

Propagación electromagnética en el interior de túneles en las bandas de 900 y 1800 MHz.

Ramón M^a Ruiz Tarrés*, Florentino Jiménez Muñoz**, Rafael Herradón Díez**, José M^a Hernando Rábanos ***.

* TELEFÓNICA MÓVILES ESPAÑA, S.A. E-mail: ruiz_r@tsm.es.

**DIAC – E. U. I. T. de Telecomunicación (UPM)

Ctra de Valencia, Km. 7, 28031 MADRID. Tel: 913367785, Fax: 913367784 E-mail: fjimenez@diac.upm.es.

***SSR – E. T. S. I. Telecomunicación (UPM)

ABSTRACT.

This paper shows the most common empirical model used in order to characterise the narrow band power loss propagation in tunnels. The main aspects of each model are discussed. The article offers a table with data of real measurements in several tunnels with different sections, at the frequency of 900 and 1800 MHz, for vertical and horizontal polarizations. Comparative figures and tables are also offered where the fit between real measurements and models is tested.

1. INTRODUCCIÓN

Los modelos empíricos son modelos rápidos y simples, pero no demasiado precisos. Sin embargo, es posible conseguir buenos ajustes a partir de datos relativamente fáciles de obtener. Un gran inconveniente es que sólo caracterizan las pérdidas de propagación.

Por otro lado, los modelos de trazado/lanzamiento de rayos, basados en la determinación de los rayos entre el transmisor y el receptor, necesitan ser alimentados con una gran cantidad de información para conseguir una precisión suficiente. Uno de los principales problemas es la caracterización de las paredes del túnel, tanto desde el punto de vista electromagnético como físico. Otros problemas añadidos son el cálculo de la difracción en aristas, el tratamiento de las superficies curvas, el tamaño de la esfera de recepción, etc [1, 2].

Desde el punto de vista teórico, la propagación electromagnética en túneles ha sido estudiada considerando el túnel como una guía-onda sobredimensionada (dimensiones transversales $\gg \lambda$) e imperfecta (pérdidas dieléctricas en paredes). El análisis de la propagación se realiza estudiando los modos de propagación electromagnéticos híbridos HEM_{mn} [3]. El campo en recepción es consecuencia de un modo fundamental más la suma de infinitos modos de orden superior. El principal problema de este modelo consiste en determinar la contribución de cada modo. Además, los factores de atenuación obtenidos experimentalmente difieren bastante de los que esta teoría predice.

2. MODELOS EMPÍRICOS

En este apartado se indicarán los principales modelos empíricos que se han venido utilizando para calcular las pérdidas por atenuación en túneles:

- Atenuación lineal:

$$L = L_0 + \alpha(dB / m) \cdot d \quad (1)$$

El parámetro α depende de la frecuencia y del túnel concreto. L_0 depende de la frecuencia, del túnel y de la posición y tipo de antena. Tanto α como L_0 deben determinarse realizando medidas. Este modelo es más preciso cuando el efecto de guiado es importante, lo que ocurre típicamente en túneles estrechos, con paredes lisas y despejadas. En túneles para vehículos con dos o más carriles no se consigue un buen ajuste.

- Modelo de una pendiente:

$$L = L_0 + 10 \cdot n \cdot \log(d) \quad (2)$$

En este modelo L_0 suele ser el valor de la atenuación a 1m en espacio libre. Los datos de la referencia [3] de la tabla 1 han sido obtenidos con este modelo. También los valores de la 1ª zona corresponden a esta ecuación, como se verá más adelante. Es útil para túneles rectos o con curvas de radio muy grande.

- Modelo de bloqueo y dos (o más) pendientes [4]:

$$l(d) = \begin{cases} l_0 + 10 \cdot n_1 \cdot \log(d) & d < d_1 \\ l_0 + 10 \cdot n_1 \cdot \log(d_1) + L_1 + 10 \cdot n_2 \cdot [\log(d / d_1)] & d_1 < d < d_2 \\ l_0 + 10 \cdot n_1 \cdot \log(d_1) + L_1 + 10 \cdot n_2 \cdot [\log(d_2 / d_1)] + \\ \quad + L_2 + 10 \cdot n_3 \cdot [\log(d / d_2)] & d_2 < d < d_3 \\ \dots\dots\dots & d_3 < d < \dots \end{cases} \quad (3)$$

Está basado en el modelo de interiores propuesto por el COST 231, y permite una mejor aproximación en túneles con curvas. l_0 es el valor de la atenuación a 1m en espacio libre, n_i es la pendiente en cada tramo y L_i representa la pérdida por difracción al pasar de un tramo a otro (podría asignarse como pérdida de la curva). La figura 1 muestra el ajuste obtenido al utilizar 2 ó 3 pendientes en un recorrido concreto.

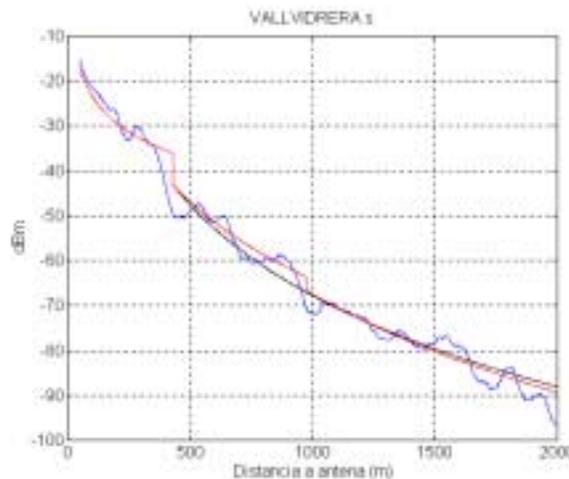


Figura 1. Ajuste con mod. de bloq. con 2 y 3 pendientes.

En la tabla siguiente se muestran los resultados obtenidos a partir de diferentes campañas de medida:

| Túnel + ref | Anch (m) | Alto (m) | Frec. (MHz) | Pol | Pend | Zona | σ |
|-------------|-----------|----------|-------------|------|------|------|----------|
| TFH [3] | 7,5 | 4 | 900 | ver. | 4,44 | | 7,4 |
| TFH [3] | 7,5 | 4 | 900 | hor. | 3,87 | | 5,5 |
| TUM [3] | 7 | 3,7 | 900 | ver. | 3,71 | | 5,0 |
| TUM [3] | 7 | 3,7 | 900 | hor. | 2,96 | | 5,4 |
| SIMT [3] | 2,4 | 2 | 900 | ver. | 2,49 | | 5,2 |
| SIMT [3] | 2,4 | 2 | 900 | hor. | 2,21 | | 4,5 |
| TCMH [3] | 4,2 | 3 | 900 | ver. | 2,37 | | 3,7 |
| TCMH [3] | 4,2 | 3 | 900 | hor. | 1,87 | | 7,3 |
| NS173 [3] | 3,43 | 2,6 | 900 | ver. | 4,49 | | 5,0 |
| NS173 [3] | 3,43 | 2,6 | 900 | hor. | 4,20 | | 5,0 |
| NS173 [3] | 3,43 | 2,6 | 1800 | ver. | 2,46 | | 6,3 |
| NS173 [3] | 3,43 | 2,6 | 1800 | hor. | 2,12 | | 6,1 |
| AZCA [4] | 10 | 5 | 900 | ver. | 2,52 | 1ª | 0,9 |
| AZCA [4] | 10 | 5 | 900 | ver. | 5,26 | 2ª | 1,7 |
| DEHE[4] | 8-14 | 4,5-5 | 900 | ver. | 1,80 | 1ª | 0,5 |
| DEHE [4] | 8-14 | 4,5-5 | 1800 | ver. | 1,80 | 1ª | 0,5 |
| DEHE [4] | 8-14 | 4,5-5 | 900 | ver. | 7,40 | 2ª | 5,6 |
| DEHE [4] | 8-14 | 4,5-5 | 1800 | ver. | 3,60 | 2ª | 2,3 |
| PIO [4] | 6-12 | 4,5 | 9/1800 | ver. | 2,29 | 1ª | 0,6 |
| PIO [4] | 6-12 | 4,5 | 9/1800 | ver. | 3,97 | 2ª | 2,2 |
| GUAD[4] | Radio = 6 | | 900 | ver. | 2,20 | 1ª | 0,7 |
| GUAD[4] | Radio = 6 | | 1800 | ver. | 0,94 | 1ª | 1,7 |
| GUAD[4] | Radio = 6 | | 900 | ver. | 6,50 | 2ª | 2,8 |
| GUAD[4] | Radio = 6 | | 1800 | ver. | 3,80 | 2ª | 1,6 |
| VALLV s | 12 | 9 | 900 | ver. | 2,05 | 1ª | 3,7 |
| VALLV s | 12 | 9 | 900 | ver. | 6,74 | 2ª | 2,9 |
| VALLV b | 12 | 9 | 900 | ver. | 1,84 | 1ª | 3,3 |
| VALLV b | 12 | 9 | 900 | ver. | 8,79 | 2ª | 6,1 |
| BAD in | 9,5 | 6,5 | 900 | ver. | 2,03 | 1ª | 2,7 |
| BAD is | 9,5 | 6,5 | 900 | ver. | 2,31 | 1ª | 3,8 |
| BAD dn | 9,5 | 6,5 | 900 | ver. | 2,36 | 1ª | 3,0 |
| BAD ds | 9,5 | 6,5 | 900 | ver. | 2,09 | 1ª | 4,2 |

Tabla 1. Pendientes de ajuste para varios túneles

| | Dos pend. | | Tres pend. | | Desviación (σ) | |
|--------|-----------|------|------------|-------|-------------------------|------|
| | 1ª | 2ª | 2ª | 3ª | 2 p. | 3 p. |
| VALL s | 2,05 | 6,74 | 5,78 | 7,26 | 3,1 | 2,8 |
| VALL b | 1,84 | 8,79 | 5,68 | 12,62 | 5,5 | 5,2 |

Tabla 2. Ajuste con 2 y 3 pendientes

• Modelo híbrido [5]:

Supone la existencia de dos regiones en la zona de visión directa. En la primera la propagación es en espacio libre. A partir de un determinado "punto de ruptura" la pendiente de pérdidas cambia. Este punto, para túneles rectangular y antenas en el centro, puede determinarse a partir de la siguiente ecuación:

$$d \approx \text{Mínimo} \left[\frac{\text{ancho}^2}{\lambda}, \frac{\text{alto}^2}{\lambda} \right] \quad (4)$$

Esta distancia varía notablemente con la posición de la antena. La ganancia de las antenas no afecta y la permitividad y conductividad de las paredes muy poco.

La mejora en el ajuste es pequeña como puede apreciarse en la figura 2.

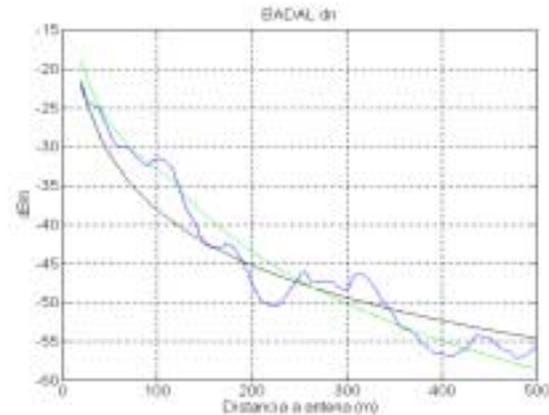


Fig. 2. Ajuste con el mod. híbrido y el de una pendiente.

3. CONCLUSIONES

En general, con los modelos empíricos es posible conseguir ajustes de forma rápida y simple con un error moderado. Para túneles rectos o con curvas de radio muy amplio el modelo híbrido y el de una pendiente son suficientes. Cuando existe una zona sin visión directa, el modelo de 2 ó más pendientes es más adecuado. Los valores para las pérdidas por bloqueo al pasar de una zona a la siguiente varían entre 3 y 12 dB en túneles de 2 ó más carriles con curvaturas suaves (túneles de carretera).

Desde el punto de vista de la planificación de la cobertura de un túnel, estos modelos deben verse como una primera aproximación al problema. Para conseguir una predicción mejor es necesario utilizar programas que implementen modelos más complejos (trazado/lanzamiento de rayos), aunque debemos tener en cuenta que en muchas ocasiones el tiempo y esfuerzo que estos modelos necesitan puede no justificar la mejora obtenida.

4. REFERENCIAS

- [1] D.Discalou, M. Döttling, T. Zwich and W. Wiesbeck, "A novel ray-optical approach to model wave propagation in curved tunnels", IEEE VTS 50th Vehicular Technology Conference, Piscataway, NJ, USA; 1999.
- [2] Gerd Wöflle, "Propagation Models for Indoor Radio Network Planning Including Tunnels". IEEE Antennas and Propagation Society, Davos, Switzerland June 2000.
- [3] Y.P. Zhang and Y. Hwang, "Characterization of UHF Radio Propagation Channel in Tunnel Environments for Microcellular and Personal Communications", IEEE Trans. On Vehicular Techn., Vol. 47, No. 1, february 1998.
- [4] Universidad Politécnica de Madrid - Grupo de Radiocom. Móviles, "Caracterización de instalaciones para comun. móviles" Informes 1, 2 y 3. Dic. 1997, abr. 1999 y oct. 1999.
- [5] Y.P.Zhang, "A Hybrid Model for Propagation Loss Prediction in Tunnels". IEEE Antennas and Propagation Society, Davos, Switzerland June 2000.