

INFORME 1145*

PROPAGACIÓN EN TERRENO IRREGULAR CON Y SIN VEGETACIÓN

(Cuestión 9/5)

(1990)

1. Introducción

Este Informe describe las bases teóricas y los métodos empíricos que se han elaborado para evaluar la pérdida de transmisión en terreno irregular, que puede estar cubierto por vegetación. La pérdida de transmisión en terreno irregular es una función compleja de la frecuencia, la geometría del trayecto, la densidad de la vegetación y otras variables menos importantes. Esta complejidad exige que se utilicen métodos de aproximación que, no obstante, pueden dar resultados satisfactorios. Estos métodos de aproximación son por lo general de una de las dos clases siguientes:

- Una clase resulta de las técnicas de regresión matemática aplicadas a datos experimentales. Dan fórmulas que describen la pérdida de transmisión medida en función de las diversas variables que describen el trayecto. Si bien este método puede predecir correctamente la pérdida de transmisión en trayectos casi idénticos para la misma gama de frecuencias que los datos medidos, los intentos de ampliar estas mediciones a otras gamas de frecuencias y trayectos descritos por variables que están fuera del conjunto de datos observados suelen dar como resultado grandes errores.

- La otra clase de aproximación se describe a menudo como semiempírica. Consiste en estimaciones teóricas de la pérdida de transmisión basadas en una representación ideal del terreno y modificadas por correcciones determinadas empíricamente para la irregularidad del terreno y la capa de vegetación reales. Las formas matemáticas de estas correcciones suelen basarse en métodos teóricos.

2. Idealización de las irregularidades del terreno

Se han elaborado diversas idealizaciones de terreno irregular para poder utilizar métodos teóricos al calcular la pérdida de transmisión. En muchos casos el perfil del terreno puede ser sustituido por una serie de características prominentes que pueden ser representadas por aristas ideales u obstáculos redondeados. La mayoría de las pruebas experimentales indican que sólo algunas de las características más prominentes son importantes. Los campos de difracción debidos a los otros obstáculos pueden despreciarse.

La pérdida de transmisión adicional debida a una serie de múltiples aristas puede estimarse por varios métodos basados en la aplicación de ópticas geométricas y la pérdida por difracción en una sola arista descrita en el Informe 715. Los métodos de aproximación de Deygout [1966], Epstein-Peterson [1953], Bullington [1947] y Giovanelli [1984], corrientemente utilizados, son descritos y comparados por Grosskopf [1987, 1988]. Todos estos métodos tienden a errores mayores a medida que aumenta el número de aristas. Si se requiere una mayor precisión en casos especiales con un gran número de aristas importantes, existe un método de computador que puede utilizarse para el caso de hasta 10 aristas [Vogler, 1982].

* Este Informe sustituye al Informe 236.

No se han desarrollado aún completamente los métodos para calcular la pérdida de transmisión en múltiples obstáculos redondeados, por lo que hay que continuar los estudios. Existe un método de aproximación [Assis, 1971] y se ha sugerido un método prometedor [Whitteker, 1988].

3. Irregularidades en pequeña escala

Si la variación de la altura del terreno por encima de un valor medio es pequeña en comparación con una longitud de onda y si las pendientes del terreno son pequeñas, se pueden utilizar las curvas para un terreno liso de la Recomendación 368 si se sustituye la impedancia real en la superficie del terreno por un valor efectivo más elevado [Barrick, 1971]. Esta impedancia efectiva en la superficie puede ser anisótropa, pues la atenuación adicional es mayor en trayectos que cruzan una serie de líneas de cumbres que en trayectos paralelos a las líneas de cumbres. Hansen [1977] ha obtenido una confirmación experimental excelente de este método en un trayecto marítimo en la gama de 2 a 20 MHz.

Este método puede extenderse a un método de impedancia de superficie efectiva para zonas urbanas [Causebrook, 1978] y terreno boscoso cuando las alturas de los edificios y de los árboles son mucho más pequeñas que una longitud de onda.

Para casos especiales existe también una aproximación por un método de ecuaciones integrales cuando la exactitud requerida del campo predicho justifica la complejidad y los recursos de cálculo suplementarios. Como ejemplo de aplicación cabe citar la estimación de la intensidad de campo alrededor de una estación costera situada en un acantilado sobre el mar.

En frecuencias inferiores a unos 30 MHz se pueden aplicar métodos de ecuaciones integrales para trayectos por terrenos irregulares y con características eléctricas no homogéneas. Ott [1971] ha formulado la metodología de la aplicación de las ecuaciones integrales básicas; y se ha desarrollado un código de computador para hacer predicciones de propagación [Ott y otros, 1979]. El límite de 30 MHz se basa en la utilización de puntos en los que la intensidad de campo no es necesariamente óptima, pero que permiten un tiempo razonable de computador.

Utilizando otro algoritmo para los puntos de intensidad de campo, se ha demostrado que el modelo puede utilizarse por lo menos hasta 300 MHz [Engdahl, 1982]. En frecuencias superiores, los tiempos de computador y los requisitos de memoria tienden a ser antieconómicos.

Las irregularidades de las cumbres de las montañas originan desvanecimientos variables en el espacio y en el tiempo debidas a las interferencias del campo de difracción. La anchura finita de las irregularidades de las cumbres originan pérdidas adicionales. Estas irregularidades amplían el diagrama de difracción de la cumbre, lo que ocasiona una degradación de la ganancia efectiva de la antena así como una distorsión de frecuencia y de fase de la señal [Troitsky, 1975 y 1977].

4. Vegetación

En frecuencias por debajo de unos 1 000 MHz, es útil establecer un modelo de un bosque como una placa dieléctrica con pérdida [Tamir, 1977] que cubre el terreno. En frecuencias por debajo de unos 30 MHz, puede emplearse un modelo de impedancia de superficie efectiva de dos capas [Wait, 1970] de modo que pueden utilizarse las curvas de la Recomendación 368 para estimar la pérdida de transmisión.

En las bandas de ondas métricas y decimétricas, deben utilizarse otros métodos de aproximación. La atenuación específica de la vegetación en un bosque es muy elevada y, como se muestra en la fig. 1, es del orden de 0,1 dB/m [Saxton y Lane, 1955; Josephson y Blomquist, 1958] en las bandas de ondas decimétricas. Por consiguiente, la transmisión directa a través de un bosque está limitada en estas frecuencias a sólo algunos centenares de metros. Sin embargo, el modelo de placa dieléctrica con pérdida identifica un nuevo modo de propagación que permite la comunicación radioeléctrica en los bosques. El nuevo modo es una onda de superficie lateral que se propaga a lo largo del límite

entre la parte superior del bosque y el aire por encima de éste. (Esta onda de superficie lateral es análoga al rayo de superficie óptico que se crea cuando un rayo de luz sale de un medio óptico denso precisamente en el ángulo de Brewster.) La onda lateral deja escapar continuamente energía hacia el bosque con una pérdida de dispersión de $1/d^2$ para el campo eléctrico. Si el límite bosque-aire es irregular, pueden requerirse otras correcciones. La teoría básica [Tamir, 1977] indica también métodos para calcular la pérdida de transmisión por trayectos mixtos de terreno despejado y bosques mediante la idealización de los límites del bosque como una cuña de difracción. Este tratamiento teórico puede utilizarse como una orientación para determinar la forma matemática de las correcciones empíricas para la pérdida debida a la vegetación en los modelos de pérdida de transmisión.

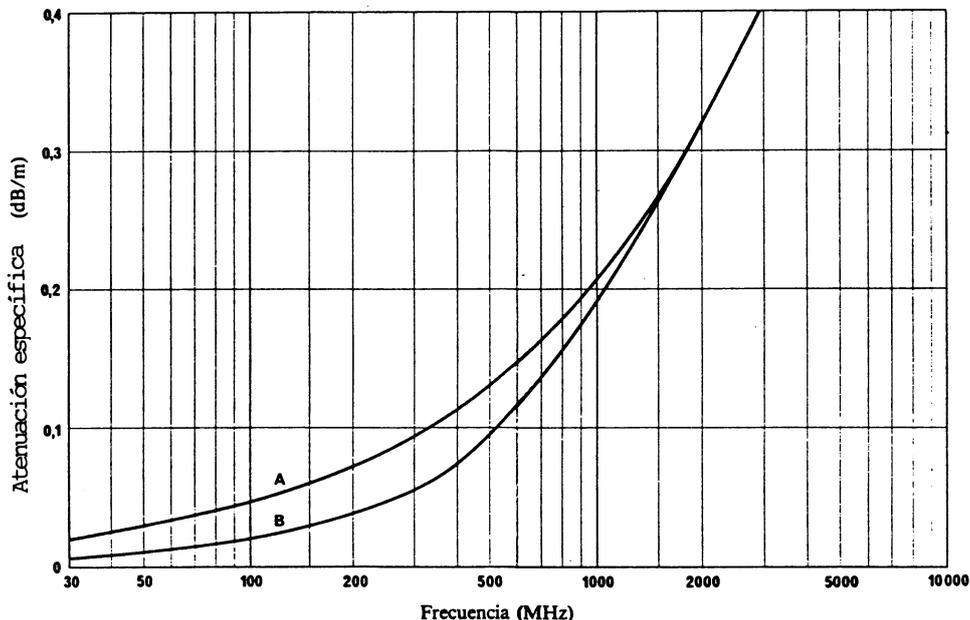


FIGURA 1 - Atenuación específica en un terreno boscoso

A: Polarización vertical
B: Polarización horizontal

5. Modelos semiempíricos de pérdida de transmisión

En la literatura reciente sobre telecomunicaciones figura más de una docena de modelos semiempíricos de pérdida de transmisión en terreno irregular y se han publicado también comparaciones de estos modelos [Grosskopf, 1987, 1988; Delisle y otros, 1985]. La mayoría de estos modelos emplean estimaciones teóricas de la pérdida de transmisión en un terreno idealizado representado por una serie de aristas. Algunos incluyen pérdidas adicionales debidas a la vegetación y a los edificios explícitamente. Todos contienen factores de corrección que se basan en el análisis de mediciones experimentales en varios trayectos. En el Anexo I figura en detalle un modelo de pérdida de transmisión semiempírico representativo.

Antes de utilizar cualquier modelo semiempírico, deben consultarse las referencias apropiadas para determinar si el terreno y la densidad de vegetación para los cuales se ha elaborado el modelo se adaptan al nuevo terreno al cual va a aplicarse.

6. Terreno muy irregular y montañoso

Los modelos teóricos y semiempíricos descritos anteriormente contienen una hipótesis implícita de que la propagación está limitada a dos dimensiones a lo largo de un trayecto de círculo máximo entre el transmisor y el punto de recepción. Si el terreno que rodea el trayecto de círculo máximo es muy irregular (por ejemplo, montañoso) otros trayectos de propagación pueden modificar considerablemente la pérdida de transmisión.

Si la característica de difracción del terreno, que se representa por una arista en estos modelos, es irregular en la dirección perpendicular al trayecto del círculo máximo entre el transmisor y el punto de recepción, cabe esperar variaciones de la pérdida de transmisión de hasta 10 dB. Se ha elaborado un método numérico [Assis, 1981] para corregir la pérdida por difracción en una sola arista en estos casos. Otra manera de tratar esta forma de propagación por trayectos múltiples es suponer que los modelos teóricos y semiempíricos representan la pérdida de transmisión mediana de una distribución de Rayleigh o de Nakagami-Rice de la pérdida de transmisión (véase el Informe 1007).

En un terreno muy irregular, debe examinarse la reflexión o dispersión debidas a las características del terreno adyacente al trayecto de círculo máximo para determinar si los campos adicionales contribuyen considerablemente al campo en el punto de recepción.

Los estudios teóricos y experimentales efectuados en la Unión Soviética [Troitsky, 1976] han mostrado que las ondas centimétricas y decimétricas pueden propagarse dentro de la zona de sombra de las cumbres de las montañas mediante la refracción de la onda y la dispersión anisotrópica en la capa dieléctrica formada por el recubrimiento de nieve. Este fenómeno puede originar un aumento considerable de la intensidad de campo en la zona de sombra de los picos y cumbres de las montañas respecto de la intensidad del campo de difracción.

En trayectos muy largos, los campos de dispersión troposférica (véase el Informe 238) pueden combinarse significativamente con el campo de difracción y modificar aún más la pérdida de transmisión.

En las zonas montañosas con picos y cadenas predominantes que son visibles desde las estaciones receptora y transmisora, con frecuencia se produce un campo debido a la retrodispersión causado por las laderas de las montañas. Este campo puede ser bastante intenso. Los estudios experimentales llevados a cabo en la URSS [Troitsky, 1986] han mostrado que a raíz de este fenómeno, las ondas radioeléctricas pueden propagarse a distancias del orden de 100 km o más en las zonas de sombra intensa. Los estudios muestran asimismo que el campo de dispersión depende considerablemente de la frecuencia, y alcanza el máximo en la banda de ondas métricas.

Las fluctuaciones del nivel de la señal debidas a esta interferencia predominan en las bandas de ondas decimétricas y centimétricas. Se observa inhomogeneidades espaciales graves de la intensidad de campo, causadas por la interferencia de las ondas de retrodispersión procedentes de las diferentes secciones de la pendiente de montaña. Esta falta de homogeneidad provoca una pérdida de ganancia de la antena si las dimensiones angulares de la superficie de dispersión son superiores a las del diagrama de radiación de la antena.

En la recepción de una señal de banda ancha se observan importantes distorsiones selectivas respecto de la frecuencia, debido a que los componentes de la señal dispersada presentan valores de retardo considerablemente diferentes. Si la zona de dispersión forma parte de una cadena montañosa, de gran amplitud las diferencias de distancia cubiertas resultantes pueden ser de decenas de kilómetros; en las zonas de dispersión de tamaño relativamente pequeño, pueden ser de decenas de metros. A medida que la directividad de la antena aumenta, disminuyen los correspondientes retardos.

El fenómeno estudiado presenta dos efectos prácticos. Por una parte, produce una interferencia no deseada; por otra, en algunos casos hace posible el funcionamiento de algunos sistemas radioeléctricos a grandes distancias, si el lugar de recepción está situado en una zona de sombra intensa.

7. Ganancia debida a los obstáculos

Las cumbres de las montañas pueden reducir efectivamente la pérdida de transmisión y los desvanecimientos por debajo de los valores previsibles con difracción esférica en un terreno liso. Esto ocurre cuando el trayecto directo no es de alcance óptico, pero son visibles el transmisor y el receptor desde la cumbre de la montaña. Se denomina este fenómeno ganancia de obstáculo. Cuando se utiliza el valor numérico de la ganancia de obstáculo, es importante precisar si se trata de la ganancia con relación al campo calculado para una tierra esférica homogénea en la que sólo intervengan la difracción y la refracción atmosférica normal (curvas de propagación de los Atlas del CCIR), o si se tiene en cuenta también la dispersión y la superrefracción (curvas de la Recomendación 370). Se presenta este último caso cuando hay que comparar las propagaciones en dos trayectos próximos, de distancias y alturas de antena comparables, en uno de los cuales hay una cumbre de montaña que origina la difracción y en el otro no hay ningún obstáculo. Mediciones efectuadas en estas condiciones han confirmado que dichas ganancias se dan en la práctica y pueden ser del orden de 20 dB [Fukami y otros; Kirby y otros, 1955].

En el Reino Unido [CCIR, 1986-90] se han efectuado algunos cálculos del apantallamiento y del efecto de ganancia de los obstáculos en la región de las microondas. Estos cálculos suponen un modo de difracción, un obstáculo con su cresta visible desde ambos terminales y que se extiende transversalmente en la dirección de propagación en un trayecto por tierra lisa, longitudes de trayecto de 75 a 150 km, frecuencias de 1, 4, 10 y 20 GHz y factores k de 4/3, 2 y 5. Para valores prácticos de la altura de la antena y alturas de obstáculo de 20 a 100 m, en muchos casos, se pierde el efecto de apantallamiento cuando la distancia es superior a unos 2 km. Cuando esta distancia es menor de unos 0,5 km, el apantallamiento aumenta con la altura del obstáculo, aunque no sea así necesariamente para distancias mayores. Además, a diferencia del caso de trayecto en suelo despejado, la pérdida en el trayecto obstruido no depende mucho de la frecuencia o del valor de k .

ANEXO I

MODELO PARA LAS PREDICCIONES DE LA PERDIDA DE TRANSMISION EN TERRENOS BOSCOSOS ACCIDENTADOS

1. Introducción

El siguiente modelo semiempírico [Blomquist y Ladell, 1975; Ladell, 1986; y Ladell y otros, 1987] ha sido elaborado para utilizarlo en la gama de frecuencias 30 a 1 000 MHz. Se presenta aquí como un ejemplo de este tipo de modelo. El modelo ha sido probado experimentalmente en Suecia durante diez años, y ha sido sometido también a una prueba de comparación en Alemania [Grosskopf, 1987] donde dio la mejor desviación típica en la gama de ondas métricas entre los once modelos que se examinaron. En Canadá [Delisle y otros, 1985] se hizo otra comparación con cinco modelos.

Este modelo está concebido para computador y utiliza una base de datos de terrenos para obtener la información sobre la vegetación y el terreno. Consiste en varios modelos de propagación básicos unidos por una única función de enlace empírica.

2. Modelos básicos de propagación en terreno boscoso accidentado

2.1 Modelo de tierra esférica uniforme

Suponiendo que pueden dejarse de lado las irregularidades del terreno, puede emplearse un modelo de terreno de tierra esférica uniforme, utilizando el método descrito en el punto 3 del Informe 715-2, para calcular un factor de propagación F_s . (En este modelo, el término factor de propagación es la relación entre la intensidad de campo y la intensidad de campo en el espacio libre a la misma distancia.)

2.2 Difracción en los obstáculos

En el caso de difracción en obstáculos del terreno tales como colinas y montañas, puede recurrirse a muchos métodos diferentes que dan resultados más o menos fiables. Por lo simple y exacto que resulta en un terreno muy accidentado, en este caso nos limitaremos a tratar los modelos de difracción de Epstein y Peterson [1953] y Deygout [1966].

En el supuesto de que pueda despreciarse una reflexión en el suelo, el factor de propagación global en dB puede calcularse como la suma de los factores de propagación para cada obstáculo. En un caso con tres obstáculos, el factor de propagación para difracción puede enunciarse

$$F_D = F(v_1) + F(v_2) + F(v_3) \quad (1)$$

donde $F(v)$ es el conocido factor de propagación de difracción de Fresnel-Kirchhoff para una arista perfectamente absorbente que puede calcularse remitiéndose al punto 4.1 del Informe 715.

2.3 Modelo de pérdida debida a la vegetación

El modelo de pérdida debida a la vegetación propuesto se obtiene utilizando resultados empíricos, principalmente en razón de la cobertura de frecuencia limitada del conocido modelo de onda lateral [Tamir, 1977].

Se caracteriza el bosque situado entre el transmisor y el receptor mediante dos parámetros, la densidad de vegetación ρ (%) y el porcentaje de boscosidad que hay en el trayecto de transmisión η (%). La densidad de vegetación mide el número de árboles por unidad de medida al cuadrado y sus diámetros promedio. Los resultados empíricos relativos a este modelo de vegetación se obtuvieron en un bosque de densidad media, en Suecia, donde $\rho_0 = 100$ % y el porcentaje medio de bosque, derivado de la base de datos topográficas es $\eta_0 = 75$ %.

La pérdida debida a la vegetación relativa al modelo de tierra esférica (dB) como una función de frecuencia (MHz) y distancia (km) se denota $V(f,d)$ y puede calcularse mediante

$$V(f,d) = V_0(f,d) (\eta/\eta_0) (\rho/\rho_0) \quad (2)$$

donde

$$V_0(f,d) = \begin{cases} -29,6 + 9,8 \log_{10} f + 45 \log_{10} d (\log_{10} f - 2) & \text{(para polarización horizontal) (3a)} \\ 46 - 15,5 \log_{10} f + 45 \log_{10} d (\log_{10} f - 2) & \text{(para polarización vertical) (3b)} \end{cases}$$

en el supuesto de una frecuencia comprendida entre 100 y 1000 MHz y alturas de antena inferiores a la altura de la copa de los árboles. Para $d < 2$ km, V_0 debe calcularse para una distancia de 2 km y el resultado en dB debe multiplicarse por 0,5 d. Para $d > 20$ km, debe utilizarse el valor calculado para una distancia de 20 km.

3. Modelo de pérdida de transmisión combinado y función de enlace

Se supone en primer lugar que no hay vegetación. En ese caso, para las ondas miriamétricas pueden despreciarse las irregularidades del terreno, y la pérdida de transmisión básica se obtiene mediante el modelo de tierra esférica uniforme. El otro caso extremo se da en las ondas métricas cuando la difracción en colinas y montañas es el mecanismo predominante. Para un perfil de terreno dado, ambos casos indican los extremos de ondas kilométricas y decamétricas respectivamente. A fin de resolver el problema de encontrar un modelo de predicción para toda la gama de frecuencia que interesa, conviene especificar una función de enlace en términos de los factores de propagación de estos dos casos extremos.

Dicha función de enlace es el factor de propagación calculado como la raíz cuadrada negativa de la suma de los cuadrados de los factores de propagación para la tierra esférica uniforme y la difracción, expresados en decibelios, y enunciados

$$F_R = -(F_S^2 + F_D^2)^{1/2} \quad (4)$$

De este modelo de raíz cuadrada resulta siempre un factor de propagación (dB) menor que cualquiera de las dos componentes calculadas. Se trata de un modelo semiempírico con valor asintótico para ondas kilométricas resultante del modelo de tierra esférica uniforme y un valor asintótico para ondas decamétricas resultante del modelo de difracción de acuerdo con lo supuesto. Los efectos de la vegetación pueden incluirse ahora dando el modelo de predicción final para el factor de propagación o la pérdida de transmisión básica (dB).

Esas ecuaciones pueden expresarse

$$F = F_R - V \quad (\text{donde } F \leq F_R) \quad \text{y} \quad L_b = L_{b0} - F_R + V \quad (5)$$

donde

$L_{b0} = 20 \log_{10} (4\pi d/\lambda)$ es la pérdida de transmisión básica en el espacio libre.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSIS, M. S. [marzo, 1971] A simplified solution to the problem of multiple diffraction over rounded obstacles. *IEEE Trans. Ant. Prop.*, Vol. AP-19, 292-295.
- ASSIS, M. S. [1981] Effect of lateral profile on diffraction by natural obstacles. Open Symposium of Mathematical Models of Radio Propagation, XXth Grand Assembly of URSI, Washington, DC, USA.
- BARRICK, D. E. [1971] Theory of HF and VHF propagation across the rough sea. *Radio Sci.*, Vol. 6, 5, 517-526.
- BLOMQUIST, Å. y LADELL, L. [1975] Prediction and calculation of transmission loss in different types of terrain. In INCE, A.N., Ed. Electromagnetic wave propagation involving irregular surfaces and inhomogeneous media. AGARD Conf. Proc., No. 144, Doc. 32.
- BULLINGTON, K. [octubre de 1947] Radio propagation at frequencies above 30 Mc/s. *Proc. of the IRE*, Vol. 35, pp. 1122-1136.
- CAUSEBROOK, J.H. [1978] Medium wave propagation in built-up areas. *Proc. IEE*, Vol. 125 No. 9, pp. 804-806.
- DELISLE, G.Y., LEFÈVRE, J.P., LECOURS, M. y CHOUINARD, J.Y. [1985] Propagation loss prediction: a comparative study with application to the mobile radio channel, *IEEE Transactions on vehicular technology*, Vol. VT-34, No. 2, pp. 86-96.
- DEYGOUT, J. [julio, 1966] Multiple knife-edge diffraction of microwaves. *IEEE Trans. Ant. Prop.*, Vol. AP-14, 480-489.
- ENGDahl, G. [1982] Ott - A computer-aided ground-wave model for the VHF range in hilly terrain with varying ground characteristics (in Swedish), Research Institute for National Defence, Dept. 3, Report C30265-E2.
- EPSTEIN, J. y PETERSON, D.W. [1953] An experimental study of wave propagation at 850 Mc, *Proc. IRE*, 41, pp. 595-611.
- FUKAMI, T. et al. [diciembre, 1961] Propagation measurements on long mountain diffraction paths, etc. *Elec. Comm. Labs. Tech. J. (Japón)* Vol. 10, 2430.

- GIOVANELLI, C.L. [marzo de 1984] An analysis of simplified solutions for multiple knife-edge diffraction, *IEEE Transactions on antennas and propagation*, Vol. AP-32, No. 3, pp. 297-301.
- GROSSKOPF, R. [julio de 1987] Comparison of different methods for the prediction of field strength in the VHF range, *IEEE Transactions on antennas and propagation*, Vol. AP-35, No. 7, 852-859.
- GROSSKOPF, R. [1988] Comparison of the accuracy of methods used to predict the field strength in the UHF range, *EBU Technical Review*, (se publicará).
- HANSEN, P. [1977] Measurements of basic transmission loss for HF ground-wave propagation over seawater. *Radio. Sci.*, 12, 397-404.
- JOSEPHSON, B. y BLOMQUIST, Å. [1953] The influence of moisture in the ground, temperature and terrain on ground-wave propagation in the VHF band. *IRE Trans. Ant. Prop.*, Vol. AP-6, 169.
- KIRBY, R.S., DOUGHERTY, H.T. y McQUATE, P.L. [1955] Obstacle gain measurements over Pikes Peak at 60 to 1046 Mc. *Proc. IRE*, Vol. 43, 10, 1467-1472.
- LADELL, L., [1986] Transmission loss predictions in wooded terrain, Conference Proceedings "NRS 86; Nordic Radio Symposium", Saltsjöbaden, Suecia.
- LADELL, L., ASP, B. y NILSSON, S., [abril, 1987] Transmission loss and service area predictions in hilly woodland, IEE Conference proceedings 274, ICAP 87, pp. 81-84.
- OTT, R. H. [1971] An alternative integral equation for propagation over irregular terrain, 2. *Radio Sci.*, Vol. 6, 4, 429-435.
- OTT R. H., VOGLER, L. E. y HUFFORD, G. A. [1979] NTIA Report 79-20, Ground-wave propagation over irregular, inhomogeneous terrain. NTIS Access No. PB 298 668/AS. National Technical Information Service, Springfield, Va. 22161, Estados Unidos de América.
- SAXTON, J. A. y LANE, J. A. [mayo, 1955] VHF and UHF reception. *Wireless World*, Vol. 61, 5, 229-232.
- TAMIR, T. [julio, 1977] Radio wave propagation along mixed paths in forest environments. *IEEE Trans. Ant. Prop.*, Vol. AP-25, 471-477.
- TROITSKY, V.N. [1975] Diffraction of microwaves from mountain ridges with random irregularities. *Rasprostranenie radiowoln (Propagación de ondas radioeléctricas) (en ruso)*. Nauka, 2.
- TROITSKY, V. N. [1976] Vliyaniye snezhnovo na difraktsionnoye pole UKW v teni gornyykh khrebtov. (Effect of snow cover on diffracted USW field strength in the shadow of mountain ridges.) *Radiotekhnika i Elektronika*, Vol. 21, 6, 1222. English language edition: *Radio Eng. Electron. Phys.*, Vol. 21, (1977), 6, 58.
- TROITSKY, V.N. [1977] Diffraction scattering of microwaves from mountain ridges. Proc. URSI Commission F Symposium, La Baule, Francia.
- TROITSKY, V.N. [1986] "Obratnoye rasseyaniye voln diapazonov OVCh, UVCh i SVCh sklonami gornyykh vershin i khrebtov" (Retrodispersión en las bandas de ondas métricas, decimétricas y centimétricas causadas por pendientes de picos y cadenas montañosas), *Elektrosviaz*, N° 7, 48-51.
- VOGLER, L. E. [1982] An attenuation function for multiple knife-edge diffraction. *Radio Sci.*, Vol. 17, 6, 1541-1546.
- WAIT, J. R. [1970] *Electromagnetic Waves in Stratified Media*. (2nd edition.) Pergamon Press, MacMillan, New York, NY, Estados Unidos de América.
- WHITTEKER, J. [enero, 1988] Diffraction over multiple rounded obstacles, National Radio Science Meeting, Boulder, CO, USA.

Documentos del CCIR

[1986-90]: 5/213 (Reino Unido).