

MODELO DE PROPAGACIÓN PARA EXTERIORES A FRECUENCIAS DE 50 MHz a 1 GHz

Constantino Pérez Vega y José M^a Zamanillo Sáinz de la Maza
Departamento de Ingeniería de Comunicaciones
Universidad de Cantabria
e-mail : constantino.perezv@unican.es

Abstract- A model for outdoor propagation at frequencies from about 50 MHz, up to 1 GHz is presented. The model is of very simple utilization and in fact, it has been widely used in graphical form by many practical engineers during more than fifty years. Our model is a mathematical characterization of the propagation curves F(50,50) of the Federal Communications Commission (FCC) of the U.S., and can easily be implemented, either in a computer or even in a simple programmable hand calculator.

I. INTRODUCCIÓN

El modelo que se presenta, pretende ser utilizado en la predicción de la cobertura de sistemas radioeléctricos de comunicaciones, en las bandas de VHF y UHF, en un rango de frecuencias entre 50 MHz y 1 GHz. El modelo que se presenta aquí, se basa en las curvas de propagación de la FCC, F(50,50) [1] El parámetro utilizado para caracterizar la atenuación es el exponente de la distancia, cuyos valores medio o mediano, son independientes de la frecuencia, como se infiere de las propias curvas y de mediciones realizadas [2]. En realidad, el modelo no es otra cosa que la caracterización matemática de las curvas F(50,50) y permite la estimación del valor mediano de la atenuación, como función de la distancia y altura de la antena transmisora. Está referido a una altura de antena receptora de 9 metros.

Es un hecho bien conocido que las curvas de propagación F(50,50) de la FCC han sido utilizadas satisfactoriamente durante décadas en el ejercicio práctico de la ingeniería de comunicaciones y proporcionan estimaciones adecuadas de la intensidad de campo e, indirectamente, de la potencia recibida en una inmensa cantidad de casos prácticos. Tales curvas fueron desarrolladas empleando valores obtenidos de mediciones de intensidad de campo eléctrico en diferentes áreas geográficas y diferentes períodos de tiempo, y proporcionan los valores medianos de la intensidad de campo para dar servicio al 50% de las ubicaciones, durante el 50% del tiempo. Por consecuencia, estas curvas reflejan datos reales, no obtenidos a través de modelos teóricos [3].

II. TEORIA

En este modelo se asume que la potencia recibida, en condiciones reales de propagación en la cercanía de la tierra, no obedece la ley del inverso del cuadrado de la distancia, sino una de forma [4].

$$P_{iso} = \frac{P_{rad}}{d^n} \left(\frac{4\pi}{\lambda} \right)^2 \quad (1)$$

Donde P_{iso} es la potencia isotrópica equivalente recibida, P_{rad} , la potencia isotrópica equivalente radiada (PIRE), d , la distancia en metros entre las antenas transmisora y receptora, λ la longitud de onda y n , el factor de atenuación, cuyo valor es 2 en el espacio libre y que en general, en propagación terrestre, es mayor de 2. El valor de n engloba intrínsecamente todos los procesos físicos que intervienen en la propagación, tales como reflexión, difracción, atenuación, etc., sin establecer necesariamente una relación entre su valor y la forma en que dichos procesos físicos afectan a dinámica del canal. Es claro que este parámetro no permite determinar explícitamente aspectos tales como fases y ángulos de llegada, dispersión de retardo, etc., únicamente la atenuación en el entorno de propagación. De (1), la atenuación en dB en el canal de propagación está dada por:

$$L = 10n \log(d) + L_0 \text{ (dB)} \quad (2)$$

En que el término $L_0 = 20 \log(4\pi/\lambda)$ es la atenuación a un metro de separación entre antenas.

El factor de atenuación n , es el parámetro utilizado en este trabajo para caracterizar la atenuación mediante (2). Este modelo es de naturaleza estadística, ya que n es una variable aleatoria, y ha sido utilizado en diferentes versiones para estimar la atenuación, tanto en entornos interiores como exteriores [5]. Este factor es independiente de la frecuencia [2], pero no lo es de la altura de las antenas transmisora y receptora, ni de la distancia entre ellas. Para establecer dicha relación experimentalmente, es necesario realizar una gran cantidad de mediciones en diferentes lugares, a distintas alturas y a diferentes distancias. Puesto

que las curvas F(50,50) fueron obtenidas a partir de datos experimentales, proporcionan la información necesaria y suficiente, para establecer la relación del factor de atenuación con la altura y la distancia, de modo que en este trabajo se han utilizado dichas curvas para extraer de ellas la información numérica necesaria para construir el modelo. El modelo es aplicable a distancias entre 1.6 y 64 Km.

Cabe hacer notar que el modelo que aquí se plantea, no pretende ser mejor que otros en uso. Es bien sabido que diferentes modelos de propagación producen resultados diferentes que con frecuencia resultan conflictivos para tomar decisiones, particularmente desde el punto de vista del dimensionamiento de la potencia radiada, que repercute directamente en el costo y fiabilidad del sistema y depende principalmente de la experiencia y buen juicio del ingeniero, la decisión final de qué modelo refleja mejor los resultados prácticos. El modelo planteado aquí ofrece una alternativa de fácil aplicación en la práctica de la ingeniería, en la que es frecuente enfrentarse a la fácil elección entre las predicciones o cálculos y las mediciones [6] y, en buena medida, combina ambas de una manera sencilla. Además, el modelo es independiente del tipo de sistema de comunicaciones; es decir, si es analógico o digital, pero no proporciona información sobre ángulos de llegada, fase, o dispersión de retardo, así como tampoco proporciona mayor información sobre la dinámica del canal, excepto el valor mediano la atenuación total, que es suficiente en la mayoría de los casos prácticos.

III. PROCEDIMIENTO Y MODELO

Para establecer la dependencia de n respecto a la distancia y altura de la antena transmisora, se obtuvieron los valores de la intensidad de campo de la familia de curvas F(50,50), para distancias entre 1.6 y 64 Km y para alturas de la antena transmisora entre 30 y 600 m. Las curvas asumen una altura constante de la antena receptora de 9 m, por lo que es necesario efectuar correcciones para alturas distintas a ésta. Para distancias superiores a unos 48 Km, las curvas F(50,50) para frecuencias superiores de 470 MHz no están

basadas en mediciones y la teoría indica que la intensidad de campo decrece más rápidamente respecto a la distancia transhorizonte para frecuencias en la banda de VHF [7]. De las curvas se obtuvieron valores de intensidad de campo, para alturas constantes de la antena transmisora y se analizaron posteriormente. Aunque las curvas están referidas a unidades británicas, en el modelo que se presenta, han sido traducidas a unidades SI.

Aunque los valores de intensidad de campo obtenidos de las curvas están referidos a una PIRE de 1 KW, el cálculo de la potencia isotrópica recibida es directo para cualquier otro valor de la PIRE y el valor del factor de atenuación, n , puede calcularse fácilmente de (1) y (2):

$$n = \frac{P_{rad} (dBw) - P_{iso} (dBw) - L_0}{10 \log(d)} \quad (3)$$

Donde L_0 está definida en (2) y la PIRE (P_{rad}), así como la potencia isotrópica equivalente recibida (P_{iso}) están expresadas en las mismas unidades logarítmicas (dBw o dBm). Esta última puede obtenerse fácilmente a partir de la intensidad de campo como:

$$P_{iso} = \frac{1}{480} \left(\frac{E \lambda}{\pi} \right)^2 \quad (4)$$

Donde E es la intensidad de campo, en V/m, obtenida de las curvas F(50,50) y conviene enfatizar que n es el valor mediano del factor de atenuación. En realidad los valores medio y mediano de n difieren sólo en aproximadamente 1% y, para el propósito del modelo, aquí pueden considerarse equivalentes. En resumen el procedimiento seguido para obtener el valor de n fue, primero obtener la intensidad de campo, de las curvas F(50,50), para diferentes alturas de antena transmisora y distancia, se obtiene luego P_{iso} mediante (4) y finalmente n mediante (3). Obtenido el conjunto de valores de n como función de la distancia y de la

a_{00}	a_{01}	a_{02}	a_{03}	a_{04}
2.70414	0.00691419	1.64202×10^{-4}	-4.30076×10^{-6}	2.38233×10^{-8}
a_{10}	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}
-0.0123957	5.24056×10^{-4}	-1.75643×10^{-5}	2.4282×10^{-7}	-1.11177×10^{-9}
a_{20}	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}
7.60572×10^{-5}	-3.91766×10^{-6}	1.34×10^{-7}	-1.85925×10^{-9}	8.54657×10^{-12}
a_{30}	a_{31}	a_{32}	a_{33}	a_{34}
-2.20208×10^{-7}	1.23702×10^{-8}	-4.1595×10^{-10}	5.67899×10^{-12}	-2.58477×10^{-14}
a_{40}	a_{41}	a_{42}	a_{43}	a_{44}
2.03856×10^{-10}	-1.18905×10^{-11}	3.9371×10^{-13}	-5.31031×10^{-15}	2.39849×10^{-17}

Tabla. 1. Evolución del factor de atenuación n en función de la altura h en metros y la distancia d en Km.

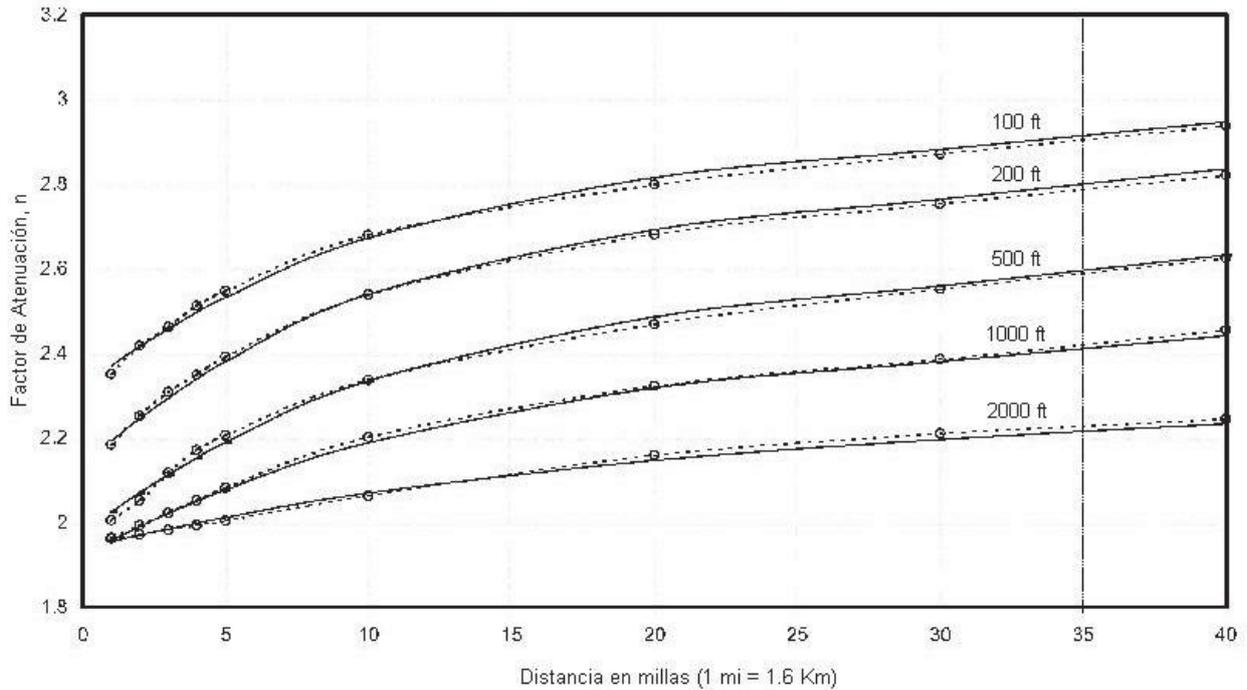


Fig. 1. Evolución del factor de atenuación n en función de la distancia en millas y altura de la antena transmisora en pies (1 pie \approx 0,3 m)

altura de la antena transmisora, se ajustaron los valores de n a un modelo polinomial de cuarto grado:

$$n = \sum_{i=0}^4 \sum_{j=0}^4 a_{ij} h^i d^j \quad (5)$$

El ajuste polinomial se realizó utilizando el software Stanford Graphics® para obtener los coeficientes a_{ij} , cuando h está en metros y d en Km. Los coeficientes del modelo se muestran en la Tabla I y conviene hacer notar que, aún cuando algunos de los coeficientes son muy pequeños y, aparentemente, podrían despreciarse, por ejemplo si a_{44} se hace cero, los resultados difieren considerablemente de los correctos. Por consecuencia, para implementar el modelo, deben utilizarse todos los coeficientes con el número de decimales que aparece en la tabla. La tabla I muestra los valores del caso bidimensional más general, y de él pueden derivarse modelos unidimensionales más simples, uno para distancia constante y altura variable y otro, más adecuado a la mayoría de los casos prácticos, para altura constante y distancia variable.

IV. RESULTADOS

El modelo (5) se ajusta muy bien a los valores de las curvas FCC(50,50), como se puede apreciar de las figuras 1 y 2 para el factor de atenuación n . La máxima desviación del valor de n , respecto al obtenido a partir de las curvas es de 1.23%, lo que en la intensidad de campo se traduce en diferencias del orden de 0.6 dB.

V. CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un modelo de atenuación, de fácil implementación y aplicación en la práctica, basado en los datos experimentales que proporcionan las curvas F(50,50) de la FCC. El modelo permite obtener el valor mediano de la atenuación en el entorno terrestre de propagación y es aplicable en un rango de frecuencias de 50 a 1000 MHz. El ajuste del modelo con las curvas F(50,50) puede considerarse excelente para distancias entre 1.6 y 64 Km. Los valores se basan en una altura de la antena receptora de 9 m.

REFERENCIAS

- [1] Code of Federal Regulations, Title 47, Chapter 1. Federal Communications Commission. Part 73. Radio Broadcast Services. Secs. 73.683, 73.684 and 73.669.
- [2] Pérez-Vega, C. and García, J.L. "Frequency behavior of a power law path-loss model". Proc. 10th Microcoll. Budapest, March 1999.
- [3] Barringer, M. H. and Springer, K. D. Radio Wave Propagation. Chap. 2.8 of NAB Engineering Handbook, 8th Ed. NAB, Washington, DC, 1992.
- [4] Pérez-Vega, C. and García, J. L. "A simple approach to a statistical path-loss model for indoor communications". 27th European Microwave Conf. Proc. Jerusalem, 1997.
- [5] Cox, D. C. et al. "800-MHz attenuation measured in and around suburban houses". BTSJ, Vol. 63, N° 6, pp. 921-955. Aug. 1984.
- [6] Bach Andersen, J. Rappaport, T. and Yoshida, S. "Propagation measurements and models for wireless communication channels". IEEE Comm. Mag. Jan. 1995, pp. 42-49.
- [7] Pérez-Vega, C. and Zamanillo, J. M. "Indoor propagation at 2.45 GHz for TV applications". Proc. Microwave Symposium 2000 (MS'2000). Tetuan, Morocco, May, 2000.
- [8] Stielper, J. W. The measurement of FM and TV field strengths (54 MHz - 806 MHz). Chap. 2.11 of NAB Engineering Handbook, 8th Ed. NAB, Washington, DC, 1992.