

RECOMENDACIÓN 679-1

**DATOS DE PROPAGACIÓN NECESARIOS PARA EL DISEÑO
DE SISTEMAS DE RADIODIFUSIÓN POR SATÉLITE**

(Cuestión 16/5)

(1990-1992)

El CCIR,

considerando

- a) que para la planificación adecuada de los sistemas de radiodifusión por satélite es necesario disponer de datos de propagación y métodos de predicción adecuados;
- b) que se recomiendan los métodos de la Recomendación 618 para la planificación de sistemas de telecomunicación Tierra-espacio;
- c) que es necesario desarrollar aún más los métodos de predicción para la aplicación específica a sistemas de radiodifusión por satélite con el fin de ofrecer una precisión adecuada para todas las condiciones de explotación;
- d) que, sin embargo, se dispone de métodos que permiten obtener una precisión suficiente para muchas aplicaciones,

recomienda

que se adopten los datos de propagación presentados en el anexo 1 al proceder a la planificación de sistemas de radiodifusión por satélite, además de los métodos indicados en la Recomendación 618.

ANEXO 1

1. Introducción

La radiodifusión por satélite plantea consideraciones de propagación que no son totalmente comparables con las que se dan en el servicio fijo por satélite. Se necesitan datos sobre la atenuación en la dirección espacio-Tierra en forma de valores medios estadísticos y de mapas de contornos de atenuación y despolarización para zonas extensas. Pueden surgir problemas específicos en el límite de la zona de servicio entre sistemas de radiodifusión por satélite y servicios terrenales u otros servicios espaciales. En la Recomendación 618 se presentan métodos generales para la predicción de los efectos de la propagación en el trayecto Tierra-espacio. El presente anexo incluye la información adicional específica para la planificación de sistemas de radiodifusión por satélite. Debe señalarse que los enlaces de conexión se consideran parte integrante del servicio fijo por satélite y no del servicio de radiodifusión por satélite.

En el caso de los trayectos espacio-Tierra de sistemas de radiodifusión, hay que contemplar varios efectos de propagación.

Entre tales efectos, cabe citar los siguientes:

- los efectos de la propagación troposférica, incluida la absorción por gases y la atenuación y despolarización debidas a la lluvia y a otros hidrometeoros;
- los efectos de la propagación ionosférica, como el centelleo y la rotación de Faraday (véase la Recomendación 531);
- los efectos ambientales locales, incluida la atenuación debida a edificios y a la vegetación.

En este anexo se examinan esos efectos y se hace referencia a otras Recomendaciones que contienen información adicional. Se requieren más datos para definir las degradaciones causadas por la propagación en los sistemas de radiodifusión por satélite.

2. Efectos troposféricos

Las degradaciones de la señal causadas por la troposfera son despreciables en las frecuencias inferiores a 1 GHz aproximadamente y en los ángulos de elevación del trayecto superiores a 10°.

Cuando la elevación es menor o la frecuencia mayor, esa clase de degradación aumenta, y las fluctuaciones de la amplitud de la señal así como del ángulo de llegada pueden llegar a ser considerables (véase la Recomendación 618). De esos efectos, el último reviste particular importancia en el caso de las zonas de servicio de elevada latitud. El aumento de la temperatura de ruido del cielo causado por las precipitaciones (véase la Recomendación 618) reducirá aún más la relación portadora/ruido de la señal recibida. Además, la acumulación de hielo y nieve en la superficie de los reflectores de las antenas y en sus alimentadores puede degradar sustancialmente la orientación, la ganancia y las características de polarización cruzada de las antenas durante una parte considerable del año.

2.1 *Atenuación de la señal en la troposfera*

Las pérdidas de la señal en la troposfera se deben a la absorción por gases y a la atenuación debida a la lluvia y a otros hidrometeoros. Además, las variaciones a pequeña escala del índice de refracción de la atmósfera causan centelleos de la señal que contribuyen tanto al desvanecimiento como a la intensificación de la señal.

2.1.1 *Atenuación debida a los gases atmosféricos*

En la Recomendación 618 figura el método recomendado para predecir la atenuación debida a los gases en los trayectos Tierra-satélite. En la mayoría de las frecuencias, la atenuación producida por los gases es poco importante en comparación con la atenuación debida a la lluvia. Sin embargo, en la banda de 22 GHz atribuida al servicio de radiodifusión por satélite en determinadas regiones, la absorción por el vapor de agua puede ser considerable. Por ejemplo, en una ubicación donde la atenuación del trayecto en 22,75 GHz es superior a 9,5 dB durante el 1% del mes más desfavorable, aproximadamente 3 dB del total corresponden a la atenuación por gases.

2.1.2 *Atenuación producida por las precipitaciones y nubes*

En la Recomendación 618 se expone un procedimiento para la predicción de la atenuación producida por las precipitaciones y nubes, así como un método sencillo para determinar la variación con la frecuencia de las estadísticas de atenuación medidas. La atenuación debida a las nubes no será grave en las frecuencias inferiores a 30 GHz, pero, en todo caso, se la tiene en cuenta en el método de predicción de la atenuación debida a la lluvia. Si se conoce el contenido de agua líquida se puede estimar la atenuación causada por la niebla y las nubes empleando el método que figura en la Recomendación 840.

2.1.3 *Atenuación debida a la lluvia durante el mes más desfavorable*

En la radiodifusión por satélite, la atenuación debida a la lluvia que se rebasa durante el 1% del mes más desfavorable es generalmente la degradación más importante. En la Recomendación 618 se describe un método que establece la relación entre los porcentajes de tiempo del mes más desfavorable y los porcentajes de tiempo anuales para la atenuación debida a la lluvia. El mes más desfavorable y su fundamento se tratan con detalle en la Recomendación 581.

Los datos disponibles referentes a la atenuación debida a la lluvia en el mes más desfavorable se encuentran compilados en el cuadro II-2 de los bancos de datos del CCIR (véase la Recomendación 311).

2.1.4 *Variación diurna del desvanecimiento*

La dependencia del desvanecimiento de la señal respecto de la hora del día es un factor que influye en la prestación de los servicios de radiodifusión por satélite. Los datos sobre desvanecimiento obtenidos en diversas regiones del mundo muestran una tendencia común a que los mayores desvanecimientos se produzcan por la tarde y a primeras horas de la noche. En climas caracterizados por tormentas, la mayor probabilidad de que se produzcan desvanecimientos profundos está relacionada con la hora de máxima actividad de tormentas locales. Las zonas tropicales, en particular, pueden presentar una fuerte asimetría diurna.

Por otra parte, el desvanecimiento de bajo nivel se distribuye de manera más uniforme, tanto entre las estaciones del año como de un día a otro.

2.1.5 Desvanecimiento por centelleo

Las irregularidades a pequeña escala del índice de refracción troposférico pueden producir fluctuaciones rápidas de la amplitud de la señal. Por lo general, los centelleos de la señal no influyen en gran medida en la calidad de funcionamiento del sistema en las frecuencias inferiores a unos 10 GHz y con ángulos de elevación del trayecto superiores de 10°, pero puede ser importante en ángulos de elevación bajos o en frecuencias más elevadas, en particular en los enlaces con pequeño margen. La estimación del desvanecimiento por centelleo se obtiene mediante el método descrito en la Recomendación 618.

2.2 Despolarización

Los hidrometeoros, principalmente las concentraciones de gotas de lluvia y cristales de hielo, pueden causar una despolarización estadísticamente importante de las señales en las frecuencias por encima de 2 GHz aproximadamente. En la Recomendación 618 figura el procedimiento recomendado para la predicción de estos efectos.

3. Efectos ionosféricos

En frecuencias inferiores a 3 GHz aproximadamente, los efectos ionosféricos son importantes en algunos trayectos y algunas ubicaciones. En el cuadro 1 se resumen los valores máximos estimados de los efectos ionosféricos (según la Recomendación 531) en diversas frecuencias, para uso general en trabajos técnicos. Normalmente, las degradaciones más importantes son el centelleo de la señal y (sólo en el caso de las ondas con polarización lineal) la rotación de Faraday.

CUADRO 1

Efectos máximos estimados* de la ionosfera, para un trayecto unidireccional con un ángulo de elevación de unos 30°**
(según la Recomendación 531)

Efecto	Dependencia de la frecuencia	0,5 GHz	1 GHz	3 GHz	10 GHz
Rotación de Faraday	$1/f^2$	1,2 vueltas	108°	12°	1,1°
Retardo de propagación	$1/f^2$	1 μs	0,25 μs	0,028 μs	0,0025 μs
Refracción	$1/f^2$	< 2,4'	< 0,6'	< 4,2°	< 0,36"
Variación de la dirección de llegada (valor cuadrático medio)	$1/f^2$	48"	12"	1,32"	0,12"
Absorción (auroral y/o debida al casquete polar)	$\approx 1/f^2$	0,2 dB	0,05 dB	6×10^{-3} dB	5×10^{-4} dB
Absorción (en latitudes medias)	$1/f^2$	< 0,04 dB	< 0,01 dB	< 0,001 dB	< 10^{-4} dB
Dispersión	$1/f^3$	0,0032 ps/Hz	0,0004 ps/Hz	$1,5 \times 10^{-5}$ ps/Hz	4×10^{-7} ps/Hz
Centelleo (1)			> 20 dB (cresta a cresta)	≈ 10 dB (cresta a cresta)	≈ 4 dB (cresta a cresta)

* Esta estimación se basa en un contenido total de electrones (TEC) de 10^{18} electrones/m², que es un valor elevado de TEC encontrado a bajas latitudes durante el día con alta actividad solar.

** Los efectos ionosféricos por encima de 10 GHz son despreciables.

(1) Valores observados cerca del ecuador geomagnético durante las primeras horas de la noche (hora local) en el equinoccio en condiciones de máximo número de manchas solares.

4. Efectos del medio ambiente local

En determinadas ubicaciones de recepción, los efectos de las estructuras y la vegetación pueden ser importantes. Lamentablemente, los datos aplicables a los sistemas de radiodifusión por satélite son insuficientes para caracterizar plenamente a dichos efectos.

4.1 *Recepción dentro de edificios*

En el cuadro 2 se resume la atenuación representativa de las señales de satélite en ondas decimétricas observadas en las habitaciones cercanas a una pared exterior de las casas con estructura de madera. En las habitaciones interiores se debe agregar 0,6 dB a los valores ubicados. La atenuación de la señal causada por edificios con estructura de madera presenta pocas variaciones con las condiciones climáticas o con el ángulo de elevación del trayecto pero, como se indica en el cuadro, acusa una variación sistemática en función de la frecuencia, la polarización, los materiales de construcción, y el aislamiento y la posición del receptor dentro de la estructura. Ciertos aislantes con revestimiento de aluminio y materiales de construcción producen una pérdida de hasta 20 dB de pérdida.

CUADRO 2

Atenuación (dB) sufrida por las señales de ondas decimétricas a través de edificios con estructura de madera*

Tipo de construcción		Frecuencia (MHz) y polarización (H: horizontal; V: vertical)			
Exterior	Aislamiento (tipo no metálico)	860 H	860 V	1 550 V	2 569 V
Toda de madera	Cielo raso únicamente	4,7	2,9	5,0	5,8
	Cielo raso y paredes	6,3	4,5	6,6	7,4
Revestimiento de ladrillos	Cielo raso únicamente	5,9	4,1	6,2	7,0
	Cielo raso y paredes	7,5	5,7	7,8	8,6

* Este cuadro se aplica a las habitaciones situadas cerca de la pared exterior; para las habitaciones interiores deben agregarse 0,6 dB.

4.2 *Reflexiones y sombras producidas por edificios*

Las mediciones hechas mediante la transmisión de señales de radiodifusión sonora MF con polarización circular a 839 MHz y 1504 MHz desde una torre elevada, indican que, con un ángulo de elevación de 20° aproximadamente, las variaciones de un sitio a otro de la intensidad de campo en zonas urbanas a nivel de la calle se aproximan a 15 dB en 839 MHz y a 18 dB en 1504 MHz. Las fluctuaciones son prácticamente las mismas en la recepción con antenas polarizadas horizontalmente o verticalmente. La calidad del sonido resulta levemente deteriorada por las variaciones de la intensidad de campo en las condiciones de propagación por trayectos múltiples, aún en el caso de calles estrechas y desfavorablemente orientadas.

En las zonas suburbanas y rurales, las reflexiones en el suelo pueden influir en la elección de la polarización preferida, pues la onda polarizada verticalmente que se refleja en el suelo experimenta un nulo profundo en el pseudoángulo de Brewster, lo que no sucede con la onda polarizada horizontalmente. Por ello, la onda polarizada horizontalmente que se refleja en el suelo será por lo general más intensa que la polarizada verticalmente en el caso de una tierra uniforme, y, por tanto, la suma de la onda directa y de las ondas reflejadas en el suelo dará como resultado nulos más profundos y máximos más altos.

5. **Distribución estadística del nivel de la señal en zonas extensas**

Un satélite de radiodifusión debe prestar servicio a una zona extensa, preferiblemente con la misma calidad durante un determinado porcentaje de tiempo. Sin embargo, algunas partes de la zona de servicio (por ejemplo, dentro de zonas climáticas distintas) pueden verse afectadas de modo diferente por determinados efectos de la propagación. Tales diferencias se pueden conocer por medio de mediciones coordinadas, hechas en varias ubicaciones de recepción distribuidas a lo largo de la zona de servicio. Dichos datos, aunque son escasos, son útiles tanto para prever los requisitos que ha de reunir el equipo como para determinar las condiciones de interferencia en los límites de la zona de servicio.

Los datos disponibles indican que la probabilidad de que existan condiciones de lluvia en forma simultánea en diferentes lugares es de algunas unidades porcentuales para separaciones de hasta 500 km, y que no puede darse por supuesta la independencia estadística para separaciones inferiores a unos 800 km. En pares de emplazamientos separados por 200 km se halló que la probabilidad conjunta de que existan índices de pluviosidad superiores a 5 mm/h puede ser de aproximadamente cinco veces la probabilidad obtenida suponiendo una independencia estadística.

6. Distribuciones estadísticas y correlación de frecuencia de las señales

Las mediciones hechas mediante la transmisión de una señal de 567,25 MHz desde lo alto de una torre de 515 m para simular una señal de satélite han demostrado que, en la inmensa mayoría de las ubicaciones de recepción, la distribución de los valores instantáneos de la envolvente de la señal se aproxima a una distribución log-normal. Si las obstrucciones por objetos locales introducen atenuaciones superiores a 15 dB con respecto al nivel mediano, la distribución de los valores instantáneos se aproxima a una distribución de Rayleigh.

En el mismo experimento se midieron también las correlaciones de frecuencia entre señales con separaciones de frecuencia de 0,15 MHz, 0,5 MHz, 1,0 MHz, 2,2 MHz, 4,4 MHz y 6,5 MHz. Se observó que la correlación de frecuencia disminuye a medida que aumenta la separación de frecuencia, y que el ángulo de elevación sólo influye en ella en forma ligera e incidental.
