

Comparación del modelo Hata con mediciones de atenuación en la ciudad de México

Fabiola **Martínez-Zúñiga**

Jorge R. **Sosa-Pedroza**

María Elena **Acevedo-Mosqueda**

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

correo electrónico (email): jsosa@ipn.mx
fmartinezzu@ipn.mx
macevedo@ipn.mx

Recibido el 12 de enero de 2011; aceptado el 30 de julio de 2011.

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, se pretende establecer una alternativa de aplicación para las viejas ciudades coloniales españolas de América Latina. El estudio pretende establecer una relación objetiva entre el modelo y mediciones hechas en una ciudad de edificios de paredes gruesas de piedra, con alturas superiores a 15 m y calles angostas, que contrasta estructuralmente con las ciudades japonesas, en donde se hicieron las mediciones del modelo, por parte de Okumura y Hata. Se incluyen también en el análisis, las zonas modernas de paredes ligeras y baja altura de una zona típicamente urbana y sin dejar a un lado las zonas rurales que rodean normalmente a las antiguas ciudades. Los resultados se presentan comparando la atenuación en ambos casos, en función de la distancia.

Palabras clave: Okumura, Hata, modelo COST 231, mediciones en 400MHz, estándar TETRA.

2. Abstract (Comparison of Hata Model with Measurements of Attenuation in Mexico City)

This paper presents a comparative analysis between the Hata model for mobile communications, with measurements for a

400MHz, made in a specific place in Mexico City. As the model was developed in Tokio, we pretend to analyze its applicability to a city with different building structure. The analysis try to define a relationship between the model predictions and measurements realized in a city with buildings having heavy stone walls, heights over 15 m and narrow streets. A city with these characteristics is quite different to those Japanese cities where the model was established by Okumura and modified by Hata. Results are presented as graphs of received power vs. distance, showing the difference between Hata model and average of measurements.

Key words: Hata propagation model, attenuation analysis in Mexico City, TETRA, 400MHz.

3. Introducción

En 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. El modelo más ampliamente usado para comunicaciones móviles en el mundo, para frecuencias entre 150 MHz y 1500 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]. El trabajo presenta la comparación de la aplicación del modelo Hata con mediciones hechas en la banda de 400 MHz en la Ciudad de México, se pretende establecer una alternativa de aplicación, para las viejas ciudades coloniales españolas de América Latina, con edificios de paredes gruesas de piedra, con alturas superiores a 15 m y calles angostas, incluyendo también las zonas modernas de paredes ligeras, con estructuras metálicas y grandes ventanales de vidrio y sin dejar a un lado las zonas rurales que rodean normalmente a las antiguas ciudades. El estudio es el resul_

tado 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 tres zonas típicas definidas por Hata: una ciudad alta, en el centro histórico de la ciudad de México, con edificios de altura superior a 15m y calles angostas, 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 alguna 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.

4. El modelo Hata

El modelo Hata es el más usado en la planeación y predicción de propagación en sistemas de comunicaciones móviles, en el rango de 150 MHz a 1500 MHz; partiendo de los estudios de Okumura, Hata modificó el modelo proponiendo como nueva variable un factor de corrección de altura de la antena del móvil, definida para cada "tamaño" de la ciudad. La clasificación del tamaño de la ciudad, se relaciona con la altura de los edificios, así una ciudad grande es aquella que tiene edificios de alturas promedio superiores a 10 m y una ciudad mediana o pequeña tiene edificios de menor altura. Por otro lado, una zona suburbana está formada por edificios bajos y espacios amplios, mientras que una zona rural está conformada por espacios abiertos con alguna vegetación. Por supuesto en una misma ciudad puede haber condiciones diferentes y debe aplicarse aquella que corresponda a la zona en que se desea determinar la atenuación. El modelo de Hata permite obtener pérdidas de propagación a partir de la ecuación empírica dada por:

$$L_{pu} \{ \text{área urbana} \} = 69.55 + 26.16 \log_{10} f - 13.82 \log_{10} h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_b) \log_{10} R$$

propagación a partir de la ecuación empírica dada por [4]:

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

donde:

f_c	frecuencia portadora [150 -1500 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
$a(h_{re})$	factor de corrección para la altura efectiva de la antena móvil como del tipo de área de servicio
d	distancia entre transmisor y receptor en km

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:

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

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 $f_c < 300 \text{ MHz}$

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

para $f_c > 300 \text{ MHz}$

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:

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

5. El experimento

La comprobación de la aplicabilidad del modelo de Hata en la ciudad de México se hizo mediante mediciones de propagación en un recorrido de aproximadamente 1 500 km sobre la ciudad, usando 22 estaciones fijas que trabajan en 400 MHz [5].

El experimento se desarrolló montando la antena receptora sobre el techo de un automóvil, conectada a un analizador ANRITSU (BTS) que guarda en memoria el promedio de 3 datos por segundo, se hicieron mediciones sobre 22 estaciones base, diseminadas por toda la ciudad de México, para el caso que nos ocupa las frecuencias son cercanas a los 400 MHz. La clasificación para cada zona se hizo de acuerdo a la de Hata; así el centro histórico se define como zona urbana alta, las zonas urbana media y suburbana se establecen para la mayoría de las colonias restantes y la zona rural en el sur de la ciudad.

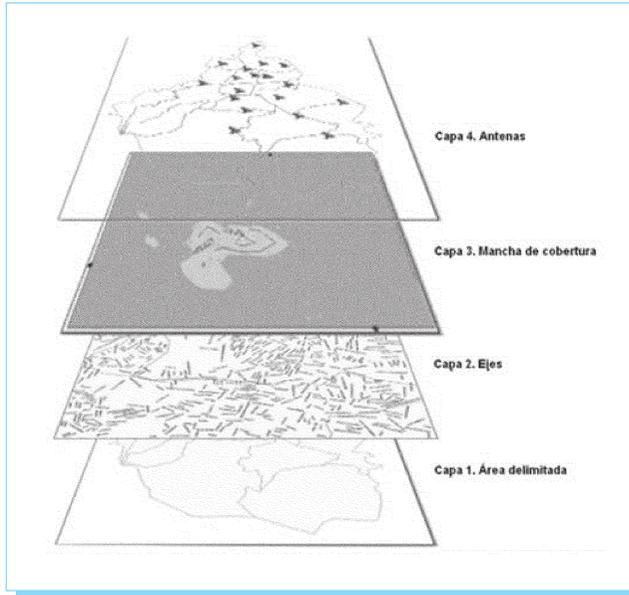


Fig. 1. Integración del sistema de información geográfica.

En general las características de transmisión para todas las estaciones son:

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

Ganancia de antena transmisora $G_t = 7.5 \text{ dB}$, PIRE = 49 dBm

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

Para calcular la atenuación, a partir de las mediciones se usó la ecuación:

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

Donde P_R es la potencia promedio medida en el receptor.

El equipo de medición entrega resultados georreferenciadas de modo que es posible construir mapas usando el sistema ArcGis de información geográfica (figura 1), permitiendo el análisis de propagación por zona de estudio. Para hacer más eficiente el análisis, hasta donde fue posible, se cerraron círculos en los recorridos, la figura 2 muestra un ejemplo del procedimiento.

La función "anализador de interferencias" del BTS, despliega un espectrograma que es una representación en dos dimensiones de frecuencia y tiempo, mientras que los niveles de potencia se muestran en una escala de colores en la parte izquierda como se observa en la figura 3; usando el estándar de comunicaciones TETRA, que se programa en el analizador, es posible medir niveles de potencia en el rango de frecuencia 390-

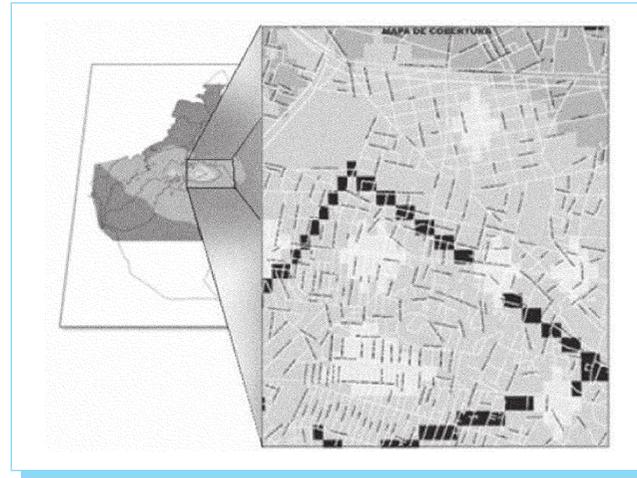


Fig. 2. Mapa de cobertura georreferenciado.

400 MHz, que es el sistema bajo medición de las 22 estaciones base, cada una con un promedio de ocho portadoras. El recuadro superior del aparato muestra la posición geográfica, así como la fecha y hora de la medición; el BTS almacena una posición GPS cada vez que localiza una nueva posición georreferenciada (aproximadamente cada 30 s). En la parte inferior se muestran las portadoras presentes y su nivel de potencia y en la pantalla principal los trazos de la medición de las portadoras en el ancho de banda seleccionado. Cada archivo georreferenciado por el GPS genera la base de datos de potencia medida contra posición geográfica, de modo que es

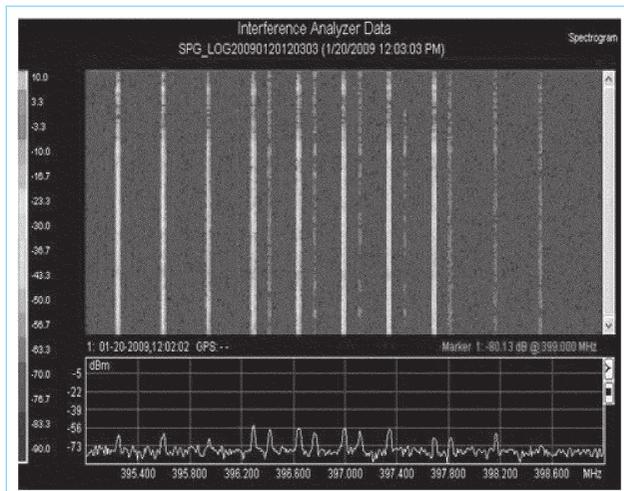


Fig. 3. Espectrograma dentro de la función analizador de interferencias del BTS.

posible mostrarlos como una capa en el software del sistema de información geográfica ArcGIS.

6. Procesamiento de la información

Para procesar la base de datos del BTS se diseñó un programa en lenguaje C, que permite discriminar las portadoras que no correspondan a la radiobase de interés y que genera datos georreferenciados con el promedio de potencia de las mediciones de cada archivo, teniendo en esta forma valores puntuales de potencia promedio con su respectiva localización geográfica. Una vez filtradas las portadoras de interés, se calcula la potencia promedio de cada archivo guardado. El nivel de potencia de la base de datos final para generar los mapas de cobertura, es el promedio de los promedios de las portadoras de cada una de las estaciones. El programa entrega una base de datos georeferenciada por cada punto GPS. En total son alrededor de 1 200 puntos por estación.

Para construir los mapas de cobertura, que son usados por el ArcGis, los datos puntuales deben convertirse en líneas de cobertura, para ello se usa el software Easy Krig que realiza la interpolación para generar áreas geográficas de potencia y marca líneas de potencia de la misma magnitud (isolínea). El programa genera dos mapas uno con mediciones puntuales georeferenciadas y otro con mediciones continuas o mancha de cobertura, que son superpuestos en el ArcGis que son los mapas de cobertura georeferenciados con los niveles de potencia medidos. La base de datos se captura en la capa 1 del SIG. El programa también agrupa niveles de potencia entre límites preestablecidos, definidos por un código de colores que permite visualizar desde las potencias mayores (tonos claros) hasta las menores (tonos más oscuros), véase figura 4. Es claro que los niveles mayores están cerca de la radiobase y los demás cambian de color en función de los obstáculos que encuentren en el terreno. Es evidente que conforme la distancia aumenta, la potencia disminuye debido a las pérdidas por trayectoria, incluyendo otros factores que atenúan la señal. El límite entre dos colores define una isolínea.

Como las mediciones están georeferenciadas es posible calcular la distancia, entre una estación base y cualquier punto relacionado con ella, por lo que se pueden comparar con el cálculo del modelo de Hata.

El ArcGis contiene una herramienta que permite la medición de distancias georeferenciadas. Una vez ubicada la isolínea y la estación base, se midieron distancias promedio entre el transmisor y las isolíneas para correlacionar las dos variables que nos interesan: potencia medida y distancia entre el punto de transmisión y recepción; los datos son entonces comparados con el cálculo de atenuación del modelo Hata.

TONO	NIVEL DE CAMPO (dBm)
	MAYOR A -63
	ENTRE -63 Y -70
	ENTRE -70 Y -78
	ENTRE -78 Y -86

Fig. 4. Código de tonos de niveles de campo.

Este proceso fue aplicado a las 22 estaciones base, la figura 5 muestra un ejemplo.

La variable que falta considerar, de acuerdo con Hata, es el tipo de terreno. Si se seleccionan las diferentes zonas adecuadamente, las estructuras de construcción pueden suponerse similares y entonces definir las para cada estación base. En función del análisis de terreno, las 22 estaciones base se clasificaron como sigue:

CIUDAD GRANDE

- Estación 8. Ubicación: Delegación Cuauhtémoc.
- Estación 17. Ubicación: Delegación Cuauhtémoc.
- Estación 20. Ubicación: Delegación Cuauhtémoc.

CIUDAD MEDIA

- Estación 1. Ubicación: Delegación Venustiano Carranza.
- Estación 4. Ubicación: Delegación Azcapotzalco.
- Estación 5. Ubicación: Delegación Iztapalapa.
- Estación 7. Ubicación: Delegación Gustavo A. Madero.

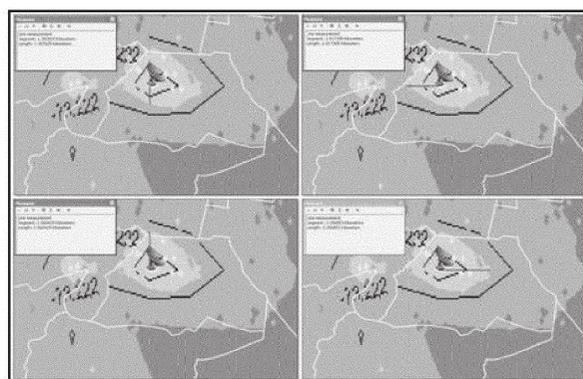


Fig. 5. Medición de distancias promedio.

- Estación 12. Ubicación: Delegación Iztapalapa.
- Estación 13. Ubicación: Delegación Iztacalco.
- Estación 15. Ubicación: Delegación Coyoacán.
- Estación 16. Ubicación: Delegación Benito Juárez.
- Estación 18. Ubicación Delegación Tlalpan
- Estación 19. Ubicación: Delegación Gustavo A. Madero.
- Estación 21. Ubicación: Delegación Gustavo A. Madero.

ZONA SUBURBANA

- Estación 10. Ubicación: Delegación Álvaro Obregon.
- Estación 11. Ubicación: Delegación Álvaro Obregon.

ZONA RURAL

- Estación 14. Ubicación: Delegación Iztapalapa.
- Estación 22. Ubicación: Delegación Álvaro Obregón.

Una vez que se hizo la clasificación se generaron los mapas para cada estación; como ejemplo, la figura 6 muestra la estación 8 de la Delegación Cuauhtémoc definida como "Ciudad grande". En la figura se marca la isolínea con promedio de potencia -72.15 dBm, de la que puede calcularse una distancia promedio de 4.94 kilómetros.

Aunque no se muestran en la figura 6, es posible construir más isolíneas y obtener la distancia promedio para cada una. Si se conoce la altura de la antena, que en este caso es 63 m,

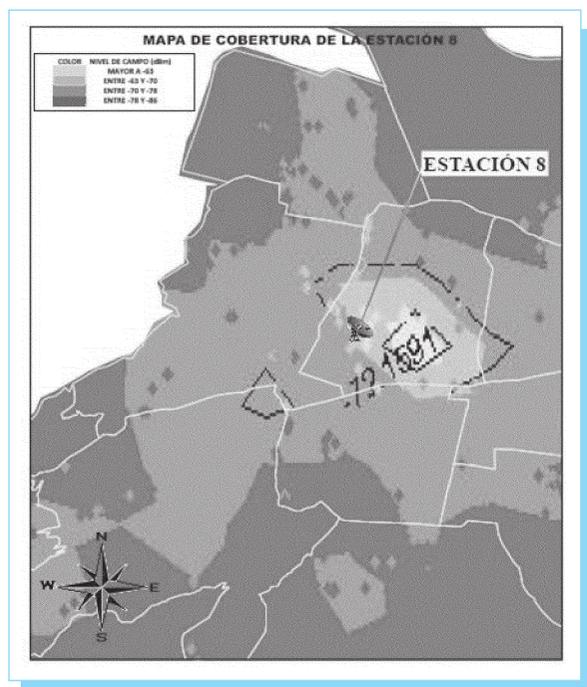


Fig. 6. Mapa de cobertura de la estación 8.

la relación distancia-potencia permite comparar la potencia esperada del modelo de Hata para cada distancia.

Se procedió en forma similar para las 22 estaciones respetando su clasificación en función del tipo de entorno en donde se localizan; se obtuvieron las distancias promedio y el nivel de potencia a partir de las isolíneas generadas por el software.

7. Resultados

Todas las relaciones distancia-potencia obtenidas de los mapas por cada zona permitieron generar una base de datos con las que se generaron curvas de regresión que se compararon con las obtenidas a partir del cálculo del modelo de Hata. Las figuras 7 a 10 muestran los resultados de la comparación.

8. Discusión

El trabajo que aquí se presenta tiene como objetivo comparar el modelo de Hata con el ambiente de propagación de la ciudad de México. Es claro que el modelo de Hata se desarrolla sobre condiciones muy diferentes a la de nuestra ciudad, los resultados así lo muestran con diferencias de hasta 12 dB. Una característica importante en la ciudad de México, son sus unidades habitacionales, o bien las características del centro histórico de la ciudad de México con edificios coloniales de alturas mayores a 15 m sobre calles angostas, que no existen en Japón. De acuerdo con los resultados se observa que la diferencia para la "ciudad grande" es de 8.91 dB, para la "ciudad media" de 11.97dB, para la zona suburbana 8.34dB y para la zona rural -7.82 dB; a ex-

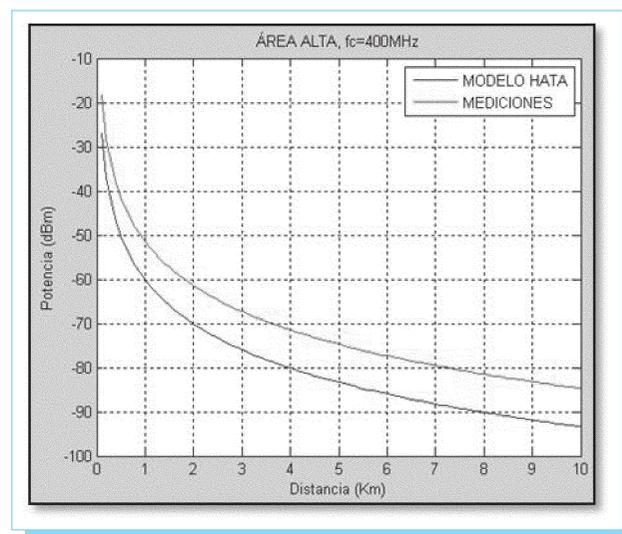


Fig. 7. Comparación para una ciudad grande.

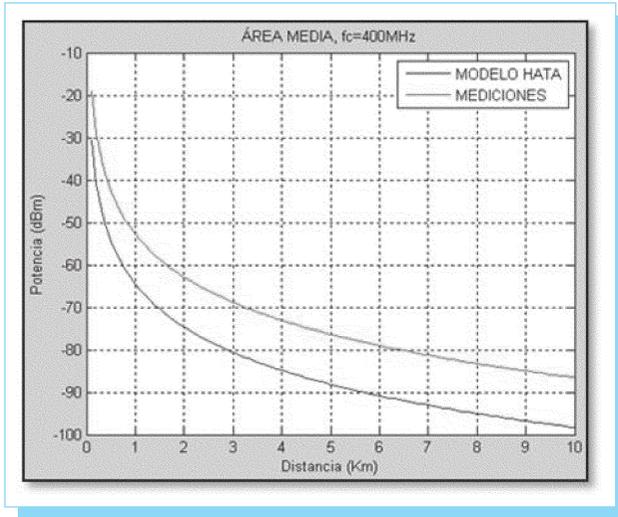


Fig. 8. Comparación para una ciudad media.

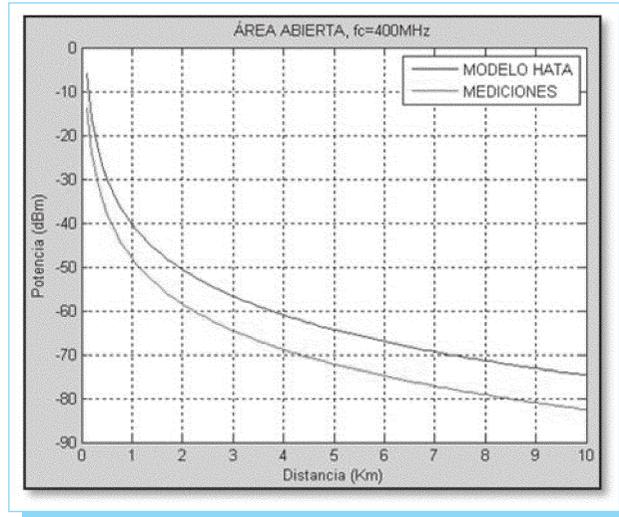


Fig. 10. Comparación para zona rural.

cepción de la zona rural donde la atenuación es menor que la predicha por Hata (mayor potencia), en la ciudad de México existe mayor atenuación en los ambientes definidos por el modelo, por tanto es necesario ajustarlo para que sea aplicado, sumando o restando las diferencias según sea el caso.

9. Conclusiones

Se han presentado resultados de medición de propagación en la ciudad de México en las que se ha demostrado la gran dife-

rencia que existe al compararlos con el modelo de Hata. Independientemente de la necesidad de ampliar el estudio a otras frecuencias, los planeadores de comunicaciones de la ciudad de México y de ciudades similares, como hay muchas en el país y en otros lugares de Latinoamérica, deben considerar la gran diferencia que arroja la comparación, toda vez que el modelo Hata es el más usado en el diseño de sistemas.

Con la información de la distribución territorial puede caracterizarse el modelo y por tanto decidir si es aplicable a las condiciones específicas de la ciudad, se entiende sin embargo, que una decisión en este sentido debe basarse en estudios más amplios que incluyan otras bandas de frecuencia; los autores trabajan actualmente en este sentido.

Además de los resultados de arriba, es necesario destacar que también este trabajo establece una metodología que permite aprovechar un Sistema de Información Geográfica (SIG) para visualizar de manera puntal el comportamiento de la propagación electromagnética sobre las diferentes zonas de estudio. La construcción de los mapas a partir de las mediciones georreferenciadas, usando la extrapolación del método de Krige, la superposición en el SIG y la obtención de promedios de distancia para las isolíneas, permiten llegar a las conclusiones sobre el modelo de Hata.

10. Referencias

- [1] Y. Okumura, E. Ohmori, T. Kawano, y K. Fukua, "Field strength and variability in VHF and UHF land-mobile

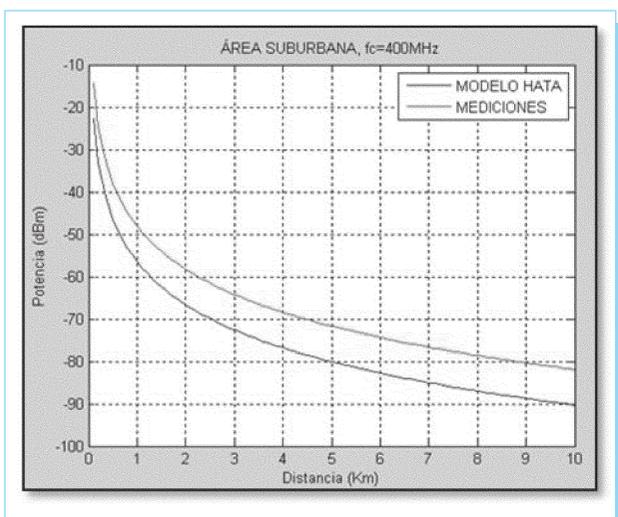


Fig. 9. Comparación para zona suburbana.

- radio service", *Rev. Elec. Commun. Lab.*, vol. 16, núm. 9, 1968.
- [2] M. Hata, "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services", *IEEE, Transactions on Vehicular Technology*, vol. VT-29, núm. 3, pp. 317-325, agosto 1980.
- [3] COST 231, "Urban transmission loss models for mobile radio in the 900 and 1800MHz bands (rev.2)", COST 231 TD(90), 119 Rev. 2, Den Haag, 1991. Research, Rec.
- [4] D. Parsons. *The Mobile Radio Propagation Channel*, Pentech Press, London, 1994.
- [5] J. R. Sosa-Pedroza, F. Martínez-Zúñiga, y M. Sánchez-Meraz "Comparing Hata model with Mexico city's measurements in 400 MHz", *Proceedings of LATINCOM Workshop*, Medellín Colombia, septiembre 2009.

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas
de América Latina y el Caribe,
España y Portugal

758 revistas

16 610 números

205 429 artículos a texto completo

www.redalyc.uaemex.mx