

SOFTWARE BASADO EN PROCESAMIENTO DIGITAL DE UNA BASE DE DATOS TOPOGRAFICOS, PARA EL CÁLCULO DE LOS NIVELES RSSI EN BTS DE TELEFONÍA CELULAR

SOFTWARE BASED IN DIGITAL PROCESING OF TOPHOGRAPHICS DATA BASE, TO CALCULATE LEVELS OF RSSI ON BTS OF TELEPHONY CELLULAR

José Alberto Díaz Zegarra¹, Guillermo Kemper Vásquez², José Luís Muñoz Meza³

RESUMEN

Se implementó un software en ambiente visual, que realiza el análisis de cobertura de una BTS de telefonía celular, a partir de parámetros proporcionados por el fabricante de la antena y de los datos digitales correspondientes a la topografía del lugar. El software implementado tiene interfaces graficas para ingresar los parámetros de la antena, patrón de radiación, etc. y coordenadas de la ubicación. El programa presenta un informe visual de la cobertura mediante un código de colores, indicando los diferentes niveles de recepción y el informe sobre los datos obtenidos del cálculo de cobertura de una estación base, usando modelos matemáticos para sistemas outdoor. Los datos para la validación del presente trabajo fueron obtenidos de la implementación de una estación base celular de pruebas, consistente en un transmisor de telefonía celular en la banda de 800 MHz, antena sectorial, se realizó la medición de los niveles recibidos RSSI y estos son comparados con los teóricos y luego son graficados en Matlab para determinar el error absoluto entre los valores reales y los obtenidos mediante el software.

Palabras clave.- Modelos, Radiopropagación, Telefonía celular.

ABSTRACT

A software was implemented in visual environment that carries out the analysis of covering of a BTS of cellular telephony, starting from parameters provided by the maker of the antenna and of the digital data corresponding to the topography of the place. The implemented software has graphic interfaces to enter the parameters of the antenna, radiation pattern, etc. and coordinated of the location. The program presents a visual report of the covering by means of a code of colors, indicating the different reception levels and the report on the obtained data of the calculation of covering of a station bases, using mathematical models for systems outdoor. The data for the validation of the present work were obtained of the implementation of a station it bases cellular of tests, consistent in a transmitter of cellular telephony in the band of 800 MHz, sectoral antenna, was carried out the mensuration of the received levels RSSI and these they are compayed with the theoretical ones and then they are drowed in Matlab to determine the absolute error among the real values and those obtained by means of the software.

Key words.- Models, Radiopropagation Thelephony cellular.

¹Ing., Docente, e Investigador de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional de Ingeniería, Master, ²Dr., Docente e Investigador de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional de Ingeniería, ³Master, Ing., Docente e Investigador de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional de Ingeniería

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se ha implementado una herramienta computacional para el cálculo de radiopropagación y cobertura en telefonía celular, la que se desarrolló en lenguaje visual, basada en modelos matemáticos outdoor y una base de datos topográficos, también se ha implementado una estación base (BTS) para pruebas, y los datos obtenidos de las mediciones realizadas en la BTS han sido comparados con los obtenidos en la herramienta computacional de predicción de niveles RSSI, luego los datos son graficados en Matlab y son comparados.

Se halló el valor absoluto de la diferencia de ambas curvas, determinando una curva de error en cada caso y en cada modelo, las cuales, son analizadas estadísticamente para encontrar un coeficiente de corrección, que es el factor de atenuación propio de nuestro medio.

MODELOS DE RADIOPROPAGACIÓN USADOS EN TELEFONÍA CELULAR

El trabajo ha sido desarrollado para un entorno a gran escala con modelos de propagación Outdoor; Algunos términos usados en este trabajo hacen uso de las definiciones usadas en [1] la Rec. ITU-R 310 y la base de datos esta en formato WGS-84 y cumple con la recomendación [2] ITU-R 1058.

Modelo De Hata - Okumura

Válido desde 150 MHz a 1500 MHz, el valor medio de pérdida de propagación se da en la ecuación 1.

$$L(\text{dB}) = 69,55 + 26,16 \log_{10} f_{\text{MHz}} - 13,82 \log_{10} h_b - a(h_m) + (44,9 - 6,55 \log_{10} h_b) \log_{10} d_{\text{Km}} - K \quad (1)$$

Donde f_{MHz} es frecuencia en MHz, h_b es la altura efectiva de la antena, h_m la altura efectiva del receptor, d es la distancia entre transmisor y receptor en Km, K factor de corrección según el entorno de propagación, $a(h_m)$ es el factor de corrección para la altura de antena efectiva, Para un área rural y suburbana usar la ecuación 2.

$$a(h_m) = (1,1 \log_{10} f_{\text{MHz}} - 0,7) h_m - (1,56 \log_{10} f_{\text{MHz}} - 0,8) \text{dB} \quad (2)$$

K para áreas rurales esta dado en la ecuación 3.

$$k = 4.78(\log_{10} f_{\text{MHz}})^2 - 18,33 \log_{10} f_{\text{MHz}} + 40,94 \quad (3)$$

Para ciudades medianas y pequeñas, usar la ecuación 2 pero con $k = 0$, y para zonas suburbanas aplicar la ecuación 4.

$$k = 2 \left[\log_{10} \left(\frac{f_{\text{MHz}}}{28} \right) \right]^2 + 5,4 \quad (4)$$

Para el caso de grandes ciudades con frecuencias mayores a 400 MHz utilizar la ecuación 5.

$$a(h_m) = 3,2 (\log_{10} 11,75 h_m)^2 - 4,97 \quad (5)$$

La categoría de gran ciudad usada en el modelo de Hata, considera edificios más grandes a 15 m. Para el caso de los 850 MHz la pérdida promedio se expresa en la ecuación 6.

$$L_{\text{Hata}} = 146,18 + (44,9 - 6,55 \log_{10} h_b) \log_{10} d_{\text{Km}} - a(h_m) - 13,82 \log_{10} h_b - k \quad (6)$$

Para la ecuación 6, $a(h_m)$ toma valores dependiendo del tipo de área en el que se realiza la predicción. Para el caso de áreas rurales, suburbanas, ciudades pequeñas y medianas se da la ecuación 7.

$$a(h_m) = 2,52 h_m - 3,77 \quad (7)$$

El valor de $k = 28,26$ es usado para zonas rurales, para zonas suburbanas $k = 9,79$ y para ciudades pequeñas y medianas $k = 0$. Para el caso de grandes ciudades usar $k = 0$ y la ecuación 8.

$$a(h_m) = 3,2 (\log_{10} 11,75 h_m)^2 - 4,97 \quad (8)$$

Para este modelado matemático se han considerado formulas descritas en [3] y formulas similares están descritas en [4] de forma detallada.

Modelo Cost 231 - Hata

Este modeló desarrolló una versión extendida [3] del modelo de Hata hasta 2 GHz, ver ecuación 9.

Software basado en procesamiento digital de una base de datos topográficos, para el cálculo de los niveles rssi en bts de telefonía celular

$$L_{Hata} = 46,33 + (44,9 - 6,55 \log_{10} h_b) \log_{10} d_{Km} + 33,9 \log_{10} f_{MHz} - a(h_m) - 13,82 \log_{10} h_b + C \quad (9)$$

Donde $a(h_m)$ fue definida en las ecuaciones 2, 5, 7 y 8, C es el factor de corrección y su valor depende de la zona de interés, $C = 0$ dB para ciudades medianas y áreas suburbanas y $C = 3$ dB para áreas metropolitanas.

Válido para frecuencias desde 1,5 GHz hasta 2 GHz, h_b desde 30 m hasta 200 m, h_m desde 1 m hasta 10 m y d_{Km} desde 1 Km Hasta 10 Km.

Modelo CCIR

Este modelo considera efectos combinados de atenuación en el espacio libre y atenuación por causa del terreno, ecuación 10.

$$L(dB) = 69,55 + 26,16 \log_{10} f_{MHz} - 13,82 \log_{10} h_b - a(h_m) + (44,9 - 6,55 \log_{10} h_b) \log_{10} d_{Km} - B \quad (10)$$

Donde h_b es la altura de la antena de BTS y h_m la altura del receptor, y $a(h_m)$ se da en la ecuación 11.

$$a(h_m) = (1,1 \log_{10} f_{MHz} - 0,7) h_m - (1,56 \log_{10} \log_{10} f_{MHz} - 0,8) \quad (11)$$

El parámetro B , es la atenuación causada por las construcciones, ecuación 12.

$$B = 30 - 25 \log_{10} (\% \text{ area cubierta por construcciones}) \quad (12)$$

$B = 0$ es aplicado para una área urbana, que esta cubierta en 15% por edificaciones, otras consideraciones se toman en [5] donde sólo se consideran las alturas de la BTS y el móvil.

Modelo ITU - R 529

Este modelo esta basado en el modelo de Okumura Hata y mediante el cual se han obtenido curvas dadas en la recomendación [6] ITU-R 529, ver ecuación 13.

$$E = 65,55 - 6,16 \log f + 13,82 \log h_b + a(h_m) - (44,9 - 6,55 \log h_b) \log R^b \quad (13)$$

Donde E es la intensidad de campo, f la frecuencia en MHz, h_b altura de la antena de la BTS esta en un rango de 30 m a 200 m., h_m altura del móvil en un rango de 1m a 10 m y $a(h_m)$ se calcula con la ecuación 14.

$$a(h_b) = (1,1 \log f - 0,7) h_m - (1,56 \log f - 0,8) \quad (14)$$

Observar que el valor de b , ecuación 15 toma dos valores diferentes según el radio de cobertura.

$$b = \begin{cases} 1 & R \leq 20 \text{ Km} \\ 1 + \left(\begin{array}{l} 0,14 + 1,87 \times 10^{-4} \times f_{MHz} \\ + 1,07 \times 10^{-3} h_b \end{array} \right) x & \\ \left(\log \frac{R}{20} \right)^{0,8} & 20 \text{ Km} < R < 100 \text{ Km} \end{cases} \quad (15)$$

Modelo De Lee

Este modelo es ideal para celdas menores a 1Km.

Este modelo aplica el principio de superposición, se analiza el proceso en dos partes, primero el nivel de señal de recepción para la componente con línea de vista (LOS) y luego la atenuación debido a la obstrucción de los edificios.

En la ecuación 16, el nivel de recepción P_r es igual al nivel de señal recibida para las condiciones LOS en la que se minimiza la pérdida por obstrucción debido a los edificios α_B , P_t es la potencia efectiva radiada sobre un dipolo en dBm (ERP), d_m es la distancia total en metros. h_b es la altura de la antena de la BTS en metros.

$$P_r = \begin{cases} P_t - 77 \text{ dB} - 21,5 \log \left(\frac{d_m}{30,48} \right) - 30 \log \frac{h_b}{0,096} & 30,48 \text{ m} \leq d \leq 60,96 \text{ m} \\ P_t - 83,5 \text{ dB} - 14 \log \left(\frac{d_m}{60,96} \right) + 30 \log \frac{h_b}{0,096} & 0 \text{ m} \leq d \leq 304,8 \text{ m} \\ P_t - 93,3 \text{ dB} - 36,5 \log \left(\frac{d_m}{304,8} \right) + 30 \log \frac{h_b}{0,096} & 304,8 \text{ m} \leq d \leq 1524 \text{ m} \end{cases} \quad (16)$$

Los valores α_B se dan [5], en la ecuación 17, SB es la distancia de obstrucción en metros de un edificio.

El modelo de Lee [7] es extenso y tiene en consideración el follaje.

$$\alpha_B = \begin{cases} 0 & 0,3048 \text{ m} \leq SB \\ 1 + 0,5 \log_{10} \left(\frac{SB}{3,048} \right) & 0,3048 \text{ m} \leq SB < 7,62 \text{ m} \\ 1,2 + 12,5 \log_{10} \left(\frac{SB}{7,62} \right) & 7,62 \text{ m} \leq SB < 182,88 \text{ m} \\ 17,95 + 3 \log_{10} \left(\frac{SB}{182,88} \right) & 182,88 \text{ m} \leq SB < 914,4 \\ 20 \text{ dB} & 914,4 \text{ m} \leq SB \end{cases} \quad (17)$$

IMPLEMENTACION DE UNA BTS DE PRUEBAS

Este consistió de un transmisor para telefonía celular en la banda de los 800 MHz, mástil para antena, antena sectorial DB844G90A-XY, cable RG 214, 1 Laptop para programar el transmisor, ver la Fig. 1. La potencia transmitida fue de 30 dBm, sintonizado en un canal libre para evitar cualquier interferencia con canales en servicio.

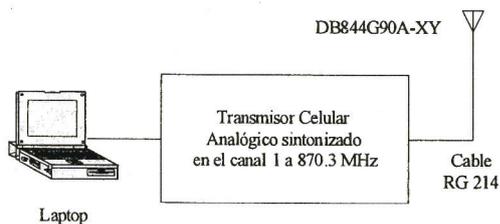


Fig. 1 Diagrama de bloques del transmisor en la BTS de pruebas.

Se instaló sólo un sector, azimuth de 90° , y tilt de 0° . Ver Tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones de la antena DB 844G90A-XY de polarización vertical.

Ganancia de la antena	H Beam width	V Beam Width	Front To Back	f (MHz)
12,00 dBd	$90,00^\circ$	$15,50^\circ$	40,00	806,00
14,15 dBi				896,00

METODOLOGÍA DE MEDICIÓN

Se usó un analizador de redes Wireless Grayson, PC portátil, GPS, antena de recepción omnidireccional de ganancia cero, los cuales fueron conexiados como se muestra en la figura 2.

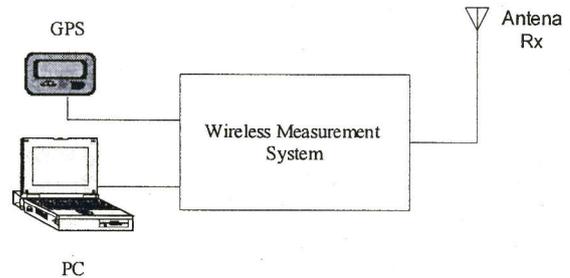


Fig. 2 Diagrama de bloques de la configuración del equipo de medición.

Se trazó en un mapa correspondiente a la zona de interés la cobertura teórica, esto nos indicó donde esta ubicado el haz principal y los lóbulos secundarios.

El analizador de redes esta sincronizado con un GPS, se capturan 3 niveles de recepción (RSSI) por cada coordenada geográfica, un valor mínimo, un valor máximo y un valor promedio, todos estos datos son capturados en una PC portátil, y se presenta un informe visual en tiempo real de los datos medidos en las distintas coordenadas. Los datos usados en este trabajo son los valores promedios.

Para la medición se empleó un vehículo con velocidad constante de 30 Km/h, para evitar el Fading por efecto de la multitrayectoria, la forma de medición fue radial y concéntrica a la antena.

La antena de recepción que se usó fue una antena de patrón omnidireccional de ganancia cero. La antena se instaló fuera del vehículo con un ángulo de 45° , simulando la posición humana habitual al sostener un equipo móvil.

DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

Se tiene una interfaz gráfica para la introducción de la denominación del proyecto, parámetros del terreno, parámetros de la antena, selección del modelo de propagación, y se presenta un informe en el cual se dan los datos del cálculo, Fig. 3.

Software basado en procesamiento digital de una base de datos topográficos, para el cálculo de los niveles rssi en bts de telefonía celular

Fig. 3 Interfaz para ingreso de datos.

Se presenta un informe visual, en el cual desplazando el Mouse por el gráfico de cobertura se podrá determinar el nivel de RSSI, distancia y las coordenadas para el punto de interés, ver Fig. 4.

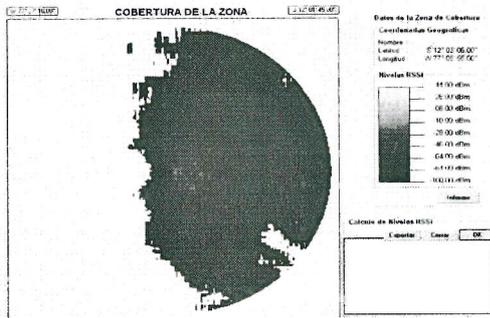


Fig 4. Informe gráfico de cobertura.

RESULTADOS OBTENIDOS

Modelo Hata - Okumura

Se graficaron 4 zonas: rural, suburbana, mediana y metropolitana, como se ve en la Fig. 5, la zona donde se realizó el estudio es una ciudad mediana, la grafica de las demás zonas son referenciales.

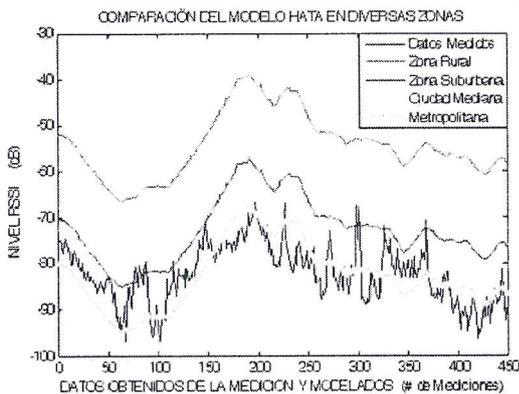


Fig. 5 Resultados de Hata en diversas zonas.

El primer valor de la curva de datos medidos fue -74,7dB, y para los datos simulados: zona rural -52 dB, zona suburbana -70dB, ciudad mediana -80 dB y metropolitana -81dB.

Se obtuvo la curva del error absoluto de la diferencia de los datos medidos y los datos obtenidos mediante el software, ver Fig. 6.

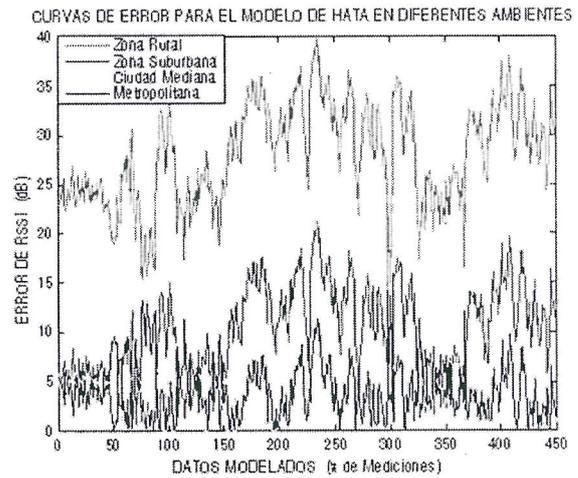


Fig. 6 Curvas de error en diversas zonas.

Se obtuvo los datos estadísticos de las curvas de error absoluto, ver Tabla 2

Tabla 2. Datos estadísticos de las curvas de error del modelo Hata.

	Rural	Sub Urbana	Ciudad Mediana	Ciudad Grande
Mínimo	14,28	0,18	0,01	0,03
Máximo	39,64	21,13	14,08	14,09
Media	27,98	9,59	4,38	4,38
Mediana	28,21	9,70	4,09	4,10
DesvStd	5,16	4,93	2,75	2,75

Los datos de la Tabla 2 sugieren una corrección entre -1 dB y -4 dB, se realizó la grafica con factores de corrección de -4 dB, -3dB, -2dB y -1dB, de donde se obtuvo que con el factor de -1 dB mejoró el desempeño del modelo, ver Fig. 7.

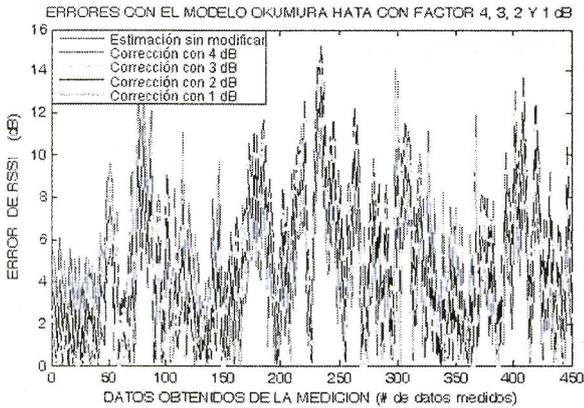


Fig. 7 Curvas de error con factor de -1, -2, -3 y -4 dB, en una ciudad mediana.

Se encontró que las curvas para una ciudad mediana y una ciudad metropolitana están casi sobrelapadas, con una diferencia de tan sólo 0,02 dB, esta diferencia debe ser mayor a -10 dB.

Modelo Cost 231 – Hata

Se obtuvo la grafica de una ciudad mediana y de una ciudad metropolitana, ver Fig. 8.

Se obtuvo como primer valor de la curva de una ciudad mediana -79,72dB y para una ciudad metropolitana -82,74dB, la diferencia encontrada fue de 3,02 dB.

A diferencia del modelo Hata, las curvas del modelo Cost 231 de una zona mediana y metropolitana no mantienen una diferencia constante, y el valor promedio es de 3 dB.

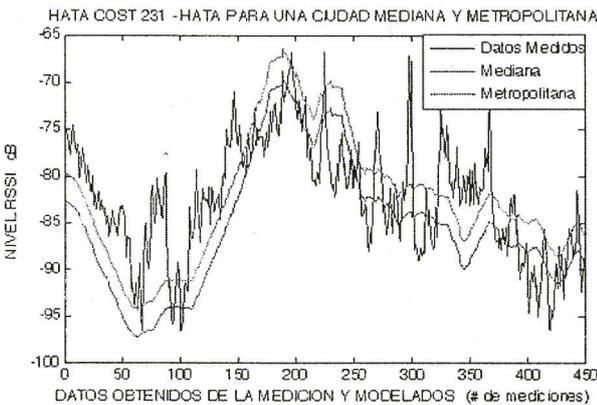


Fig. 8 Curvas para el modelo Cost 231 Hata.

Se realizaron las graficas del valor absoluto de la diferencia de los datos medidos y los datos

obtenidos por predicción para una ciudad mediana, ver Fig. 9.

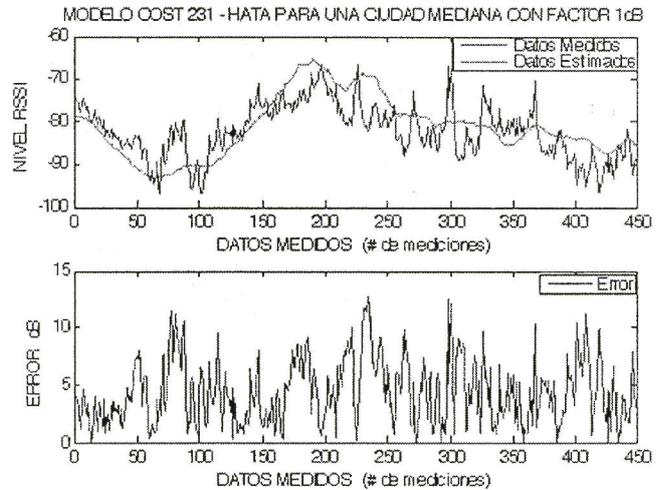


Fig. 9 Factor de -1 dB para modelo COST 231 para una ciudad mediana.

De la grafica obtenida del error absoluto para una ciudad mediana se obtuvo sus datos estadísticos, Se obtuvo también las curvas de error aplicando un factor de -1 dB y -2 dB ver Tabla 3.

Tabla 3. Datos estadísticos obtenidos en matlab para una ciudad mediana.

	Sin Factor	Factor 1dB	Factor 2dB
Mínimo	0,01	0,01	0,01
Máximo	13,52	12,77	13,77
Media	4,38	4,46	4,63
Mediana	4,18	4,06	4,17
DesvStd	2,72	2,81	3,10

Modelo ITU-R 529

Se graficaron los datos obtenidos en la medición y los datos obtenidos mediante el software implementado, se encontró que el valor de -26 dB disminuyó los valores de error promedio, ver Fig. 10. En la parte inferior de la misma figura se graficó los valores de error absoluto, los datos estadísticos para estas curvas de error se muestran en la Tabla 4.

Software basado en procesamiento digital de una base de datos topográficos,
para el cálculo de los niveles rssi en bts de telefonía celular

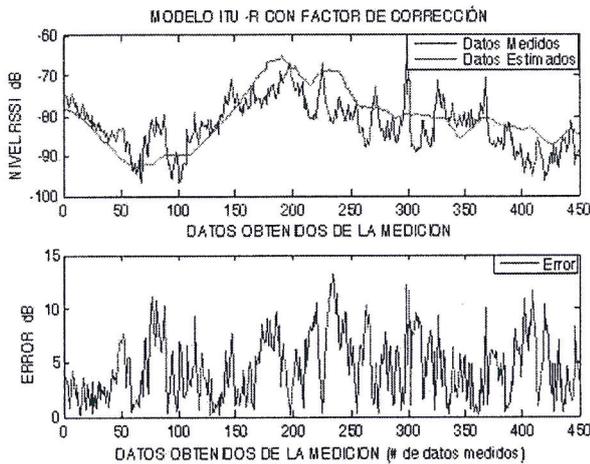


Fig. 10 Curva ITU-529 con factor de -26 dB para una ciudad mediana.

Tabla 4. Datos estadísticos para el modelo ITU-R 529 obtenidos para una ciudad mediana

	Sin corrección	Con corrección
Mínimo	13,82	0,12
Máximo	39,18	13,18
Media	27,52	4,52
Mediana	27,75	4,08
DesvStd	5,16	2,90

Modelo CCIR

Se obtuvo las curvas para los valores obtenidos por medición y los valores simulados, haciendo variar el factor de atenuación que depende del porcentaje de construcciones, la variación se realizó desde 10% hasta 100%, con intervalos de 10%, como se muestra en la Fig. 11.

Se obtuvieron curvas individuales, de las cuales se obtuvo las graficas del error absoluto cuyos datos estadísticos se muestran en la Tabla 5 y Tabla 6.

Se encontró que para el caso en que el área cubierta por el 15%, el factor B es aproximadamente cero, y que las curvas obtenidas están más juntas a medida que aumenta el porcentaje de construcciones.

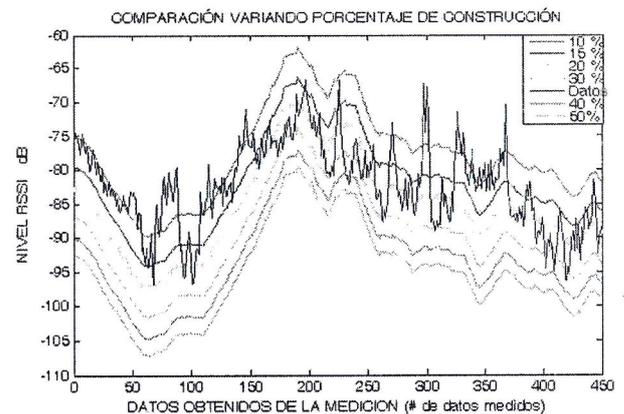


Fig. 11 Curvas CCIR variando el porcentaje de construcciones.

Tabla 5. CCIR variando el porcentaje de construcción desde 10% hasta 40%.

	10%	15%	20%	30%	40%
Mínimo	0,01	0,04	0	0	0,12
Máximo	16,28	13,48	16,61	21,01	24,13
Media	5,65	4,39	4,81	7,49	10,44
Mediana	5,29	4,15	4,21	7,08	10,20
DesvStd	3,99	2,72	3,45	4,89	5,14

Tabla 6. CCIR variando el porcentaje de construcción desde 50% hasta 90%.

	50%	60%	70%	80%	90%
Mínimo	1,19	3,178	4,848	6,298	7,598
Máximo	26,55	28,53	30,21	31,66	32,94
Media	12,86	14,84	16,51	17,98	19,24
Mediana	12,63	14,61	16,28	17,73	19,01
DesvStd	5,158	5,158	5,158	5,158	5,158

Se encontró que agregando un factor de atenuación de -16 dB, el desempeño del modelo mejoró. En la Fig. 12 se muestra el caso específico para una ciudad mediana.

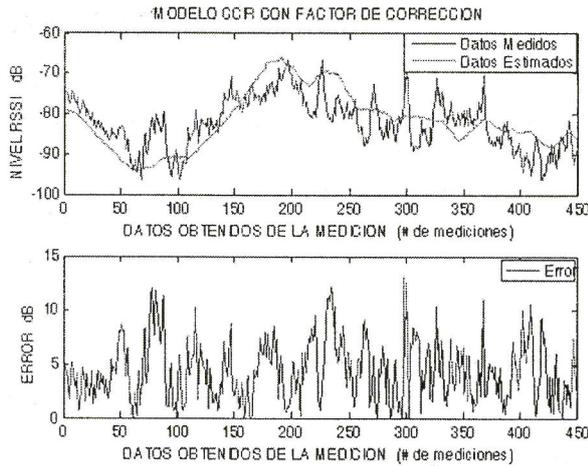


Fig. 12 Curvas CCIR con factor de corrección de -16 dB para una ciudad mediana.

Modelo De Lee

Se obtuvo las curvas para los datos medidos y los datos simulados, haciendo variar el factor de atenuación por obstrucción de edificios, desde 10% hasta 100%, con intervalos de 10%, ver Fig. 13.

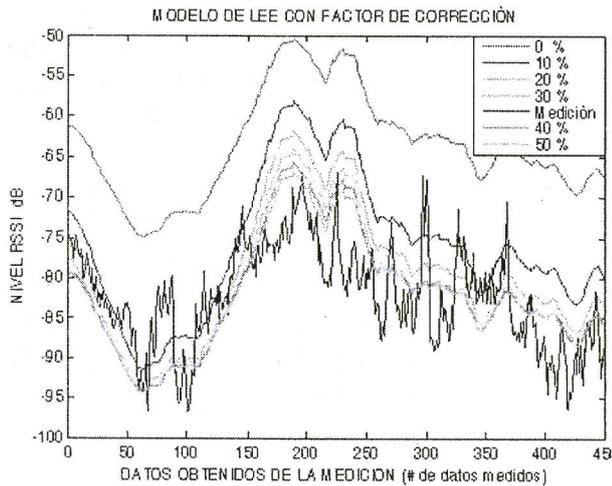


Fig. 13 Modelo Lee variando atenuación por porcentaje de construcciones.

Se encontró que las curvas se juntan a medida que aumenta el porcentaje de construcciones, ver figura 13, además se observó que las curvas de predicción a partir del 40% sus valores son muy cercanos, y tienden a converger a la curva con 100%.

Se graficó individualmente para cada caso y se obtuvo la curva de error absoluto correspondiente, encontrándose sus valores estadísticos, ver Tabla 7 y Tabla 8.

Tabla 7. Lee variando el porcentaje de construcción desde 10% hasta 50%.

	10%	20%	30%	40%	50%
Mínimo	0,04	0	0,01	0,07	0,05
Máximo	18,48	20,45	22,14	22,15	22,44
Media	5,64	7,07	8,03	8,46	8,85
Mediana	5,19	6,71	7,63	8,21	8,64
DevStd	3,92	5,04	5,19	5,18	5,11

Tabla 8. Lee variando el porcentaje de construcción desde 60% hasta 100%.

	60%	70%	80%	90%	100%
Mínimo	0,18	0,05	0,01	0,15	0,28
Máximo	22,67	22,87	23,05	23,2	23,34
Media	9,13	9,321	9,475	9,602	9,71
Mediana	8,945	9,145	9,325	9,4	9,501
DevStd	5,083	5,095	5,097	5,086	5,072

Se observó que usando un factor de -9 dB el desempeño del modelo mejora. En la Fig. 14 se muestra los resultados para una ciudad mediana.

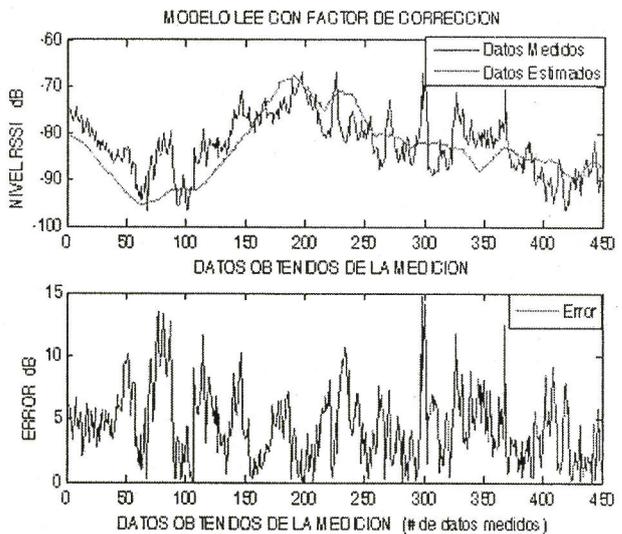


Fig. 14 Modelo Lee variando el porcentaje de construcciones y factor de -9 dB.

Comparación entre los modelos implementados

Se obtuvo la gráfica de la comparación de todos los modelos implementados en la herramienta computacional, encontrándose valores muy cercanos entre los modelos, ver Fig. 15.

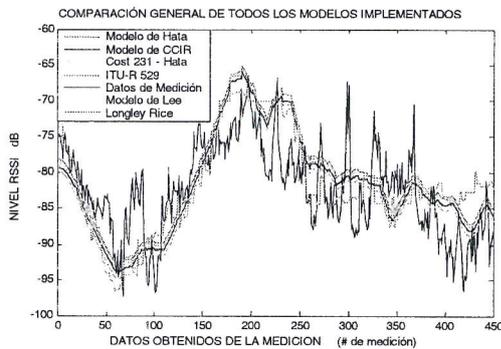


Fig. 15 Comparación entre todos los modelos.

SIMBOLOGÍA

$a(h_{re})$	factor de corrección para la altura de antena efectiva.
C	factor de corrección modelo Cost 231.
d_{km}	distancia entre transmisor - receptor en Km.
E	intensidad de campo
f	frecuencia
h_b	altura de la estación base
h_m	altura del móvil
K	factor de corrección Hata
P_t	potencia de transmisión
P_r	potencia de recepción
SB	distancia de obstrucción en metros de un edificio.

CONCLUSIONES

El aumento de un coeficiente de atenuación sobre un modelo matemático de radiopropagación, implica encontrar un factor de atenuación que es propio de nuestro entorno de propagación.

Se puede hacer una modificación en la fórmula del modelo de Lee, haciendo uso como factor de atenuación por edificaciones, asignando un porcentaje de construcciones, lo que no se considera en el modelo original.

La diferencia promedio que existe entre los valores de una ciudad mediana y una ciudad metropolitana para el modelo Hata y Cost 231, es muy escasa aproximadamente 3 dB, este valor debe estar por

encima de los -10 dB, debido a las atenuaciones ocasionadas por los edificios. Debido a la convergencia de curvas, la fórmula del modelo de Lee puede ser expresada como un modelo general con atenuaciones particulares, para obtener modelos en una zona rural, zona suburbana, ciudad mediana y una ciudad metropolitana. Lo mismo se puede hacer para el modelo CCIR.

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero Oscar Salaverry Cardó, Gerente de la empresa Ingeniería Celular Andina SA, a los ingenieros: Hugo Calderón, Naylamp López, José Bautista y demás ingenieros de campo y a la Escuela de post grado de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional de Ingeniería.

REFERENCIAS

1. **International Telecommunication Union**, "Definitions of terms relating to propagation in non-ionized media", Recomendación ITU-R P.310, pp. 1-4, Suiza, 1995.
2. **International Telecommunication Union**, Digital Topographic databases for propagation studies, Recommendation ITU-R P.1058-1, pp.1-7. Suiza, 1995.
3. **National Institute of Standards and Technology**, "Models of Radiopropagation", http://w3.antd.nist.gov/wctg/manet/calcmmodels_dstlr.pdf
4. **Rappaport, T. S.**, "Wireless Communications Principles and Practice", Prentice Hall PTR, 1era edición, New Jersey 1996.
5. **Instituto Nacional de Investigación y Capacitación en Telecomunicaciones - INICTEL**, "Sistemas de Comunicaciones Móviles", 1era edición, Dirección de Capacitación, Perú, ``. 112-113, 1999.
6. **International Telecommunication Union**, "prediction methods for the terrestrial land mobile service in the VHF and UHF bands", Recommendation ITU-R P.529, pp. 7, 1995.
7. **Lee, W. C. Y.**, "Mobile Cellular Telecommunications", Mc Graw Hill Inc, 2da edición, pp. 106-154, New York 1995.

Correspondencia: josediaz@uni.edu.pe

Recepción de originales: Octubre

Aceptación de originales: Noviembre

