



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

"ESTIMACION DE LA POTENCIA DE LA SEÑAL RECIBIDA EN
SISTEMAS INALAMBRICOS BASADOS EN EL IEEE 802.11b, CON LA
FINALIDAD DE OPTIMIZAR LOS RECURSOS DE LA RED"

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES

Presentada por:

GABRIEL ANTONIO ASTUDILLO BROCEL

LENNY DAICY GARÓFALO ARGÜELLO

GUAYAQUIL – ECUADOR

2006

AGRADECIMIENTO

A Dios por habernos dado la sabiduría para trabajar y la fortaleza para avanzar en nuestra formación académica y personal.

A nuestros compañeros, amigos, profesores y a todas las personas por habernos dado su ayuda en el desarrollo de este trabajo.

A todos ellos un millón de gracias y que Dios los bendiga.

DEDICATORIA

A Dios por habernos dado el maravilloso don de la vida.

A nuestros padres por su respaldo y apoyo incondicional.

TRIBUNAL

.....

Ing. Holger Cevallos

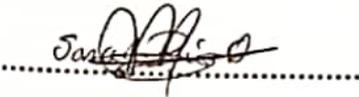
SUB-DECANO



.....

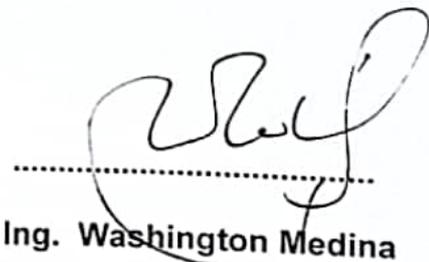
Ing. Pedro Vargas

DIRECTOR DE TESIS



Ing. Sara Rios

M. PRINCIPAL



.....

Ing. Washington Medina

M. PRINCIPAL

DECLARACION EXPRESA

'La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en este trabajo, nos corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL).



Gabriel Antonio Astudillo Brocel



Lenny Daicy Garófalo Argüello

RESUMEN.

Este trabajo intentará reducir las diferencias entre el valor estimado y el valor medido, usando un algoritmo descubrimiento del vecino siempre teniendo en cuenta el modelo empírico del factor de atenuación de paredes (WAF).

El modelo de propagación comúnmente usado, es el modelo de propagación del espacio libre, el cual es ajustado para ambientes externos sin obstáculos, o puntos cercanos al punto de acceso. Sin embargo, para el área en el cual se enfocó nuestro estudio encontramos múltiples paredes de concreto con un ancho aproximado de 12 cm, divisiones de aluminio y plywood con anchos de 8 cm, que nos lleva a usar un modelo que este mejor ajustado a las condiciones estudiadas.

Después de que esté completa la selección de la ubicación de los APs, estos son instalados temporalmente en las ubicaciones seleccionadas. La cobertura del área de estos APs es medida. Típicamente existen vacíos o solapamientos excesivos. Basado en los resultados de las mediciones la ubicación de los APs es ajustada de acuerdo a la necesidad y más mediciones son hechas, más ajustes, etc., hasta que un diseño aceptable es encontrado.

INDICE GENERAL

RESUMEN	V
INDICE GENERAL	VI
INDICE DE FIGURAS	XII
INDICE DE TABLAS	XV
INTRODUCCIÓN	001

CAPITULO 1

ARQUITECTURA DE LAS REDES INALÁMBRICAS DE ÁREA LOCAL

1.1 Introducción	003
1.2 Descripción General	003
1.3 Origen y Evolución de las Redes Inalámbricas de Área Local	005
1.4 Los Estándares Existentes para WLAN	006
1.4.1 Estándares del IEEE para redes WLAN	007
1.4.1.1 IEEE 802.11	008
1.4.1.2 IEEE 802.11b (Wi-Fi)	010
1.4.1.3 IEEE 802.11g	011
1.4.1.4 IEEE 802.11a (Wi-Fi 5)	012
1.4.2 Estándares del ETSI para redes WLAN	012

1.4.2.1 HyperLAN 1	013
1.4.2.2 HyperLAN 2	014
1.5 Tendencias y escenarios futuros	015
1.6 Infraestructura de la Red.	018
1.6.2 Bandas Licenciadas Versus no Licenciadas.	018
1.6.3 Propiedad de la Infraestructura de Red.	021
1.6.4 Despliegue de la Infraestructura de Red.	022
1.7 Requerimientos de los Servicios y Aplicaciones Futuras.	027
1.7.2 Hotspots	027
1.7.3 VoIP sobre Wi-Fi (VoWiFi)	028
1.7.4 Video Conferencia	030
1.7.5 Video Streaming	034

CAPITULO 2

MODELAMIENTO DEL SISTEMA Y ANÁLISIS DE RENDIMIENTO

2.1 Introducción	037
2.2 Servicios Inalámbricos	037
2.3 Implementación de la Infraestructura de la Red.	040
2.3.1 Método de Implementación del Usuario.	041
2.3.2 Método de Implementación en Malla	043
2.3.3 Método de Implementación con Optimización de Cobertura.	044
2.4 Descripción del Caso de Estudio	046
2.4.1 Arquitectura de la red	048

2.4.2 Aspectos Legales y selección del Estándar	049
2.4.3 Descripción Física del Área de Cobertura	051
2.4.4 Requerimientos del Sistema	054
2.5 Capacidad de la red y costos de implementación	055
2.6 Manejo del Espectro Radioeléctrico	057
2.6.1 Coexistencia de Sistemas no Licenciados	060
2.6.2 Asignación de Canales	062
2.6.3 Control de Potencia Transmitida	065
2.7 Capa Física	067
2.7.1 Introducción	067
2.7.2 Espectro Extendido con Salto en Frecuencia (FHSS)	068
2.7.3 Espectro Extendido en Secuencia Directa (DSSS)	071
2.7.4 OFDM	072
2.7.5 Infrarrojo	073
2.8 Parámetros para determinar la calidad de la señal	074
2.8.1 Señal, Ruido e Interferencia	074
2.8.2 Relación de Señal a Ruido (SNR)	075
2.8.3 Pérdidas por Trayectoria	076
2.8.4 Pérdidas por Recepción de Múltiples Trayectorias	077
2.8.5 Pérdidas por Desvanecimiento	077
2.8.5.1 Desvanecimiento de Rayleigh	078
2.8.5.2 Desvanecimiento de Rician	081
2.9 Modelos de Propagación	082
2.9.1 Modelo de propagación en el espacio libre	083

2.9.2 Modelo de propagación de 2 Rayos	085
2.9.3 Modelo de perdidas por Trayectoria Log-Distancia	086
2.9.4 Modelo del Factor de Atenuación por Paredes (WAF)	087

CAPITULO 3

MÉTODO DE IMPLEMENTACIÓN CON OPTIMIZACIÓN DE COBERTURA

3.1 Introducción	090
3.2 Optimización de la Posición de los Puntos de Acceso	091
3.3 Función Objetivo	092
3.4 Algoritmo de Optimización	094
3.4.1 Selección del Modelo de propagación	097
3.4.2 Estimación de la Potencia de la Señal	098
3.4.3 Algoritmo de Descubrimiento del Vecino	100
3.4.4 Justificación de la selección del algoritmo	101
3.5 Sumario de los Resultados de Cobertura	102

CAPITULO 4

IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO EN MATLAB

4.1 Introducción	108
4.2 Descripción y Justificación del uso de Variables	109
4.3 Descripción del Funcionamiento	114
4.3.1 Ingreso de Datos Iniciales	115
4.3.2 Como iniciar la simulación	117

4.3.3 Resultados de las simulaciones	118
4.3.4 Análisis de Resultados	123
4.4 Código Fuente	126

CAPITULO 5

ANÁLISIS DE RENDIMIENTO

5.1 Introducción	148
5.2 Metodología para la toma de datos	148
5.3 Métodos de Implementación	151
5.3.1 Método de implementación del Usuario	151
5.3.1.1 Criterio para la Ubicación de los AP's	151
5.3.1.2 Ubicación de los AP's en el Área de Servicio	152
5.3.1.3 Asignación de Canales	155
5.3.1.4 Tabulación de los Resultados	155
5.3.1.5 Análisis de Resultados	158
5.3.2 Método de Implementación en Malla	160
5.3.2.1 Criterio para la Ubicación de los AP's	160
5.3.2.2 Ubicación de los AP's en el Área de Servicio	160
5.3.2.3 Asignación de Canales	163
5.3.2.4 Tabulación de los Resultados	163
5.3.2.5 Análisis de Resultados	166
5.3.3 Método de Implementación con optimización de Cobertura	168
5.3.3.1 Criterio para la Ubicación de los AP's	168

5.3.3.2 Ubicación de los AP's en el Área de Servicio	168
5.3.3.3 Toma de datos iniciales	169
5.3.3.4 Tabulación de resultados obtenidos de la Estimación	175
5.3.3.5 Análisis de resultados obtenidos en la Simulación	176
5.3.3.6 Reubicación de los AP's	176
5.3.3.7 Análisis de Resultados	180

CAPITULO 6

VARIANTES FUTURAS AL MODELO

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	188
---------------------------------------	------------

INDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Pág.
Capítulo 1		
Figura 1.1	Diferentes tipos de despliegue de infraestructura de redes Wi-fi	024
Capítulo 2		
Figura 2.1	Superposición de celdas y espacios sin coberturas en la implementación del usuario	042
Figura 2.2	Resumen de Métodos de Implementación	046
Figura 2.3	Arquitectura de la red	048
Figura 2.4	Plano arquitectónico del área de cobertura	053
Figura 2.5	Relación entre la Tasa de Error de Bit (BER) y la Energía de Bit sobre Ruido (Eb/No)	070
Figura 2.6	Relación entre la Tasa de Error de Bit (BER) y el número de señales que componen la interferencia, en presencia de Ruido Blanco Eb/No 3dB	071
Figura 2.7	Modulación OFDM	073
Figura 2.8	Diagrama del fasor de un set de señales esparcidas (en azul), resultante desvanecimiento de Rayleigh (en negro)	080
Figura 2.9	Gráfico de atenuación vs. distancia	088
Figura 2.10	Diferencia de Potencia medida vs pronosticada cuando se usa el modelo WAF	089
Capítulo 3		
Figura 3.1	Ubicación inicial del primer punto de acceso en el área de estudio.	107

Figura 3.2	Ubicación inicial del segundo punto de acceso en el área de estudio	107
	Capitulo 4	
Figura 4.1	Datos ingresados en Curve Expert	111
Figura 4.2	Curva ajustada al modelo log distancia	112
Figura 4.3	Calculo de los parámetros n y $s = P(d_0)$	112
Figura 4.4	Ingreso de datos de la potencia de señal medidas en una hoja de calculo	116
Figura 4.5	Hoja de inicialización de paredes	117
Figura 4.6	Gráfico de propagación con datos iniciales AP ubicado en E2	119
Figura 4.7	Gráfico de propagación con AP ubicado en F2	120
Figura 4.8	Gráfico de propagación con AP ubicado en G2	121
Figura 4.9	Gráfico de propagación del segundo AP ubicado en E14	121
Figura 4.10	Gráfico de propagación del segundo AP ubicado en B12	122
Figura 4.11	Gráfico de propagación del segundo AP ubicado en D14	122
	Capitulo 5	
Figura 5.1	Configuración del carro de pruebas Carro de pruebas B) Vista cercana de la laptop con NetStumbler C) Vista cercana de la antena	150
Figura 5.2	Cobertura en el área de estudio con los tres AP's ubicados.	159
Figura 5.3	Cobertura en el área de estudio luego con los tres AP's ubicados.	167
Figura 5.4	Cobertura en la primera área de estudio, con el AP colocado en el punto E2.	173
Figura 5.5	Cobertura en la primera área de estudio, con el AP reubicado en el punto E14.	174

Figura 5.6	Cobertura en la primera área de estudio, con el AP reubicado en el punto G2.	178
Figura 5.7	Cobertura en la segunda área de estudio, con el AP reubicado en el punto D14.	179
Capítulo 6		
Figura 6.1	Mapeo de señal utilizando software gratuito	186
Figura 6.2	Equipo de Wireless Recon de Helium Systems medición	187
Figura 6.3	Equipo de Medición Caterpillar de BVSystems	187

INDICE DE TABLAS

Tabla	Descripción	Pág.
	Capítulo 1	
Tabla 1	Principales estándares WLAN	007
Tabla 2	Requerimientos de tasa de transferencia para las técnicas de codificación VoIP mas comunes	030
Tabla 3	Requerimientos de retardo y jitter para video conferencias	033
Tabla 4	Parámetros de Servicio	040
Tabla 5	Tabla Comparativa de Métodos de Implementación.	045
Tabla 6	Resumen de los tipos de pared encontrados en el área de cobertura	052
Tabla 7	Tabla de requerimientos basados en los servicios que estarán disponibles para el área de cobertura en estudio	055
Tabla 8	Asignación de frecuencias para la banda ISM	065
Tabla 9	Sumario de las Mediciones tomadas en la primera área de estudio, con el AP ubicado en el punto 2E	103
Tabla 10	Sumario de las Mediciones tomadas en la segunda área de estudio, con el AP ubicado en el punto E14	104
Tabla 11	Sumario de las Mediciones tomadas en el área de estudio, con el AP ubicado en el punto 4G	105
Tabla 12	Sumario de las Mediciones tomadas en el área de estudio, con el AP ubicado en el punto 4A.	106
Tabla 13	Intensidades de señal medidas en el pasillo (línea de vista dentro de un edificio)	110
Tabla 14	Cálculo del Factor WAF	113

Tabla 15	Datos iniciales ingresados al programa	120
Tabla 16	Datos iniciales ingresados al programa para el segundo AP ubicado en E14	123
Tabla 17	Resultados de la simulación con el AP en el punto G2	123
Tabla 18	Resultados de la simulación con el AP en el punto F2	124
Tabla 19		125
	Resultados de la simulación con el AP en el punto B12	
Tabla 20	Resultados de la simulación con el AP en el punto D14	125
Tabla 21	Mediciones tomadas en el área de estudio, con el AP ubicado en A4	153
Tabla 22	Mediciones tomadas en el área de estudio, luego de ubicados los 3 AP's	156
Tabla 23	Mediciones tomadas en el área de estudio, con el AP ubicado en C5	161
Tabla 24	Mediciones tomadas en el área de estudio, luego de ubicados los 4 AP's	164
Tabla 25	Mediciones iniciales tomadas en la primera área de estudio, con el AP ubicado en E2	169
Tabla 26	Mediciones iniciales tomadas en la segunda área de estudio, con el AP ubicado en E14	171
Tabla 27	Resultados obtenidos de la Simulación del primer AP ubicado en G2	175
Tabla 28	Resultados obtenidos de la Simulación del segundo AP ubicado en D14	176
Tabla 29	Porcentaje de Error de la estimación del Algoritmo Implementado, AP colocado en G2	180
Tabla 30	Porcentaje de Error de la estimación del Algoritmo Implementado, AP colocado en D14	182

INTRODUCCION

El presente trabajo trata de la “Estimación de la potencia de la señal recibida para redes inalámbricas basadas en el estándar IEEE 802.11 con la finalidad de optimizar los recursos de la red”, enfocado en la definición de un procedimiento que permita a los diseñadores y administradores de redes inalámbricas disponer de un mecanismo metódico, ordenado y eficiente para el diseño de redes inalámbricas considerando que comúnmente esta parte de la implementación se realiza con mecanismos de prueba y error.

Para definir este procedimiento se han tomado en cuenta las regulaciones que rigen a este tipo de transmisión de datos en el Ecuador así como los requerimientos de los servicios más comunes que actualmente se brindan y se prevé brindarán a mediano y corto plazo.

Adicionalmente y como comprobación de lo propuesto en este trabajo se ha desarrollado una herramienta informática basada en Matlab™ que permitirá ingresar los datos y obtener los resultados en forma interactiva.

Como resultado se obtendrán mapas de cobertura con los cuales el diseñador podrá tomar la decisión sobre cual es la mejor ubicación del punto de acceso que garantice la mayor cobertura. Esto se refleja en una reducción

en el número de puntos de acceso necesarios para un área determinada lo cual a su vez disminuye los costos de implementación

CAPITULO 1

1. ARQUITECTURA DE LAS REDES INALÁMBRICAS DE ÁREA LOCAL

1.1. Introducción

El objetivo de este capítulo es presentar una descripción de la estructura de una red inalámbrica de área local WLAN (por sus siglas en inglés). En los puntos siguientes se presentará además las tendencias, escenarios futuros y nuevos servicios que se prevé serán implementados para las WLAN en los próximos años.

1.2. Descripción General

Una WLAN es un sistema de comunicación de datos que transmite y recibe datos utilizando ondas electromagnéticas, en lugar del par trenzado de cobre, coaxial o fibra óptica utilizado en las LAN (redes de área local por sus siglas en inglés) convencionales, y que

proporciona conectividad inalámbrica de igual a igual (punto a punto) o punto-multipunto, dentro de un edificio, de una pequeña área residencial y/o urbana o de un campus universitario. En EEUU proliferan estas redes para acceso a Internet, en donde hay más de 4.000 zonas de acceso, y en Europa es previsible que pronto se extiendan.

Las WLAN se encuadran dentro de los estándares desarrollados por el IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) para redes locales inalámbricas. Otras tecnologías como HyperLAN apoyada por el ETSI (European Telecommunications Standards Institute), y el estándar HomeRF para el hogar, también pretenden acercarnos a un mundo sin cables y, en algunos casos, son capaces de operar en conjunción y sin interferirse entre sí. Otro aspecto a destacar es la integración de las WLAN en entornos de redes móviles de cuarta generación (UMTS) para cubrir las zonas de alta concentración de usuarios (los denominados “redes públicas de corto alcance”), como solución de acceso público a la red de comunicaciones móviles.

1.3. Origen y Evolución de las Redes Inalámbricas de Área Local.

El origen de WLAN se remonta a la publicación en 1979 de los resultados de un experimento realizado por ingenieros de IBM en Suiza, consistente en utilizar enlaces infrarrojos para crear una red local en una fábrica. Estos resultados, publicados por el IEEE, pueden considerarse como el punto de partida en la línea evolutiva de esta tecnología.

Las investigaciones siguieron adelante tanto con infrarrojos como con microondas, donde se utilizaba el esquema de espectro expandido. En mayo de 1985, y tras cuatro años de estudios, la FCC (Comisión Federal de Comunicaciones), la agencia federal del Gobierno de Estados Unidos encargada de regular y administrar en materia de telecomunicaciones, asignó las bandas ISM (Industrial, Científica y Médica) 902-928 MHz, 2,400-2,4835 GHz, 5,725-5,850 GHz para uso en las redes inalámbricas basadas en Espectro Ensanchado (SS), con las opciones Secuencia Directa (DS) y Saltos en Frecuencia (FH). La técnica de espectro ensanchado es una técnica de modulación que resulta ideal para las comunicaciones de datos, ya que es muy poco susceptible al ruido y crea muy pocas interferencias. La asignación de esta banda de frecuencias propició una mayor actividad en el seno de la industria y ese respaldo hizo

que las WLAN empezaran a dejar ya el entorno del laboratorio para iniciar el camino hacia el mercado.

Desde 1985 hasta 1990 se siguió trabajando con más énfasis en la fase de desarrollo, hasta que en mayo de 1991 se publicaron varios trabajos referentes a WLAN operativas que superaban la velocidad de 1 Mbit/s, el mínimo establecido por el IEEE 802 para que la red sea considerada realmente una LAN, con aplicación empresarial.

Actualmente las redes Inalámbricas de área local se han vuelto increíblemente populares, particularmente en ambientes empresariales como oficinas, centros de estudios y centros comerciales, o para aplicaciones móviles en fábricas. El punto débil de estos sistemas es que ofrecen tasas de transmisión no mayores a los 100 Mbps y solo para celdas de un máximo de 500 m sobre un radio de propagación sin obstrucciones.

1.4. Los Estándares Existentes para WLAN

Los estándares son desarrollados por organismos reconocidos internacionalmente, tal es el caso del IEEE y el ETSI. Una vez desarrollados se convierten en la base de los fabricantes para desarrollar sus productos.

A continuación se muestra un resumen de los principales estándares existentes para las redes inalámbricas de área local [20].

Estándar	Velocidad máxima	Interfaz de aire	Ancho de banda de canal	Frecuencia
802.11b	11 Mbps	DSSS	25 MHz	2.4 GHz
802.11a	54 Mbps	OFDM	25 MHz	5.0 GHz
802.11g	54 Mbps	OFDM/DSSS	25 MHz	2.4 GHz
HomeRF2	10 Mbps	FHSS	5 MHz	2.4 GHz
HiperLAN2	54 Mbps	OFDM	25 MHz	5.0 GHz

Tabla 1. Principales estándares WLAN

1.4.1. Estándares del IEEE para redes WLAN

La historia de las WLAN es bastante reciente, de poco más de una década. En 1989, en el seno de IEEE 802, se forma el comité IEEE 802.11, que empieza a trabajar para tratar de generar una norma para las WLAN, pero no es hasta 1994 cuando aparece el primer borrador, y habría que esperar hasta el año 1999 para dar por finalizada la norma.

Actualmente son cuatro los estándares reconocidos dentro de esta familia; en concreto, la especificación 802.11 original; 802.11a (evolución a 802.11 e/h), que define una conexión de alta velocidad basada en ATM; 802.11b, el que goza de una más amplia aceptación y que aumenta la tasa de transmisión de datos propia de 802.11 original, y 802.11g, compatible con él, pero que proporciona aún mayores velocidades. Otros grupos dentro de los estándares 802.11 trabajan en calidad del servicio (802.11e), gestión del control del espectro y la potencia (802.11h), seguridad extendida (802.11i), etc. [22]

1.4.1.1 IEEE 802.11

En junio del año 1997 el IEEE ratificó el estándar para WLAN IEEE 802.11, que alcanzaba una velocidad de 2 Mbit/s. El control de acceso al medio MAC (Medium Access Control) es el método por el cual se escucha al medio pero no se realiza detección de colisión, CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance).

La dificultad en detectar la portadora en el acceso WLAN consiste básicamente en que las tecnologías

utilizadas son Espectro Ensanchado y Acceso múltiple por división de código (CDMA), lo que conlleva a que el medio radioeléctrico se comparta, ya sea por secuencia directa DSSS o por saltos de frecuencia en FHSS. El uso de CDMA implica que pueden coexistir dos señales en el mismo espectro utilizando códigos diferentes, lo que para un receptor de radio significa que va a detectar la portadora inclusive con señales distintas de las de la propia red WLAN. Hay que mencionar que la banda de 2,4 GHz está reglamentada como banda de acceso pública y en ella funcionan gran cantidad de sistemas, entre los que se incluyen los teléfonos inalámbricos Bluetooth, los cuales al operar en la misma banda que Wi-Fi representan interferencia al mismo [4].

La fuerte demanda de soluciones inalámbricas con mayor ancho de banda ha originado el desarrollo de nuevos estándares IEEE 802.11 concurrentes. Estos nuevos estándares están definidos en los grupos de trabajo 802.11a y 802.11g de IEEE, los cuales trabajan en bandas de 5 y 2.4 Ghz. Al adoptar la banda de frecuencia de 5 GHz se ve la necesidad de

utilizar la modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), ya que de ésta manera el estándar IEEE 802.11a goza de dos notables ventajas respecto al 802.11b. Incrementa la velocidad máxima de transferencia de datos por canal (de 11 Mbps a 54 Mbps) y aumenta el número de canales sin solapamiento. El 802.11g opera en la misma banda de frecuencia de 2,4 GHz y con los mismos tipos de modulación DSSS que el 802.11b a velocidades de hasta 11 Mbps, mientras que a velocidades superiores utiliza tipos de modulación OFDM más eficientes [21].

1.4.1.2 IEEE 802.11b (Wi-Fi)

Un poco más tarde, en el año 1999, se aprobó el estándar 802.11b, una extensión del 802.11 para WLAN empresariales, con una velocidad de 11 Mbit/s (otras velocidades normalizadas a nivel físico son: 5,5 - 2 y 1 Mbit/s), que al igual que Bluetooth y Home RF, también emplea la banda de ISM de 2,4 GHz, pero en lugar de una simple modulación de radio digital y salto de frecuencia (FHSS), utiliza la modulación

lineal compleja (DSSS), la cuál permite mayores velocidades de datos. El inconveniente del DSSS en relación con el FHSS es que es más vulnerable a las interferencias de la banda estrecha.

El 802.11b permite que en una misma zona de cobertura trabajen simultáneamente tres puntos de acceso, cada uno de ellos con un alcance para interiores de unos 90 m a 1 Mbit/s y de unos 30 m a la tasa máxima de 11 Mbit/s. [22]

1.4.1.3 IEEE 802.11g

El IEEE también aprobó en el año 2003 el estándar 802.11g, compatible con el 802.11b, capaz de alcanzar una velocidad doble, es decir hasta 22 Mbit/s o llegar, incluso a 54 Mbit/s debido a que es similar al 802.11a, para poder competir con los otros estándares que prometen velocidades mucho más elevadas pero que son incompatibles con los equipos 802.11b ya instalados, aunque pueden coexistir en el mismo entorno debido a que las bandas de frecuencias que emplean son distintas. El esquema de modulación usado en el 802.11g es OFDM para

tasas de datos de 6, 9, 12 18, 24, 36, 48 y 54 Mbits/seg [5]. Por extensión, también se le llama Wi-Fi.

1.4.1.4 IEEE 802.11a (Wi-Fi 5)

El IEEE ratificó en julio de 1999 el estándar 802.11a (los productos comerciales comienzan a aparecer a mediados del 2002), que con una modulación QAM-64 y la codificación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) alcanza una velocidad de hasta 54 Mbit/s en la banda de 5 GHz, menos congestionada y, por ahora, con menos interferencias, pero con un alcance limitado a 35 metros [12], lo que implica tener que montar más puntos de acceso que si se utilizase 802.11b para cubrir la misma área, con el costo adicional que ello supone.

1.4.2. Estándares del ETSI para redes WLAN

El ETSI (European Telecommunications Standards Institute) en el año de 1992, a través del comité ETSI-RES 10, inicia

actuaciones para crear una norma a la que denomina HiperLAN (High Performance LAN) para, en 1993, asignar las bandas de 5,2 y 17,1 GHz. La especificación denominada HyperLAN2 es para WLANs de alta velocidad que operan en el intervalo de frecuencias de 5.15 a 5.35 GHz por lo que también utiliza modulación OFDM.

1.4.2.1. HyperLAN 1

Es un estándar para redes inalámbricas de área local, designado para proveer comunicaciones de alta velocidad (20 Mbits/s) entre dispositivos portables en el rango de frecuencias de 5 GHz. Esta diseñado para permitir la creación de redes de datos inalámbricas, sin la necesidad de una infraestructura cableada existente. Adicionalmente puede ser usada como una extensión de una red LAN cableada. El soporte para aplicaciones multimedia es posible. Las especificaciones funcionales de HyperLAN/1 se encuentran detalladas en el estándar **EN 300 652**.

1.4.2.2.HyperLAN 2

Las principales características de HiperLAN2 son las siguientes

- Alta velocidad de transmisión: HiperLAN2 alcanza velocidades de transmisión de hasta 54 Mbits/s.
- Orientado a conexión: la orientación a conexión evita los problemas que presenta el modelo de detección de colisiones. HiperLAN2 soporta conexiones bidireccionales punto a punto, así como multicast y broadcast.
- Soporte de QoS (Quality of Service), es decir, la red tiene soporte para servicios con distintas necesidades de calidad, retardo, etcétera. Esta característica es fundamental para soportar tráfico que puede incluir desde navegación Web hasta tele conferencia, cada cual con sus propios requisitos.
- Selección automática de frecuencia, de manera que se evitan muchos problemas de ecos e interferencias sin necesidad de planificación previa o intervención alguna.

- Sistema de seguridad con autenticación de ambas partes, y soporte para algoritmos de cifrado fuertes (DES, 3DES).
- Soporte para terminales en movimiento, mediante protocolos de paso de testigo (“handover”) entre distintos puntos de acceso.
- Independencia de red y aplicación: se puede montar casi cualquier tipo de protocolo de red sobre HiperLAN2, como Ethernet, ATM y similares. También se prevé compatibilidad con 3G (telefonía móvil de tercera generación).
- Bajo consumo energético, gracias a la regulación de potencia de emisión. Esto facilita la integración en dispositivos móviles y simplifica los puntos de acceso (todas las señales de los terminales deben llegar con la misma potencia).

1.5. Tendencias y escenarios futuros

El mercado de las telecomunicaciones cada vez más parece orientarse hacia los “hotspots” o redes públicas de corto alcance. La

especificación más utilizada actualmente es la 802.11b, aunque también se utiliza la norma 802.11a que funciona en las bandas de 5 GHz. Más recientemente, se aprobó la norma 802.16 para redes de área metropolitana inalámbricas o WMAN (Wireless Metropolitan Area Networks) que también se llaman redes “Wi-Max”. Wi-Max es el estándar más nuevo en cuanto a diseño de redes inalámbricas con acceso a Internet a altas velocidades para el usuario final (última milla).

La tecnología Wi-Fi (nombre con el que se conoce a las WLAN basadas en el 802.11) ha impresionado a muchas personas porque permite compartir la misma conexión Internet entre varios usuarios, y además sin cable alguno, por lo que facilita la movilidad de los ordenadores u otros dispositivos. La popularidad de la Wi-Fi también se debe a que los equipos necesarios para crear las llamadas “redes públicas de corto alcance” no son onerosos, por ejemplo el valor es menor de \$ 300 USD [6] por punto de acceso. Además, Wi-Fi también funciona en el espectro ISM, que no precisa licencia en muchos países. Su utilización está muy poco reglamentada, lo cual contribuye también a su bajo costo.

Esta combinación mágica ha fomentado el auge espectacular de la Wi-Fi en los países desarrollados, debido principalmente a la demanda de los usuarios, y algunos analistas comparan este fenómeno con el crecimiento repentino de Internet a mediados de los años 90 y prevén un crecimiento espectacular de la Wi-Fi en los próximos años, con un crecimiento exponencial de las ventas de equipos y las instalaciones de “redes públicas de corto alcance”, muestras de aquello son los denominados directorios wi-fi donde se listan miles de puntos de acceso que ofrecen acceso a Internet y que pertenecen a personas naturales o empresas alrededor del mundo[7] [24].

Actualmente existen algo más de 111.240 “redes públicas de corto alcance” en el mundo [24] [27]. Algunos analistas [25] [26] predicen que en el 2009 al menos habrán 200.000 “redes públicas de corto alcance” alrededor del mundo. Los ingresos generados por la Wi-Fi en el 2005 fueron de \$ 969 millones de dólares y se prevé que para el 2009 sea de \$ 3.49 billones de dólares [25]. Todas esas estimaciones y previsiones de ingresos están relacionadas con la utilización de la Wi-Fi para el acceso a Internet, pero están despuntando en el horizonte nuevos teléfonos que se pueden utilizar para llamadas VoIP (Protocolo de voz por Internet) desde una

WLAN. Esta aplicación se conoce como VoWi-Fi (voz por WiFi). Además, normas recientes de la IEEE como el 802.11e [28] y el 802.11n [29] ya admiten la transmisión de video en tiempo real, que podría generar ingresos adicionales. Incluso se predice que se incorporarán tarjetas Wi-Fi en todo tipo de aparatos electrónicos de consumo de masas, desde las cámaras digitales a las consolas de videojuegos.

1.6. Infraestructura de la Red.

En la presente sección, estudiaremos diferentes tendencias y escenarios con respecto al futuro del diseño de los servicios y tecnologías de comunicación. Muchas de las tendencias son en efecto, consecuencias de los cambios en los paradigmas actuales y los cambios en la industria de las telecomunicaciones. Por lo tanto discutiremos solo los más relevantes para el desarrollo de esta tesis.

1.6.2. Bandas Licenciadas Versus no Licenciadas.

El espectro es considerado como propiedad de la sociedad. Es un recurso limitado y las decisiones acerca de quien puede beneficiarse de él y como es manejado es potestad del estado. En un principio la ley permite que cualquier persona

natural o jurídica pueda aplicar para usar parte del espectro radioeléctrico, así como ofrecer servicios sobre él. Ejemplos de esto son la radio y la televisión, o la telefonía móvil. Las limitaciones sobre su uso se implementan en los casos en los que es necesario dividir la frecuencia para permitir a varios operadores ofrecer el mismo tipo de servicios. En estos casos diferentes procesos son usados para asignar estas licencias sobre el espectro. La introducción de herramientas de bajo costo han permitido flexibilizar los procesos de licenciamiento pero son aún muy rígidos y lentos comparados con el crecimiento rápido de la demanda de los servicios de comunicación inalámbricos.

Por este motivo una gran parte del espectro radioeléctrico ha sido liberado para su uso sin licencias. El mayor problema en estas bandas no licenciadas es asegurar la coexistencia de diferentes sistemas y operadores. Sin embargo las bandas no licenciadas son usadas con éxito en las WLANs.

Hasta ahora no se han descubierto aún problemas importantes, puesto que las WLANs se utilizan en ambientes de interiores y de características privadas. Esto limita la

interferencia externa y le permite al propietario controlar el sistema. Además algunos sistemas públicos para WLAN no están operativos todavía en el Ecuador, muestra de ello es la carencia de “redes públicas de corto alcance”, apenas aparece 1 en los directorios mundiales consultados [24] y [27] y se conoce de la existencia de no más de 5 en los centros comerciales mas importantes de Guayaquil, Quito y Cuenca, según indagaciones hechas por los tesisistas. Sin embargo la provisión de servicios inalámbricos públicos o privados en bandas de frecuencia liberadas, será considerablemente más difícil en el futuro ¿Qué sucederá si no prevalece la imparcialidad y los principios cooperativos, sino que por el contrario los operadores compiten por un posicionamiento más fuerte en el mercado?

Los esquemas tradicionales del control de la reutilización de frecuencia y de potencia que se utilizan y funcionan correctamente para sistemas celulares no son aplicables, puesto que la interferencia entre diferentes sistemas no licenciados no puede ser controlada ni estimada con precisión. Esta tesis parte de la asunción que los mecanismos de control eficientes tienen lugar por parte del

ente regulador, que aseguran la imparcialidad y la cooperación dentro de las bandas no licenciadas de frecuencia.

1.6.3. Propiedad de la Infraestructura de Red.

En años recientes, las telecomunicaciones tradicionales y la comunicación de datos comenzaron a combinarse. Esta tendencia tiene no solamente un impacto fuerte en la propiedad y operación de las redes de comunicaciones, sino también influencia en los criterios del diseño y los objetivos del funcionamiento. Años atrás la infraestructura de las comunicaciones era diseñada para un propósito específico, por ejemplo telefonía, TV o transmisión de datos. Estas infraestructuras existentes ahora se emplean "cada vez más" para otros usos del previsto originalmente, en un proceso que comúnmente se denomina como "convergencia tecnológica".

Hasta ahora, las redes inalámbricas fueron diseñadas y construidas sobre el paradigma: "Cuanto más grande, mejor". Esto se debe a que el espectro es limitado y a que

el despliegue de la infraestructura implica altos costos. Por lo tanto, los recursos del espectro radioeléctrico pasaron a ser propiedad del estado y al momento de ser licenciados pasan a ser manejados por una entidad centralizada u operador de red. Esta situación ahora está cambiando, puesto que el equipo inalámbrico está llegando a ser más barato y el acceso a la infraestructura alámbrica (telefonía fija, LANs) se puede encontrar virtualmente por todas partes a un costo relativamente bajo. Por lo tanto las redes inalámbricas de pequeña escala llegan a ser posibles y provechosas.

Los procedimientos tradicionales para introducir los servicios de telecomunicaciones inalámbricos, donde algunos clientes proporcionarán una abundancia de servicios inalámbricos basados en diversas tecnologías.

1.6.4. Despliegue de la Infraestructura de Red.

La desintegración de los monopolios de telecomunicaciones móviles y la creciente fragmentación del negocio inalámbrico descrito en la sección anterior también tiene un impacto

fuerte en cómo se despliega la infraestructura, a quien pertenecen las diversas partes, y quien está a cargo de su instalación y operación.

Un nuevo tipo de operadores de red, los Proveedores de Servicios de Internet inalámbrico (WISP), han comenzado a instalar WLANs públicas en aeropuertos, hoteles, y otras áreas con una alta densidad de tráfico en los países desarrollados. Las estructuras de organización y las estrategias de negocio de los WISP varían considerablemente. Sin embargo los WISP que en su mayoría son los dueños de los sitios donde se presta el servicio (por ejemplo: aeropuertos, cafés, hospitales, compañías que subalquilan el espacio de la oficina, centros comerciales, etc.) esperan un crecimiento beneficioso, mayor disponibilidad y un creciente interés por parte de sus clientes. Pero también los WISP grandes con una cobertura geográfica considerable se están formando, los mismos que tienen acceso a varios millares de islas de WLAN, o **“redes públicas de corto alcance”**, a través del mundo. Los WISP pueden poseer la infraestructura completa o dejar que terceros estén al cuidado de su instalación y operación;

pueden ofrecer servicios a grupos de usuario privados o al público en general; también pueden ser independientes o parte de un operador móvil.

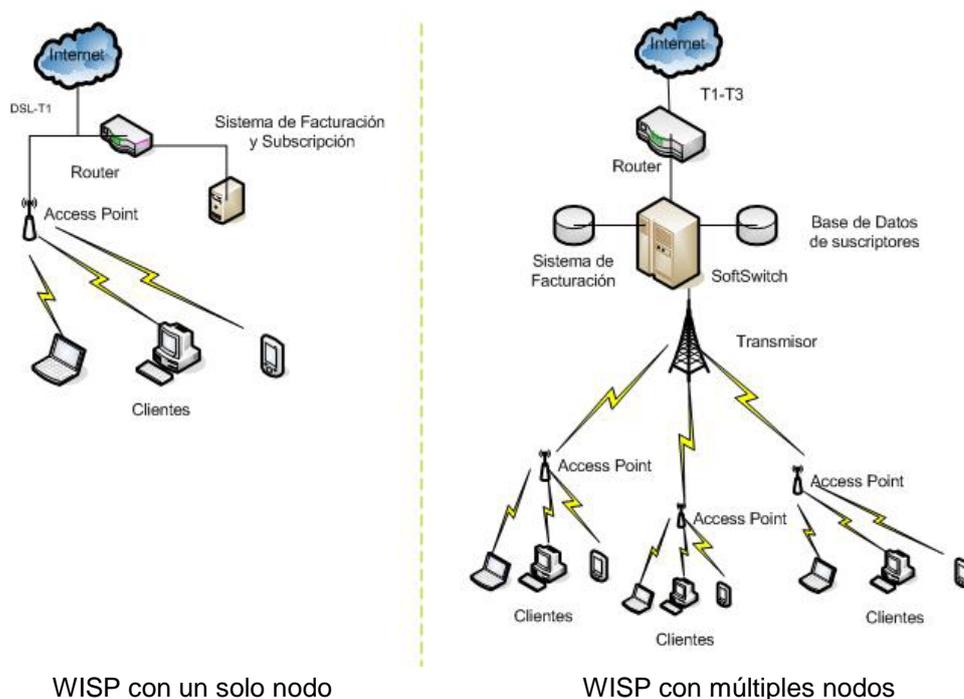


Figura 1.1 Diferentes tipos de despliegue de infraestructura de redes Wi-fi

Para alcanzar a un grupo razonable del mercado, los WISP comenzaron recientemente a discutir acuerdos de roaming en los Estados Unidos. Los primeros proveedores del servicio de roaming comenzaron bajo el plan de negocios de ser portadores que permitan la comunicación entre diversos

WISP y permitan así el roaming global sobre diversas redes públicas de corto alcance.

Mucho antes de la aparición de los WISP, las universidades implementaron sus propias redes WLAN para sus campus. Una de las primeras y quizás la más grande de las redes campus es la red inalámbrica **Andrew** de la universidad de Carnegie Mellon en Pittsburg [11].

Otra forma de acceder a los servicios inalámbricos son las llamadas redes inalámbricas comunitarias. Estas comunidades de voluntarios instalan WLANs en sus hogares y las comparten libremente mediante una base mutua, es decir contando con que los usuarios que utilicen su red devolverán eventualmente el favor. Tales redes pueden también alcanzar coberturas considerables. Un sinnúmero de libros y de páginas del Internet proporcionan instrucciones cómo construir una red comunitaria. Algunos sitios visitados [1] se extienden desde la configuración de las redes primarias de alta velocidad (backbone), pasando por el diseño y fabricación de las antenas para mejorar la

ganancia de los AP's para WLAN, hasta las indicaciones de donde y cómo instalar los AP's.

A pesar de las muchas diferencias, todos los puntos discutidos arriba tienen un punto común: su infraestructura está instalada con un planeamiento rudimentario, o totalmente sin él, de la cobertura y de su capacidad. Estas redes ofrecen servicios inalámbricos en un modelo del mejor esfuerzo, es decir sin garantizar cobertura completa o una calidad mínima del servicio (QoS). Tales redes ad hoc desplegadas son, desde una perspectiva económica, fundamentalmente diferentes a las redes tradicionales móviles de voz y datos. Negocian constantemente la cobertura versus la capacidad, es decir entregan tasas de datos muy altas en algunos lugares, y tasas de datos bajas en el resto de zonas. La clave es reducir considerablemente los costos de la infraestructura usando el equipos baratos (por ejemplo equipos para WLANs) y los métodos baratos del despliegue (por ejemplo la instalación ad hoc, que elimina el planeamiento y la optimización de la cobertura que son métodos complejos y costosos). Además, las redes están instaladas solamente en los lugares en donde la base

de un cliente suficientemente grande proporciona bastantes réditos. Por lo tanto, el costo por bit transmitido se mantiene bajo y los servicios inalámbricos con una tasa de transmisión de datos alta llegan a ser comprables.

1.7. Requerimientos de los Servicios y Aplicaciones Futuras.

En este capitulo se seleccionar  algunas aplicaciones y servicios inalámbricos que son hoy en día utilizados comúnmente y se procurar  anticipar los requisitos para los sistemas futuros. Se tratará de identificar las tendencias importantes y derivar los requisitos apropiados del sistema.

1.7.2. Hotspots

Los "redes públicas de corto alcance" son lugares donde se proporciona acceso público inalámbrico de banda ancha a Internet a través de una red de área local inalámbrica (WLAN) compuesta por Puntos de Acceso (APs), generalmente ubicados en áreas con alta concentración de personas brindando conveniencia y comodidad para conectarse a Internet. Estas redes se encuentran en salas de espera de aeropuertos, cafés o barriadas de vecinos.

1.7.3. VoIP sobre Wi-Fi (VoWiFi)

Cuando se refiere a la calidad de una llamada telefónica, es indispensable establecer ciertos criterios que entran en juego para determinarla. El primero de estos factores que se debe considerar es la pérdida de paquetes. A diferencia de las redes que utilizan el protocolo de Internet de una manera convencional para manejar datos, no es posible solicitar una retransmisión de paquetes porque el usuario lo consideraría inaceptable. La pérdida de paquetes en la red se debe fundamentalmente al sobre-flujo de información que pudiera originarse en alguno de los nodos [2]. Para la transmisión de voz se considera aceptable una pérdida de paquetes menor al 5%, aunque lo ideal es mantenerse por debajo del 0.1%.

El retraso es también otro factor fundamental que se deriva de la calidad de la transmisión. En caso de que el retraso sea mayor a 300ms, las conversaciones pueden llegar a ser muy molestas, razón por la cual, la recomendación G.114 de la UIT-T establece que el retraso en viaje redondo para telefonía, no puede ser mayor a 300ms.

Además de evitar el retraso en el mayor grado posible, existe otro concepto de suma importancia que se conoce como "jitter" o variación del retraso. En caso de existir un cierto tiempo de retraso, éste debe ser constante, a lo que una persona podría acostumbrarse. Si el retraso es variante, es sumamente difícil llevar a cabo una conversación coherente. El "jitter" es entonces un grave problema para las aplicaciones en tiempo real y en las redes IP se presenta debido a las diferentes rutas que puede seguir un paquete por la red.

Sin embargo, no es suficiente cuidar el retraso y la pérdida de paquetes al referirnos a la calidad de voz en la transmisión. El servicio no podría ofrecerse sin contar con alguna técnica de codificación del habla. Las técnicas de codificación evitan que el sonido sea "sintético" y buscan reducir el ancho de banda, al mismo tiempo que mantienen un sonido natural. Cabe recordar que conforme el ancho de banda disminuye, la calidad de sonido se degrada en mayor grado. Es por ello que la elección de la codificación que vaya a implementarse en la red deberá tomar en cuenta esta consideración. La calidad de voz depende en gran parte de la codificación que se emplee y

por ello existe una escala conocida como Resultado Promedio de Opinión (MOS, por sus siglas en inglés) y representa hoy en día el estándar más común en la medida de la calidad. Los valores MOS, a pesar de ser subjetivos, son considerados efectivos pues representan un balance de todos los factores de calidad en telefonía que se han venido discutiendo. La tabla 1.3 muestra un resumen de las tasas de transferencias y valores de MOS requeridos para una comunicación VoIP aceptable.

Técnica de Codificación	Tasa de transferencia (kbps)	MOS
G.711	64	4.3
G.726	32	4.0
G.723	6.3	3.8
G.728	16	3.9
G.729	8	4.0
GSM Full Rate (RPE_LTP)	13	3.7

Tabla 2. Requerimientos de tasa de transferencia para las técnicas de codificación VoIP más comunes

1.7.4. Video Conferencia

El servicio de videoconferencia es un servicio multimedia que permite la interacción entre distintos grupos de trabajo. El

servicio consiste, básicamente, en interconectar mediante sesiones interactivas a un número variable de interlocutores, de forma que todos pueden verse y hablar entre sí

Cuando se trata de la transmisión de contenidos multimedia, se habla de la calidad de servicio y la reserva de recursos.

Para que Internet soporte transmisiones en tiempo real, no sólo de audio y videoconferencias sino de cualquier otro tipo de datos, se necesita algún mecanismo adicional que permita controlar el jitter o variación de retraso entre datagramas.

Para soportar este tipo de tráfico surge un nuevo protocolo llamado RTP (Real-Time Protocol). Este protocolo se sitúa a nivel de aplicación y es capaz de funcionar independientemente del protocolo de nivel de transporte que se emplee (TCP o UDP). En realidad, más que un protocolo son dos protocolos: por un lado se encuentra RTP que es el encargado de la transmisión de los datos en tiempo real mientras que el protocolo RTCP (Real-Time Control Protocol) se encarga del envío e interpretación de la información de control.

Mientras que los requerimientos de transmisión para todos los niveles de comunicaciones de datos se han venido abajo, los mejoramientos en la tecnología de compresión han producido video de calidad con requerimientos de ancho de banda menores. El crecimiento del mercado de la videoconferencia ha sido centrado en estos requerimientos mínimos asociados con el crecimiento de los servicios públicos digitales.

El vídeo es la representación de mas de 16 cuadros por segundo para que parezca una animación, sin embargo la diferencia entre cuadro y cuadro casi nunca es grande, seria un desperdicio enviar siempre toda la información, lo que ha generado distintas técnicas de representación del video, que tazas desde 64 kbps a varios Mbps, dependiendo de la técnica de compresión y de la calidad deseada por ejemplo, H.261 tiene una taza continua de $p * 64$ kbps, con p variando entre 1 y 30 ; DVI de Intel tiene una taza fija de 1.2 Mbps ; la taza de MPEG es aproximadamente 1.5 Mbps ; la taza de MPEG II se encuentra en el rango de 4 a 8 Mbps. Adicional a esto las aplicaciones de multimedia, en la mayoría de los casos requieren que el sonido y el vídeo se reproduzcan al tiempo. Lo cual hace que se requiera una sincronización

adicional para obtener una reproducción aceptable de las muestras tomadas.

En conclusión, cada tipo de tráfico requiere un tiempo máximo de demora y un tiempo máximo entre la llegada de paquetes del mismo tipo

Requerimiento de delay y jitter		
Aplicación	Delay	Jitter
64 kb/s Videoconferencia	300	130
1.5 Mb/s MPEG NTSC video	5	6.5
20 Mb/s HDTV video	0.8	1
16 kb/s voz comprimida	30	130
256 Kb/s voz MPEG	7	9.1

Tabla 3. Requerimientos de retardo y jitter para video conferencias

Podemos notar que si utilizamos un tipo de transmisión con tamaño de paquete muy grande (por ejemplo 64 kb), el retardo (delay) se vuelve mayor que el mínimo requerido, independientemente del tipo de red que se este utilizando [23].

Adicionalmente notamos que, si se utiliza una red de medio compartido, hay que tener cuidado con el jitter, debido que no se está seguro del tiempo de retraso entre los paquetes [23].

1.7.5. Video Streaming

Estos proporcionan vídeo en formato digital desde grandes sistemas de almacenamiento hasta la herramienta de visualización del usuario.

Las aplicaciones altamente interactivas plantean problemas muchos más graves. Muchas aplicaciones multimedia son cooperativas y sincronizadas.

Las aplicaciones como estas requieren:

- **Conmutación con baja Latencia:** Retardos de ida y vuelta < 100 milisegundos, de modo que la interacción entre los usuarios parezca que están sincronizadas.
- **Estado de sincronización distribuida:** Si un usuario detiene un vídeo en un determinado marco, los otros usuarios deberían ver el vídeo parado en el mismo marco.

- **Sincronización de medios:** Todos los participantes en una actuación musical deberían escuchar la ejecución aproximadamente a la vez (identifica como requisito de sincronización un intervalo de 50 milisegundos). La banda sonora y el caudal de vídeo deberían mantener la *sincronización de labios*, por ejemplo para un usuario haciendo comentarios en una reproducción de vídeo.
- **Sincronización externa:** en conferencias o en otras aplicaciones cooperativas, pueden existir datos activos en distintos formatos, tales como animaciones generadas por computador, datos CAD, pizarras electrónicas y documentos compartidos.
- **La ventana de escasez.** Es cuando muchos sistemas limitan la calidad y la cantidad de los caudales que soportan especialmente cuando se trata de trabajar con grandes caudales de audio y vídeo. Siempre que una cierta clase de aplicación cae dentro de esta ventana, un sistema necesita reservar y panificar sus recursos cuidadosamente para proporcionar el servicio deseado.

Los sistemas de comunicación inalámbricos futuros deben por lo tanto ser capaces de proveer tasas de datos muy altas, quizás hasta 100 Mbps por usuario. Los clientes esperarán una cobertura adecuada tanto en ambientes caseros como en los de trabajo, así como en lugares públicos. El tráfico inalámbrico acumulado podría ser extremadamente alto y las redes deben poder ofrecer suficiente capacidad también en áreas densamente pobladas.

El despliegue rápido y de bajo costo es esencial. Las redes deben ser escalables en capacidad y tamaño.

CAPITULO 2

2. MODELAMIENTO DEL SISTEMA Y ANÁLISIS DE RENDIMIENTO

2.1. Introducción

En este capítulo se delinearán los servicios para los cuales la implementación objeto de estudio de esta tesis deberá ser capaz de soportar. Para esto, se revisará lo concerniente a capa física y finalmente detallaremos los modelos de propagación que podrán ser usados para describir el comportamiento del medio físico.

2.2. Servicios Inalámbricos.

La discusión en la sección 1.5 reveló que la mayoría del tráfico en las redes inalámbricas futuras probablemente serán paquetes de datos conmutados, generados por una variedad de tipos de dispositivos con requisitos absolutamente diversos de QoS. Para

estudiar las características de la cobertura y las capacidades de desarrollo de tales redes, es necesario asumir una mezcla conveniente de diversos servicios. Sin embargo, ciertamente es difícil especificar exactamente qué servicios se pueden transportar a través de la red, o cuando y donde serán utilizados. Además, los requisitos de QoS y las estadísticas del tráfico de datos para cada servicio incluso dependen del tipo de dispositivo y de las preferencias del usuario.

Una aproximación comúnmente usada en estos casos es definir varias clases de servicios, en donde cada clase representa servicios diferentes con requisitos similares de throughput y retraso. El tráfico acumulado de todas las clases de servicio se usa entonces como la carga total para evaluar la capacidad del sistema.

Uno de los problemas principales en una red inalámbrica es cómo manejar esta variedad de servicios y cómo manejar los recursos del sistema de la manera más eficiente. En esta tesis se limitará la clasificación a sólo unos cuantos servicios y usaremos medidas de rendimiento relativamente simples, del mismo modo, nos concentraremos principalmente en el problema de despliegue de

infraestructura y en como reducir los costos de su implementación.

Las siguientes tres clases de servicio serán consideradas:

- *Servicios de tasa de datos media y latencia baja.*- Aplicaciones interactivas en tiempo real que incluyen proyección de audio y/o video. Un ejemplo típico es una sesión de videoconferencia. El control del retraso es crítico y las tasas transmisión de datos pueden ser relativamente altas. Se espera que el uso de tales servicios aumentará en el futuro por consiguiente esta clase generará una porción considerable del tráfico global.
- *Servicios de baja a mediana tasa de datos y latencia media:* Esta clase representa los servicios de entrega de información típica y mensajes, como por ejemplo la navegación en Internet, e-mail, messenger, etc. Estos servicios son frecuentemente usados, pero típicamente solo requieren tasas de datos moderadas.
- *Servicios de alta tasa de datos con requerimientos normales de latencia:* Esta clase agrupa todos los tipos de descarga de archivos los mismos que implican grandes cantidades de datos, como por ejemplo las actualizaciones de software o bajar archivos de audio o video. Los retrasos durante la transmisión de datos pueden ser

usualmente tolerados. Estos servicios se usan raramente, pero contribuyen con una parte importante del tráfico debido al volumen de datos potencialmente alto.

En la tabla a continuación se aprecia el máximo retardo de paquetes estimado [10]

TIPO DE SERVICIO	MAXIMO RETARDO DE PAQUETES
Servicio de Tasa de Datos Media y Latencia Baja	100 ms
Servicio de Mediana Tasa de Datos Latencia Media	500 ms
Servicio de Alta tasa de Datos con Latencia Normal	1 s

Tabla 4. Parámetros de servicio

2.3. Implementación de la Infraestructura de la Red.

En esta sección se expondrá tres diferentes métodos de implementación para redes inalámbricas, todos ellos tienen como objetivo reducir los costos de implementación. Luego de revisar cada uno de ellos, se hará un análisis en base a las ventajas que presentan. El primero de ellos es un método que en efecto, no

requiere ningún plan de cobertura y que es comúnmente usado en nuestro medio lo hemos llamado el método de prueba y error.

2.3.1. Método de Implementación del Usuario.

La forma más simple de instalar una red inalámbrica consiste en evitar por completo el análisis de propagación e instalar unos cuantos puntos de acceso en las áreas donde la cobertura es requerida y donde es fácil el acceso a infraestructuras de backbones alámbricos. Debido a que no se requiere un conocimiento en planeamiento de redes inalámbricas este método es el más usado por los usuarios finales. Aunque la ventaja principal es su simplicidad una desventaja de este método es que la posición resultante de los AP's forman un modelo irregular, y permiten que la red tenga áreas con excesiva superposición de celdas y otras áreas en cambio sin cobertura, como se muestra en la figura 2.1. A pesar de que muchos sistemas inalámbricos usan esquemas con adaptación de enlaces, y asignación dinámica de canales, para asegurar el mejor rendimiento posible para una infraestructura de red dada, estos no pueden compensar una mala ubicación de un AP o áreas sin cobertura.

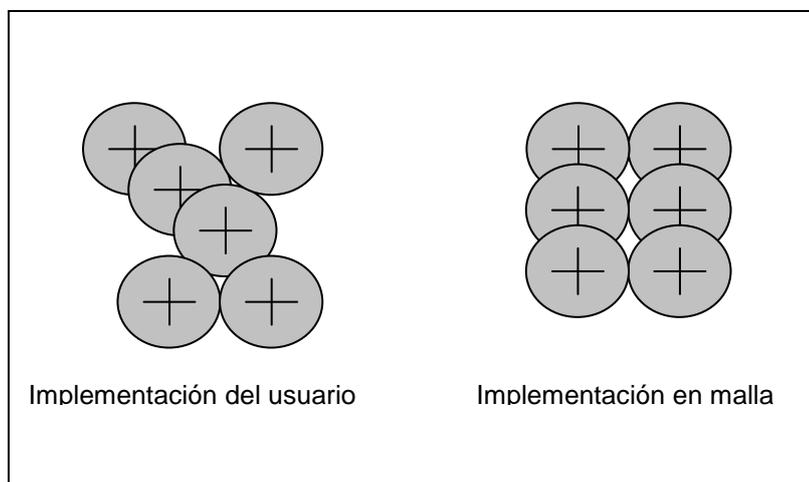


Figura. 2.1 Superposición de celdas y espacios sin coberturas en la implementación del usuario

Típicamente los usuarios inspeccionan el área de cobertura y tal vez bosquejan un perfil de la red para asegurar que los AP's estén al menos aproximadamente distribuidos uniformemente. Los AP's son entonces ubicados en lugares convenientes (Ej. cerca de un punto de red LAN, toma para teléfono u otro lugar conveniente para conectarlo a la red de backbone) de tal forma que los costos de cableado e instalación son minimizados. El usuario trata de seguir algunas reglas rudimentarias como con las guías de instalación que se dan en los manuales técnicos.

Estas reglas recomiendan instalar los AP's con buena visibilidad (Ej. sin objetos bloqueando la línea de vista o en el camino de las ondas de propagación), Además, se asume que los cables de red y los cables de poder son usualmente de 1 a 3 metros de longitud y que las fuentes de poder y puntos de red están en las paredes y cerca al piso. Como resultado, los AP's son usualmente colocados sobre los escritorios, archivadores o pegados a la pared. Por lo tanto los AP's típicamente son instalados no más allá de 1 o 2 metros sobre el nivel del suelo.

2.3.2. Método de Implementación en Malla.

Un método alternativo consiste en dividir el área de servicio por ejemplo la parte de un edificio o una área exterior en las cuales se puede brindar un servicio inalámbrico, y K rectángulos del mismo tamaño, donde K es el número de AP's disponibles, e instalar un AP en el centro de cada uno de estos rectángulos. La topología de red resultante es la que determina el nombre de este método: implementación en malla. La ubicación de los APs resultante de la implementación en malla esta uniformemente distribuida dentro del área de servicio y reduce la probabilidad de encontrara áreas sin cobertura. Generalmente se asume que los APs se instalan en el tumbado lo cual ubica los APs entre los 2,5 y 4 metros sobre el piso, dependiendo de la altura de la habitación.

La instalación en malla requiere un mayor esfuerzo que la implementación del usuario. Una malla conveniente debe ser primero determinada en un mapa o plano del piso y luego de eso se deben localizar los puntos centrales en el ambiente real. Además es improbable que una red primaria de alta

velocidad (backbone) este disponible cerca de los puntos de acceso al tiempo de la implementación, esto requerirá cableado adicional y por lo tanto resultara en gastos adicionales.

2.3.3. Método de Implementación con Optimización de Cobertura.

La implementación con optimización de cobertura es el método más complejo y costoso. Involucra el uso de un análisis de cobertura y algoritmos de optimización para determinar la ubicación optima de un punto de acceso que proveerá una cobertura adecuada con una mínima densidad de infraestructura. La optimización de la cobertura puede reducir el número de AP's requeridos, pero el potencial ahorro en los costos puede estar limitado simplemente a que tan bajos sean los costos de los equipos de WLAN. Un método para obtener una optimización de la cobertura se discutirá mas adelante en la sección 3.2

A continuación se hará un análisis en base a las ventajas y desventajas que presentan los tres métodos descritos en ésta

sección, para lo cuál se usará una tabla comparativa y un gráfico, éstos se pueden apreciar a continuación.

Método de Implementación	Ventajas	Desventajas
<i>Usuario</i>	Simplicidad en cuanto a diseño e implementación	Áreas de red con excesivo traslape de celdas y vacíos de cobertura
<i>Malla</i>	Reducción de vacíos de cobertura	Requiere de un diseño previo y cableado adicional lo que implica un aumento de costos
<i>Optimización de Cobertura</i>	Reduce el numero de equipos a utilizar es decir optimiza recursos	Complejidad en cuanto implica un análisis de propagación y utilización de algoritmos de optimización

Tabla 5. Comparación de métodos de implementación.

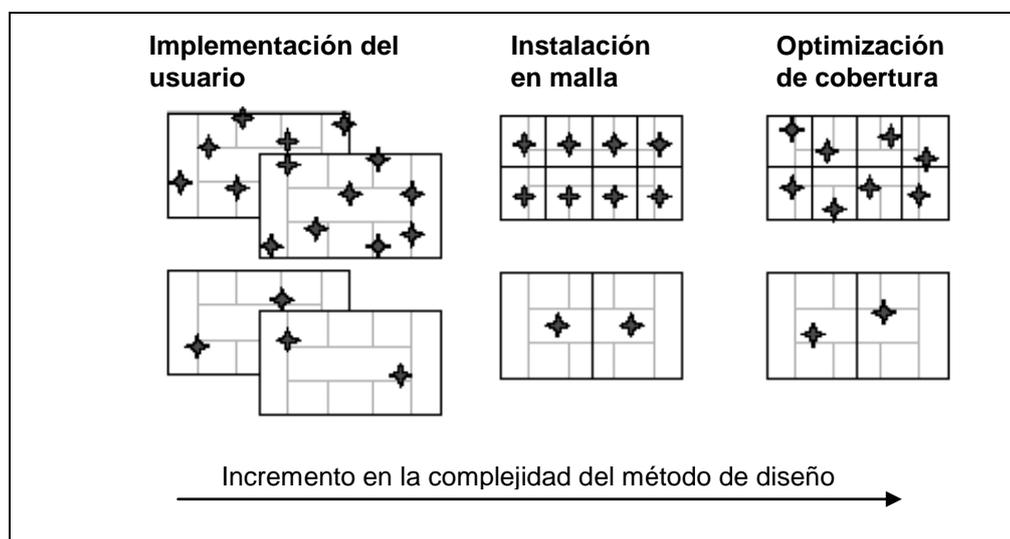


Figura 2.2 Resumen de métodos de implementación

2.4. Descripción del Caso de Estudio.

Con el fin de analizar el rendimiento del método de implementación y el algoritmo de optimización propuesto en esta tesis, es necesario considerar un ambiente que se ajuste a las necesidades de nuestro medio en los cuales la propagación resulte complicada estimar y en las que las suposiciones habituales no resulten precisamente en óptimos esquemas de red es decir que no resulte trivial. Un ambiente trivial es por ejemplo, uno que es completamente simétrico como un campo abierto sin ningún obstáculo, o una habitación vacía. En ambientes de implementación reales es imposible suponer condiciones ideales de propagación.

Las redes inalámbricas suelen ser instaladas en una infinidad de locaciones como hogares, aeropuertos, universidades, pequeñas y medianas empresas y en el Ecuador se prevé que en los próximos años se instalen en hospitales, centro comerciales y lugares públicos, bares y cafeterías. Esto hace que no sea factible el estudio particular de todos estos ambientes, sin embargo trataremos de resumir algunos de estos lugares en el área de estudio propuesta.

Hemos seleccionado un ambiente de oficina de tal forma que sea lo suficientemente genérico que permitan su aplicación en otros ambientes.

2.4.1. Arquitectura de la red.

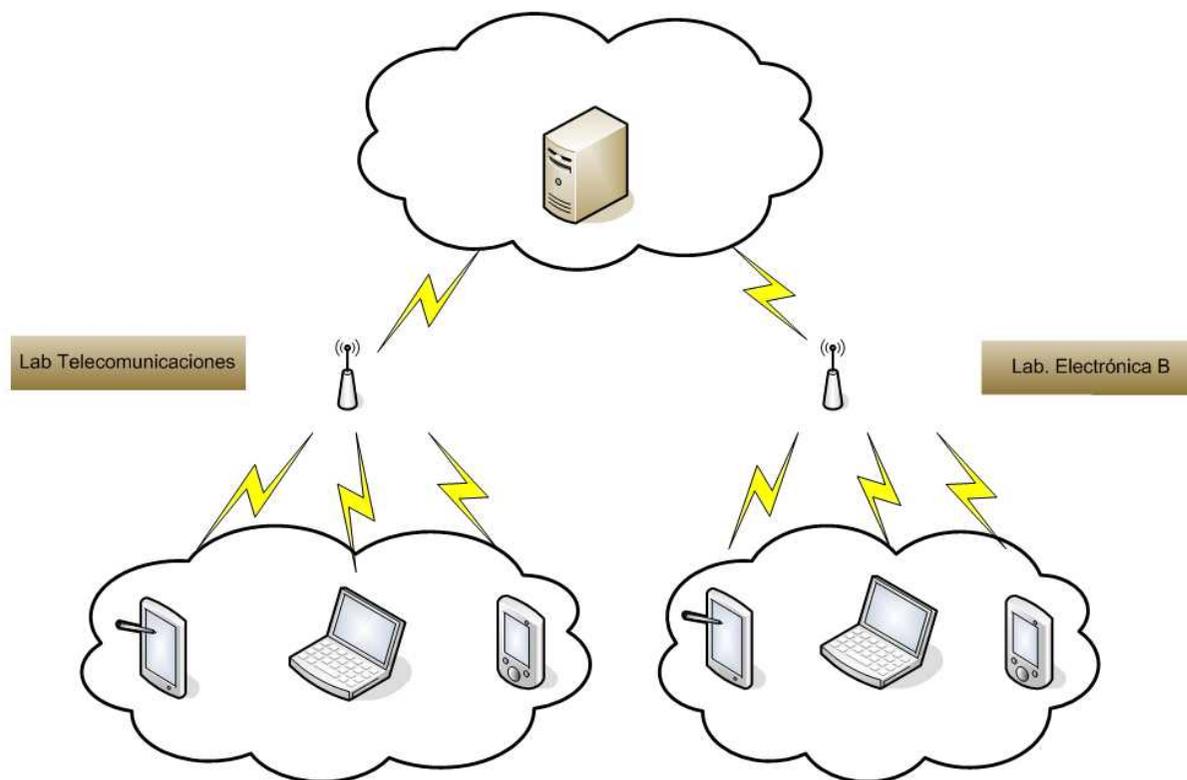


Figura 2.3 Arquitectura de la red

2.4.2. Aspectos Legales y selección del Estándar.

Un aspecto importante que hemos considerado al momento de realizar esta tesis es no sobrepasar los límites de potencia y de ganancia de las antenas establecidos por el organismo regulador (CONATEL) a utilizar en el desarrollo del proyecto, de este modo contribuiremos con un procedimiento que permita un mejor aprovechamiento de los recursos al mismo tiempo que se encuentra dentro de los márgenes establecidos por los reglamentos de telecomunicaciones del Ecuador, es decir que puede ser implementado. Para cumplir con este fin propuesto nos basaremos en la norma para la implementación y creación de Sistemas de Espectro Ensanchado, Resolución 538-20-CONATEL-2000 [13].

Banda de operación

Las bandas de frecuencia permitidas son las ICM indicadas a continuación:

902 - 928 MHz

2.400 - 2483.5 MHz

5.725 - 5850 MHz

En esta tesis utilizaremos la banda 2.400-2483.5 MHz en la cual operan los equipos basados en el estándar 802.11b

Configuraciones permitidas

El CONATEL permite las siguientes configuraciones:

- Sistemas fijos punto a punto
- Sistemas fijos punto-multipunto
- Sistemas móviles
- Sistemas de explotación
- Demás configuraciones que el CONATEL defina

El estudio realizado en esta tesis se enmarca dentro de los sistemas punto multipunto que son descritos en la configuración en infraestructura del estándar IEEE 802.11

Tipo de sistema.

El sistema implementado en la presente tesis encaja dentro de los sistemas de reducido alcance pues esta orientado a sistemas en interiores que no sobrepasen los 100 mts de cobertura (medidos desde el punto de acceso hasta el punto más distante donde se reciba intensidad de señal).

Potencia máxima de salida.

Para los sistemas con salto de frecuencia o secuencia directa que operen en la banda de 2.400-2.483,5 MHz, la potencia máxima de salida del transmisor autorizado será de 1 vatio

Si la ganancia de la antena direccional empleada en los sistemas fijos punto a punto y punto-multipunto que operan en la banda 2.400-2.483,5 MHz es superior a 6 dBi, deberá reducirse la potencia máxima de salida del transmisor, de 1 vatio, en 1 dB por cada 3dB de ganancia de la antena que exceda a los 6 dBi.

2.4.3. Descripción Física del Área de Cobertura.

Este ambiente cubre un área de una planta ubicado en las Instalaciones de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación de la ESPOL con área de 756 m², contiene 9 oficinas, un área abierta al público, un pasillo y una escalera. La información con respecto al grosor de las paredes se detalla en la tabla 6 y en la figura 2.4.

Tipo de Pared	Espesor r (mm)	Material	Gráfico
Exterior	120	Concreto	
Interior	750	Concreto	
División Tipo 1	20	Plywood y Vidrio	
División Tipo 2	35	Plywood	

Tabla 6. Resumen de los tipo de pared encontrados en el área de cobertura

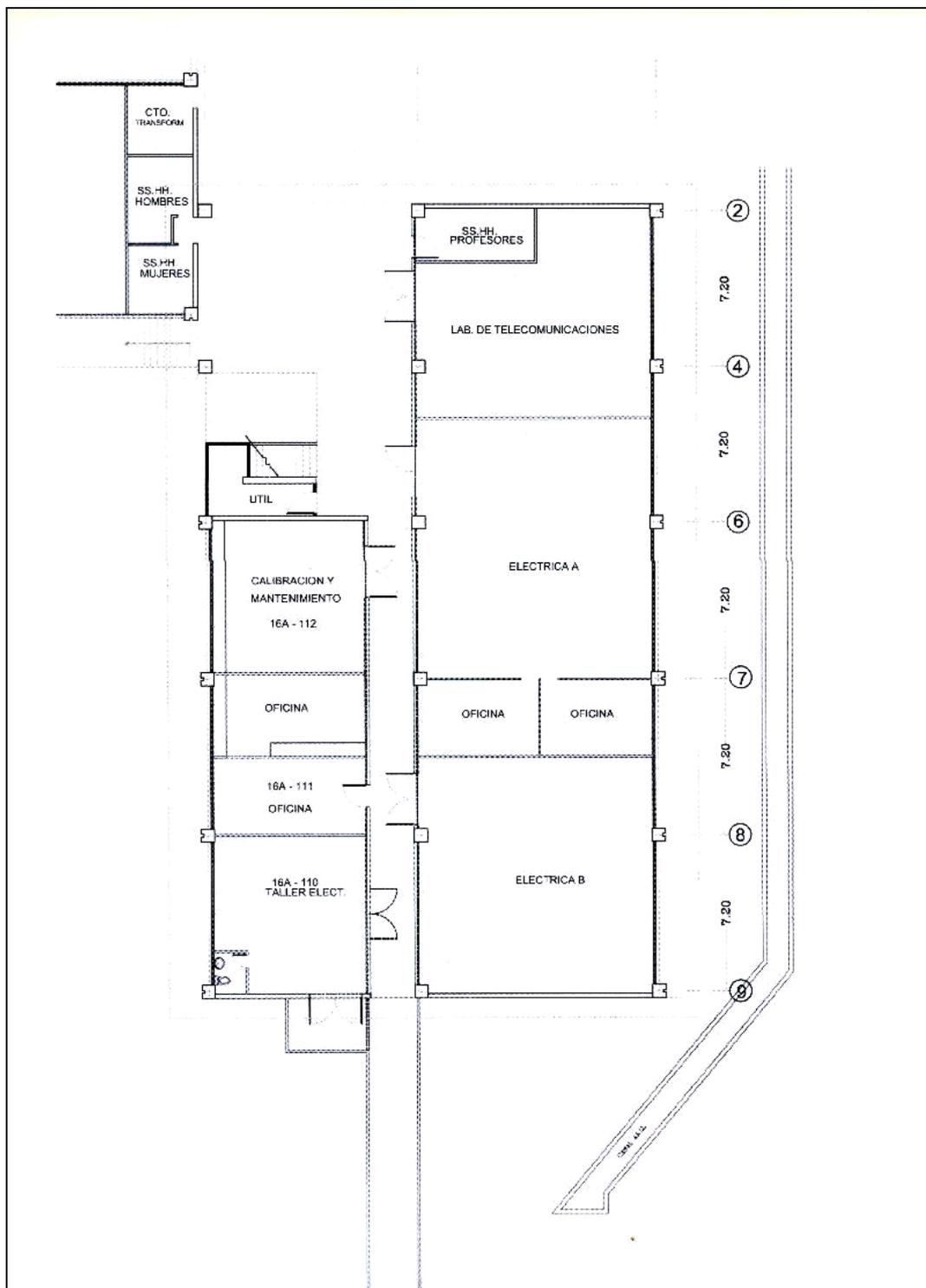


Figura 2.4 Plano arquitectónico del área de cobertura

2.4.4. Requerimientos del Sistema

Para determinar los requerimientos del sistema asumiremos que sobre la red inalámbrica se prestarán los siguientes servicios:

- Navegación Web
- Descargas y transferencia de archivos
- Corre electrónico
- Acceso a recursos de la red (impresoras, archivos, programas con licencias para uso en red)
- Posibilidad de brindar el servicio de VoIP sobre Wi-Fi en el futuro

Basándonos en esta lista de servicios y lo visto en la sección 1.7 determinamos que los requerimientos mínimos del sistema son los detallados en la tabla 7

Requerimiento	Mínimo	Deseable
Delay (ms)	*130	100
Ancho de Banda (Mbps)	10,	11
Jitter (ms)	*300	250

Tabla 7. Requerimientos basados en los servicios que estarán disponibles para el área de cobertura en estudio

*Para este caso el valor es máximo

2.5. Capacidad de la red y costos de implementación.

El objetivo de esta tesis es encontrar un modelo que permita soportar las tasas de transmisión requeridos al mismo tiempo que se aumenta el área de cobertura y se reducen los costos de implementación. Pero ¿cómo podemos relacionar la tasa de transmisión de datos con la densidad de Puntos de Acceso a una medición de rendimiento económicamente significativa? En esta sección se desarrollará un modelo que, sin incluir precios reales de los equipos y servicios inalámbricos, nos permita inferir algunas conclusiones útiles sobre los problemas de costo. Empezaremos por unas asunciones fundamentales.

Un operador de red (grande o pequeño) típico puede proveer algunos servicios mezclados a un precio dado para diferentes grupos de usuarios, bajo esta suposición podemos resumir algunos grupos de consumidores en un *consumidor promedio*, el cual consume una *tasa de datos promedio* que representa un *ingreso promedio* para el operador. En realidad esta relación puede ser mucho más compleja pero, el uso de esta abstracción nos permite dar una mayor claridad en la argumentación. De aquí podemos suponer que la utilidad para el operador de red incrementará linealmente de acuerdo al número de clientes. En este contexto no es muy relevante si el esquema de precios para el grupo de servicios es con tarifa plana, basada en volumen o por minuto. Además es razonable asumir que los costos de infraestructura incrementan linealmente con el número de AP's instalados. Dadas las asunciones anteriores, se puede utilizar la densidad de infraestructura por usuario servido como una medida del rendimiento aceptable para el modelamiento económico de una red inalámbrica [10]. Entonces se definirá el costo de infraestructura como:

$$\phi = \frac{\nu}{\mu} [PAs / usuario]$$

Donde ν representa la densidad promedio de AP's y μ la densidad de usuarios por unidad de área.

Luego de obtener esta relación, se podrá proceder a cotizar los equipos que van a utilizarse para la construcción de la red inalámbrica, lo cuál nos dará una idea del presupuesto que se necesitará para llevar a cabo dicho proyecto.

2.6. Manejo del Espectro Radioeléctrico.

Operar un sistema inalámbrico con un diseño dado (interfaz de aire, esquemas full-duplex y de múltiple acceso) requiere la solución de dos problemas fundamentales:

¿Como puede un número determinado de usuarios, distribuidos sobre una área, ser asignado a un número limitado de recursos (canales, slots de tiempo, códigos, etc.) tal que la capacidad del

sistema (throughput por celda, número de usuarios con una tasa de datos dada) este maximizada?

¿Qué niveles de transmisión deben ser usados por los terminales móviles y las estaciones base tal que la interferencia entre todos los enlaces de radio sea mínima y la capacidad del canal (por enlace o la suma de todos ellos) sea maximizada?

Ambas preguntas recibieron gran parte de la atención de los investigadores durante los años anteriores, específicamente durante el crecimiento desbordante de la telefonía móvil y el incremento de tráfico resultante en dichas redes. Hoy en día los esquemas de ubicación dinámica de canal (DCA) y Control distribuido de potencia (PC) son comúnmente usados por su rendimiento superior y adaptabilidad a los cambios en los patrones de tráfico. Estudios anteriores concluyen que DCA y PC están estrechamente relacionados y su rendimiento no es aditivo a pesar del grado de redundancia existente entre ellos.

Sin embargo esta conclusión se aplica principalmente a redes celulares cuyo tráfico con circuitos conmutados es típicamente usado en los sistemas de telefonía móvil de hoy. En el futuro, las

redes inalámbricas soportaran una gran cantidad de tráfico de paquetes conmutados de datos. Esto tiene algunas implicaciones en el manejo del espectro radioeléctrico. Algunos de estos problemas son: la dificultad de estimar la calidad del enlace de radio debido a lo discontinuo del tráfico de datos; la complejidad implícita en el manejo de tráfico de datos mixto, por ejemplo un rango de diferentes requerimientos de QoS, grandes fluctuaciones en los patrones de tráfico debido a la naturaleza cambiante de una transmisión de datos. Distintas aproximaciones pueden ser usadas para eliminar estos problemas y para hacer los sistemas inalámbricos más flexibles a los cambios en los requerimientos de servicio y costumbres de los usuarios.

En general, la mayoría de algoritmos que manejan el medio parten de una asunción común: cualquier fuente de interferencia en la red tiene características comparables, por ejemplo: todos los nodos de la red son similares y comparten los mismos recursos, como: canales, slots de tiempo, códigos). Entonces DCA y PC esencialmente describen las estrategias para seleccionar y usar estos recursos. Esta asunción puede ser cuestionada cuando nos referimos a un sistema que opera en una banda liberada:

¿Cómo pueden los algoritmos DCA y PC ser lo suficientemente robustos como para sobrellevar con la impredecible y potencialmente hostil interferencia que se puede encontrar en un sistema inalámbrico no licenciado?

Los problemas asociados con la operación de sistemas no licenciados reduce considerablemente el grado de libertad para la asignación de canales y los esquemas de control del tiempo, por lo tanto es necesario identificar primero las restricciones impuestas por la operación en bandas liberadas

2.6.1. Coexistencia de Sistemas no Licenciados.

El uso del espectro en bandas liberadas requiere de algunas medidas para asegurar la coexistencia “en paz” de los diferentes dispositivos que utilizan la misma banda de frecuencia en una misma localidad. Las políticas de acceso a los canales deben diseñarse bajo la premisa de *escuchar antes de hablar*. O en su defecto se deben utilizar esquemas de control de potencia que permitan minimizar la interferencia a los demás dispositivos. Las reglas fundamentales para operar dispositivos en una banda no licenciada se deberían

basar en una especie de acuerdo que contenga ciertas convenciones morales y reglas de buen uso del espectro que aseguren una interacción sin conflictos entre los usuarios.

El problema de la coexistencia es por lo general menos crítico para sistemas que se han armonizado de alguna manera, por ejemplo, en lo que se refiere a la distancia entre canales, medición de interferencias o reglas básicas de asignación de canales y políticas de control de potencia. Sin embargo y a pesar de estas condiciones favorables quedan unos cuantos problemas por ser resueltos.

Dos ejemplos de esto son HiperLAN/2 e IEEE 802.11a los cuales usan la misma capa física (20 Mhz por canal y para espaciamiento, modulación OFDM, esquemas similares de codificación), pero difieren considerablemente con respecto a la implementación de la capa MAC. HiperLAN/2 usa un esquema TDMA/TDD que permite manejar QoS, mientras IEEE 802.11a usa CSMA-CD con modificaciones específicas para facilitar la operación sobre un medio inalámbrico.

Las reglas para compartir el espectro y los mecanismos efectivos que aseguren la coexistencia son particularmente importantes para las situaciones en las que operadores en competencia desplieguen sus infraestructuras e intenten proveer servicios en el mismo ambiente. La solución más simple podría ser permitir a los operadores que acuerden dividir la banda no licenciada y usar diferentes grupos de canales para sus redes.

Sin embargo los operadores podrían también no llegar a ningún acuerdo y no usar reglas para compartir el medio. En este caso. Los operadores confiarían en la robustez de sus diseños de red, particularmente en la asignación de canales y en los algoritmos de control de potencia.

2.6.2. Asignación de Canales.

Los esquemas de multiplexación ortogonal, los cuales se han considerado para ésta tesis, requieren que las celdas adyacentes usen grupos no traslapados de unidades de recurso (slots de tiempo o canales). Por otra parte un terminal móvil cerca del borde de la celda, probablemente no logrará

una calidad de señal suficiente. Desde que asumimos que celdas diferentes están separadas en el dominio de la frecuencia, el problema consiste en encontrar una asignación adecuada de los canales disponibles a todas las celdas en la red.

Cuando se habla de un sistema inalámbrico móvil, los algoritmos para asignación de canales necesitan ser ágiles y sensibles a los patrones cambiantes de tráfico, este es el caso de las redes inalámbricas que transportan varios servicios (por ejemplo la red inalámbrica de un portador).

Los requerimientos de cada uno de los servicios a veces suelen ser contradictorios. Solo la existencia de dos tipos diferentes de servicios pueden causar un dilema y requerirán de un cuidadoso ajuste, como ejemplo podemos citar la voz conmutada por circuitos y la baja tasa de datos del tráfico de paquetes conmutados en una macro celda de una red GSM/GPRS.

Las estrategias para sistemas no licenciados deben ser más defensivas por ejemplo: el fin es minimizar el impacto de la

otra fuente de interferencia (impredecible) , antes que intentar maximizar la capacidad de la red, por lo tanto y con el fin de prevenir interferencia debida a otra fuente en esta tesis reutilizaremos un esquema rígido para la asignación de canales, es decir, en la etapa de diseño se seleccionarán los canales que se utilizarán en cada celda, para ello se muestran en la siguiente tabla los canales disponibles tanto en las frecuencias americanas como europeas. En este caso el conocimiento de la frecuencia central de cada canal es indiferente pues en los equipos que se utilizarán los canales están numerados en orden ascendente.

La frecuencia central de los canales se define en pasos de 1 MHz comenzando desde el primer canal, el canal 2.402 para USA y Europa excepto España y Francia., como se lista en la tabla 8.

Nº Canal	Frecuencias Norteamericanas	Frecuencias Europeas
1	2412 MHz	N/D
2	2417 MHz	N/D
3	2422 MHz	2422 MHz
4	2427 MHz	2427 MHz
5	2432 MHz	2432 MHz
6	2437 MHz	2437 MHz
7	2442 MHz	2442 MHz
8	2447 MHz	2447 MHz
9	2452 MHz	2452 MHz
10	2457 MHz	2457 MHz
11	2462 MHz	2462 MHz
12	N/D	N/D

Tabla 8. Asignación de frecuencias para la banda ISM

2.6.3. Control de Potencia Transmitida.

Los clientes inalámbricos operan en uno de dos modos de control de potencia transmitida especificados por el estándar IEEE 802.11. Estos modos de dirección son modo activo que

se lo llama comúnmente al modo consciente continuo (CAM) y ahorro de potencia que normalmente se llama al sondeo para ahorro de energía (PSP) [14]. La conservación de energía usando un modo de ahorro de energía es muy importante en usuarios móviles cuyas laptops o PDAs funcionan con baterías

El Modo Consciente continuo es la configuración durante la cuál el cliente wireless utiliza toda la energía, no “duerme” y está en constante comunicación regular con el Punto de Acceso. Cualquier computadora que permanece continuamente conectada a una toma de corriente de poder de CA como un computador de escritorio o servidor puede configurarse como CAM. Bajo estas circunstancias, no hay ninguna razón para tener la tarjeta de la PC conservando energía.

Sondeo para ahorro de energía es el modo que le permite a un cliente inalámbrico “dormir”. Por dormir, se entiende que el cliente retira el suministro de energía por una cantidad muy pequeña de tiempo, quizás una pequeña fracción de segundo.

Este “sueño” es suficiente tiempo para ahorrar una cantidad significativa de energía al cliente inalámbrico.

2.7. Capa Física.

2.7.1. Introducción.

La capa física de cualquier red define la modulación y la señalización, características de la transmisión de datos. En la capa física, se definen dos métodos de transmisión RF y un infrarrojo. El funcionamiento de la WLAN en bandas RF ilícitas, requiere la modulación en banda ancha para reunir los requisitos del funcionamiento en la mayoría de los países. Los estándares de transmisión RF en el Standard, son la Frecuencia de Saltos (FHSS: Frequency Hopping Spread Spectrum) y la Secuencia Directa (DSSS: Direct Sequence Spread Spectrum). Ambas arquitecturas se definen para operar en la banda de frecuencia de 2.4 GHz, ocupando típicamente los 83 MHz de banda desde los 2.400 GHz hasta 2.483 GHz. (DBPSK: Differential BPSK) y DQPSK es la modulación para la Secuencia Directa.

La frecuencia de salto utiliza los niveles 2-4 Gaussian FSK como el método de señalización de modulación. La fuerza radiada RF en la antena se fija por las reglas controladas por el punto 15 de FCC para el funcionamiento en los Estados Unidos. También se limita el aumento de la antena a un máximo de 6 dBi. La fuerza radiada está limitada a 1 W para los Estados Unidos, 10 mW por 1Mhz en Europa y 10mW para Japón. Hay diferentes frecuencias aprobadas para el uso en Japón, Estados Unidos y Europa y cualquier producto de WLAN deben reunir los requisitos para el país donde se vende.

La tasa de datos de la capa física para sistemas FHSS es de 1Mbps. Para DSSS se soportan tasas de datos desde 1 Mbps hasta 11 Mbps. La elección entre FHSS y DSSS dependerá de diversos factores relacionados con la aplicación de los usuarios y el entorno en el que el sistema esté operando.

2.7.2. Espectro Extendido con Salto en Frecuencia (FHSS).

FHSS utiliza una portadora de banda angosta que cambia la frecuencia en un patrón conocido tanto por el transmisor

como por el receptor. Tanto receptor como receptor están debidamente sincronizados comunicándose por un canal que está cambiado a cada momento en frecuencia. FHSS es utilizado para distancias cortas, en aplicaciones por lo general punto a multipunto, donde se tienen una cantidad de receptores diseminados en un área relativamente cercana al punto de acceso.

Al analizar la relación RAW BER vs E_b/N_0 de ambas modalidades, es evidente que el Sistema DSSS tiene un mejor desempeño ante el ruido blanco. Por el contrario, en el caso de la interferencia proveniente de otros sistemas en la misma banda, podemos concluir que FHSS presenta una mejor reacción ante el incremento del número de sistemas que interfieren la señal, lo cual se desprende del análisis de las figuras 2.5 y 2.6. FHSS se aplica más en ambientes de trayectorias múltiples, puesto que se obtiene un mejor desempeño; por el contrario, DSSS se emplea en entornos con línea de vista y de gran alcance.

Desde el punto de vista económico, el costo de implementar el diseño con DSSS es menor que la solución con FHSS; tanto en lo que implica a equipos como en lo correspondiente

a los pagos de solicitud de operación y homologación (caso estrictamente aplicable a Ecuador). [30]

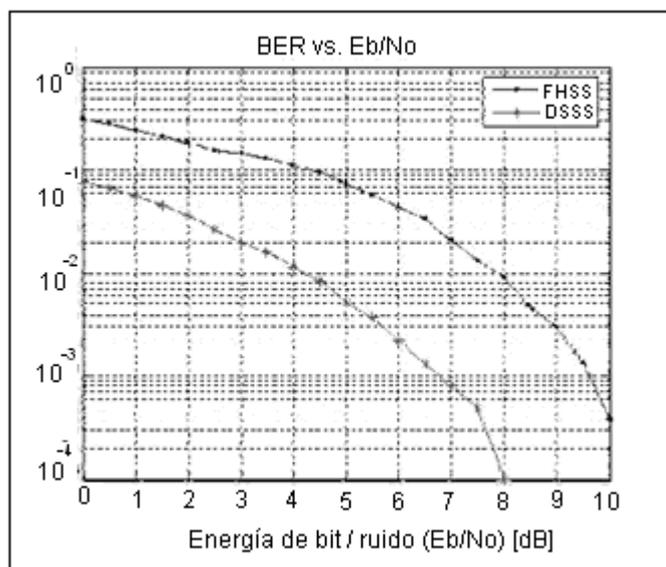


Figura 2.5 Relación entre la tasa de error de bit (BER) y la energía de bit sobre ruido (Eb/No)

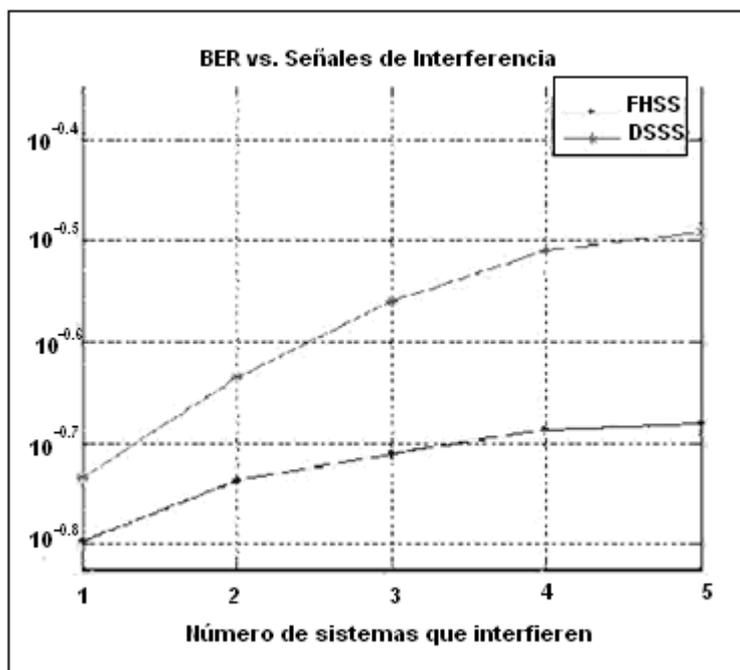


Figura 2.6 Relación entre la tasa de error de bit (BER) y el número de señales que componen la interferencia, en presencia de ruido blanco E_b/N_0 3db

2.7.3. Espectro Extendido en Secuencia Directa (DSSS)

DSSS genera un patrón de bits redundante para cada bit que sea transmitido. Este patrón de bit es llamado código chip. Entre más grande sea este chip, es más grande la probabilidad de que los datos originales puedan ser recuperados (pero, por supuesto se requerirá más ancho de banda). Más sin embargo si uno o mas bits son dañados durante la transmisión, técnicas estadísticas embebidas

dentro del radio transmisor podrán recuperar la señal original sin necesidad de retransmisión. DSSS se utilizará comúnmente en aplicaciones punto a punto.

2.7.4. OFDM

El origen del OFDM es en la década del 50/60 en aplicaciones de uso militar que trabaja dividiendo el espectro disponible en múltiples subportadoras.

OFDM es una tecnología de modulación digital, una forma especial de modulación multi-carrier considerada la piedra angular de la próxima generación de productos y servicios de radio frecuencia de alta velocidad para uso tanto personal como corporativo [15]. La técnica de espectro disperso de OFDM distribuye los datos en un gran número de portadoras que están espaciadas entre sí en distintas frecuencias precisas. Ese espaciado evita que los demoduladores vean frecuencias distintas a las suyas propias.

OFDM tiene una alta eficiencia de espectro, resistencia a la interfase RF y menor distorsión multi-ruta. Actualmente OFDM

no sólo se usa en las redes inalámbricas LAN 802.11a, sino en las 802.11g, en comunicaciones de alta velocidad por vía telefónica como las ADSL y en difusión de señales de televisión digital terrestre en Europa, Japón y Australia. El espectro de OFDM se traslapa

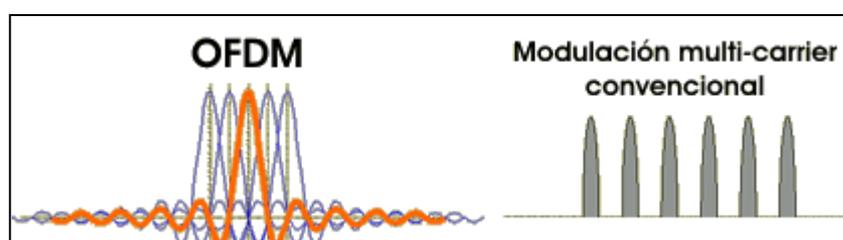


Figura 2.7 Modulación OFDM

2.7.5. Infrarrojo.

Los sistemas de comunicación por infrarrojo utilizan muy altas frecuencias, justo abajo del espectro de la luz visible para transportar datos. Como la luz, el infrarrojo no puede penetrar objetos opacos, ya sea directamente (línea de vista) o indirectamente (tecnología difundida / reflectiva). El alto desempeño del infrarrojo directo no es práctico para usuarios móviles, pero su uso es prácticamente para conectar dos redes fijas. La tecnología reflectiva no requiere línea de vista pero está limitada a cuartos individuales en zonas relativamente cercanas.

Se soporta un estándar infrarrojo, que opera en la banda 850nm a 950nm, con un poder máximo de 2 W. La modulación para el infrarrojo se logra usando o 4 o 16 niveles de modulación "posicionamiento por pulsos". La capa física soporta dos tasas de datos: 1 y 2Mbps.

2.8. Parámetros para determinar la calidad de la señal.

2.8.1. Señal, Ruido e Interferencia.

Supóngase un host A que necesita transmitir información a otro host B. Para comunicarse con el host B el host A debe transmitir (en este caso usando el canal inalámbrico) la información a B. Señal es lo que el host A trasmite al host B para comunicar la información deseada. La información puede ser primero codificada usando un algoritmo y un canal para la codificación y modulada antes de ser transmitida. Lo que el host B recibe (mientras A esta transmitiendo) es una composición de la señal que proviene desde A sumado a la interferencia causada por otras fuentes que transmiten al mismo tiempo que A, y el ruido conocido como térmico

producido por el hardware. Esto que es considerado como interferencia para el host B, puede ser la señal de interés para otro receptor.

El ruido a menudo es modelado como un Ruido Gaussiano Blanco aditivo (AWGN), donde el término aditivo se refiere al hecho de que el ruido se suma a la señal (y no es multiplicativo para la señal, por ejemplo) el término blanco se refiere al hecho de que la densidad espectral de potencia del ruido es plana; el término Gaussiano se refiere al hecho de que en un canal AWGN, cuando transmitimos la diferencia entre la amplitud de la señal transmitida s y la amplitud de la señal recibida y , $(y-s)$ (lo cual se conoce como ruido aditivo) es una variable aleatoria con distribución gaussiana. El canal AWGN no tiene memoria.

2.8.2. Relación de Señal a Ruido (SNR).

La señal de la potencia es medida en Watts (W) o comúnmente en miliwatts (mW). La potencia de una señal representada en dBm se obtiene de $10\log_{10} P$ donde P

esta en W. Db es usada para cantidades adimensionales, como las pérdidas por trayectoria.

El ruido y la interferencia se miden en forma similar. SINR es el cociente de la potencia de la señal (recibida) para la suma de las potencias de las interferencias y ruidos. Note que la potencia transmitida y la potencia recibida son diferentes para una misma señal.

2.8.3. Pérdidas por Trayectoria.

La potencia de la señal recibida es menor que la potencia de la señal transmitida debido a las pérdidas que ocurren debido a varias razones. Estas pérdidas por trayectoria pueden ser divididas en pérdidas por trayectoria a larga escala y pérdidas por trayectoria a pequeña escala.

Para las fórmulas que vamos a utilizar a continuación sean P_t y P_r los niveles de potencia de la señal en el transmisor y receptor respectivamente. Sea d la distancia entre el transmisor y el receptor. Y sean G_t y G_r la ganancia de las antenas para el transmisor y el receptor respectivamente [16].

2.8.4. Pérdidas por Recepción de Múltiples Trayectorias.

El canal de radio en ambientes interiores se caracteriza por una recepción de múltiples trayectorias. La señal que se entrega al receptor contiene no solamente la onda de radio directa de la línea de vista, sino también un sinnúmero de ondas reflejadas.

Estas ondas reflejadas interfieren con la onda directa, causando una degradación significativa del rendimiento de la red. Una red inalámbrica tiene que ser diseñada de tal forma que los efectos negativos de la reflexión sean reducidas al mínimo.

2.8.5. Pérdidas por Desvanecimiento

El canal de radio para sistemas móviles o de interiores se caracteriza por la recepción de múltiples trayectorias. La señal que se ofrece al receptor no solo contiene la onda que llega directamente de la línea de vista sino también una gran cantidad de ondas reflejadas. Estas ondas reflejadas

interfieren con la onda directa, las cuales causan una degradación significativa en el rendimiento de la red. Una red inalámbrica tiene que ser diseñada de tal forma que el efecto adverso de estas reflexiones sea mínimo.

Aunque el desvanecimiento en el canal es experimentado como un fenómeno impredecible y estocástico, se han desarrollado modelos poderosos que pueden predecir el comportamiento del sistema con precisión

La mayoría de técnicas de modulación convencionales son sensibles a la interferencia intersimbólica a menos que la tasa intersimbólica del canal sea pequeña comparada con el retraso extendido del canal. No obstante una señal recibida a una frecuencia y en una localidad donde las ondas reflejadas se cancelan unas con otras, es altamente atenuada y puede sufrir tasas altas de error de bit.

2.8.5.1. Desvanecimiento de Rayleigh

El desvanecimiento de Rayleigh es causado por la recepción de múltiples trayectorias. La antena móvil

recibe un gran número, digamos N , de ondas reflejadas y esparcidas. Debido a los efectos de cancelación de ondas la potencia recibida instantánea vista por una antena en movimiento se vuelve una variable aleatoria dependiendo de la localización de la antena.

En caso de una portadora no modulada, la señal tendría la siguiente forma:

$$s(t) = \cos(\omega_c t + \Psi)$$

Los mecanismos básicos de la recepción móvil son:

Efecto de Movimiento:

Permita las n -th ondas reflejadas con amplitud c_n y fase llegar desde un ángulo relativo a la dirección del movimiento de la antena

El Cambio Doppler es:

$$\Delta f_n = \frac{v}{\lambda} \cos \alpha_n$$

Donde v es la velocidad de la antena.

Representación de Fazor:

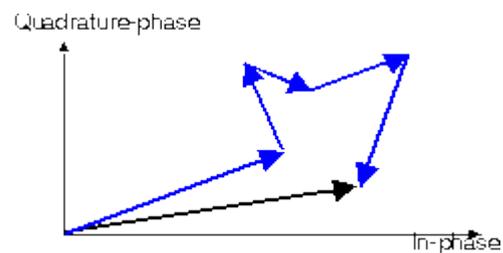


Figura 2.8 Diagrama del fasor de un set de señales esparcidas (en azul), resultante desvanecimiento de Rayleigh (en negro)

La recepción no modulada de la señal $r(t)$ puede ser expresada como:

$$r(t) = \sum_{n=1}^N c_n \cos(2\pi f_i t + \Psi + \Phi_n + 2\pi \Delta f_n t)$$

La representación de una cuadratura fuera de fase de la forma

$$r(t) = I(t) \cos \omega_i t - Q(t) \sin \omega_i t$$

Puede ser encontrada con un componente en fase

$$I(t) = \sum_{n=1}^N c_n \cos \left(\frac{2\pi v f_t t}{c} + \Psi + \phi_n \right)$$

Y el componente de cuadratura de fase

$$Q(t) = \sum_{n=1}^N c_n \text{sen} \left(\frac{2\pi v f_t t}{c} + \Psi + \phi_n \right).$$

2.8.5.2. Desvanecimiento de Rician

El modelo detrás del desvanecimiento de Rician es el mismo que para el desvanecimiento de Rayleigh excepto que en el de Rician un fuerte componente dominante está presente. Este componente dominante puede ser la línea de vista de la señal. El modelo de Rician también considera:

- La señal dominante puede ser la suma de un fasor de o más señales dominantes, ejemplo la línea de vista más la reflexión de la tierra. Esta señal combinada es mayormente tratado como un proceso determinístico (completamente predictivo).

- La señal dominante también puede ser sujeta a atenuación de sombras. Es una asunción en el Modelamiento de canales satelitales.

Además el componente dominante, la antena móvil recibe un gran número de señales reflejadas y esparcidas.

El factor K de Rician es definido como el ratio de la potencia de la señal en un componente dominante sobre la potencia esparcida.

$$K \equiv \frac{C^2/2}{\sigma^2} = \frac{\text{potencia directa}}{\text{potencia esparcida}}$$

Expresado en términos de potencia principal local \bar{P} y el factor K de Rician, el PDF de la amplitud de la señal se vuelve:

$$f_{\rho}(\rho) = (1+K)e^{-K} \frac{\rho}{\bar{P}} \exp\left(-\frac{1+K}{2\bar{P}}\rho^2\right) P\left(\sqrt{\frac{2K(1+K)}{\bar{P}}}\rho\right)$$

2.9. Modelos de Propagación.

El diseño de nuevos sistemas de WLAN apunta hacia grandes tasas de transmisión de datos los cuales cada vez usan métodos de modulación más complejos. Estos modelos de modulación más complejos hacen a los sistemas más sensitivos a la interferencia, particularmente a la interferencia intersimbólica causada por la propagación por lo tanto se requiere una selección adecuada de un modelo que se ajuste a las condiciones del medio en el cual estamos trabajando para lograr que los resultados de la aproximación reflejen lo que sucede en el medio real.

2.9.1. Modelo de propagación en el espacio libre.

El modelo de propagación en el espacio libre predice la potencia de La señal en el ambiente de "espacio libre" el cual se da cuando hay línea de vista entre el transmisor y el receptor, y no existe ninguna otra fuente de atenuación entre los dos sistemas principales. Por lo tanto el modelo en espacio libre predice que:

$$P_r \propto \frac{P_t G_t G_r}{d^2}$$

Note que el exponente de d es 2. Esto a veces se conoce como el “coeficiente de pérdida por trayectoria”. Si incluimos la constante de proporcionalidad K tenemos:

$$P_r = K \frac{P_t G_t G_r}{d^2}$$

La pérdida por trayectoria implica una atenuación en la señal,

En notación de decibeles la pérdida por trayectoria P_L se obtiene de la siguiente forma:

$$PL[dB] = P_t[dBm] - P_r[dBm] = 10 \log \frac{P_t}{P_r}$$

Por lo tanto:

$$P_r[dBm] = P_t[dBm] - PL[dB]$$

Y

$$PL[dB] = 20\log d - 10\log(KG_t G_r)$$

Claramente se puede ver que el modelo de pérdidas por trayectoria presentado no es válido para valores pequeños de d ; note además que el canal no amplifica la señal. Por lo tanto, tenemos que $P_r \leq P_t$. Por ahora no definiremos una “pequeña” o “larga” distancia d aquí.

Como P_r es una función de d , podemos concluir que, para alguna distancia d_0 y siendo $d \geq d_0$:

$$P_r(d) = P_r(d_0) \frac{d_0^2}{d^2}$$

en notación de decibeles:

$$P_r(d)[dBm] = P_r(d_0)[dBm] - 20\log \frac{d}{d_0}$$

2.9.2. Modelo de propagación de 2 Rayos.

Este modelo es un modelo de propagación a gran escala, el mismo que no está dentro del análisis de esta tesis sin embargo nos servirá para obtener un modelo general de pérdidas por trayectoria. El modelo de propagación de dos rayos asume que existen 2 contribuciones de señal en el receptor uno proveniente de la línea de vista y otro reflejado por un gran objeto como es la tierra. Cuando la distancia d entre transmisor y receptor es "muy grande" comparada con la distancia entre la antena y la tierra, el modelo de dos rayos concluye que:

$$P_r \propto \frac{P_t G_t G_r}{d^4}$$

Notablemente, el coeficiente de pérdida por trayectoria en este caso es, mucho más grande que el coeficiente de pérdida por trayectoria del espacio libre. Por lo tanto la señal se atenúa mucho más rápido que en el caso del espacio libre.

Para una distancia dada d_0 y $d \geq d_0$,

$$P_r(d)[dBm] = P_r(d_0)[dBm] - 40 \log \frac{d}{d_0}$$

2.9.3. Modelo de pérdidas por Trayectoria Log-Distancia.

Generalizando los modelos de espacio libre y de dos rayos, obtenemos el siguiente modelo de log-distancia, el cual para algún coeficiente de pérdida por trayectoria α

$$P_r(d)[dBm] = P_r(d_0)[dBm] - 10\alpha \log \frac{d}{d_0}$$

En el cual $P_r(d_0)$ es la potencia medida a una distancia d_0 y α es el coeficiente de pérdida por trayectoria. Análisis teóricos y mediciones nos demuestran que la potencia de la señal recibida decrementa logarítmicamente en función de la distancia tanto en ambientes exteriores como interiores. Los modelos para pérdidas promedio a larga escala para distancias arbitrarias entre el transmisor y el receptor son expresados como función de la distancia usando el coeficiente de pérdida por trayectoria, α , el cual muestra la tasa a la cual las pérdidas por trayectoria aumentan en función a la distancia.

2.9.4. Modelo del Factor de Atenuación por Paredes (WAF).

El modelo de propagación WAF se describe en la siguiente expresión:

$$P(d)[dBm] = P(d_0)[dBm] - 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) - \begin{cases} nW * WAF & nW < C \\ C * WAF & nW \geq C \end{cases}$$

En donde:

- WAF; es el factor de atenuación de paredes
- P (d₀); Potencia de la señal en cualquier distancia de referencia d₀.
- d, distancia transmisor- receptor
- C, número máximo de paredes en las cuales el factor de atenuación hace diferencia.
- nW, número de paredes.

El factor de atenuación WAF (Wall Attenuation Factor), depende de la construcción del diseño y del material [17].

El WAF se deriva empíricamente por mediciones de la potencia de la señal con diferentes números de paredes entre el receptor y transmisor.

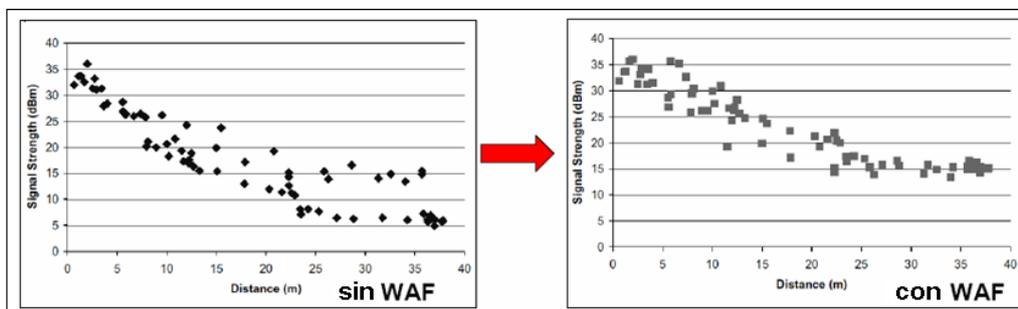


Figura 2.9 Grafico de Atenuación vs. distancia

Los resultados los podemos observar en el siguiente gráfico.

En donde se visualiza la señal medida con línea azul y la pronosticada con rojo.

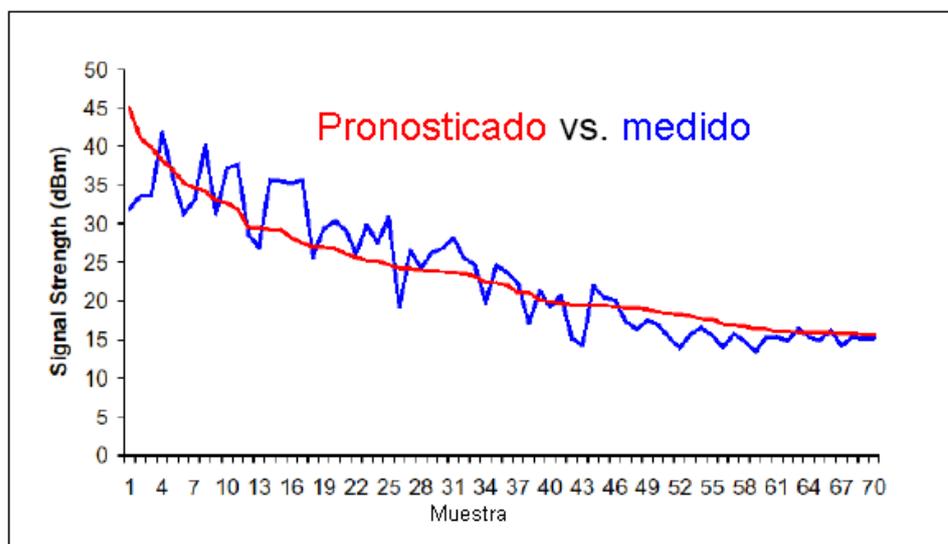


Figura 2.10 Diferencia de Potencia medida vs pronosticada cuando se usa el modelo WAF

CAPITULO 3

3. MÉTODO DE IMPLEMENTACIÓN CON OPTIMIZACIÓN DE COBERTURA

3.1. Introducción

En este capítulo se introduce un modelo de estimación basado en un estudio realizado anteriormente [11], los cuales utilizan el modelo Log-distancia para estimar la potencia de la señal inalámbrica. En este trabajo se intentará mejorar el método para estimar la potencia inicial utilizando un modelo en el que se tomen en cuenta las pérdidas debido a las paredes y divisiones de interiores. Se espera que al tomar en cuenta estos factores se reduzca el margen de error para optimizar la ubicación de los AP's dentro de un área de cobertura determinada.

3.2. Optimización de la Posición de los Puntos de Acceso

Al ubicar múltiples puntos de acceso (AP's) inalámbricos durante la instalación de una red del área local (LAN), se debe tener el suficiente cuidado para asegurar una cobertura de radio adecuada a lo largo del área de servicio, localizando los AP's cuidadosamente. Estudios anteriores muestran que el diseño debe ser basado en mediciones, no simplemente en métodos de prueba y error. Estas medidas involucran extensas pruebas y múltiples consideraciones de los problemas de propagación de radio cuando el área de servicio es grande, por ejemplo, un campus entero [18]. Al seleccionar la ubicación de los AP's, uno debe evitar huecos de cobertura, es decir, áreas dónde el servicio no estará disponible a los usuarios.

Por otra parte, es deseable espaciar los AP's tan lejos como sea posible para minimizar los costos. Otra razón para espaciar tan lejos como sea posible los AP's es que el traslape de cobertura entre AP's que operan en el mismo canal de radio (traslape de cobertura en el mismo canal) degrada el rendimiento de las redes basadas en el IEEE 802.11 a, b y g. Se ha encontrado que los esquemas de prueba y error son inadecuados para realizar este tipo de diseños. Más bien, cada diseño debe ser basado en mediciones cuidadosas y exhaustivas de la potencia de la señal. Esto es particularmente

complejo porque el edificio es un espacio tridimensional, y un AP localizado el suelo del edificio proporciona cobertura de señal en los pisos adyacentes del mismo edificio y quizás a otros edificios también.

3.3. Función Objetivo

Se ha modificado el procedimiento de diseño desarrollado por la Universidad de Carnegie Mellon, agregando los pasos 2 y 3 a los reportados en detallan en [11] el cual constaba de 5 pasos alargándolo a 7 pasos:

- 1) La selección inicial de la ubicación de los AP's;
- 2) Obtención de los factores de atenuación característicos del área en estudio.
- 3) Aplicación del modelo WAF con los factores obtenidos en 2 para estimar la potencia de la señal recibida
- 4) Prueba y rediseño que consiste en ajustar la ubicación de los AP's basado en las medidas de potencia de la señal;
- 5) La creación de un mapa de cobertura;
- 6) La asignación de frecuencias a los AP's;

7) Auditoria, que consiste en documentar las ubicaciones de los AP's y una revisión final de las medidas potencia de la señal a las frecuencias seleccionadas.

Después de que la selección inicial de la ubicación de los AP's (el primer paso) está completo, se instalan AP's temporalmente en las ubicaciones seleccionadas. Luego medimos y documentamos las áreas del cobertura de estos AP's. Esta área de Cobertura la definimos en términos de una potencia de señal recibida específica. Este umbral es seleccionado con la finalidad de proveer una relación de señal a ruido (S/N) adecuada y un margen adicional.

Para el caso de las WLAN basadas en el IEEE 802.11 b, es necesario un nivel de ruido menor que -90 dBm y un S/N de al menos 10 dB para asegurar un excelente rendimiento, pero hemos decidido elevar un margen extra de 5 dB para permitir niveles de ruido no mayores a -90 dB. En este caso hemos seleccionado un umbral de -75 dBm.

Típicamente, se encuentran huecos y/o traslapes de cobertura excesivos. Basados en los resultados de las mediciones, las ubicaciones de los APs se ajustan como sea necesario, mientras

más medidas se hagan, más ajustes son necesarios, hasta encontrar un diseño aceptable. El proceso es reiterativo. Puede ser necesario repetir el ciclo prueba-rediseño varias veces para encontrar una solución aceptable. Esto normalmente consume mucho tiempo.

El segundo paso del proceso del diseño puede hacerse mucho más rápido y más eficazmente si la potencia de la señal de los AP's reubicados pudieran ser estimadas rápidamente. Esto reduciría la necesidad de mover físicamente los AP's y volver a medir el área de cobertura. Con esta aproximación, Los AP's se mueven "virtualmente," en lugar de físicamente, y sus áreas de cobertura son estimados en lugar de medidas.

En esta tesis, se describirá un procedimiento para llevar a cabo la estimación de las áreas de cobertura de los AP's y de esta forma eliminar la necesidad de volver a medir las áreas de cobertura para cada combinación de posible ubicación del AP.

3.4. Algoritmo de Optimización

Se empieza tomando un grupo completo de medidas de potencia de la señal dentro del edificio con los AP's en sus ubicaciones iniciales.

A cada medida de potencia de la señal se le asigna un punto en el espacio. Cada punto está en el suelo de un edificio y se describe por coordenadas X y Y.

Con estos datos se construye un grafo, en el cual cada nodo representa un punto en un piso del edificio. Cada ubicación de AP es llamado un nodo "AP". Todos los otros nodos son nodos de "medición". Cada nodo se conecta a sus vecinos más cercanos a través de un grupo de aristas de costo. Usando el algoritmo descrito aquí, cualquier AP puede ser "virtualmente" movido a cualquier nueva ubicación que también es un nodo de medición, y nuevas potencias de la señal pueden ser estimadas en todos los otros nodos de medición. Un diseñador puede estimar los efectos de mover un AP en la cobertura de la señal, sin la necesidad de moverlos físicamente tomando nuevas medidas.

Un modelo de pérdida por trayectoria se necesita usar con el algoritmo. Existe un gran número de modelos de pérdida por trayectoria que se han desarrollado para el uso en ambientes de interiores. Las descripciones concisas de los más comunes pueden encontrarse en [19]. Algunos de estos modelos representan la pérdida por trayectoria (en decibelios) de un punto en el espacio de la siguiente forma:

$$PL = PL^* + 10n \log d$$

Donde d es distancia al transmisor en metros;

PL^* pérdida por trayectoria referencial a 1 m del transmisor;

n exponente de atenuación (2 para espacio libre pero mayor en ambientes interiores reales).

Esta fórmula en particular asume que la distancia referencial de 1m está en el campo lejano de la antena transmisora. Los modelos de pérdida por trayectoria son típicamente modificados por variables adicionales para considerar pérdidas debidas a interferencias adicionales, se utilizará el modelo de WAF que considera las pérdidas por obstrucción de la línea de vista debido a paredes o divisiones de interiores; frecuentemente el exponente de atenuación es asignado como un valor que mejor se ajusta a las medidas experimentales.

Este esquema usa esta fórmula en el modelo de propagación referencial y luego hace ajustes punto a punto basado en las potencias de la señal recibidas, reteniendo estos ajustes y asociándolos con los puntos en el espacio a los cuales se aplica.

Entonces podremos virtualmente mover el AP a nueva ubicación y recalcular la potencia de la señal usando la misma fórmula pero

aplicando ajustes punto a punto a las potencias de la señal recientemente calculadas.

Con la finalidad de explicar el algoritmo empezaremos describiendo nuestro modelo de referencia para la potencia de la señal recibida, luego describiremos el algoritmo como un procedimiento paso a paso, uno para estimar la potencia de la señal recibida y otra para el descubrimiento del vecino más cercano. Luego analizaremos el rendimiento del algoritmo en la sección 4.3.

3.4.1. Selección del Modelo de propagación

Se modelará la potencia de la señal recibida (en decibeles relativos a un milivatio) en cualquier punto como:

$$s = s^* - 10n \log d - kWAF$$

Donde d	es la distancia al AP en metros
s^*	el nivel de referencia a 1 m
n	el exponente de atenuación
k	número de paredes entre el punto y el AP
WAF	coeficiente de atenuación por paredes

3.4.2. Estimación de la Potencia de la Señal

- 1) Construimos un grafo G conectando cada nodo con su “vecino más cercano” usando el algoritmo de descubrimiento del vecino que describiremos mas adelante. Cada ubicación posible para el AP es un nodo AP el cual es no medible. Todos los otros nodos son nodos de medición.
- 2) En cada nodo de medición, se calcula el exceso de perdida L para cada AP para lo cual una medición de señal fue grabada en el nodo dado como $L = (s * -10n \log d) - s_{medida}$
- 3) Asignamos pesos a las aristas empezando por los nodos más cercanos al PA y proseguimos a través de las aristas hacia los nodos más lejanos al AP. Asignamos un peso W a cada arista tal que $W = L_{vecino} - L_n$, donde L_n es el valor de L en el nodo n, y L_{vecino} es el valor de L en uno de los n vecinos en el otro lado de una de las aristas y más lejano al AP que Ln.

- 4) Como existe la posibilidad de que valores de W sean negativos, los pesos de las aristas deben ser normalizados. Sea W_s el valor del peso mínimo calculado APra todos los nodos en G . Si $W_s < 0$ definimos un factor de normalización $NF = |W_s|$, sino $NF=0$. Para todo $W \in G$ $W = W + NF$
- 5) Mueva el AP a una nueva ubicación, la cual se convierte en un nodo no medible.
- 6) Seleccione los nodos de medición mas cercanos al nuevo nodo AP
- 7) Calcule la potencia estimada de la señal en los nodos primarios con $S_{est} = s^* - 10n \log d - kWAF$
- 8) Para cada nodo restante use el algoritmo de Dijkstra para encontrar W_{min} , donde W_{min} es la más pequeña suma posible de los pesos de las aristas que conectan aun nodo con cualquier otro nodo "primario".

9) Para cada nodo denormalize el W_{\min} tal que $W_{\min} = W_{\min} - (NF \cdot n)$, donde n = numero de saltos entre el nuevo AP y el nodo resultante en W_{\min} .

10) Calcule la potencia de la señal en todos los otros nodos de medición (no primarios) como:

$$S_{est} = S * -10n \log d - W_{\min}.$$

3.4.3. Algoritmo de Descubrimiento del Vecino

El nodo $N_1 = (X_1, Y_1, Z_1)$ es un vecino “cercano” a un nodo específico $N = (X, Y, Z)$ si, para el mismo valor de Z , ($Z = Z_1$)

- 1) Sea G un grafo con origen en (X, Y)
- 2) Divida G en ocho sectores de 45° ($\pi/4$ rad), donde el Sector 1 (S_1) es definido como $0^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$, el Sector 2 (S_2) es definido como $45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$, y así sucesivamente. Cada sector puede contener como máximo un vecino “cercano” a N .

- 3) Definamos la distancia de umbral $d = 10$ m.
- 4) Definamos r_{\min} como la distancia mínima r desde el N hasta un nodo en S_i .
- 5) N_1 es el vecino más cercano de N en S_i si

$$\sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2} = r_{\min} \text{ y } r_{\min} \leq d .$$

3.4.4. Justificación de la selección del algoritmo

El algoritmo descrito anteriormente facilitará la búsqueda de la óptima ubicación del AP. Este proceso lo realizará en forma virtual, considerando la potencia de la señal recibida en dicho punto. Para esto se construye inicialmente un grafo, el cuál va a tener tantos nodos como puntos en los cuales se pueda mover el AP dentro del área dada. Se calcula la estimación de la potencia para todos los nodos y se escoge el menor valor de la suma de los pesos de las aristas que conectan al nodo donde está colocado el PA, es decir se escoge el camino más cercano, para proceder

a reubicar el AP. Por este motivo se ha escogido el Algoritmo de Dijkstra, ya que es eficiente y de fácil uso para el cálculo del camino más cercano. Debido a que la reubicación del AP es repetitiva, Dijkstra va a optimizar el tiempo que se necesita para mover el AP en todos los nodos, hasta encontrar su óptima ubicación.

3.5. Sumario de los Resultados de Cobertura

En esta sección se resume los resultados de las mediciones tomadas inicialmente en el área de cobertura, la cuál fue dividida dos secciones después de constatar que con un solo AP no era posible realizar la cobertura de toda el área de estudio. El procedimiento utilizado para tabular los datos se resume de la siguiente manera:

1. Se coloca el equipo de medición en cada uno de los puntos de medición durante 10 minutos (asegura el menos 500 datos por punto)
2. Se ingresa estos datos en una hoja de Excel y se obtiene el promedio de la potencia medida, el ruido y la relación señal a ruido (SNR)

Estos datos son los que se tabulan en las siguientes tablas y gráfico.

No	PUNTO	SEÑAL (dBm)	RUIDO (dBm)	SNR
1	2A	-71,50	-90,03	18,53
2	2B	-69,68	-90,29	20,61
3	2C	-73,76	-90,55	16,78
4	2D	-60,14	-90,00	29,86
5	2E	0,00	0,00	0,00
6	2F	-57,07	-90,19	33,12
7	2G	-50,83	-90,48	39,65
8	3A	-73,06	-89,82	16,76
9	3B	-72,22	-89,82	17,61
10	3C	-70,07	-90,41	20,34
11	3D	-60,36	-90,64	30,27
12	3E	-41,49	-90,50	49,01
13	3F	-52,99	-90,09	37,10
14	3G	-59,09	-90,40	31,31
15	4A	-70,78	-90,29	19,51
16	4B	-66,48	-90,10	23,62
17	4C	-72,15	-90,02	17,87
18	4D	-63,02	-90,87	27,85
19	4E	-48,85	-90,54	41,69
20	4F	-47,76	-90,35	42,59
21	4G	-58,95	-90,51	31,56
22	5A	-63,39	-90,29	26,90
23	5B	-65,17	-88,99	23,82
24	5C	-63,40	-89,11	25,71
25	5D	-57,63	-90,35	32,72
26	5E	-51,99	-90,68	38,69
27	5F	-48,96	-89,93	40,97
28	5G	-55,67	-90,60	34,93
29	6A	-71,55	-90,29	18,74
30	6B	-73,41	-90,52	17,11
31	6C	-71,38	-91,39	20,01
32	6D	-71,63	-91,36	19,74
33	6E	-52,21	-90,28	38,07
34	6F	-52,81	-90,49	37,67
35	6G	-51,85	-90,74	38,89
36	7A	-73,54	-90,29	16,75
37	7B	-74,70	-90,89	16,19
38	7C	-73,07	-91,50	18,42
39	7D	-72,01	-91,13	19,11
40	7E	-55,93	-90,54	34,61
41	7F	-67,61	-90,36	22,75
42	7G	-74,83	-91,41	16,59
43	8A	-76,43	-90,29	16,75
44	8B	-73,36	-91,34	16,19

45	8C	-74,86	-91,40	18,42
46	8D	-73,21	-91,51	19,11
47	8E	-56,34	-90,20	33,86
48	8F	-71,30	-90,96	22,75
49	8G	-70,14	-91,28	16,59
50	9A	-79,85	-90,29	10,43
51	9B	-73,33	-91,01	17,68
52	9C	-74,00	-91,61	17,61
53	9D	-74,71	-90,57	15,86
54	9E	-58,54	-90,72	32,18
55	9F	-69,49	-91,51	22,02
56	9G	-72,53	-91,51	18,98
57	10A	-73,85	-90,29	16,44
58	10B	-72,38	-90,74	18,36
59	10C	-73,09	-90,69	17,60
60	10D	-72,58	-90,84	18,26
61	10E	-58,57	-90,60	32,03
62	10F	-63,86	-90,53	26,67
63	10G	-61,53	-89,86	28,32

Tabla 9. Sumario de las mediciones tomadas en la primera área de estudio, con el AP ubicado en el punto 2E

No	PUNTO	SEÑAL (dBm)	RUIDO (dBm)	SNR
1	11A	-70,29	-90,41	20,12
2	11B	-63,11	-90,75	27,64
3	11C	-62,19	-90,53	28,34
4	11D	-61,62	-90,43	28,81
5	11E	-60,48	-90,78	30,30
6	11F	-58,52	-91,40	32,88
7	11G	-57,52	-90,77	33,24
8	12A	-70,36	-90,43	20,07
9	12B	-69,16	-90,50	21,34
10	12C	-63,50	-90,52	27,02
11	12D	-65,51	-90,22	24,71
12	12E	-62,29	-90,74	28,45
13	12F	-53,20	-91,05	37,85
14	12G	-64,09	-91,45	27,36
15	13A	-68,65	-90,72	22,07
16	13B	-65,21	-90,78	25,57
17	13C	-67,55	-90,30	22,75
18	13D	-64,02	-90,15	26,14
19	13E	-63,03	-90,70	27,67

20	13F	-58,73	-91,48	32,75
21	13G	-66,60	-91,26	24,66
22	14A	-73,64	-89,15	15,51
23	14B	-72,66	-91,38	18,71
24	14C	-71,15	-91,54	20,40
25	14D	-68,10	-91,40	23,30
26	14E	-62,70	-90,33	27,63
27	14F	-58,96	-89,55	30,60
28	14G	-61,57	-91,34	29,77

Tabla 10. Sumario de las Mediciones tomadas en la segunda área de estudio, con el AP ubicado en el punto E14

A continuación se muestran tablas con mediciones tomadas en otros puntos, estas mediciones servirán para analizar la eficiencia del algoritmo al ser movido a otra ubicación.

No	PUNTO	SEÑAL	RUIDO	SNR
1	2E	-53,17	-91,60	38,43
2	2F	-65,93	-90,91	24,98
3	2G	-52,21	-91,28	39,07
4	3E	-44,85	-91,47	46,62
5	3F	-48,56	-90,92	42,36
6	3G	-51,79	-90,38	38,60
7	4E	-44,43	-91,50	47,06
8	4F	-39,05	-91,28	52,23
9	4G	0	0	0
10	5E	-46,22	-91,51	45,29
11	5F	-46,72	-91,38	44,65
12	5G	-55,06	-91,42	36,36
13	6E	-57,74	-91,53	33,78
14	6F	-59,22	-91,55	32,33
15	6G	-60,50	-91,66	31,17

Tabla 11. Sumario de las Mediciones tomadas en el área de estudio, con el AP ubicado en el punto 4G

No	PUNTO	SEÑAL	RUIDO	SNR
1	2A	-57,18	-89,83	32,66
2	2B	-52,05	-89,98	37,93
3	2C	-51,87	-89,92	38,04
4	3A	-51,97	-91,05	39,08
5	3B	-50,54	-91,45	40,92
6	3C	-51,04	-91,52	40,48
7	4A	0,00	0,00	0,00
8	4B	-40,13	-90,63	50,50
9	4C	-50,85	-91,40	40,55
10	5A	-60,01	-91,43	31,42
11	5B	-61,26	-90,46	29,20
12	5C	-51,58	-91,31	39,73
13	6A	-61,53	-91,46	29,93
14	6B	-58,86	-90,76	31,91
15	6C	-62,50	-89,96	27,45

Tabla 12. Sumario de las Mediciones tomadas en el área de estudio, con el AP ubicado en el punto 4A.

A	-71,5	-73,06	-70,78	-63,39	-71,55	-75,87	-78,37	-80,14	-81,45	
B	-69,68	-72,22	-66,48	-65,17	-73,41	-74,7	-73,36	-73,33	-75,9	
C	-73,76	-72,15	-70,07	-63,4	-71,38	-73,07	-74,86	-74	-75,88	
D	-60,14	-60,36	-63,02	-57,63	-66,24	-67,01	-69,21	-70,71	-71,58	
E	AP	-41,49	-48,85	-51,99	-52,21	-55,93	-56,34	-58,54	-58,57	
F	-57,07	-47,76	-48,96	-52,99	-52,81	-67,61	-69,49	-71,3	-76,25	
G	-50,83	-51,85	-58,95	-55,67	-59,09	-70,14	-72,53	-74,83	-75,15	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Figura 3.1 Ubicación inicial del primer punto de acceso en el área de estudio.

A	-70,29	-70,36	-68,65	-73,64
B	-63,11	-69,16	-65,21	-72,66
C	-62,19	-63,5	-67,55	-71,15
D	-61,62	-65,51	-64,02	-68,1
E	-54,11	-60,06	-58,31	AP
F	-58,52	-53,2	-58,73	-58,96
G	-57,52	-64,09	-66,6	-61,57
	11	12	13	14

Figura 3.2 Ubicación inicial del segundo punto de acceso en el área de estudio

CAPITULO 4

4. IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO EN MATLAB

4.1. Introducción

En este capítulo mostraremos el uso de la herramienta de simulación desarrollada en MATLAB como complemento a esta tesis y que nos permitirá demostrar el funcionamiento del algoritmo propuesto, para predecir la mejor ubicación de los puntos de acceso. Este programa nos permitirá no solo tener una visión grafica del área de cobertura sino también realizar la auditoria del diseño de una red inalámbrica.

4.2. Descripción y Justificación del uso de Variables

Ahora haremos una breve descripción de las variables más relevantes usadas en la implementación del programa así como la función que cumplen en el mismo.

Datos

Esta variable es usada para portar la matriz de datos que contiene las intensidades de la señal medidas inicialmente para ello carga los datos grabados en el archivo datosp.xls

Pared

Esta variable es usada para portar la matriz que determina el número de paredes que existe entre cada punto de medición y el AP, para ello utiliza la hoja de Excel llamada datospared.xls

Pared2 y Pared4

Estas variables se las utilizan para determinar si la pared se encuentra o no entre el punto de acceso y el punto de medición.

m y n

Estas variables se las utiliza para conocer el número de filas y columnas que tiene la grilla de medición

ndb

Esta variable guarda el valor del coeficiente de atenuación, el mismo que fue calculado usando los valores medidos de intensidad de la

señal en un área dentro del edificio sin obstrucciones. Estos valores se detallan en la tabla 4.1 y el cálculo del factor se lo hizo con el programa para ajuste de curvas Curve Expert los resultados del mismo se muestran en las figuras 4.1 y 4.2

Distancia T-R (m)	Punto	Potencia (dBm)
3	E3	-41.493
6	E4	-48.851
9	E5	-51.986
12	E6	-52.209
15	E7	-55.934
18	E8	-56.344
21	E9	-58.536
24	E10	-58.568
27	E11	-60.478
30	E12	-62.293
33	E13	-63.030
36	E14	-62.702

Tabla 13. Intensidades de señal medidas en el pasillo (línea de vista dentro de un edificio)

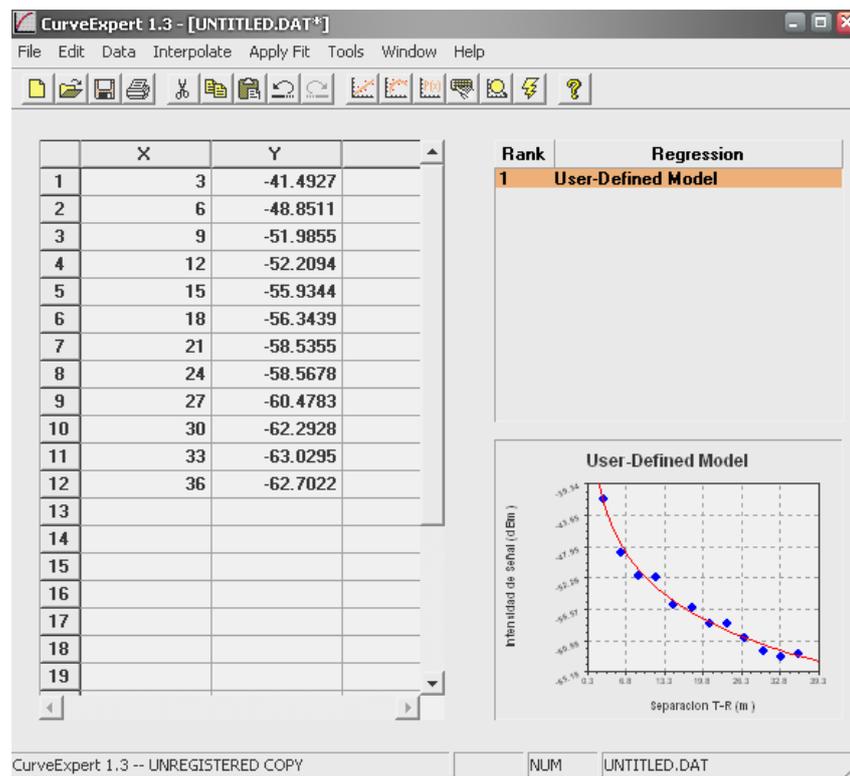


Figura 4.1 Datos ingresados en Curve Expert

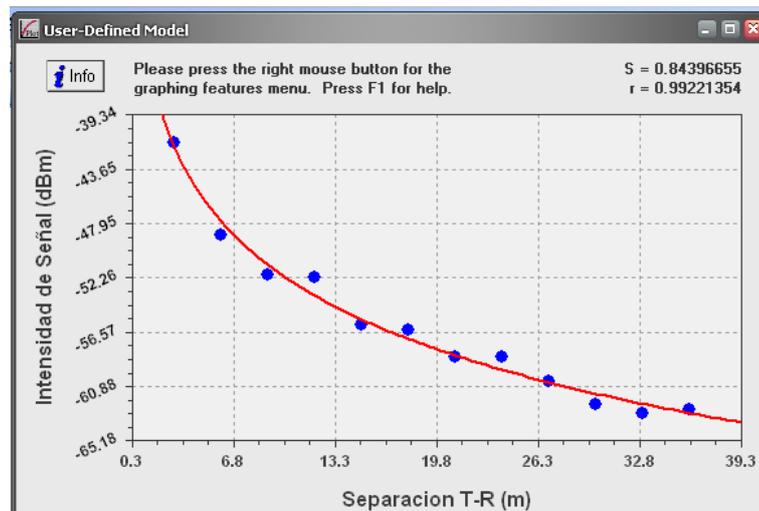


Figura 4.2 Curva ajustada al modelo log distancia

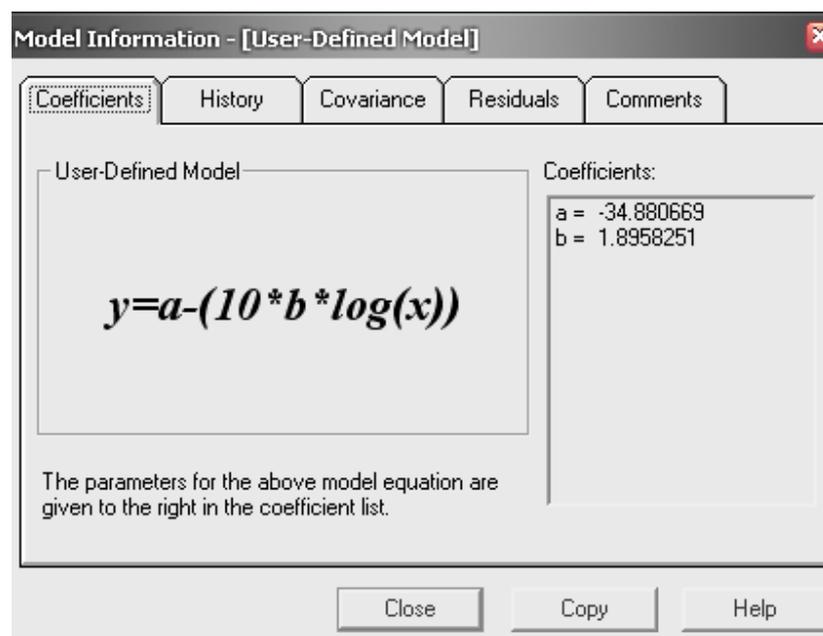


Figura 4.3 Calculo de los parámetros n y $s = P(d_0)$

De la figura 4.3 podemos concluir que el factor de atenuación para el área en estudio $n = 1.9$

s

Esta variable guarda el valor de la potencia referencial a 1 metro. De la figura 4.3 podemos concluir que la potencia referencial a un metro es de -35 dBm lo cual se acerca al valor medido de -34 dBm

waf

Esta variable guarda el valor del Factor por atenuación de paredes. Este factor se lo obtiene luego de hacer un análisis de la potencia recibida antes y después de la pared en las coordenadas de X que van desde A hasta D y las coordenadas de Y que van de 5 a 6. En la tabla a continuación se podrá apreciar lo expresado anteriormente.

PUNTO	SEÑAL ANTES DE LA PARED (dBm)	PUNTO	SEÑAL DESPUES DE LA PARED (dBm)	DIFERENCIA DE LA SEÑAL
5A	-63,394	6A	-71,55	8,156
5B	-65,166	6B	-73,415	8,249
5C	-63,399	6C	-71,381	7,982
5D	-57,625	6D	-66,236	8,611
FACTOR WAF PROMEDIO				8,2495

Tabla 14. Cálculo del Factor WAF

Es por éste motivo que para los cálculos pertinentes se usará un factor de atenuación $WAF=8$.

4.3. Descripción del Funcionamiento

El proceso de simulación consta de dos partes, la primera consiste en la recolección de datos los cuales deben ser grabados en una hoja de cálculo para ello antes de iniciar la simulación deben conocerse los siguientes datos:

- La grilla de medición grabada en una hoja de Excel
- Potencia referencial a 1 metro
- Coeficiente de atenuación n
- Factor de atenuación por paredes WAF

La segunda parte consiste en la simulación propiamente dicha luego de la cual podremos observar gráficamente la potencia de la señal estimada así como grabar la información en una hoja de Excel para futuros cálculos o referencia al momento de documentar la simulación

4.3.1. Ingreso de Datos Iniciales

El programa accede a los datos a través de un libro de cálculo de Excel la cual debemos llamar datos la misma que debe ser grabada en la misma carpeta donde se encuentra el archivo wifiv5. m. El mencionado libro de cálculo debe ser llenado de la siguiente manera:

Hoja 1

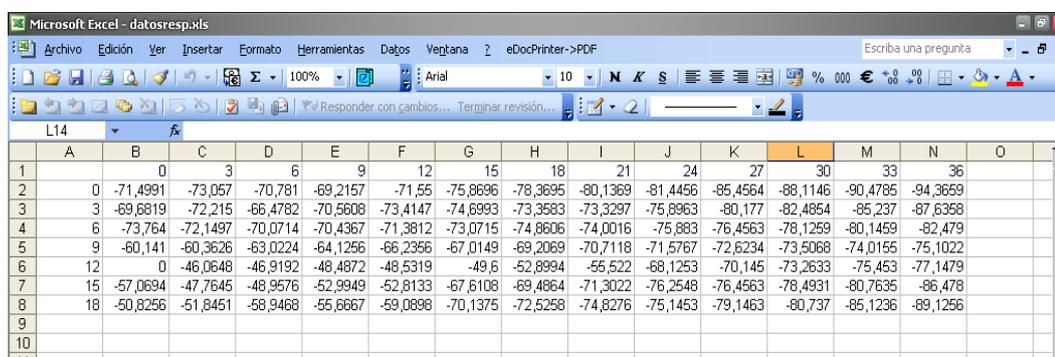
En la primera fila (1) de la hoja de cálculo se deben indicar las distancias horizontales en metros que existen desde el origen hasta el punto de medición

En la primera columna (A) de la hoja de cálculo se deben indicar las distancias verticales en metros que existen desde el origen hasta el punto de medición.

A partir de la segunda fila y columna se deben ingresar los datos obtenidos en el proceso de medición inicial, en caso de que se hayan detectado puntos en los cuales hay vacíos (áreas sin cobertura) a estas se les debe asignar un valor de -150 que es el máximo valor de potencia que se obtiene en lugares donde no existe cobertura.

En la ubicación inicial del punto de acceso se debe colocar un valor igual a cero para indicar que este es una ubicación AP y no un punto de medición.

Un ejemplo de cómo se debe ingresar los datos en este archivo lo podemos ver en la Figura 4.4



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1		0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	
2	0	-71,4991	-73,057	-70,781	-69,2157	-71,55	-75,8696	-78,3695	-80,1369	-81,4456	-85,4564	-88,1146	-90,4795	-94,3659	
3	3	-69,6819	-72,215	-66,4782	-70,5608	-73,4147	-74,6993	-73,3583	-73,3297	-75,8963	-80,177	-82,4854	-85,237	-87,6358	
4	6	-73,764	-72,1497	-70,0714	-70,4367	-71,3812	-73,0715	-74,8606	-74,0016	-75,883	-76,4563	-78,1259	-80,1459	-82,479	
5	9	-60,141	-60,3626	-63,0224	-64,1256	-66,2356	-67,0149	-69,2069	-70,7118	-71,5767	-72,6234	-73,5068	-74,0155	-75,1022	
6	12	0	-46,0648	-46,9192	-48,4872	-48,5319	-49,6	-52,8994	-55,522	-68,1253	-70,145	-73,2633	-75,453	-77,1479	
7	15	-57,0694	-47,7645	-48,9576	-52,9949	-52,8133	-67,6108	-69,4864	-71,3022	-76,2548	-76,4563	-78,4931	-80,7635	-86,478	
8	18	-50,8256	-51,8451	-58,9468	-55,6667	-69,0898	-70,1375	-72,5258	-74,8276	-75,1453	-79,1463	-80,737	-85,1236	-89,1256	
9															
10															
11															
12															
13															
14															

Figura 4.4 Ingreso de datos de la potencia de señal medidas en una hoja de cálculo

Hoja 2

Es una matriz de $m \times m$, donde m =puntos que hay en la grilla de datos ingresados, por ejemplo si tenemos una grilla de medición de $8 \times 4 = 32$ puntos en total entonces debemos crear una matriz de 32×32 llena de ceros tal como se muestra en el gráfico y que debe cumplir las siguientes condiciones:

comprobar que el área de trabajo de Matlab este apuntando a la carpeta donde se encuentra el archivo wifiv6.m luego debemos ingresar los datos del coeficiente de atenuación, la potencia referencial a un metro y el factor de atenuación por paredes.

Como segundo paso indicamos la nueva ubicación del punto de acceso en sus coordenadas (X,Y) y hacemos clic en actualizar . Si se desea agregar paredes se selecciona en el botón agregar y hacer clic sobre el dibujo del área sobre los puntos entre los cuales se ubicar la pared.

Para borrar una pared se deselecciona el botón agregar y se hace clic sobre la pared que se desea quitar.

Si se desea borrar todas las paredes se hace clic en el botón limpiar.

Podemos repetir la simulación cuantas veces sea necesario pero se recomienda grabar todos los resultados para esto hacemos clic en archivo-> guardar e indicamos el nombre del archivo

4.3.3. Resultados de las simulaciones

A continuación mostraremos los resultados de las simulaciones de dos maneras que permite el programa para

luego hacer un análisis de estos resultados y llegar a una conclusión sobre la mejor ubicación del punto de acceso en el área de cobertura.

Dividiremos esta presentación de resultados en dos partes considerando que se han colocado 2 puntos de acceso en el área de cobertura.

Primero se mostrarán las 3 imágenes de los puntos que consideramos presentan mejores condiciones de cobertura y de los cuales se analizarán las hojas e Excel para tomar la decisión sobre cual de ellos es la mejor opción para ubicar el punto de acceso

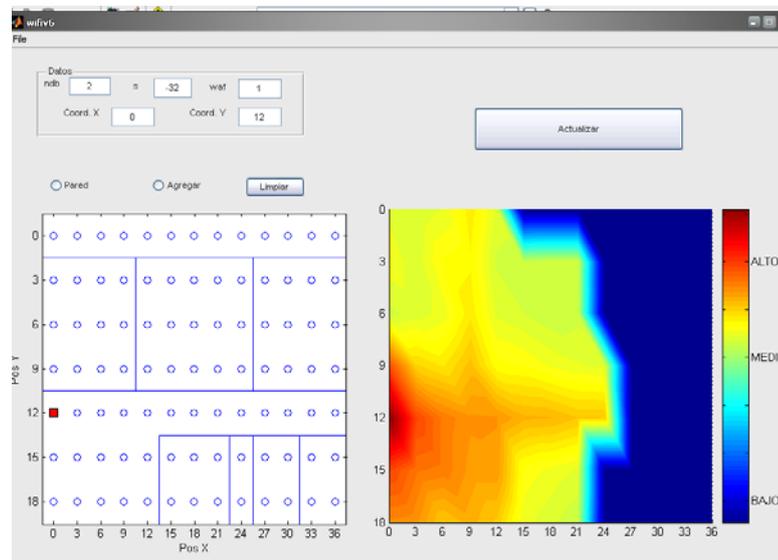


Figura 4.6 Gráfico de propagación con datos iniciales AP ubicado en E2

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
A	-71	-73	-71	-63	-72	-76	-78	-80	-81	-150	-150	-150	-150
B	-70	-72	-66	-65	-73	-75	-73	-73	-76	-150	-150	-150	-150
C	-74	-72	-70	-63	-71	-73	-75	-74	-76	-150	-150	-150	-150
D	-60	-60	-63	-58	-66	-67	-69	-71	-72	-150	-150	-150	-150
E	0	-41	-49	-52	-52	-56	-56	-59	-59	-150	-150	-150	-150
F	-57	-48	-49	-53	-53	-68	-69	-71	-76	-150	-150	-150	-150
G	-51	-52	-59	-56	-59	-70	-73	-75	-75	-150	-150	-150	-150

Tabla 15. Datos iniciales ingresados al programa

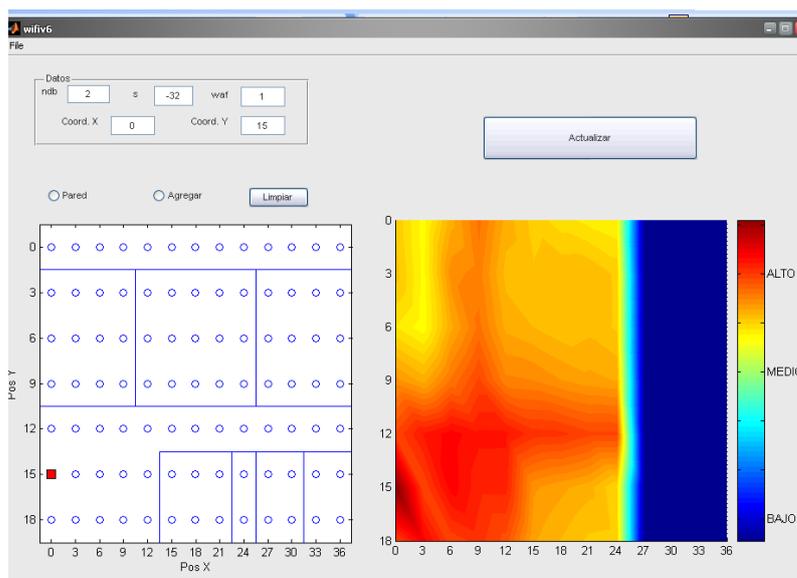


Figura. 4.7 Gráfico de propagación con AP ubicado en F2

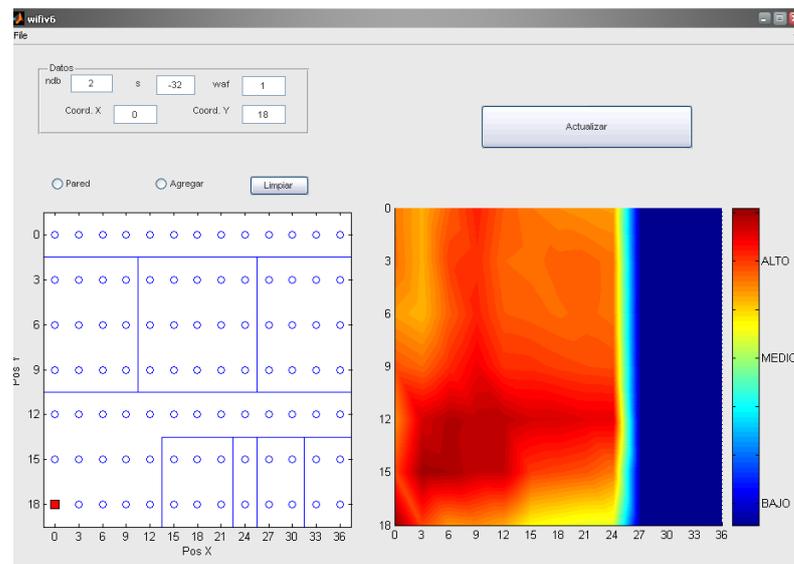


Figura. 4.8 Gráfico de propagación con AP ubicado en G2

Una vez concluida la presentación de los resultados para el primer AP, se procederá a mostrar los resultados obtenidos con el segundo AP:

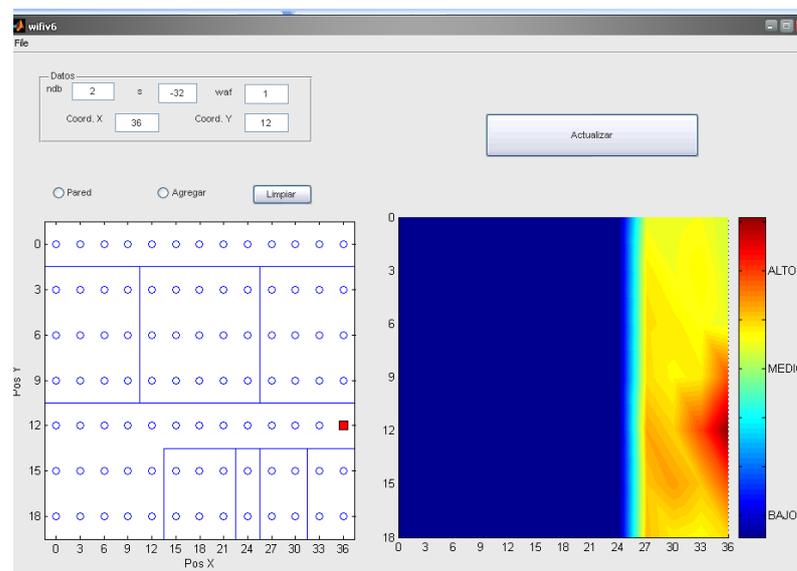


Figura 4.9 Gráfico de propagación del segundo AP ubicado en E14

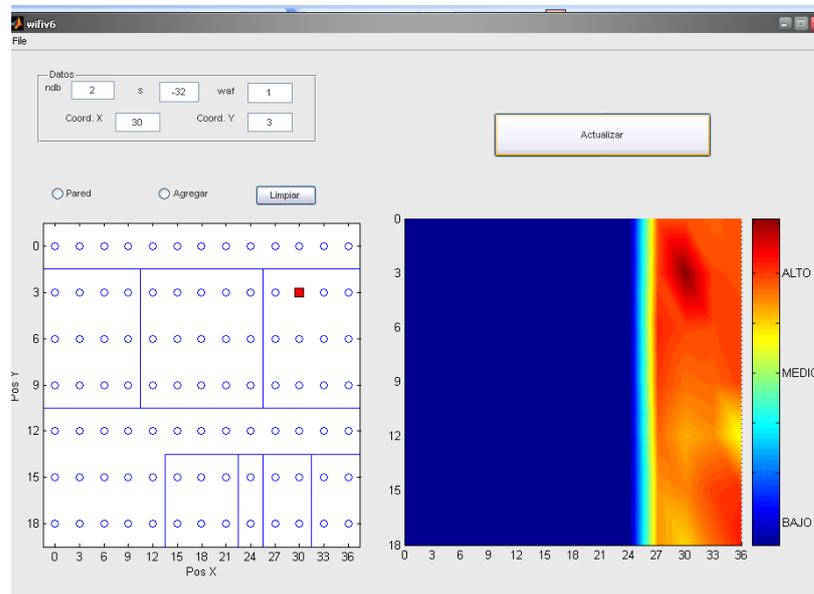


Figura. 4.10 Gráfico de propagación del segundo AP ubicado en B12

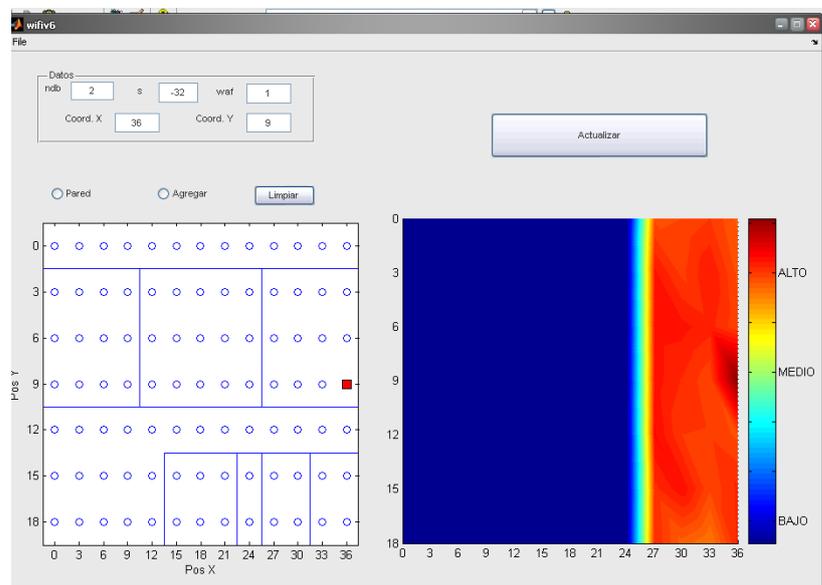


Figura. 4.11 Gráfico de propagación del segundo AP ubicado en D14

	11	12	13	14
A	-70	-70	-69	-74
B	-63	-69	-65	-73
C	-62	-63	-68	-71
D	-62	-66	-64	-68
E	-54	-60	-58	0
F	-59	-53	-59	-59
G	-58	-64	-67	-62

Tabla 16. Datos iniciales ingresados al programa para el segundo AP ubicado en E14

4.3.4. Análisis de Resultados

A partir de los resultados obtenidos gráficamente se puede concluir que la mejor ubicación para el punto de acceso esta entre los puntos: F2, G2; sin embargo para poder tomar una decisión definitiva se debe evaluar las hojas de cálculo que se encuentra en el libro datos.xls; considerando como mejor ubicación aquella que tenga mayor intensidad de señal en la periferia del área a cubrir. Estos datos se muestran a continuación en las siguientes tablas:

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
A	-48	-55	-44	-36	-44	-48	-50	-52	-53	-150	-150	-150	-150
B	-47	-55	-40	-38	-46	-47	-45	-45	-47	-150	-150	-150	-150
C	-53	-56	-45	-37	-44	-45	-46	-45	-47	-150	-150	-150	-150
D	-43	-46	-38	-31	-38	-39	-41	-42	-43	-150	-150	-150	-150
E	-51	-27	-22	-24	-24	-27	-27	-29	-29	-150	-150	-150	-150
F	-42	-20	-21	-25	-25	-40	-42	-44	-48	-150	-150	-150	-150
G	0	-42	-53	-51	-55	-66	-69	-71	-72	-150	-150	-150	-150

Tabla 17. Resultados de la simulación con el AP en el punto G2

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
A	-59	-66	-55	-47	-55	-59	-62	-63	-65	-150	-150	-150	-150
B	-58	-66	-51	-49	-57	-58	-57	-57	-59	-150	-150	-150	-150
C	-63	-66	-55	-48	-55	-57	-58	-57	-59	-150	-150	-150	-150
D	-52	-55	-48	-42	-50	-50	-52	-54	-55	-150	-150	-150	-150
E	-42	-35	-33	-35	-35	-39	-39	-41	-41	-150	-150	-150	-150
F	0	-42	-32	-37	-37	-52	-54	-56	-61	-150	-150	-150	-150
G	-42	-32	-41	-39	-43	-54	-57	-59	-59	-150	-150	-150	-150

Tabla 18. Resultados de la simulación con el AP en el punto F2

Se puede ver que la mejor ubicación es el punto G2. La razón por la cual se escogió este punto fue porque no solo brinda una mayor cobertura si no también porque se encuentra más próximo al pilar base de la construcción, esto facilitaría la ubicación de la antena así como el traslado del cable Ethernet desde el backbone hasta el punto de acceso. En este caso el criterio para seleccionar la mejor ubicación ha sido el de maximizar el área de cobertura, sin embargo podría darse el caso de requerir mayor cobertura en un área específica, por ejemplo, aquellas con mayor densidad de usuarios; pero esta decisión también puede tomarse

basándose en los resultados visuales y luego respaldarlos con el análisis realizado en base a las hojas de calculo.

Ahora analizaremos las tablas de resultados de las ubicaciones sugeridas para el segundo AP las cuales se muestran a continuación:

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
A	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-43	-43	-45	-42
B	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-42	0	-42	-42
C	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-37	-42	-42	-41
D	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-40	-47	-46	-40
E	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-46	-55	-51	-69
F	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-52	-50	-40	-38
G	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-52	-61	-46	-36

Tabla 19. Resultados de la simulación con el AP en el punto B12

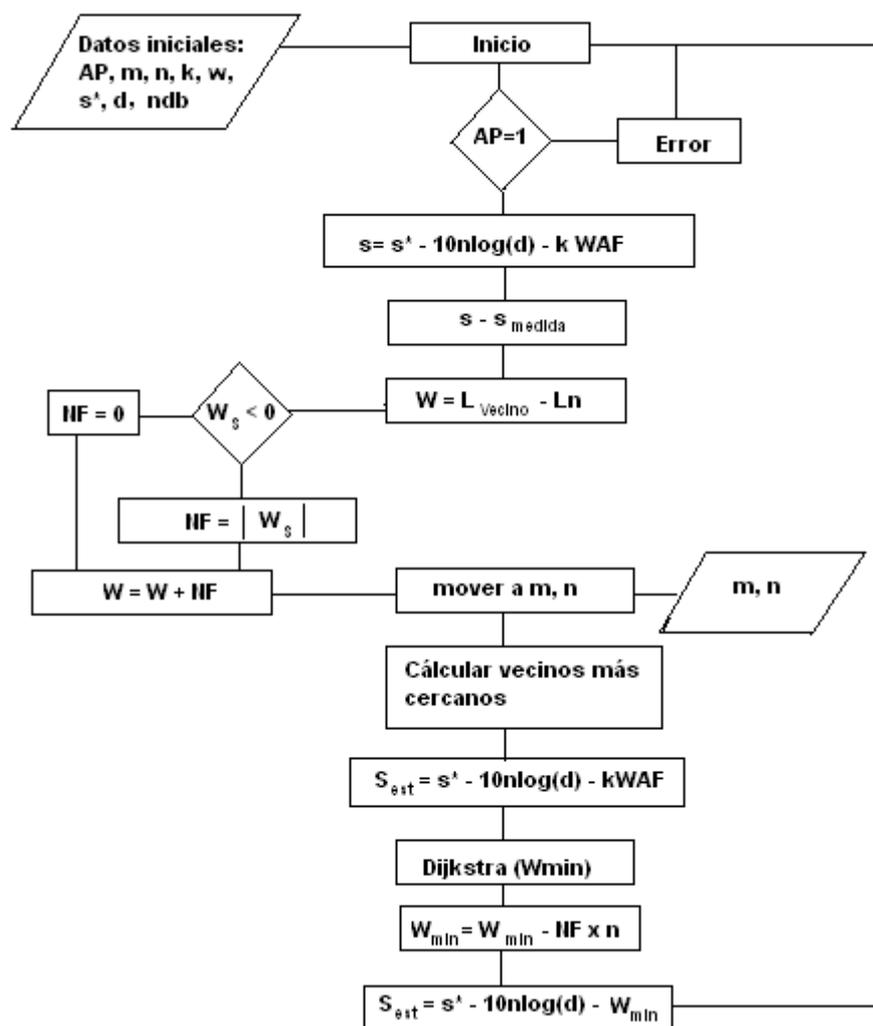
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
A	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-42	-42	-40	-45
B	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-35	-40	-36	-43
C	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-34	-35	-37	-42
D	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-35	-38	-42	0
E	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-33	-40	-40	-43
F	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-38	-34	-42	-37
G	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-38	-45	-48	-37

Tabla 20. Resultados de la simulación con el AP en el punto D14

Del análisis de las tablas 4.7 y 4.8 concluimos que la mejor ubicación para el segundo AP es el punto D14 pues nos

brinda una mayor cobertura y con mayor intensidad de señal en los puntos marginales o mas distantes al AP.

4.4. Código Fuente



```

function varargout = wifiv5(varargin)
% WIFIV5 M-file for wifiv5.fig
%     WIFIV5, by itself, creates a new WIFIV5 or raises the
%     existing
%     singleton*.
%
%     H = WIFIV5 returns the handle to a new WIFIV5 or the
%     handle to
%     the existing singleton*.
%
%     WIFIV5('CALLBACK', hObject,eventData,handles,...) calls
%     the local
%     function named CALLBACK in WIFIV5.M with the given
%     input arguments.
%
%     WIFIV5('Property','Value',...) creates a new WIFIV5 or
%     raises the
%     existing singleton*. Starting from the left, property
%     value pairs are
%     applied to the GUI before wifiv5_OpeningFunction gets
%     called. An
%     unrecognized property name or invalid value makes
%     property application
%     stop. All inputs are passed to wifiv5_OpeningFcn via
%     varargin.
%
%     *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI
%     allows only one
%     instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Copyright 2002-2003 The MathWorks, Inc.

% Edit the above text to modify the response to help wifiv5

% Last Modified by GUIDE v2.5 28-Mar-2006 23:37:04

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @wifiv5_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @wifiv5_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout

```

```

        [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State,
varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before wifiv5 is made visible.
function wifiv5_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
varargin)
%variables globales
global datos;
global pared;
global pared2;
global pared4;
global m;
global n;
global dx;
global dy;
global pos;
global dp;
global dd;
global sepx;
global sepy;
global op;
%seteamos un handle para el mouse
set(hObject, 'WindowButtonDownFcn',{@seleccionar,hObject,handles})
op=0;
pos=1;
%abrimos los archivos
mat=xlsread('datos.xls');
pared=xlsread('datospared.xls');
pared2=pared;
pared4=pared;
%definimos la funcion a evaluar
m=length(mat(:,1))-1;
n=length(mat(1,:))-1;

%convertimos los datos de la matriz a un vector
for j=1:m
    for i=1:n
        datos((j-1)*(n)+i,1)=mat(1,i+1);
        datos((j-1)*(n)+i,2)=mat(j+1,1);
        datos((j-1)*(n)+i,3)=mat(j+1,i+1);
    end
end
sepx=datos(2,1)-datos(1,1);
sepy=datos(n+1,2)-datos(1,2);

dp(:,1)=datos(:,1)/sepx;
dp(:,2)=datos(:,2)/sepy;

```

```

    %convertimos en matriz
for i=1:m
    for j=1:n
        dd(i,j)=mat(i+1,j+1);
        dx(i,j)=datos((i-1)*n+j,1)/sepx;
        dy(i,j)=datos((i-1)*n+j,2)/sepy;
    end
end

% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)
% varargin   command line arguments to wifiv5 (see VARARGIN)

% Choose default command line output for wifiv5
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% This sets up the initial plot - only do when we are
invisible
% so window can get raised using wifiv5.
if strcmp(get(hObject, 'Visible'), 'off')
    axes(handles.axes6);
    cla;
    plot(dp(:,1),dp(:,2), 'o');
    axis ij
    hold on

    %
    %     for i=1:m
    %         for j=1:n
    %             text(j-1,i-1,[' ' num2str(dd(i,j))]);
    %
    %     end
    %
    %     end

for i=1:m
    for j=1:n
        %dibujamos paredes
        if(j<n)
            if(pared((i-1)*n+j+1,(i-1)*n+j+2)==1)
                plot([j-0.5;j-0.5],[i-1.5;i-0.5]);
            end
        end
        if(i<m)
            if(pared((i-1)*n+j+1,(i)*n+j+1)==1)
                plot([j-1.5;j-0.5],[i-0.5;i-0.5]);
            end
        end
    end
end

```

```

        end
    end

    aux=dx(1,length(dx(1,:)))+0.5;
    axis([-0.5 aux -0.5 dy(length(dy(:,1)))+0.5])
    axis off;
    hold off
end

% UIWAIT makes wifiv5 wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command
line.
function varargout = wifiv5_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)
% varargout    cell array for returning output args (see
VARARGOUT);
% hObject     handle to figure
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject     handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see
GUIDATA)
axes(handles.axes1);

cla;

global ndb;
global s;
global waf;
global x;
global y;
global dx;
global dy;
global f2;
global f3;
global dp;
global m;
global n;
global pared;

```

```

global sepx;
global sepy;

[f2,enc]=propagax_excel2(ndb,s,waf,x,y);
if(enc==0)
    return;
end
f3=f2
f2(y/sepx + 1 , x/ sepy+ 1)=s+15;
m1=length(dx(1,:));
n1=length(dy(:,1));
auxy=dy(n1,1)-dy(n1-1,1);
auxx=dx(1,m1)-dx(1,m1-1);
dx2=dx;
dy2=dy;
for(i=1:m1)
    cy(1,i)=-150;
    dy2(n1+1,i)=dy(n1,i)+auxy;
end
for(i=1:n1)
    cx(i,1)=-150;
    dx2(i,m1+1)=dx(i,m1)+auxx;
end
cx(n1+1,1)=-150;
c=[f2; cy];
c=[c, cx];

[C,h]=contourf(dx2(1,:),dy2(:,1),c,25);
colormap('default');
text_handle = clabel(C,h);
%set(h,'ShowText','on','TextStep',get(h,'LevelStep')*2);
set(text_handle,'BackgroundColor',[1 1 .6],'Edgecolor',[.7 .7
.7]);
axis([dx(1,1) dx(1,m1) dy(1,1) dy(n1,1)]);
view([0,0,-180]);
axes(handles.axes5);

cla;

fg=surf(c);
axis off;
xlim([dx(1,1)+1 dx(1,m1)+1]);
ylim([dy(1,1)+1 dy(n1,1)+1]);
set(fg,'EdgeColor','interp','FaceColor','interp');
colorbar('YTickLabel', {'BAJO', '', '', 'MEDIO', '', 'ALTO', ''});

view([0,0,-90]);

axes(handles.axes6);
cla;
plot(dp(:,1),dp(:,2),'o');

```

```

axis ij
hold on
plot( x/ sepy,
y/sepX,'rs','MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','r','Marke
rSize',10)
% for i=1:m
%     for j=1:n
%         if(f2(i,j)==0)
%             aux='AP';
%         else
%             if(f2(i,j)<-75)
%                 aux='NC';
%             else
%                 aux=num2str(f2(i,j));
%             end
%         end
%         text(j-1,i-1,[' ' aux]);
%     end
% end

for i=1:m
    for j=1:n
        %dibujamos paredes
        if(j<n)
            if(pared((i-1)*n+j+1,(i-1)*n+j+2)==1)
                plot([j-0.5;j-0.5],[i-1.5;i-0.5]);
            end
        end
        if(i<m)
            if(pared((i-1)*n+j+1,(i)*n+j+1)==1)
                plot([j-1.5;j-0.5],[i-0.5;i-0.5]);
            end
        end
    end
end

aux=dx(1,length(dx(1,:)))+0.5;
axis([-0.5 aux -0.5 dy(length(dy(:,1)))+0.5])
set(gca,'XTickLabel',{' '},'YTickLabel',{' '})

hold off

% -----
function FileMenu_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject     handle to FileMenu (see GCBO)
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see
GUIDATA)

```

```

% -----
-----
function OpenMenuItem_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to OpenMenuItem (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)
file = uigetfile('*.xls');
if ~isequal(file, 0)
    global datos;
    global pared;
    global m;
    global n;
    global dx;
    global dy;
    global pos;
    pos=2;
    mat=xlsread(file,2);
    pared=xlsread(file,3);
    %definimos la funcion a evaluar
    m=length(mat(:,1))-1;
    n=length(mat(1,:))-1;

    %convertimos los datos de la matriz a un vector
    for j=1:m
        for i=1:n
            datos((j-1)*(n)+i,1)=mat(1,i+1);
            datos((j-1)*(n)+i,2)=mat(j+1,1);
            datos((j-1)*(n)+i,3)=mat(j+1,i+1);
        end
    end

    %convertimos en matriz
    for i=1:m
        for j=1:n
            dx(i,j)=datos((i-1)*n+j,1);
            dy(i,j)=datos((i-1)*n+j,2);
        end
    end
end

% -----
-----
function PrintMenuItem_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to PrintMenuItem (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)
printdlg(handles.figure1)

```

```

% -----
-----
function CloseMenuItem_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to CloseMenuItem (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)
selection = questdlg(['Close ' get(handles.figure1, 'Name')
'?'], ...
                    ['Close ' get(handles.figure1, 'Name')
'...' ], ...
                    'Yes', 'No', 'Yes');
if strcmp(selection, 'No')
    return;
end

delete(handles.figure1)

function [f, encontro]=propagax_excel2(ndb,s,waf,nuevox,nuevoy)
% los datos se leen de excel

global datos;
global pared;
global m;
global n;
global dd;

%definimos la funcion a evaluar
path_loss='s-10*ndb*log10(d)-at_par*waf';

f(m,n)=0;
xl=length(datos(:,1));
i=0;
ap=0;
%buscamos la ubicacion del punto de acceso
while(i~=xl && ap==0)
    i=i+1;
    if(datos(i,3)==0)
        ap=1;
    end
end

%si no hay punto de acceso regresamos
if(ap==0)
    fprintf('No se encontro el punto de acceso original');
    return;
end

```

```

if(s>0)
    s = -s;
end

%calculamos los valores de potencia
for k=1:x1
    if(i==k)
        y2(k)=0;
    else
        d=((datos(k,1)-datos(i,1))^2+(datos(k,2)-
datos(i,2))^2)^0.5;
        at_par=pared(i+1,k+1);
        y2(k)=eval(path_loss);
    end
end

%calculamos los valores de perdida
max=0;
maxn=0;
for k=1:x1
    if(i==k)
        ldb(k)=0;
    else
        ldb(k)=y2(k)-datos(k,3);
        maxn=maxn+1;
        max=max+abs(ldb(k));
    end
end

max=max/maxn
%calculamos la menor distancia de cada uno
for k=1:m*n
    mind(k)=inf;
    for l=1:m*n
        d=((datos(l,1)-datos(k,1))^2+(datos(l,2)-
datos(k,2))^2)^0.5;
        if(mind(k)>d && k~=l)
            mind(k)=d;
        end
    end
end

%calculamos los vecinos mas cercanos
for k=1:m*n
    for l=k:m*n
        d=((datos(l,1)-datos(k,1))^2+(datos(l,2)-
datos(k,2))^2)^0.5;
        if(d==mind(k) || l==k)
            adj(k,l)=1;
        else
            adj(k,l)=0;
        end
    end
end

```

```

        end
        adj(1,k)=adj(k,1);
    end
end

%calculamos los pesos
l=1;
min=inf;
while(l<=xl)
    for k=1:m*n
        if(adj(1,k)==1)
            if(y2(k)<y2(1))
                w(1,k)=ldb(k)-ldb(1);
            else
                w(1,k)=ldb(1)-ldb(k);
            end

            else
                w(1,k)=inf;
            end
            if(w(1,k)<min)
                min=w(1,k);
            end

            w(k,1)=w(1,k);
        end
        l=l+1;
    end

    if(min>0)
        min=0;
    end
    min=abs(min);

%normalizamos
for k=1:m*n
    for l=1:m*n
        if(l~=k)
            w(1,k)=w(1,k)+min;
        end
    end
end

j=0;

%buscamos la coordenada del punto nuevo

nuevo(1,1) = nuevox;
nuevo(1,2) = nuevoy;

encontro=0;
for k=1:xl

```

```

        if(datos(k,1)==nuevo(1,1) && datos(k,2)==nuevo(1,2))
            j=k;
            encontro=1;
            break;
        end
    end

    if(encontro==0)
        nuevo(1,1)=0;
        nuevo(1,2)=0;
    end

    %calculamos la nueva posicion
    for k=1:xl
        d=((datos(k,1)-nuevo(1,1))^2+(datos(k,2)-
nuevo(1,2))^2)^0.5;
        if(d==0)
            y(k)=0;
            i=k;
        else
            at_par=pared(k+1,j+1);
            y(k)=eval(path_loss);
        end
    end

    %aplicamos dijkstra
    wmin=w(i,:);
    usados=zeros(1,xl);
    usados(1,i)=1;
    saltos=ones(1,xl);
    saltos(1,i)=0;
    while(isequal(usados,ones(1,xl))~=1)
        p=0;
        pmin=inf;
        for k=1:xl
            if(pmin>wmin(k) && k~=i && usados(1,k)==0)
                pmin=wmin(k);
                p=k;
            end
        end

        if(p==0)
            break;
        end
        usados(1,p)=1;
        for(l=1:xl)
            if((w(p,l)+wmin(p))<wmin(l))
                wmin(l)=wmin(p)+w(p,l);
                saltos(l)=saltos(p)+1;
            end
        end
    end
end
% ldb

```

```

% wmin
% saltos
% min
%desnormalizamos y calculamos
for k=1:xl
    if(adj(k,i)~=1)
        y(k)=y(k)-wmin(k)+saltos(k)*min;
    end
end
y(i)=0;
%convertimos en matriz
max=0;

for i=1:m
    for j=1:n
        if(abs(y((i-1)*n+j)-dd(i,j))~=0)
            max=max+1/abs(y((i-1)*n+j)-dd(i,j));
        end
        if(y((i-1)*n+j)>-75)
            f(i,j)=y((i-1)*n+j);
        else
            f(i,j)=-150;
        end
    end
end
max=1/max;

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit1 as
text
%          str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit1 as a double
global ndb;
ndb=str2double(get(hObject,'String'));

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB

```

```

% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
global ndb;
ndb=2;
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit2 as
text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit2 as a double
global s;
s=str2double(get(hObject,'String'));

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
global s;
s=-32;

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit3 as
text
%          str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit3 as a double
global waf;
waf=str2double(get(hObject,'String'));

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%          See ISPC and COMPUTER.
global waf;
waf=1;
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit4 as
text
%          str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit4 as a double

```

```

global x;
x=str2double(get(hObject,'String'));

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
global x;
x=0;
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit5 as
text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit5 as a double
global y;
y=str2double(get(hObject,'String'));

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
global y;
y=0;

```

```

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function axes1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to axes1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: place code in OpeningFcn to populate axes1

% --- Executes on mouse press over axes background.
function axes1_ButtonDownFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to axes1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% -----
-----
function SaveMenuItem_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to SaveMenuItem (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)

global f3;

```

```

global pos;
a=['Dato' int2str(pos)];
xlswrite('datos2.xls',f3,a,'B2');
pos=pos+1;%length(f2(:,1))+1;

% --- Executes on button press in checkbox1.
function checkbox1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox1
if(get(hObject,'Value')==1)
    rotate3d(handles.axes5,'on');
else
    rotate3d(handles.axes5,'off');
end

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function axes6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to axes6 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: place code in OpeningFcn to populate axes6

%funcion para ingresar las paredes
function seleccionar(src,event,hObject,handles)
global pared2;
global pared4;
global m;
global n;
global ing;
global dp;
global dd;
global op;
if(ing==0)
    return;
end
p=get(hObject,'currentpoint');
pa=get(handles.axes6,'position');
if(p(1)>pa(1) && p(2)>pa(2) && p(1)<pa(1)+pa(3) &&
p(2)<pa(2)+pa(4))
    auxx=get(handles.axes6,'Xlim');
    dx3=(auxx(2)-auxx(1))/pa(3);

```

```

auxy=get(handles.axes6,'Ylim');
dy3=(auxy(2)-auxy(1))/pa(4);
auxw=p(1)-pa(1);
auxl=pa(2)+pa(4)-p(2);
p(1)=auxx(1)+dx3*auxw;
p(2)=auxy(1)+dy3*auxl;
sepx=round(p(1))-p(1);
sepy=round(p(2))-p(2);
if(sepx>=sepy)
    p1(1)=floor(p(1));
    p1(2)=ceil(p(1));
    x3=p1(1)+1+n*round(p(2));
    y3=p1(1)+2+n*round(p(2));
    pared2(1+x3,1+y3)=op;
    pared2(1+y3,1+x3)=op;
    pared4(1+x3,1+y3)=op;
    pared4(1+y3,1+x3)=op;
else
    p1(1)=floor(p(2));
    p1(2)=ceil(p(2));
    x3=p1(1)*n+1+round(p(1));
    y3=(p1(1)+1)*n+1+round(p(1));
    pared2(1+x3,1+y3)=op;
    pared2(1+y3,1+x3)=op;
    pared4(1+x3,1+y3)=op;
    pared4(1+y3,1+x3)=op;
end
%pared
axes(handles.axes6);
hold on
cla;
plot(dp(:,1),dp(:,2),'o');
%
%
%   for i=1:m
%       for j=1:n
%           text(j-1,i-1,[' ' num2str(dd(i,j))]);
%       end
%   end
%
for i=1:m
    for j=1:n
        %dibujamos paredes
        if(j<n)
            if(pared2((i-1)*n+j+1,(i-1)*n+j+2)==1)
                plot([j-0.5;j-0.5],[i-1.5;i-0.5]);
            end
        end
        if(i<m)
            if(pared2((i-1)*n+j+1,(i)*n+j+1)==1)
                plot([j-1.5;j-0.5],[i-0.5;i-0.5]);
            end
        end
    end
end
end

```

```

end

hold off
end

% --- Executes on button press in radiobutton2.
function radiobutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to radiobutton2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of
radiobutton2

global ing;
global pared4;
global pared;
global m;
global n;
ing=get(hObject, 'Value');

if(ing==0)
    pared3=pared4;
    xl=m*n;
    for i=1:xl
        usados=zeros(1,xl);
        usados(1,i)=1;
        saltos=ones(1,xl);
        saltos(1,i)=0;
        while(isequal(usados,ones(1,xl))~=1)
            p=0;
            pmin=inf;
            %buscamos el mas cercano para agregarlo a la pila
            for k=1:xl
                if(pmin>pared3(i+1,k+1) && k~=i &&
usados(1,k)==0)
                    pmin=pared3(i+1,k+1);
                    p=k;
                end
            end
            %si es p=0, ya se acabo
            if(p==0)
                break;
            end
            usados(1,p)=1;
            %calculamos las nuevas distancias con estos puntos

```

```

        for(l=1:xl)

if((pared4(p+1,l+1)+pared3(i+1,p+1))<pared3(i+1,l+1))
pared3(i+1,l+1)=pared4(p+1,l+1)+pared3(i+1,p+1);
        end
        end
        end
    end
    pared=pared3;
    xlswrite('datospared.xls',pared);

end

% --- Executes on button press in pushbutton5.
function pushbutton5_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)

global pared4;
global m;
global n;
global pared;
global pared2;
pared2=pared;
pared4=pared;
lm=length(pared4(:,1));
for ia=1:m
    for ja=1:n
        for ib=1:m
            for jb=1:n
                x=(ia-1)*n+ja;
                y=(ib-1)*n+jb;

                if((abs(ia-ib)<2 && ja==jb)|| (abs(ja-jb)<2 &&
ia==ib))
                    pared4(x+1,y+1)=0;
                else
                    pared4(x+1,y+1)=inf;
                end
                pared4(y+1,x+1)=pared4(x+1,y+1);
            end
        end
    end
end
end
end
end
end

```

```

for(i=2:lm)
    for j=2:lm
        pared2(i,j)=0;
    end
end

global dp;
global dd;

axes(handles.axes6);
hold on
cla;
plot(dp(:,1),dp(:,2),'o');

for i=1:m
    for j=1:n
        %dibujamos paredes
        if(j<n)
            if(pared2((i-1)*n+j+1,(i-1)*n+j+2)==1)
                plot([j-0.5;j-0.5],[i-1.5;i-0.5]);
            end
        end
        if(i<m)
            if(pared2((i-1)*n+j+1,(i)*n+j+1)==1)
                plot([j-1.5;j-0.5],[i-0.5;i-0.5]);
            end
        end
    end
end
hold off

% --- Executes on button press in radiobutton3.
function radiobutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to radiobutton3 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of
radiobutton3

global op;
op=get(hObject,'Value');

```

CAPITULO 5

5. ANÁLISIS DE RENDIMIENTO

5.1. Introducción

En este capítulo se tratará de comprobar mediante el análisis de cobertura la validez del modelo propuesto en ésta tesis, para este propósito tomaremos mediciones en el área de cobertura utilizando la metodología de toma de datos que se expone a continuación aplicando los métodos de implementación vistos en el capítulo 3.

5.2. Metodología para la toma de datos

Los datos de la red inalámbrica serán recolectados usando una combinación de hardware y software compuesto por:

Net Stumbler 0.4.0.- Este programa es un escáner de redes inalámbricas y fue seleccionado porque es fácil de instalar y de usar, el programa corre sobre plataforma Windows, además este programa mantiene una privacidad razonable en cuanto:

- Los Puntos de Acceso son detectados sólo si ellos públicamente reenvían su SSID, o si la tarjeta del cliente está configurada para buscar específicamente ese SSID
- El software no hace ningún intento por acceder sin autorización a la red
- El tráfico de otras redes no es interceptado o analizado de ninguna manera

Hardware.- Para las mediciones en cada punto se utilizó una computadora portátil Compaq Armada 1575 con procesador Pentium MMX con el sistema operativo Microsoft Windows 2000 y el programa NetStumbler 0.4.0 para la recolección de datos.

La potencia de la señal inalámbrica recibida fue recolectada con un adaptador inalámbrico USB D-Link DWL-122 USB conectado al Puerto USB de la computadora portátil, también se utilizó un Punto de Acceso Inalámbrico Dlink DWL-700AP y para mover el mismo dentro del área de cobertura se utilizó un carrito de pruebas con

mástil, en el cual se ha instalado una antena direccional de 45° Hyperlink RE14P-NF conectada al AP a través de un cable de extensión ANT24-ODU03M de 30 cm. El anexo técnico muestra más detalles sobre los equipos utilizados y la figura 5.1 muestra una vista más cercana de la antena, el computador portátil y el carro de pruebas.



Figura 5.1 Configuración del carro de pruebas
Carro de pruebas B) Vista cercana de la laptop con NetStumbler C) Vista cercana de la antena

Tiempo de toma de datos.- Luego de experimentar por algunas ocasiones se percató que después de 10 minutos de la toma de

datos ya no se observaban alteraciones en los datos que puedan dar una intensidad que no refleje la realidad del medio. Por otro lado para descartar que algún dato aberrante afecte el resultado final se deben tomar al menos 1000 mediciones y esto se da aproximadamente a los 10 minutos por lo tanto se decide que este sea el tiempo promedio que se tomaran los datos.

5.3. Métodos de Implementación

5.3.1. Método de implementación del Usuario

5.3.1.1. Criterio para la Ubicación de los AP's.

El criterio para la ubicación de los AP's en este modelo se basa en mecanismos de prueba y error. Consiste en ubicar el AP en una localidad arbitraria (por lo general cerca del punto de acceso a la red) y a medida que la red va creciendo nuevos APs son agregados a continuación del último punto en que se obtuvo acceso a la red inalámbrica o

simplemente considerando el criterio del usuario que implementó la red.

Es común también cambiar la ubicación del AP hacia una nueva localidad con la finalidad de permitir el acceso a un nuevo usuario ubicado en la periferia del área de cobertura, múltiples reubicaciones pueden ser necesarias hasta obtener una calidad de enlace aceptable.

5.3.1.2. Ubicación de los AP's en el Área de Servicio.

De acuerdo a lo visto en el numeral anterior ubicaremos el primer AP en el punto con coordenadas ($X= A$, $Y =4$), este punto fue escogido por su cercanía al punto de acceso a la red y a la toma de energía eléctrica.

Luego se realizaron mediciones en los alrededores del AP con la finalidad de determinar el punto más lejano al AP que se encuentre dentro del área de cobertura, los resultados se muestran a continuación en la siguiente tabla.

No	PUNTO	% SEÑAL
1	2A	50
2	2B	50
3	2C	70
4	2D	80
5	2E	80
6	2F	80
7	2G	80
8	3A	50
9	3B	80
10	3C	100
11	3D	100
12	3E	90
13	3F	90
14	3G	90
15	4A	0
16	4B	100
17	4C	100
18	4D	100
19	4E	90
20	4F	90
21	4G	90
22	5A	50
23	5B	80
24	5C	100
25	5D	100
26	5E	100
27	5F	90
28	5G	90
29	6A	45
30	6B	50
31	6C	80
32	6D	90
33	6E	80
34	6F	80
35	6G	70
36	7A	40
37	7B	40
38	7C	45
39	7D	70
40	7E	70
41	7F	70
42	7G	70
43	8A	40
44	8B	40
45	8C	40
46	8D	45

47	8E	70
48	8F	70
49	8G	70
50	9A	30
51	9B	30
52	9C	40
53	9D	40
54	9E	50
55	9F	70
56	9G	70
57	10A	30
58	10B	30
59	10C	30
60	10D	30
61	10E	40
62	10F	50
63	10G	65
64	11A	30
65	11B	30
66	11C	30
67	11D	30
68	11E	40
69	11F	40
70	11G	50
71	12A	30
72	12B	30
73	12C	30
74	12D	30
75	12E	30
76	12F	40
77	12G	50
78	13A	20
79	13B	20
80	13C	20
81	13D	20
82	13E	20
83	13F	30
84	13G	30
85	14A	20
86	14B	20
87	14C	20
88	14D	20
89	14E	20
90	14F	20
91	14G	30

Tabla 21. Mediciones tomadas en el área de estudio, con el AP ubicado en A4

De éstos resultados se escoge el punto ($X=H$, $Y=9$) y ($X=A$, $Y=12$) por encontrarse lo más alejado posible del AP 1, pero por facilidad en la ubicación del AP2 y por estar cerca de la toma de energía, se lo colocará en un pilar ubicado entre ($X=G$ y $X=H$) y entre ($Y=9$ y $Y=10$) y al AP3 se lo colocará en otro pilar ubicado en ($X=A$ y entre $Y=11$ y $Y=12$) para cubrir toda el área requerida.

5.3.1.3. Asignación de Canales

Los canales son asignados en forma estática, se eligen los canales 5, 7 y 9 por ser los que se encuentran disponibles.

5.3.1.4. Tabulación de los Resultados

Luego de ubicar los AP en los puntos indicados anteriormente, se procede a medir el porcentaje de la señal recibida en los puntos indicados a continuación en la siguiente tabla.

No	PUNTO	% SEÑAL
1	2A	50
2	2B	50
3	2C	70
4	2D	80
5	2E	80
6	2F	80
7	2G	80
8	3A	80
9	3B	100
10	3C	100
11	3D	100
12	3E	90
13	3F	90
14	3G	90
15	4A	0
16	4B	100
17	4C	100
18	4D	100
19	4E	90
20	4F	90
21	4G	90
22	5A	100
23	5B	100
24	5C	100
25	5D	100
26	5E	100
27	5F	90
28	5G	90
29	6A	90
30	6B	80
31	6C	90
32	6D	90
33	6E	80
34	6F	80
35	6G	70
36	7A	70
37	7B	80
38	7C	80
39	7D	90
40	7E	90
41	7F	70
42	7G	70
43	8A	70
44	8B	70
45	8C	70
46	8D	80

47	8E	90
48	8F	100
49	8G	70
50	9A	70
51	9B	70
52	9C	70
53	9D	80
54	9E	90
55	9F	100
56	9G	100
57	10A	70
58	10B	70
59	10C	80
60	10D	80
61	10E	90
62	10F	100
63	10G	100
64	11A	70
65	11B	100
66	11C	100
67	11D	100
68	11E	80
69	11F	90
70	11G	70
71	12A	100
72	12B	100
73	12C	100
74	12D	100
75	12E	80
76	12F	70
77	12G	70
78	13A	70
79	13B	70
80	13C	100
81	13D	100
82	13E	80
83	13F	70
84	13G	70
85	14A	70
86	14B	70
87	14C	70
88	14D	80
89	14E	80
90	14F	70
91	14G	70

Tabla 22 Mediciones tomadas en el área de estudio, luego de ubicados los 3 AP's

5.3.1.5. Análisis de Resultados

Analizando los resultados de la tabla anterior, se puede afirmar que si fue necesaria la colocación de 3 AP's para que el área requerida tenga una cobertura adecuada. Se puede observar que el porcentaje de la potencia recibida en puntos alejados del AP inicial era del 20% (como es el caso del punto $X=F$, $Y=14$) y que al colocar los otros dos AP su porcentaje es ahora del 70%, lo cual nos da como resultado una buena cobertura.

La cobertura de cada uno de los AP colocados se puede observar a continuación en la figura 5.2.

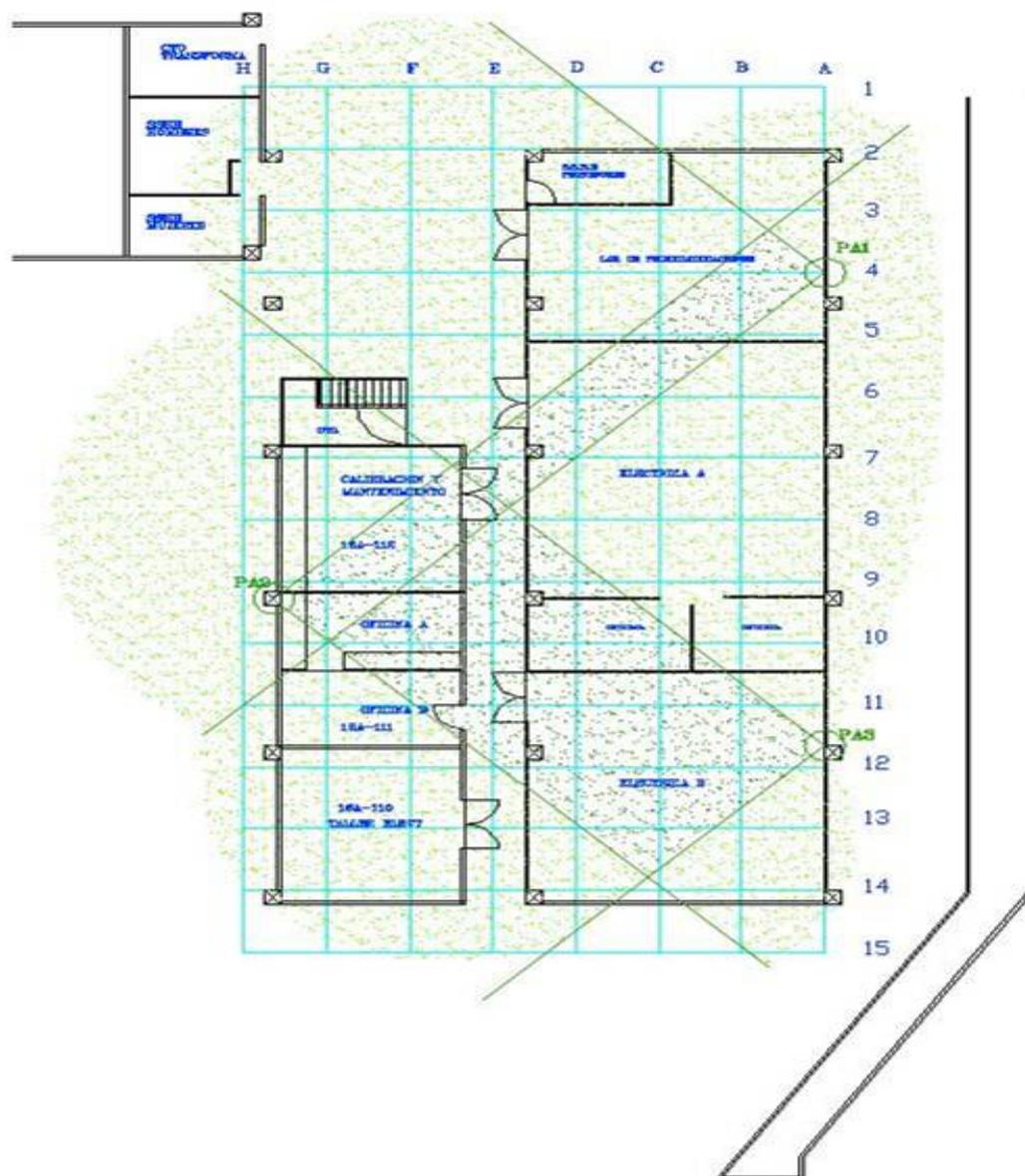


Figura 5.2 Cobertura en el área de estudio con los tres AP's ubicados.

5.3.2. Método de Implementación en Malla

5.3.2.1. Criterio para la Ubicación de los AP's

En éste método el criterio que se usa para la ubicación de los AP's es el de ubicarlos formando una especie de malla, para esto primero se tiene que estimar la distancia de cobertura de un AP y luego colocar los otros AP's equidistantes de tal forma que toda el área requerida tenga la cobertura necesaria.

Para estimar la distancia de cobertura con este método se usó una antena omnidireccional, cuyas especificaciones se pueden encontrar en el anexo A. Con estos datos se deduce la distancia de cobertura del AP, que es en lo que nos vamos a basar para proceder a la colocación de los otros AP's.

5.3.2.2. Ubicación de los AP's en el Área de Servicio

Con el criterio expuesto en el numeral anterior, se ubicará al primer AP en el punto $(X=C, Y=5)$, el cual

fue escogido por facilidad de acceso a red y a una toma de energía. El siguiente paso será tomar mediciones alrededor del punto para estimar el radio de cobertura, las cuales se muestran a continuación en la siguiente tabla.

No	PUNTO	% SEÑAL
1	2A	100
2	2B	100
3	2C	90
4	2D	90
5	2E	90
6	2F	50
7	2G	50
8	3A	100
9	3B	100
10	3C	100
11	3D	100
12	3E	90
13	3F	90
14	3G	50
15	4A	100
16	4B	100
17	4C	100
18	4D	100
19	4E	90
20	4F	90
21	4G	50
22	5A	100
23	5B	100
24	5C	0
25	5D	100
26	5E	90
27	5F	90
28	5G	50
29	6A	100
30	6B	100
31	6C	100
32	6D	100
33	6E	90

34	6F	90
35	6G	50
36	7A	100
37	7B	100
38	7C	100
39	7D	100
40	7E	90
41	7F	60
42	7G	50
43	8A	100
44	8B	100
45	8C	100
46	8D	100
47	8E	90
48	8F	500
49	8G	50
50	9A	50
51	9B	50
52	9C	50
53	9D	50
54	9E	50
55	9F	50
56	9G	50
57	10A	40
58	10B	40
59	10C	40
60	10D	40
61	10E	40
62	10F	40
63	10G	40
64	11A	30
65	11B	30
66	11C	30
67	11D	30
68	11E	30
69	11F	30
70	11G	30
71	12A	30
72	12B	30
73	12C	30
74	12D	30
75	12E	30
76	12F	30
77	12G	20
78	13A	20
79	13B	20
80	13C	20

81	13D	20
82	13E	20
83	13F	20
84	13G	20
85	14A	20
86	14B	20
87	14C	20
88	14D	20
89	14E	20
90	14F	20
91	14G	20

Tabla 23 Mediciones tomadas en el área de estudio, con el AP ubicado en C5

De los resultados obtenidos, se puede predecir que el radio de cobertura aproximado de un AP es de 10 metros, por lo que se determinó colocar los otros 3 APs en los puntos (X=H, Y=4.5), (X=G, Y=10.5) y (X=C, Y=10.5) formando una malla y logrando cubrir casi en su totalidad el área en estudio.

5.3.2.3. Asignación de Canales

Los canales que se asignaron fueron 5, 7, 9 y 12 debido a que éstos son los que no están siendo usados.

5.3.2.4. Tabulación de los Resultados

Después de colocados los 4 AP's en forma de malla, se midió el porcentaje de la potencia recibida alrededor de éstos. Los resultados se muestran a continuación en la siguiente tabla.

No	PUNTO	% SEÑAL
1	2A	100
2	2B	100
3	2C	90
4	2D	90
5	2E	90
6	2F	100
7	2G	100
8	3A	100
9	3B	100
10	3C	100
11	3D	100
12	3E	100
13	3F	100
14	3G	100
15	4A	100
16	4B	100
17	4C	100
18	4D	100
19	4E	100
20	4F	100
21	4G	100
22	5A	100
23	5B	100
24	5C	0
25	5D	100
26	5E	100
27	5F	100
28	5G	100
29	6A	100
30	6B	100
31	6C	100
32	6D	100
33	6E	100
34	6F	100
35	6G	100
36	7A	100
37	7B	100
38	7C	100
39	7D	100
40	7E	90
41	7F	90
42	7G	90
43	8A	100

44	8B	100
45	8C	100
46	8D	100
47	8E	90
48	8F	90
49	8G	90
50	9A	100
51	9B	100
52	9C	100
53	9D	100
54	9E	90
55	9F	90
56	9G	90
57	10A	100
58	10B	100
59	10C	100
60	10D	100
61	10E	90
62	10F	100
63	10G	100
64	11A	95
65	11B	95
66	11C	95
67	11D	95
68	11E	90
69	11F	95
70	11G	95
71	12A	90
72	12B	90
73	12C	90
74	12D	90
75	12E	90
76	12F	90
77	12G	90
78	13A	90
79	13B	90
80	13C	90
81	13D	90
82	13E	90
83	13F	90
84	13G	90
85	14A	50
86	14B	60
87	14C	80
88	14D	60
89	14E	50

90	14F	60
91	14G	80

Tabla 24. Mediciones tomadas en el área de estudio, luego de ubicados los 4 AP's

5.3.2.5. Análisis de Resultados

Con los datos de la tabla anterior que se obtiene luego de colocar los otros 3 AP's se hace un análisis de la cobertura, de donde se concluye que se ha logrado cubrir el área de estudio. Esto se puede apreciar el siguiente gráfico a continuación.

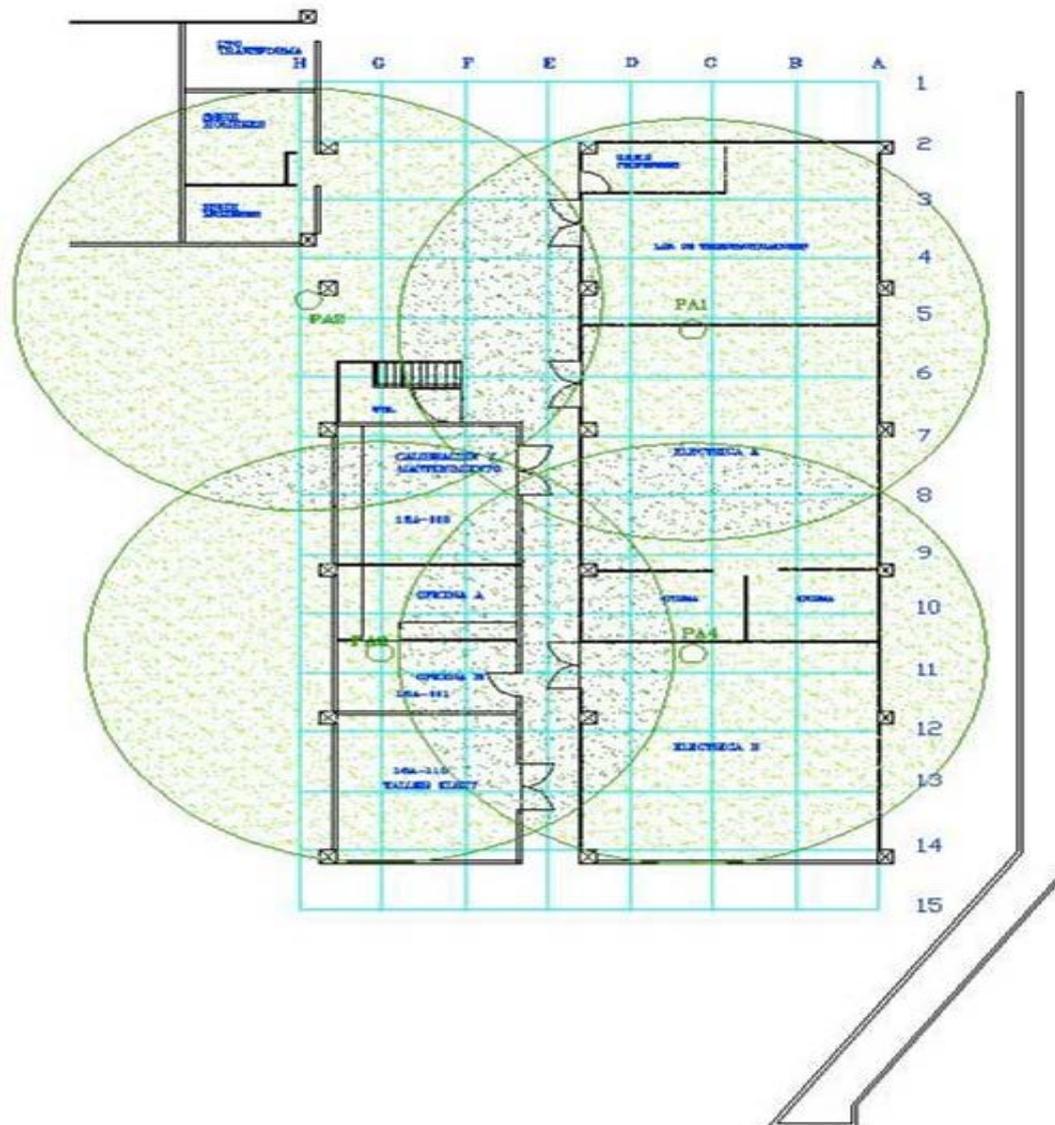


Figura 5.3 Cobertura en el área de estudio luego con los tres AP's ubicados.

5.3.3. Método de Implementación con optimización de cobertura

5.3.3.1. Criterio para la Ubicación de los AP's

En éste método inicialmente se coloca el AP en una ubicación cualquiera. Lo siguiente será tomar mediciones en puntos alrededor del AP colocado, las cuáles servirán de datos iniciales para luego ingresar éstas mediciones al algoritmo que va a hacer las iteraciones necesarias hasta encontrar la mejor ubicación del AP, es decir, va a optimizar el área de cobertura y va a ayudarnos a conocer el número de APs que se necesitan.

5.3.3.2 Ubicación de los AP's en el Área de Servicio

En base al criterio expuesto se coloca el AP en el punto $(X=E, Y=2)$, el cuál fue escogido de manera arbitraria, para luego empezar a recolectar datos de potencia recibida en los alrededores. Con las mediciones ya realizadas se observa que una parte del área en estudio no tiene cobertura, por lo que se decide colocar un segundo AP en el punto $(X=E, Y=14)$ y hacer las mediciones nuevamente pero sólo dónde no había cobertura. Para facilitar ésta toma de datos, se dividirá de manera imaginaria el área, es decir, tendremos dos áreas de trabajo en

las que primero se colocará el primer AP para tomar datos desde (X=A, Y=2) hasta (X=G, Y=10) y luego el segundo AP para medir desde (X= A, Y=11) hasta (X=G, Y=14).

5.3.3.3 Toma de datos iniciales

La toma de datos iniciales se la realiza de forma separada para las dos áreas. Las mediciones se realizan alrededor del punto sobre el cuál se ha colocado el AP. Estos datos se muestran a continuación en las siguientes tablas.

No	PUNTO	SEÑAL (dBm)
1	2A	-71,5
2	2B	-69,68
3	2C	-73,76
4	2D	-60,14
5	2E	0
6	2F	-57,07
7	2G	-50,83
8	3A	-73,06
9	3B	-72,22
10	3C	-70,07
11	3D	-60,36
12	3E	-41,49
13	3F	-52,99
14	3G	-59,09
15	4A	-70,78
16	4B	-66,48
17	4C	-72,15
18	4D	-63,02
19	4E	-48,85
20	4F	-47,76
21	4G	-58,95
22	5A	-63,39

23	5B	-65,17
24	5C	-63,40
25	5D	-57,63
26	5E	-51,99
27	5F	-48,96
28	5G	-55,67
29	6A	-71,55
30	6B	-73,41
31	6C	-71,38
32	6D	-71,63
33	6E	-52,21
34	6F	-52,81
35	6G	-51,85
36	7A	-73,54
37	7B	-74,70
38	7C	-73,07
39	7D	-72,01
40	7E	-55,93
41	7F	-67,61
42	7G	-74,83
43	8A	-76,43
44	8B	-73,36
45	8C	-74,86
46	8D	-73,21
47	8E	-56,34
48	8F	-71,30
49	8G	-70,14
50	9A	-79,85
51	9B	-73,33
52	9C	-74,00
53	9D	-74,71
54	9E	-58,54
55	9F	-69,49
56	9G	-72,53
57	10A	-73,85
58	10B	-72,38
59	10C	-73,09
60	10D	-72,58
61	10E	-58,57
62	10F	-63,86
63	10G	-61,53

Tabla 25. Mediciones iniciales tomadas en la primera área de estudio, con el AP ubicado en E2

No	PUNTO	SEÑAL (dBm)
1	11A	-70,29
2	11B	-63,11
3	11C	-62,19
4	11D	-61,62
5	11E	-60,48
6	11F	-58,52
7	11G	-57,52
8	12A	-70,36
9	12B	-69,16
10	12C	-63,50
11	12D	-65,51
12	12E	-62,29
13	12F	-53,20
14	12G	-64,09
15	13A	-68,65
16	13B	-65,21
17	13C	-67,55
18	13D	-64,02
19	13E	-63,03
20	13F	-58,73
21	13G	-66,6
22	14A	-73,64
23	14B	-72,66
24	14C	-71,15
25	14D	-68,10
26	14E	-62,70
27	14F	-58,96
28	14G	-61,57

Tabla 26. Mediciones iniciales tomadas en la segunda área de estudio, con el AP ubicado en E14

La cobertura que se obtiene luego de colocar el AP en el punto E2 para la primera área y el otro AP en

E14 para la segunda área se podrá visualizar en los gráficos a continuación.

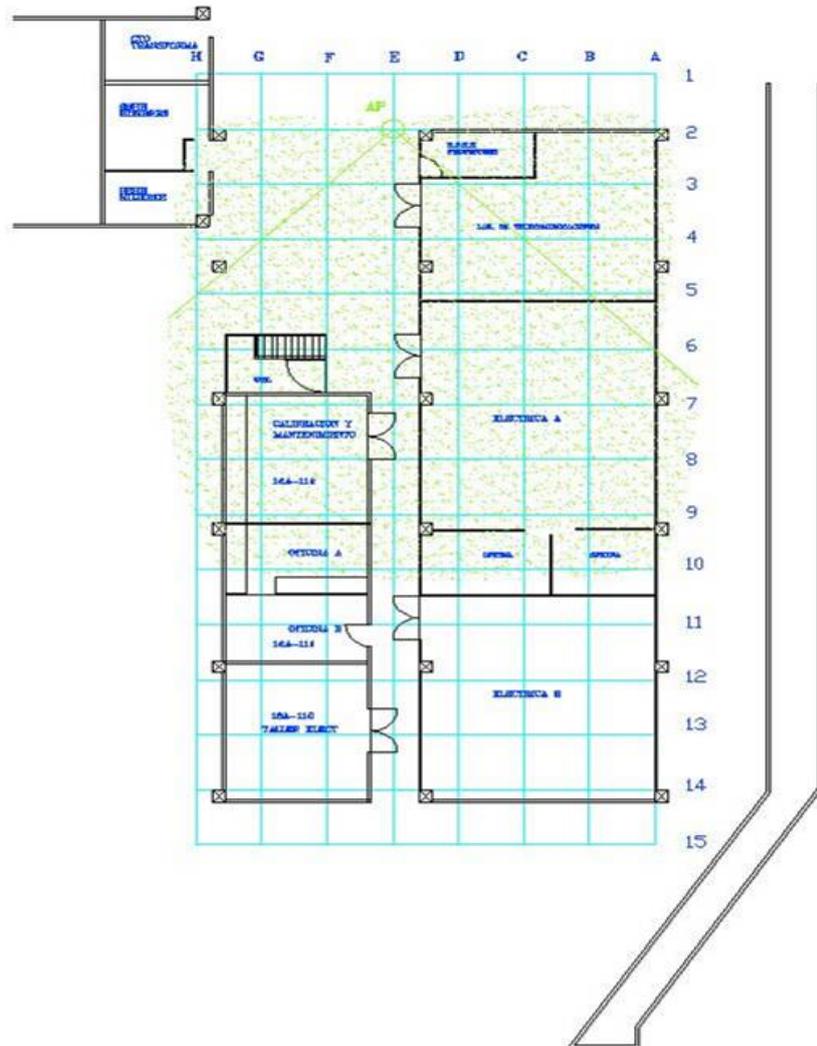


Figura 5.4 Cobertura en la primera área de estudio, con el AP colocado en el punto E2.



Figura 5.5. Cobertura en la primera área de estudio, con el AP reubicado en el punto E14.

Luego se procedió a pasar los datos a Excel, para ingresarlos al algoritmo al igual que la potencia referencial, coeficiente de atenuación n y factor de atenuación por paredes WAF. Con todos estos datos se inicia la simulación, la cuál va a dar como

resultado la potencia de la señal estimada de forma gráfica y valores en una hoja de Excel.

5.3.3.4 Tabulación de resultados obtenidos de la estimación

Los resultados obtenidos de la simulación en donde se aprecia la mejor ubicación para los dos AP's debido a que se maximiza la cobertura en cada una de las áreas se los muestra en las tablas a continuación.

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
A	-48	-55	-44	-36	-44	-48	-50	-52	-53	-150	-150	-150	-150
B	-47	-55	-40	-38	-46	-47	-45	-45	-47	-150	-150	-150	-150
C	-53	-56	-45	-37	-44	-45	-46	-45	-47	-150	-150	-150	-150
D	-43	-46	-38	-31	-38	-39	-41	-42	-43	-150	-150	-150	-150
E	-51	-27	-22	-24	-24	-27	-27	-29	-29	-150	-150	-150	-150
F	-42	-20	-21	-25	-25	-40	-42	-44	-48	-150	-150	-150	-150
G	0	-42	-53	-51	-55	-66	-69	-71	-72	-150	-150	-150	-150

Tabla 27. Resultados obtenidos de la Simulación del primer AP ubicado en G2

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
A	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-42	-42	-40	-45
B	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-35	-40	-36	-43
C	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-34	-35	-37	-42
D	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-35	-38	-42	0
E	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-33	-40	-40	-43
F	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-38	-34	-42	-37
G	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-38	-45	-48	-37

Tabla 28. Resultados obtenidos de la Simulación del segundo AP ubicado en D14

5.3.3.5 Análisis de resultados obtenidos en la simulación

Al analizar los datos de la tablas anteriores podemos decir que la cobertura en cada una de las áreas si fue maximizada, esto no solo se puede apreciar gráficamente en 4.3.3, si no también en base a un análisis realizado con los valores de potencia de la señal recibida alrededor del AP que fue virtualmente movido, los mismos que son mayores que los medidos inicialmente.

5.3.3.6 Reubicación de los AP's

Luego de que el resultado del análisis de la simulación se ha realizado y de haber concluido que la reubicación del AP es conveniente ya que la cobertura se maximiza y con esto se logra cubrir la primer área con una mayor

intensidad de señal (visto gráficamente 4.3.3) o con una potencia recibida más alta en los alrededores del AP (tabla 5.7), se procede a colocar el AP en el punto (X=G, Y=2). El área que comprende es la formada por el Laboratorio de Telecomunicaciones, Calibración y mantenimiento hasta las oficinas del Laboratorio B.

Para la segunda área el AP deberá ser reubicado en el punto (X=D, Y=14). La reubicación proporcionará una mejor cobertura al área del Taller eléctrico hasta el Taller Libre. Esto se puede observar de manera gráfica en 4.3.3 y en la tabla 5.8.

La cobertura de la señal luego de reubicar los AP's en cada área se puede observar en los gráficos a continuación:

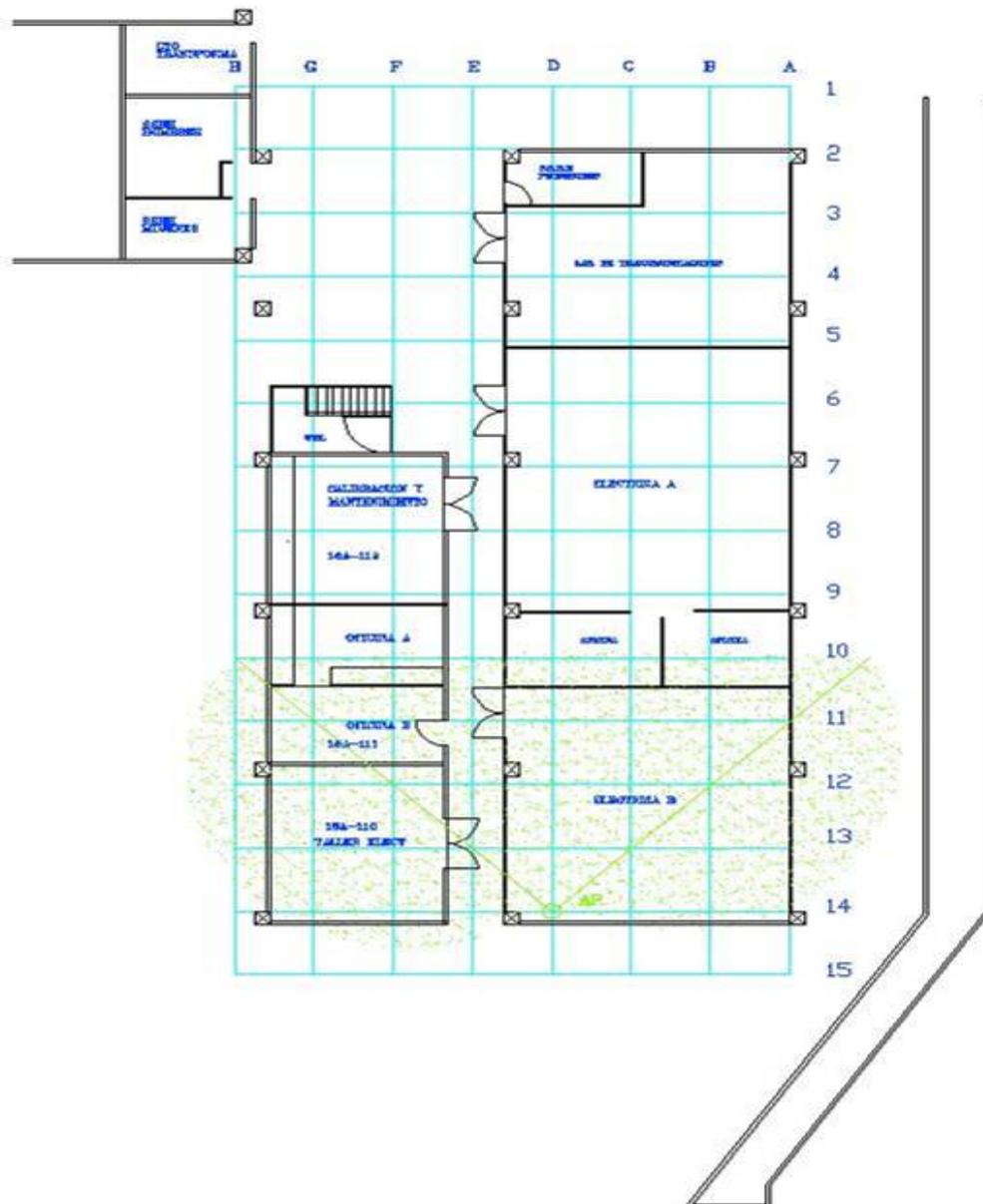


Figura 5.7 Cobertura en la segunda área de estudio, con el AP reubicado en el punto D14.

Lo siguiente será tomar datos en los alrededores a cada punto donde se ha reubicado el AP, tanto para la primera área como para la segunda y proceder a realizar el análisis respectivo.

5.3.3.7 Análisis de Resultados

La potencia recibida en los puntos alrededor de (X=G, Y=2) para la primera área y de (X=D, Y=14) para la segunda área, donde se encuentran ubicados los AP's respectivamente ha sido medida. Con estos datos obtenidos experimentalmente y los obtenidos de la simulación se realiza una comparación para establecer el porcentaje de error que tiene el cálculo que realiza el algoritmo implementado, esto se puede apreciar en las tablas a continuación.

No	PUNTO	SEÑAL Simulada (dBm)	SEÑAL Medida (dBm)	Diferencia en dBi	ERROR (%)
1	2A	-48,175	-46,581	1,594	3,422
2	2B	-47,273	-49,085	1,812	3,692
3	2C	-52,939	-50,877	2,062	4,053
4	2D	-42,838	-41,667	1,171	2,810
5	2E	-50,826	-55,438	4,612	8,319
6	2F	-41,542	-45,134	3,592	7,959
7	2G	0,000	0,000	0,000	0,000
8	3A	-55,166	-50,663	4,503	8,888
9	3B	-55,096	-54,628	0,468	0,857

10	3C	-56,196	-58,226	2,030	3,486
11	3D	-46,083	-44,426	1,657	3,730
12	3E	-27,214	-31,164	3,950	12,675
13	3F	-19,973	-21,053	1,080	5,130
14	3G	-41,542	-38,487	3,055	7,938
15	4A	-44,275	-41,886	2,389	5,704
16	4B	-40,446	-36,407	4,039	11,094
17	4C	-44,534	-47,586	3,052	6,414
18	4D	-37,656	-41,724	4,068	9,750
19	4E	-22,345	-26,744	4,399	16,449
20	4F	-21,166	-21,629	0,463	2,141
21	4G	-52,674	-47,889	4,785	9,992
22	5A	-36,43	-31,813	4,617	14,513
23	5B	-38,412	-39,976	1,564	3,912
24	5C	-36,722	-37,527	0,805	2,145
25	5D	-30,661	-32,093	1,432	4,462
26	5E	-24,066	-20,869	3,197	15,319
27	5F	-25,204	-22,958	2,246	9,783
28	5G	-50,807	-54,595	3,788	6,938
29	6A	-44,142	-43,036	1,106	2,570
30	6B	-46,047	-44,155	1,892	4,285
31	6C	-43,906	-45,680	1,774	3,884
32	6D	-38,394	-41,549	3,155	7,593
33	6E	-23,662	-22,309	1,353	6,065
34	6F	-25,022	-25,419	0,397	1,562
35	6G	-54,858	-55,498	0,640	1,153
36	7A	-48,079	-44,263	3,816	8,621
37	7B	-46,858	-45,825	1,033	2,254
38	7C	-45,059	-46,863	1,804	3,850
39	7D	-38,663	-34,875	3,788	10,862
40	7E	-27,062	-23,482	3,580	15,246
41	7F	-39,819	-40,943	1,124	2,745
42	7G	-66,23	-68,081	1,851	2,719
43	8A	-50,266	-53,309	3,043	5,708
44	8B	-45,163	-42,227	2,936	6,953
45	8C	-46,484	-46,889	0,405	0,864
46	8D	-40,541	-39,197	1,344	3,429
47	8E	-27,285	-27,747	0,462	1,665
48	8F	-41,695	-40,322	1,373	3,405
49	8G	-68,806	-65,859	2,947	4,475
50	9A	-51,785	-52,952	1,167	2,204
51	9B	-44,871	-42,186	2,685	6,365
52	9C	-45,372	-47,274	1,902	4,023
53	9D	-41,839	-45,584	3,745	8,216
54	9E	-29,359	-28,253	1,106	3,915
55	9F	-43,511	-39,724	3,787	9,533
56	9G	-71,224	-73,649	2,425	3,293
57	10A	-52,898	-52,131	0,767	1,471
58	10B	-47,241	-50,228	2,987	5,947

59	10C	-47,072	-47,691	0,619	1,298
60	10D	-42,564	-44,790	2,226	4,970
61	10E	-29,314	-32,009	2,695	8,420
62	10F	-48,463	-49,859	1,396	2,800
63	10G	-71,619	-74,883	3,264	4,359
% ERROR PROMEDIO		5,687			

Tabla 29. Porcentaje de Error de la estimación del Algoritmo Implementado, AP colocado en G2

No	PUNTO	SEÑAL Simulada (dBm)	SEÑAL Medida (dBm)	Diferencia en dBi	ERROR (%)
1	11A	-42,303	-45,935	3,632	7,907
2	11B	-35,135	-37,328	2,193	5,875
3	11C	-34,489	-38,945	4,456	11,442
4	11D	-34,606	-36,473	1,867	5,119
5	11E	-33,403	-36,022	2,619	7,271
6	11F	-38,493	-39,996	1,503	3,758
7	11G	-37,767	-36,912	0,855	2,316
8	12A	-41,934	-40,129	1,805	4,498
9	12B	-40,489	-39,136	1,353	3,457
10	12C	-34,898	-33,131	1,767	5,333
11	12D	-37,978	-39,621	1,643	4,147
12	12E	-39,861	-41,011	1,150	2,804
13	12F	-34,075	-32,704	1,371	4,192
14	12G	-45,034	-42,828	2,206	5,151
15	13A	-39,789	-42,268	2,479	5,865
16	13B	-35,637	-30,770	4,867	15,817
17	13C	-37,011	-36,083	0,928	2,572
18	13D	-41,542	-46,521	4,979	10,703
19	13E	-40,152	-42,722	2,570	6,016
20	13F	-41,539	-40,718	0,821	2,016
21	13G	-48,446	-49,512	1,066	2,153
22	14A	-44,581	-44,332	0,249	0,562
23	14B	-42,582	-38,086	4,496	11,805
24	14C	-41,542	-42,746	1,204	2,817
25	14D	0	0,000	0,000	0,000
26	14E	-42,542	-44,273	1,731	3,910
27	14F	-37,333	-39,115	1,782	4,556
28	14G	-37,444	-33,146	4,298	12,967
% ERROR PROMEDIO		5,537			

Tabla 30. Porcentaje de Error de la estimación del Algoritmo Implementado, AP colocado en D14

El porcentaje de error promedio del cálculo del algoritmo para la primera área, cuando el AP está reubicado en G2 es de 5.687 % y el porcentaje de error para la segunda área con el AP reubicado al punto D14 es de 5.537 %, por lo que podemos decir que el porcentaje de error entre el cálculo que realiza el algoritmo implementado y las mediciones realizadas es aceptable para las dos áreas.

CAPITULO 6

6. VARIANTES FUTURAS AL MODELO

Se espera que la presente tesis sirva como base para el desarrollo de futuras aplicaciones que permitan diseñar, implementar y auditar redes inalámbricas de área local. Para ello a partir del presente trabajo se definen las siguientes líneas de investigación:

Desarrollo de aplicaciones visuales independientes de Matlab y/o multiplataforma.- Si bien el presente trabajo ofrece una herramienta visual de ingreso de datos y muestra de resultados, la misma depende del software de simulación Matlab. Este software de simulación es una herramienta muy poderosa pero no siempre esta al alcance de los diseñadores o administradores de redes inalámbricas, por ello es deseable que a partir de este trabajo se desarrollen aplicaciones en lenguajes de programación visuales que no dependan de MATLAB.

Por otra parte y gracias al constante desarrollo de nuevos sistemas operativos es deseable que estas nuevas aplicaciones sean multiplataforma, con la finalidad de que puedan ser ejecutadas sobre ambientes Windows, Linux, MacOS, FreeBSD, etc.

Inclusión de información de Sistemas de posicionamiento global

GPS.- A partir del trabajo realizado y utilizando equipos de GPS mas software de mapeo de señal (NetStumbler por ejemplo) se podrían incluir en los resultados mapas reales de la superficie terrestre sobre los cuales se realizan las mediciones de intensidad de la señal, con la finalidad de ofrecer al diseñador una imagen real del área de cobertura. Para ello se puede utilizar las fotos Satelitales disponibles gratuitamente en Internet en proyectos como [31], [32], [33], [34], [35] y software de mapeo como [36], se puede tomar como referencia el trabajo realizado por [37] un ejemplo de este trabajo lo podemos apreciar en la figura 6.1

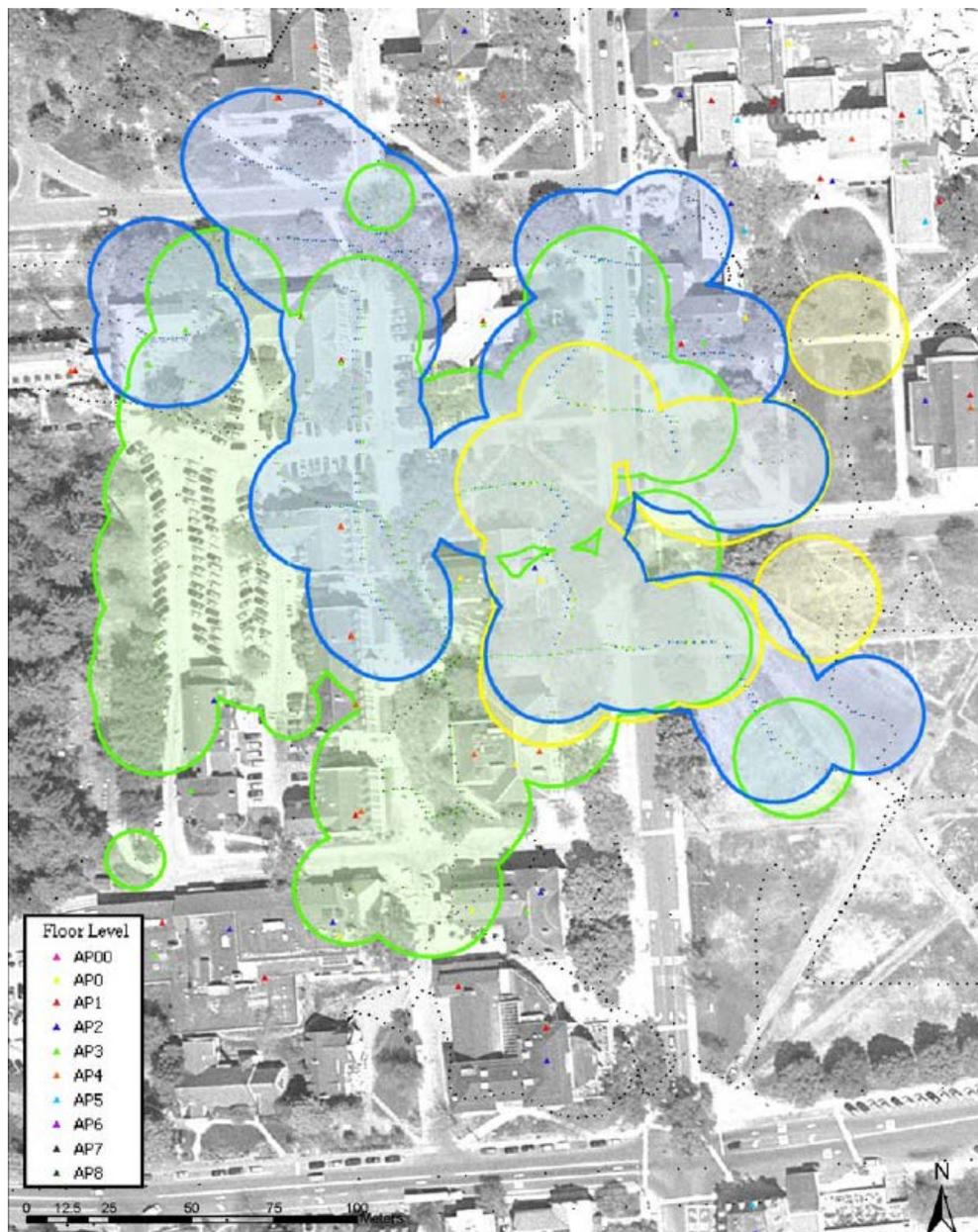


Figura 6.1 Mapeo de señal utilizando software gratuito

Mejoramiento de herramientas de medición.

Para la presente tesis hemos utilizado equipos de medición no especializado, es decir equipos que originalmente no fueron diseñados para trabajar como

equipos de medición, pero que sin embargo realizando las modificaciones pertinentes y utilizando software que permita estas adaptaciones se obtuvieron resultados satisfactorios, por ello para futuros trabajos o como parte de proyectos de investigación es necesario desarrollar herramientas especializadas, como ejemplo podemos citar a Wireless Recon [38] véase figura 6.2 o equipos de medición como Caterpillar de BVSystems [39] véase figura 6.3



Figura 6.2 Equipo de medición Wireless Recon de Helium Systems



Figura 6.3 Equipo de Medición Caterpillar de BVSystems

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de analizar los resultados obtenidos en la presente tesis se concluye y recomiendan lo siguiente:

1. El modelo propuesto para el diseño de Redes Inalámbricas de Interiores, es con la finalidad de optimizar la ubicación de los puntos de Acceso (APs) de la Red considerando las pérdidas del sistema.
2. Se ha simulado un sistema inalámbrico de Interiores que permite predecir la intensidad de la señal recibida en las Estaciones ubicadas en el área de cobertura.
3. Al comparar los resultados de la estimación con los valores medidos en el área de servicio se establece que el margen de error de las mediciones no supera los 5dBi, por lo tanto concluimos que el

rendimiento es aceptable para estimar la potencia de la señal recibida en redes inalámbricas de área local y se sugiere el uso del algoritmo y del procedimiento para el diseño de las mismas.

4. Concluimos que el Factor de atenuación de paredes WAF influye notablemente en el cálculo de la potencia recibida a una distancia menor a los 10 metros, por lo que se recomienda incluir el Factor en los cálculos, dadas las condiciones anteriormente mencionadas. Por otra parte se pudo observar que para distancias mayores a los 10 metros el uso del WAF es indiferente y no afecta a las estimaciones de potencia.
5. Se ha contribuido para un mejor desarrollo y manejo de recursos relacionados a los sistemas de redes inalámbricas de interiores.

GLOSARIO

Ad-Hoc: Modo de conexión en una red wireless que define que nuestro equipo (PDA, ordenador portátil o de sobremesa) se conectará directamente a otro equipo, en vez de hacerlo a un Punto de Acceso.

AP: Es el dispositivo que hace de *punte* entre la red cableada y la red inalámbrica. Se puede pensar que es, de alguna manera, la *antena* a la que los usuarios se conectan.

AWGN: Ruido Gaussiano Blanco Auditivo

Bluetooth: Norma para la transmisión de voz y datos de manera inalámbrica a un máximo de 10 metros de distancia.

Bandwidth : Ancho de Banda. Término técnico que determina la cantidad de información que puede circular por un medio de comunicación de datos, es decir, la capacidad de la conexión. Cuanto más ancho de banda se tenga, mayor es la velocidad de acceso. Su unidad de medida es en Hertz o Bps (Bits por segundo).

BSS: Un conjunto de estaciones inalámbricas que se comunican con otras por medio de un punto de acceso.

Carrier: Operador que transporta redes de comunicaciones.

CONATEL: Consejo Nacional de Telecomunicaciones.

Datagrama: Paquete sencillo enrutado en una red sin reconocimiento.

DHCP: Son las siglas en inglés de Protocolo de configuración dinámica de servidores (). Es un protocolo de red en el que un servidor provee los parámetros de configuración a las computadoras conectadas a la red informática que los requieran (máscara, puerta de enlace y otros) y también incluye un mecanismo de asignación de direcciones de IP.

DSSS: El espectro ensanchado por secuencia directa, también conocido en comunicaciones móviles como DS-SS (acceso múltiple por división de código en secuencia directa), es uno de los métodos de modulación en espectro ensanchado para transmisión de señales digitales sobre ondas radiofónicas que más se utilizan. Mezcla la información de datos digital con una secuencia pseudos-aleatoria

digital de alta velocidad que expande el espectro. Esta señal es mezclada en un modulador con una frecuencia portadora entregando una señal modulada BPSK o QPSK, para obtener una emisión con baja densidad espectral, semejante al ruido.

DTMF: Son los tipos de señales de audio que se generan cuando se presionan los botones del teléfono. Cada número u opción del teléfono tiene su tono que es identificado en la telefonía.

Encriptar: Proteger archivos expresando su contenido en un lenguaje cifrado. Tratamiento de datos que impide que los mismos puedan ser leídos.

FHSS: Técnica de ensanchamiento en el cual la frecuencia portadora convencional es desplazada dentro de la banda varias veces por segundo de acuerdo a una lista de canales pseudos-aleatoria. El tiempo de permanencia en un canal es generalmente menor a 10 milisegundos.

Frecuencia Hopping: Frecuencia Saltada, es decir que se usa en diferentes partes de la frecuencia.

Frecuencia Asignada. Centro de la banda de frecuencias asignadas a una estación.

HyperLAN: Estándar para proveer comunicaciones a alta velocidad en redes inalámbricas.

Hotspot: Es un lugar en el que un punto de acceso (access point) provee servicios de red a través de un proveedor de Internet inalámbrico

IBSS: Un conjunto de estaciones inalámbricas que se comunican entre ellas sin necesidad de un punto de acceso

ICMP: Es un protocolo de control usado en el nivel de red. Este protocolo se usa principalmente por los routers de Internet, para informar de sucesos inesperados, errores, etc. También se usa para hacer pruebas sobre la red (local o Internet), por ejemplo enviando un comando de petición de eco (ping) a un ordenador, y esperar que responda.

IP: Protocolo de Internet que fue definido por el RFC 791 y confirmado como el estándar de comunicaciones de Internet. Es el numerito que identifica a una computadora dentro de una red, ya sea LAN/WAN.

Jitter: Variación en la cantidad de latencia entre paquetes de datos recibidos.

LAN: Red de Área Local. Red de computadoras interconectadas, distribuida en la superficie de una sola oficina o edificio. También llamadas redes privadas de datos. Su principal característica es su alta velocidad de conexión.

Latencia: Es el tiempo promedio de viaje que toma un paquete para pasar a través de una red, a menor latencia, mejor calidad de voz.

Luz infrarroja: Se dice de la radiación del espectro electromagnético de mayor longitud de onda que el rojo y de alto poder calorífico.

Máscara de subred: Es un código numérico que forma parte de la dirección IP de los ordenadores, de tal manera que será la misma para ordenadores de una misma red.

NAT: Traducción de direcciones de Red, estándar de internet que le permite a una red local (LAN) usar un grupo de direcciones IP para el tráfico interno y otro grupo de direcciones para el tráfico externo. Sirve para tres propósitos principales : proveer un tipo de firewall al ocultar

las direcciones IP internas, usar más direcciones IP internas, combinar varios tipos de conexiones (normalmente RDSI) con una sola conexión de internet.

PBX: Es un sistema privado de conmutación de teléfonos que permite tener una serie de extensiones que es utilizado en compañías y organizaciones para manejar llamadas internas y externas.

PCMCIA: Dispositivo del tamaño de una tarjeta de crédito que contiene diferentes periféricos (como discos duros, fax-módem o conexiones a redes locales) para su uso con computadores portátiles. La sigla PCMCIA significa "Personal Computer Memory Card International Association", que es el nombre del grupo de fabricantes que apoya ese estándar de dispositivos.

PDA: Programa que se encarga de atender a un usuario concreto en tareas como búsquedas de información o selecciones atendiendo a criterios personales del mismo

Proxy: Software que permite a varios ordenadores acceder a Internet a través de una única conexión física. Según lo avanzado que sea, puede permitir acceder a páginas Web, FTP, correo electrónico, etc.

Es frecuente que también incluyan otros servicios, como cortafuegos (FireWalls).

QoS: Su función es garantizar que el tráfico del paquete para la voz tenga una prioridad más alta que el tráfico convencional de Internet para así no obtener llamadas cortadas.

Radiocomunicación: Toda telecomunicación transmitida por medio de ondas radioeléctricas.

Radiofrecuencia: Cada una de las frecuencias de las ondas electromagnéticas empleadas en la radiocomunicación.

Roaming: Concepto utilizado en comunicaciones wireless que está relacionado con la capacidad de un dispositivo para moverse de una zona de cobertura a otra.

Servidores DNS: Es un conjunto de protocolos y servicios sobre una red TCP/IP, permite a los usuarios de red utilizar nombres jerárquicos sencillos para comunicarse con otros equipos, en vez de memorizar y usar sus direcciones IP. Este sistema es muy usado en Internet y en muchas de las redes privadas actuales.

SINR: Relación Señal a Ruido

SSID: Es el identificador único adjunto a la cabecera de paquetes enviados sobre la WLAN que actúa como clave cuando un dispositivo móvil intenta conectarse al BSS.

STUN: Es un protocolo de red que ayuda a muchos tipos de software y hardware a recibir datos UDP apropiadamente a través de routers de banda ancha que usan NAT.

SUPTEL: Superintendencia de Telecomunicaciones.

THROUGHPUT: Es el número de paquetes recibidos con éxito en una transmisión de datos.

VoIP: La habilidad de transportar voz, al estilo de la telefonía normal, sobre Internet basado en IP con funcionalidad, confiabilidad y calidad de voz similar a la tecnología POTS.

WAF: Factor de atenuación de paredes.

WAN: Red de computadoras conectadas entre sí en un área geográfica relativamente extensa. Este tipo de redes suelen ser públicas, es decir, compartidas por muchos usuarios; y pueden extenderse a todo un país o a muchos a través del mundo.

Wi-Fi: Conjunto de estándares para redes inalámbricas basado en las especificaciones IEEE 802.11.

ACRÓNIMOS

ACRÓNIMO	EN INGLÉS	EN ESPAÑOL
AP	Access Point	Punto de Acceso
ISM	Industrial, Scientific and Medical	Industrial, Científica y Médica
CDMA	Code division Multiple Access	Acceso múltiple por división de código
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	Instituto Europeo de estándares de telecomunicaciones
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum	Espectro ensanchado por salto de frecuencias
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum	Espectro ensanchado por secuencia directa
DCA	Dinamic Control Access	Control de acceso dinámico
CDMA	Code Division Multiple Access	Acceso múltiple por división de código
MAC	Médium Access Control	Control de Acceso al Medio

IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
FCC	Federal Commission of Communications	Comisión Federal de Comunicaciones
IP	Internet Protocol	Protocolo de Internet
LAN	Local Area Network	Red de Area Local
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	Multiplexación de división de frecuencia Ortogonal
PC	Power Control	Control de Potencia
PDA	Personal Digital Assistant	Asistente Personal Digital
QoS	Quality of Service	Calidad de Servicio
VoIP	Voice over IP	Voz sobre el protocolo de Internet
WAN	Wide Area Network	Red de área extensa
WLAN	Wireless Local Area Network	Red Inalámbrica de Área Local
Wi-Fi	Wireless Fidelity	Fidelidad inalámbrica
WISP	Wireless Internet Service Provider	Proveedores de Servicios de Internet inalámbrico

ANEXOS

ANEXO A

Información técnica D-Link Air DWL-122



General

Tipo de dispositivo	Adaptador de red
Factor de forma	Externo
Tipo de interfaz (bus)	USB
Anchura	2.7 cm
Profundidad	8.3 cm
Altura	1.2 cm
Peso	91 g

Conexión de redes

Tecnología de conectividad	Inalámbrico
Protocolo de interconexión de datos	IEEE 802.11b
Método de espectro expandido	DSSS
Velocidad de transferencia de datos	11 Mbps
Formato código de línea	CCK, secuencia BARKER de 11 chips
Banda de frecuencia	2.4 GHz
Alcance máximo en interior	100 m

Cumplimiento de normas	IEEE 802.11b
------------------------	--------------

Antena	
Antena	Interna integrada

Expansión / Conectividad	
Interfaces	1 x red - Radio-Ethernet
Conexiones	1 x USB - 4 PIN USB tipo A

Diverso	
Algoritmo de cifrado	WEP de 128 bits, encriptación de 64 bits WEP

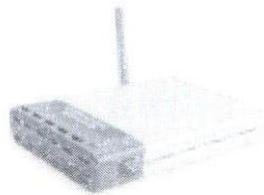
Software / Requisitos del sistema	
Sistema operativo requerido	Microsoft Windows 98 Second Edition / Windows ME, Apple MacOS X 10.2, Microsoft Windows 2000 / XP

Garantía del fabricante	
Servicio y mantenimiento	1 año de garantía
Detalles de Servicio y Mantenimiento	Garantía limitada - 1 año

Parámetros de entorno	
Temperatura mínima de funcionamiento	0 °C
Temperatura máxima de funcionamiento	55 °C
Ámbito de humedad de funcionamiento	10 - 95%

ANEXO B

Información técnica DWL-700AP



General

Tipo de dispositivo	Puente inalámbrico
Anchura	14.2 cm
Profundidad	10.9 cm
Altura	3.1 cm
Peso	0.2 kg

Conexión de redes

Factor de forma	Externo
Tecnología de conectividad	Inalámbrico
Velocidad de transferencia de datos	11 Mbps
Formato código de línea	DQPSK, CCK
Protocolo de interconexión de datos	Ethernet, Fast Ethernet, IEEE 802.11b
Banda de frecuencia	2.4 GHz
Alcance máximo en interior	100 m
Alcance máximo al aire libre	400 m

Indicadores de estado	Actividad de enlace, alimentación
Algoritmo de cifrado	WEP de 128 bits, ncriptación de 64 bits WEP
Cumplimiento de normas	IEEE 802.3, IEEE 802.3U, IEEE 802.11b

Antena	
Cantidad de antenas	1

Expansión / Conectividad	
Interfaces	1 x red - Radio-Ethernet - SMA 1 x red - Ethernet 10Base-T/100Base- TX - RJ-45

Diverso	
Cumplimiento de normas	Certificado FCC Clase B

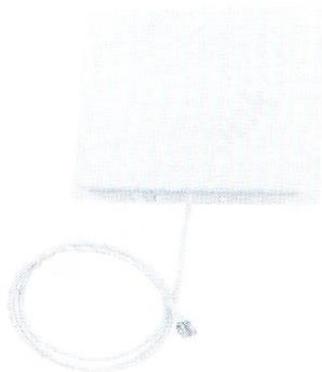
Alimentación	
Dispositivo de alimentación	Adaptador de corriente - externa

Garantía del fabricante	
Servicio y mantenimiento	1 año de garantía
Detalles de Servicio y Mantenimiento	Garantía limitada - 1 año

Parámetros de entorno	
Temperatura mínima de funcionamiento	0 °C
Temperatura máxima de funcionamiento	50 °C
Ámbito de humedad de funcionamiento	5 - 95%

ANEXO C

Información técnica HYPERLINK RE14P-NF



Especificaciones Eléctricas

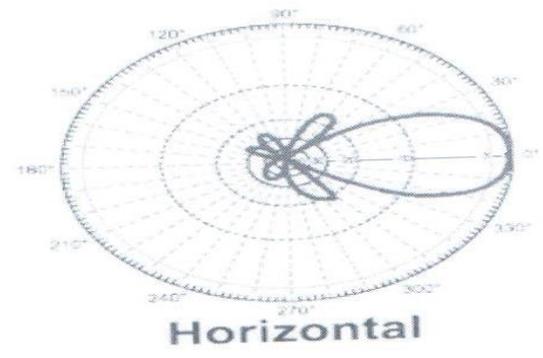
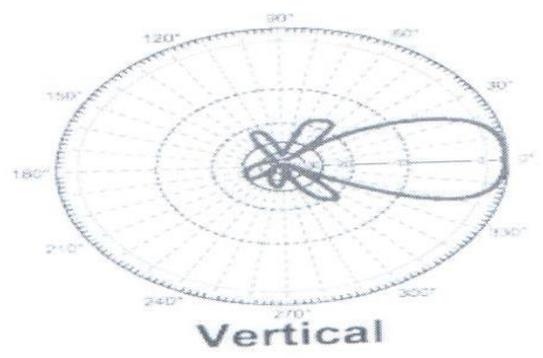
Frecuencia	2400-2500 MHz
Ganancia	14 dBi
Ancho del Haz	30 grados

Horizontal	
Ancho del Haz Vertical	30 grados
Impedancia	50 Ohm
VSWR	< 1.5:1 avg.
Protección para rayo	DC Short

Especificaciones Mecánicas

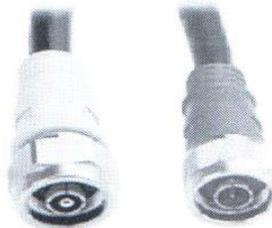
Peso	.95 lbs. (.43 Kg)
Dimensiones	8.5 x 8.5 x 1 (inches) 216 x 216 x 26 (mm)
Cubierta de Material	UV-Polímero Aislante
Montaje	4 ¼ in. (.63 mm) Agujeros
Polarización	Horizontal o Vertical
Temperatura de Operación	-40° C a 85° C (-40° F a 185° F)
Velocidad Máxima de Viento	>150 MPH (241 KPH)

Patrones RF de la Antena



ANEXO D

Información técnica D-Link ANT24-ODU03M



El cable de extensión de antena D-Link provee más distancia entre un dispositivo inalámbrico y la antena de un dispositivo para optimizar la implementación de una red inalámbrica. Durable y ásperos, estos cables son diseñados para instalaciones inalámbricas interiores, al aire libre o en azoteas. La mayoría de routers y puntos de acceso en el mercado con una antena intercambiable que puede subir el rendimiento a una cierta distancia o área.

Características:

- El Cable de Extensión de Antena de 30 cms Exterior para usos interiores y exteriores.

- Trabaja con antenas que operan en bandas de 2.4GHz y 5GHz.
- Weatherproof Material with 5 Years Guaranteed UV Rating
- Works with Virtually All Wi-Fi Wireless Devices

D-Link ANT24-ODU03M

SKU:	790069272028
Descripción:	D-Link Antenna Extension Cable ANT24-ODU03M - Antenna cable - RP-N - N-Series connector - 1 ft
Peso:	0.3 LBS.
Tiempo de Proceso:	24 hrs.

BIBLIOGRAFIA

- 1 How to Build a Wireless Home Network - Tutorial
<http://compnetworking.about.com/cs/wirelessproducts/a/howtobuildwlan.htm>
- 2 VOIP: Una Nueva Alternativa en Telefonía
<http://www.cinit.org.mx/articulo.php?idArticulo=3>
- 3 Sistemas Multimedia Distribuidos
<http://exa.unne.edu.ar/depar/areas/informatica/SistemasOperativos/MonogSO/SISMUL02.html>
- 4 Descripción de la Tecnología Bluetooth
<http://www.tecnovida.com.ve/bluetooth/>
- 5 Definición del IEEE 802.11 por la wikipedia
http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11
- 6 Análisis Comparativo de precios para distintos Puntos de Acceso Inalámbricos por Froogle
<http://froogle.google.com/froogle?btnG=Search+Froogle&q=Access+Point&mode=online&lnk=pruser&price1=0&price2=300&btnP=Go>

7 Directorio de Hotspots gratuitos alrededor del mundo

<http://www.wifinder.com/>

8 Lista Global de Proveedores de Internet Inalámbricos WISP

<http://www bbwexchange.com/wisps/>

9 Lista Global de Proveedores de Internet Inalámbricos WISP

<http://www.wispdirectory.com/>

10 Unbehaun Matthias, "On the Design and Deployment of Low-cost Wireless Infrastructure", disertación suscrita ante en el Instituto Real de Tecnología previo a la obtención del Doctorado en Filosofía (PhD), Estocolmo 2002

11 Hills Alex, Schlegel Jon, and Jenkins Ben , "Estimating Signal Strengths in the Design of an Indoor Wireless Network", IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS, VOL. 3, NO. 1, JANUARY 2004

12 La invasión Wi-Fi: La revolución inalámbrica (artículo publicado por Microsoft)
http://www.microsoft.com/spain/enterprise/perspectivas/numero_4/comunicaciones.aspx

13 Pagina Oficial del Consejo Nacional de Telecomunicaciones

www.conatel.gov.ec

14 Planet 3 Wireless, "Certified Wireless Network Administrator Official Study Guide", page 28.

15 Velasco Alejandro, "Métodos de Modulación de Frecuencia", Laboratorio de Radiocomunicaciones 2, Bogotá.

16 Modelos de Radio Propagación por Wireless Communication

http://people.deas.harvard.edu/~jones/es151/prop_models/propagation.html

17 Wolff Richard S., Ph.D, "EE80 Wireless Communications Systems Fall 2004 Indoor Propagation Models".

18 Hills A., "Large-scale wireless LAN design", IEEE Commun. Mag., vol. 39, page 98-104, Nov. 2001.

19 Rappaport T. S., Wireless Communications: Principles and Practice. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1996.

20 Estándares WLAN

<http://www.eveliux.com/articulos/estandareswlan.html>

21 Introducción a la Tecnología Wireles 802.11

http://www.e-advento.com/tecnologia/wlan_intro.php

22 Estándares de Redes LAN

http://www.radioptica.com/Radio/estandares_WLAN.asp?pag=6

23 Redes Multimediales

http://wwwisc.uniandes.edu.co/~revista/articulos/redes_multimediales

[/multimedia.html](http://wwwisc.uniandes.edu.co/~revista/articulos/redes_multimediales/multimedia.html)

24 Wi-Fi Hotspot Directory

<http://www.jiwire.com/>

25 Wireless Data Hotspot Services to Reach \$3.46 Billion in 2009

<http://www.instat.com/press.asp?ID=1447&sku=IN0502196MU>

26 103.301 hotspots WiFi en el mundo

<http://blog.fon.com/es/archivo/general/103301-hotspots-wifi-en-el-mundo.html>

27 El IEEE aprueba el estándar para calidades de servicio en WLAN

<http://www.controldecontenidos.com/index.php?id=30&seccion=3>

28 New Wi-Fi standard back on track

http://www.quadrunner.com/index.php?option=com_content&task=view&id=27&Itemid=2

29 Córdova Hernán, Chávez Patricia, Estudio, Modelamiento y Simulación de Sistemas de Espectro Ensanchado Secuencia Directa y Salto De Frecuencia, Departamento de Investigación de Sistemas de Telecomunicaciones. ESPOL

30 Wireless Communities

www.personaltelco.net/index.cgi/WirelessCommunities

31 WiFiMaps.com - Wardriving Maps and Hotspot Locator

www.wifimaps.com

32 The Wireless Database Project

www.nodedb.com

33 Wireless Geographic Logging Engine

www.wigle.net

34 www.kcwireless.net

35 Radio Mobile Freeware by VE2DBE

<http://www.cplus.org/rmw/english1.html>

36 Lentz Chris, 802.11b Wireless Network Visualization and Radiowave Propagation Modeling, Senior Thesis Computer Science Department Dartmouth Collage Technical Report TR2003-45.

37 Wireless Recon – Engineering Wireless LANs
<http://heliumnetworks.com/products/index.htm>

38 Caterpillar WLAN Meter
<http://www.bvsystems.com/Products/WLAN/Caterpillar/caterpillar.htm>