

**PREDICCIÓN DE COBERTURA EN AMBIENTES SEMIRURBANOS
MEDIANTE METODO EXPERIMENTAL PARA SISTEMAS INALAMBRICOS
EN LA BANDA DE FRECUENCIA 2.4 GHZ**

**COVERAGE PREDICTION IN SEMI URBAN ENVIRONMENTS USING
EXPERIMENTAL METHOD FOR WIRELESS SYSTEMS IN THE FREQUENCY
BAND 2.4 GHZ**

MSc. Jorge Enrique Herrera Rubio

Universidad de Pamplona, Facultad de ingenierías y arquitectura, Sede Villa Rosario
Ciudad Universitaria de la Frontera, Villa Rosario, Norte de Santander, Colombia.

Tels: +(57) (7) 57 03837, +(57) (7) 570 3742, +(57) 315 3835874.

E-mail: jherrera@unipamplona.edu.co, jehr65@gmail.com

Abstract: Proposed experimental work is based on measurements of signal power levels semi urban environments for the location of a mobile station relative to a base station transmitter. To quantify the prediction errors of the received power is checked through math techniques nonlinear regression estimation models and statistical analysis; performing height variation and the power of the main transmitting station, in order to determine the maximum coverage according to the received power level and the location of the receiving equipment.

Keywords: Empirical, model, prediction, stochastic, power, propagation.

Resumen: El trabajo experimental propuesto se basa en las mediciones de niveles de potencia de señal en ambientes semi-urbanos para la ubicación de una estación móvil con respecto a una estación base transmisora. Para cuantificar los posibles errores de predicción de la potencia recibida se comprueba con cálculos matemáticos a través de técnicas de regresión no lineal de modelos de estimación y análisis estadísticos; realizando la variación de la altura y la potencia de la estación transmisora principal, con el fin de determinar la máxima cobertura de acuerdo al nivel de potencia recibido y la ubicación de los equipos receptores.

Palabras clave: Empírico, modelo, predicción, estocástico, potencia, propagación.

1. INTRODUCCIÓN

El emplazamiento de redes inalámbricas en bandas de frecuencias de 2.4 GHz a permitido una integración con redes cableadas y móviles para extender los servicios de banda ancha y cobertura de zonas de alto impacto en donde no es posible cubrir las necesidades de los clientes y donde se hace indispensable la coexistencia de las redes inalámbricas de datos con cualquier tecnología, lo que técnicamente a generado una saturación del

espectro sin tener en cuenta algún tipo de predicción en cuanto al área de cobertura de señal especialmente en ambientes semi urbanos o sub urbanos, ya que en ambientes urbanos el problema resulta mucho mayor por la densidad de usuarios y cantidad de equipos.

Por lo anterior, es necesario diseñar y planificar una red inalámbrica verificando los elementos y factores que afectan los niveles de potencia de la señal debido a los efectos de los fenómenos

aleatorios que suceden y dependen del ambiente y la región donde se desea implementar, por tal motivo se deben considerar las mediciones de cobertura en ambientes exteriores sub urbanos mediante la utilización de un método experimental que tenga en cuenta los factores y las condiciones físicas intrínsecas del sitio en la cual se aplica y que sirva de referencia en otras situaciones similares para realizar la ubicación de equipos.

Se han realizado estudios tales como: Estimación de modelos de propagación en las bandas de 2.5 y 3.5 Ghz en zonas urbanas, por Farinha A., 2011, Modelo de propagación en las ciudades de Mérida (Venezuela) y Cúcuta (Colombia) para redes WLAN, operando en 2.4 GHz, en ambientes exteriores, (Pérez *et al.*, 2012), entre otros; para el estudio propuesto se confina para ambientes semi-urbanos y se toma como referencia el análisis de los modelos de propagación más significativos, tales como: de Okumura, Okumura-Hata, Young, Lee, Longley-Rice, COST-231 Hata, Walfisch-Bertoni y Sakagami-Kuboi, como referencias para obtener una expresión analítica experimental.

2. MODELO EXPERIMENTAL

El tipo de estudio a desarrollar es predictivo-correlacional, donde se determinan e interpretan los coeficientes de correlación para determinar la posible relación entre las variables.

Un modelo de propagación, es un conjunto de expresiones matemáticas, tablas, diagramas y algoritmos que pueden ser utilizados para representar las características del nivel de potencia recibido de un sistema de radio en un determinado entorno.

La señal emitida por la estación base va a experimentar múltiples transformaciones de energía electromagnéticas a lo largo de su trayectoria 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 difícil cuantificar el nivel de la señal recibida en un determinado punto. 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 (Herrera, 2008).

Los modelos de propagación de radio se pueden clasificar en dos tipos principales: modelos *outdoor* (exterior) y modelos *indoor* (interior), ateniendo al tamaño de la zona de cobertura; los modelos *outdoor* se pueden dividir en: zonas grandes (macrocelas) y de zonas pequeñas (microcelas). Existen más modelos de propagación para sistema inalámbricos *outdoor*. (Mompó *et al.*, 2005)

3. DISEÑO EXPERIMENTAL

3.1 Problema

Generar una expresión matemática para determinar los niveles de potencia de recepción de un enlace exterior trabajando en la frecuencia de la banda de 2,4 Ghz en ambiente semi urbano a través de las mediciones realizadas en campo.

3.2 Hipótesis

Colocar bajo consideración las mediciones de niveles de potencia tomadas en campo; aplicando estadística básica y modelos de regresión no lineal para formular una expresión basada en: la observación, pruebas empíricas y teorías convalidadas; como es el caso de los modelos de propagación comprobados para sistemas móviles desarrollados en la actualidad.

3.3 Análisis e interpretación

Las mediciones se realizan tomando como referente las recomendaciones actualizadas de UIT-R del Manual sobre Comprobación Técnica del Espectro 2011 que contiene las últimas informaciones sobre todos los aspectos de comprobación técnica y representa un texto de referencia del cual se puede tomar algunos conceptos e inferir 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. (Manual de comprobación técnica espectro, Tomo 1, UIT, 2011).

“La posible precisión en condiciones normales con instalaciones portátiles o móviles hace que la precisión lograda no se satisface en todos los casos por 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. (Recomendación UIT-R P.1406, 2008). 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 entre 6 y 8 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 ambientes *semi urbanos* para las alturas fijas de 6 m en promedio; se 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 y un factor de atenuación debida al efecto de los obstáculos y fenómenos naturales que existen en el medio (Franta, 2001).

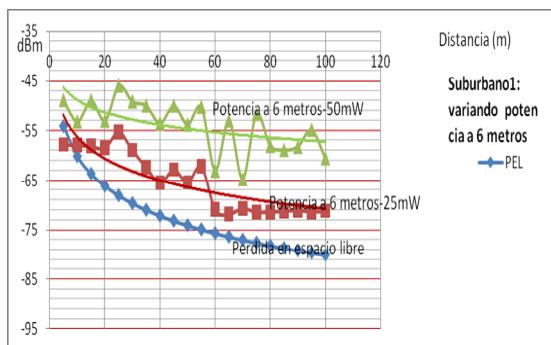


Fig. 1: Niveles de potencia pérdidas en espacio libre. (Relación Distancia vs Potencia)

Desde el punto de vista práctico las mediciones de potencias cerca del equipo transmisor en la región de campo cercano se realizan con una aproximación de 40 longitudes de onda (40?) considerando que se produce fluctuaciones de la potencia, debido al efecto de multi trayectoria, tomando como referencia el Manual de comprobación técnica del espectro, Tomo 1, UIT , 2011.

¹ Recomendación UIT-R SM.378-6, Mediciones de la intensidad de campo en las estaciones de comprobación técnica, 2011

Para la altura de 6 metros en ambiente semi urbano se considera que existe una tendencia de la curva de alejarse de los niveles de potencia de la curva PEL, obteniéndose una mejor respuesta a medida que se aumenta la potencia (ver figura 1); para el ajuste y correcciones se hace necesario la toma superior a 123600 muestras en promedio.

3.4 Metodología aplicada

3.4.1 Muestra

La base del estudio se confinó a tres ambientes semi urbanos o en su defecto se definieron como ambientes suburbanos así:

- Semi urbano 1 (Suburbano 1: Vegetación densa). → Universidad de Pamplona, Villa del Rosario.
- Semi urbano 2 (Suburbano 2). → Barrio Parques residenciales 3.
- Semi urbano 3 (Suburbano 2: Escasa vegetación). → Barrio Miraflores.

3.4.2 Recopilación de datos

Analizar las principales características técnicas de las diferentes redes WLAN

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

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 existentes para sistemas inalámbricos de telefonía móvil celular como punto de referencia (Longley, 1968).

Después se realiza el análisis de las formulaciones matemáticas en donde se representan las pérdidas en espacio libre, cálculos con las formulas similares a las empleadas por los modelos de referencia Okumura (Hata, 1980), Cost -321 (COST Telecommunications, 1999) y Waslfish-Ikegami (Walfisch, *et al.*, 1988), utilizados en sistemas de frecuencias para sistemas celulares (García, 2000).

Recopilación de datos sobre los factores que afectan un enlace de microondas, tales como: atenuación, elementos dispersores, elementos reflectores, pérdidas por densidad de los cuerpos, etc. (Rivas, 2006).

Analizar los principios de funcionamiento del equipo a ser utilizado para las mediciones, es decir, básicamente los AP (Access Point) (Linksys, 2011).

Conocer y determinar los parámetros y características de programación tanto los equipos de radio transmisor como receptor.

Realizar la programación de un radio en modo Punto de acceso que irradiará la señal del transmisor en mili vatios y el nivel potencia de referencia de recepción mínima.

Configura el radio para fijar los niveles de potencia óptimos (en el caso de las mediciones se realizaron pruebas en 25mW, 50mW y 100mW) para obtener un enlace que cumpla con las especificaciones.

Identificar los niveles de ganancia de las estaciones receptoras (3dBi).

3.4.3 Procesamiento de datos

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 (equivalente a 40', como se explico anteriormente), 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.

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

Se efectúan los recorridos correspondientes cada 5 metros, tomando 180 muestras durante 3 minutos en días diferentes, manteniendo un horario y unas condiciones climáticas relativamente similares para los tres ambientes.

Se capturan de los niveles de potencia recibidos en un computador portátil con aplicación de software

libre en el equipo receptor a una altura promedio de 1 metro con respecto al piso en archivo de texto plano.

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

Realizar la depuración y filtrado de los datos:

El resultado de la información redundante se filtra seleccionando solo el nivel de potencia medido en dBm (RSSI), obtenido con el software Inssider 2.0, el cual genera un archivo en formato de texto plano, después se lee en una hoja de cálculo y desde éste se filtran los datos más relevantes de cada registro tomado segundo a segundo durante 180 segundos, con el propósito de obtener un dato promedio para depurar los errores tales como: error de tiempo de inicio de la medida, movimientos involuntarios del operador que toma las medidas, error en las capturas del software, entre otras.

Obtener las gráficas que relacionan potencia con respecto a distancia y altura con respecto a la distancia, para después realizar la comparación de cada una de las alturas, distancias y potencias de los semi urbanos.

Lograr un expresión matemática para calcular analíticamente los niveles de potencias y contrastarlos con los datos obtenidos en la mediciones para cada uno de los enlaces para la frecuencia de trabajo de 2.4 GHz, inicialmente mediante una estimación logarítmica (Katz, *et al.*, 2007).

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. Problemas de conectividad, 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 con un 80% de confiabilidad.
- 40% e inferiores: Enlace perfecto. Podemos conseguir tasas de transferencias buenas y estables” (Oliveras, 2006).

4. FORMULACIÓN

Con la utilización del Software SSPS Versión 15, se analizan y aplican las técnicas de regresión no lineal utilizadas en el desarrollo de modelos experimentales obtenidos a partir de mediciones para la estimación de la cobertura en redes WLAN operando en 2,4 GHz, en ambientes sub urbanos o semi urbanos para exteriores (Reid, 2006).

4.1. Procedimiento analítico

Se agruparon las mediciones de cada uno de los ambientes sub urbanos categorizados anteriormente en grupos de medidas de acuerdo a área geográfica de influencias y se obtuvieron datos promedios de los niveles de recepción de potencia cada 5 metros (ver ejemplo: tabla 1).

Tabla 1: Medidas de potencia de ambiente suburbano1 variando la potencia.

DISTANCIA (metros)	Potencia 25mW a 4 metros	Potencia 50mW a 4 metros
5	-59,2371795	-45,59
10	-44,9798658	-45,121
15	-46,4827586	-47,99
20	-44,4827586	-46,6533213
25	-61,1453247	-43,29
30	-53,1438356	-47,35
35	-56,6554054	-49,63678
40	-55,2251656	-50,098
45	-51,0241935	-48,8334
50	-50,5384615	-49,96
55	-58,974026	-51,3
60	-74,4109589	-51,095
65	-69,4625	-50,252
70	-62,1460674	-52,458
75	-67,9030612	-51,2234
80	-71,9367295	-50,6735
85	-65,8042837	-52,13
90	-65,0245643	-51,234
95	-69,9198953	-51,8494
100	-73,1738442	-50,88425

Aclaración: Las medidas en ambiente suburbano 1 se realizaron variando la altura del radio entre 4 metros y 6 metros, variando la potencia en cada altura.

Se selecciona el método de regresión no lineal para estimar una función de la forma:

$$L_{sub} = a + b \log(D) \quad (1)$$

Por correspondencia tenemos que: $a=A$ y $b= g$

También de la forma:

$$L_{sub}(dB) = A + 10g \log(D) \quad (2)$$

Donde “A” es un factor que incluye las pérdidas de potencia con la altura del transmisor, múltiples reflexión, obstáculos, entre otros.; y “ γ ” es el ya mencionado, exponente de pérdidas de la potencia con la distancia (Yacoub, 2001).

Se observa que la potencia de recepción varía con el logaritmo de la distancia a medida que se realizan las medidas en cada punto.

Ahora bien, dado que las mediciones realizadas se refieren al nivel de potencia recibida y no a las pérdidas de la señal, la expresión (2) es equivalente a la de potencia, cambiando los signos de los dos términos de la misma (los términos que aparecen sumando en una ecuación de pérdidas de potencia, deben aparecer substrayendo en la correspondiente ecuación de potencia recibida). Por tanto, se tiene:

$$P_R (dBm) = -A - 10 g \log d \quad (3)$$

Donde P_R representa el nivel de señal recibida, “d” es dada en metros y los parámetros de “A” y “ γ ” son las variables obtenidas del modelo de regresión no lineal producto del análisis estadístico.

Tabla 2: Medidas de potencia de ambiente suburbano2 variando la potencia.

DISTANCIA (metros)	Potencia 100mW a 6 metros
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
5	-46,5593231

Tabla 3: Medidas de potencia de ambiente suburbano3 variando la potencia.

DISTANCIA (metros) RUTA1	Potencia 25mW a 7,11 metros	Potencia 25mW a 6,61 metros	Potencia 25mW a 6,11 metros
125	-76,2722222	-73,5888889	-67,1222222
120	-76,2722222	-77,6145833	-77,9888889
115	-68,2722222	-74,9284722	-74,4555556
110	-78,8	-73,8631944	-75,7444444
105	-71,2944444	-70,7972222	-70,4222222
100	-66,0944444	-67,79375	-70,1
95	-66,7777778	-67,4166667	-74,8888889
90	-68,6944444	-70,5222222	-76,0222222
85	-68,4333333	-69,3625	-68,2
80	-62,8666667	-74,6597222	-73,4055556
75	-69,4666667	-69,8506944	-73,0305556
70	-64,7222222	-66,3034722	-70,2666667
65	-68,45	-66,2777778	-64,5555556
60	-59,1333333	-63,0736111	-66,5333333
55	-71,3277778	-60,0065972	-62,3055556
50	-62,7055556	-58,2076389	-56,5166667
45	-59,6055556	-58,6423611	-63,3833333
40	-62,45	-57,6305556	-63,9555556
35	-57,65	-63,9222222	-53,0722222
30	-60,6666667	-59,2652778	-60,7166667
25	-66,4333333	-51,6680556	-60,4555556
20	-53,1388889	-56,775	-51,9166667
15	-52,5166667	-49,1243056	-46,65
10	-64,2722222	-57,7201389	-47,2833333
5	-57,7166667	-55,221875	-47,1666667

Como resultado de la regresión no lineal estadística se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$P_{Sub/25}(dBm) = -36,1404 - 15,4555 \cdot \log d \quad (4)$$

Ecuación Suburbano 1 a 25 mW

$$P_{Sub/50}(dBm) = -41,091 - 24,7 \cdot \log d \quad (5)$$

Ecuación Suburbano 1 a 50 mW

$$P_{Sub3/100R1}(dBm) = -33,607 - 18,3 \cdot \log d \quad (6)$$

Ecuación Suburbano 3, ruta 1 a100 mW

$$P_{Sub3/100R3}(dBm) = -35,7878 - 19,08 \cdot \log d \quad (7)$$

Ecuación Suburbano 3, ruta 3 a100 mW

$$P_{Sub3/100R4}(dBm) = -15,2331 - 30,8923 \cdot \log d \quad (8)$$

Ecuación Suburbano 3, ruta 4 a100 mW, enlace sin línea de vista.

$$P_{Sub3/100R8}(dBm) = -16,8514 - 35,7197 \cdot \log d \quad (9)$$

Ecuación Suburbano 3, ruta 8 a100 mW, enlace sin línea de vista.

En el ambiente sub urbano 3, se realizó el trazado de 9 rutas diferentes alrededor de un manzana irregular dentro del barrio, de la cual solo se estudiaron las rutas mencionas y se descartaron las anteriores por errores en la mediciones y pérdidas de los niveles de potencia debida a las edificaciones no uniformes físicamente.

$$P_{Sub2/100}(dBm) = -23,6129 - 22,4240 \cdot \log d \quad (10)$$

Ecuación Suburbano 2, a100 mW

Para el ambiente sub urbano 1: Por inspección se observa en el grupo de ecuaciones en total obtenidas, que al variar la potencia desde 25 mW y aumentar la altura, el parámetro A aumenta mientras que parámetro g disminuye, al confrontar con la mismas alturas, pero aumentando la potencia a 50mW se observa que A se mantiene en un promedio de -40 y g disminuye.

Para el ambiente sub urbano 3: Al variar la altura con una potencia 4 veces comparada con el ambiente suburbano 1, el parámetro A y g aumenta a medida que aumenta la altura en los enlaces con línea de vista ecuación 6 y 7, ahora bien, en enlaces sin línea de vista, haciendo la misma conjetura, como lo muestran las ecuaciones 8 y 9 sucede un fenómeno inverso, de lo anterior se infiere que la altura y la potencia son factores determinantes en la recepción optima de los niveles de potencia para ambientes sub urbanos, considerando los efectos de los mecanismos de propagación tales como: la difracción, refracción, reflexión y la dispersión, reflejado en el exponente de pérdidas g (tabla 4), que se obtiene del promedio de los resultados obtenidos en cada uno de los ambientes dentro de las mediciones.

Tabla 4. Valor del parámetro g

Suburbano 1/25mW	Suburbano 1/50mW	Suburbano 2/100mW	Suburbano 3/100mW R1	Suburbano 3/100mW R3	Suburbano 3/100mW R4 Sin línea de vista	Suburbano 3/100mW R8 sin línea de vista
1,54	2,47	2,24	1,83	1,90	3,08	3,57

Para valor de $g \geq 3$ los cálculos son errados en este tipo de ambiente a la frecuencia de 2,4Ghz, por tanto se descartó para el estudio desarrollado.

Con el fin de obtener una expresión general para validar los valores de niveles de potencia medidos y considerando cierta dependencia por la similitud del tipo de ambiente se procede a realizar la resta de las ecuaciones 4 con 5 para obtener el parámetro k_p , (k_{p1} para potencia de 25 mW y k_{p2} para

potencia de 50mW) ,6 con 7 para obtener el parámetro k_{A1} , 8 con 9 se obtiene k_{A2} y finalmente el factor k_m se obtiene de sumar 6 y 7; el resultado obtenido se resta de la ecuación 10 , ya que en este tipo de ambiente sub urbano la altura y la potencia es la misma y existe línea de vista; del estudio y análisis de los datos obtenidos para las ecuaciones 8 y 9 no se consideraron para los cálculos, porque, no existe línea de vista y el factor k obtenido es mayor que 5 haciendo que los datos no corresponden aproximadamente con las medidas de campo y los cálculos son inexactos, esto se debe de tener en cuenta en todos los casos y todos los ambientes a estudiar como se observa en la tabla 5, situación que también se ve reflejada en el valor del parámetro g cuando se hace mayor igual a 3.

Tabla 5. Valores de parámetros K de acuerdo a la clase de ambiente semi-urbano

Factor de corrección	Valor
K_{p1} : Ambiente suburbano 1 vegetación densa	5,04202798
K_{p2} : Ambiente suburbano 1 vegetación densa	-2,92740087
K_{A1} : Ambiente suburbano 3 normal (línea de vista)	0,86672121
K_{A2} : Ambiente suburbano 3 normal (sin línea de vista)	9,94205051
K_m : Ambiente suburbano 2 escasa vegetación	-4,58258427

Reordenando las ecuaciones respectivamente con el factor de corrección:

$$P_{Sub1/25}(dBm) = -36,1404 - 15,4 * \log d + kp1 \quad (11)$$

Ecuación Suburbano 1 a 25 mW

$$P_{Sub1/50}(dBm) = -41,0922 - 24,7 * \log d + kp2 \quad (12)$$

Ecuación Suburbano 1 a 50 mW

$$P_{Sub3/100R1}(dBm) = -33,607 - 18,3 * \log d + kA1 \quad (13)$$

Ecuación Suburbano 3, ruta 1 a100 mW

$$P_{Sub3/100R3}(dBm) = -35,7878 - 19,08 * \log d + kA1 \quad (14)$$

Ecuación Suburbano 3, ruta 3 a100 mW

$$P_{Sub3/100R4}(dBm) = -15,2331 - 30,8923 * \log d + kA2 \quad (15)$$

Ecuación Suburbano 3, ruta 4 a100 mW, enlace sin línea de vista.

$$P_{Sub3/100R8}(dBm) = -16,8514 - 35,7197 * \log d + kA2 \quad (16)$$

Ecuación Suburbano 3, ruta 8 a100 mW, enlace sin línea de vista.

$$P_{Sub2/100}(dBm) = -23,6129 - 22,424 * \log d + km \quad (17)$$

Ecuación Suburbano 2, a100 mW

En 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 sub urbano en donde se desee aplicar, así:

$$P_{Sub}(dBm) = -28,9042 - 21,3890 * \log d + kp1 + kp2 + kA1 + km \quad (18)$$

Un ejemplo para analizar, es el del ambiente sub urbano 2, Barrio Parques Residenciales que aparece de la tabla 6.

Tabla 6: Valores de potencia medidos versus correlacionados

DISTANCIA A - Metros	PEL (dBm)	Ecuación de regresión no lineal (dBm)	Datos Medidas de Potencia 100mW/6metros	Ecuación de regresión no lineal (dBm) con factor corrección Km
5	-54,077	-39,29	-46,56	-48,44
10	-60,098	-46,04	-47,17	-54,88
15	-63,619	-49,99	-49,96	-58,64
20	-66,118	-52,79	-51,08	-61,31
25	-68,056	-54,96	-51,63	-63,39
30	-69,64	-56,74	-52,49	-65,08
35	-70,979	-58,24	-55,37	-66,51
40	-72,139	-59,54	-52,42	-67,75
45	-73,162	-60,69	-55,67	-68,85
50	-74,077	-61,71	-62,61	-69,83
55	-74,905	-62,64	-61,84	-70,71
60	-75,661	-63,49	-62,62	-71,52
65	-76,356	-64,27	-64,60	-72,26
70	-77	-64,99	-66,68	-72,95
75	-77,599	-65,66	-65,49	-73,59
80	-78,159	-66,29	-65,11	-74,19
85	-78,686	-66,88	-69,39	-74,76
90	-79,182	-67,44	-70,09	-75,29
95	-79,652	-67,97	-72,99	-75,79
100	-80,098	-68,46	-74,16	-76,26

El resultado de la comparación de los datos medidos y calculados aplicando la fórmula general obtenida, se observa que existe una desviación considerable, debida a los cambios producidos por factores de ensombrecimiento, dispersión, obstáculos opacos, errores humanos en las medidas o variaciones producto de los objetos móviles entre la estación base y el equipo de medición o receptor; pero también se debe considerar que el efecto del modelo de regresión no lineal obtenido estadísticamente no tienen en cuenta los valores residuales que se pierden en el proceso de computo, lo cual también afecta al final los cálculos matemáticos al momento de hacer referencia con los valores medidos promediados y los correlacionados, por eso los valores en decibeles miliwatios oscilan entre +/- 3dB y +/- 9dB, que al momento del diseño de una red se

deben hacer los ajustes correspondientes y verificar con los datos medidos en campo para ser exactos en los niveles de sensibilidad de potencia de recepción en las estaciones móviles dentro de la red.

Al realizar las comparación de variación de potencia de 25mW a 50mW con respecto a las alturas desde 4 metros hasta 6 metros para el ambiente sub urbano 1, se observa el aumento en potencia en -10dBm mejorando el rendimiento de potencia, como se detalla en las figuras 2 a 6.

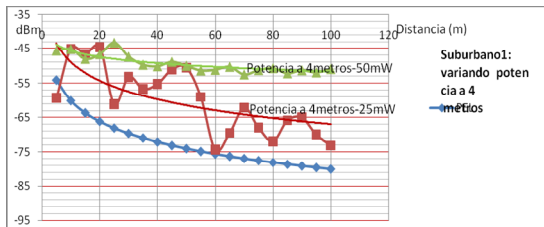


Fig. 2: Niveles de potencia ambiente sub urbano 1, 25mW Vs 50mW altura 4 metros.

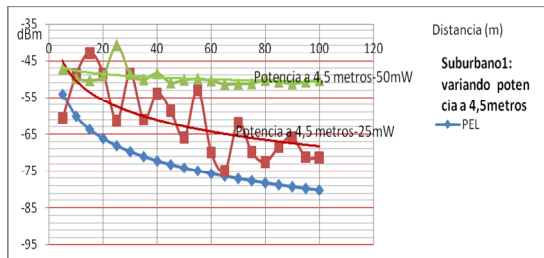


Fig. 3: Niveles de potencia ambiente sub urbano 1, 25mW Vs 50mW altura 4,5 metros.

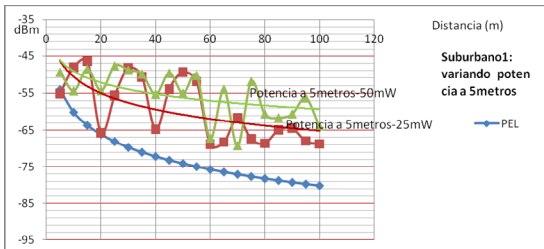


Fig. 4: Niveles de potencia ambiente sub urbano 1, 25mW Vs 50mW altura 5 metros.

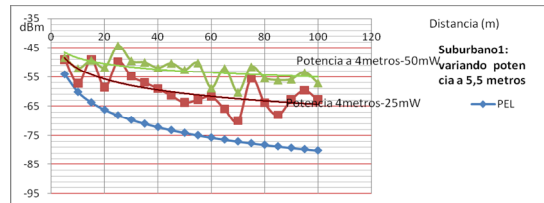


Fig. 5: Niveles de potencia ambiente sub urbano 1, 25mW Vs 50mW altura 5,5 metros.

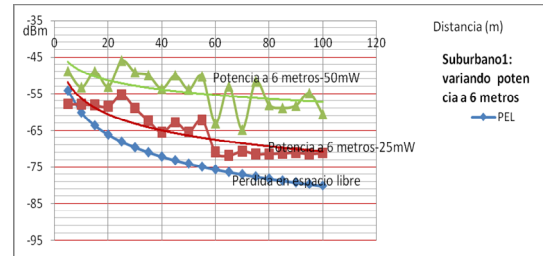


Fig. 6: Niveles de potencia ambiente sub urbano 1, 25mW Vs 50mW altura 6 metros.

Otra característica destacable es la variación de la altura de la estación para el caso suburbano 3 manteniendo la potencia fija a 100mW en las rutas 1 y 3 los datos de potencia presentan variación entre -3 dBm y -5 dBm de ganancia en los primeros 35 metros y después de los 85 metros; la curva de nivel de potencia recibida en 6,11 metros es la que se caracteriza por el mejor nivel de recepción de potencia, al comprobar los datos medidos y evaluados en la ecuación 18 la aproximación es buena y las pérdidas son cercanas a los -3dBm.

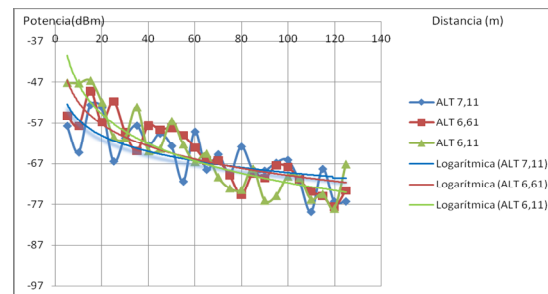


Fig. 7: Niveles de potencia ambiente sub urbano 3 (ruta 1), 100mW variación de altura 6.11, 6.61 y 7.11 metros.

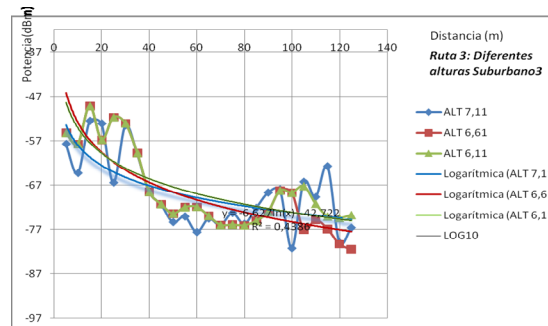


Fig. 7: Niveles de potencia ambiente sub urbano 3 (ruta 3), 100mW variación de altura 6.11, 6.61 y 7.11 metros

5. CONCLUSIONES

En el método experimental de estudio 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 multi trayectoria y al movimiento de los objetos que se origina cuando existe un movimiento relativo entre el transmisor y el receptor, en este tipo de investigación se detallan las variaciones de la potencia y la altura con respecto a distancia, considerando la longitud de onda de la frecuencia a trabajar como el elemento esencial para realizar el trazado de las distancias de las mediciones de potencia en el receptor.

En el desarrollo del método experimental se confinó solo para 3 ambientes semi urbanos se consideró como variable independiente la distancia entre transmisor y receptor y variables dependientes la altura y la potencia del transmisor, ya que se realizaron suficientes medidas en diversos días y horas, se realizó una subdivisión de los ambientes de acuerdo a la densidad geográfica, la morfología, la topología y tipo de estructura arquitectónicas

La aplicación del método de regresión no lineal permite generar una expresión para medir el desempeño del modelo y poderlo confrontar con los datos tomados en los ambientes y realizar los ajustes con los factores obtenidos según el caso.

Considerando las limitaciones técnicas de los equipos utilizados, es necesario emplear equipos de medición de precisión como lo son: el analizador de espectros y medidor de campo para la frecuencia de 2,4Ghz. Sin embargo, el uso las herramientas y programas computacionales permite hacer aproximaciones y ajustes matemáticos para obtener suficientes curvas para lograr un método más ajustado.

Por más que se quiera tener un ambiente adecuado de medición, se presentan los problemas de puntos críticos de valores muy altos o muy bajos (picos de señal) por efectos de la propagación de la señal por multi trayectoria y el desvanecimiento producido por interferencias destructivas entre las diferentes ondas recibidas cuando existen múltiples reflexiones e interferencias.

Una de las ventajas del uso de métodos experimentales es la de proporcionar una

estimación rápida de la pérdida de propagación, su desventaja se basa en que su exactitud no es muy buena, por lo tanto, se podrían mejorar las condiciones aumentando el número de medidas con equipos de alta precisión.

Se observa que a frecuencias altas la atenuación es elevada (debido a las influencias en los fenómenos de dispersión, reflexión, difracción, absorción y dispersión.) y es necesario elevar la altura de las antenas respecto al suelo, con el fin de que la señal obtenida en el extremo receptor sea la más óptima y adecuada, se deben introducir los diferentes factores de corrección para compensar las pérdidas y los errores residuales en la obtención de la formulación analítica.

El proceso de validación se basa en la ecuación obtenida analíticamente a través del método de regresión no lineal a la cual se le introducen los datos tomados en campo, el factor de corrección y las variables g y A obtenidas de acuerdo al ambiente a analizar, para comparar los datos con los diferentes modelos de propagación y así predecir las posibles ubicaciones de los equipos receptores.

A futuro se prevé la aplicación de otros modelos de regresión y técnicas matemáticas para fortalecer los medidos de medidas aplicados.

REFERENCIAS

- Herrera R., J. E. (2008). *Modelo de propagación en ambientes exteriores para sistemas inalámbricos operando en la banda de frecuencias de 2.4 GHz.*
- 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 (Consultado: 7 de febrero de 2005)
- Manual de comprobación técnica espectro, Tomo 1, UIT, 2011.
- Recomendación UIT-R P.1406. (2008). Aspectos de la propagación relativos al servicio móvil terrestre terrenal en las bandas de ondas métricas y decimétricas
- Franta, W. (2001). *LAN inalámbrica- Aspectos radioeléctricos*, Universidad de Rioja, España.

- http://uem.es/binaria/monograficos/archivos_monograficos/wolfgang_franta_espanol.pdf. spectro, (consultado: 24 de febrero de 2011)
- Longley A. G., Rice, P. L. (1968). "Prediction of Tropospheric Radio Transmission Loss Over Irregular Terrain". ESSA Technical Report ERL 79-ITS 67.
- Hata M. (1980). "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services". IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. VT-29, No. 3, pp. 317-325.
- COST Telecommunications. (1999). "Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems - COST 231 Final Report", Bélgica.
- Walfisch J. y Bertoni H.L. (1988). "A Theoretical Model of UHF Propagation in Urban Environments". IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 36, No. 12, pp. 1788-1796.
- Pérez García, N.A., (2000). *Cálculo de cobertura de sistemas WLL y LMDS*, Universidad de Rio de Janeiro, Brasil.
- 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, Mérida, Venezuela.
- Linksys, Technical Support en <http://www.linksys.com/> Consultada en (Consultado: 13 de Octubre del 2011)
- Katz, E., Larroca, F. y Martino, X., SAPO Software de Análisis de Propagación Outdoor, Universidad de la República de Uruguay, Uruguay, consultada en: http://telcom2006.fing.edu.uy/trabajos/mv_dtelcom-003.pdf. (Consultado: 3 de Enero de 2007)
- Oliveras Pla, Marc y Ruiz López, Daniel. (2006). Proyecto final de carrera de la Universidad Politecnica de Cataluña. [tesis en línea]. Universidad de Cataluña, España. http://biblioteca.upc.es/pfc/mostrar_dadess_PFC.asp?id=53876. (Consultado: el 8 de febrero de 2007)
- Reid N. y Seide R. (2006). 802.11 (Wi-Fi), McGraw Hill.
- Yacoub M. D. (1993). "Foundations of Mobile Radio Engineering". CRC Press.