

Revista Electrónica Nova Scientia

Desarrollo e implementación de una interfaz gráfica
de usuario para el cálculo y comparación de
modelos de propagación electromagnética en
exteriores

Development and implementation of a graphical
user interface for calculation and comparison of
outdoor propagation model

M. A. Eslava-Gutiérrez, S. Vidal-Beltrán y J. López-Bonilla

Instituto Politécnico Nacional, SEPI-ESIME-Zacatenco

México

José Luis López Bonilla. E-mail: jlopezb@ipn.mx

Resumen

Este trabajo, muestra el desarrollo e implementación de una herramienta de software para **predecir** la propagación electromagnética de señales en sistemas de comunicaciones móviles de tercera generación usando tres modelos de propagación (Okumura-Hata, Cost Walfish-Ikegami y 3GPP), los cuales son empleados en la planeación de cobertura de Sistemas 3G y posteriormente **comparar** el resultado con mediciones obtenidas en campo en distintos escenarios urbanos. Esta comparación de los modelos se realizó haciendo un análisis del error correspondiente con cada zona de estudio. Finalmente, los resultados obtenidos a través de la herramienta para cada modelo se muestran en mapas de estimación de cobertura usando un Sistemas de Información Geográfica (GIS, Geographic Information System).

Palabras clave: 3G, COST Walfish-Ikegami, GUI, Okumura-Hata, WCDMA

Recepción: 21-03-2014

Aceptación: 21-10-2014

Abstract

This work shows the development and implementation of a software tool in order to **predict** the signal electromagnetic propagation in third generation mobile communication systems through the usage of three propagation models: (Okumura-Hata, Cost Walfish-Ikegami and 3GPP) which are employed in coverage planning of 3G systems. The information obtained is compared with experimental measurements, which were collected from different urban areas. This comparison among the propagation models was made based on error analysis corresponding to each scenario. Finally, the outcomes obtained through the software tool for each model is shown in estimation coverage maps by GIS (Geographic Information System).

Keywords: 3G, COST Walfish-Ikegami, GUI, Okumura-Hata, WCDMA

Introducción

Los modelos de propagación se pueden clasificar en tres tipos: empíricos, semi-empíricos y teóricos [1]. Mientras que los modelos empíricos se basan en mediciones, los modelos teóricos se basan en los principios fundamentales de los fenómenos de propagación de ondas de radio y los modelos semiempíricos son una combinación de ambos. Para el desarrollo del presente trabajo, se consideraron tres modelos de propagación (Okumura-Hata, COST Walfish-Ikegami y 3GPP); los cuales fueron elegidos con base en sus características y operan dentro del rango de frecuencia que nos permiten evaluar los sistemas de tercera generación (3G). A continuación, se hace una breve descripción de las características principales de cada modelo

1.1 Modelo de Propagación Okumura-Hata

Este modelo opera en el rango de frecuencias de VHF y UH, presenta una ecuación estándar para el cálculo de las pérdidas por propagación en un área urbana así como una ecuación del factor de corrección para aplicarla en cualquier otra situación. La ecuación 1, presenta el cálculo de pérdidas de propagación:

$$L(dB)=69.55+26.16\log_{10}f_c-13.82 \log_{10}h_{te}-a(h_{re})+[(44.9-6.55\log_{10}h_{te})]\log_{10}d \quad (1)$$

Como se puede observar, dicho modelo implica una nueva variable que es el factor de corrección de la altura de la antena móvil ($a(h_{re})$) [2] y que se define por el tamaño de la ciudad. Para las ciudades pequeñas y medianas:

$$a(h_{re})=(1.1\log f_c - 0.7)h_{re} - (1.53\log f_c) \quad (2)$$

Para grandes ciudades y considerando la frecuencia de trabajo del sistema se definen las siguientes dos ecuaciones:

$$a(h_{re})=(8.29\log 1.54h_{re})^2 - 1.1 f_c < 300MHz \quad (3)$$

$$a(h_{re})=(3.2\log 1.1h_{re})^2 - 4.9 f_c > 300MHz \quad (4)$$

1.2 Modelo de Propagación COST Walfish-Ikegami

Es un modelo híbrido para sistemas celulares, la frecuencia de trabajo corresponde al rango de UHF y SFH [1]. Incorpora más parámetros en la estimación de pérdidas como son: altura de los edificios (h_{Roof}), ancho de calles (W), separación entre edificios (b) y orientación respecto al camino directo de la onda de radio entre la estación base y el suscriptor móvil. Estos parámetros pueden observarse en la Figura 1:

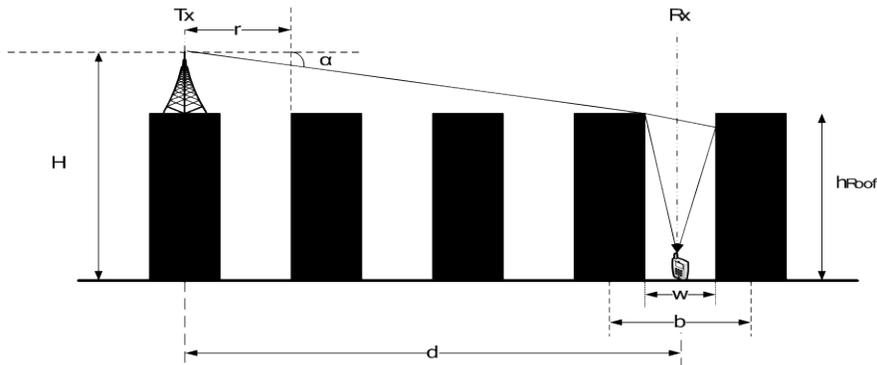


Figura 1. Parámetros del Modelo.

Éste distingue entre las situaciones en las que hay línea de vista (Line-Of-Sight, LOS) y en las que no. En el caso de LOS se aplica una fórmula simple para las pérdidas de propagación, diferente a la aplicada en el caso del espacio libre, la cual se basa en mediciones llevadas a cabo en la ciudad de Estocolmo y está dada por:

$$L_b(\text{dB}) = 42.6 + 26\log(d) + 20\log(f) \quad (5)$$

La pérdida total en un NLOS se compone de tres valores que se muestran en la ecuación:

$$L_b(\text{dB}) = L_o + L_{rts} + L_{msd} \quad (6)$$

donde:

L_o : pérdidas en espacio libre

L_{msd} : pérdidas de difracción múltiple en bordes de cuchillo antes del tejado del edificio.

$L_{rts}(\text{roof-top-to-street})$: Pérdidas debidas a una única difracción final hacia el nivel de la calle, ocasionada por el techo del último edificio, y un proceso de dispersión ocurrido a esta altura. [3].

1.3 Modelo de Propagación 3GPP

El modelo de propagación del 3GPP es aplicable para escenarios de prueba en áreas urbanas y sub-urbanas y es funcional para frecuencias hasta de 2000 MHz [4]. La ecuación (7) describe las pérdidas del modelo:

$$L(dB)=40(1-4 \times 10^{-3} D h b) \log_{10}(R)-18 \log_{10}(D h b)-21 \log_{10}(f)+80 \quad (7)$$

La **Tabla 1**, presenta un cuadro resumen con los parámetros, rangos de operación y unidades para cada uno de los modelos de propagación presentados anteriormente.

Tabla 1. Cuadro Resumen Parametros de los Modelos de Propagación.

Modelo de Propagación	Parámetros	Rangos de Trabajo	Unidades
Okumura-Hata	f_c : frecuencia de portadora	$150 < f_c < 1500$	MHz
	h_{te} : altura de antena transmisora	$30 < h_{te} < 200$	m
	h_{re} : altura de antena receptora	$1 < h_{re} < 3$	m
	$K(h_{re})$: factor de corrección de la altura de la antena móvil	-	-
	d : distancia entre Tx y Rx	$1 < d < 20$	Km
COST Walfish-Ikegami	f : frecuencia central	$800 < f < 2000$	MHz
	h_t : altura del transmisor	$4 < h_t < 50$	m
	h_r : altura del receptor	$1 < h_r < 3$	m
	d : distancia	$0.02 < d < 5$	Km
3GPP	R : Separación entre la estación base y el equipo de usuario	-	Km
	f : frecuencia de la portadora	$f < 2000$	MHz
	Dhb : Altura de la antena de la estación base	-	m

2 Obtención de Mediciones en Campo.

Las mediciones de campo fueron realizadas empleando un analizador de espectro capaz de trabajar en el rango de frecuencia de 9 kHz a 7.1 GHz [5-6]. El equipo es capaz de demodular la señal WCDMA permitiendo obtener información de diferentes factores de desempeño, en nuestro caso, la potencia del canal de CPICH. Se seleccionaron cinco zonas de medición, basándonos en sus características de entorno. En estas zonas se pueden encontrar diferentes tipos de terrenos: área abierta, área suburbana y área urbana, además de presentarse diversos tipos de construcciones. Las áreas de medición se muestran delimitadas en la Figura 2. Estas áreas de

análisis, presentan una gran variedad de construcciones con características representativas dadas por su altura y materiales de construcción



Fig 2.a Reforma

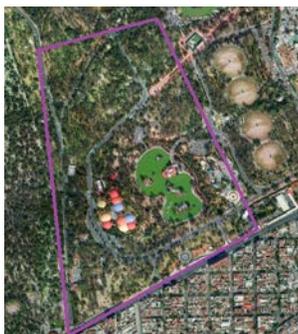


Fig 2.b Chapultepec



Fig 2.c Lindavista



Fig 2.d Centro Histórico



Fig 2.e Polanco

Figura 2. Áreas de Medición

Para el procesamiento de la información se requiere disponer de información georeferenciada. El equipo de medición obtiene esta información al hacer uso de una antena GPS y genera información de posición como Latitud, Longitud, además de la potencia del canal piloto común. La Figura 3 muestra el formato del archivo de texto que ingresaremos en nuestro sistema. Como puede observarse, se requiere de la información georeferenciada en formato decimal, así como de la potencia en dBm.

LONGITUD	LATITUD	P_CPICH
-99.12694444	19.49277778	-80.887
-99.12888889	19.49777778	-68.744
-99.12916667	19.49777778	-75.616
-99.12916667	19.4975	-75.616
-99.12916667	19.4975	-71.329
-99.12944444	19.4975	-66.517
-99.13	19.49638889	-70.61
-99.13027778	19.49611111	-63.664
-99.13027778	19.49611111	-67.472
-99.13055556	19.49583333	-72.062
-99.13055556	19.49972222	-89.655
-99.13055556	19.49972222	-86.354
-99.13083333	19.5	-81.662

Figura 3. Formato de Archivo de Texto Delimitado por Tabuladores

Para cada escenario seleccionado en este trabajo, se tomaron una gran cantidad de muestras, la Tabla 2 exhibe la cantidad de muestras por escenario.

Tabla 2. Resumen de Número de Mediciones por Escenario.

Escenario	Mediciones
Reforma	1667
Chapultepec	2014
Lindavista	3574
Centro Histórico	2740
Polanco	6777
Totales	16772

El software descrito en este trabajo, calcula la potencia para cada uno de los puntos donde se tiene una medición (16772 puntos), y este cálculo se realiza 3 veces, uno para cada modelo de propagación seleccionado. Con base en lo anterior, es posible comparar las mediciones en campo con los resultados esperados, de acuerdo a la predicción teórica de cada modelo.

3 Desarrollo de la Herramienta Computacional

La Figura 4, muestra un diagrama a bloques donde se hace una descripción de las fases principales para el desarrollo de la herramienta de cómputo usada en este trabajo. Para cada uno de los modelos de propagación empleados, se seleccionan las variables de entrada correspondientes, en el caso del modelo de Okumura-Hata es necesario definir el tipo de área y el tipo de ciudad y finalmente ingresar la ubicación de la Estación Base o Nodo B.

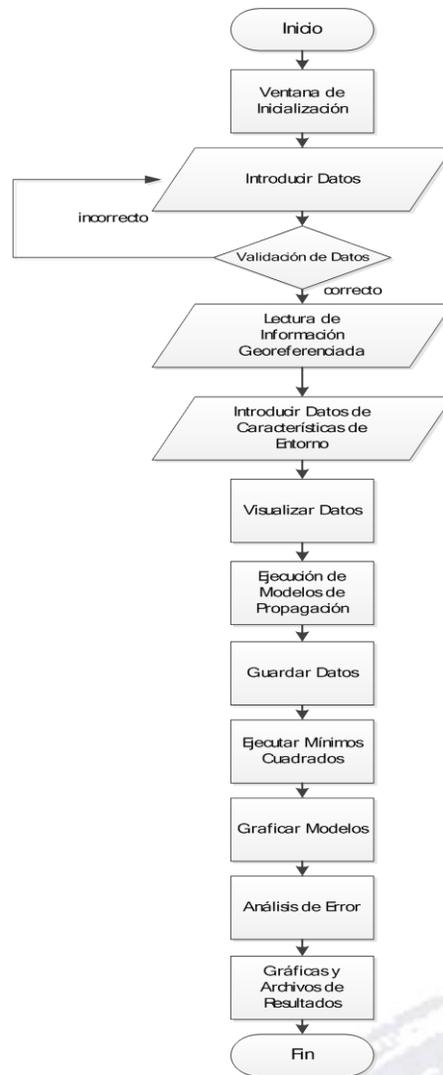


Figura 4. Algoritmo General Propuesto. Diagrama a Bloques

La Figura 5 muestra la ventana de inicialización y su estructura, se observa la distribución de cada elemento y el diseño del mismo. La sección 1 de la Figura 5, es utilizada para cargar los datos en el sistema, la sección 2 es empleada para seleccionar el modelo de propagación a ser usado; para realizar el análisis de los cálculos realizados por el sistema, se utiliza la sección 3; finalmente la sección 4 despliega las gráficas de la potencia con respecto a la distancia



Figura 5. Ventana de Inicialización

La Figura 6 presenta la ventana de lectura de información, en la cual se observa lo siguiente:

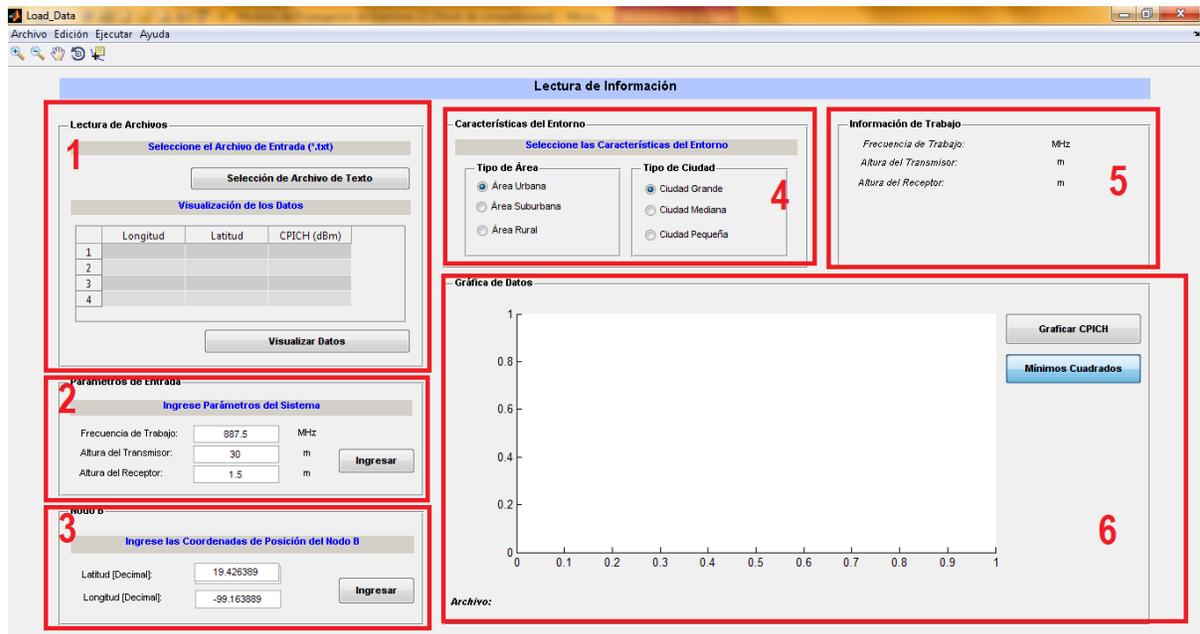


Figura 6. Lectura de Datos

- Sección 1. Lectura de Archivo. En esta sección se introduce el archivo de información a ser evaluado, solicitándose en formato *.txt. También permite la visualización del archivo cargado.
- Sección 2, Parámetros de Entrada, aquí se introducen las características del sistema, como la frecuencia de trabajo y la altura de las antenas (transmisora y receptora).
- Sección 3, Nodo B. Se ingresan los datos de geoposición del correspondiente Nodo B evaluado, en formato decimal (Longitud y latitud).
- Sección 4, Características del Entorno. Se solicitan los datos de la zona a evaluar, información como tipo de área y tipo de terreno.
- Sección 5, Información de Trabajo. Se despliegan los valores que se utilizará para el análisis de cada escenario.
- Sección 6, Gráficas de Datos. Visualiza la gráfica a partir de la información de entrada, como es la potencia medida respecto a la distancia.

Como se muestra en la Figura 4, el siguiente paso es la Ejecución de los Modelos de propagación, las gráficas mostradas por el sistema son tanto teóricas, usando los modelos de propagación, como experimentales por medio de las mediciones de CPICH tomadas en campo.

4 Resultados del Sistema

El Sistema desarrollado, proporciona datos interesantes para hacer comparaciones entre los modelos de propagación en exteriores respecto de las mediciones en campo, para lo cual proporciona gráficas experimentales, gráficas teóricas y análisis de error absoluto; los cuales son descritos en las secciones siguientes

4.1 Gráficas Experimentales.

El sistema despliega gráficas de la potencia medida en campo respecto a la distancia (Figura 7), y para facilitar la interpretación de resultados, el sistema genera una curva que se aproxima al comportamiento de las muestras. La curva se genera por medio de una regresión numérica por el método de mínimos cuadrados.

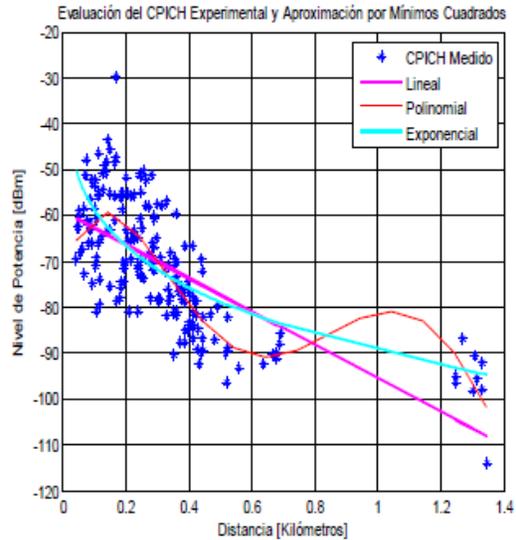


Figura 7. Nivel de potencia respecto a la Distancia.

Como se muestra en la Figura 7, es posible usar regresiones lineales, polinomiales y exponenciales; y la que se usa para hacer las comparaciones posteriores es la regresión exponencial ya que es el método que más se aproxima al comportamiento de la señal en campo.

4. 2 Gráficas Teóricas

El sistema genera las curvas de atenuación de la potencia respecto a la distancia, basadas en los modelos seleccionados. La Figura 8, muestra las curvas de los 3 modelos de propagación y la curva generada a partir de las mediciones en campo por el método de mínimos cuadrados.

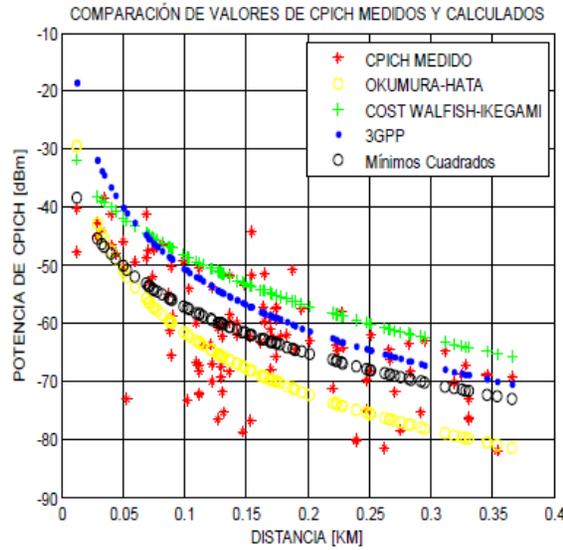


Figura 8. Comparación de Valores de CPICH Medidos contra Calculados.

4.3 Análisis de Error.

El sistema computacional produce una serie de gráficas y datos para poder analizar cada modelo de propagación y ejecutar un análisis de error dando como resultado un archivo de texto delimitado por tabuladores que puede ser importado a una hoja de cálculo como Microsoft Excel y realizar cálculos sobre la misma. La Figura 9 muestra el formato de salida importado para el análisis de error.

	A1	DISTANCIA																
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	D	
	DISTANCIA	CPICH MEDIDO	OKUMURA-HATA	COST WALFISH-IKEGAMI	3GPP	Error Absoluto Okumura-Hata	Error Relativo Okumura-Hata	Error Absoluto Cost-Walfish-Ikegami	Error Relativo Cost-Walfish-Ikegami	Error Absoluto 3GPP	Error Relativo 3GPP	CPICH MEDIDO [mW]	y=ln(P)	x=ln(d)	D1	D2	D	
2	0.03	-53.538	-25.718346	-65.024738	-36.353861	27.819654	1.081705	11.486738	0.176652	17.184139	0.472691	4.4279E-06	-12.3275801	-3.35986352	-3.35986352	-12.3275801	11.28	
3	0.06	-56.541	-33.920049	-70.54607	-44.644512	22.620951	0.66689	14.00507	0.198524	11.896488	0.266471	2.2177E-06	-13.0190464	-2.85216887	-2.85216887	-13.0190464	8.134	
4	0.06	-43.872	-35.08328	-71.420825	-45.820359	8.78872	0.25051	27.548825	0.385725	1.948359	0.042522	4.1002E-05	-10.1019013	-2.78015326	-2.78015326	-10.1019013	7.725	
5	0.06	-48.483	-35.08328	-71.420825	-45.820359	13.39972	0.38194	22.993725	0.321164	2.662641	0.05811	1.4181E-05	-11.1696233	-2.78015326	-2.78015326	-11.1696233	7.725	
6	0.07	-46.391	-37.35941	-73.189035	-48.121173	9.03159	0.241749	26.798035	0.366148	1.730173	0.035955	2.2956E-05	-10.6819225	-2.63926135	-2.63926135	-10.6819225	6.965	
7	0.07	-56.541	-38.130967	-73.804329	-48.901098	18.410033	0.462811	17.263329	0.233907	7.639902	0.156232	2.2177E-06	-13.0190464	-2.59149459	-2.59149459	-13.0190464	6.715	
8	0.09	-55.88	-40.889723	-76.064252	-51.089772	14.990277	0.366603	20.184252	0.260358	4.190228	0.081065	2.5823E-06	-12.8668455	-2.42071569	-2.42071569	-12.8668455	5.805	
9	0.09	-47.189	-40.889723	-76.064252	-51.689772	6.279277	0.153566	28.895252	0.37988	4.520772	0.08746	1.9191E-05	-10.8610636	-2.42071569	-2.42071569	-10.8610636	5.835	
10	0.11	-50.469	-44.324167	-78.993666	-55.161463	6.144833	0.138634	28.524666	0.361101	4.692463	0.085068	8.9764E-06	-11.6209167	-2.20811163	-2.20811163	-11.6209167	4.875	
11	0.11	-50.349	-44.324167	-78.993666	-55.161463	6.024833	0.135927	28.644666	0.36262	4.812463	0.087243	9.2278E-06	-11.5932857	-2.20811163	-2.20811163	-11.5932857	4.875	
12	0.12	-46.391	-46.079103	-80.538478	-56.935431	0.311897	0.006769	34.142478	0.423954	10.544931	0.1852	2.2956E-05	-10.6819225	-2.099481	-2.099481	-10.6819225	4.407	
13	0.13	-47.189	-46.802961	-81.176163	-57.66714	0.366039	0.007821	34.007163	0.41893	10.49814	0.182047	1.9191E-05	-10.8610636	-2.05467088	-2.05467088	-10.8610636	4.221	
14	0.13	-68.62	-47.081677	-81.42474	-57.948878	21.538323	0.457467	12.80474	0.157259	10.671122	0.184147	1.374E-07	-15.8003389	-2.03741707	-2.03741707	-15.8003389	4.151	
15	0.15	-80.376	-48.802032	-82.972104	-59.687891	31.573968	0.464981	2.596104	0.031289	20.688109	0.346605	9.1706E-09	-18.5072579	-1.93091809	-1.93091809	-18.5072579	3.726	
16	0.15	-80.376	-48.802032	-82.972104	-59.687891	31.573968	0.464981	2.596104	0.031289	20.688109	0.346605	9.1706E-09	-18.5072579	-1.93091809	-1.93091809	-18.5072579	3.726	
17	0.15	-47.189	-49.276227	-83.402376	-60.167228	2.107227	0.042764	36.233376	0.434441	12.998228	0.216035	1.9191E-05	-10.8610636	-1.90156987	-1.90156987	-10.8610636	3.615	
18	0.20	-80.376	-54.03553	-87.799489	-64.978145	26.34047	0.487466	7.423489	0.08455	15.397855	0.23697	9.1706E-09	-18.5072579	-1.60695101	-1.60695101	-18.5072579	2.562	
19	0.21	-84.347	-55.061711	-88.764136	-66.015456	29.285289	0.531863	4.417136	0.049763	18.331544	0.277686	3.6754E-09	-19.4216145	-1.54342548	-1.54342548	-19.4216145	2.382	
20	0.23	-80.376	-56.129957	-89.77375	-67.095287	24.746043	0.431963	9.39775	0.104683	13.280713	0.197938	9.1706E-09	-18.5072579	-1.47793062	-1.47793062	-18.5072579	2.182	
21	0.23	-76.661	-56.321828	-89.955651	-67.289239	20.339172	0.361124	13.294651	0.147791	9.371761	0.139276	2.1572E-08	-17.6518476	-1.46542415	-1.46542415	-17.6518476	2.147	

Figura 9. Archivo de Salida. Análisis de Error

A partir de este sistema, fue posible comparar los diferentes modelos y generar un análisis de errores de cada uno de ellos, basadas en la información obtenida a partir de las mediciones de campo. La Figura 10, muestra la comparación del error absoluto de los tres modelos comparados con las mediciones tomadas en campo.

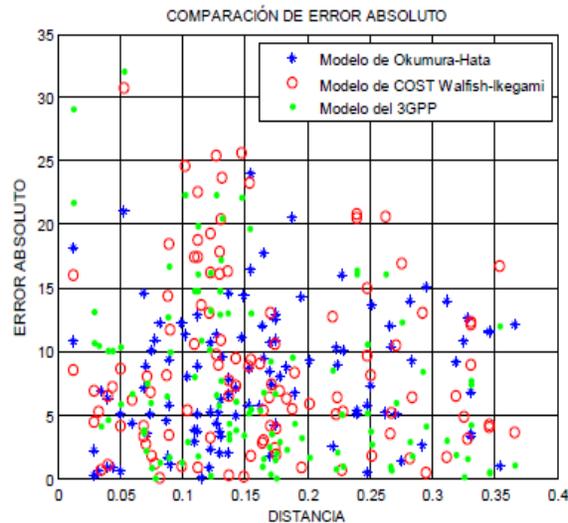


Figura 10. Gráficas de Resultados

4.4 Aplicación: Generación de mapas de predicción de cobertura mediante un GIS

Una vez recabados los datos tanto experimentales como teóricos, es posible crear mapas de predicción de cobertura a partir del método de Krige [7-8] sobre un sistema de información geográfica (para este caso de estudio Google Earth). La representación en mapas permite ver el comportamiento de la señal electromagnética en un mapa satelital. La Figura 11, muestra un ejemplo de un mapa resultado de los datos recabados

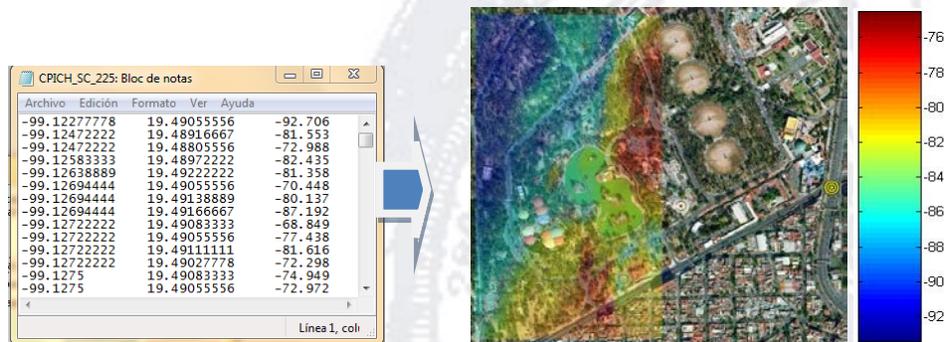


Figura 11. Mapa de Estimación de Cobertura

5 Conclusiones

El software descrito en este trabajo, tiene varias áreas de aplicación en los Sistemas de Comunicaciones Móviles, entre los cuales destacan el Análisis de Redes existentes, planeación de cobertura para nuevas redes, análisis de la aplicabilidad de los modelos de propagación; a continuación se describe cada uno de ellos:

5.1 Análisis de Redes Existentes.

El software analiza el comportamiento de una red existente, para lo cual es necesario recabar mediciones en campo; estos datos son ingresados en el sistema y se generan las gráficas descritas en la sección 4.1, las gráficas son muy útiles ya que permiten visualizar el comportamiento de la señal respecto a la distancia. Asimismo es posible generar mapas de predicción de cobertura usando un GIS.

5.2 Planeación de Cobertura

Esta herramienta de cómputo resulta de utilidad para predecir la cobertura de nuevos despliegues de redes de comunicaciones móviles; y hacer una comparación entre diferentes modelos dependiendo del área a la que se pretenda dar servicio.

5.3 Selección de Modelo de Propagación.

Cuando se tienen datos experimentales, es posible compararlos con el modelado teórico para con esto seleccionar el modelo que mejor se adecúe a las condiciones del terreno. Adicionalmente, el software muestra un análisis de error, con lo cual se sustenta la selección del modelo.

Finalmente se puede concluir, que este software es una aportación útil para aquellos científicos e ingenieros interesados tanto en el análisis del desempeño y optimización de redes existentes, tanto como para los involucrados en el despliegue de nuevas redes.

Este trabajo, sienta la base para desarrollar análisis de redes de Cuarta generación, con la consideración de que se tendrán que elegir otros modelos de propagación que se ajusten a la frecuencia utilizada por esas redes.

Referencias

- [1] Dieter J. Cichon, Thomas Kürner. “Propagation Prediction Models”, Prentice Hall, 2002.
- [2] Salas Bernal Yarhik Alejandra, “Comparación del Modelo Hata con Mediciones de Propagación hechas en la Ciudad de México”, Tesis Licenciatura IPN, 2010. pp. 9-10.
- [3] Rappaport, T. S., “Wireless Communications: Principles and Practice”, Prentice Hall.
- [4] 3GPP. “3GPP a Global Initiative”, www.3gpp.com, 2010.
- [5] Spectrum Master™ MS2721A, Benchtop Performance in a Handheld Spectrum Analyzer, User Guide, p. 1-1.
- [6] Ponce Rojas Sonia Jazmín,” Análisis de Propagación, Desempeño e Interferencia de Señales WCDMA en Entornos Urbanos”, Tesis IPN, 2012. pp 63 - 72.
- [7] José L. López-Bonilla, Jazmín Ponce-Rojas, Sergio Vidal-Beltrán, Iván Zamudio-Castro. “Aplicación del Método de Krige para el Análisis de Cobertura de un Nodo B”, Nova Scientia, No. 6, Vol. 3 (2) Mayo-Noviembre 2011, pp. 16-31.
- [8] Jazmín Ponce-Rojas, Sergio Vidal-Beltrán, Iván Zamudio-Castro, Federico Felipe Durán.”Coverage Maps of 3G Cellular Networks using Geographic Information Systems”. Research In Computing Science, Advances in Computer Science and Electronic Systems, Vol. 52, 2011, pp. 297-307

