

**PROPAGATION MODEL IN OUTDOOR ENVIRONMENTS FOR WIRELESS
SYSTEMS OPERATING AT THE FREQUENCY BAND OF 2.4 GHZ****MODELO DE PROPAGACION EN AMBIENTES EXTERIORES PARA SISTEMAS
INALAMBRICOS OPERANDO EN LA BANDA DE FRECUENCIAS DE 2.4 GHZ****MSc. Jorge Enrique Herrera Rubio**, PhD. Nelson A. Perez******* Universidad de Pamplona, Sede Villa Rosario**

Ciudad Universitaria de la Frontera, Villa Rosario, Norte de Santander, Colombia.

Tels: (7) 5703837 - 5703742

E-mail: jherrera@unipamplona.edu.co**** Universidad de Los Andes**

Facultad de Ingeniería. Sector La Hechicera, Mérida – Venezuela. 5101. Tel.: (58) 0274–2402811.

E-mail: nperez@ula.ve

Abstract: In this work, the design of a half-empirical model proposes one semi based on the measures of intensity of power signals for the location of the access points or transmitter with respect to the receiver or client; this then, quantifies the possible errors of prediction based on the obtained calculations and the measured data, by means of the use of techniques of the regression of models for estimation and applied statistical methods in three types of atmospheres: urban, semi urban and rural.

Resumen: En este trabajo, se propone el diseño de un modelo semi empírico basado en las medidas de intensidad de potencia señal para la ubicación de los puntos de acceso o transmisor con respecto al receptor o cliente cuantificando los posibles errores de predicción con base en los cálculos obtenidos y los datos medidos, mediante la utilización de técnicas de regresión de modelos de estimación y métodos estadísticos aplicados en tres tipos de ambientes: urbano, semi urbano y rural.

Keywords: Empirical model, access points, regression techniques, environments.

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento acelerado de las redes inalámbricas ha generado cambios importantes en la prestación de servicios de redes datos a nivel de aplicaciones en ambientes con configuraciones de cobertura de tipo pico celular y micro celular, mediante el uso de tecnología de radiofrecuencia en la banda de 2,4 GHz, avalado por el Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE) mediante el estándar 802.11 (y todos los desarrollos recientes basados en este

estándar) que define las redes locales inalámbricas WLAN (*Wireless Local Area Network*) haciendo uso del espectro expandido.

Las velocidades típicas de éstas tecnologías son de 11 Mbps en IEEE 802.11b, que transmite en la banda libre de licencia ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) en 2,4 GHz, y de hasta 54 Mbps en el estándar IEEE 802.11a, en la banda de 5,8 GHz, lo cual hace que sea compatible para operar con redes cableadas que trabajan en 10 Mbps. [1].

Para diseñar y planificar una red inalámbrica es importante verificar los elementos y factores de afectan los niveles de potencia de la señal en la línea de vista entre el transmisor y el receptor, debido a que existe una gran variabilidad de la señal por los efectos de los fenómenos físicos y aleatorios que dependen del ambiente y la región donde se desea implementar, por tal motivo es necesario desarrollar y aplicar modelos que permitan predecir el comportamiento de los niveles de señal de acuerdo a las condiciones del entorno para determinar el grado de cobertura, en la actualidad existen modelos para frecuencias de trabajo en telefonía móvil celular y muy pocos para frecuencias libre en tecnología inalámbrica.

Es conveniente considerar un modelo sencillo que basado en mediciones experimentales permita determinar la predicación en el diseño de un enlace de datos minimizando los errores de predicción de acuerdo a las características físicas del medio donde se aplican el modelo.

2. MODELOS

Un modelo de propagación es un conjunto de expresiones matemáticas, diagramas y algoritmos utilizados para representar las características de radio de un determinado entorno.

La señal emitida por una antena (emisor) va a experimentar múltiples transformaciones en su señal y camino a lo largo de su trayectoria por el medio de propagación, llegando al receptor solo una pequeña parte. El camino entre receptor y emisor pueden variar en múltiples formas debido a la existencia de diferentes obstáculos. Esto hace muy difícil predecir la señal recibida en un determinado punto o analizar el canal de radio. Los modelos de propagación se han enfocado tradicionalmente en predecir la potencia promedio de la señal recibida; así como la variación de la potencia en la proximidad espacial de un lugar en particular.

Los modelos de propagación de radio se pueden clasificar en dos tipos principales: modelos *outdoor* (exterior) y modelos *indoor* (interior). Además, ateniéndonos al tamaño de la zona de cobertura, los modelos *outdoor* se pueden dividir en modelos de propagación en zonas grandes (macrocelas) y de zonas pequeñas (microcelas). Existen más modelos de propagación para sistema inalámbricos *outdoor*.

Los modelos *outdoor* no tienen en cuenta las características particulares de la propagación *indoor*.

La mayoría de los modelos de cobertura de redes inalámbricas existentes son modelos de caja negra, en los que se ajustan los parámetros del modelo y se aplican las fórmulas directamente para obtener los resultados de cobertura. [2], [3].

3. DISEÑO EXPERIMENTAL

3.1 Análisis e interpretación

Basado en las reglamentaciones de UTI-R, el manual de comprobación técnica y los métodos estadísticos se puede inferir para el modelo en estudio las siguientes interpretaciones:

Las mediciones se realizan en presencia de condiciones que tienden a disminuir la precisión alcanzable, puede mejorarse algo la situación realizando mediciones agrupadas cuando las observaciones sean con aparatos portátiles y tomando el promedio de los resultados o efectuando registros continuos de la intensidad de campo, como es el caso de la toma de 60 muestras por minuto, pero considerando el error en las mediciones y el ruido del sistema de medición [4].

“La posible precisión en condiciones normales con instalaciones portátiles o móviles hace que la precisión lograda no satisface en todos los casos lo dispuesto en la recomendación UIT-R 378, pero aún así, la capacidad de recepción omnidireccional,”¹ hace de la antena de $\lambda/4$ un instrumento útil para realizar mediciones de campo, para el caso en estudio. [5]

Se considera que hay un nivel de confianza entre el 90% y el 95% en el número de muestras tomadas al calcular la desviación estándar con un margen de más o menos 3 dB.

Al aplicar, por ejemplo, el modelo de cálculo teórico para la Pérdidas en Espacio Libre (PEL) con las características intrínsecas de los radios y al compararlo con los niveles de señal medidos en los 3 ambientes urbanos para las alturas fijas de 3 m; se

¹ Recomendación UIT-R SM.378-6, Mediciones de la intensidad de campo en las estaciones de comprobación técnica, 1995.

observa que la potencia disminuye a medida que se aumenta la distancia entre el receptor y el transmisor, como se observa en la figura 1, con un exponente de pérdida debida al efecto de los obstáculos que existen en el medio. [6]

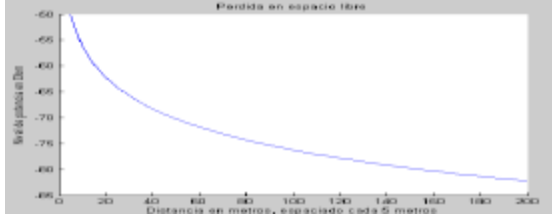


Fig. 1. Relación de nivel de potencia aplicando el modelo de Pérdida Espacio Libre Potencia vs. Distancia

Cuando las medidas del equipo receptor se toman cerca del Punto de acceso (transmisor) existen fluctuaciones de la potencia debida al efecto de multi trayectorias causada por los objetos cercanos.

Para la altura en de 3 metros existe una tendencia de la curva de alejarse de la PEL, caso contrario puede suceder al aumentar la altura del equipo transmisor.

Se considera en el momento de desarrollar el modelo semi empírico que para hacer los ajustes y correcciones necesarios en la obtención del modelo final, fueron necesarias la toma de 29700 muestras en promedio y depuradas.

La metodología aplicada en el desarrollo del proyecto para alcanzar cada uno de los objetivos específicos formulados, fueron:

- *Analizar las principales características técnicas de las diferentes redes WLAN*

Consultar diferentes tipos de bibliografía relacionados con las características de equipos y tipos de configuraciones, utilización de los motores de búsqueda en Internet de títulos relacionados sobre el tema, clasificación del material de acuerdo al tipo de fuente y la lectura, resúmenes y comentarios de las publicaciones.

- *Analizar los principales aspectos de propagación que deben ser considerados en la banda de frecuencia de 2,4 GHz*

En este caso se realiza la recolección de información teórica sobre los modelos existen para sistemas

inalámbricos de telefonía móvil celular con punto de referencia.

El análisis de las formulación matemática en donde se representan las pérdidas en espacio libre, cálculos con las formulas empleadas por los modelos de referencia Okumura, Cost -321, Waslfish- Ikegami y Modelo de dos rayos, tilizados en sistemas de frecuencias para sistemas celulares. [7] [8] [9].

Recopilación de datos sobre los factores que afectan un enlace como el caso de: atenuación, elementos dispersores, elementos reflectores, pérdidas por densidad de los cuerpos, etc.

- *Analizar los principios de funcionamiento del equipo a ser utilizado para las mediciones, es decir, básicamente los AP (Access Point) [10], [11]*

Conocer y determinar los parámetros que se pueden programar en los radios tanto transmisor como receptor.

Realizar la programación de un radio en modo Punto de acceso que irradiara la señal del transmisor o estación base

Realizar la programación de un radio en modo cliente que recibirá la señal del transmisor y fijar los niveles de potencia óptimos para obtener un enlace que cumpla con las especificaciones.

- *Realizar medidas del nivel de potencia de la señal recibida en redes WLAN, operando en 2,4 GHz, en ambientes exteriores*

Se realiza el trazado de las distancias cada 5 metros haciendo el recorrido para cada uno de los ambientes hasta lograr un nivel de potencia óptimo para un enlace de datos, aplicando las recomendaciones de UIT. [12]

Se encienden los radios por 15 minutos antes de empezar a realizar las mediciones para evitar error de ruido térmico o electrónico al iniciar la toma de la data.

Se realizan los recorridos correspondientes tomando muestras cada 60 segundos durante 3 secciones en días diferentes pero manteniendo un horario y unas condiciones climáticas relativamente iguales.

Captura y medición de los niveles de potencia recibidos en el radio. Finalmente, se realiza el análisis estadístico y el posible rango de trabajo de los niveles de potencia aplicados para la frecuencia de trabajo de 2,4GHz.

- *Analizar las medidas realizadas, para crear la base de datos a ser utilizada en el modelado*

Depuración y filtrado de los datos: Como existe mucha información redundante solo se desea filtrar el nivel de potencia medidos en dBm.

Obtener las gráficas que relacionan potencia con respecto a distancia y hacer una comparación para cada una de las alturas.

Generar una ecuación que aproxime los niveles esperados con los modelos existente y enfocar el estudio y análisis a los enlaces para la frecuencia de trabajo de 2.4 GHz, inicialmente mediante una estimación logarítmica [13].

“De acuerdo a los niveles de potencia de señal medidos y expresados como RSSI (*Receive Signal Strength Indication*), se puede clasificar la calidad de la señal del enlace de la siguiente manera:

- 80 : Señal muy baja. Podemos tener problemas de caídas del enlace.
- 70: Enlace normal-bajo. Ocasionado por factores como la lluvia, viento, movimiento de vehículos y personas, desvanecimiento obstrucción del follaje de los árboles.
- 60: Enlace Bueno. Permite un ajuste estable para asegurar una conexión 80% de confiabilidad.
- 40 y superiores: Enlace perfecto. Podemos conseguir tasas de transferencias buenas y estables” [14].

4. FACTORES K Y FORMULACIÓN

Analizar las técnicas de regresión lineal y no lineal utilizadas en el desarrollo de modelos semi-empíricos obtenidos a partir de mediciones y desarrollar un modelo semi-empírico para la estimación de la cobertura en redes WLAN operando en 2,4 GHz, en ambientes exteriores. [15]

4.1. Procedimiento matemático 1

Se agruparon las 3 medidas del ambiente urbano y se obtuvo un dato promedio (ver tabla 1).

Se aplicó el método de regresión lineal estimando una función, como se observa en la figura 2, con comportamiento logaritmo ya que se observa que la potencia de recepción varía con el logaritmo de la distancia a medida que se realizan las medidas en cada punto.

$$Lu = a + b \cdot \log(D) \quad (1)$$

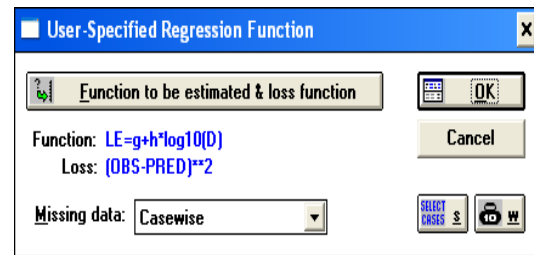


Fig. 2. Función de regresión. Fuente: Diseño con software SPSS® Versión 7.5.2S

Tabla 1: Potencias obtenidas en las mediciones de ambiente urbano

Distancia (metros)	Medición Promedio (dBm)
125	-81,43518519
120	-77,20185185
115	-76,90740741
110	-73,86111111
105	-67,61481481
100	-75,33703704
95	-77,23518519
90	-73,23888889
85	-69,51296296
80	-66,26851852
75	-63,91666667
70	-68,96851852
65	-64,10185185
60	-68,67222222
55	-60,72407407
50	-60,93148148
45	-61,4462963
40	-58,32037037
35	-55,08333333
30	-53,63333333
25	-48,18148148
20	-49,80925926
15	-48,86481481
10	-46,55925926
5	-45,04796296

El modelo de estimación aplicado es el Quasi-Newton porque al realizar el análisis obtenemos un error con tendencia a cero (ver figura 3). [16]



Figura 3. Modelo de estimación. Fuente: Diseño con software SPSS® Versión 7.5.2S

Al mismo tiempo se obtienen los parámetros de la ecuación que determina la pérdida de potencia, para el caso del ambiente Urbano, los valores son: a = -46.4882 y b = -27.6730 (ver figura 4).

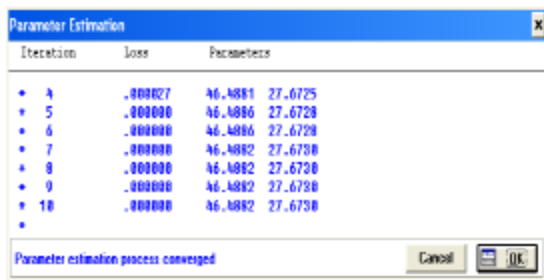


Fig. 4. Estimación de parámetros. Fuente: Diseño con software SPSS® Versión 7.5.2S

Por tanto la ecuación para el ambiente Urbano es:

$$Lu = -16,4873 - 27,6730 \cdot \log(D) \quad (2)$$

Realizando el análisis de regresión entre los valores observados con respecto a los medidos el nivel de confianza de las mediciones de los datos tomados es del 95%, como se observa en figura 5. [17]

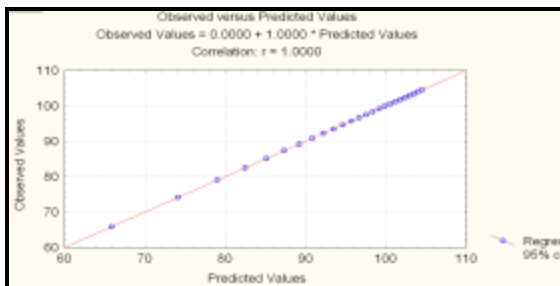


Fig. 5. Modelo de regresión entre los datos observados y los estimados. Fuente: Diseño con software SPSS® Versión 7.5.2S

También existe la particularidad de correlación del 80,44 % (ver figura 6) entre los valores residuales y los de la predicción. [18]

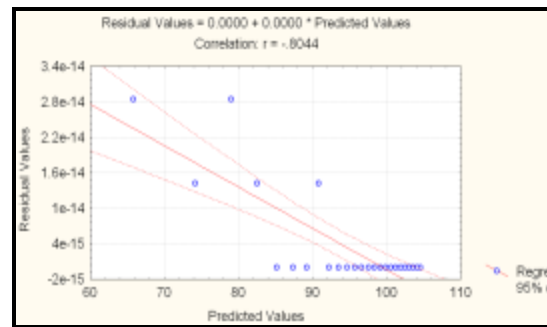


Fig. 6. Modelo de correlación entre los datos observados y los estimados. Fuente: Diseño con software SPSS® Versión 7.5.2S

De la misma forma se realiza el análisis para los ambientes semi urbano y rural, con los datos obtenidos de las tablas 2 y 3 respectivamente, y se obtienen las siguientes ecuaciones:

Tabla 2: Potencias obtenidas en las mediciones de ambiente semi urbano

Distancia (metros)	Medición Promedio(dBm)
100	-74,1611111
95	-72,987037
90	-70,0907407
85	-69,3944444
80	-65,1148148
75	-65,4851852
70	-66,6833333
65	-64,6018519
60	-62,6240741
55	-61,8407407
50	-62,6074074
45	-55,6685185
40	-52,4203704
35	-55,3740741
30	-52,4925926
25	-51,6296296
20	-51,0833333
15	-49,9555556
10	-47,1666667

Tabla 3: Potencia obtenidas en las mediciones de ambiente Rural

Distancia (metros)	Medición Rural
145	-74,8722222
140	-72,7333333
135	-72,3277778
130	-72,9722222
125	-71,3055556
120	-73,8
115	-76,7666667
110	-71,9777778
105	-72,8055556
100	-72,6611111
95	-73,6777778
90	-73,1888889
85	-71,6555556
80	-65,9111111
75	-73,0277778
70	-68,5055556
65	-69,8833333
60	-70,5333333
55	-65,7277778
50	-68,6611111
45	-67,9277778
40	-70,4388889
35	-65,3666667
30	-61,5833333
25	-62,8277778
20	-59,6166667
15	-50,3777778
10	-48,2888889
5	-37,7055556

$$Lsu = c + e \cdot \log(D) \quad (3)$$

$$Lsu = -19,7761 - 24,6246 \cdot \log(D) \quad (4)$$

$$Lru = f + g \cdot \log(D) \quad (5)$$

$$Lru = -27,6304 - 22,5677 \cdot \log(D) \quad (6)$$

4.2. Procedimiento matemático 2

Para obtener un factor de corrección (K) que agrupe los tres tipos de ambiente, consideramos una dependencia directa del ambiente semi urbano con respecto al Urbano y la dependencia entre el ambiente Urbano y rural. [19].

Igualando las ecuaciones 1 y 4, hallamos $K1$ para el ambiente semi urbano, para el ambiente Urbano se considera, $K_0=0$.

Por tanto despejando $K1$, la ecuación es:

$$K1 = (c - a) + (e - b) \cdot \log(D) \quad (6)$$

De la misma forma se obtiene el factor $K2$, pero en este caso igualando las ecuaciones 1 y 6. [20]

Por tanto despejando $K2$, la ecuación es:

$$K2 = (f - a) + (g - b) \cdot \log(D) \quad (7)$$

Así las ecuaciones en forma general son:

$$Lu = -16,4873 - 27,6730 \cdot \log(D) + K_0 \quad (8)$$

$$Lsu = -19,7761 - 24,6246 \cdot \log(D) + K1 \quad (9)$$

$$Lru = -27,6304 - 22,5677 \cdot \log(D) + K2 \quad (10)$$

De esta forma se puede inferir que $K1$ y $K2$, son los factores que permiten sumar algebraicamente niveles de potencia en los diferentes ambientes, como se puede observar en las tablas 4 y 5. [21]

Tabla 4: Tabulación para hallar el factor $K1$

Distancia	Pot. Medida urbano (P)	20dB-Pmed (L)	LE	formula + K1
125	-81,435	101,435	-74,515	3,103
120	-77,202	97,202	-74,025	3,049
115	-76,907	96,907	-73,513	2,993
110	-73,861	93,861	-72,979	2,934
105	-67,615	87,615	-72,420	2,873
100	-75,337	95,337	-71,833	2,808
95	-77,235	97,235	-71,217	2,740
90	-73,239	93,239	-70,567	2,669
85	-69,513	89,513	-69,880	2,593
80	-66,269	86,269	-69,152	2,513
75	-63,916	83,916	-68,376	2,427
70	-68,969	88,969	-67,547	2,336
65	-64,102	84,102	-66,656	2,238
60	-68,672	88,672	-65,694	2,132
55	-60,724	80,724	-64,648	2,017
50	-60,931	80,931	-63,503	1,890
45	-61,446	81,446	-62,237	1,751
40	-58,320	78,320	-60,821	1,595
35	-55,083	75,083	-59,216	1,418
30	-53,633	73,633	-57,364	1,214
25	-48,182	68,182	-55,173	0,973
20	-49,809	69,809	-52,491	0,677
15	-48,865	68,865	-49,033	0,296
10	-46,559	66,559	-44,160	-0,240
5	-45,048	65,048	-35,830	-1,158
			K1 promedio	1,914

Tabla 5: Tabulación para hallar el factor K2

Distancia	Potencia Medida Rural (P)	20dB- Pmed (L)	LE	formula + K2
125,000	-71,306	91,306	-74,951	-0,438
120,000	-73,800	93,800	-74,551	-0,528
115,000	-76,767	96,767	-74,134	-0,623
110,000	-71,978	91,978	-73,698	-0,721
105,000	-72,806	92,806	-73,242	-0,824
100,000	-72,661	92,661	-72,764	-0,932
95,000	-73,678	93,678	-72,261	-1,046
90,000	-73,189	93,189	-71,731	-1,166
85,000	-71,656	91,656	-71,171	-1,293
80,000	-65,911	85,911	-70,577	-1,427
75,000	-73,028	93,028	-69,945	-1,570
70,000	-68,506	88,506	-69,268	-1,723
65,000	-69,883	89,883	-68,542	-1,888
60,000	-70,533	90,533	-67,758	-2,065
55,000	-65,728	85,728	-66,905	-2,258
50,000	-68,661	88,661	-65,971	-2,469
45,000	-67,928	87,928	-64,938	-2,703
40,000	-70,439	90,439	-63,784	-2,964
35,000	-65,367	85,367	-62,475	-3,260
30,000	-61,583	81,583	-60,964	-3,602
25,000	-62,828	82,828	-59,177	-4,006
20,000	-59,617	79,617	-56,990	-4,501
15,000	-50,378	70,378	-54,171	-5,139
10,000	-48,289	68,289	-50,197	-6,038
5,000	-37,706	57,706	-43,404	-7,575
			K2 promedio	-2,430

Al realizar los cálculos se observa que en ambiente semi urbano:

El Factor *K1* representa un aumento de 1,9135 de pérdida adicional con respecto al *LE* (pérdida calculada por fórmula) pero comparando el valor de *Lsu* con el valor medido (*Pmed*), existe una variación teórica de aproximadamente de +/- 6dB de acuerdo a la distancia considera en cada punto, pero basado en la norma técnica UIT-R SM.378 bajo condiciones uniformes para mediciones en bandas superiores a 1GHz, es posible obtener un error permitido de +/- 3dB, caso particular se debe de tener en cuenta por las rápidas variaciones de señal sujetas a desvanecimientos por multitrayectoria en frecuencias de 2,4 GHz en donde se puede describir el comportamiento mediante distribuciones estadísticas de la señal mu estreada, como se observa en la tabla 6 y la ecuación (9). [22, 23].

Tabla 6: Cálculo las pérdidas en ambiente semi urbano aplicando el factor K1

Distancia	Pmed	LE calculado	L=20Db -Pmed	$L_{sit} = -197761$ $-246246 * \log(D)$ + K1
100,000	-74,161	-69,025	94,161	-67,112
95,000	-72,987	-68,477	92,987	-66,563
90,000	-70,091	-67,899	90,091	-65,985
85,000	-69,394	-67,287	89,394	-65,374
80,000	-65,115	-66,639	85,115	-64,725
75,000	-65,485	-65,949	85,485	-64,035
70,000	-66,683	-65,211	86,683	-63,297
65,000	-64,602	-64,418	84,602	-62,505
60,000	-62,624	-63,562	82,624	-61,649
55,000	-61,841	-62,632	81,841	-60,718
50,000	-62,607	-61,613	82,607	-59,699
45,000	-55,669	-60,486	75,669	-58,572
40,000	-52,420	-59,226	72,420	-57,313
35,000	-55,374	-57,798	75,374	-55,885
30,000	-52,493	-56,150	72,493	-54,236
25,000	-51,630	-54,200	71,630	-52,286
20,000	-51,083	-51,813	71,083	-49,900
15,000	-49,956	-48,737	69,956	-46,823
10,000	-47,167	-44,401	67,167	-42,487
5,000	-41,133	-36,988	61,133	-35,074

Situación parecida sucede con el factor *K2* en el ambiente rural excepto que la pérdida adicional es de -2,4303 con respecto a *LE* (pérdida calculada por fórmula) y la condición de análisis es similar a lo anterior, como se observa en la tabla 7. y la ecuación (10).

En forma general se puede obtener una fórmula global que permita el cálculo de las pérdidas medidas con respecto a las teóricas de acuerdo al factor de pérdida según el ambiente en donde se desee aplicar, así:

$$L_g = -21,2979 - 24,9549 * \log(D) + K_0 + K_1 + K_2 \quad (11)$$

Realizando una comparación de los datos medidos y calculados y aplicando la fórmula general *Lg*, podemos observar que se mantiene un variación de +/- 6dB, excepto en los puntos ciegos de mayor valor, considerados en las mediciones debidas a los cambios producidos por factores de ensombrecimiento, dispersión, obstáculos opacos o variaciones debidas a los objetos móviles entre la estación base y el equipo de medición o receptor.

Al realizar la comparación de los diferentes tipos de error con el modelo propuesto y el modelo de Okumura, como método de predicción mas cercano a las características y comportamientos de los ambientes analizados y basado en las mediciones de potencia para estimar las pérdidas que se pueden obtener en un enlace, se observa que el error del modelo propuesto en ambiente urbano tiene una tendencia muy cercana a cero (ver figura 7) pero con valores de picos alternantes entre valores positivos y negativos cerca cero, caso diferente se ve en (ver figura 8 y 9) donde existe mas tendencia a cero no estrictamente en forma uniforme, las curva son mas alisadas, mientras que los datos de error del modelo con Okumura la tendencia de los valores es de alejarse de cero.

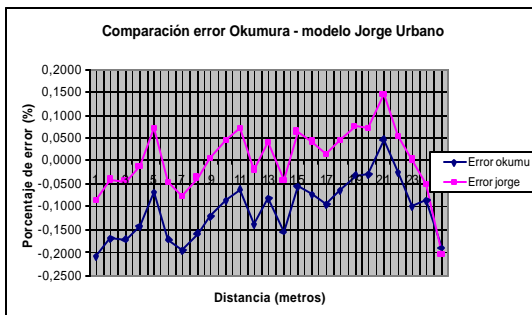


Fig. 7. Porcentaje de error entre dos modelos okumura –Jorge para Ambiente Urbano

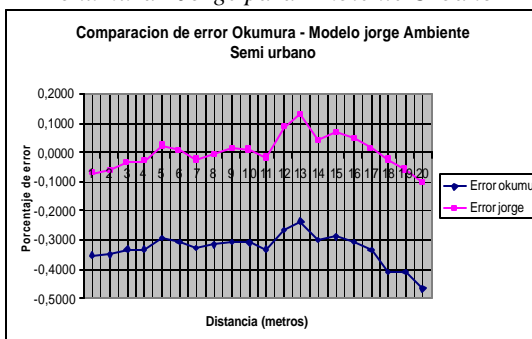


Fig. 8. Porcentaje de error entre dos modelos Okumura- Jorge para Ambiente Semi Urbano

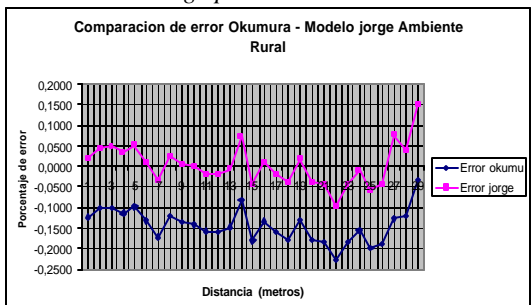


Fig. 9. Porcentaje de error entre dos modelos Okumura – Jorge para Ambiente Rural

Por otra parte, las pérdidas debidas al modelo de Okumura y el modelo propuesto la tendencia es cercana a la a curva de los datos medidos en el ambiente Urbano, se puede afirmar que hay una diferencia de aproximadamente entre -6 dB a -10 dB. (ver figura 10), y presenta variaciones inesperadas debidas a la atenuación del terreno y al efecto de los objetos en movimiento entre el transmisor y el receptor.

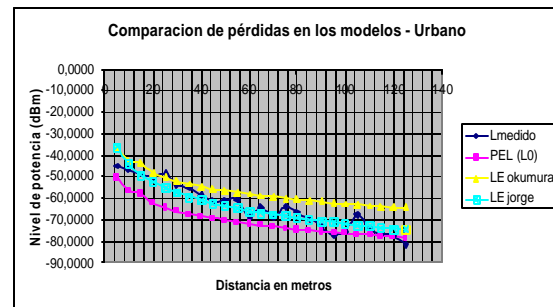


Fig. 10. Comparación de pérdidas entre modelos para ambiente Urbano

En el caso semi urbano se presenta una diferencia considerable de -20 dB entre las dos curvas y las pérdidas del modelo propuesto son más pronunciadas (ver figura 11), la atenuación debida al terreno y los elementos del medio es menor y no se presentan cambios inesperados.

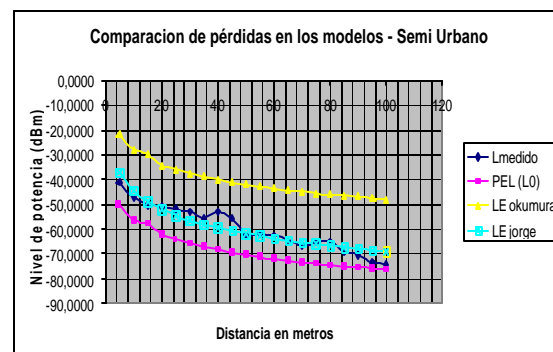


Fig. 11. Comparación de pérdidas entre modelos para el ambiente Semi Urbano

En el ambiente rural la tendencia del modelo se acerca mas al modelo teórico de Pérdida en Espacio Libre y la diferencia entre el modelo Okumura y el modelo propuesto la esta alrededor de -10 dB y se mantiene constante (ver figura 12), la evolución de la potencia recibida respecto a la distancia se aproxima al modelo de entornos abiertos como lo es el de pérdida en espacio libre(PEL),lo cual puede ser un comportamiento esperado por la condiciones del terreno.

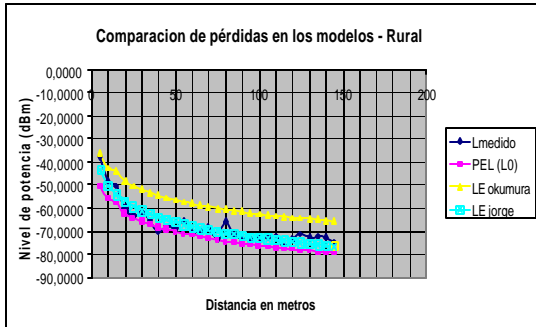


Fig. 12. Comparación de pérdidas entre modelos ambiente Rural

5. CONCLUSIONES

Gran parte de los datos obtenidos para el diseño se tomaron en la ciudad de Cúcuta y un finca en la Vía Pamplona, (Norte de Santander), que mezclados con la estadística permite predecir y describir la forma como la señal de potencia se transmite y se recibe a una determinada distancia, pero considerando las variaciones de potencia en el punto receptor en un escenario de cobertura óptimo.

El modelo de estudio tiene en cuenta el desvanecimiento de pequeña escala a nivel de pico celdas en donde se presentan desvanecimientos rápidos debidos a cambios de intensidad de la señal en pequeñas distancias, a la dispersión en tiempo causados por los retrasos en la propagación de la multitrayectoria y al movimiento de los objetos que ocasionan el efecto de Doppler (que se origina cuando existe un movimiento relativo entre el transmisor y el receptor); en este tipo de modelo se compara y se hacen los estudios de la explicación de la distancia comparables con la longitud de onda del elemento radiador activo de los equipos de transmisión y el modelado se expresa en elementos estadísticos.

Aunque la precisión lograda no satisface en todos los casos lo dispuesto en las recomendaciones UTI-R SM.378, la capacidad de recepción con un dipolo omnidireccional de 1/4 hace que sea un instrumento útil para realizar medidas de intensidad de potencia, teniendo en cuenta que para frecuencias por encima de 1 GHz el error permitido es de +/- 3 dB, con base en estos niveles se puede observar que para frecuencias de 2,4 GHz la diferencia entre el valor medido y el valor esperado oscila alrededor de +/- 6 dB para el ambiente urbano, +/- 3 dB en ambiente rural y +/- 5 dB en

ambiente semi urbano, sin tener en cuenta el factor de corrección que se incluirá en la fórmula general, caso contrario sucede cuando se agrega el factor de corrección K_0 , K_1 y K_2 , el cual permite en algunos casos aumentar o disminuir el nivel de potencia de la señal según el ambiente, situación que se presenta en el momento de las mediciones y la toma de las muestras, por más que se quiera tener un ambiente adecuado de medición, se presentan los problemas de puntos críticos de valor muy altos o muy bajos (picos de señal) por efectos de la propagación de la señal por multitrayectoria y el desvanecimiento producido por interferencias destructivas entre las diferentes ondas recibidas cuando existen múltiples reflexiones e interferencia.

Ahora bien, las condiciones atmosféricas y las características eléctricas del terreno en los diferentes ambientes analizados a frecuencias de 2,4 GHz, por ser una frecuencia alta pueden tener mayor o menor influencias en los fenómenos de dispersión, reflexión, difracción, absorción y dispersión.

La afirmación anterior se considera relevante, ya que al comparar la diferencia de potencia obtenida (entre el dato medido y el esperado por fórmula) con la desviación típica estándar puede obtenerse una estimación de alrededor de hasta +/- 10 dB en ambientes Urbano y Semi urbano y de hasta +/- 9 dB para ambiente Rural, pero en un enlace de comunicaciones real y funcional; estos valores pueden llegar a causar efectos en la transmisión de datos ya sea disminuyendo la velocidad a tasas muy bajas o producir retardos de propagación.

Con respecto a la obtención de los errores en el modelo propuesto para los ambientes urbano y rural es notable encontrar ciertos cambios bruscos, pero con la particularidad de tendencia a cero del orden de las centésimas; caso contrario sucede con el modelo Okumura en donde los errores tiende a ser mas negativos y alejados de ceros en proporción de las décimas de error, como se observa en las figuras 7 y 9. En el ambiente semi urbano existen menos dispersión de los datos y el comportamiento es más lineal sobre el valor de cero y hay una tendencia mucho mayor de alejarse de cero cuando se observa el modelo de Okumura, como se observa en la figura 8.

La forma de modelar los obstáculos es difícil en casos donde los terrenos por la orografía son irregulares y específicamente en entorno urbanos.

Los métodos semi empíricos requieren de una gran gama de medidas teniendo en cuenta: la variación de la altura de los radios, mediciones en diferentes frecuencias, utilizando diferentes tipos de radios y antenas, variación de los niveles de potencia y determinar la correlación de las medidas con las características del medio de propagación.

Una de las ventajas del método semi empírico propuesto es la de proporcionar una estimación rápida de la pérdida de propagación, permitiendo un uso sencillo y rápido, su desventaja se basa en que su exactitud no es muy buena y la condición mejora aumentando el nivel de medidas.

Aunque el modelo apunta a predecir la potencia recibida de señal en un punto específico dentro de un ambiente particular es difícil determinar su exactitud ya que todo modelo tiende a ser modificado y corregido más aún teniendo en cuenta el enfoque, la precisión y complejidad del modelo basado en mediciones estadísticas.

La orografía del suelo, sus características morfológicas y los cuerpos opacos condicionan las propiedades eléctricas de la señal, se observa que a frecuencias altas la atenuación es elevada y es necesario elevar la altura de las antenas respecto al suelo, con el fin de que la señal obtenida en el extremo receptor se establezca como una suma de la onda directa y la reflejada, además se deben introducir los diferentes factores que afectan el entorno mediante una gama mas amplia de mediciones, equipos y dispositivos que contemplen las variaciones temporales mediante modelos estadísticos a partir de medidas.

REFERENCIAS

- [1]. Mompó, j. m., Corral,p., Segrelles,J., Pierucci, L. Herramienta gráfica para la predicción de coberturas IEEE 802.11a/b/g en interiores, exteriores y espacio libre. Università di Firenze, Florencia (Italia), consultada en: http://w3.iec.csic.es/URSI/articulos_gandia_2005/articulos/ED2/556.pdf
- [2]. Rappaport, Theodore S. Wireless Communications-Principles & Practice, Prentice Hall Inc, 1996.
- [3]. Correa, C., A., Godoy R., S., Grote W., H. y Orellana, M., (2005), Evaluación de enlaces inalámbricos urbanos usando el protocolo IEEE 802.11b, Univ. Tarapacá, *acción revista: Rev. Fac. Ing. -*, vol. 13 N° 3, 2005, pp. 38-44.
- [4]. Manual de comprobación Técnica del espectro, Tomo 1, UIT , 1995.
- [5]. Recomendación UIT-R P.1406, Aspectos de la propagación relativos al servicio móvil terrestre terrenal en las bandas de ondas métricas y decimétricas.
- [6]. Franta, W, (2001), *LAN inalámbrica- Aspectos radioeléctricos*, Universidad de Rioja, España consultada en: http://uem.es/binaria/monograficos/archivos_monograficos/wolfgang_franta_espanol.pdf.
- [7]. Pérez García, N.A. , *Cálculo de cobertura de sistemas WLL y LMDS*, Universidad de Rio de Janeiro, Brasil, 2000.
- [8]. Katz, E., Larroca, F., Martino, X., SAPO Software de Análisis de Propagación Outdoor, Universidad de la república de Uruguay, Uruguay, consultada en : <http://telcom2006.fing.edu.uy/trabajos/mvdtelcom-003.pdf>, Enero 3 de 2007.
- [9]. Rivas, N., R., (2006), Medidas de la potencia recibida en una red wlan operando en 2,4 GHz en ambientes exteriores (outdoor), tesis de pregrado no publicada. Universidad de los andes, Venezuela, Consultada 4 Septiembre de 2006., Marzo, 2006
- [10]. D-Link. F.A.Q. hat do the modes mean on my Access Point. Disponible en <http://www.dlink.com.au/> Consultada en Mayo del 2006 y Enero de 2007.
- [11]. Linksys, Technical Support en <http://www.linksys.com/> Consultada en Octubre y Noviembre del 2006.
- [12]. Carballar, José A. WI-FI Como construir una red inalámbrica, Alfaomega, 2004.
- [13]. Oliveras Pla, Marc; Ruiz López, Daniel (2006), Proyecto final de carrera de la Universidad Politecnica de Cataluña. [tesis en línea]. Universidad de Cataluña, España. Consultada el 8 de febrero de 2007 en: http://biblioteca.upc.es/pfc/mostrars_dades_PFC.asp?id=53876.
- [14]. Neil Reid y Ron Seide. 802.11 (Wi-Fi), McGraw Hill, 2003.
- [15]. Aleksandar Neskovic, Natascha Neskovic y George Paunovic, "Modern approaches in Modeling of mobile radio systems propagation environment", IEEE Communications Surveys. Third Quarter 2000

- [16]. [http:// www.statsoft.com](http://www.statsoft.com)
- [17]. Correa, C., A., Godoy R., S., Grote W., H. y Orellana, M., (2005), Evaluación de enlaces inalámbricos urbanos usando el protocolo IEEE 802.11b, Univ. Tarapacá revista: Rev. Fac. Ing. -, vol. 13 N° 3, 2005, pp. 38-44.
- [18]. *García, F., N. (2006)*, Modelo de cobertura en redes inalámbricas basado en radiosidad por refinamiento progresivo, [tesis en línea], Universidad de Oviedo, España, Consultada el 4 de Diciembre de 2006. <http://www.di.uniovi.es/~cueva/investigacion/tesis/Nestor.pdf>
- [19]. Quiroa, C., L., (2005), Uso de redes neuronales con información de vecindario para estimar la ubicación de computadores móviles. [Tesis no publicada], Ensenada, Baja California, México.
- [20]. Pérez García, Nelson. Telecomunicaciones. Conferencia presentada en las I Jornadas de Orientación Básica en la Ingeniería (I JORBAING), Escuela Básica de Ingeniería, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela, Noviembre 2004.
- [21]. Fernández Néstor García, Modelo de cobertura en redes inalámbricas basado en radiosidad por refinamiento progresivo, *Oviedo, marzo de 2006*
- [22]. Recomendación UIT-R P.378, Medición de la intensidad de campo en las estaciones de comprobación técnica.
- [23]. Recomendación UIT-R P.1406, Aspectos de la propagación relativos al servicio móvil terrestre terrenal en las bandas de ondas métricas y decimétricas.