

UNA SOLUCIÓN EN TÉRMINOS DE COEFICIENTES UTD PARA EL ANÁLISIS DE LA DIFRACCIÓN MÚLTIPLE DE ONDAS ESFÉRICAS EN ENTORNOS URBANOS SIN VISIÓN DIRECTA POR EFECTO DEL TERRENO

José-Víctor Rodríguez, Francisco-Javier Martínez-Maturana y Leandro Juan-Llácer

Dpto. Tecnologías de la Información y Comunicaciones

Universidad Politécnica de Cartagena

Antiguo Hospital de Marina, 30202 Cartagena

e-mail: jvictor.rodriguez@upct.es, leandro.juan@upct.es

Abstract- A function expressed in terms of UTD coefficients for the analysis of the multiple diffraction in urban areas where a bare wedge-shaped hill causes shadowing of the transmitter from the receiver (NLOS situation) is presented. The solution, validated with numerical results from technical literature, has a good computational efficiency and increases the versatility over existing formulation allowing the study of the mentioned environment when a small number of buildings are considered as well as when a spherical-wave incidence over these latter is assumed.

I. INTRODUCCIÓN

La planificación y el diseño de sistemas de telefonía móvil celular y otras redes de radiocomunicaciones situadas en la banda UHF (300MHz-3GHz) requieren del análisis de las pérdidas de propagación existentes en el entorno donde se ubiquen dichos sistemas. En este sentido, en áreas urbanas, se han llevado a cabo numerosos estudios acerca de la difracción múltiple experimentada por las ondas de radio como consecuencia de la presencia de edificios tanto a través de la Teoría Uniforme de la Difracción (UTD) como de la Óptica Física (PO) [1]-[3] asumiendo que dichos edificios son iluminados directamente por una fuente transmisora situada a cierta distancia. Sin embargo, con el fin de analizar posibles interferencias entre celdas o para la realización de cálculo de coberturas, puede resultar interesante el estudio de las pérdidas por difracción en la señal de radio cuando no exista visión directa entre la estación base y la ciudad por la presencia de obstáculos como elevaciones del terreno o montañas. De esta manera, Bertoni propone en [4] una solución para este último escenario analizando por un lado las pérdidas por la difracción en la montaña (llevando la señal hasta el punto receptor y obviando los edificios) para, posteriormente, sumarle a este resultado las pérdidas producidas por difracción múltiple sobre edificios en la ciudad, que aproxima directamente por un factor Q suponiendo que la incidencia sobre estos es de onda plana (distancia que separa la montaña y la ciudad es muy elevada) que el número de edificios es grande [5].

En este trabajo se presenta una solución en términos de coeficientes UTD para el análisis de las pérdidas por difracción en entornos urbanos sin visión directa entre la antena transmisora y la ciudad por efecto del terreno que analiza de manera conjunta y rigurosa todos los fenómenos

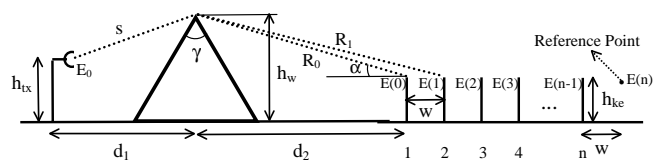


Fig 1. Esquema del entorno de propagación considerado.

de difracción que tienen lugar en dicho escenario, a la vez que, gracias a una técnica recursiva, alberga una gran eficiencia desde el punto de vista computacional. Además, la formulación propuesta permite el análisis para cualquier número de edificios, por pequeño que éste sea, así como para distancias pequeñas entre la montaña y la ciudad (incidencia de onda esférica sobre esta última), solventando así las limitaciones de la solución propuesta en [4].

II. ENTORNO DE PROPAGACIÓN

En la Fig. 1 se puede apreciar el entorno de propagación considerado en este trabajo. En ella se puede observar cómo los edificios correspondientes a la zona urbana bajo estudio han sido sustituidos por una serie de n láminas o planos semi-infinitos absorbentes, todos ellos de la misma altura h_{ke} y separados entre sí una distancia constante w . Dicha fila de edificios se encuentra situada a una distancia d_2 de una elevación del terreno o montaña, que a su vez ha sido modelada por una cuña con conductividad finita de altura h_w y ángulo interior γ . Asimismo, la antena emisora, de altura h_{tx} , está separada una distancia d_1 de la mencionada cuña, por lo que se asumirá incidencia de onda esférica sobre esta última, así como posteriormente sobre el array de láminas. Finalmente, se considerará que $h_{tx} < h_w$, de manera que no exista visión directa entre la fuente emisora y la ciudad.

Las pérdidas por propagación se producen por tres factores: pérdidas por espacio libre, por difracción múltiple, y pérdidas ocasionadas por la difracción final hasta el punto receptor. En este trabajo, la solución que se presenta hace referencia únicamente a las mencionadas pérdidas por difracción múltiple.

III. FORMULACIÓN

Considerando la solución final para el cálculo de la difracción múltiple producida por un array de láminas absorbentes expresada en [6], se propone la siguiente función basada en una técnica recursiva y expresada en términos de coeficientes UTD para el análisis de la

difracción múltiple existente en el entorno de propagación bajo estudio. Asumiendo el campo incidente en el primer edificio como

$$E(0) = \frac{E_0}{s} \exp(-jks) \cdot \sqrt{\frac{s}{R_0(s+R_0)}} \cdot D_w \left(\phi = 2\pi - \frac{\gamma}{2} - \arctan\left(\frac{d_2}{h_w - h_e}\right), \phi' = \arcsin\left(\frac{d_1}{s}\right) - \frac{\gamma}{2}, L = \frac{sR_0}{s+R_0} \right) \cdot \exp(-jkR_0) = E_{00} \cdot \exp(-jkR_0) \quad (1)$$

donde

$$R_0 = \sqrt{(h_w - h_{ke})^2 + d_2^2} \quad (2)$$

k es el número de onda y $D_w(\phi, \phi', L)$ es el coeficiente de difracción para una cuña de conductividad finita expresado en [7], para $n \geq 1$, el campo total recibido en el punto de referencia observado en la Fig. 1 puede ser expresado como

$$E(n) = \frac{1}{n} \left\{ E(0) \left[\frac{E_{0n}}{E_{00}} \exp(-jk(R_n - R_0)) + \sqrt{\frac{R_0}{nw[R_0 + nw]}} \cdot D_{ke} \left(\phi = \frac{3\pi}{2}, \phi' = \frac{\pi}{2} + \alpha, L = \frac{R_0nw}{R_0 + nw} \right) \exp(-jknw) \right] + \sum_{m=1}^{n-1} E(m) \left[\frac{R_0}{R_{n-m}} \exp(-jk(R_n - R_m)) + \sqrt{\frac{R_0}{(n-m)w[R_0 + (n-m)w]}} \cdot D_{ke} \left(\phi = \frac{3\pi}{2}, \phi' = \frac{\pi}{2} + \alpha, L = \frac{R_0(n-m)w}{R_0 + (n-m)w} \right) \exp(-jk(n-m)w) \right] \right\} \quad (3)$$

donde

$$R_n = \sqrt{(h_w - h_{ke})^2 + (d_2 + nw)^2} \quad (4)$$

$$E_{0n} = \frac{E_0}{s} \exp(-jks) \cdot \sqrt{\frac{s}{R_n(s+R_n)}} \cdot D_w \left(\phi = 2\pi - \frac{\gamma}{2} - \arctan\left(\frac{d_2 + nw}{h_w - h_e}\right), \phi' = \arcsin\left(\frac{d_1}{s}\right) - \frac{\gamma}{2}, L = \frac{sR_n}{s+R_n} \right) \quad (5)$$

y $D_{ke}(\phi, \phi', L)$ es el coeficiente de difracción para una lámina absorbente expresado en [8].

Cabe resaltar que se ha considerado el *spreading factor* correspondiente a incidencia de onda esférica en los términos relativos a rayos difractados.

IV. RESULTADOS

Con el fin de validar la función propuesta en el apartado anterior, en las Fig. 2 y Fig. 3 puede observarse una comparación con la solución expresada por Bertoni en [4] para el mismo entorno de propagación, considerando $h_{tx}=10\text{m}$, $h_{ke}=20\text{m}$, $f=900\text{ MHz}$, $w=50\lambda$, $n=100$, polarización *soft* y cuña con conductividad finita y parámetros $\sigma=0.012\text{ S/m}$, $\epsilon_r=15$ y $\rho=0.23\text{m}$. Se ha representado el campo total recibido en el punto de referencia, normalizado respecto al existente en espacio libre (atenuación). En la Fig. 2 se realiza un análisis para distintos valores de d_2 , con $d_1=1000\text{m}$, $\gamma=45^\circ$ y $h_w=600\text{m}$, y en la Fig. 3 la comparación se establece en función de distintos valores de h_w , con $d_2=20000\text{m}$, $\gamma=30^\circ$ y $d_1=350\text{m}$. Como puede apreciarse, y con el fin de poder realizar la comparación entre ambas soluciones, en las dos gráficas se asume por un lado un valor de d_2 lo suficientemente grande para que resulte válida la asunción de incidencia de onda plana sobre los edificios

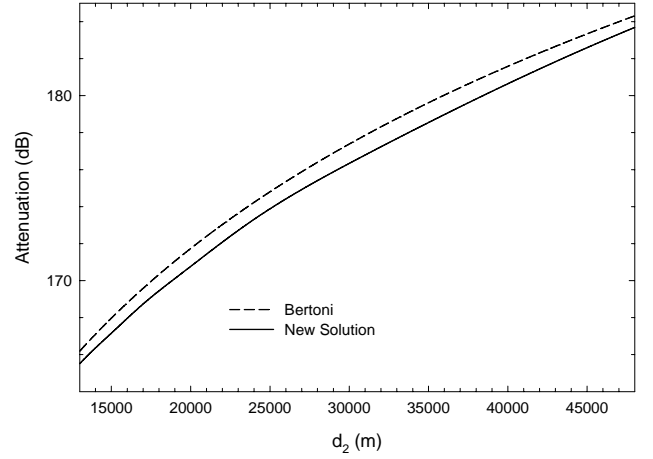


Fig. 2. Variación de la atenuación con d_2 . $d_1=1000\text{m}$, $\gamma=45^\circ$ y $h_w=600\text{m}$

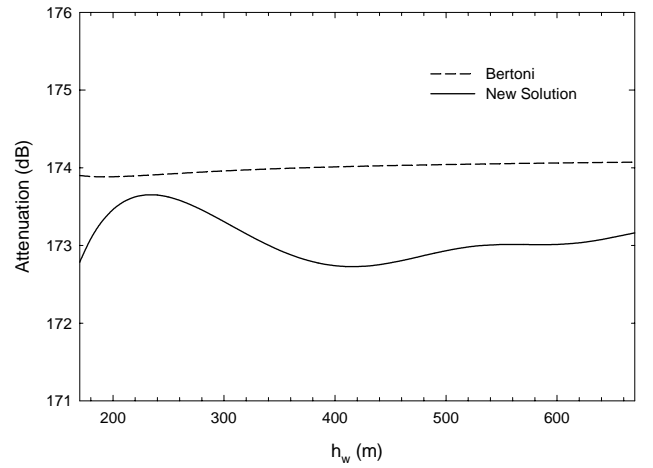


Fig. 3. Variación de la atenuación con h_w . $d_2=20000\text{m}$, $\gamma=30^\circ$ y $d_1=350\text{m}$

considerada en [5] así como un número elevado de estos últimos, tal y como requiere la solución de Bertoni para poder ser aplicada. Se puede observar cómo, en las dos figuras, las curvas de las dos formulaciones simuladas coinciden de manera bastante precisa, estando siempre la diferencia entre ambas en torno a 1 dB.

De cara a observar la mayor versatilidad de nuestra solución frente a la de Bertoni, en la Fig. 4 se representa la atenuación obtenida con la formulación propuesta en este trabajo en función del número de edificios, pudiendo ser éste lo pequeño que se desee sin que esto suponga pérdida de rigurosidad en el resultado. Los cálculos están realizados para $h_{tx}=10\text{m}$, $h_{ke}=20\text{m}$, $f=900\text{ MHz}$, $w=50\lambda$, $d_1=1000\text{m}$, $d_2=20000\text{m}$, $h_w=200\text{m}$, $\gamma=45^\circ$, polarización *soft* y cuña con conductividad finita y parámetros $\sigma=0.012\text{ S/m}$, $\epsilon_r=15$ y $\rho=0.23\text{m}$, teniendo en cuenta que aunque se han simulado únicamente valores enteros de n , se ha trazado una línea continua para una mejor apreciación de los resultados obtenidos. En la misma gráfica, además, se ha situado de manera constante con el número de edificios el valor de atenuación arrojado por la expresión de Bertoni para $n=100$ (pues, como se ha comentado, requiere necesariamente un n elevado), siendo claramente apreciable el error cometido por esta última solución a medida que el número de edificios considerados en la ciudad disminuye.

Finalmente, en la Fig. 5 se presenta la atenuación existente en el punto de referencia calculada con nuestra solución para distintos valores de h_w , asumiendo $h_{r1}=10\text{m}$, $h_{ke}=20\text{m}$, $f=900\text{ MHz}$, $w=50\lambda$, $n=100$, $\gamma=45^\circ$, polarización *soft*, cuña con conductividad finita y parámetros $\sigma=0.012\text{ S/m}$, $\epsilon_r=15$ y $\rho=0.23\text{m}$, $d_1=100\text{m}$ y $d_2=200\text{m}$, es decir, considerando incidencia de onda esférica sobre los edificios y demostrando una vez más las enormes posibilidades que ofrece la formulación propuesta. Cabe resaltar cómo, en un principio, a medida que aumenta la altura de la cuña, la atenuación total disminuye, pues, aunque las pérdidas por difracción en la montaña aumentan, las ocasionadas en la ciudad decrecen en mayor medida, al incidir la onda sobre la fila de edificios con un ángulo mayor; sin embargo, como puede observarse, llegado un punto dicha atenuación total comienza a aumentar, pues a partir de cierta h_w , el incremento en las pérdidas producidas en la cuña supera a la disminución de las ocasionadas en la ciudad por una incidencia de ángulo mayor, ya que llega un momento en el que dicha disminución cesa, pues las pérdidas por difracción múltiple sobre los edificios dejan de tener relevancia cuando el ángulo de incidencia sobre estos es muy elevado.

V. CONCLUSIONES

Se ha presentado una solución en términos de coeficientes UTD para el análisis de las pérdidas por difracción en entornos urbanos sin visión directa entre la antena transmisora y la ciudad por efecto del terreno. Dicha formulación, validada mediante comparación con el método propuesto por Bertoni, ofrece una gran versatilidad al permitir el análisis del escenario mencionado en el caso de que el número de edificios considerado sea pequeño así como cuando se asume incidencia de onda esférica sobre estos últimos. La solución propuesta alberga una gran eficiencia desde el punto de vista computacional gracias a la técnica recursiva que utiliza.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ministerio de Educación y Ciencia la financiación de este trabajo (TEC2004-04866-C04-04).

REFERENCIAS

- [1] M. J. Neve and G. B. Rowe, "Assesment of GTD for mobile radio propagation prediction", *Electro. Lett.*, 1993, **29**, (7), pp. 618-620
- [2] S. R. Saunders and F. R. Bonar, "Explicit multiple building diffraction attenuation function for mobile radiowave propagation", *Electro. Lett.*, 1991, **27**, (14), pp. 1276-1277
- [3] L. Juan-Llácer and N. Cardona, "UTD solution for the multiple building diffraction attenuation function for mobile radiowave propagation", *Electro. Lett.*, 1997, **33**, (1), pp. 92-93
- [4] H. L. Bertoni, "Radio Propagation for Modern Wireless Systems", *Prentice Hall*, 2000, pp. 189-192
- [5] J. Walfisch and H.L. Bertoni, "A theoretical model of UHF propagation in urban environments," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. **36**, no.12, pp. 1788-1796, Dec. 1988.
- [6] J-V. Rodríguez, J-M. Molina-García-Pardo and L. Juan-Llácer, "A Multiple-Building Diffraction Attenuation Function expressed in terms of UTD Coefficients for Microcellular Communications", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. **40**, no. 4, Feb. 2004, pp. 298-300.

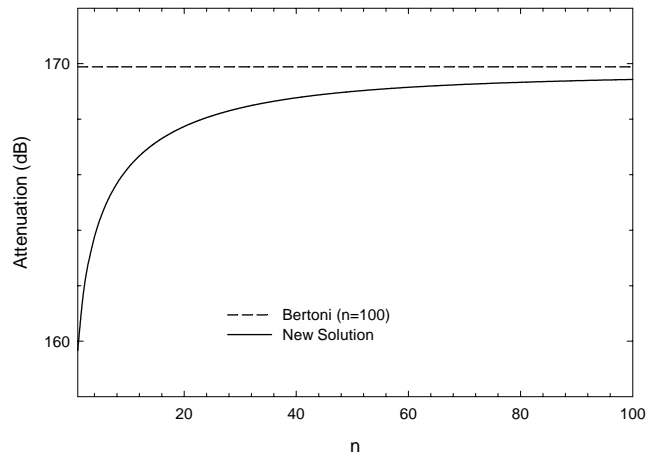


Fig 4. Variación de la atenuación con n . $d_1=1000\text{m}$, $d_2=20000\text{m}$, $h_w=200\text{m}$, $\gamma=45^\circ$

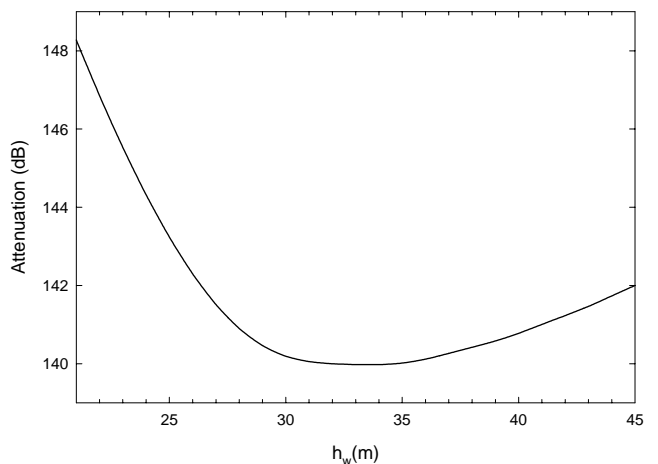


Fig 5. Variación de la atenuación con h_w . $d_1=100\text{m}$, $d_2=200\text{m}$, $\gamma=45^\circ$

- [7] R. J. Luebbers, "Finite Conductivity Uniform GTD versus Knife Edge Diffraction in Prediction of Propagation Path Loss", *IEEE Trans. Antennas Propagation*, vol. AP-32, no. 9, pp. 70-76, Jan. 1984.
- [8] R.G. Kouyoumjian and P.H. Pathak, "A Uniform geometrical theory of diffraction for an edge in a perfectly conducting surface", *Proc. IEEE*, 1974, **62**, (11), pp. 1448-1461