

# Verificación del modelo Hata a partir de mediciones de atenuación en la zona urbana de la ciudad de México

Jorge R. Sosa-Pedroza  
Fabiola Martínez-Zúñiga  
Martha Galaz-Larios

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación,  
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Zacatenco,  
Instituto Politécnico Nacional.  
Edificio Z-4, 3er piso, Unidad Profesional "Adolfo López  
Mateos", Col. Lindavista, CP 07738, México DF.  
MÉXICO.

Correo electrónico (email): jsosa@ipn.mx

Recibido el 2 de febrero de 2010; aceptado el 26 de junio de 2010.

## 1. Resumen

Este trabajo presenta la comparación de la aplicación del modelo Hata, con mediciones hechas en la banda de 400 MHz en la ciudad de México, específicamente en una zona suburbana y una rural de alta densidad de vegetación; se pretende definir las diferencias entre ambas para establecer nuevos parámetros en el modelo que sean aplicables a la ciudad de México. Es claro que las características de la ciudad de México y muchas ciudades latinoamericanas contrastan con las ciudades japonesas, en donde se hicieron las mediciones del modelo, por parte de Okumura y Hata. Las mediciones forman parte de un proyecto desarrollado a lo largo y ancho de la ciudad que incluye tanto el centro como las zonas modernas de paredes ligeras y baja altura, típicamente urbana y también las rurales que rodean a la ciudad. Los resultados se presentan comparando la atenuación en ambos casos, en función de la distancia.

**Palabras clave:** propagación electromagnética para sistemas móviles de comunicaciones, modelo de propagación de Hata, cálculo de atenuación de propagación en zonas suburbanas.

## 2. Abstract (Hata Model Verification through Attenuation Measurements over a Suburban Area in Mexico City)

This paper shows a comparative analysis between propagation loss measurements, made over Mexico City, and the Hata Model for a frequency of 400 MHz, we pretend to define the differences for both, in rural and suburban areas. The analysis try to establish the propagation differences due the differences in construction materials as well those related with densities of trees, supposing that our city is quite different to a Japanese city, like those where the model was established by Okumura [1] and modified by Hata [2]. We also include in the analysis, the typical areas of light walls and small sizes houses and the Mexico City rural area, usual suburban zones surrounding the big cities. Results are presented comparing propagation power as a function of distance.

**Key words:** electromagnetic propagation for mobile communication systems, Hata propagation model, attenuation analysis in suburban areas.

## 3. Introducción

Las características de propagación en un sistema de comunicaciones móviles es un problema ampliamente estudiado en muchas partes del mundo; mediante la medición específica en las ciudades de interés, se han propuesto modelos de atenuación que después se han generalizado para otros sitios, sin embargo, para cada lugar es importante corroborar si son aplicables o si las mediciones específicas tienen diferencias que deben llevar a un ajuste de los parámetros del modelo; las herramientas de planificación de redes utilizan los modelos existentes, tal como fueron derivados en el país de origen, por ejemplo, Hata en Japón, Erceg en Estados Unidos o, en el mejor de los casos, en los países en donde se comercializan como el caso de Planet en Estados Unidos. Las herramientas se aplican indiscriminadamente como si todas las ciudades del mundo fueran iguales; es el caso de México, las compañías que diseñan redes de comunicaciones en nuestro país no modifican los parámetros de la herramienta porque

no han caracterizado la propagación electromagnética en nuestras ciudades. Este trabajo tiene el objetivo de validar el modelo de Hata aplicado a las condiciones de la ciudad de México, buscando llenar el hueco que representa la falta de corroboración de datos teóricos a partir de mediciones *in situ*.

El modelo más ampliamente usado para comunicaciones móviles en el mundo, en frecuencias entre 150 y 1 500 MHz, es el desarrollado por Hata [1], que define una formulación empírica a partir de mediciones de propagación hechas en Japón por Okumura [2], posteriormente el modelo fue modificado para incluir frecuencias en las bandas de telefonía celular en el rango de 2 GHz y se propuso para su aplicación por parte de la UIT en la recomendación COST 231 [3], últimamente han surgido otros modelos como el de Erceg [4]. Este trabajo presenta la comparación de la aplicación del modelo Hata con mediciones hechas en la banda de 400 MHz en la ciudad de México, específicamente en la zona suburbana y rural, de espacios abiertos y zonas arboladas como Cuajimalpa, Magdalena Contreras, Milpa Alta, Tlalpan, etc. El estudio es el resultado de un recorrido de aproximadamente 1 500 km por las calles de la ciudad de México, con un promedio calculado por minuto, sobre mediciones hechas cada 0.3 segundos, lo que aproximadamente representa una medición cada 600 m sobre velocidades que dependían de la cantidad de tráfico y de las vías recorridas.

Hemos escogido para la presentación en este trabajo dos zonas típicas definidas por Hata: una ciudad media en una zona residencial de casas bajas, no mayores a 10 m, y calles relativamente anchas y una zona rural de espacios amplios, con vegetación o sembradíos y casas bajas de 5 m muy espaciadas unas de otras. El procedimiento consiste en comparar las mediciones de atenuación con los resultados empíricos de Hata, para establecer diferencias entre ambos. A partir de estas mediciones se pretende corroborar la pertinencia del modelo de Hata cuando es aplicado a las condiciones de la zona suburbana y rural de la ciudad de México, como se verá al final, es necesario hacer correcciones al modelo para que sea verdaderamente aplicable a las condiciones de nuestra ciudad o de ciudades similares.

#### 4.1. El modelo Hata

El modelo Hata es el más usado en la planeación y predicción de propagación de los sistemas de comunicaciones móviles, en el rango de 150 a 1 500 MHz, partiendo de los estudios de Okumura, modificó el modelo proponiendo el uso como una nueva variable el factor de corrección de altura de la antena del móvil, definida a partir del "tamaño" de la ciudad, en relación con la altura de los edificios, así, una ciudad grande es la

que tiene edificios de altura superior a 15 m, una ciudad mediana es aquella que tiene edificios de alturas promedio inferiores a 10 m, por otro lado, una zona suburbana es la que tiene edificios bajos y espacios amplios y una zona rural la conformada por espacios abiertos con alguna vegetación, aunque en este estudio las áreas arboladas son de alta densidad; por supuesto en una misma ciudad pueden haber condiciones diferentes y debe aplicarse aquella que corresponda a la zona en que se desea determinar la atenuación.

El modelo de Hata permite determinar las pérdidas de propagación a partir de la ecuación empírica dada por [5]:

$$L_{50} \text{ (dB)} = 69.55 + 26.16 \log f_c - 13.82 \log h_{te} - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55 \log h_{te}) \log d \quad (1)$$

donde:

$f_c$  = Frecuencia portadora [150-1 500 MHz]

$h_{te}$  = Altura de antena transmisora en metros para 30-200 m

$h_{re}$  = Altura de antena receptora en metros para 1-10 m

$d$  = Distancia entre transmisor y receptor en km

$a(h_{re})$  = Factor de corrección para la altura efectiva de la antena móvil, que es función del tipo de área de servicio.

La corrección para la altura de la antena móvil se establece en la siguiente forma:

Para ciudades pequeñas y medianas:

$$a(h_{re}) = (1.1 \log f_c - 0.7) h_{re} - (1.56 \log f_c - 0.8) \text{ dB} \quad (2)$$

Para ciudades grandes:

$$a(h_{re}) = 8.29 (\log 1.54 h_{re})^2 - 1.1 \text{ dB} \quad (3)$$

donde  $h_{re}$  es una función de la frecuencia, dada por:

$$a(h_{re}) = 8.29 (\log 1.54 h_{re})^2 - 1.1 \text{ dB} \quad (4)$$

para  $f_c < 300$  MHz

$$a(h_{re}) = 3.2 (\log 11.75 h_{re})^2 - 4.97 \text{ dB} \quad (5)$$

para  $f_c > 300$  MHz

Para ambientes suburbanos o rurales, se aplican las siguientes correcciones:

Áreas suburbanas:

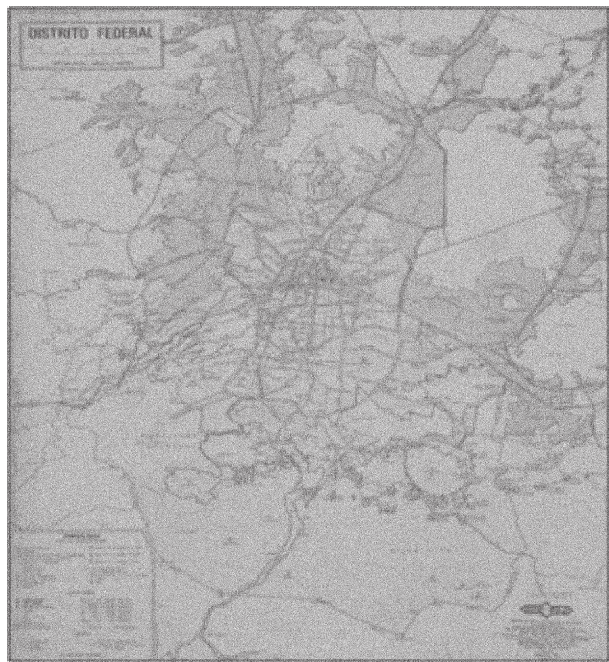
$$L \text{ (dB)} = L_{50}(\text{urbano}) - 2[\log(f_c/28)]^2 - 5.4 \quad (6)$$

Áreas rurales:

$$L \text{ (dB)} = L_{50}(\text{urbano}) - 4.78(\log f_c)^2 + 18.33 \log f_c - 40.94 \quad (7)$$

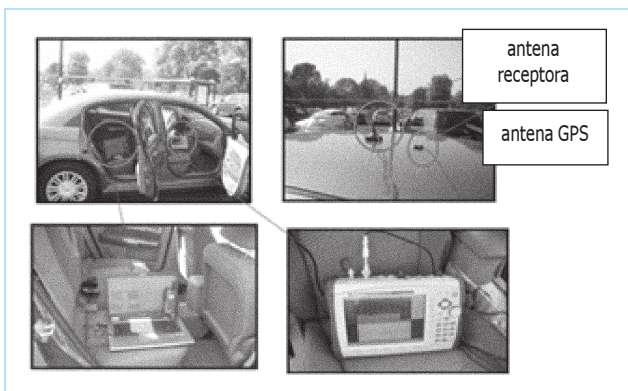
#### 4.2. El experimento

El estudio es el resultado de un recorrido de aproximadamente 1 500 km por las calles de la ciudad de México, la figura 1 muestra un mapa con el recorrido total. El experimento (figura 2) se desarrolló montando la antena receptora

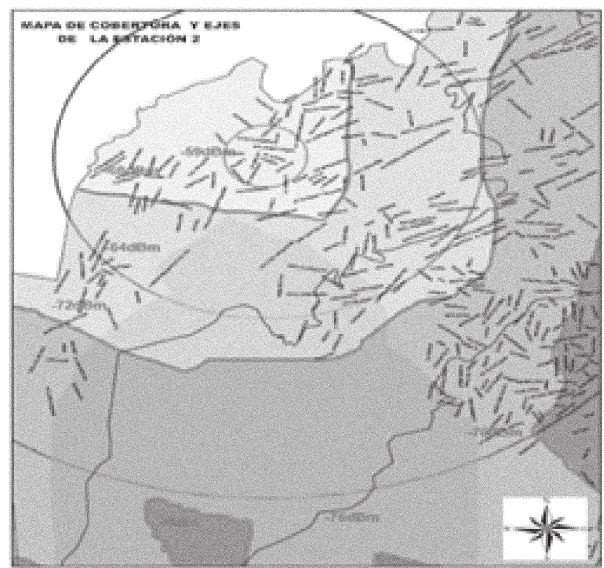


**Fig. 1.** Mapa del recorrido total del experimento.

sobre el techo de un automóvil, conectada a un receptor ANRITSU que guarda en memoria tres datos por segundo, mismos que promedia cada minuto, lo que aproximadamente representa una medición cada 600 m para velocidades que dependían de la cantidad de tráfico y de las vías recorridas; se hicieron mediciones sobre 22 estaciones base, diseminadas por toda la ciudad de México, cada estación fue clasificada de acuerdo a la definida por Hata y se seleccionaron dos tipos: media y rural.



**Fig. 2.** Procedimiento de medición.



**Fig. 3.** Patrón de cobertura de la estación 1.

Cada estación base tiene varias frecuencias asignadas pero, por razones de confidencialidad, genéricamente se ha seleccionado la frecuencia como 400 MHz y no se establece su posición exacta. Todas las mediciones están georeferenciadas de tal modo que el cálculo de distancia, entre la estación base correspondiente y los puntos de comparación, se considera totalmente confiable.

Para cada estación base se han construido patrones de cobertura, como los de las figuras 3 y 4, los patrones muestran isolíneas



**Fig. 4.** Patrón de cobertura de la estación 2.

rojas que describen la variación de potencia sobre el área, el área de estudio se marca en ambas figuras por la zona verde, que es la cobertura de un sector de la antena transmisora. Se muestran igualmente círculos que describen la potencia calculada de acuerdo con el modelo de Hata, lo que permite hacer una comparación adecuada entre las mediciones y el modelo. Partiendo de que las zonas de estudio tienen estructuras de construcción similares, aunque no del todo iguales, hemos tomado el valor promedio de la potencia recibida para cada distancia, mismos que comparamos con los resultados empíricos de Hata, las figuras 5 y 6 son fotografías tomadas en los sitios de medición que ilustran los lugares que se caracterizan en este trabajo.

En general los parámetros de transmisión para todas las estaciones son:

$$P_t = 44 \text{ dBm}$$

$$\text{Ganancia de antena transmisora } G_t = 7.5 \text{ dB}$$

$$\text{PIRE} = 49 \text{ dBm}$$

$$\text{Ganancia de antena receptora } G_r = 2 \text{ dB}$$

La atenuación se refiere a la relación

$$\alpha = \frac{P_R}{\text{PIRE} \times G_t \times G_r} \quad (8)$$

Donde  $P_R$  es la potencia promedio medida en el receptor.

Las figuras 7 y 8 muestran las áreas de cobertura pero sobre un mapa urbano de las zonas de estudio, estas fotografías permiten observar los obstáculos que inciden en la propagación electromagnética. También se marcan las isolíneas de potencia, como referencia del análisis.



Fig. 5. Área de medición de la estación 1.



Fig. 6. Área de medición de la estación 2.

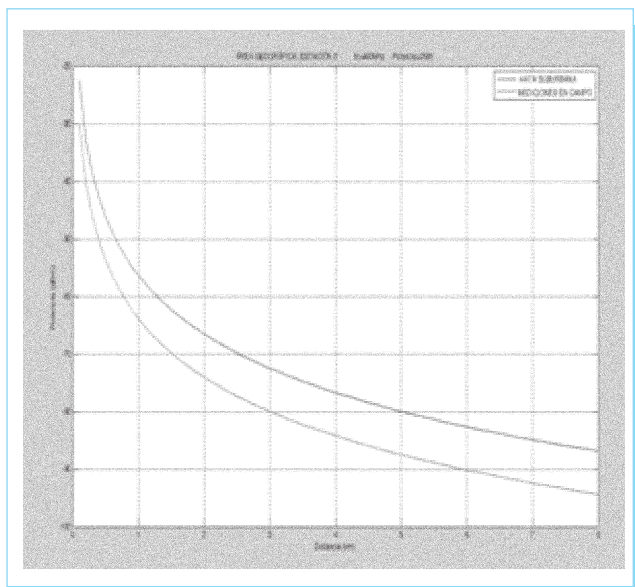
## 5. Resultados

Considerando que los patrones fueron seleccionados para la zona específica de clasificación, cabe aclarar que la clasificación de rural y suburbana es la usada por Hata para definir las diferencias de comportamiento de la propagación en su modelo.

MAPA DE LA ESTACIÓN 1 CON NIVELES DE POTENCIA



Fig. 7. Mapa de la estación 1.

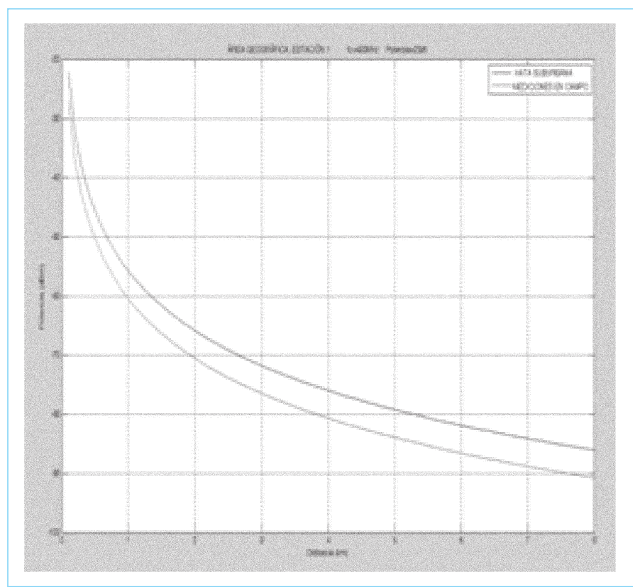


**Fig. 8.** Hata vs. resultados medidos.

Suponiendo que su comportamiento debe ser similar debido a las características de construcción, se usó la ecuación (1) con los factores de corrección definidos en (2), (3), (5), (6), (7) y un factor de corrección para la ganancia de la antena. Se desarrolló un programa que toma los valores promedio de potencia en función de la distancia, y que compara con los definidos para la potencia esperada para el modelo de Hata usando la ecuación (8), la comparación entre ambos define el parámetro de diferencia.

Como se observa en las gráficas de propagación, las isolíneas son irregulares debido a la presencia de los obstáculos que forman edificios, árboles, lomeríos o cañadas, en particular de las figuras 3 y 4 se puede comparar con los resultados del modelo de Hata, que al no considerar los accidentes del terreno, las isolíneas se presentan como círculos, la diferencia entre las mediciones y el modelo han sido promediadas para establecer un parámetro constante. Los resultados se presentan en la gráfica de la figura 8 para una zona rural (considerada así por la alta concentración de árboles), descrita por la figura 7 y en la figura 9 para una zona suburbana, descrita por la figura 8; las diferencias son de 4.7 y 7.5 dB respectivamente, estos resultados son similares a los obtenidos en otras zonas de la ciudad con las mismas características [5].

Analizando los resultados podemos suponer que la diferencia con Hata, en el caso de la zona suburbana, se debe a las características de los materiales de construcción, mientras que para



**Fig. 9.** Hata vs. resultados medidos en zona suburbana.

el caso de la zona rural, tanto la absorción del suelo, como la absorción debido a la concentración de árboles, pueden ser la razón que explique los 7.5 dB de diferencia.

## 6. Conclusiones

Se han presentado resultados que comparan el Modelo de Hata con mediciones hechas en la Ciudad de México, específicamente en una zona rural y una suburbana; el análisis muestra diferencias que se considera deberían ser tomadas en cuenta en el diseño de enlaces en nuestra ciudad. Considerando que este es un estudio preliminar es de esperarse un análisis complementario, haciendo la comparación con otros modelos, como el de Erceg, trabajo en el que estamos ahora involucrados. Igualmente se requiere hacerlo extensivo a otras frecuencias, actualmente desarrollamos un plan de mediciones en 3.5 GHz y continuaremos con 800 MHz y 1.9 MHz. Se está trabajando también en un análisis más detallado de las mediciones, considerando que contamos con archivos por segundo, por lo que se puede hacer casi metro por metro, para establecer zonas oscuras para relacionarlas con zonas de clasificación, materiales, dimensiones de las calles o características del suelo.

## 7. Referencias

- [1] Y. Okumura *et al.* "Field strength and variability in VHF and UHF land-mobile radio service" *Rev. Elec. Commun. Lab.*, vol. 16, 1968

- [2] Masaharu Hata "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services" *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. VT-29, No. 3, August 1980.
- [3] European Cooperative for Scientific and Technical Research, Rec. COST 231.
- [4] Vinko Erceg *et al.* "An Empirical Based Path Loss Model for Wireless Channels in Suburban Environments", *IEEE, Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 17, No. 7 July 1999
- [5] David Parsons. *The Mobile Radio Propagation Channel*, Pentech Press, London, 1994.
- [6] Jorge R. Sosa-Pedroza, Fabiola Martínez-Zúñiga, Miguel Sánchez-Meraz "Comparing Hata model with Mexico city's measurements in 400 MHz", *Proceedings of LATINCOM workshop*, Medellín Colombia, September 2009.

# DOAJ

## Directory of Open Access Journals

20% of peer-reviewed articles  
across all disciplines  
are now freely available

<http://www.doaj.org/>