

Openwireless: herramienta software para la planeación de redes inalámbricas

OpenWireless: Software Tool for Planning Wireless Local Area Network

SAMUEL GONZALO PINZÓN BARRIOS

Ingeniero Electrónico, Magíster en Ingeniería de la Universidad Industrial de Santander. Ingeniero de Seguridad de la Información en la compañía Synapsis Colombia Ltda.; investigador del grupo de investigación en Conectividad y Procesado de Señal, clasificado por Colciencias (Colombia) en Categoría B.
spinzon@e3t.uis.edu.co

ÓSCAR GUALDRÓN GONZÁLEZ

Físico, Ingeniero de Sistemas y Magíster en Física de la Universidad Industrial de Santander (Colombia). PhD en Física de la Université Laval (Canadá). Vicerrector de Investigaciones de la Universidad Industrial de Santander. Director del grupo de investigación en Conectividad y Procesado de Señal, clasificado por Colciencias (Colombia) en Categoría B.
gualdron@uis.edu.co

Clasificación del artículo: investigación

Fecha de recepción: 15 de septiembre de 2006

Fecha de aceptación: 30 de abril de 2007

Palabras clave: *Throughput*, WLAN (red de área local inalámbrica), RSSI.

Key words: *Throughput*, WLAN (Wireless Local Area Network), RSSI (Received Signal Strength Intensity).

RESUMEN

El presente artículo muestra una herramienta software (*OPENWireless*) la cual, a partir de una configuración básica de una red inalámbrica, permite predecir el nivel de intensidad de la señal recibida (RSSI *Received Signal Strength Intensity*) y la tasa de *throughput* para cualquier ubicación dentro del área de cobertura. La herramienta se desarrolló empleando una nueva técnica de solución llamada *Distorsión-UIS*; ésta es un modelo geométrico que consiste en representar las pérdidas de potencia en valores de distancia y estimar su nuevo valor, según

la ecuación para espacio libre. Luego de estimar el valor del RSSI, el valor de la tasa de *throughput* se halla mediante una ecuación lineal de tipo empírico.

ABSTRACT

This paper shows a software tool (*OPENWireless*) that, based on a basic configuration of wireless local area network, predicts the received signal strength intensity and the rate of throughput for any point inside the coverage area. This tool was developed using a new method, called *Distorsion-UIS*. This

new geometric model consists on the representation of power losses, measured in distance values, and to calculate its new value according to the equation for free space. Once the value of the RSSI is estimated, the value of the throughput is calculated with an empirical linear equation.

1. Introducción

La implementación de redes de área local inalámbricas (WLAN) es una de las tecnologías de información de mayor auge durante los primeros años del siglo XXI. CINTEL¹ afirma que en la primera década de este siglo el porcentaje de penetración y las expectativas de crecimiento de esta tecnología en Colombia son muy alentadores; es así como la participación de la tecnología inalámbrica y aplicaciones móviles se convertirán en un fuerte brazo de desarrollo del sector nacional de telecomunicaciones. Asimismo, en su informe *Internet Portátil*² la Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT) vaticina un futuro inalámbrico, en el cual esta tecnología juega un papel importante.

El desarrollo de sistemas con redes inalámbricas³ requiere, por lo menos, de las siguientes etapas [1]: diseño, planeación, implementación, operación y mantenimiento. Por constituirse en soporte de las demás, las más relevantes son las de diseño y planeación; en la primera se analiza la ubicación de la red inalámbrica, se escoge la clase de estándar que se va a instalar, equipos y demás; en la segunda se realizan actividades de ubicación de los elementos de la red (como los puntos de acceso [AP] y enlaces externos) y se considera siempre la cobertura de la red inalámbrica en el sitio en que ésta se instalará. Por ende, la pertinencia de la planeación de la red inalámbrica permitirá que luego ésta ofrezca a sus usuarios acceso y servicio de calidad.

¹ Centro de Investigaciones de las Telecomunicaciones. La Movilidad se impone. Disponible en: <http://www.cintel.org.co/rctonline/>

² UIT. Nota de Prensa. Disponible en: www.itu.int. 7 de septiembre de 2004.

³ Este trabajo de investigación toma como referente de redes inalámbricas el estándar 802.11b, dada la disponibilidad de equipos del grupo de investigación.

Los buenos resultados de la planeación dependen del estudio de propagación realizado en el ambiente, es decir, de la predicción del Nivel de Intensidad de Señal Recibida (RSSI) en el área de cobertura. No obstante, la propagación en ambientes cerrados (*indoor*)⁴ o interiores, la consideración del número de nodos, interferencias, distancia, atenuación por diferentes materiales, etc., hacen de la planeación un proceso difícil y extenuante. En consecuencia, los profesionales en redes de datos acuden típicamente a la experiencia para definir las configuraciones inalámbricas, pero obtienen ambientes saturados o sistemas con poca cobertura e ineficientes.

Por una parte, la planeación de radiofrecuencia permite asegurar un buen desempeño en capa física, acorde con los equipos de red disponibles; sin embargo, a nivel de capa de aplicación (aquella que brinda servicios al usuario) esta actividad no garantiza que exista un flujo de datos confiable y rápido, es decir, se tenga una tasa de *throughput*⁵ eficiente. Por otra parte, no todas las tecnologías se comportan de igual forma; por ejemplo, la tasa de *throughput* en una red Ethernet –en la que se tienen tasas de utilización del canal por encima de 90% [2]– no es la misma que para una WLAN, debido a que en la subcapa MAC (Control de Acceso al Medio) difieren en el protocolo [3].

De todo lo anterior se puede percibir la importancia de contar con una planeación de radiofrecuencia apropiada, así como de predecir la tasa de *throughput* como indicador de satisfacción del cliente. Estos dos requerimientos motivaron el desarrollo de la propuesta documentada en este artículo, la cual, a la vez, dio origen a la herramienta software *OpenWireless*, que sistematiza la técnica desarrollada. Con esta herramienta se pretende que los encargados de realizar la planeación de redes inalámbricas cuenten con un mecanismo ágil, sencillo y confiable para sus instalaciones; esto se verá reflejado en cobertura,

⁴ La propagación indoor hace referencia a la propagación de ondas de radio dentro de edificaciones o ambientes cerrados.

⁵ La tasa de *throughput* en una red de datos hace referencia a la máxima cantidad de datos efectivos que pueden transmitirse sin errores, es decir, sin contar cabeceras de control que son implícitas en los protocolos.

calidad del servicio y disponibilidad de acceso para el usuario final.

2. Estado del arte

La presente sección se ha dividido en dos temas. El primero trata algunos trabajos desarrollados con respecto a la evaluación del desempeño de una red y a la predicción de parámetros; luego se describen algunos métodos para la predicción de la intensidad de señal recibida (RSSI) dentro de una WLAN, como referencia de investigaciones en el área de predicción en WLAN.

2.1 Desempeño de una WLAN

- *Estadísticas del desempeño de la red:* generalmente, las estadísticas usadas para evaluar el desempeño de una WLAN son iguales a las utilizadas en redes cableadas. Éstas consisten en realizar campañas de medición de diversos parámetros, tabularlos y evaluarlos. Los parámetros más representativos son⁶: retardo (latencia y RTT [Round Trip Time]), *throughput*, ancho de banda, tasa de error de bits y paquetes (BER y PER) y variación de retardo (*Jitter*).
- *Técnicas de medición del desempeño de una red:* existen diversas técnicas y herramientas software disponibles para medir el desempeño de una WLAN, análogas a las empleadas en una red cableada (a manera de ejemplo, ver [4]). La mayoría de los métodos empleados para las mediciones se caracterizan por hacer evaluaciones de la conexión entre *hosts*⁷ enviando algún patrón de tráfico, para luego realizar su evaluación. Estas mediciones se repiten varias veces y luego se promedian para mejorar su aproximación. Algunas de estas técnicas se presentan a continuación:
 - *Software basado en línea de comandos UNIX:* en este método se emplean comandos basados en el Sistema Operativo UNIX que permiten

⁶ Una descripción detallada de estos parámetros puede ser vista en [6].

⁷ La palabra *host* o *hosts* hace referencia a uno o varios equipos terminales en una red de datos respectivamente.

un rápido diagnóstico del enlace pero limitan la posibilidad de una evaluación rigurosa. Algunos ejemplos de estos comandos son *ping* y *TTCP*.

- *Transferencia de archivos usando FTP:* un método sencillo para medir el *throughput* de la conexión se efectúa empleando el protocolo de transferencia de archivos FTP. En esta técnica, un archivo de un tamaño determinado es enviado de un *host* a otro y el tiempo que demora su transmisión total es utilizado para calcular el *throughput*.
- *Software especializado de medición:* en la actualidad existen diferentes herramientas software que permiten realizar mediciones sobre una red. Algunos ejemplos de estas aplicaciones son *Chariot*⁸, *MGEN*⁹ y *Netperf*¹⁰.
- *Casos prácticos:* [5-12] presentan resultados de investigaciones de desempeño y medición de WLAN. Sin embargo, ninguno de los trabajos presentados se centra en el estudio o predicción de parámetros como el *throughput* u otro parámetro significativo. Sólo se muestran recomendaciones y tendencias de ciertos parámetros y su relación con alguna variable.

2.2 Modelos de propagación

Existen dos modelos de radio propagación: el empírico y el determinístico. El primero se basa en mediciones tomadas en ciertas localizaciones del sitio que se va a modelar, las cuales después son llevadas de la mejor forma posible al modelo de pérdida por trayectoria, mejor conocido como *Path Loss*¹¹ o pérdida por espacio libre. El modelo determinístico se basa en la técnica *ray tracing* o trazo del rayo que permite simular la reflexión, difracción y dispersión de las ondas de radio¹²,

⁸ NETiq Chariot 3.1. Disponible en: <http://www.netiq.com/products/chr/default.asp>

⁹ MGEN /The Multi-Generator Toolset). Disponible en: <http://manimac.itd.navy.mil/MGEN/>

¹⁰ Netperf. Disponible en: <http://www.netperf.org/netperf/NetperfPage.html>

¹¹ El modelo de pérdida por trayectoria o *Path Loss* se detallará a continuación.

aunque, por una parte, por aproximación el modelo determinístico es más exacto que el empírico y permite realizar modificaciones para optimizarlo y, por otra, también requiere de un mayor procesamiento computacional.

- *Path Loss (pérdida en espacio libre):* el *Path Loss* o pérdida por trayectoria representa la diferencia en dB de la intensidad de señal entre el transmisor y el receptor. Según [14]:

$$PL_{fs}(d)[dB] = 20 \log_{10} \frac{4\pi d}{\lambda} \quad (1)$$

En (1), λ : es la longitud de onda de la señal; d : es la distancia entre el transmisor y el receptor. Este modelo es conocido con el nombre de *Free Space Path Loss* y sólo es válido cuando el transmisor y el receptor tienen línea de vista.

- *Multipath (pérdida por multitrayectos):* este efecto es causado por tres fenómenos: reflexión, difracción y dispersión. Se debe a las múltiples trayectorias o caminos que puede seguir una onda para llegar a su destino, haciendo que la intersección de estas múltiples ondas incremente o decremente la señal (para mayor información ver [14]).

2.1.1 Modelo empírico

La ecuación para modelar el *Path Loss* con línea de vista puede ser ajustada para que modele los diferentes obstáculos si suma un término de pérdida por cada camino posible, es decir:

$$PL(d)[dB] = 2PL_{fs}(d_0)[dB] + 10n \log_{10} \frac{d}{d_0} + \sum_{i=1}^n X_i[dB] \quad (2)$$

En (2) X_i : representa la pérdida por el obstáculo i . Aunque el modelo empírico no considera completamente la propagación *multipath*, existen trabajos ([15] [16]) en los que se han empleado algoritmos genéticos y redes neuronales para sumar este efecto.

2.1.2 Modelo determinístico

Otros métodos también conocidos como modelos *Ray Tracing*, se encuentran disponibles. Por ejemplo: el modelo de la trayectoria dominante [17], el modelo del trazo del cono [18], el modelo de difusión por reacción [19] y el modelo de redes neuronales [20].

3. Modelo desarrollado para la planeación de redes inalámbricas

En este apartado se muestra la técnica desarrollada para la predicción del RSSI y la tasa de *throughput* en una WLAN. Primero se muestra el diagrama de flujo empleado y luego se detalla cada uno de los bloques.

3.1. Técnica empleada

Con base en [4] se observó la dependencia entre la tasa de *throughput*, el nivel de sensibilidad de las tarjetas WLAN y el nivel de señal recibida (RSSI) en el punto de medición. En consecuencia, se determinó que la predicción de la tasa de *throughput* se haría sobre la predicción del nivel de intensidad recibida (RSSI)¹³. El diagrama 1 muestra el diagrama general empleado.

¹² Una explicación más detallada de los modelos de propagación empíricos y determinísticos se puede ver en [13].

¹³ Aunque el estándar 802.11b determina varias tasas de transmisión, dependientes del valor de RSSI en el cliente, este trabajo se centró en hallar la tasa de *throughput* para la máxima tasa de transferencia; es decir, 11 Mbps, utilizando el mayor tamaño de paquete que es de 1472 bytes.

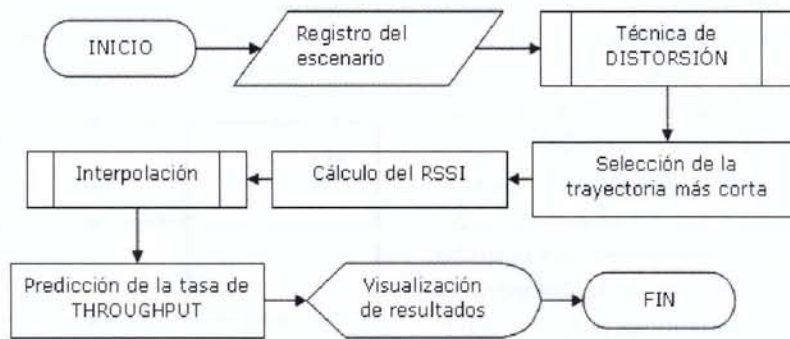


Diagrama 1. Diagrama de flujo de la técnica empleada

En cuanto al modelo de propagación para una WLAN, aunque existen diferentes técnicas descritas en el apartado 2.2 para determinar la propagación, aquí se desarrolló una nueva técnica con base en el método del camino dominante presentado en [17], [21] y [22], y se utilizó un modelo neuronal para mejorar su aproximación y disminuir la carga computacional que, a su vez, fue llamada *Distorsión-UIS*, debido a que el plano original se distorsiona para simular el efecto de obstáculos en la propagación.

3.2. Registro del escenario

Primero es necesario conocer la topología física del área donde se hará la predicción. Para esto, De Luque *et al.* [13] desarrollaron una herramienta

en MATLAB 7.0 que permite dibujar cuartos, corredores, divisiones y adjuntar sus propiedades; a esta herramienta se le adicionaron los módulos de predicción del RSSI y la tasa de *throughput* y fue denominada *OPENWireless*. En ella el escenario se dibuja en la herramienta con la unión de cuadrados y/o secciones lineales, que representan cuartos y divisiones respectivamente. En la figura 1 se observa la herramienta software.

3.3. Técnica de distorsión UIS

Consiste en alejar los puntos de un plano en forma radial y proporcional, en relación con los obstáculos¹⁴ presentes entre su ubicación y el AP. En el diagrama 2 y en la figura 2 se muestran un ejemplo en una y en dos dimensiones, respectivamente.

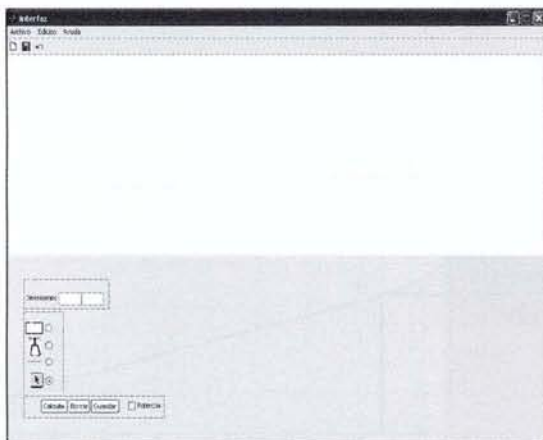


Figura 1. Herramienta Software OpenWireless

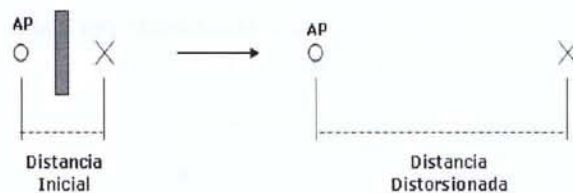


Diagrama 2. Ejemplo de distorsión en una sola dimensión

¹⁴ Cada obstáculo presente en la infraestructura tendrá un valor de atenuación diferente, lo que se refleja proporcionalmente en distancia.

Cuando se emplean dos dimensiones la técnica sólo se aplica en los llamados *puntos por distorsionar*. Éstos se seleccionan como los puntos medios de los obstáculos presentes; cuando existe una unión de cuartos se selecciona el punto medio de su sección compartida, como se aprecia en la figura 2. En consecuencia, cada cuarto tendrá por lo menos cuatro *puntos por distorsionar*. Es así como las pérdidas de potencia se reflejan en valores de distancia. El valor de distorsión es directamente proporcional al tipo de material u obstáculo y se calcula en función de (3), que representa la pérdida en espacio libre.

$$L_{FS} = -55.38 \times e^{0.002477 \times d} + 22.64 \times e^{-0.1645 \times d} \quad (3)$$

En la anterior ecuación, d es la distancia entre el AP y el punto de medición¹⁵.

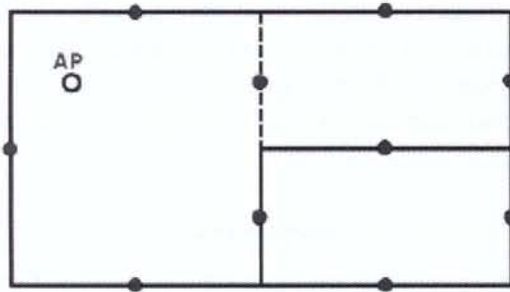


Figura 2. Ejemplo de puntos por distorsionar en dos dimensiones

A continuación se ejemplifican los pasos para calcular la distorsión de la figura 2:

- 1) Trazar una línea recta entre el punto por distorsionar y el AP y medir su distancia d .

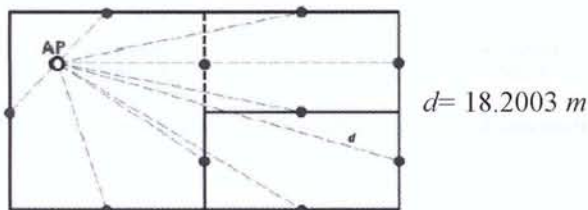


Figura 3. Trazo de una línea recta entre el punto a distorsionar y el AP

¹⁵ Esta ecuación corresponde a un modelo empírico obtenido a partir de una regresión de datos experimentales.

- 2) Contar el número de obstáculos cruzados y clasificarlos de acuerdo con su material.

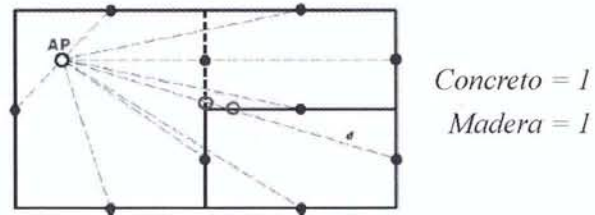
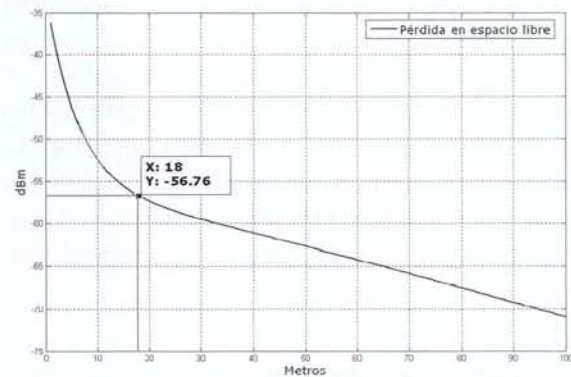


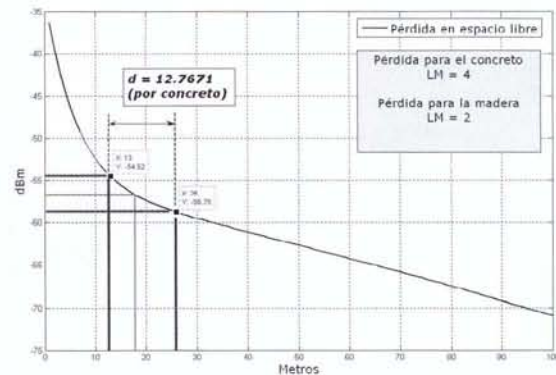
Figura 4. Conteo del número de obstáculos cruzados

- 3) Con el valor de distancia d , estimar la pérdida en espacio libre $-L_{FS}$ (3):



Gráfica 1. Estimación de la pérdida en espacio libre

- 4) Para cada material y su valor correspondiente de pérdida $-L_M$ ubicar los puntos de potencia $L_{FS} - L_{M/2}$ y $L_{FS} + L_{M/2}$.



Gráfica 2. Ubicación de los puntos de potencia

El valor de distorsión DB se calcula como la distancia comprendida entre los dos valores de potencia anteriores.

5) Por último, calcular el valor total de distorsión empleando la siguiente expresión:

$$\text{Valor de distorsión} = \sum_i DB_i \times NC_i \quad (4)$$

En (4), i : materiales presentes en el escenario; DB : distorsión básica para el material i ; NC : número de cruces relacionados con el material i (paso 2).

El procedimiento anterior se aplica para todos los puntos por distorsionar, para obtener el resultado de la figura 5. El valor de DB (Distorsión Básica) se toma en relación con la distancia desde el AP hasta el punto por distorsionar, como se explicó en el paso anterior; por tanto, el valor de distorsión obtenido no considera las variaciones de distancia desde el AP hasta cada uno de los obstáculos o cruces del material.

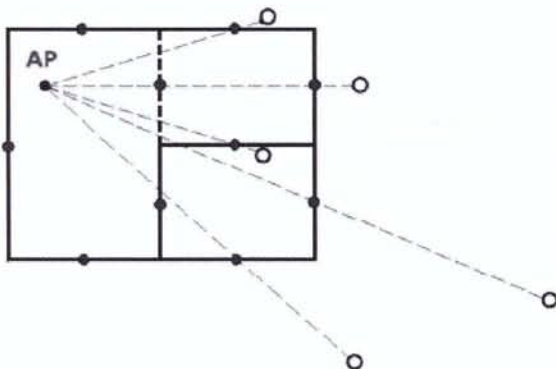


Figura 5. Ejemplo de distorsión en dos dimensiones

3.4. Selección de la trayectoria más corta

Dado que cada cuarto tiene sus puntos distorsionados, se procede a escoger aquel que representa la trayectoria más corta en distancia hasta el AP, para simular el mecanismo del camino dominante [22]. Se utiliza el algoritmo de Dijkstra [23] para cada punto distorsionado del cuarto. El punto con menor distancia de trayectoria se conoce como Transmisor Local-TL (figura 6).

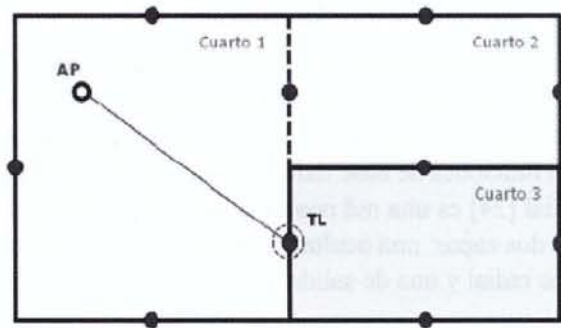


Figura 6. Selección de la trayectoria más corta

3.5. Cálculo del RSSI

Conocido el transmisor local se procede a calcular el nivel de intensidad de la señal recibida en cada punto con la siguiente ecuación:

$$RSSI = P_{AP} - (L_{FS} + L_{TL} + L_{TL-x}) \quad [\text{dBm}] \quad (5)$$

En (5), $RSSI$: es la intensidad de señal recibida en el punto x ; P_{AP} : es la potencia del AP; L_{FS} : es la pérdida por espacio libre; L_{TL} : es la pérdida hasta el transmisor local; L_{TL-x} : es la pérdida ocasionada desde el transmisor local hasta el punto de predicción.

Para disminuir el tiempo y la carga computacional se hace el cálculo sobre una grilla de nueve puntos distribuidos uniformemente dentro de cada cuarto (figura 7) [13].

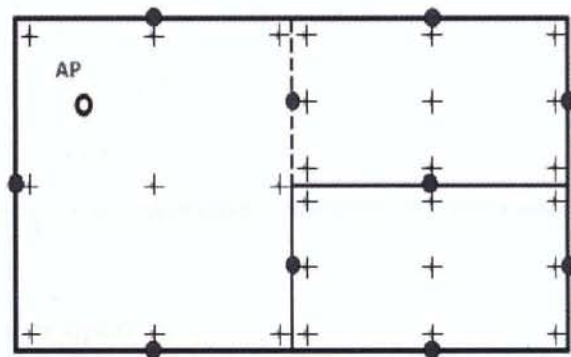


Figura 7. Puntos para calcular el RSSI

3.6. Mecanismo de interpolación

Dado que se tienen nueve puntos por cuarto, es necesario interpolarlos para generar la grilla completa de propagación. Para esto se utilizaron redes neuronales con funciones de base radial¹⁶. Una función de base radial [24] es una red neuronal que está compuesta por dos capas: una oculta, formada por neuronas de base radial y una de salida que es lineal.

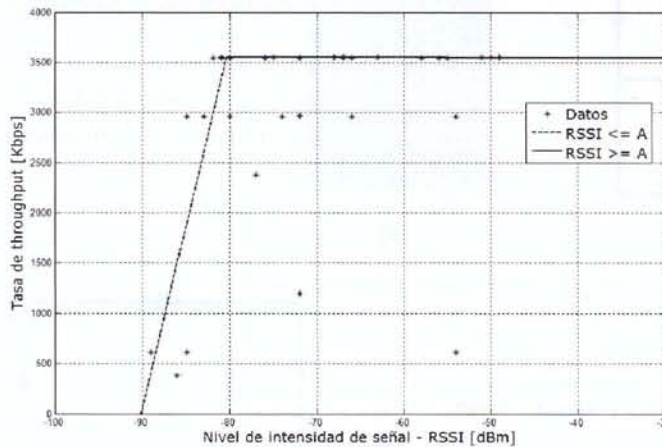
$$Throughput = \begin{cases} T_{m\acute{a}x} & RSSI_x \geq A \\ -\frac{T_{m\acute{a}x}}{R} \cdot RSSI_x + \frac{T_{m\acute{a}x} \times RSSI_{lim}}{R} & RSSI_x \leq A \end{cases} \quad (6)$$

En (6), $T_{m\acute{a}x}$: es el valor real de la tasa de *throughput* de acuerdo con el tamaño de paquete utilizado; $RSSI_x$: es RSSI en el punto x. A ¹⁸ [dBm] es el valor de sensibilidad de la tarjeta WLAN; por debajo de este valor la tasa de *throughput* decae linealmente; $R = RSSI_{lim} - A$ es la diferencia

3.7. Obtención de la tasa de throughput

Como se mencionó, la tasa de *throughput* es calculada de acuerdo con el nivel de intensidad de señal recibida. Con base en las pruebas realizadas en [4] y contrastadas en [25] junto con la herramienta software NS-*Network Simulator*¹⁷ se concluye que el *throughput* se comporta como:

entre $RSSI_{lim}$, que corresponde al nivel mínimo de potencia posible para la transmisión y el nivel de sensibilidad de la tarjeta WLAN. En la gráfica 3 se presenta una de las gráficas obtenidas de las pruebas realizadas con tarjetas WLAN cliente, que determinaron la ecuación anterior¹⁹.



Gráfica 3. Tasa de *throughput* real vs. RSSI (WLAN ORINOCO USB Client SILVER)

¹⁶ La selección de este tipo de interpolación se basó en la comparación de resultados con otros tipos de interpolación. Para mayor información ver [13].

¹⁷ Network Simulator. Disponible en: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

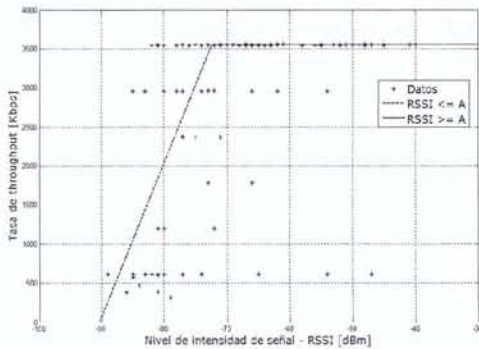
¹⁸ Este valor corresponde al nivel de sensibilidad de la tarjeta WLAN y varía de acuerdo con el fabricante. Por lo general, su valor es -75 dBm.

¹⁹ Las gráficas fueron hechas en MATLAB y el comando utilizado para hacer la regresión lineal fue *robustfit*.

Aunque la ecuación depende de las características técnicas del equipo, en forma general se puede considerar el nivel de sensibilidad propuesto por el estándar 802.11b, $A = -75 \text{ dBm}$ y aplicar una

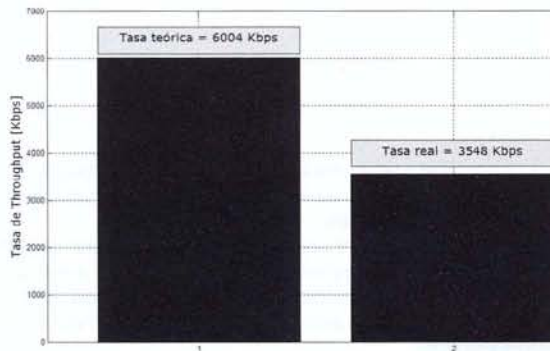
regresión lineal en dos partes para obtener los coeficientes de la ecuación. La gráfica 4 muestra el resultado. Es así como para un tamaño de paquete de 1.472 bytes se obtiene:

$$Throughput = \begin{cases} 3548 & \text{kbps} & RSSI_x \geq -75 \text{ dBm} \\ 376 \times RSSI_x + 31890 & \text{kbps} & RSSI_x \leq -75 \text{ dBm} \end{cases} \quad (7)$$



Gráfica 4. Tasa de throughput generalizada

A partir de la matriz de potencias recibidas (RSSI), la ecuación (7) se utiliza para predecir la tasa de throughput. La gráfica 5 muestra la diferencia entre la tasa de throughput teórica calculada en [26] y la obtenida en el trabajo de investigación. Así, la ecuación (6) puede emplearse para cualquier número de usuarios, una vez se determine el valor $T_{máx}$ experimental (véase [27]).



Gráfica 5. Tasa teórica vs. Tasa real de throughput²⁰

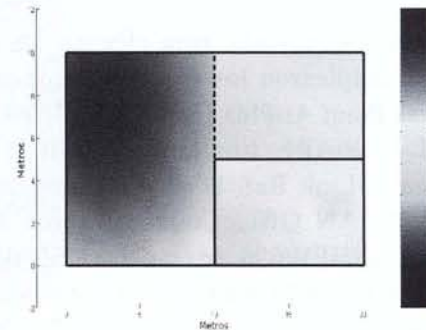
²⁰ Esta gráfica representa la diferencia para un tamaño de paquete de 1.472 bytes.

3.8 Visualización de resultados

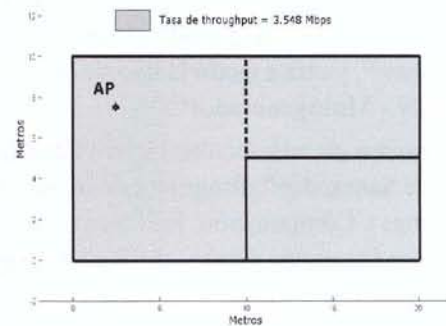
Si se utiliza la herramienta software *OpenWireless* se visualizan los datos obtenidos, ya sea la distribución de potencia o la tasa de throughput sobre el plano físico del escenario. En la gráfica 6 se muestra el resultado para el ejemplo propuesto.

4. Campañas de medición versus modelo desarrollado

Para validar la técnica utilizada para la predicción del RSSI y la tasa de throughput se tomó como referencia el escenario utilizado en [4], [13] y [25].



Gráfica 6. a) Predicción del RSSI para el escenario propuesto (Escala en dBm)



b) Predicción de la tasa de throughput

4.1. Metodología de validación

- *Consideraciones generales:* la validación de la técnica se realizó en dos fases: a) predicción del valor de RSSI; b) predicción de la tasa de *throughput*²¹. Para ello se escogieron tres ubicaciones aleatorias por cuarto, con el fin de tener una muestra grande de comparación. Un ejemplo para el escenario mostrado en la sección anterior se presenta en la figura 8.

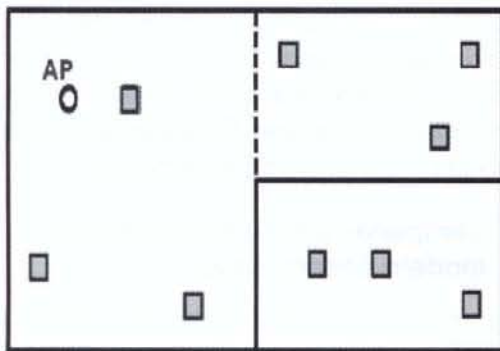


Figura 8. Ejemplo de puntos de validación

- *Hardware empleado:* para efectuar las pruebas se emplearon los siguientes equipos: 1 Access Point AirPlus G+ Marca D-Link Ref. DWL-2000AP+, tres tarjetas USB WLAN Marca D-Link Ref. DWL-120, tres tarjetas USB WLAN OfficeConnect Marca 3Com Ref. 3CRSHEW696, dos tarjetas USB WLAN Client SILVER Marca Lucent Technologies, un equipo de cómputo portátil ThinkPad Marca IBM, equipos de cómputo de escritorio OPTI-PLEX GX260 marca Dell®.
- *Herramientas software:* fueron utilizados dos tipos: uno destinado a medir el RSSI, *Network Stumbler*²², y otra a medir la tasa de *throughput*, MGEN - Multigenerador²³.
- *Escenarios de validación:* Universidad Industrial de Santander²⁴, Programa de Ingeniería de Sistemas y Computación, Edificios de Eléctrica Antigua (segundo piso) y de Pesados (cuarto piso) (ver [28]).

4.2. Resultados

Los resultados por escenario mostrados en [28] permitieron validar la técnica desarrollada para predecir la tasa de *throughput* en una red de área local inalámbrica WLAN 802.11b y, por tanto, el modelo de propagación implementado. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 1.

DATOS ESTADÍSTICOS	RSSI [dB]	Throughput [Kbps]
Error medio	4,19	122,05
Desviación estándar	2,95	271,85
Cota superior	10	1179,314
Cota inferior	0	0,039
Error medio (%)	7,55%	3,34%

Tabla 1. Resultados generales de validación de la técnica

5. Conclusiones

La técnica *Distorsión-UIS* representa un modelo geométrico para la predicción del nivel de intensidad RSSI sencillo, rápido y de fácil adaptación a cualquier tipo de infraestructura. El modelo plantea que las pérdidas de potencia se convierten en mayores distancias; en consecuencia, basta con caracterizar los materiales presentes en el escenario y luego realizar la simulación. Con base en esta predicción, el valor de la tasa de *throughput* se estima en forma sencilla empleando la ecuación (7).

²¹ Cabe recordar que la predicción de la tasa de *throughput* se realizó para una tasa de transmisión de 11 Mbps y un tamaño de paquete de 1472 bytes.

²² *Network Stumbler* es una herramienta software gratuita para Windows® que permite detectar redes de área local inalámbricas y brindar información como puntos de acceso, ruido de la señal y RSSI, entre otras. Disponible en: <http://www.netstumbler.com/>

²³ *MGEN - The Multi-Generator Toolset* es una herramienta software de código abierto que permite realizar pruebas del desempeño de redes IP usando tráfico UDP/IP. Disponible en: <http://mgen.pf.itd.navy.mil/>

²⁴ Localizada en Bucaramanga (Colombia).

En cuanto a la predicción del RSSI es importante señalar lo siguiente:

- Aunque existen más fenómenos de propagación no considerados en este trabajo de investigación para el cálculo del RSSI, con los componentes presentados (pérdida en espacio libre, pérdida hasta el transmisor local [TL] y pérdida desde el TL hasta el punto de cálculo) generados por la técnica *Distorsión-UIS* se obtienen simulaciones muy cercanas a la realidad. Así lo demuestran los tres escenarios utilizados para la validación de la técnica, en los cuales el error absoluto medio fue menor a 5 dB.
- Para reducir el tiempo de cómputo, la estrategia de interpolación es un punto a favor de la técnica. En los escenarios de validación la simulación siempre estuvo por debajo de treinta.
- La herramienta software desarrollada (*OpenWireless*) tiene un uso potencial importante en la industria y la academia, al brindar la opción de inserción del escenario de forma manual, asignación de propiedades a los materiales presentes, ubicación del AP, visualización gráfica

de la distribución de potencia, etc. Con algunas opciones adicionales, una herramienta de este tipo tiene un costo aproximado de USD\$ 6.500 en el comercio regular²⁵.

En cuanto a la predicción de la tasa de *throughput* en una WLAN 802.11b se resalta:

- La simplicidad de la técnica de predicción de la tasa de *throughput* se refleja en la ecuación generalizada obtenida para un tamaño de paquete de 1.472 bytes. La ecuación aplica para cualquier tamaño de paquete permitido en la transmisión. Así, basta con estimar la tasa de *throughput* máxima real ($T_{m\acute{a}x}$), que para el caso de 1472 bytes es de 3.548 Kbps.
- Se destaca la tendencia a la no variabilidad de la tasa de *throughput* cuando se está por encima del nivel de sensibilidad de la tarjeta WLAN empleada. Los errores obtenidos en la predicción de la tasa de *throughput* validan la ecuación presentada; en relación con los escenarios validados, el porcentaje de error medio fue de 3,34%.

Referencias bibliográficas

- [1] Ohrtman, F., Roedor, H. (2003). *Wi-Fi Handbook Building 802.11b Wireless Networks*. McGraw-Hill.
- [2] Spurgeon, C. (2000). *Ethernet: The Definitive Guide*. O'Reilly & Associates.
- [3] Tanenbaum, A. (2000). *Redes de computadoras*. 4ª ed. Naucalpan de Juárez, Prentice Hall Hispanoamericana.
- [4] Álvarez, M. J., Flórez, P., Rodríguez, Y. (Abril de 2004). *Diseño e implementación de una metodología para la evaluación del desempeño de una red inalámbrica (WLAN 802.11b)*. [CD-ROM], Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.
- [5] Maeda, Y., Takaya, K., Kuwabara, N. (1999). "Experimental Investigation of Propagation Characteristics of 2.4 GHz ISM-Band Wireless LAN in Various Indoor Environments". *IEICE Transactions in Communications*, Vol. E82-B (10).
- [6] Xylomenos, G., Polyzos, G. (1999). "Internet Protocol Performance Over Networks With Wireless Links". *IEEE Network*, Vol. 13 (4), pp. 55-63.
- [7] Xylomenos, G., Polyzos, G. (1999). "TCP and UDP Performance Over A Wireless LAN". *Eighteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, Proceedings*. (INFOCOM '99), Vol. 2, pp. 439-446.
- [8] Bing, B. (1999). "Measured Performance of the IEEE 802.11 Wireless LAN". *Local Computer Networks, conference on*. (LCN '99), pp. 34-42.
- [9] Duchamp, D., Reynolds, N. (1992). *Measured Performance of a Wireless LAN*. Local Computer Networks, 1992. Proceedings, 17th Conference, pp. 494-499.
- [10] Demir, T., Komar, C., Ersoy, C. (2000). *Measured Performance of an IEEE 802.11 Wireless LAN*. Proceedings of the Fifteenth International Symposium on Computer and Information Sciences, Istanbul, Turkey, pp. 246-254.

²⁵ Para determinar este valor se toma como referencia la herramienta software LANPlanner Enterprise, de la empresa Wireless Valley (precio a enero de 2005).

- [11] Prasad, N. (2000). "IEEE 802.11 System Design". *Personal Wireless Communications*, IEEE International conference on, pp. 490-494.
- [12] Kamerman, A., Aben, G. (2000). *Throughput Performance of Wireless LANs Operating at 2.4 and 5 GHz*. Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, The 11th IEEE International Symposium on, (PIMRC 2000), Vol. 1, pp. 190-195.
- [13] Pinzón, S., De Luque, R., Díaz, I., Vásquez, S. (Marzo de 2005). *Predicción del nivel de intensidad de señal recibida (RSSI) en una red de área local inalámbrica (WLAN 802.11b)*. [CD-ROM]. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
- [14] Rappaport, T. (1996). *Wireless Communications: Principles and Practice*. Prentice Hall Publications, NJ.
- [15] Henty, E. B. (2001). *Throughput Measurements and Empirical Models for IEEE 802.11b Wireless LAN (WLAN) Installations*. Instituto Politécnico de Virginia.
- [16] Wen-Ching, C., Chih-Hui, K., Yang-Han, L., Shiann-Tsong, S., Yu-Jie, Z. *A Novel Prediction System Based for Wireless LAN Based on the Genetic Algorithm and Neural Network*. Department of Electrical Engineering TamKang University. Tamsui, Taipei Hsien, Taiwan.
- [17] Wöfle, G., Landstorfer, F. M. *Dominant Paths for the Field Strength Prediction*. Institut für Hochfrequenztechnik, University of Stuttgart, Stuttgart.
- [18] Aguado, F., Pérez, F., Formella, A. *Radio-Tracer A Tool for Deterministic Simulation of Wave Propagation*. ETSI Telecomunicación, Universidad de Vigo, España.
- [19] Clarke, A. (16 de septiembre 2002). *A Reaction Diffusion Model for Wireless Indoor Propagation*. University of Dublin, Dublin.
- [20] Shih-An, C., Yang-Han, L., Rainfield, Y., Yu-Jie, Z., Chih-Hui, K., Shiann-Tsong, S., Meng-Hong, C. *Optimal Prediction Tool for Wireless LAN using Genetic Algorithm and Neural Network Concept*. Department of Electrical Engineering TamKang University. Tamsui, Taipei Hsien.
- [21] Wöfle, G., Landstorfer, F. M., Gahleitner, R., Bonek, E. *Extensions to the Field Strength Prediction Technique Based on Dominant Paths between Transmitter and Receiver in Indoor Wireless Communications*. Institut für Hochfrequenztechnik, University of Stuttgart, Stuttgart.
- [22] Wöfle, G., Landstorfer, F. M. *Field Strength Prediction in Indoor Environments with Neural Networks*. Institut für Hochfrequenztechnik, University of Stuttgart, Stuttgart.
- [23] Algoritmo de Dijkstra. E. W. Dijkstra Archives the manuscripts of Edsger W. Dijkstra [1930 - 2002] [Online]. Disponible en: <<http://www.cs.utexas.edu/users/EWD/>>
- [24] Haykin, S. (1999). *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. 2 ed. Upper Saddle River, NJ, Prentice-Hall.
- [25] Vargas, J., Tarazona, E. (Marzo de 2005). *Parametrización y simulación de una red de área local inalámbrica (WLAN 802.11b) utilizando la Herramienta Software NETWORK SIMULATOR*. [CD-ROM]. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.
- [26] Jun, J., Peddabachagari, P., Sichitiu, M. *Theoretical Maximum Throughput of IEEE 802.11 and its Applications*. Department of Electrical and Computer Engineering, North Carolina State University.
- [27] Gualdrón, O., Pinzón, S., Álvarez, M., Flórez, P., Rodríguez, Y. (Agosto de 2004). *Diseño e implementación de una metodología para la evaluación del desempeño de una red inalámbrica (WLAN 802.11b)*. [CD-ROM]. II Congreso Internacional de la región ANDESCON 2004, Bogotá.
- [28] Pinzón, S.; Gualdrón, O. (Marzo de 2005). *Predicción de la tasa de throughput en una red de área local inalámbrica (WLAN 802.11b)*. [CD-ROM]. Bucaramanga.