

**DATOS DE PROPAGACIÓN NECESARIOS PARA LA RADIODIFUSIÓN  
TERRENAL Y LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN PUNTO A MULTIPUNTO  
EN BANDAS DE FRECUENCIAS SUPERIORES A 10 GHz**

(Cuestión 13/5)

(1974-1978-1982-1986-1990)

**1. Introducción**

La demanda creciente en las bandas inferiores a 1 GHz por parte de los servicios de radiodifusión ha llevado a examinar la posibilidad de utilizar las frecuencias superiores a 10 GHz y, especialmente, la banda de 12 GHz, para la radiodifusión sonora y de televisión.

El presente Informe facilita una descripción, a título preliminar, de los efectos de propagación que revisten importancia en la planificación de las redes en la banda de 12 GHz. Se reseñan igualmente los resultados de mediciones efectuadas en la República Federal de Alemania, en Francia, en Japón, en Suiza y en los Estados Unidos de América.

**2. Consideraciones generales**

*2.1 Propagación en la zona de servicio*

El factor más importante que ha de tenerse en cuenta en la planificación de un sistema de radiodifusión es la probabilidad de cobertura, que depende de las pérdidas por difracción debidas al terreno. Las pérdidas debidas a la difracción causada por edificios cobran especial importancia en las bandas de frecuencias superiores a 10 GHz.

Debe tenerse también en cuenta la atenuación causada por las precipitaciones y la propagación por trayectos múltiples. Mediciones efectuadas en la República Federal de Alemania indican que en las zonas densamente edificadas, los efectos de la propagación por trayectos múltiples originados por las capas reflectoras de la atmósfera son de menor importancia. Sin embargo, debe prestarse atención especial a la propagación por trayectos múltiples causados por la reflexión en grandes edificios y otras características del terreno. La directividad relativamente grande de las antenas receptoras que se utilizan en esta banda puede aliviar este tipo de problemas de propagación por trayectos múltiples.

*2.2 Interferencia causada a otras zonas de servicio*

Debido a las características de propagación en esta banda de frecuencias, el alcance efectivo de cobertura de cada transmisor es necesariamente reducido y, por tanto, tal vez se necesite una elevada densidad de transmisores para obtener la probabilidad de cobertura necesaria. Por consiguiente, el cálculo de la distancia mínima de separación entre los transmisores cocanal es de suma importancia. Dicho cálculo no debiera basarse

exclusivamente en una evaluación de los valores medianos a largo plazo de la pérdida de transmisión; por el contrario, deben tenerse también en cuenta las condiciones anormales que producen un aumento considerable de la señal a grandes distancias durante pequeños porcentajes de tiempo.

Cuando las condiciones atmosféricas hagan posible la propagación guiada en la frecuencia de transmisión, podrá aumentar considerablemente la intensidad de campo de la señal interferente, en función de la posición vertical relativa de la antena de la estación y de la altura del conducto. Si bien existen varios métodos para determinar estos efectos en casos específicos [Dougherty y Hart, 1976], para determinar la distancia de coordinación suele ser más útil un método probabilístico amplio, como el que se describe en el Informe 724, mientras que para el cálculo de la separación entre transmisores cocanal se pueden utilizar los métodos del Informe 569.

### 3. Datos de propagación

#### 3.1 Propagación en la zona de servicio

La República Federal de Alemania ha llevado a cabo mediciones de la intensidad de campo en unos 12 GHz [Sakowski, 1970a y b], utilizándose una red experimental situada en Berlín Oeste y consistente en tres transmisores con diferentes alturas efectivas de antena. Estas mediciones han demostrado que es importante prever alturas de antena adecuadas para solventar los efectos de obstrucción de los edificios. Se comprobó que se podría llegar a una interpretación más razonable de los resultados en este ámbito específico haciendo que la altura de las antenas receptoras no estuviese referida al suelo sino a la altura media de la parte superior de los tejados situados cerca de cada uno de los puntos de recepción. En [Sakowski, 1975] se dan los valores de ganancia de altura para las alturas de antena receptora así definidas. Como la relación entre la intensidad de campo y la altura de la antena depende en gran medida de las variaciones de las dimensiones de los edificios de una ciudad, no se han podido formular conclusiones generales basadas en estos resultados particulares (las mediciones se efectuaron en una ciudad cuyos tejados tenían una altura relativamente uniforme). En un gran número de pruebas [Sakowski, 1977] también se determinó la influencia de objetos aislados. La reflexión en los edificios pasó a ser menos importante, puesto que las pérdidas de reflexión fueron superiores a las previstas. La presencia de árboles aislados en el trayecto directo provocó atenuaciones que alcanzaron valores hasta de varios múltiplos de 10 dB, con fluctuaciones rápidas causadas por el viento y considerables variaciones estacionales en el caso de árboles de hoja caduca. En comparación con las ondas decimétricas (600 MHz), las atenuaciones medidas en 12 GHz en las regiones de sombra intensa fueron superiores en un valor comprendido entre unos 10 a 20 dB. Mediciones simultáneas efectuadas con polarizaciones horizontal y vertical mostraron que la diferencia en atenuación causada por obstáculos era generalmente despreciable, salvo en lo que respecta a la existencia de una ligera ventaja (de 4 dB por término medio) para las ondas con polarización horizontal en el caso de reflexiones perturbadoras en superficies verticales.

La circunstancia de que en este experimento se dispusiera de tres transmisores alternativos permitió evaluar las ventajas de la cobertura triple de una zona. La conclusión fue que, con un transmisor situado a una altura de 200 m, la cobertura de una sola estación en esta zona relativamente llana era sólo ligeramente inferior a la cobertura conjunta de las tres estaciones, solución que resulta poco económica en cuanto a costo de los transmisores y a utilización de frecuencias.

En Suiza se han efectuado mediciones similares de la intensidad de campo, con un transmisor de 12 GHz, en la zona urbana de Berna y en las zonas llanas y montañosas de sus alrededores [Bärfuss, 1976]. A base de los resultados obtenidos, se han calculado porcentajes de cobertura dentro de las distintas zonas, tanto para un sistema de modulación de amplitud de banda lateral residual como para un sistema de modulación de frecuencia.

En Francia se efectuaron mediciones de propagación a lo largo de un periodo de dos años con transmisores de radiodifusión en la banda de 12 GHz situados en las regiones central y occidental del país, en trayectos de 74 y 28 km de longitud, respectivamente [CCIR, 1978-82]. Las atenuaciones específicas excedidas durante el 1% y el 0,1% del tiempo eran comparables en ambos trayectos, pero las excedidas el 0,01% diferían considerablemente.

Para un cálculo de la atenuación debida a las precipitaciones o a la propagación por trayectos múltiples a través de capas atmosféricas, véanse los Informes 338 y 723. (En los experimentos anteriormente mencionados, efectuados en Suiza, también se obtuvieron estadísticas de atenuación del mes más desfavorable.)

Unas mediciones de las transmisiones de radiodifusión efectuadas a 12 GHz en los Estados Unidos de América [Bentz, 1982] han demostrado la importancia de los trayectos con visibilidad directa para el servicio en esta banda. En una zona montañosa urbana de San Francisco, donde el 38% de los trayectos estaban obstruidos por el terreno o por edificios, la atenuación mediana en los trayectos con obstrucción fue de 20 dB mayor que en los trayectos con visibilidad directa. En el 60% de los puntos sin visibilidad directa, la medición de señales reflejadas dio como resultado un nivel mediano superior en 3 dB al nivel mediano en otros puntos sin visibilidad directa.

Dado que el nivel de la señal recibida debida a la reflexión sobre un edificio es el resultado de varias ondas reflejadas y presenta una fuerte dependencia de la frecuencia respecto a los materiales y la estructura del edificio, se necesita un método estadístico para evaluar la atenuación por reflexión. En el punto 3 del Informe 1146 se presenta un ejemplo de los resultados medidos.

### 3.2 Interferencia causada a otras zonas de servicio

En Japón se han efectuado mediciones de la intensidad de las ondas interferentes, en las distintas zonas urbanas de Tokio, con ondas de polarización horizontal y ondas de polarización circular en 12 GHz [Saito y otros, 1977]. De los resultados se han derivado distribuciones de la pérdida de transmisión en la gama de 5 a 10 km, en función de la altura y el número de edificios alrededor de los lugares de recepción, habiéndose comprobado que sería más ventajoso utilizar transmisiones con polarización horizontal o vertical que transmisiones con polarización circular, puesto que de esta forma se reduce la interferencia causada a otras zonas de servicio donde se emplea la polarización ortogonal.

En el Informe 569 figuran métodos para calcular la intensidad de campo o la pérdida de transmisión para ciertas distancias interesantes desde el punto de vista de la determinación de las probabilidades de interferencia a larga distancia. En la planificación de la red en la banda de 12 GHz, son especialmente importantes las distancias inferiores a unos 300 km. Una comparación de las mediciones efectuadas en la República Federal de Alemania [Abel, 1972], con las predicciones basadas en la referencia bibliográfica [NBS, 1967], mostró que la intensidad de campo experimenta una reducción menor que la prevista al aumentar la distancia.

### 4. Visibilidad de los trayectos de propagación

Como se señala en el § 2, la previsión de una probabilidad de cobertura es uno de los problemas más importantes en la planificación de redes punto-multipunto tales como los sistemas de radiodifusión con distribución local por radio. En el caso de las frecuencias superiores a 10 GHz, la visibilidad, definida aquí como la probabilidad de asegurar trayectos de propagación con visibilidad directa, afecta principalmente a la dimensión de la zona de servicio en zonas densamente edificadas, en las que los edificios altos producen muchas zonas de sombra.

Un método para la evaluación de la visibilidad ha sido derivado de un modelo de distribución de los edificios [Ogawa y Satoh, 1984]. La visibilidad entre una estación de base (nodal) y sus abonados puede calcularse utilizando parámetros tales como la altura de la estación, la distancia, la densidad de los edificios y su altura media, y el nivel del suelo. Los resultados así evaluados concuerdan con las mediciones efectuadas en Tokio. En un sistema con varias zonas radioeléctricas que se superponían, se consideraron, desde el punto de vista de la visibilidad, factores tales como la dimensión de la zona radioeléctrica y las distancias a la estación modal. En la referencia antes mencionada, se da también una estimación del número de radiaciones reflejadas por los edificios.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEL, N. [enero de 1972] Beobachtungen an einer 210 km langen 12-GHz-Strecke (Observaciones en un enlace de 12 GHz de 210 km de longitud). *Tech. Ber. FTZ*, A 455 TBr 34.
- BÄRFUSS, Chr. [1976] Propagation dans la bande des 12 GHz. *Bull. Tech. PTT*, 12, 442-455, Berna, Suiza.
- BENTZ, C. [diciembre de 1982] Experimenting at 12 290 MHz. *Broadcast Engineering Specifications*.
- DOUGHERTY, H. T. y HART, B. A. [1976] Anomalous propagation and interference fields. PB-262-477, National Technical Information Service, Springfield, Va. 22161, Estados Unidos de América.
- NBS [1967] National Bureau of Standards, Tech. Note N.º 101, revisada I y II, AD 687820 y AD 687821, National Technical Information Service, Springfield, Va. 22161, Estados Unidos de América.
- OGAWA, E. y SATOH, A. [14-17 de mayo de 1984] Radio zone design using visibility estimation for local distribution systems in Metropolitan areas. IEEE International Conference on Communications (ICC '84). Amsterdam, Países Bajos. Conf. Proc., Vol. II, 946-950.
- SAITO, T., ITO, S., OHMARU, K., HASEGAWA, T., ISONO, H. y TAKANO, K. [agosto de 1977] Propagation characteristics of terrestrial television waves in the 12 GHz band in urban area. NHK Lab. Note, No. 215.
- SAKOWSKI, K. [diciembre de 1970a] Field-strength measurements in the Berlin 12 GHz experimental network. *Tech. Ber. FTZ*, A 44 TBr 22.
- SAKOWSKI, K. [diciembre de 1970b] The location probability in the Berlin 12 GHz experimental network. *Tech. Ber. FTZ*, A 44 TBr 23.
- SAKOWSKI, K. [febrero de 1975] Die örtliche Feldstärkeverteilung bezogen auf die Haushöhen bei einer cm-Wellen-Rundstrahlung (Distribución local de la intensidad de campo con relación a las alturas de los edificios, para radiación omnidireccional de ondas centimétricas). *Tech. Ber. der DBP beim FTZ*, 454 TBr 21.
- SAKOWSKI, K. [1977] Ausbreitungsdaten für eine Rundfunkversorgung im 12-GHz-Bereich (Datos de propagación para un servicio de radiodifusión en la banda de 12 GHz). *Rundfunktechn. Mitt.*, H.2, 21, 52-61.

*Documentos del CCIR*

[1978-82]: 5/113 (Francia).