

SECCIÓN 5D: ASPECTOS RELATIVOS AL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN TERRENAL Y A LOS SERVICIOS MÓVILES TERRENALES

INFORME 239-7 *

**DATOS ESTADÍSTICOS DE PROPAGACIÓN NECESARIOS
PARA LOS SERVICIOS DE RADIODIFUSIÓN EN LA GAMA
DE FRECUENCIAS DE 30 A 1000 MHz**

(Cuestión 11/5)

(1959-1963-1966-1970-1974-1978-1982-1986-1990)

1. Introducción

En el presente Informe se dan indicaciones acerca del trazado y empleo de las curvas de propagación de la Recomendación 370, con inclusión de resultados estadísticos descriptivos relativos a los fenómenos de despolarización; se examina también la influencia de las zonas urbanas y de la vegetación en la propagación. En el punto 5 se indican métodos para el cálculo de la intensidad de campo en trayectos mixtos tierra-mar.

En las Actas Finales de la Conferencia de radiodifusión de televisión por ondas métricas y decimétricas, en la zona africana y países vecinos, Ginebra, 1989, figuran curvas de propagación de aplicación para la radiodifusión en el continente africano. Estas curvas se prepararon teniendo en cuenta las diferencias climáticas previstas en el continente africano.

En varios países continúa la adquisición de datos de mediciones de la intensidad de campo y la elaboración de métodos de previsión, indispensables para la planificación del espectro. El resultado de estas actividades viene a complementar la información dada en la Recomendación 370, e invita a insistir en la importancia de una coordinación que culmine, cuanto antes, con el mejoramiento de las técnicas de predicción y de los textos en que se describen. En este Informe se indican las regiones en que se están llevando a cabo tales actividades.

El Informe 1145 _____ estudia la influencia del terreno en la propagación, así como la base teórica de algunos de los parámetros que intervienen en el trazado de las curvas de intensidad de campo en función de la frecuencia, de la distancia, de la altura de las antenas y de la naturaleza del terreno. En el Informe 228 se estudian las mediciones de intensidad de campo para los servicios de radiodifusión; se hace un análisis descriptivo de las mediciones y se muestra cómo se pueden emplear las curvas de propagación para describir las zonas de servicio efectivas. Para predecir los valores medianos a largo plazo y variabilidad en el tiempo de la pérdida de transmisión entre puntos fijos, se emplean habitualmente otros métodos, _____ (véase [NBS, 1967]).

2. Trazado de las curvas de propagación

Las curvas de propagación de la Recomendación 370 se aplican a distancias inferiores y superiores a la del horizonte. Una y otra parte de las curvas han sido obtenidas de manera diferente. Estas curvas incorporan un gran volumen de datos proporcionados por numerosas administraciones.

2.1 Distancias superiores a la del horizonte

Los datos a largo plazo para distancias transhorizonte están clasificados en dos categorías que corresponden a las ondas métricas y decimétricas, subdivididas, a su vez, para trayectos terrestres y marítimos.

* Este Informe debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 10 y 11.

2.1.1 Ondas métricas

En las figs. 1a a 4c de la Recomendación 370, las partes de las curvas correspondientes a distancias transhorizonte incluyen un gran volumen de datos correspondientes a numerosos trayectos terrestres y marítimos, obtenidos con antenas transmisoras y receptoras de diversas alturas. En primer lugar, se normalizaron los datos con relación a una altura de antena transmisora de 300 m, suponiendo que la intensidad de campo a una distancia de X km del transmisor, para una altura de antena h_1 m, es igual a la intensidad de campo que se lee en la curva para una altura de antena transmisora de 300 m, a una distancia $(X + 70 - 4,1 \sqrt{h_1})$ km. A continuación, se aplicó la misma fórmula para obtener la familia de curvas ilustradas en la Recomendación 370.

El procedimiento se basa en la hipótesis de que la intensidad de campo es constante si la distancia entre horizontes también lo es, sin tener en cuenta las diferencias de atenuación en el espacio libre y considerando un modelo esférico liso de la Tierra.

En general para trayectos marítimos, las mediciones se hicieron en puntos despejados del litoral, directamente frente al mar. Para que sean aplicables al cálculo de la interferencia cocanal en ciudades costeras, en que es de prever que la intensidad de campo sea más baja que en puntos despejados, se aplica a estos resultados una corrección de aproximadamente 7 dB respecto de los valores medidos. Debe advertirse que tales correcciones han de aplicarse a todos los resultados de medida obtenidos en puntos costeros despejados, en la banda de ondas métricas.

La propagación a distancias superiores a 500 km, a frecuencias inferiores a unos 90 MHz, puede producirse por reflexión en la capa E esporádica de la ionosfera para pequeños porcentajes de tiempo. Tales efectos se tratan en el Volumen VI del CCIR, en particular en el Informe 259 y en la Recomendación 534.

2.1.2 Ondas decimétricas

Se aplicó el mismo procedimiento para obtener las partes de las curvas correspondientes a distancias transhorizonte, en las figs. 9, 10, 11, 13, 14a y 14b de la Recomendación 370.

Sin embargo, para trayectos marítimos, y para pequeños porcentajes de tiempo, la intensidad de campo es relativamente independiente de la altura de la antena transmisora. Por ello, las figs. 16a y 16b, correspondientes al 1% del tiempo, no comprenden corrección de altura de antena para distancias transhorizonte. En consecuencia, las curvas 5%, obtenidas por interpolación entre las curvas 1% y 10%, contienen aproximadamente la mitad de la corrección debida a la ganancia por altura.

En la zona mediterránea, las mediciones se hicieron en puntos despejados del litoral, directamente frente al mar. Para que sean aplicables al cálculo de la interferencia cocanal en ciudades costeras, en que es de prever que la intensidad de campo sea más baja que en puntos despejados, se aplica a estos resultados una corrección de aproximadamente 7 dB respecto de los valores medidos.

Debe advertirse que tales correcciones han de aplicarse a todos los resultados de medida obtenidos en puntos costeros despejados, en las bandas de ondas métricas y decimétricas.

2.2 Distancias inferiores a la del horizonte

Para distancias inferiores a la del horizonte normal, se han trazado las curvas de propagación comparando los resultados de numerosas pruebas efectuadas con equipos móviles y de una serie de mediciones realizadas en puntos fijos durante largos periodos, en trayectos cortos, con las curvas teóricas de propagación sobre terreno liso, para los valores correspondientes de la frecuencia y la altura de las antenas. Se ha comprobado que la variación de la intensidad de campo con la frecuencia es relativamente poco importante, y se han clasificado los datos en dos categorías (ondas métricas y ondas decimétricas), como para las distancias superiores a la del horizonte.

Las figs. 1a y 1b de la Recomendación 370 representan las intensidades de campo excedidas durante el 50% del tiempo en ondas métricas. Las curvas relativas a distancias inferiores a la del horizonte normal se han obtenido por comparación con las curvas teóricas correspondientes a un terreno liso. Se han combinado después convenientemente con la familia de curvas correspondientes a distancias superiores a la del horizonte, descritas en el punto anterior. Estas figs. 1a y 1b contienen, pues, porciones de curvas referentes a distancias inferiores a la del horizonte y a las superiores a ella, así como porciones de curvas para distancias intermedias resultantes de la unión de las otras dos porciones de curvas.

Las curvas de las figs. 2a, 2b, 2c y 4a de la Recomendación 370, obtenidas por un procedimiento muy semejante al de las figs. 1a y 1b, representan las intensidades de campo en ondas métricas excedidas respectivamente durante el 10% y el 1% del tiempo. Se admite que los desvanecimientos con el tiempo son despreciables a distancias pequeñas, de forma que las curvas medianas de las figs. 1a y 1b pueden servir de guía para tales distancias y confundirse con las curvas del 10% y 1% de las otras figuras.

Las intensidades de campo a corta distancia indicadas en las figs. 3b, 3c, 4b y 4c de la Recomendación 370, que muestran las curvas de intensidad de campo para ondas métricas sobre trayectos marítimos excedidas durante el 5% y 1% del tiempo, se construyeron dando por supuesto que las intensidades de campo durante el 5% y el 1% para la propagación terrestre o marítima apenas diferían a 10 km de distancia del transmisor. En consecuencia, las curvas marítimas se han confundido armoniosamente con las curvas terrestres para esa distancia.

Las curvas correspondientes al 5% del tiempo para la propagación en trayectos terrestres (fig. 3a de la Recomendación 370) se han calculado por interpolación lineal entre las curvas del 1% y el 10% del tiempo, suponiendo una distribución normal de forma que:

$$E(5\%) = 0,653 E(10\%) + 0,347 E(1\%) \quad \text{dB}$$

De manera similar se ha obtenido una serie de curvas de intensidad de campo en función de la distancia para ondas decimétricas. Estas curvas se presentan en las figs. 9, 10 y 11 de la Recomendación 370 para trayectos terrestres y en las figs. 13, 14a, 14b, 15a, 15b, 16a y 16b para trayectos marítimos.

3. Datos de mediciones adicionales

3.1 Zonas del mar del Norte y del mar Báltico

Mediciones realizadas en las bandas IV y V en distancias inferiores a 200 km en la zona del mar del Norte indican que, durante el 50% y el 10% del tiempo, las intensidades de campo pueden ser de varios dB superiores a las derivadas de la Recomendación 370, pero hay una mayor concordancia para el 1% del tiempo.

Mediciones efectuadas por OIRT durante un periodo de tres años [Kühn y otros, 1969] confirman que los valores indicados en la Recomendación 370 para la región del mar del Norte son igualmente válidos para la región del mar Báltico. No obstante, se ha observado que los valores medidos de la intensidad de campo tienden a ser, para pequeños porcentajes de tiempo, ligeramente superiores a los valores previstos.

Las mediciones de intensidad de campo hechas en Suecia durante periodos comprendidos entre 7 meses y 4 años, en ondas métricas sobre tres trayectos de transmisión y en ondas decimétricas sobre tres trayectos de transmisión en la región del mar Báltico, han dado resultados que, para los trayectos en ondas métricas, concuerdan con los valores especificados en la Recomendación 370 para la región del mar del Norte. Sin embargo, se comprueba que la variación de la intensidad de campo es importante de un mes a otro; para el mes más desfavorable, la intensidad de campo medida durante el 1% y el 10% del mes excede los valores calculados en una cantidad comprendida entre 30 y 40 dB.

3.2 Zona del mar Mediterráneo y del mar Negro

Se ha observado que, en particular en la zona del Mediterráneo, las intensidades de campo durante los meses de verano [Fedi y otros, 1973] son considerablemente mayores que en los meses de invierno. En Italia [CCIR, 1974-78] se han efectuado mediciones de la intensidad de campo en ondas métricas y decimétricas con diversas alturas de antena receptora, durante un periodo de dos años, en dos trayectos diferentes de la zona mediterránea central. Los resultados obtenidos se compararon con los calculados para el 1%, 5% y 10% del tiempo, a partir de las figuras de la Recomendación 370; para ello se ha aplicado la fórmula consignada en el punto 2.1.1 anterior para tener en cuenta la altura de la antena transmisora, y una fórmula similar para la altura de la antena receptora. Se obtuvo una buena concordancia entre los resultados calculados y los resultados de las medidas en la banda de ondas decimétricas; por el contrario, en la banda de ondas métricas los resultados medidos fueron de 3 a 14 dB superiores a los calculados.

Además, las mediciones hechas en Italia [CCIR, 1978-82a] en 29 trayectos rasantes o transhorizonte (cuatro trayectos totalmente sobre tierra, nueve trayectos principalmente marítimos y dieciséis trayectos mixtos sobre tierra y mar) entre 1968 y 1977 han dado resultados valiosos que podrían utilizarse para realizar nuevos estudios de la propagación.

Las mediciones en ondas métricas y decimétricas efectuadas en la zona del mar Negro entre la URSS y Bulgaria [Troitsky y otros, 1989] en un trayecto de una longitud de 970 km dieron niveles de intensidad de campo durante el 1% del tiempo que eran unos 10 dB superiores a los niveles en ondas métricas y decimétricas calculados utilizando la Recomendación 370. En el 10% del tiempo, los valores medidos coincidían con los cálculos efectuados mediante la Recomendación 370 para las ondas decimétricas y eran 7 dB más altos para las ondas métricas.

Las mediciones en ondas métricas realizadas en la zona del mar Negro en trayectos de una longitud de 309 km y 402 km dieron también intensidades de campo superiores a las calculadas utilizando la Recomendación 370 comprendidas entre 6 dB y 13 dB para el 1% y el 10% del tiempo [CCIR 1986-1990c].

Para estas comparaciones en la zona del mar Negro se utilizaron las curvas de "mar cálido" de la Recomendación 370, aumentadas en 7 dB para corresponder a los emplazamientos de recepción despejados. Los niveles altos de la señales en ondas métricas y decimétricas pueden explicarse por la aparición de la propagación por conductos troposféricos.

3.3 *Europa Central*

Una importante conclusión que puede sacarse de las mediciones realizadas por la OIRT en cinco trayectos de Europa Central, en la frecuencia de 1100 MHz, durante un periodo de tres años, es que la varianza de la intensidad de campo en varios trayectos es considerablemente mayor que la indicada en la Recomendación 370. Estos trayectos son de tal naturaleza que influyen mucho en ellos los efectos combinados de varios mecanismos de propagación. Por ejemplo, se observó que en trayectos de unos 200 km de longitud, la gama de desvanecimiento (diferencia entre las intensidades de campo excedidas durante el 1% y el 50% del tiempo) es del orden de 30 dB, comparada con la diferencia de 18 dB, aproximadamente, que se obtendría interpolando las curvas de la Recomendación 370, para una frecuencia mediana de unos 700 MHz (centro de las bandas IV y V).

Otras mediciones efectuadas en la República Democrática Alemana en cooperación con las Administraciones de la República Socialista de Checoslovaquia y de la República Popular de Polonia [CCIR, 1978-82b] durante siete años, a 1100 MHz, en nueve trayectos transhorizonte con las condiciones típicas de Europa Central, de longitudes de hasta 400 km, mostraron que la gama de desvanecimiento va de 19 dB a 32,5 dB. Estos valores son superiores en casi 15 dB a los que cabría esperar según la Recomendación 370 y se observaron a distancias de hasta 250 km. Esta diferencia disminuye con la distancia, pero es todavía de 3 dB a una distancia de 400 km. Además, se observó una diferencia de 9 dB entre la gama de desvanecimiento medida y la predicha, a 500 MHz, en trayectos de longitudes de 200 km aproximadamente.

3.4 *América del Norte*

Las mediciones efectuadas por Canadá de las intensidades de campo de las señales en ondas métricas y decimétricas, excedidas durante el 50% y el 10% del tiempo, por trayectos sin visibilidad directa de 125 a 250 km de longitud en la región de los Grandes Lagos de la parte continental de América del Norte, revelan importantes variaciones diurnas y estacionales de la intensidad de la señal [Palmer, 1980]. Las intensidades excedidas durante el 50% y el 10% del tiempo tienen valores mínimos por la tarde y en invierno y valores máximos por la noche y en verano. La variación diurna de la intensidad mediana de la señal es de 5 a 9 dB en verano y de 2 a 3 dB en invierno. La variación estacional oscila entre 6 y 15 dB y los valores más altos se observan en trayectos con una parte considerable sobre superficie acuática. Las intensidades de señal excedidas el 10% del tiempo presentan variaciones diurnas de 2 a 6 dB en invierno y de 10 a 26 dB en verano. La variación estacional es de 2 a 6 dB a mediodía y de 15 a 25 dB por la noche. En cuanto a los valores medianos de intensidad de la señal, los valores máximos de variabilidad diurna y estacional se observan en trayectos con una parte considerable sobre superficie acuática. Se ha obtenido resultados análogos con una nueva experiencia realizada en Canadá en la que, durante dos años, se han controlado en un lugar próximo a Yarmouth, Nueva Escocia, en la costa oriental de Canadá, las intensidades de señal procedentes de cinco transmisores de televisión. Las longitudes de los trayectos estaban comprendidas entre 92 y 348 km y las frecuencias variaban de 67 a 543 MHz [Whitaker, 1985].

Las mediciones efectuadas en los Estados Unidos de América en la misma región han revelado variaciones de la intensidad de campo diurnas y estacionales algo más elevadas [Kalagian y Tawil, 1983]. La gama de variación diurna de la intensidad de campo mediana es de 5 a 11 dB en el verano y de 1 a 9 dB en el invierno. La variabilidad estacional oscila entre 7 y 22 dB. La intensidad de campo excedida durante el 10% del tiempo presenta una variación diurna de 11 a 19 dB en el verano y de 4 a 10 dB en el invierno. La variación estacional es de 11 a 31 dB. Las variaciones de la intensidad de campo fueron algo menores en ondas métricas.

Mediciones efectuadas en el Golfo de México han revelado que las intensidades de campo, sobre todo en verano, pueden exceder los valores contenidos en la Recomendación 370 para el mar del Norte en hasta 20 dB, con distancias superiores a unos 200 km.

3.5 Asia

Se realizaron mediciones de intensidad de campo en las zonas de baja latitud de Asia, efectuadas por siete organizaciones miembros de la ABU, en Bangladesh, Hong Kong, India, Malasia, Pakistán, Arabia Saudita y Tailandia. Se utilizaron emisiones en la banda de ondas métricas para diferentes estaciones del año y en distintas horas del día. En la Figura 1 aparecen los resultados provisionales para terreno llano. Estas curvas están generalmente de acuerdo con las curvas correspondientes que aparecen en la Figura 1 de la Recomendación 370 [CCIR, 1986-90a]. Sin embargo, para distancias inferiores a unos 30 km, las curvas obtenidas por la ABU presentan un valor inferior de hasta 5 dB, especialmente en el caso de alturas efectivas de la antena transmisora bajas. Hay que señalar que si se aplica una corrección para tener en cuenta la refractividad en la superficie (punto 1.7 del anexo a la Recomendación 370), los valores previstos son demasiado elevados en la zona de difracción. Las mediciones realizadas en terrenos accidentados (montañosos) y en terrenos desérticos, indican generalmente valores inferiores de los que cabe esperar según la Recomendación 370.

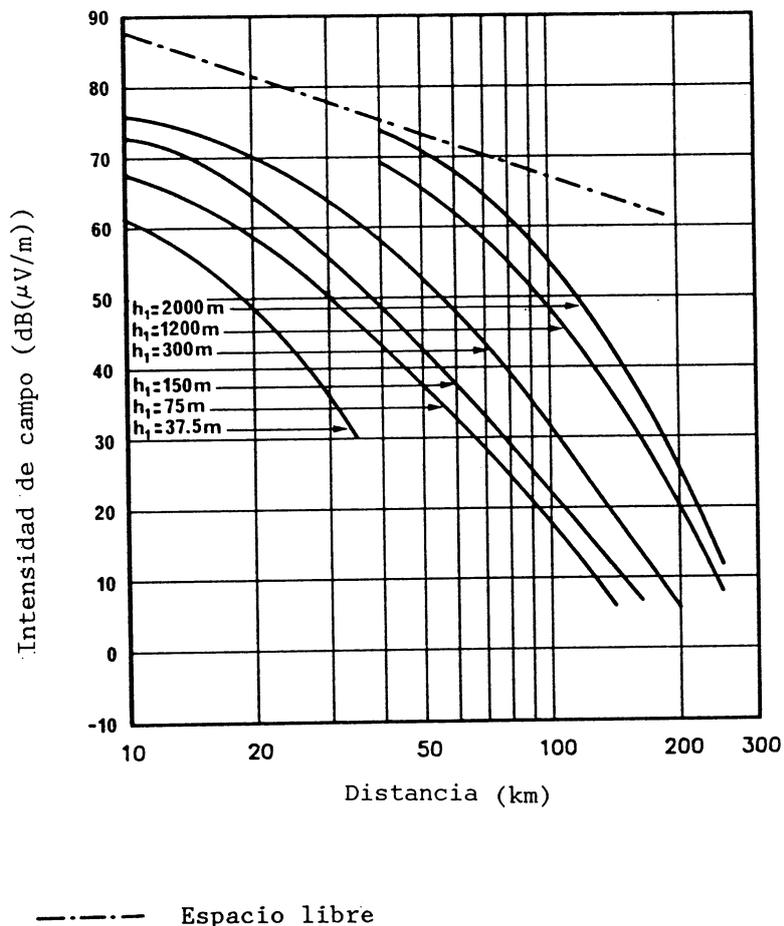


FIGURA 1

Intensidad de campo (dB(μV/m)) para 1kW de potencia radiada aparente

Frecuencia 60-250 MHz (bandas I, II y III) - Zona tropical, terreno llano
50% del tiempo - 50% de las ubicaciones - h₂ = 10 m; Δh = 20 m a 50 m

(Véase también la Figura 1a de la Recomendación 370)

Mediciones efectuadas en la India [CCIR, 1978-82d] muestran que la diferencia entre las intensidades de campo excedidas del 10% y del 90% del tiempo con señales de televisión en la banda III en ondas métricas (VHF) por un trayecto transhorizontales de 216 km de longitud es de 4,2 dB todo el año y de 3,5 y 5,5 dB en verano e invierno respectivamente, lo que indica una variación estacional poco importante.

Además, durante los meses previos al monzón se observó en la India [CCIR, 1978-82e] una propagación anómala de las señales de televisión en la banda I de ondas métricas, que se cree imputable a superrefracción e indica que estas señales podrían propagarse, durante un considerable periodo de tiempo, a distancias del orden de 1000 km.

En Japón [Akeyama y Nishio, 1985] se han emprendido mediciones de intensidad de campo en un barco a lo largo de un trayecto marítimo de 20 a 100 km en frecuencias de 252 y 920 kHz. Si bien esos resultados no pueden compararse directamente con las curvas de la Recomendación 370, en vista del carácter instantáneo de las mediciones, la atenuación de la propagación debida a la difracción por la Tierra da resultados de mediciones conformes a los valores calculados según el Informe 715.

3.6 Zonas afectadas por fenómenos de superrefracción pronunciada

Gulfvision [CCIR, 1982-86a], la República Islámica del Irán y el Estado de Israel [CCIR, 1982-86b] han efectuado campañas de mediciones para estudiar la propagación en ondas métricas y decimétricas en condiciones climáticas de superrefracción. Las mediciones realizadas en la región comprendida entre Chatt El-Arab y el Golfo de Omán [Murray, 1972; Gough, 1958] aparecen descritas en [CCIR, 1982-86c]. Los primeros resultados obtenidos en la región comprendida entre Chatt El-Arab y el Golfo de Omán, por un lado, y en el Mediterráneo al Este del meridiano 30° E, por otro, muestran que las curvas correspondientes al 50% de las ubicaciones, al 10% del tiempo y sobre todo al 1% del tiempo sobre el mar son muy diferentes a las de la Recomendación 370 para mares cálidos. En el caso de los trayectos marítimos de hasta 500 km y a frecuencias cercanas a 100 MHz, las curvas correspondientes al 1% del tiempo son muy próximas a la curva de propagación en el espacio libre.

Las intensidades de campo medidas en los periodos de propagación por conductos, en frecuencias superiores a 150 MHz, concuerdan en general con los valores previstos por la ecuación (3) del Informe 569, utilizando valores apropiados para los parámetros A_c y γ , aunque ese Informe está destinado fundamentalmente a las frecuencias superiores a 500 MHz.

En lo que respecta a los trayectos situados en regiones interiores distantes de la costa, se carece todavía de un número suficiente de datos y es posible que próximamente se obtengan informaciones útiles de las campañas de mediciones (previstas) en África.

En cuanto a las curvas correspondientes al 50% de las ubicaciones y al 50% del tiempo, las diferencias con las curvas de la Recomendación 370 son menores, sobre todo para distancias cortas, y los resultados todavía cuantitativamente insuficientes para precisar tales diferencias; como esas curvas se utilizan principalmente para la determinación de la cobertura, o sea para distancias cortas, no se corre el peligro de cometer grandes errores si se utilizan las curvas de la Recomendación 370, incluso en regiones sujetas a fenómenos de superrefracción.

En espera de un análisis más completo y de una evaluación de los datos experimentales que aporten las campañas de mediciones de propagación, es posible determinar las regiones en que las condiciones de superrefracción se espera que sean frecuentes, comparando las condiciones climáticas con las de las regiones en que se han realizado mediciones de propagación.

Sin duda pueden incluirse entre estas regiones las siguientes:

- la costa occidental de África, entre el Ecuador y el Trópico de Cáncer,
- el Estrecho de Gibraltar,
- el Mar Rojo,
- las zonas marítimas de América Central, del Golfo de México y California,
- el Mar de Omán,
- el Golfo de Bengala.

La necesidad de aclarar este aspecto de la propagación se subraya en los Informes derivados del amplio programa de investigación realizado por Gulfvision [CCIR, 1982-86d], que plantean nuevos interrogantes sobre la estimación de la cobertura y de las interferencias. Por ejemplo, en contra de las conclusiones anteriores, parece que, en esas regiones, la utilización de las curvas durante el 50% del tiempo podría ser inadecuada a causa de las importantes diferencias entre los niveles en el 50% y el 99% del tiempo para distancias relativamente largas. Teniendo en cuenta los cálculos de las interferencias, y los extensos Informes sobre las recepciones a gran distancia, en 100 MHz, mencionados anteriormente (véase también [CCIR, 1982-86e]), las mediciones de Gulfvision revelan intensidades de campo de larga distancia en las bandas III, IV y V más altas que en el espacio libre, en recorridos marítimos y durante reducidos porcentajes de tiempo. Para estimar la importancia de esta propagación, se han propuesto métodos que requieren información en cuanto a la topografía y a la radiometeorología de las regiones de que se trata. También implican una definición de los límites de las zonas costeras para los trayectos que atraviesan esas regiones. Esto exige asimismo que se precise, en relación con el efecto de la propagación por conductos, el factor de atenuación γ (dB/km), que está en función de la distancia perpendicular a la costa. El límite de la zona se determina igualando el valor de γ resultante del efecto de la propagación por conductos en la variable correspondiente al efecto de difracción.

Los trabajos comunicados anteriormente y la relación con los resultados obtenidos utilizando las técnicas descritas en la Recomendación 370 requieren urgente estudio. En espera de terminar esta labor, se han propuesto curvas de propagación que respondan a las necesidades de la planificación y de las regiones sometidas a fenómenos intensos de superrefracción [CCIR, 1982-86].

3.7 Otras regiones

De algunas observaciones se desprende que, en determinadas condiciones y para pequeños porcentajes de tiempo, pero no insignificantes, pueden recibirse señales perceptibles procedentes de transmisores de gran potencia situados a distancias superiores a 4000 km en regiones tropicales. Por ejemplo, se midió una intensidad de campo de $0,15 \mu\text{V/m}$, para una potencia radiada aparente de 1 kW y una frecuencia de transmisión de 417 MHz, a una distancia de 4740 km (a través del Océano Atlántico), durante aproximadamente el 2% del año [Misme, 1966].

Flavell [1985] ha examinado unos datos procedentes de radioaficionados europeos. Esos datos revelan que se han comunicado distancias máximas, por propagación troposférica anómala, de 2500 km y 1890 km a 144 MHz y 432 MHz, respectivamente.

4. Influencia de las irregularidades del terreno

La selección al azar de las ubicaciones de recepción de radiodifusión en las carreteras o cerca de ellas, así como en los valles, se traduce en valores medianos de pérdida de transmisión mayores que los que se registran en ubicaciones seleccionadas cuidadosamente. Las irregularidades del terreno aumentan al principio la intensidad de campo prevista (o intensidad de campo mediana) al suprimir la concordancia de fase perjudicial entre la propagación con visibilidad directa y las ondas reflejadas o difractadas por el suelo. Cuando las irregularidades y obstáculos del terreno son mayores, las señales se atenúan por el efecto de sombra por absorción (incluida la atenuación debida a la vegetación) y por dispersión y divergencia o desenfoque de las ondas difractadas. La convergencia o enfoque y la reflexión especular intervienen también en estos fenómenos de trayectos múltiples, lo mismo que la refracción media, la turbulencia y la estratificación del índice de refracción en la atmósfera.

Dos fenómenos desempeñan un papel primordial en la formación de las ondas estacionarias complejas que determinan la ganancia en función de la altura de la antena a distancias fijas del transmisor. Cuando se produce reflexión o difracción en una superficie suficientemente lisa y vasta, puede esperarse una ganancia lineal en función de la altura para valores pequeños de ésta, mientras que si la antena receptora se eleva por encima de las irregularidades y obstáculos del terreno puede esperarse una ganancia en función de la altura, por razones completamente distintas a las mencionadas en el párrafo precedente.

Los fenómenos de despolarización se examinan en el Informe 722 y a continuación se describen algunas mediciones recientes. También en este caso la elección de la ubicación reviste primordial importancia, ya sea para rechazar señales interferentes, por ejemplo, ya para aprovechar la despolarización con diversidad: la discriminación de polarización es mejor en terreno despejado y con altos niveles de señal que cuando las intensidades de campo son reducidas, como ocurre, por ejemplo, en las transmisiones de ondas decimétricas en zonas en que la antena receptora está rodeada de obstáculos.

La naturaleza del punto de recepción ejerce también un efecto importante en los fenómenos de polarización de las ondas. Por ejemplo, las observaciones en ondas métricas llevadas a cabo en la República Federal de Alemania han demostrado que, en zonas de sombra, si bien las reflexiones no influyen prácticamente en las señales de polarización horizontal, su efecto en las de polarización vertical es a menudo lo bastante marcado como para causar una seria distorsión en la recepción de modulación de frecuencia. Las mediciones comparadas de la polarización vertical y horizontal de transmisiones de televisión en ondas métricas en terrenos de colinas y bosques de Noruega han mostrado que puede haber considerables diferencias en los efectos de trayectos múltiples (y por lo tanto en la calidad de la imagen) entre las polarizaciones. A pesar de que la intensidad de campo es normalmente superior en el caso de la polarización vertical, los efectos de trayectos múltiples fueron menos marcados en el caso de la polarización horizontal en la mayoría de los emplazamientos medidos [Danielsen y otros, 1987]. En el § 5 del Informe 567 se hacen algunos comentarios sobre el efecto de la polarización en las variaciones locales de la intensidad del campo.

Conviene ahora examinar algunos aspectos de los problemas que plantean los terrenos irregulares, la vegetación, etc., con referencia especial al uso de las curvas de propagación en ondas métricas y decimétricas.

4.1 El parámetro Δh

Para definir el grado de irregularidad del terreno se utiliza el parámetro Δh . Para los servicios de radiodifusión, éste se aplica para distancias del transmisor comprendidas entre 10 km y 50 km (véanse la Recomendación 310 y la fig. 6 de la Recomendación 370). En [Thélot, 1981] se indican los métodos para obtener Δh empleando un computador. Todas las curvas de propagación sobre trayectos terrestres se refieren a un tipo de terreno medianamente ondulado, como suele encontrarse en Europa y América del Norte, y que se caracteriza por un valor $\Delta h = 50$ m. La influencia de las irregularidades del terreno es tanto mayor cuanto más alta es la frecuencia. Esta influencia es, pues, más importante en ondas decimétricas (bandas IV y V) que en ondas métricas (bandas I, II y III). Por estos motivos, en algunos casos se utiliza el parámetro $\Delta h/\lambda$ (véase, por ejemplo, el § 4.3).

En una experiencia imaginaria en que se efectuasen durante un largo periodo de tiempo registros en gran número de puntos, la distribución en el tiempo de los valores medianos correspondientes a todos esos puntos resultaría en una distribución de ubicaciones tal como la indicada en la fig. 5 de la Recomendación 370 para la propagación de las ondas métricas por un terreno ondulado típico de $\Delta h = 50$ m.

Se admite también que el intervalo de variación de esta distribución de ubicaciones (es decir, la pendiente de la curva de distribución) es, en primera aproximación, independiente del grado de irregularidades del terreno, en lo que a las ondas métricas respecta; en tales circunstancias, se puede considerar que la distribución representada en la fig. 5 de la Recomendación 370 es aplicable para la mayoría de los valores prácticos de Δh .

La fig. 12 de la Recomendación 370 indica las distribuciones de ubicaciones típicas para ciertos valores de Δh en ondas decimétricas. De ningún modo puede considerarse invariable la amplitud del intervalo de variación.

Además del aumento del intervalo de variación de la distribución de ubicaciones en función de la irregularidad del terreno, hay que señalar que las intensidades de campo medias recibidas son tanto menores cuanto más accidentado es el terreno, es decir, cuanto mayor es Δh . Además, este efecto aumenta con la frecuencia. Medidas recientemente efectuadas en la República Socialista Checoslovaca y en el Reino Unido han confirmado que las correcciones indicadas en las figs. 7 y 8 de la Recomendación 370 son válidas para distancias de hasta 100 km en las bandas III, IV y V [UER, 1965]. Mediciones efectuadas por la OIRT [Kühn, 1968] indican que debe emplearse el mismo factor de corrección para la banda II que para la banda III. Numerosas mediciones efectuadas en la URSS, en zonas de extrarradio o rurales, en que los valores de Δh variaban entre 70 y 400 m, muestran que serían apropiados para Δh factores de corrección más elevados. Esas mediciones, realizadas en las bandas I, II, III y IV, han proporcionado también otras informaciones sobre los efectos de la frecuencia, y debieran facilitar la preparación de una exposición más clara sobre el parámetro Δh [CCIR, 1982-86g].

En cuanto precede, se entiende que el factor de corrección de la atenuación, que se indica en las figs. 7 y 8 de la Recomendación 370, debe deducirse de la intensidad de campo para el valor requerido de Δh .

Estudios recientes han demostrado que el parámetro Δh no basta por sí solo para definir con precisión el factor de corrección de la atenuación. Se ha comprobado, por ejemplo, que en un punto cualquiera de un trayecto de transmisión definido por $\Delta h \approx 50$ m, la estimación de la intensidad de campo mediana puede contener un error superior a 20 dB. No obstante, este error no excede en general de 10 dB y tiende a ser más pequeño en las bandas de ondas métricas que en las decimétricas. Para valores de Δh diferentes de 50 m, esos errores pueden ser todavía más graves. La corrección puede ser inadecuada para trayectos claramente superiores a 50 km, en especial cuando se modifica el tipo de terreno. Para cálculos de interferencias a larga distancia, esta corrección debe aplicarse, pues, con prudencia, a fin de no subestimar las señales interferentes.

Entre las situaciones en las que la utilización del factor de corrección Δh puede inducir a error cabe citar:

- los trayectos de propagación que se desvían sustancialmente de la horizontal;
- los trayectos de propagación que atraviesan un valle profundo;
- los trayectos de propagación en los que predomina una sola característica del terreno, por ejemplo, una montaña o un cerro empinado;
- irregularidades importantes fuera de las distancias entre 10 y 50 km (en el cual Δh se evalúa), sobre todo en las cercanías inmediatas del transmisor o del receptor.

Se trata en resumen de situaciones en las que se producen cambios significativos en las características topográficas a lo largo del trayecto de propagación que, a su vez, dan lugar a valores elevados Δh , por ejemplo, 500 m. Las recomendaciones de limitar el uso de Δh pueden expresarse por consiguiente en términos de establecer un límite superior al valor de Δh , por encima del cual su aplicación no es válida. Un límite superior de 150 m se considera representativo como valor máximo realista para una zona que tenga esencialmente características topográficas uniformes.

Se ha tratado de mejorar la precisión introduciendo empíricamente nuevos factores de terreno. A continuación se enumeran los métodos que pueden aplicarse en los casos en que se necesitan estimaciones más precisas que las que pueden lograrse con el solo parámetro Δh .

4.1.1 Método elaborado en la República Federal de Alemania, en el que la determinación del parámetro depende, en gran medida, no sólo del valor cuadrático medio de Δh , sino también de la pendiente media del terreno.

4.1.2 Método elaborado en la República Popular de Polonia, según una variante del método TASO [LaGrone, 1960]; en este método, el valor del parámetro depende de Δh y de la longitud de onda media de las ondulaciones del terreno.

4.1.3 Método elaborado en el Reino Unido [UER, 1965], en el que se utilizan parámetros que dependen de Δh y de la pendiente media del terreno. En Japón se ha desarrollado también un método semejante para la predicción de la intensidad de campo [Okumura y otros, 1968].

4.1.4 Los diversos métodos de predicción antes descritos se fundan todos en las modificaciones de la intensidad de campo calculada para una propagación sobre una tierra esférica lisa, o en la existencia de obstáculos difractores perfectamente definidos a lo largo del trayecto de transmisión. Sin embargo, en un nuevo método recientemente elaborado en Japón [Okumura y otros, 1968] se considera la intensidad de campo en el espacio libre como norma inicial de referencia para la propagación por encima de cualquier clase de terreno.

4.2 Corrección debida al terreno en recepción

Si se desea aumentar la precisión de las previsiones de la intensidad de campo en condiciones de recepción determinadas, por ejemplo, en una pequeña zona de recepción, puede efectuarse una corrección en función del «ángulo de despejamiento». Este ángulo θ , debe ser representativo de los ángulos de la zona de recepción, medidos entre la horizontal de la antena receptora y la línea que supera todos los obstáculos a una distancia de 16 km en dirección del transmisor. El ejemplo de la fig. 2 indica también el signo convencional, que es negativo si la recta que supera los obstáculos se halla por encima de la horizontal.

La fig. 3 representa el factor de corrección en función del ángulo de despejamiento. Estos factores deben aplicarse a los resultados obtenidos por la Recomendación 370 para el 50% de los emplazamientos. La utilización del factor de corrección para emplazamientos de recepción seleccionados dentro de una zona determinada permitirá una evaluación de la intensidad de campo dentro de esta zona más realista que la que permitirían las correcciones indicadas en las figs. 5 y 12 de la Recomendación 370.

Las correcciones para ángulos de despejamiento no comprendidos entre -5° y $0,5^\circ$ no se incluyen en la fig. 3 por ser pequeño el número de trayectos correspondientes en el estudio efectuado. Puede, sin embargo, tratarse de determinarlos por extrapolación lineal de la fig. 3 con valores límite de 30 dB en ondas métricas y de 40 dB en ondas decimétricas a $1,5^\circ$ y de -40 dB en ondas métricas y decimétricas a -15° , a condición de que no excedan los valores de intensidad de campo en el espacio libre.

Los cálculos efectuados por la UER en más de 200 trayectos de la República Federal de Alemania, Finlandia, Francia y Reino Unido indican que, cuando se aplica la corrección mencionada, puede obtenerse estadísticamente una reducción de alrededor de 4 dB en las diferencias entre los valores previstos y un valor de referencia obtenido por el método de computador descrito en el punto 6.1.

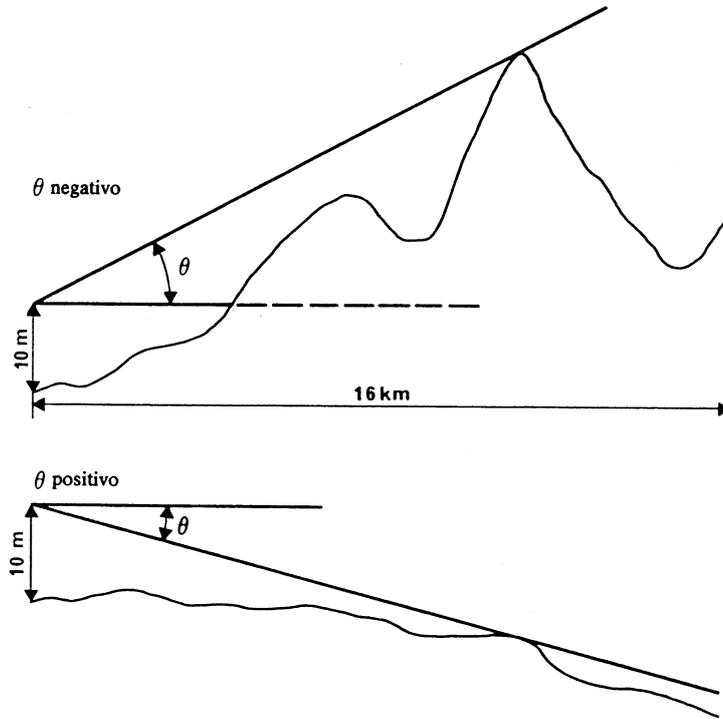


FIGURA 2 - Ángulo de despejamiento

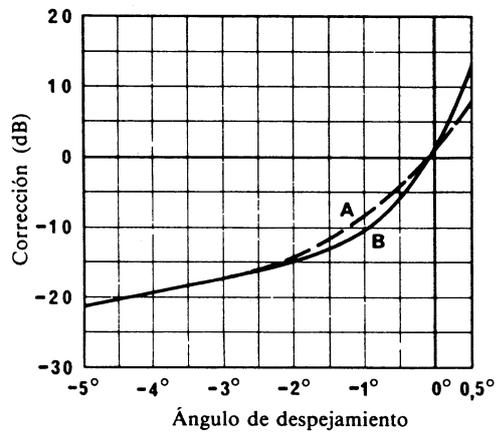


FIGURA 3 - Corrección en función del ángulo de despejamiento para la recepción

Curvas A : ondas métricas
 B : ondas decimétricas

Se compararon los resultados de mediciones realizadas en Yugoslavia en la banda de ondas métricas con modulación de frecuencia en trayectos de 25 km a 70 km de longitud con los calculados para el 50% del tiempo por el método de la Recomendación 370. — Se efectuaron tres conjuntos de pruebas de cálculo, basado cada uno en un parámetro de corrección distinto. En la primera serie de cálculos, la irregularidad del terreno Δh fue el único parámetro de corrección utilizado, mientras que en la segunda serie fue el ángulo de despejamiento θ único parámetro de corrección empleado. Por último, aplicaron correcciones paralela basada en el ángulo de despejamiento θ y en la irregularidad del terreno Δh . Los resultados medidos en todos los trayectos confirman que la mejor concordancia entre los resultados calculados y medidos en los 64 trayectos se produce cuando se aplican ambos, el ángulo de despejamiento θ y la irregularidad del terreno Δh [Rašajski y Petrović, 1987; CCIR, 1986-90d/]; en este caso, el valor cuadrático medio de la diferencia entre los resultados calculados y medidos de otro modo y la desviación típica de la distribución de la diferencia es aproximadamente de 12 dB.

4.3 Variabilidad entre trayectos

Un estudio reciente de datos relativos a sistemas de los servicios móvil terrestre y de radiodifusión (20 MHz a 10 GHz) en los Estados Unidos de América [Longley, 1976] ha demostrado la gran variabilidad prevista de los datos entre trayectos de igual longitud. Esta variabilidad aumenta con la frecuencia y las irregularidades del terreno y está fuertemente influenciada por la presencia de edificaciones y árboles cerca de los terminales del trayecto. Sin embargo, si se normaliza el parámetro correspondiente a la irregularidad del terreno Δh con respecto a la longitud de onda λ , se puede estimar que la desviación típica σ_L de la variabilidad entre trayectos de longitud aproximadamente igual, para $(\Delta h/\lambda) < 3000$, será:

$$\sigma_L = 6 + 0,69 (\Delta h/\lambda)^{1/2} - 0,0063 (\Delta h/\lambda) \quad \text{dB} \quad (1)^*$$

o, para $(\Delta h/\lambda) \geq 3000$:

$$\sigma_L = 25 \text{ dB} \quad (2)$$

Salvo en el caso de los datos obtenidos por encima de 300 MHz en una zona montañosa escarpada, el 90% de todas las desviaciones típicas observadas difieren en 2 dB como máximo de los valores calculados mediante las ecuaciones (1) y (2).

Se ha efectuado una comparación de las ecuaciones (1) y (2) con una serie de mediciones independientes hechas en 172 y 410 MHz y en 130 trayectos (en una zona boscosa llana de Florida, una zona de colinas boscosas de California y en las áridas y escarpadas montañas de Arizona) con alturas de antena de 1 m o inferiores. La diferencia entre (1) y (2) y la desviación típica observada fue, como máximo, de 1,5 dB para valores de $\Delta h/\lambda$ comprendidos entre 15 y 175.

4.4 Influencia de la modificación de la altura de la antena receptora

4.4.1 Variación de la intensidad de campo en función de la altura

Los trabajos realizados por diversas administraciones muestran la reducción de la intensidad de campo que cabe esperar al disminuir la altura de la antena receptora de 10 m a 3 m sobre el nivel del suelo. Los valores que pueden utilizarse se indican en la Recomendación 370, aunque trabajos más recientes realizados en el Reino Unido [CCIR, 1978-82f] tienden a indicar que el efecto del cambio de la altura de la antena receptora sobre los niveles de la señal, en la banda II, no dependen de la distancia; no obstante, es necesario continuar las mediciones.

— En una ubicación dada de una zona, el valor real de la ganancia de altura puede diferir varios decibelios del valor mediano.

* Los coeficientes de la ecuación (1) difieren de los de Longley [1976], donde Δh se define en función de la distancia y no para un alcance fijo de 10 a 50 km.

En la URSS se ha realizado un importantísimo programa de medición de la ganancia de altura de la antena receptora. Se han efectuado varios centenares de mediciones en las bandas I, III, IV y V, en una región suburbana y en una región rural, con alturas de antenas receptoras de 3 m y de 10 m sobre el nivel del suelo, a distancias del transmisor que variaban entre 10 y 100 km. El valor de Δh en esas zonas variaba de 30 a 350 m, y los resultados confirman que el factor de ganancia de altura decrece cuando aumenta Δh , de acuerdo con la tendencia indicada en la fig. 17 de la Recomendación 370. Sin embargo, los valores medidos son más elevados que los indicados en esa figura, y muestran, además, que los resultados no dependen de la distancia en los límites estudiados.

Mediciones efectuadas en Estados Unidos de América, en la gama de frecuencias de 55 a 800 MHz a distancias de 8 a 90 km [TASO, 1959], revelan que la diferencia de intensidades de campo para alturas de antenas receptoras de 9,1 y 3,0 m en presencia de obstáculos, tales como edificios y vegetación en las proximidades de la antena receptora, es mayor que la correspondiente a zonas libres de obstáculos o con escasa vegetación. Se comprobaron diferencias medianas de intensidad de campo de 9 dB para zonas edificadas, de 7 dB para zonas con gran densidad de árboles y vegetación y de 5 dB para zonas libres de obstáculos y zonas con baja densidad de árboles y vegetación. Se observa que estos resultados son, en general, independientes de la frecuencia. Sin embargo, dichos valores darán lugar a un nuevo estudio sobre el efecto de la frecuencia con respecto a la mediana de las ganancias de altura y su desviación típica.

Además, mediciones efectuadas en el Reino Unido revelan que las componentes de la señal con polarización horizontal y vertical presentan, entre 10 y 3 m por encima del terreno, una variación lineal de la intensidad de campo, pero que se observan pocos cambios en la componente vertical recibida cuando la antena tiene una altura inferior a 3 m.

En la República Socialista Federativa de Yugoslavia se han realizado mediciones [CCIR, 1986-90e], modificando la altura de la antena receptora de 3 m a 10 m con diferentes combinaciones de la polarización de la antena transmisora y de la antena receptora. Las mediciones se hicieron a una frecuencia de 96,9 MHz en emplazamientos sin obstáculos de una zona suburbana, en un trayecto de propagación de unos 25 km. Los resultados indican ganancias medias de la intensidad de campo por variación de la altura de la antena comprendidas entre 8,1 y 8,8 dB para las diversas combinaciones de polarización en la emisión y en la recepción, correspondiendo el valor más débil al caso de una polarización horizontal en la emisión y vertical en la recepción.

En la India se han efectuado mediciones [CCIR 1986-90a] para estudiar el efecto que tiene sobre la intensidad de campo recibida, la modificación de la altura de la antena receptora de 3 m a 10 m. En la Figura 4 aparece la variación con la distancia en terreno llano y para distintas bandas de ondas métricas. En terreno accidentado (montañoso) no ha podido observarse ninguna tendencia clara de la variación de la intensidad de campo con la altura de la antena receptora.

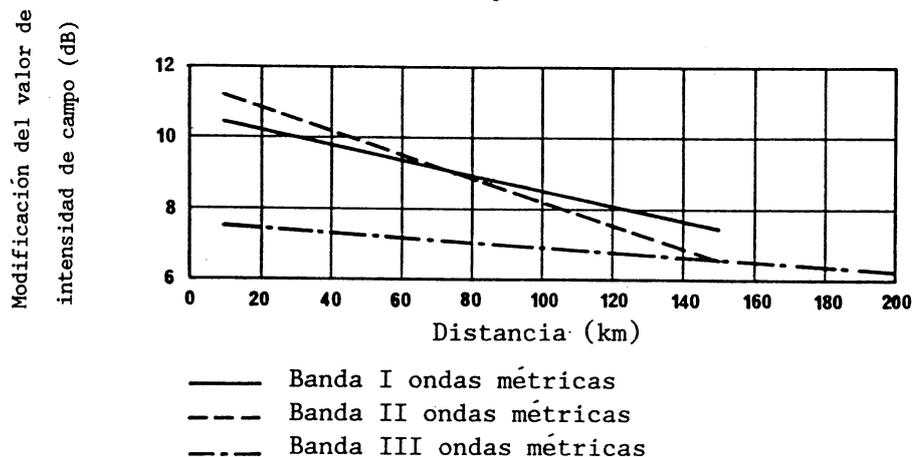


FIGURA 4

Variación de la diferencia del valor de intensidad de campo para alturas de antena de recepción comprendidas entre 3 m y 10 m en función de la distancia. Terreno llano, banda de ondas métricas

4.4.2 Relación entre la intensidad de campo mediana en las zonas urbanas y en las zonas suburbanas

Los datos actualmente disponibles muestran que, si las antenas de recepción están suficientemente elevadas con relación a los tejados circundantes, la intensidad de campo recibida será prácticamente la indicada en las curvas de la Recomendación 370.

La experiencia muestra que en las bandas I y II no existe gran diferencia entre las intensidades de campo medidas a una altura de 10 m en las zonas rurales y en las zonas urbanas. En la banda III, los trabajos realizados en la República Popular de Polonia han demostrado que las intensidades de campo a una altura de 10 m, en zonas suburbanas, son aproximadamente equivalentes a las que se obtienen en las zonas rurales, y las atenuaciones máximas en el centro de una zona urbana son las siguientes: en una zona urbana de 400 000 habitantes, 16 dB a 10 m y 6 dB a 16 m (nivel medio de los tejados); en una zona urbana de 80 000 habitantes [TASO, 1959], 12 dB a 10 m. En las zonas en que abundan las edificaciones, las intensidades de campo recibidas pueden ser 6 a 16 dB inferiores, según la naturaleza de los edificios. En estudios llevados a cabo para la banda III en la India [CCIR 1986-90a] a fin de comparar las intensidades de campo a 10 m sobre el suelo en zonas urbanas y rurales y en terreno llano para el caso de ciudad con una población de, aproximadamente, un millón de habitantes (siendo la inmensa mayoría de los edificios de tres plantas y algunos de hasta ocho plantas) y 100.000 habitantes (con edificios de una o dos plantas) se han podido observar disminuciones del valor mediano de 14,5 dB y 8 dB, respectivamente.

En la República Popular de Polonia [Ogulewicz, 1971] se ha intentado, a raíz de mediciones más a fondo efectuadas en la banda IV, vincular la atenuación en las zonas urbanas a un factor de densidad de las edificaciones. Las mediciones se efectuaron para una zona situada en el límite de la zona de servicio, en la que el ángulo de llegada de la señal era muy reducido. Revelaron que la atenuación podía oscilar entre 3 dB, cuando el factor de densidad de las edificaciones era bajo, y 28 dB cuando éste era elevado. Sin embargo, en las zonas muy edificadas, debe tenerse en cuenta la ganancia de altura por encima de 10 m; el valor medio de esta última en las grandes ciudades es de 12 dB cuando se duplica la altura de la antena de recepción. En lo que respecta a las ondas decimétricas, los trabajos recientemente efectuados en el Reino Unido han revelado una pérdida mediana de 9 dB en las zonas urbanas del sudeste de Inglaterra.

Experimentos hechos en Italia, en ondas métricas y decimétricas en zonas muy edificadas, han mostrado que el factor de pérdida adicional depende principalmente de la densidad y altura de los edificios, del ángulo de llegada de las ondas en el extremo receptor y de la orientación de la calle con relación a la dirección del transmisor desde el punto de recepción.

Conviene obtener muestras estadísticas más amplias sobre cada tipo de situación urbana.

4.4.3 Antenas sobre el tejado y antenas interiores

Se ha comparado la calidad de funcionamiento de antenas sobre el tejado e interiores en la ciudad de Nueva York, tanto desde el punto de vista de la intensidad de campo de la señal como de la apreciación subjetiva de la calidad de la imagen de televisión. Las distribuciones de la pérdida de transmisión punto a punto eran log-normales, con desviaciones típicas de 16 y 14 dB, respectivamente, para las mediciones sobre los tejados y para las hechas en el interior de los edificios. En estas distribuciones, los valores medianos variaban de 16 a 35 dB según la frecuencia, el tipo de edificio y el tipo de trayecto. En 570 MHz, esta diferencia era de 7 dB superior a la correspondiente a 55 MHz, siendo 10 dB más elevada en los edificios de hormigón armado que en los de madera y 5 dB más alta en la isla de Manhattan que fuera de ella.

Las mediciones hechas en el Reino Unido, en ondas decimétricas (600 MHz), en la planta baja y en el desván de casas suburbanas de dos pisos, han revelado una atenuación media de 19 y 10 dB, respectivamente, comparadas con mediciones efectuadas a 10 m de altura en la calle, fuera de esas casas [Sofaer y Bell, 1966].

En el Cuadro I figura los resultados de los estudios llevados a cabo en la India [CCIR 1986-90a] sobre la atenuación de las señales en la banda de ondas métricas polarizadas horizontalmente y recibidas en el interior de edificios comparándolos con la recepción en exteriores, a 10 m sobre el suelo.



CUADRO I

EMPLAZAMIENTO DE LA ANTENA INTERIOR (ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL SUELO)	BANDA	REDUCCION DE LA INTENSIDAD DE CAMPO		TIPO DE EDIFICACION
		MEDIANA (dB)	DESVIACION TIPICA (dB)	
PLANTA BAJA (2,5m)	I	24,5	5,6	HORMIGON ARMADO REFORZADO
PLANTA BAJA	II	25	4,7	HORMIGON ARMADO REFORZADO
PLANTA BAJA	III	23	5,4	LADRILLO/PIEDRA
PRIMER PISO (5m)	I & II	16	4	HORMIGON ARMADO REFORZADO
PRIMER PISO	III	15,75	3,65	LADRILLO
DENTRO DE UNA CHOZA (1,5m)	II	20	3	PAREDES DE LADRILLO TECHO DE PAJA

4.5 Fenómenos de despolarización

El factor de despolarización se considera aquí como la relación entre la amplitud de la componente de polarización ortogonal, producida por algún mecanismo de propagación, y la amplitud de la onda inicial polarizada.

Si el transmisor se encuentra en terreno libre de obstáculos, la discriminación por polarización que se obtiene al nivel de las azoteas en una zona urbana, gracias a la polarización ortogonal, puede tener un valor mediano de 18 dB; los valores correspondientes excedidos en el 90% y en el 10% de los puntos de recepción son, respectivamente, 9 y 29 dB (véase el Informe 122). Mediciones efectuadas en el Reino Unido confirman este valor mediano cuando la antena receptora tiene una altura de 2,5 a 10 m. La discriminación es mejor en terreno abierto y no tan buena en puntos de recepción rodeados de obstáculos o cuando las condiciones de recepción son mediocres. Igualmente, mediciones efectuadas en el Reino Unido revelan que la discriminación es pequeña con antenas receptoras poco elevadas.

Mediciones realizadas en la República Federal de Alemania en 520 y 700 MHz, han mostrado que la despolarización de las ondas polarizadas verticalmente es de 1 a 2 dB mayor que la de las ondas polarizadas horizontalmente. Además, estudios efectuados en el Reino Unido en la frecuencia 570 MHz han revelado que, con una antena polarizada verticalmente y orientada a 180° de una onda polarizada horizontalmente, la discriminación es 6 dB superior a la relación delante/detrás de la antena (16 dB).

La Administración de la República Socialista Checoslovaca [Králik y otros, 1961 y 1962] y otras administraciones han estudiado la influencia que ejerce la naturaleza del terreno en las proximidades del punto de recepción. Las mediciones hechas en 570 MHz en la zona de servicio han mostrado que la despolarización aumenta con la irregularidad del terreno en los puntos de recepción de la misma forma que la atenuación por difracción. En el cuadro II se resumen los resultados.

De la última línea de este cuadro II se desprende que, en una zona boscosa, la despolarización es mucho más importante que en otras zonas con pérdida de trayecto similar.

Mediciones efectuadas cerca de Heidelberg (República Federal de Alemania), en 520 y 700 MHz, han permitido comprobar que la influencia de la frecuencia y de la densidad de las edificaciones es despreciable. El cuadro III muestra la influencia de las variaciones del parámetro Δh .

CUADRO II

Tipo de terreno	Valor mediano de la pérdida de trayecto con relación al espacio libre (dB)	Discriminación de polarización excedida en el 90 % de las ubicaciones (dB)
Zona suburbana, en visibilidad directa del transmisor	7	18
Zona suburbana, zona de ligera difracción	26	13
Zona suburbana, zona de difracción moderada	31	10
Zona suburbana, zona de fuerte difracción	40	4
Zona muy boscosa (árboles frondosos, terreno sin obstáculos)	27	2

CUADRO III

Tipo de terreno	Δh (m)	Discriminación de polarización excedida en el 90 % de las ubicaciones (dB)	Discriminación de polarización excedida en el 50 % de las ubicaciones (dB)
Llano	10	20	30
Montuoso	50	14	27
Montañoso	200	0	16

4.6 Atenuación debida a la vegetación

La atenuación debida a la vegetación y a las arboledas depende de la frecuencia. No obstante, se ha comprobado en la práctica que la atenuación debida a la vegetación no rebasa valores del orden de 30 dB en las frecuencias inferiores a unos 500 MHz [Ogulewicz, 1972].

De otras mediciones [Sofaer y Bell, 1966] realizadas en verano y en invierno detrás de bosques de árboles de hoja caduca, se infiere que, si bien la atenuación debida a la frondosidad no es despreciable en ondas decimétricas, es mucho menos importante que la que causan los árboles desnudos.

Se ha observado que los valores medianos de la atenuación de las señales con polarización horizontal en la banda III debida a los árboles en la Zona Tropical [CCIR 1986-90a] varían entre 6 dB y 13 dB (con desviaciones típicas de 6,4 dB y 9,6 dB, respectivamente) dependiendo de la densidad de los árboles.



Se han registrado medidas comparativas realizadas para ondas polarizadas horizontal y verticalmente y, aunque la diferencia no es siempre notable, parece existir una tendencia a que la atenuación sea ligeramente mayor con polarización vertical.

La propagación en terrenos boscosos se ha tratado con mayor detalle en el Informe 1145.

4.7 Atenuación debida a los edificios

La atenuación debida a los edificios varía también con la frecuencia. Los trabajos realizados en Japón [Kinase, 1969] han permitido obtener valores de atenuación detrás de los edificios en función de la frecuencia, de la altura de los edificios, de la profundidad de los mismos en la dirección del transmisor y del ángulo de llegada. Se hace intervenir un parámetro γ que representa los efectos de los ecos por los elementos circundantes en la vecindad de la estación receptora. Hay que agregar este parámetro a la corrección por irregularidades del terreno. Los resultados concuerdan debidamente con los de las mediciones en 100, 200 y 700 MHz.

Mediciones hechas en el Reino Unido [Sofaer y Bell, 1966], han dado valores de la atenuación detrás de diversos tipos de edificios, en ondas decimétricas (600 MHz) de hasta 30 dB.

Mediciones hechas en la República Federal de Alemania han mostrado que en 190 MHz, y en trayectos con visibilidad directa, la intensidad de campo con polarización vertical es 3 dB inferior a la que se obtiene con polarización horizontal; esta diferencia es de 4,5 dB en regiones de sombra. Otras mediciones realizadas en regiones de sombra en la frecuencia de 97 MHz han mostrado que esta diferencia es de 5 dB con una desviación de $\pm 5,2$ dB. En 500 MHz, las diferencias de propagación entre polarizaciones son menos marcadas y los valores correspondientes son 0 dB y 1,5 dB. Se ha comprobado que la calidad subjetiva de las imágenes de televisión guarda estrecha correlación con los resultados de estas mediciones.

5. Trayectos mixtos tierra-mar

Cuando el trayecto de transmisión es mixto, debe evaluarse su efecto sobre la señal recibida. Para fines generales de planificación, puede efectuarse la adecuada interpolación entre las curvas de trayectos totalmente terrestres y totalmente marítimos de la Recomendación 370 (método A).

Cuando existe la posibilidad de calcular el valor medio de los ángulos de elevación con relación al horizonte para las antenas receptoras situadas en la zona de recepción, se puede utilizar un método desarrollado en Suecia [Rue, 1976] (método B).

En casos específicos puede tenerse en cuenta la naturaleza del perfil tierra-mar entre el transmisor y el punto de recepción en el cálculo de predicción mediante computador [Causebrook y King, 1974], obteniéndose una evaluación individual para el trayecto mixto (véase el punto 6.1).

También se pueden utilizar otros métodos basados en computador [Longley y Rice, 1968; Causebrook y Lee, 1972; Causebrook y otros, 1969] para evaluar la intensidad de campo recibida sobre trayectos mixtos.

5.1 Método A

Puede utilizarse el método siguiente para la interpolación entre las curvas de trayectos terrestres y marítimos de la Recomendación 370; todas las intensidades de campo se expresan en dB(μ V/m):

$E_{L,t}$: intensidad de campo para el trayecto terrestre de igual longitud que el trayecto mixto durante $t\%$ del tiempo, para $\Delta h = 50$ m;

$E_{S,t}$: intensidad de campo para el trayecto marítimo de igual longitud que el trayecto mixto durante $t\%$ del tiempo;

$E_{M,t}$: intensidad de campo para el trayecto mixto durante $t\%$ del tiempo;

d_S : longitud del trayecto marítimo;

d_T : longitud del trayecto total.

La intensidad de campo mediana para el trayecto mixto ($E_{M,t}$) correspondiente a todos los valores de t en ondas métricas, así como a los valores de t iguales al 10% y al 50% en ondas decimétricas, puede determinarse utilizando la fórmula siguiente:

$$E_{M,t} = E_{L,t} + \frac{d_S}{d_T} [E_{S,t} - E_{L,t}] \quad (3)$$

En caso de que t sea igual al 1% y al 5% en ondas decimétricas, la intensidad de campo mediana puede determinarse a partir de la fórmula siguiente:

$$E_{M,t} = E_{L,t} + A [E_{S,t} - E_{L,t}] \quad (4)$$

donde A es un factor de interpolación que aparece en la fig. 5.

Puede aplicarse un factor de corrección Δh para $E_{L,t}$ utilizando los valores procedentes que aparecen en las figs. 7 y 8 de la Recomendación 370.

Este método no puede aplicarse para distancias que sean superiores a la línea del horizonte.

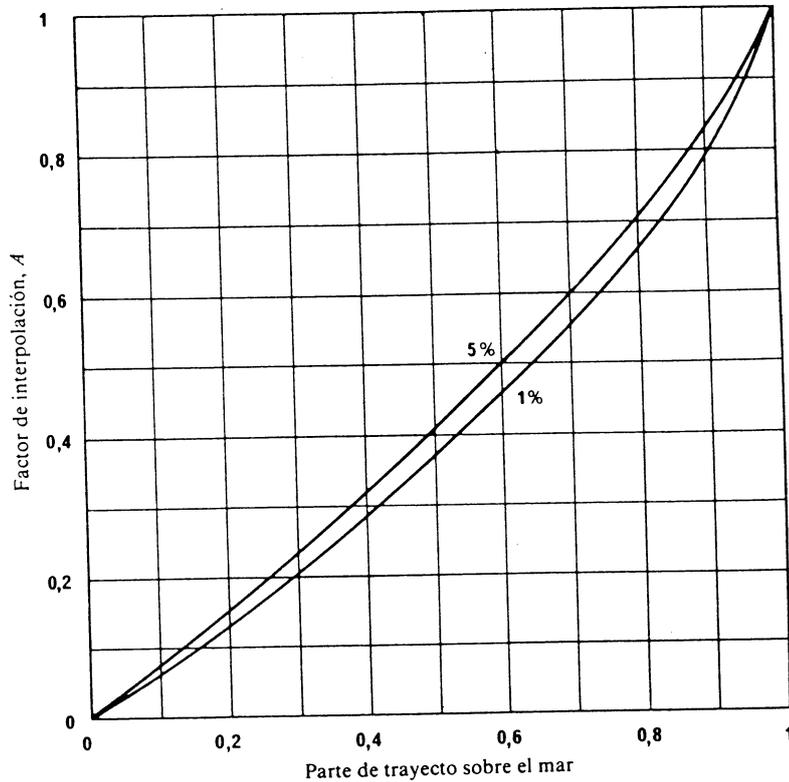


FIGURA 5 - Interpolación para trayectos mixtos tierra-mar

5.2 Método B

Igual que el método A, el B [Rue, 1976] también puede utilizarse junto con las curvas de propagación de la Recomendación 370 para los trayectos totalmente terrestres y totalmente marítimos, a fin de evaluar las intensidades de campo en un trayecto mixto, cuando sea posible estimar el valor medio del ángulo de elevación con relación al horizonte de las antenas receptoras situadas en la zona de recepción.

6. Métodos de computador para el cálculo de la intensidad de campo

Pueden utilizarse métodos adaptados al empleo del computador para calcular la intensidad de campo en trayectos individuales donde se requiera un alto grado de precisión.

6.1 Hay un método basado enteramente en el empleo del computador, que se ha desarrollado en el Reino Unido [Causebrook y King, 1974] para cualquier tipo de perfil de trayecto. Las características de este método, basado en la teoría de la difracción y en el análisis estadístico de mediciones, incluyen un factor variable de curvatura efectiva de la Tierra, que se hace depender del porcentaje de tiempo adecuado, y una tolerancia para los fenómenos de propagación por conducto en ondas decimétricas para pequeños porcentajes de tiempo.

6.2 Con el método anteriormente indicado, se obtendrán generalmente las predicciones más precisas, pero se dispone también de métodos sencillos por computador en Estados Unidos de América [Longley y Rice, 1968] y en el Reino Unido [Causebrook y Lee, 1972; Causebrook y otros, 1969], que pueden ser satisfactorios para muchas aplicaciones.

En la República Popular de Polonia [CCIR, 1978-82g], ————— se han introducido modificaciones en el método del Reino Unido para tener en cuenta más adecuadamente la influencia de terrenos montañosos y de los parámetros troposféricos correspondientes a las regiones específicas. Se ha logrado una buena concordancia entre los resultados calculados y los medidos.

En Italia se ha adaptado el método del Reino Unido a las bandas de ondas métricas y decimétricas y a la situación troposférica típica de la región mediterránea y de la orografía italiana. Se obtuvo una buena concordancia entre los resultados calculados y medidos. Se estudian otros métodos para evaluar la posibilidad de mejorar la precisión de las mediciones [CCIR, 1986-1990b] [Isola y Riccardi, 1988].

En la República Socialista Federativa de Yugoslavia [CCIR, 1978-82h] se ha elaborado un método sencillo adaptado al empleo de un computador pequeño para fines de coordinación y planificación en las bandas de ondas métricas y decimétricas, que también da resultados de predicción que concuerdan bien con los datos medidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKEYAMA, A. y NISHIO, M. [marzo de 1985] VHF/UHF band propagation characteristics on oversea path. National Convention Record No. 649, Institute of Electronics and Communications Engineers of Japan, Tokio, Japón.
- CAUSEBROOK, J. H., DAVIS, B. y SANDELL, R. S. [1969] The prediction of co-channel interference to television broadcasting services to the frequency range 470-960 MHz. BBC Res. Dept., Rep. No. 1969/33.
- CAUSEBROOK, J. H. y KING, R. W. [1974] Computer programs for UHF co-channel interference prediction using a terrain data bank. BBC Res. Dept., Rep. No. 1974/6.
- CAUSEBROOK, J. H. y LEE R. W. [1972] Calculation of the field strength required for a television service in the presence of co-channel interfering signals, parte 1. BBC Res. Dept., Rep. No. Ra-12/1.
- DANIELSEN, A.B. y STOKKE, K.N. [1987] Comparative measurements of vertical and horizontal polarization for television transmissions in the VHF band, *Telekronic* No. 2, Administración Noruega de Telecomunicaciones, Oslo.
- FEDI, F., RICCARDI, M. y RODINO DI MIGLIONE, F. [noviembre de 1973] Long-distance UHF propagation over the Mediterranean Sea. *Alta Frequenza* (edición inglesa), Vol. XLII, 11, 564-571.
- FLAVELL, R. G. [1985] Extreme range statistics for seven amateur bands, 144-10 368 MHz. IEE Conf. Publ. No. 248, 498-501. IEE Fourth International Conference on Antennas and Propagation (ICAP 85), Coventry, Reino Unido.
- GOUGH, M. W. [1958] Diurnal influences in tropospheric propagation. *Marconi Rev.*, Vol. 131, XXI, 198-212.
- ISOLA, C. y RICCARDI, M. [abril de 1988] Computer-aided VHF/UHF field strength predictions. EBU Review-Technical No. 228.
- KALAGIAN, G. S. y TAWIL, V. [1983] Great Lakes UHF-TV measurement project, long-term and mobile measurements in Buffalo, N.Y., FCC Report. (Se publicará ulteriormente.)
- KINASE, A. [marzo de 1969] Influence of terrain irregularities and environmental clutter surroundings on the propagation of broadcasting waves in the UHF and VHF bands. Monografía técnica de la NHK 14, Japón.
- KRÁLÍK, F., KÜHN, U. y VOČADLO, V. [diciembre de 1961] Ausbreitungsmessungen bei 480 MHz und 780 MHz im Gebirge der Niederen Tatra (CSSR) (Medidas de propagación en 480 y 780 MHz en las montañas del Bajo Tatra (República Socialista Checoslovaca)). *Techn. Mitt. BRF*, Vol. 5, 4, 174-177 y *Techn. Mitt. RFZ*, Vol. 6, 1, 18-22 (marzo de 1962).
- KRÁLÍK, F., KÜHN, U. y VOČADLO, V. [1962] Ausbreitung von Dezimeterwellen bei horizontaler und vertikaler Polarisation und Höhenabhängigkeit der Feldstärke im Gebirge (Propagación de las ondas decimétricas con polarización horizontal y vertical, y variación de la intensidad de campo en función de la altura en terreno montañoso). *Techn. Mitt. RFZ*, Vol. 6, 4, 162-166.
- KÜHN, U. [1968] Die Geländedämpfung im UKW-Rundfunkband (87,5-100 MHz) (Atenuación debida al terreno en la radiodifusión por ondas métricas (87,5 a 100 MHz)). *Nachrichtentechnik*, Vol. 18, 18, 414-415.
- KÜHN, U., TROMMER, H. y OGULEWICZ, S. [1969] Mehrjährige Ausbreitungsuntersuchungen bei 495 MHz auf der Seestrecke Jaroslawiec-Sassnitz (Ostsee) (Estudios durante varios años de la propagación en 495 MHz por el trayecto marítimo Jaroslawiec-Sassnitz (Báltico)). *Techn. Mitt. RFZ*, Vol. 13, 3, 128-133.
- LaGRONE, A. H. [junio de 1960] Forecasting television service fields. *Proc. IRE*, Vol. 48, 6, 1009-1015.

- LONGLEY, A. G. [mayo de 1976] Location variability of transmission loss ... land mobile and broadcast systems. Office of Telecommunications, Rep. PB 254472, National Technical Information Service, Springfield, Va., 22161, Estados Unidos de América.
- LONGLEY, A. G. y RICE, P. L. [1968] Prediction of tropospheric radio transmission loss over irregular terrain. A computer method. AD 676874, National Technical Information Service, Springfield, Va. 22161, Estados Unidos de América.
- MISME, P. [enero-febrero de 1966] Propagation transhorizon à très grandes distances au-dessus de l'Atlantique intertropical. *Ann. des Télécomm.*, Vol. 21, 1-2, 40-46.
- MURRAY, O. M. [1972] Long range UHF survey in the Gulf. Marconi Technical Report 72/34. Marconi Research Centre, GEC Research Labs., Chelmsford, Essex, Reino Unido.
- NBS [1967] National Bureau of Standards, Technical Note No. 101, revisada, I y II, AD 687820 y AD 687821, National Technical Information Service, Springfield, Va., 22161, Estados Unidos de América.
- OGULEWICZ, S. [1971] Propagación en ondas decimétricas en las zonas urbanas. *Prace Instytutu Łączności*, Vol. XVIII, 4, (64) (en polaco). En el Doc. CCIR 5/81 (República Popular de Polonia), 1970-74, figura un resumen de este artículo.
- OGULEWICZ, S. [1972] The influence of vegetation on the field-strength attenuation in Band IV (en polaco). Informe 102-01-08-01, *Prace Instytutu Łączności*, Varsovia, República Popular de Polonia.
- OKUMURA, Y., OHMORI, E., KAWANO, T. y FUKUDA, K. [septiembre-octubre de 1968] Field strength and its variability in VHF and UHF land-mobile radio service. *Rev. Elec. Comm. Labs.*, Vol. 16, 9-10, 825-873.
- PALMER, F. H. [1980] Report on the Great Lakes measurements program - Comparisons of Canadian data with the predictions of FCC R-6602. Communications Research Centre Rep. No. 1332, Ottawa, Canadá.
- RAŠAJSKI, S.B., y PETROVIĆ, Z.R. [1987] Computer-Aided Calculation of the effect of correction terrain factors and its usage in determination of coverage area, MELECON'87 and 34th Congress of Electronics Proceedings, Vol. III: Radiocommunications, Roma, marzo de 1987.
- RUE, O. [1976] Propagation over mixed land-sea paths on VHF and UHF. *TELE*, Suède (édition anglaise), 2, 25-29.
- SOFAER, E. et BELL, C. B. [juillet 1966] Factors affecting the propagation and reception of broadcasting signals in the UHF bands. *Proc. IEE*, Vol. 113, 7, 1133-1140.
- TASO [1959] Report of Television Allocations Study Organization to the Federal Communications Commission. Wallace Homestead Books, Des Moines, Iowa, Etats-Unis d'Amérique.
- THÉLOT, B. [avril 1981] Méthodes de calculs de paramètres de propagation utilisées en ondes métriques et en ondes décimétriques. *Rev. de l'UER* (technique), 186, 76-81.
- TROITSKY, V. N., PETRUSHKO, J.I., MESTSHERSKY, B.P., y otros - Sverekdalnee rasprostranenie - Metrovich, decimetrovich i santimetrovich radiowoln nad morem (Propagación a muy larga distancia en ondas métricas, decimétricas, y centimétricas sobre el mar). *Elektrosviaz*, N5, 1989.
- UER [1965] Monograph 3104. Détermination des emplacements d'émetteurs en ondes métriques et décimétriques.
- WHITTEKER, J. H. [1985] Measurements of VHF/UHF radio propagation in a maritime temperate climate. Communications Research Centre Report 1380, Department of Communications, Canadá.

Documentos del CCIR

- [1974-78]: 5/74 (Italia).
- [1978-82]: a. 5/340 (Italia); b. 5/303 (República Democrática Alemana); c. 5/216 (India); d. 5/215 (India); e. 5/214 (India); f. 5/266 (Reino Unido); g. 5/79 (Polonia (República Popular de)); h. 5/119 (Yugoslavia (República Socialista Federativa de)).
- [1982-86]: a. 5/125 (Gulfvision); b. 5/124 (República Islámica del Irán; Estado de Israel); c. 5/58 (Reino Unido); d. 5/323-326, 5/333 (Gulfvision); e. 5/215 (GIT 5/5); f. 5/339 (GIT 5/5); g. 5/269 (URSS).
- [1986-1990]: a. 5/254 (ABU); b. 5/55 (Italia); c. 5/65 (URSS); d. 5/106 (Yugoslavia (República Socialista Federativa de)); e. 5/104 (Yugoslavia (República Socialista Federativa de)).

BIBLIOGRAFÍA

- CARLSSON, G., WESTER, L. Å. y LINDQUIST, R. [mayo de 1972] The influence of the coast line of HF ground-wave propagation (en sueco). Radio Scientific Conference, Lund, Suecia.
- HAUTEFEUILLE, M., BOYLE, A. W., TIMMERS, A. G. W. y SHANNON, J. D. [1980] El desvanecimiento por propagación guiada. ¿Es Senegal un caso aislado? *Boletín de Telecomunicaciones*, Vol. 47, VIII, 517.
- MILLINGTON, G. [enero de 1949] Ground-wave propagation over an inhomogeneous smooth earth. *Proc. IEE*, Vol. 96, parte III, 39, 53-64.
- MILLINGTON, G. e ISTEAD, G. A. [julio de 1950] Ground-wave propagation over an inhomogeneous smooth earth. Part 2. Experimental evidence and practical implications. *Proc. IEE*, Vol. 97, parte III, 48, 209-222.

Documentos del CCIR

- [1974-78]: 5/17 (Suecia); 5/18 (Suecia); 5/66 (URSS).
- [1978-82]: 5/332 (Yugoslavia (República Socialista Federativa de)).