se incluye la discriminación por polarización para portadoras con polarización lineal ortogonal.

1.2 Antenas y discriminación por polarización

Los modelos de antena comprenden la especificación de un diagrama de régimen de caída de ganancia, donde la ganancia relativa de la antena se indica en función del ángulo fuera del eje y de la anchura del haz de potencia mitad. Se supone la simetría circular.

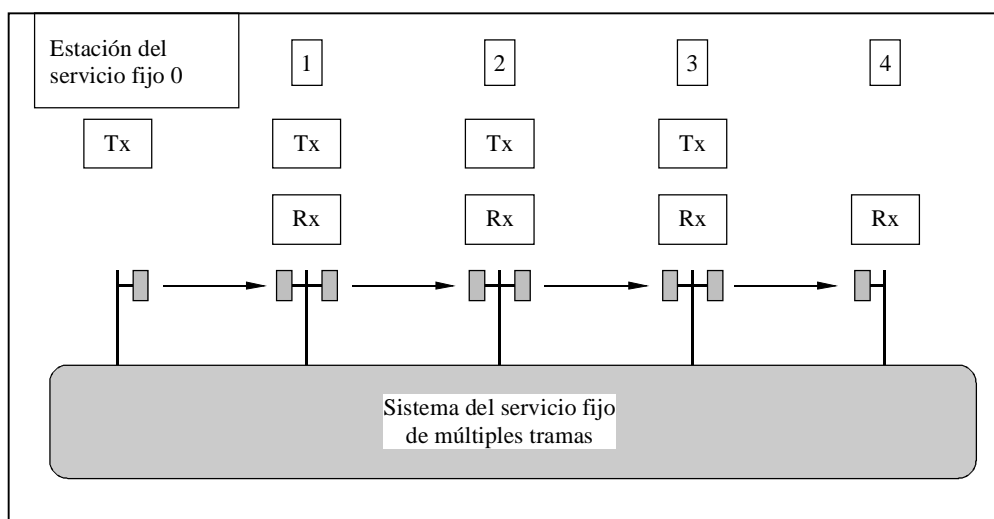
En la Recomendación UIT-R F.699 se muestra un diagrama típico para el servicio fijo que presenta curvas que definen las respuestas copolar y contrapolar.

El método propuesto para el modelado comprende la conmutación entre funciones copolar y contrapolar dependiendo del tipo de polarización del enlace deseado y del enlace interferente, sea horizontal o vertical.

2 Representación del sistema del servicio fijo

Un sistema del servicio fijo contiene una serie de n estaciones del servicio fijo con $(n - 1)$ tramos del servicio fijo entre ellas como se muestra en la Fig. 4.

FIGURA 4
Sistema del servicio fijo



1335-04

A los efectos de esta descripción, las estaciones del sistema del servicio fijo se numeran comenzando en cero, con el enlace que comienza en la estación 0 y la última estación transmisora (Tx) es la estación $n - 2$. La primera estación receptora es la estación 1, y la última estación receptora (Rx) es la estación $n - 1$.

2.1 Sistemas del servicio fijo

Información requerida para los sistemas del servicio fijo:

- estación,
- portadora,
- enlace,

como se describe en los puntos siguientes. Se supone que el sistema del servicio fijo es punto a punto y puede ser modelado utilizando diagramas de ganancia de antena axialmente simétricos y que cada antena apunta a la estación receptora/transmisora.

2.1.1 Datos de la estación

Para especificar las estaciones de un sistema del servicio fijo se necesita la siguiente información:

- número de estaciones,
- características de las estaciones,

donde cada estación es especificada por:

- *Posición de la estación:*
 - latitud (grados Norte),
 - longitud (grados Este),
 - altura ((m) sobre el nivel medio del mar y el terreno local).

- *Características de la antena de la estación*

Las antenas se especifican utilizando los siguientes datos:

- ganancia de cresta (dBi) y tamaño de los haces (anchura de haz de potencia mitad o semieje mayor) (grados),
- tamaño de la parábola (m) y eficacia.

El diagrama de haces se puede definir utilizando una de las opciones siguientes, y se puede indicar en los casos de polarización copolar y contrapolar mediante:

- una de las ecuaciones normalizadas contenidas en la Recomendación UIT-R pertinente,
- las tablas que especifican la ganancia relativa en función del ángulo fuera del eje.

La Recomendación UIT-R F.699 se usa generalmente para obtener el diagrama de ganancia para el servicio fijo.

Además, para calcular la temperatura del sistema es preciso conocer:

- el factor de ruido del receptor,
- la temperatura de la antena (K),
- la pérdida de la línea de alimentación (dB),
- la temperatura de la línea de alimentación (K).

2.1.2 Datos de la portadora

La portadora sea digital o analógica, describe cómo la señal RF transporta información. Se define mediante:

- la anchura de banda ocupada (Hz o kHz o MHz),
- la polarización (circular levógira (LHC), circular dextrógira (RHC), horizontal lineal, vertical lineal).

2.1.3 Datos del enlace

El enlace define cómo la portadora descrita anteriormente viaja de la estación transmisora a la receptora. Se requieren los siguientes parámetros:

- frecuencia de transmisión (GHz),
- potencia de transmisión nominal (dBW),
- modelo de propagación y parámetros de entrada correspondientes,
- criterios de funcionamiento requeridos (tales como C/I o $C/(N+I)$) (dB),
- porcentaje de tiempo durante el cual se deben satisfacer los criterios de funcionamiento.

Si un sistema está utilizando control de potencia, se requieren los siguientes datos:

- potencia de transmisión mínima (dBW),
- potencia de transmisión máxima (dBW),
- nivel deseado de la señal en recepción (dBW).

3 Cálculo de la interferencia

Las funciones clave para el cálculo de la interferencia son:

- el cálculo de los niveles de potencia deseada e interferente recibida, incluidos los efectos del terreno, atmosféricos y de la propagación por trayectos múltiples;
- el factor de ajuste de anchura de banda, incluido, cuando sea necesario, el efecto de múltiples portadoras en la anchura de banda deseada o la densidad de flujo espectral;
- la interferencia combinada en bucle procedente de múltiples fuentes.

El cálculo de la interferencia se basa en C , I y N . Para múltiples fuentes interferentes, la señal interferente combinada, I_{agg} , es la suma de todas las interferencias procedentes de una sola fuente. N se calcula basándose en la temperatura de ruido, T :

$$I_{agg} = 10 \log \sum 10^{I_i/10} \quad \text{dBW}$$

$$N_0 = K_{abs} T_{abs} \text{ (valor absoluto) o } N_0 = K_{dB} + T_{dB} \quad \text{dB(W/Hz)}$$

donde K es la constante de Boltzmann.

Definiendo lo siguiente:

BWC : anchura de banda de la portadora de señal C (dB)

FTC : factor de anchura de banda para la señal deseada (dB)

FTI : factor de la anchura de banda para la señal interferente (dB),

se puede calcular:

$$N = N_0 + BWC$$

$$I' = I - FTI + FTC$$

Así:

$$C/I = C - I'$$

$$C/N = C - N$$

$$\begin{aligned} C/(N + I) &= C - dB[UndB(N) + UndB(I')] \\ &= dB(1/[1/UndB(C/I) + 1/UndB(C/N)]) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I/N &= UndB(I' - N) \\ &= 10^{(I' - N)/10} \end{aligned}$$

donde:

$$dB(x) = 10 \log_{10} x$$

y

$$UndB(x) = 10^{x/10}$$

Los valores totales de las relaciones C/I , C/N y $C/(N+I)$ para sistemas analógicos se calculan como sigue:

$$(C/I)_{total} = dB \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{UndB(C/I)} \right)} \right)$$

$$(C/N)_{total} = dB \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{UndB(C/N)} \right)} \right)$$

$$(C/(N+I))_{total} = dB \left(\frac{1}{\left(\frac{1}{UndB(C/I)_{total}} \right) + \left(\frac{1}{UndB(C/N)_{total}} \right)} \right)$$

Para los sistemas de portadoras digitales puede haber regeneración de bits en cada tramo. La regeneración de bits se toma en consideración:

- calculando C/X mediante la adición del ruido térmico para tramos sin regeneración;
- tomando la C/X más desfavorable de los segmentos con regeneración.

La degradación fraccional de la calidad de funcionamiento (FDP) en la duración de una pasada se calcula como:

$$\frac{I_{avg}}{N} = \frac{\sum_i \frac{I_i}{N} \cdot t_{step}}{Total\ time}$$

Para sistemas de múltiples tramos, la FDP se calcula utilizando el mismo proceso que para C/X .

3.1 Cálculo de potencia

El cálculo de potencia se basa en la siguiente ecuación:

$$Potencia_{Rx} = p.i.r.e.Tx + Ganancia\ relativa_{Tx} - Pérdidas\ por\ propagación + Ganancia\ de\ cresta_{Rx} + Ganancia\ relativa_{Rx}$$

El nivel de potencia recibida podrá ser la señal deseada o la señal interferente.

Los detalles de los modelos de propagación pertinentes se describen en el § 5. Se debe tener cuidado con las ganancias de antena, que varían para diferentes tipos de trayectos según el terreno. Se han identificado dos trayectos diferentes según el terreno.

3.1.1 Más allá del horizonte radioeléctrico

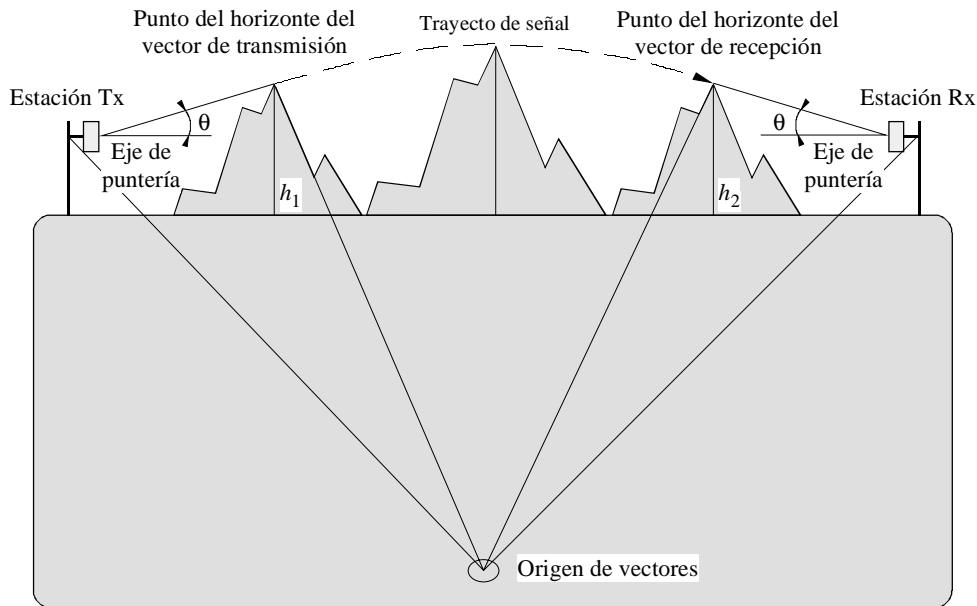
En este caso, la ganancia relativa de la visibilidad directa hacia el horizonte en el sentido del trayecto radioeléctrico se debe calcular en el transmisor (Tx) y en el receptor (Rx). El modelo de propagación trata la pérdida entre las estaciones. Esto se muestra en la Fig. 5.

3.1.2 Visibilidad directa radioeléctrica

En este caso, las ganancias relativas se basan en una línea recta entre las estaciones transmisora y receptora.

FIGURA 5

Ganancia fuera del eje hacia el horizonte para los trayectos más allá del horizonte radioeléctrico



1335-05

3.2 Modelo de propagación

A continuación se da una visión general de los modelos de propagación aplicables. Las descripciones detalladas de estos modelos figuran en el § 5.

Al efectuar el análisis de interferencia se ha de distinguir entre señales interferentes y señales deseadas. Para las pérdidas en trayectos de visibilidad directa, la Recomendación UIT-R P.530-6 (Ginebra, 1995) es aplicable a las señales deseadas y la Recomendación UIT-R P.452 a las señales interferentes.

Estas Recomendaciones (es decir, las Recomendaciones UIT-R P.530-6 y UIT-R P.452) están siendo revisadas y la finalidad del presente punto es especificar el algoritmo. Para que la información sea completa, en esta Recomendación se incluyen los algoritmos pertinentes basados en las ecuaciones de las Recomendaciones UIT-R P.530-6 y UIT-R P.452. Aunque en general estos algoritmos serían aplicables dentro del contexto de las modificaciones de las Recomendaciones UIT-R P.530-6 y UIT-R P.452, la forma específica de las ecuaciones contenidas aquí puede cambiar.

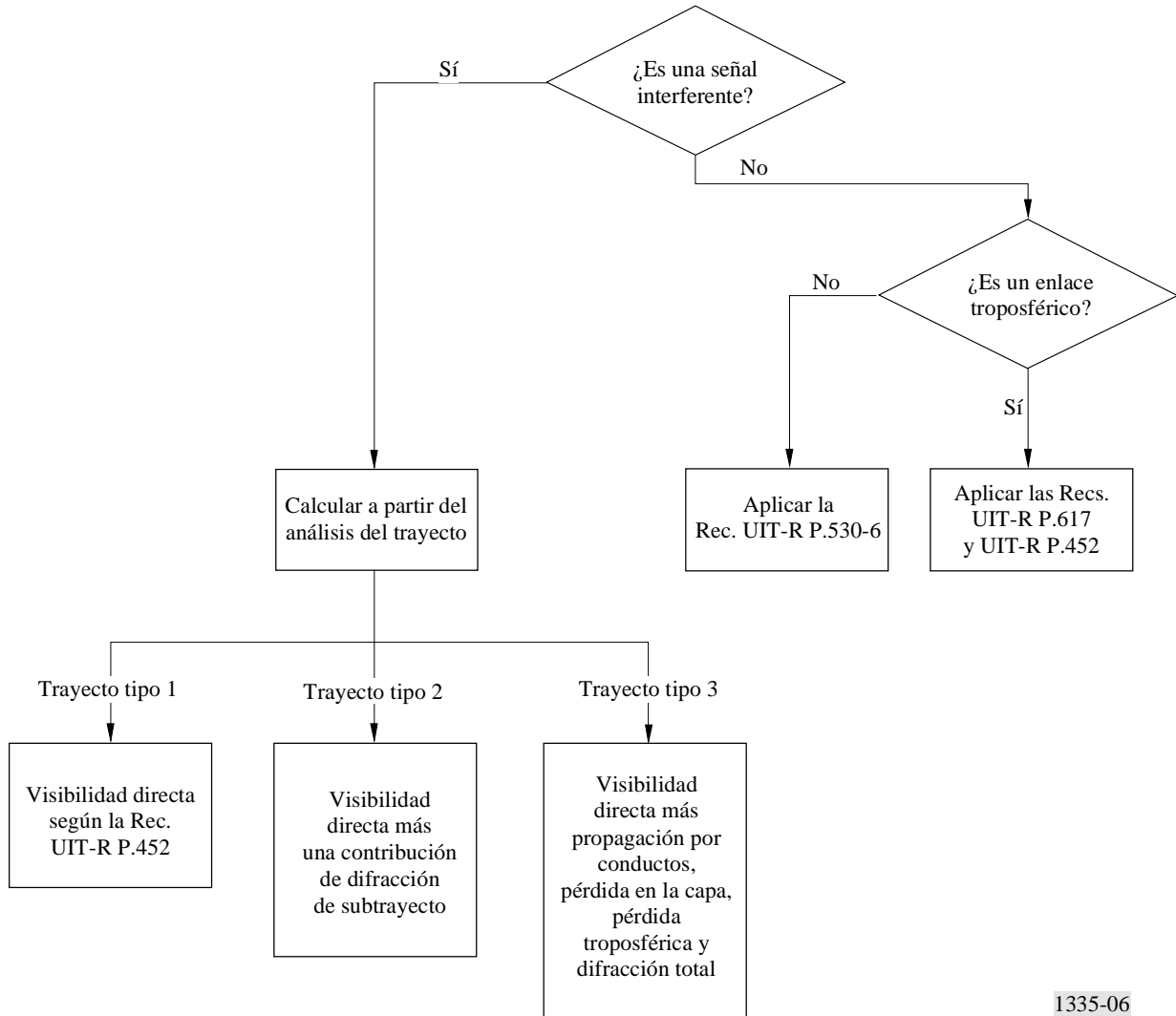
Se puede establecer el modelo de los enlaces fijos de visibilidad directa utilizando el método de planificación inicial de la Recomendación UIT-R P.530-6, combinado con la pérdida en el espacio libre. Este método da una distribución del desvanecimiento y de la mejora de la propagación por trayectos múltiples en función de la longitud del enlace, de la frecuencia, de la altura de la antena y de los parámetros meteorológicos.

La Recomendación UIT-R P.452 describe cómo aplicar los modelos de propagación de varios modos a enlaces generales. A los efectos del cálculo de la pérdida de la propagación debida al terreno, los trayectos de la señal interferente se pueden caracterizar en tres tipos:

- los trayectos tipo 1 son de visibilidad directa con la primera zona de Fresnel libre de obstáculos,
- los trayectos tipo 2 son de visibilidad directa sin la primera zona de Fresnel libre de obstáculos de todos los puntos del terreno,
- los trayectos de tipo 3 son transhorizonte con uno o más obstáculos entre el transmisor y el receptor.

El tipo de trayecto se utiliza después para determinar los modelos de pérdida que son aplicables, de acuerdo con la Fig. 6.

FIGURA 6
Visión general del modelo de propagación



1335-06

Las pérdidas debidas a diferentes mecanismos se combinan de acuerdo con el Cuadro 5 de la Recomendación UIT-R P.452.

4 Resultados de análisis dentro del servicio fijo

Los resultados pueden adoptar numerosas formas, principalmente:

- estadística: como probabilidad de interferencia, o,
- forma de evolución temporal.

Se pueden recopilar estadísticas para:

- C ,
- I ,
- N ,
- C/I ,
- C/N ,
- $(N + I)$,
- I/N .

Cuando proceda, se pueden calcular las siguientes estadísticas:

- interferencia procedente de una sola fuente,
- interferencia combinada,
- interferencia en un solo tramo,
- interferencia en un sistema de extremo a extremo.

En general, estos valores son de interés cuando rebasan niveles especificados (relaciones de protección o niveles de activación). Cuando se viola una relación de protección, esto se denomina un evento de interferencia. Las estadísticas útiles sobre eventos de interferencia comprenden:

- los porcentajes de tiempo durante los cuales se produce la interferencia,
- el número de eventos de interferencia,
- la duración media de los eventos de interferencia,
- el evento de interferencia más largo,
- fecha y hora del evento de interferencia más largo,
- evento de interferencia más desfavorable,
- fecha y hora del evento de interferencia más desfavorable,
- valor medio: FDP para I/N ,
- distribución de valores.

La distribución se puede presentar como:

- PDF, o,
- CDF.

Puede ser útil también disponer de múltiples niveles de criterios para generar múltiples estadísticas. Esto se podría aplicar para obtener:

- los niveles de interferencia durante el 20% del tiempo, o,
- los niveles de interferencia durante el 0,01% del tiempo.

5 Modelos de pérdida

A continuación se describen los detalles de los modelos de pérdida por propagación aplicables a trayectos de interferencia terrenal basados en las Recomendaciones UIT-R.

5.1 Modelo de desvanecimiento y mejora de la Recomendación UIT-R P.530-6

La Recomendación UIT-R P.530-6 proporciona un modelo de visibilidad directa del servicio fijo que especifica la relación entre la profundidad de un desvanecimiento y la probabilidad de que se rebase una profundidad de desvanecimiento, así como el grado de mejora y el porcentaje de tiempo durante el cual no se rebasa la mejora.

El modelo de desvanecimiento de la Recomendación UIT-R P.530-6 contiene cuatro partes:

- ecuaciones normalizadas, para profundidades de desvanecimiento > 25 dB,
- extrapolación, para profundidades de desvanecimiento < 25 dB,
- ecuaciones para mejoras de la propagación de > 10 dB,
- ecuaciones para mejoras de la propagación entre 0 y 10 dB.

En la Recomendación UIT-R P.530-6 se proponen dos métodos para evaluar el modelo de desvanecimiento. El Método 1 está previsto para la planificación y diseño de enlaces y se describe a continuación.

Cuando se utiliza el modelo de desvanecimiento debido a la propagación por trayectos múltiples, se debe tener en cuenta también el modelo de mejora. Los desvanecimientos a largo y a corto plazo junto con la mejora definen una función de distribución acumulada que se puede utilizar en una simulación de Monte-Carlo de la profundidad del desvanecimiento.

Se genera un número aleatorio y se utiliza para definir un porcentaje de tiempo durante el cual se debe invertir la CDF. Esta inversión de la CDF es un método normalizado para muestrear distribuciones no normalizadas, y se puede efectuar siempre con la precisión requerida utilizando un algoritmo binario.

Las ecuaciones para calcular la probabilidad de un desvanecimiento dado y una mejora dada se detallan a continuación.

El porcentaje de tiempo, p_w , durante el cual se rebasa la profundidad del desvanecimiento, A (dB), en el mes más desfavorable medio viene dada por la siguiente ecuación (válida para porcentajes de tiempo pequeños):

$$p_w = K Q f^B d^C 10^{-A/10}$$

donde:

K, Q, B, C se definen como sigue:

$$B = 0,89$$

$$C = 3,6$$

$$Q = \left(1 + |\epsilon_p|\right)^{-1,4}$$

donde:

ϵ_p : inclinación del trayecto (mrad) dada por $|\epsilon_p| = |h_1 - h_2| / d$

h_1, h_2 : alturas de antena (m) sobre el nivel del mar

d : longitud del trayecto (km)

f : frecuencia (GHz)

K : factor geoclimático para el mes más desfavorable medio de desvanecimientos.

Si no se dispone de los parámetros para estimar K , el factor geoclimático, K se puede encontrar utilizando un medio alternativo como los mapas de contornos de las Figs. 7 a 10 de la Recomendación UIT-R P.453 para el porcentaje de tiempo p_L que el gradiente de refracción medio en los 100 m más bajos de la atmósfera es menor que -100 unidades N/km, junto con las relaciones empíricas para K que figuran en el Cuadro 2.

CUADRO 2

Tipo de trayecto	K (Método 1)
Sobre tierra no montañosa	$10^{-(6,5 - C_{Lat} - C_{Lon})} p_L^{1,5}$
Sobre tierra montañosa	$10^{-(7,1 - C_{Lat} - C_{Lon})} p_L^{1,5}$
Sobre masas de agua medianas	$10^{-(5,9 - C_{Lat} - C_{Lon})} p_L^{1,5}$
Sobre grandes masas de agua	$10^{-(5,5 - C_{Lat} - C_{Lon})} p_L^{1,5}$

En el Cuadro 2, p_L es la probabilidad de porcentaje de tiempo que el gradiente de refracción $\delta M / \delta h$, medido en los primeros 100 m sobre el suelo sea menor que -100 unidades N/km. Los coeficientes C_{Lat} en latitud ζ vienen dados por:

$$C_{Lat} = 0 \quad \text{para} \quad |\zeta| \leq 53$$

$$C_{Lat} = -5,3 + \zeta / 10 \quad \text{para} \quad 53 < |\zeta| < 60$$

$$C_{Lat} = 0,7 \quad \text{para} \quad |\zeta| \geq 60$$

Los coeficientes C_{Lon} , para longitudes vienen dados por:

$$C_{Lon} = 0,3 \quad \text{para} \quad \text{longitudes de Europa y África}$$

$$C_{Lon} = -0,3 \quad \text{para} \quad \text{longitudes de América del Norte y del Sur}$$

$$C_{Lon} = 0 \quad \text{para} \quad \text{todas las otras longitudes.}$$

El porcentaje de tiempo, p_w , que la profundidad de desvanecimiento, A (dB), es rebasada para grandes porcentajes de tiempo, es decir, $A < 25$ dB o $A < 35$ dB, viene dado por:

$$p_w = 100 \left[1 - \exp \left(-10^{-q_a A / 20} \right) \right] \quad \%$$

donde:

$$q_a = 2 + 10^{-0,016A} \left[1 + 0,3 \times 10^{-A/20} \right] \left[q_t + 4,3 \left(10^{-A/20} + A / 800 \right) \right]$$

Se calcula el valor de q'_a para la profundidad de desvanecimiento $A = 35$ dB con el correspondiente valor de p_w :

$$q'_a = \frac{-20 \log_{10} \left[-\ln \left(\frac{100 - p_w}{100} \right) \right]}{A}$$

se calcula después el valor del parámetro q_t :

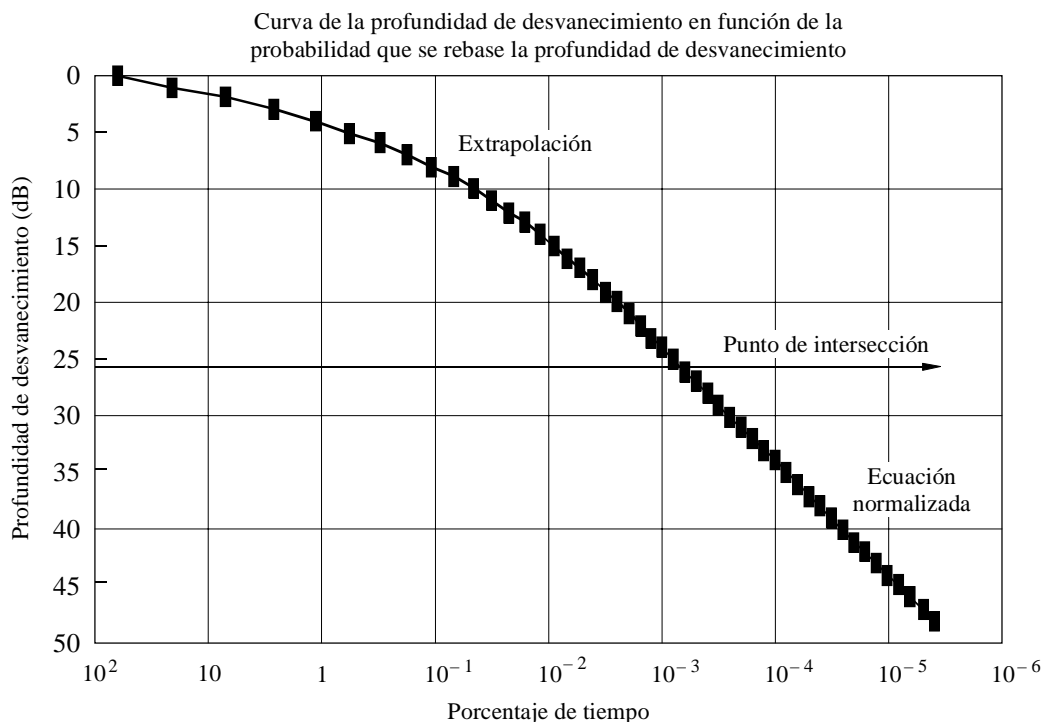
$$q_t = \frac{(q'_a - 2)}{10^{-0,016A} \left[1 + 0,3 \times 10^{-A/20} \right]} - 4,3 \left(10^{-A/20} + A / 800 \right)$$

Si $q_t > 0$, hay que reevaluar las ecuaciones anteriores para $A = 25$ dB.

Esto se muestra en la Fig. 7.

FIGURA 7

Distribución de la profundidad de los desvanecimientos según la Recomendación UIT-R P.530-6



5.1.1 Modelo de mejoras

La distribución de las mejoras se indica también en la Recomendación UIT-R P.530-6. Las mejoras del mes más desfavorable medio por encima de 10 dB se predicen utilizando:

$$p_w = 100 - 10^{(-1,7 + 0,2A_{0,01} - E)/3,5} \quad \% \quad \text{para } E > 10 \text{ dB} \quad (1)$$

donde:

E : mejora (dB) no excedida durante $p\%$ del tiempo

$A_{0,01}$: profundidad de desvanecimiento excedida durante $p_w = 0,01\%$ del tiempo:

$$A_{0,01} = 10 \log \left(\frac{0,01}{K Q f^B d^C} \right)$$

donde los valores de Q , B y C dependen de si se utiliza el Método 1 o el Método 2 para el modelo de desvanecimientos.

El porcentaje de tiempo que la mejora E no es excedida o es excedida entre 0 y 10 dB viene dado por:

$$p_w = 100 - 58,21 \left[1 - \exp \left(-10^{-q'_e E/20} \right) \right]$$

donde el parámetro q_e se calcula como sigue:

Paso 1: Se calcula el porcentaje de tiempo p'_w con una mejora inferior o igual a 10 dB ($E' = 10$ dB) utilizando la ecuación (1).

Paso 2: Se calcula q'_e :

$$q'_e = -2 \left[\log_{10} \left(-\ln \left(1 - \frac{100 - p'_w}{58,21} \right) \right) \right]$$

Paso 3: Se calcula q_s :

$$q_s = 2,05 q'_e - 20,3$$

Paso 4: Se calcula q_e :

$$q_e = 8 + \left(1 + 0,3 \times 10^{-E/20} \right) \left(10^{-0,7E/20} \right) \left[q_s + 12 \left[10^{-E/20} + E/800 \right] \right]$$

5.2 Pérdidas calculadas según la Recomendación UIT-R P.452

La Recomendación UIT-R P.452 contiene una prescripción para calcular la pérdida general basada en un análisis del perfil del trayecto radioeléctrico.

5.3 Modelo de pérdida por difracción basada en el terreno

Para los enlaces interferentes, el cálculo de la pérdida por difracción se debe basar en la Recomendación UIT-R P.526.

Para los trayectos tipo 2, sólo se calculará la contribución del subtrayecto. Se supone que esta contribución provenga del punto del terreno con la mayor intrusión en la primera zona Fresnel. Este punto se modelará como un obstáculo en filo de cuchillo. Para los trayectos tipo 3, se calculará un conjunto de parámetros de obstáculos. Cada obstáculo se modelará como un cilindro, y la pérdida total se calculará utilizando el método general indicado en la Recomendación UIT-R P.526.

Dado el conjunto de obstáculos para el trayecto, la pérdida total por difracción (dB) se puede calcular a partir de:

$$L_d = \sum_{\text{obstáculos}} L_c + \sum_{\text{subtrayectos}} L_{ds} - 20 \log \left[\frac{(s_1 s_2 \dots s_{n+1})(s_1 + s_2 + s_3 + \dots + s_{N+1})}{(s_1 + s_2)(s_2 + s_3) \dots (s_N + s_{N+1}) s_1 s_{N+1}} \right]^{1/2}$$

donde los términos L_c son contribuciones de cada obstáculo cilíndrico, L_{ds} es la contribución máxima de subtrayectos entre cada par de obstáculos cilíndricos y s_i son las distancias hasta los centros de cada obstáculo a lo largo del trayecto ortodrómico del terreno medio.

Si el trayecto es tipo 2 o tipo 3, se añadirá a la pérdida de propagación global un término debido a la difracción. Si el trayecto es tipo 2, sólo se incluye el término de subtrayectos.

El término L_c es igual al término en filo de cuchillo más la atenuación debida a la curvatura del obstáculo definida en la Recomendación UIT-R P.526 y viene dado por:

$$L_c = 0,0316 h \left[\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2} \right]^{1/2} + k m^b$$

donde:

$$k = 8,2 + 12 n$$

$$b = 0,73 + 0,27[1 - \exp(-1,43 n)]$$

y

$$m = R \left[\frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2} \right] \left[\frac{\pi R}{\lambda} \right]^{-1/3}$$

$$n = h \left[\frac{\pi R}{\lambda} \right]^{2/3} R^{-1}$$

donde:

h : altura de la cima del obstáculo sobre la línea recta que une los dos extremos del trayecto. Si la altura está por debajo de esta línea, h es negativa

d_1, d_2 : distancia de los dos extremos del trayecto desde la cima del obstáculo

d : longitud del trayecto.

5.3.1 Pérdida por difracción en filo de cuchillo

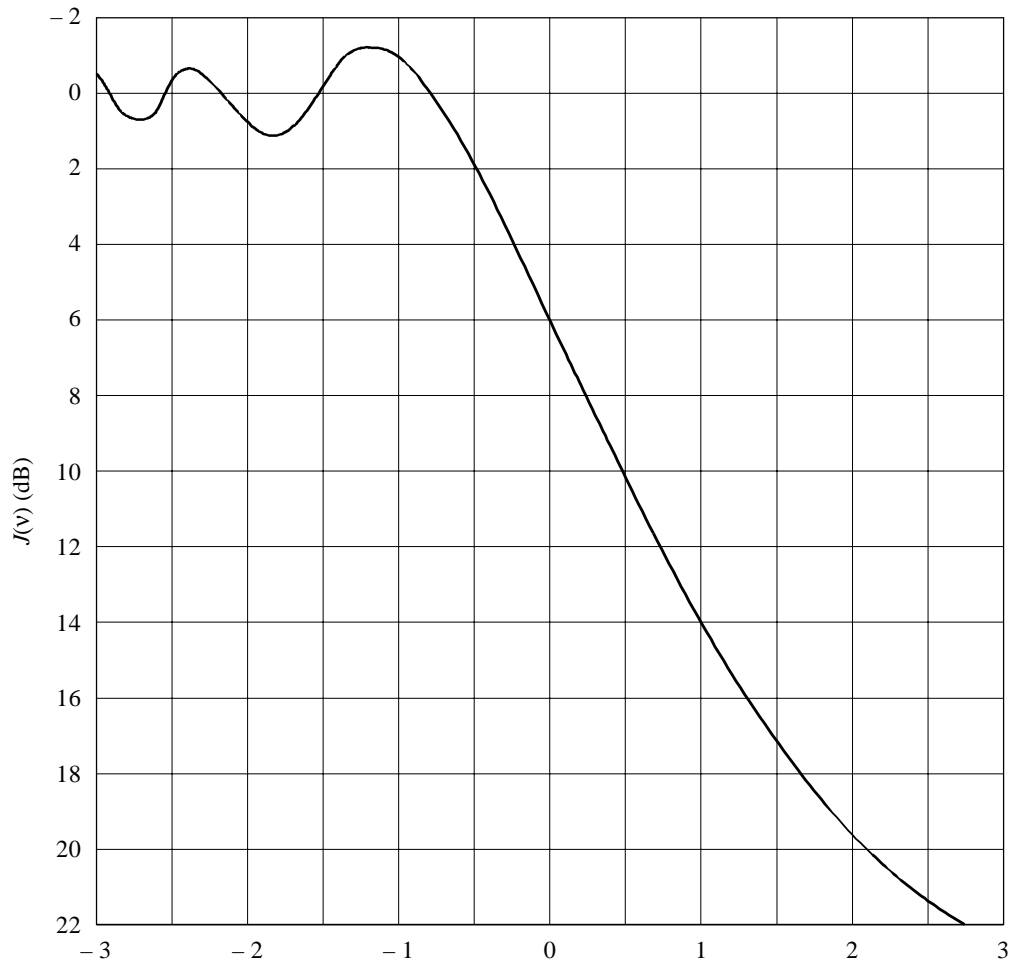
La difracción en filo de cuchillo puede producir una pérdida o una mejora, dependiendo del valor del parámetro de Fresnel-Kirchoff sin dimensión n . El cálculo de n se detalla en el documento de diseño de los módulos de terreno.

Cuando se conoce, n , se puede calcular la pérdida. Para valores de n superiores a $-0,7$, la pérdida en filo de cuchillo (dB) se obtiene a partir de la expresión:

$$J(v) = 6,9 + 20 \log \left(\sqrt{(v - 0,1)^2 + 1} + v - 0,1 \right)$$

Para los valores inferiores a $-0,7$, se puede extraer la pérdida de la Fig. 8, tomada de la Recomendación UIT-R P.526.

FIGURA 8
Pérdida por difracción en filo de cuchillo



1335-08

5.4 Análisis y modelado de obstáculos

5.4.1 Caracterización del trayecto

A continuación se describe cómo los parámetros de trayecto requeridos para clasificar el trayecto de acuerdo con la Recomendación UIT-R P.452 se extraen del perfil de trayecto. Los parámetros calculados se indican en el Cuadro 3. Los parámetros adicionales requeridos para el cálculo de la pérdida por difracción se describen en el § 5.3. Antes de caracterizar el trayecto, se añadirá un término para la curvatura de la Tierra a cada punto en el perfil del trayecto. Ésta es una función de la longitud a lo largo del trayecto y el factor del radio de la Tierra. Obsérvese que si el trayecto se caracteriza utilizando un valor mediano para la curvatura de la Tierra de acuerdo con el § 3.2.2 de la Recomendación UIT-R P.452 y después se efectúa el análisis de obstáculos utilizando un factor de curvatura de la Tierra diferente, puede cambiar la clasificación del trayecto.

Otros parámetros indicados en el Cuadro 3 de la Recomendación UIT-R P.452 se relacionan con trayectos sobre agua y alturas de antena sobre el nivel del mar. Estos parámetros son entradas de usuario en esta simulación.

Estos parámetros se utilizan después para clasificar el trayecto en uno de los tipos siguientes:

Tipo 1: Visibilidad directa con la primera zona de Fresnel libre de obstáculos.

Tipo 2: Visibilidad directa sin la primera zona de Fresnel libre de obstáculos de todos los puntos del terreno.

Tipo 3: Transhorizonte con uno o más obstáculos entre el transmisor y el receptor.

CUADRO 3

Parámetros de caracterización del trayecto

Parámetro	Descripción
d	Distancia ortodrómica del trayecto (km)
d_{lt}, d_{lr}	Distancia desde las estaciones transmisora y receptora a sus respectivos horizontes medianos (km)
q_{ht}, q_{hr}	Ángulos de elevación de las antenas transmisora y receptora con respecto al horizonte (es decir, el ángulo hasta los puntos más altos del terreno) (mrad)
q_{ft}	Ángulo hasta la elipse de la primera zona de Fresnel del punto del terreno con la elevación máxima
q_{rt}	Ángulo de elevación de la estación receptora con respecto a la estación transmisora (inclinación del trayecto)
q	Distancia angular del trayecto (mrad)
h_{te}, h_{re}	Alturas efectivas de las antenas por encima del terreno, derivadas por ajuste de mínimos cuadrados al perfil del terreno (m)

Un trayecto es:

- de tipo 1 si $q_{rt} > q_{ft}$
- de tipo 2 si $q_{ht} < q_{rt} \leq q_{ft}$
- de tipo 3 si $q_{rt} \leq q_{ht}$.

A continuación se indica el cálculo de cada parámetro.

5.4.2 Clasificación del trayecto

El trayecto se clasificará en uno de los tres tipos sobre la base de si el trayecto es de visibilidad directa o tiene la primera zona de Fresnel libre de obstáculos o es transhorizonte. Con trayectos tipo 3, se encontrarán obstáculos mediante el análisis y se caracterizarán como cilindros. Entre cada par de cilindros, se modelará un punto de difracción de subtrayecto como un filo de cuchillo (véase el § 5.3.1). Para trayectos de visibilidad directa sin zona de Fresnel libre de obstáculos, el punto de terreno con la mayor intrusión en la zona de Fresnel (véase el § 5.3.1) se tratará como un filo de cuchillo.

La entrada para los cálculos descritos es la estructura del trayecto con alturas sobre el nivel del mar y el número de puntos de trayecto ya conocidos. A todas las alturas de terreno se debe añadir un término de curvatura suponiendo un radio mediano de la Tierra para los datos del trayecto. El radio mediano de la Tierra se define a partir de los datos geoclimáticos durante el establecimiento de la pasada.

Para hallar el ángulo del horizonte para el transmisor, se establece un bucle a través de todos los vectores del trayecto y se obtiene el ángulo de elevación (mrad) hasta cada punto mediante la fórmula:

$$\theta = \frac{h_n - h_t}{d_n}$$

donde:

h_n : altura del n -ésimo punto de terreno (m) por encima del nivel del mar

h_t : altura de la antena interferente (m) por encima del nivel del mar

d_n : distancia desde el elemento interferente al n -ésimo elemento de terreno (km).

Se ha de retener el valor más grande y el punto de terreno que produjo este valor. Este valor es q_{ht} y la distancia hasta este punto es d_{lt} .

También para cada punto, se calcula el valor del ángulo hasta la elipse de la primera zona de Fresnel, q_{ft} , sustituyendo h_n por:

$$h_n \rightarrow h_n + 17,392 \sqrt{\frac{d_n(d - d_n)}{d f}}$$

donde:

d : longitud de trayecto total (km)

f : frecuencia (GHz).

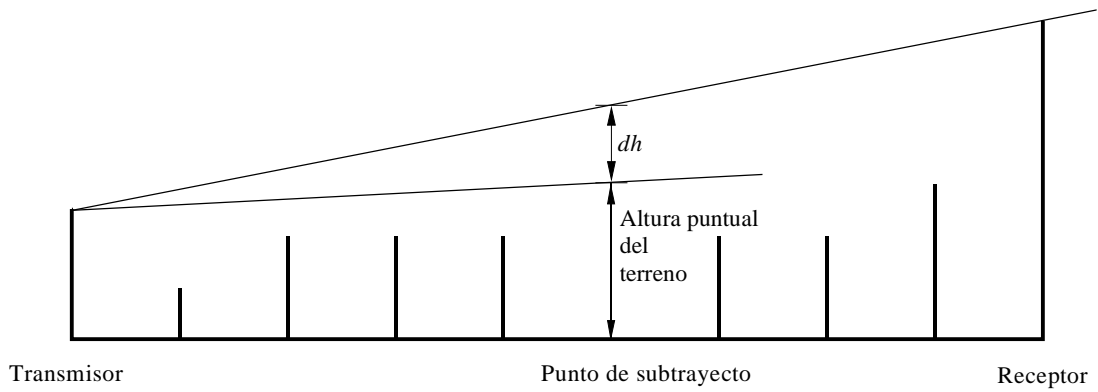
El ángulo de elevación hasta la estación receptora, q_{fr} , se calcula sustituyendo h_n y d_n por h_r y d en la anterior ecuación para q .

Si $q_{rt} \leq q_{ht}$, el trayecto es tipo 3 y hay que calcular los parámetros del horizonte para la estación receptora.

Si $q_{ht} < q_{rt} \leq q_{fr}$, el trayecto es tipo 2.

Si el trayecto es tipo 2 ó 3, se necesitan los ángulos y las distancias para calcular la pérdida y se almacenarán con el perfil del trayecto, es decir, los ángulos del horizonte, las distancias y los puntos del terreno que pueden contribuir a las pérdidas de subtrayectos.

FIGURA 9
Ejemplo de perfil de trayectos tipos 1 y 2

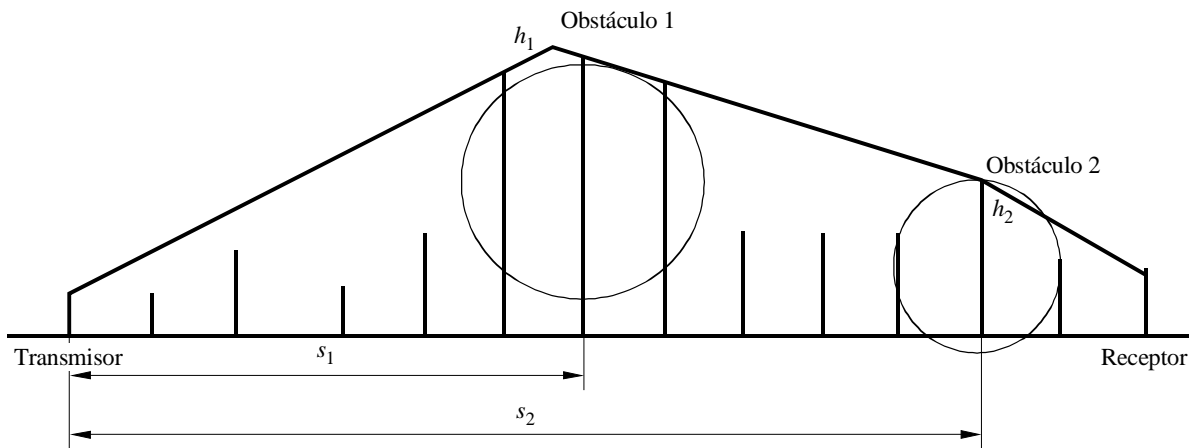


Terreno con trayecto tipo 2
 $dh + \text{altura puntual del terreno} < \text{radio de primera zona de Fresnel}$

Terreno con trayecto tipo 1
 $dh + \text{altura puntual del terreno} > \text{radio de primera zona de Fresnel}$

1335-09

FIGURA 10
Ejemplo de perfil de trayecto tipo 3



Perfil del terreno con dos obstáculos cilíndricos

1335-10

5.4.3 Caracterización de obstáculos de difracción

Los cálculos de difracción requieren que las posiciones, alturas y radios de los obstáculos se calculen a partir del perfil del trayecto. Se debe incluir la difracción si el trayecto es tipo 2 o tipo 3. Si el trayecto es tipo 2, sólo se debe tener en cuenta el elemento de difracción de subtrayecto desde el punto de subtrayecto dominante.

A continuación se describe la extracción de la característica de obstáculos.

5.4.3.1 Identificación y clasificación de obstáculos de difracción

Las ubicaciones de los obstáculos se identificarán utilizando el análisis indicado en el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R P.452.

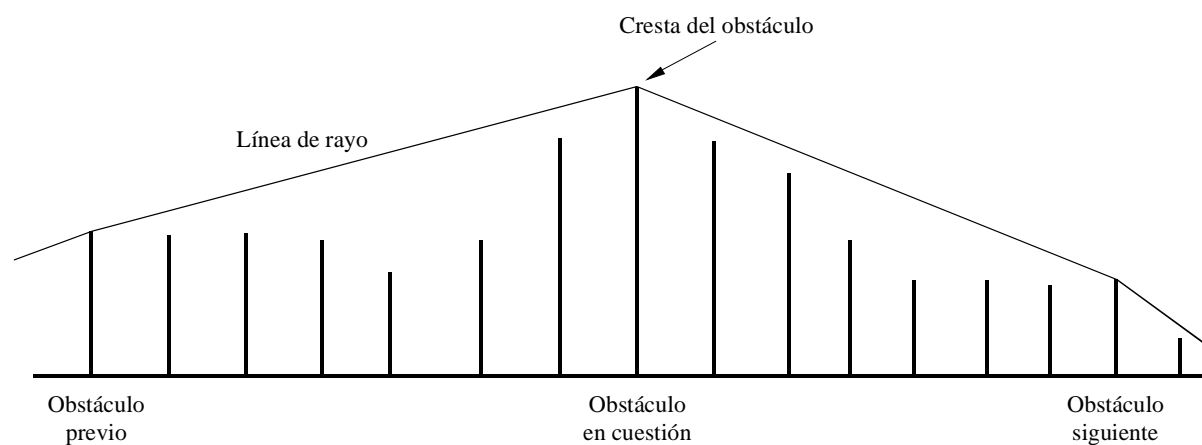
El primer obstáculo comienza en el punto del horizonte visto a lo largo de un trayecto de círculo máximo desde la estación transmisora a la estación receptora. El obstáculo termina en el punto del horizonte que mira hacia atrás a lo largo del trayecto desde la cima del siguiente obstáculo o el receptor. El segundo obstáculo comienza en el punto del horizonte visto desde el fin del primer obstáculo a lo largo del trayecto hasta la estación receptora. El proceso de identificación de obstáculos continúa hasta que hay visibilidad directa desde el último obstáculo hallado hasta la estación receptora.

Una vez identificados todos los obstáculos, en la clasificación se localizarán todas las crestas de obstáculo a partir de las cuales se pueden calcular las características.

Si el punto del horizonte desde el obstáculo anterior (o transmisor) y el punto del horizonte desde el obstáculo siguiente (o receptor) son el mismo punto, el obstáculo se denomina obstáculo en un solo punto. Esto puede verse en la Fig. 11. La alternativa es obstáculos en múltiples puntos, donde hay una separación entre los puntos de horizonte mencionados anteriormente, como se muestra en la Fig. 12. La cresta del obstáculo se define como la intersección de los trayectos de rayos imaginarios desde los obstáculos adyacentes. La Fig. 11 muestra la ubicación de la cresta para un obstáculo en un solo punto y la Fig. 12 para obstáculos en múltiples puntos.

Obstáculo en un solo punto

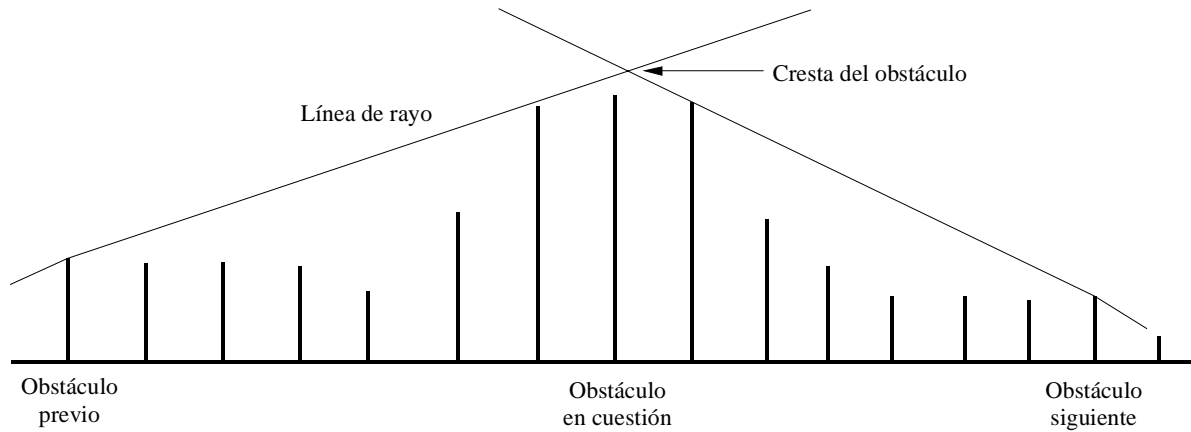
FIGURA 11
Obstáculo en un solo punto



Obstáculos en múltiples puntos

Cuando la línea del rayo desde el obstáculo previo y la línea del rayo desde el obstáculo siguiente no se cruzan en un punto del trayecto como se muestra en la Fig. 12.

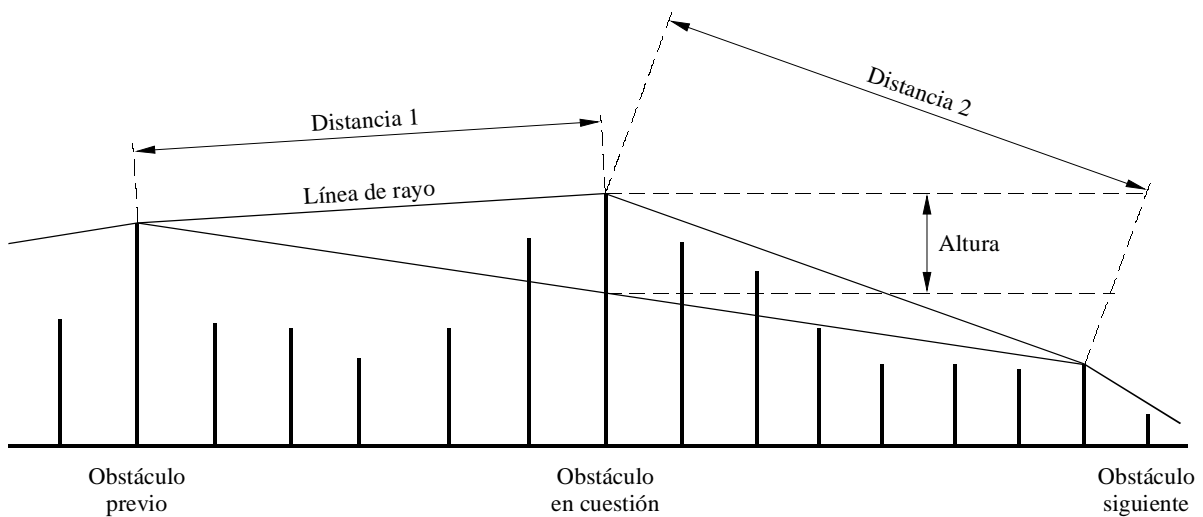
FIGURA 12
Obstáculos en múltiples puntos



1335-12

Cuando se han determinado las crestas de los obstáculos, se calcularán la altura, la distancia desde el obstáculo anterior y la distancia hasta el obstáculo siguiente y se medirán como se muestra en la Fig. 13.

FIGURA 13
Parámetros de los obstáculos

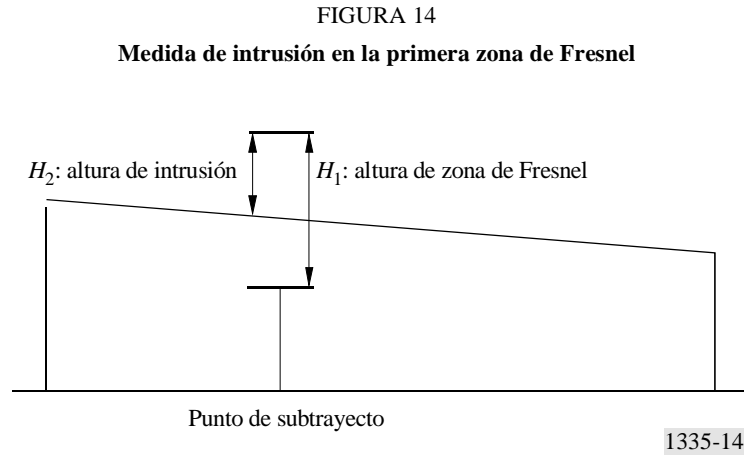


1335-13

Cada obstáculo tendrá un radio calculado a partir de la diferencia en pendiente del trayecto inmediatamente antes del comienzo del obstáculo y después del fin del obstáculo.

5.4.3.2 Determinación de la contribución de difracción del subtrayecto dominante

Cuando no hay una primera zona de Fresnel libre de obstáculos, se pueden cuantificar aún los efectos de difracción de subtrayecto. La Recomendación UIT-R P.526 indica el cálculo de una sola contribución entre cada par de obstáculos. La contribución se tomará del punto del terreno con la mayor intrusión en la primera zona de Fresnel. La intrusión se medirá como la relación de H_1 y H_2 mostrada en la Fig. 14. El punto con el valor más grande de H_1/H_2 será el punto de subtrayecto.



El punto de subtrayecto se modelará como un filo de cuchillo. El valor utilizado para h (altura del filo de cuchillo) es la distancia entre la cadena y la cima del filo de cuchillo (debe ser negativo).

Para trayectos tipo 2 se incluirá una sola contribución debida a difracción de subtrayecto.

Para trayectos tipo 3, se debe incluir una contribución de subtrayecto entre cada par de cilindros tocados por la cadena ampliada. La contribución de subtrayecto máxima se calculará como para los trayectos tipo 2.

5.5 Modelo de pérdida de trayecto transhorizonte

La propagación transhorizonte para frecuencias por encima de 30 MHz se puede producir por difracción, o por dispersión producida por irregularidades atmosféricas. Debido a la rápida atenuación de la onda con difracción en función de la distancia y la frecuencia, el mecanismo principal para establecer enlaces transhorizonte es la dispersión troposférica (tropodispersión).

Estos modelos son aplicables a los trayectos interferentes que son transhorizonte y no tienen la primera zona de Fresnel completamente libre de obstáculos.

5.5.1 Método 1 – Distribución de la pérdida de transmisión mediana anual media para porcentajes de tiempo superiores al 50%

La pérdida de transmisión anual media no rebasada durante $q\%$ del tiempo viene dada por:

$$L(q) = M + 30 \log f + 10 \log d + 30 \log \theta + L_N - Y(q) - G_t - G_r$$

donde:

- M : parámetro meteorológico (dB)
- f : frecuencia (MHz)
- d : longitud del trayecto (km)
- θ : ángulo de dispersión
- L_N : pérdida que depende de la altura del volumen común
- $Y(q)$: factor de conversión para porcentajes de no rebasamiento de q distintos del 50%
- G_t, G_r : ganancias de antena.

El Cuadro 4 muestra los valores meteorológicos de M (dB) para las zonas hidrometeorológicas definidas en la Recomendación UIT-R P.617.

CUADRO 4

Clima	1	2	3	4	6	7a	7b
M (dB)	39,60	29,73	19,30	38,50	29,73	33,2	26,00

El ángulo de dispersión se calcula a partir de:

$$\theta = \theta_e + \theta_t + \theta_r \quad \text{mrad}$$

donde:

θ_t, θ_r : ángulos con respecto al horizonte de las antenas transmisora y receptora

$$\theta_e = d \times 10^3 / k a \quad \text{mrad}$$

donde:

k : factor del radio ficticio de la Tierra para condiciones de índice de refracción medianas (4/3)

a : radio de la Tierra (6 370 km).

L_N es una pérdida que depende de la altura del volumen común y viene dada por:

$$L_N = 20 \log \left(5 + \gamma 10^{-3} \theta d / 4 \right) + 4,34 \gamma 10^{-6} \theta^2 k a / 8 \quad \text{dB}$$

γ depende también de la zona hidrometeorológica, y se muestra en el Cuadro 5.

CUADRO 5

Clima	1	2	3	4	6	7a	7b
γ (km ⁻¹)	0,33	0,27	0,32	0,27	0,27	0,27	0,27

$Y(q)$ es un factor de conversión para porcentajes de no rebasamiento de q distintos del 50% y se calcula a partir de:

$$Y(q) = C(q) Y(90)$$

$Y(90)$ es el factor de conversión para $q = 90\%$ y depende del clima:

$$Y(90) = -2,2 - (8,1 - 2,3 \times 10^{-4} f) \exp(-0,137 h) \quad \text{dB} \quad \text{para los climas 2, 6 y 7a}$$

$$Y(90) = -9,5 - 3 \exp(-0,137 h) \quad \text{dB} \quad \text{para el clima 7b}$$

Para otros climas, el valor de $Y(90)$ se puede extrapolar gráficamente de la Fig. 1 de la Recomendación UIT-R P.617.

$C(q)$ es el factor de conversión para otros porcentajes de tiempo. La Recomendación UIT-R P.617 indica algunos valores, que se muestran en el Cuadro 6:

CUADRO 6

q	50	90	99	99,9	99,99
$C(q)$	0	1	1,82	2,41	2,90

Se pueden extraer valores superiores al 50%, no indicados en el Cuadro, utilizando interpolación lineal.

Para valores inferiores al 50%, la pérdida se obtiene suponiendo una simetría alrededor de la línea del 50%. Esto se indica en la Recomendación UIT-R P.617 para porcentajes de sólo 20% en todos los casos y de sólo 1% en algunos casos. En el soporte lógico, esto se supone válido para todos los valores de p , en ausencia de un modelo mejor.

5.5.2 Método 2 – Distribución de la pérdida de transmisión mediana del mes más desfavorable medio para porcentajes de tiempo superiores al 50%

La mejor manera de determinar esta distribución es a partir de la distribución anual media utilizando un factor de conversión.

Con el Método 1 se puede obtener una distribución anual media para los porcentajes de no rebasamiento (50, 90, 99, 99,9) y clima(s) de interés. La pérdida de transmisión básica se calcula hallando la diferencia entre la distribución anual media y la distribución del mes más desfavorable medio de acuerdo con las curvas de la Fig. 2 de la Recomendación UIT-R P.617. Obsérvese que las curvas del clima 3 se deben utilizar para el clima 2 porque no se dispone de curvas para este clima.

Se toma la diferencia de pérdida de transmisión básica y se añade a los correspondientes valores anuales medios y de este modo se pueden obtener las pérdidas de transmisión del mes más desfavorable medio para los porcentajes de no rebasamiento (50, 90, 99, 99,9). Las pérdidas de transmisión del mes más desfavorable medio no rebasadas durante el 99,99% del tiempo se pueden estimar a partir de los valores obtenidos mediante extrapolación logarítmica.

5.5.3 Método 3 – Pérdida debida a la propagación por conductos

La predicción de la pérdida de transmisión básica, $L_{ba}(p)$ (dB), que se produce durante periodos de propagación anómala (conductos y reflexión en la capa) se basa en la siguiente función:

$$L_{ba}(p) = A_f + A_d(p) + A_g \quad \text{dB} \quad (2)$$

donde:

A_f : total de pérdidas por acoplamiento fijo (salvo para pérdidas por ecos parásitos locales) entre las antenas y la estructura de propagación anómala dentro de la atmósfera:

$$A_f = 102,45 + 20 \log f + 20 \log (d_{lt} + d_{lr}) + A_{st} + A_{sr} + A_{ct} + A_{cr} \quad \text{dB} \quad (3)$$

A_{st}, A_{sr} : pérdidas por difracción en el apantallamiento de la ubicación para las estaciones interferente e interferida, respectivamente:

$$A_{st, sr} = \begin{cases} 20 \log \left[1 + 0,361 \theta''_{t,r} (f \cdot d_{lt,lr})^{1/2} \right] + 0,264 \theta''_{t,r} f^{1/3} & \text{dB} \quad \text{para } \theta''_{t,r} > 0 \text{ mrad} \\ 0 & \text{dB} \quad \text{para } \theta''_{t,r} \leq 0 \text{ mrad} \end{cases} \quad (4)$$

donde:

$$\theta''_{t,r} = \theta_{t,r} - 0,1 d_{lt,lr} \quad \text{mrad} \quad (4a)$$

A_{ct}, A_{cr} : correcciones por acoplamiento de conductos sobre la superficie del mar para las estaciones interferente e interferida, respectivamente:

$$A_{ct, cr} = -3 e^{-0,25 d_{ct, cr}^2} \left[1 + \text{tgh} \left(0,07(50 - h_{ts,rs}) \right) \right] \text{ dB} \quad \text{para } \omega \geq 0,75$$

$$d_{ct, cr} \leq d_{lt, lr} \quad (5)$$

$$d_{ct, cr} \leq 5 \text{ km}$$

$$A_{ct, cr} = 0 \quad \text{dB} \quad \text{para todas las demás condiciones} \quad (5a)$$

Se debe señalar el limitado conjunto de condiciones en las cuales se necesita la ecuación (5).

$A_d(p)$: pérdidas que dependen del porcentaje de tiempo y de la distancia angular dentro del mecanismo de propagación anómala:

$$A_d(p) = \gamma_d \cdot \theta' + A(p) \quad \text{dB} \quad (6)$$

donde:

γ_d : atenuación específica:

$$\gamma_d = 5 \times 10^{-5} a_e f^{1/3} \quad \text{dB/mrad} \quad (7)$$

θ' : distancia angular (corregida cuando proceda (mediante la ecuación (8)) para la aplicación del modelo de apantallamiento de la ubicación en la ecuación (4)):

$$\theta' = \frac{10^3 d}{a_e} + \theta'_t + \theta'_r \quad \text{mrad} \quad (8)$$

$$\theta'_{t,r} = \begin{cases} \theta_{t,r} & \text{mrad} & \text{para } \theta_{t,r} \leq 0,1 d_{lt,lr} \\ 0,1 d_{lt,lr} & \text{mrad} & \text{para } \theta_{t,r} > 0,1 d_{lt,lr} \end{cases} \quad (8a)$$

$A(p)$: variabilidad del porcentaje de tiempo (distribución acumulada):

$$A(p) = A_0(p) + 12 (p / \beta)^\Gamma \quad \text{dB} \quad (9)$$

donde:

$$A_0(p) = -12 + (1,2 + 4 \times 10^{-3} d) \log (p / \beta) \quad \text{dB} \quad (9a)$$

$$\Gamma = 0,17 \exp \left[0,027 \beta + 0,15 (\log \beta + 4)^{1,4} \right] \quad (9b)$$

En la ecuación (9b), obsérvese que la evaluación de $(\log \beta + 4)$ se debe fijar a cero, si fuese menor que cero.

$$\beta = \beta_0 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3 \quad \% \quad (10)$$

donde:

μ_2 : corrección para la geometría del trayecto:

$$\mu_2 = \left[\frac{500}{a_e} \frac{d^2}{(\sqrt{h_{te}} + \sqrt{h_{re}})^2} \right]^\alpha \quad (11)$$

El valor de μ_2 no excederá de 1.

$$\alpha = -0,6 - d \times 10^{-3} (1 - e^{-s}) \quad (11a)$$

$$s = 6,7 \times 10^{-3} \left[d(1 - \omega) \right]^{1,6} \quad (11b)$$

μ_3 : corrección para las irregularidades del terreno:

$$\mu_3 = \begin{cases} 1 & \text{para } h_m \leq 10 \text{ m} \\ \exp \left[-4,6 \times 10^{-5} (h_m - 10) (43 + 6 d_i) \right] & \text{para } h_m > 10 \text{ m} \end{cases} \quad (12)$$

$$d_i = \min (d - d_{lt} - d_{lr}, 40) \quad \text{km} \quad (12a)$$

A_g : absorción gaseosa total determinada por:

$$A_g = [\gamma_o + \gamma_w(\rho)] d \quad \text{dB}$$

donde:

$\gamma_o, \gamma_w(\rho)$: atenuación específica debida a aire seco y vapor de agua, respectivamente, y se halla a partir de las ecuaciones de la Recomendación UIT-R P.676

ρ : densidad del vapor de agua:

$$\rho = 7,5 + 2,5 \omega \quad \text{g/m}^3$$

donde ω es la fracción del trayecto total sobre agua.

5.5.4 Método 4 – Pérdida por dispersión troposférica

La pérdida de transmisión básica debida a la dispersión troposférica no excedida para cualquier porcentaje, p , por debajo del 50% viene dada por:

$$L_{bs}(p) = 190 + L_f + L_c + 20 \log d + 0,573 \theta - 0,15 N_0 + A_g - 10,1 [-\log (p / 50)]^{0,7} \quad \text{dB}$$

donde:

L_f : pérdida que depende de la frecuencia calculada con:

$$L_f = 25 \log f - 2,5 [\log (f / 2)]^2 \quad \text{dB}$$

L_c : pérdida por acoplamiento del medio calculada con:

$$L_c = 0,051 \cdot e^{0,055(G_t + G_r)} \quad \text{dB}$$

N_0 : coíndice de refracción en la superficie en el centro del trayecto, derivado de la Fig. 7 de la Recomendación UIT-R P.452.

A_g : absorción gaseosa derivada de:

$$A_g = [\gamma_o + \gamma_w(\rho)] d \quad \text{dB}$$

donde:

$\gamma_o, \gamma_w(\rho)$: atenuación específica debida a aire seco y vapor de agua, respectivamente, hallada en la Recomendación UIT-R P.676

ρ : densidad del vapor de agua

donde $\rho = 3\text{g/m}^3$ para toda la longitud del trayecto.