



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL



**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA
MECÁNICA Y ELÉCTRICA**

**SECCIÓN DE ESTUDIO DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
ÁREA: TELECOMUNICACIONES**

T E S I S

**ANÁLISIS DE DESEMPEÑO DE UNA RED MESH QUE TRANSMITE VOZ,
DATOS Y VIDEO.**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES**

P R E S E N T A

ING. SANDRA LUZ GÓMEZ CORONEL

SEPTIEMBRE 2008



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

SIP-14

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México, D. F. siendo las 11:00 horas del día 19 del mes de Septiembre del 2008 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de E.S.I.ME. para examinar la tesis de titulada:

"ANÁLISIS DE DESEMPEÑO DE UNA RED MESH QUE TRANSMITE VOZ, DATOS Y VIDEO"

Presentada por el alumno:

SANDRA LUZ
Apellido paterno

GÓMEZ
Apellido materno

CORONEL
Nombre(s)

Con registro:

B	0	5	1	7	2	6
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

MAESTRIA EN CIENCIAS EN INGENIERIA DE TELECOMUNICACIONES

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Director de tesis

M. EN C. MARCO ANTONIO ACEVEDO MOSQUEDA

Presidente

DR. HÉCTOR OVIEDO GALDEANO

Segundo Vocal

M. EN C. SERGIO FUENLABRADA VELÁZQUEZ

Tercer Vocal

M. EN C. MIGUEL SÁNCHEZ MERAZ

Secretario

DR. JORGE ROBERTO SOSA PEDROZA

Sublente



EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. JAIME ROBLES GARCÍA

SECCION DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACION



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO**

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de México, D.F., el día 11 del mes de Septiembre del año 2008 el (la) que suscribe **Sandra Luz Gómez Coronel** alumno (a) del Programa de **Maestría en Ingeniería de Telecomunicaciones** con número de registro **B051726**, adscrito a la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la E.S.I.M.E. Unidad Zacatenco, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente Trabajo de Tesis bajo la dirección del M en C. Marco Antonio Acevedo Mosqueda y cede los derechos del trabajo intitulado: **Análisis de Desempeño de una Red Mesh que transmite Voz, Datos y Video**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines Académicos y de Investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, graficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: **sgomezc@ipn.mx**

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

SANDRA LUZ GÓMEZ CORONEL

Nombre y Firma

RESUMEN

Este trabajo tiene como finalidad presentar la evaluación de una red Mesh, que proporciona servicios de voz, datos y video. El propósito es determinar las ventajas que tiene utilizar este tipo de redes en ambientes que requieren que el usuario tenga movilidad y comunicación al mismo tiempo. Las redes Mesh permiten que el usuario se desplace a diferentes velocidades sin perder la comunicación.

La red empleada fue instalada en la zona del Instituto Politécnico Nacional, campus Zacatenco. La arquitectura utilizada para la implementación está constituida por dos Access points (AP's), dos routers inalámbricos (WR's), un equipo portátil, un equipo móvil y un centro de control. Este equipo fue proporcionado por la empresa Motorola. Se ubico a lo largo de la Av. Manuel de Anda Barredo, considerando una longitud total de 1200 metros aproximadamente.

Para poder llevar a cabo la evaluación de ésta se realizaron diferentes pruebas de transmisión de voz, datos y video con y sin la infraestructura de la red, entre los clientes y el centro de control. Así como también a diferentes velocidades alcanzando hasta los 95 km/h.

Estas pruebas sirvieron para determinar que este tipo de redes son factibles de implementarse en ambientes que requieren proporcionar un servicio con movilidad y que requieren que la comunicación este presente siempre. Es claro que la arquitectura dependerá de la zona, así como de los servicios a ofrecer y número de clientes por considerar.

ABSTRACT

This work is aimed to present the evaluation of a mesh network that offers data, voice and video services. The objective is to determine the advantages in using this kind of networks in environments where the user demands mobility and communication at the same time. Mesh networks allow the user to deploy at different speeds without loss of communication.

The used network was installed in the Zacatenco Campus of the Instituto Politecnico Nacional. The implemented architecture is constituted by two access points (AP's), two wireless routers (WR's), a portable equipment and a control center. This equipment was given by Motorola Company. The system was located along the Manuel De Anda Barredo avenue. An 1200 mts approximate total length was considered.

In order to carry on the evaluation of the system different voice, data and video transmission trials took place with and without the network infrastructure amongst the customers and the control center. Communication trials at different speeds up to 95 km/h also were considered.

Trials were useful in demonstrate that this type of networks are feasible to implement in environments where a mobile and continuous service is required. It is clear that the architecture of the network will depend on the geographic zone as well as the services to be offered and the number of potential customers.

OBJETIVOS

GENERAL

Evaluar el desempeño de una red Mesh que proporciona servicios móviles de voz, datos y video, instalada en el Instituto Politécnico Nacional.

ESPECÍFICOS

- Presentar la implementación del sistema para tener transmisiones móviles de voz, datos y video.
- Evaluar las capacidades de la red, sometiéndola a pruebas de comunicación: de voz entre los clientes y el centro de control, de video grabando y transmitiéndolo a lo largo de los recorridos realizados. De datos utilizando la herramienta iperf para hacer simulación de envío de paquetes.
- Determinar la tasa de datos máxima proporcionada por la red para la transmisión de los tres servicios. Así como la tasa mínima disponible proporcionada cuando se encuentra en el peor caso de comunicación.
- Establecer si las características del área bajo la cual se implementó influyen en el desempeño de la red.
- Determinar la factibilidad de instalar este tipo de redes para ambientes que requieren movilidad y prestación de los tres servicios.

JUSTIFICACIÓN

Actualmente el ser humano requiere tener comunicación y movilidad al mismo tiempo a través de diferentes dispositivos, sin importar el lugar en el que se encuentre. Las redes inalámbricas, son un buen instrumento para proporcionar comunicación y movilidad al mismo tiempo, permitiendo tener comunicaciones de voz, datos y video; y por lo tanto es común que cada vez más las aplicaciones de las redes inalámbricas sean para dar cobertura a edificios dedicados a empresas o a la educación, que en su mayoría incluyen espacios abiertos. Las soluciones que se ofrecen permiten a los usuarios conectarse a redes independientemente del lugar en el que se encuentren, permitiendo enlaces a diferentes distancias. No obstante, las constantes mejoras tecnológicas y la gran demanda de los usuarios, motivan el uso de otras tecnologías.

Las redes Mesh han ido cobrando importancia por las características que presentan, ya que ofrecen soluciones integrales con redes de comunicación inalámbrica de banda ancha para la transmisión de voz, datos y video, permitiendo soluciones atractivas sin la necesidad de cables, lo que desemboca en movilidad del usuario.

Es por esto, que para el diseño de un sistema que mitigue o perfeccione las comunicaciones en cualquier ambiente, es factible el uso de las redes Mesh; pues se asegura tener comunicaciones de voz, datos y video móviles y simultáneas. Sin embargo es importante evaluar sus capacidades y determinar de manera real los alcances que tiene. Es así, como se pretende determinar las ventajas y desventajas que ofrece de una red Mesh instalada en las instalaciones del Instituto Politécnico Nacional, campus Zacatenco.

CONTENIDO

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
OBJETIVOS	
GENERAL	III
ESPECÍFICOS	III
JUSTIFICACIÓN	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XVIII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1.	
REDES MESH	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Configuraciones	6
1. Estructura Punto a Punto (Peer to Peer P2P) o Modo Ad Hoc	6
2. Estructura en Infraestructura	7
1.3. Redes Mesh	8
1.3.1. Introducción	8
1.3.2. Antecedentes	9
1.3.3. Definición	9

1.3.4. IEEE 802.11s	11
a. Propuesta Wi-Mesh	11
b. Propuesta SEEmesh	11
1.3.5. Arquitectura de las Redes Mesh	13
1. Access Points (AP's)	13
2. Routers Inalámbricos (WR's)	14
3. Clientes	14
1.3.6. Bandas de Operación de las Redes Mesh	17
1.3.7. Características de las Redes Mesh	17
1.3.8. Redes Mesh Multicanal – un Radio	20
1.3.9. Capacidad de la Tasa de Datos Disponible	20
1.4. Proveedores de Equipo Mesh	22
REFERENCIAS	23
CAPÍTULO 2.	
IMPLEMENTACIÓN DE LA RED MESH	25
2.1. Designación del Área de Implementación	26
• Pérdidas de Propagación	33
• Interferencias	33
2.2. Banda de Operación Empleada	34
2.3. Arquitectura de la Red	34
2.3.1. Motorola	34
2.4. Sistema de Comunicación	36
2.4.1. Sistema de Comunicación CANOPY	36
2.5. Access Point Inteligente (IAP 6300)	41
2.6. Mobile Wireless Router (MWR 6300)	44

2.7.	Centro de Control MiSC (Mobile Internet Switching Controller)	47
2.8.	Clientes	53
2.8.1.	Modem Montado en Vehículo (Vehicle Mounted Modem “VMM 6300”)	53
2.8.2.	Cámara de Video	55
2.8.3.	Móvil	56
2.8.4.	Portátil	56
2.9.	Seguridad	56
2.10.	Servicios	58
2.10.1.	Voz	58
2.10.2.	Video	59
2.10.3.	Datos	59
	• Medición de la Tasa Disponible	59
	• Calidad del Enlace	62
2.11.	Asignación de Canal: Múltiples Canales – Un Radio	63
	REFERENCIAS	64

CAPÍTULO 3.

	MEDICIONES REALIZADAS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	65
3.1.	Mediciones de Calidad del Enlace y Tablas de Ruteo.....	66
	• Mediciones del Portátil considerando toda la arquitectura de la red	66
	• Mediciones del Móvil considerando únicamente la infraestructura de la red	80
	• Mediciones del Móvil considerando toda la arquitectura de la red	91
3.2.	Influencia de las Redes WiFi	99
3.3.	Tasa de Datos Disponible	107
3.3.1.	Medición de la Tasa de Datos Disponible y Número de Saltos efectuados por los Clientes	109

3.4. Comunicación Sin la Infraestructura de la Red	120
REFERENCIAS	122
CAPÍTULO 4.	
OTROS ESCENARIOS DE APLICACIÓN	123
4.1. Sistema de Transporte Colectivo Metro	123
4.2. Línea B “Buenavista – Ciudad Azteca”	125
REFERENCIAS	134
CONCLUSIONES	135
TRABAJO FUTURO	137
APÉNDICE: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	138
GLOSARIO	143
ANEXOS	145

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Estructura punto a punto	6
2.	Estructura en Infraestructura	7
3.	Configuración Básica de una Red Mesh	10
4.	Esquema típico de una Red Mesh	10
5.	Arquitectura de una red Mesh	15
6.	Tasa de Datos Disponible	21
7.	Proveedores de Equipo Mesh	22
8.	Zona designada para la instalación de la red: Campus Zacatenco	27
9.	Elementos que constituyen al Sistema Canopy	38
10.	Localización del Sistema Canopy	40
11.	IAP1 ubicado a la altura del edificio 2	42
12.	IAP2 ubicado a la altura del edificio 8	43
13.	MWR1 ubicado a la altura del edificio 4	45
14.	MWR2 ubicado a la altura del edificio 6	46
15.	Conexión de la red con el hub	50
16.	Distribución de los dispositivos en el campus Zacatenco	51
17.	Arquitectura de la red Mesh para el sistema propuesto	52
18.	VMM 6300	54

19.	Antena colocada sobre el vehículo como parte del VMM 6300	54
20.	Cámara AXIS dentro del Vehículo	55
21.	Pantalla de aplicación del TeamSpeak como Servidor	58
22.	Parámetros con los que se puede ejecutar la herramienta iperf	61
23.	Red Mesh Multicanal	63
24a.	Calidad del enlace del portátil ubicado en el edificio 2	67
24b.	Calidad del enlace del portátil ubicado entre los edificios 2 y 3	67
24c.	Calidad del enlace del portátil ubicado en el edificio 3	67
24d.	Calidad del enlace del portátil ubicado entre los edificios 3 y 4	67
24e.	Calidad del enlace del portátil ubicado en el edificio 4	68
24f.	Calidad del enlace del portátil ubicado entre los edificios 4 y 5	68
24g.	Calidad del enlace del portátil ubicado en el edificio 5	68
24h.	Calidad del enlace del portátil ubicado entre los edificios 5 y 6	68
24i.	Calidad del enlace del portátil ubicado en el edificio 6	69
24j.	Calidad del enlace del portátil ubicado entre los edificios 6 y 7	69
24k.	Calidad del enlace del portátil ubicado en el edificio 7	69
24l.	Calidad del enlace del portátil ubicado entre los edificios 7 y 8	69
24m.	Calidad del enlace del portátil ubicado en el edificio 8	70
24n.	Calidad del enlace del portátil ubicado entre los edificios 8 y 9	70
24o.	Calidad del enlace del portátil ubicado en el edificio 9	70
24p.	Calidad del enlace del portátil ubicado en el edificio 10	70

24q. Calidad del enlace del portátil ubicado entre los edificios 10 y 11	71
24r. Calidad del enlace del portátil ubicado en el edificio 11	71
24s. Calidad del enlace del portátil ubicado entre los edificios 11 y 12.....	71
24t. Calidad del enlace del portátil ubicado en el edificio 12	71
25a. Tabla de ruteo del portátil ubicado en el edificio 2	73
25b. Tabla de ruteo del portátil ubicado entre los edificios 2 y 3	73
25c. Tabla de ruteo del portátil ubicado en el edificio 3	73
25d. Tabla de ruteo del portátil ubicado entre los edificios 3 y 4	73
25e. Tabla de ruteo del portátil ubicado en el edificio 4	74
25f. Tabla de ruteo del portátil ubicado entre los edificios 4 y 5	74
25g. Tabla de ruteo del portátil ubicado en el edificio 5	74
25h. Tabla de ruteo del portátil ubicado entre los edificios 5 y 6	74
25i. Tabla de ruteo del portátil ubicado en el edificio 6	75
25j. Tabla de ruteo del portátil ubicado entre los edificios 6 y 7	75
25k. Tabla de ruteo del portátil ubicado en el edificio 7	75
25l. Tabla de ruteo del portátil ubicado entre los edificios 7 y 8	75
25m. Tabla de ruteo del portátil ubicado en el edificio 8	76
25n. Tabla de ruteo del portátil ubicado entre los edificios 8 y 9	76
25o. Tabla de ruteo del portátil ubicado en el edificio 9	76
25p. Tabla de ruteo del portátil ubicado en el edificio 10	76
25q. Tabla de ruteo del portátil ubicado entre los edificios 10 y 11	77

25r. Tabla de ruteo del portátil ubicado en el edificio 11	77
25s. Tabla de ruteo del portátil ubicado entre los edificios 11 y 12	77
25t. Tabla de ruteo del portátil ubicado en el edificio 12	77
26a. Calidad del enlace del móvil ubicado en el edificio 2	80
26b. Calidad del enlace del móvil ubicado entre los edificios 2 y 3	80
26c. Calidad del enlace del móvil ubicado en el edificio 3	80
26d. Calidad del enlace del móvil ubicado entre los edificios 3 y 4	80
26e. Calidad del enlace del móvil ubicado en el edificio 4	81
26f. Calidad del enlace del móvil ubicado entre los edificios 4 y 5	81
26g. Calidad del enlace del móvil ubicado en el edificio 5	81
26h. Calidad del enlace del móvil ubicado entre los edificios 5 y 6	81
26i. Calidad del enlace del móvil ubicado en el edificio 6	82
26j. Calidad del enlace del móvil ubicado entre los edificios 6 y 7	82
26k. Calidad del enlace del móvil ubicado en el edificio 7	82
26l. Calidad del enlace del móvil ubicado entre los edificios 7 y 8	82
26m. Calidad del enlace del móvil ubicado en el edificio 8	83
26n. Calidad del enlace del móvil ubicado entre los edificios 8 y 9	83
26o. Calidad del enlace del móvil ubicado en el edificio 9	83
26p. Calidad del enlace del móvil ubicado en el edificio 10	83
26q. Calidad del enlace del móvil ubicado entre los edificios 10 y 11	84
26r. Calidad del enlace del móvil ubicado en el edificio 11	84

26s. Calidad del enlace del móvil ubicado entre los edificios 11 y 12.....	84
26t. Calidad del enlace del móvil ubicado en el edificio 12	84
27a. Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 2	85
27b. Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 2 y 3	85
27c. Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 3	85
27d. Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 3 y 4	85
27e. Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 4	86
27f. Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 4 y 5	86
27g. Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 5	86
27h. Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 5 y 6	86
27i. Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 6	87
27j. Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 6 y 7	87
27k. Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 7	87
27l. Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 7 y 8	87
27m. Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 8	88
27n. Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 8 y 9	88
27o. Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 9	88
27p. Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 10	88
27q. Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 10 y 11	89
27r. Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 11	89
27s. Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 11 y 12	89
27t. Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 12	89

28a. Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 2	91
28b. Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 2 y 3	91
28c. Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 3	92
28d. Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 3 y 4	92
28e. Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 4	92
28f. Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 4 y 5	92
28g. Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 5	93
28h. Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 5 y 6	93
28i. Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 6	93
28j. Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 6 y 7	93
28k. Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 7	94
28l. Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 7 y 8	94
28m. Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 8	94
28n. Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 8 y 9	94
28o. Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 9	95
28p. Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 10	95
28q. Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 10 y 11	95
28r. Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 11	95
28s. Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 11 y 12	96
28t. Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 12	96

29a. Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi ubicadas en el Edificio 2 y la red Mesh	99
29b. Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi, ubicadas entre los Edificios 2 y 3, y la red Mesh	99
29c. Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi ubicadas en el Edificio 3 y la red Mesh	100
29d. Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi, ubicadas entre los Edificios 3 y 4, y la red Mesh	100
29e. Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi ubicadas en el Edificio 4 y la red Mesh	100
29f. Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi, ubicadas entre los Edificios 4 y 5, y la red Mesh	100
29g. Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi ubicadas en el Edificio 5 y la red Mesh	101
29h. Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi, ubicadas entre los Edificios 5 y 6, y la red Mesh	101
29i. Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi ubicadas en el Edificio 6 y la red Mesh	101
29j. Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi, ubicadas entre los Edificios 6 y 7, y la red Mesh	101
29k. Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi ubicadas en el Edificio 7 y la red Mesh	102
29l. Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi, ubicadas entre los Edificios 7 y 8, y la red Mesh	102
29m. Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi ubicadas en el Edificio 8 y la red Mesh	102
29n. Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi, ubicadas entre los Edificios 8 y 9, y la red Mesh	102

29o. Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi ubicadas en el Edificio 9 y la red Mesh	103
29p. Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi ubicadas en el Edificio 10 y la red Mesh	103
29q. Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi, ubicadas entre los Edificios 10 y 11, y la red Mesh	103
29r. Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi ubicadas en el Edificio 11 y la red Mesh	103
29s. Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi, ubicadas entre los Edificios 11 y 12, y la red Mesh	104
29t. Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi ubicadas en el Edificio 12 y la red Mesh	104
30. Reducción de la Tasa Disponible dependiendo de los Saltos	109
31. Reducción de la Tasa de Datos disponible como consecuencia de compartir el mismo elemento de red	113
32. Tasa de Datos Disponible para móvil y portátil con dos saltos	115
33. Recorrido completo del Móvil con velocidad promedio de 90 km/h.....	117
34. Prueba de comunicación sin la infraestructura de la red	120
35. Trayectoria de la línea B (Buenavista – Ciudad Azteca)	127
36. Trayecto comprendido entre las estaciones San Lázaro – Morelos	128
37. Puntos de ubicación de los elementos de red.....	132
38. Esquema general del Sistema Propuesto sobre la línea B del metro .	133

i.	Estatus del IAP1	139
ii.	Estatus del IAP2	139
iii.	Estatus del MWR1	140
iv.	Estatus del MWR2	140

ÍNDICE DE TABLAS

1.	Regulación de canales y frecuencias	28
2.	Nivel de potencia y sensibilidad de receptores WiFi de diferentes proveedores	29
3.	Nivel de Señal de las Redes detectadas del Edificio 2 al 8, campus Zacatenco	31
4.	Nivel de Señal de las Redes detectadas del Edificio 8 - 9 al 12, campus Zacatenco	32
5.	Relación distancia y burst rate	35
6.	Información del Sistema Canopy 1: Local 1	39
7.	Información del Sistema Canopy 1: Remoto 1	39
8.	Información del Sistema Canopy 2: Local 2	39
9.	Información del Sistema Canopy 2: Remoto 2	40
10.	Configuración del IAP1 colocado en el edificio 2	42
11.	Configuración del IAP2 colocado en el edificio 8	43
12.	Configuración del MWR1 colocado en el edificio 4	45
13.	Configuración del MWR2 colocado en el edificio 6	46
14.	Características de MiSC	48
15.	IP y MAC Address de cada elemento que conforma la red Mesh	57
16.	Comandos para la configuración del iperf	60
17.	Canales empleados por la red Mesh y las redes WiFi	105
18.	Datos reportados por la simulación del iperf en el punto del edificio 2 y el throughput calculado	114

19.	Datos reportados por la simulación del iperf en el punto del edificio 4 para el móvil y el portátil	116
20.	Datos reportados por la simulación del iperf para el móvil hasta el segundo 60	118
21.	Datos reportados por la simulación del iperf para el móvil hasta el segundo 120	119
22.	Mediciones a lo largo del andén que une a la estación San Lázaro con Morelos	130
23.	Mediciones a lo largo del andén que une a la estación San Lázaro con Morelos	131
a.	Características Técnicas del IAP 6300	138
b.	Características Técnicas del MWR 6300	138
c.	Características técnicas de la WMC 6300	141
d.	Características técnicas de la cámara	141
e.	Características técnicas de la WMC 6300	142

INTRODUCCIÓN

Hoy en día es más clara la necesidad de los individuos de tener comunicación al mismo tiempo que se desplazan, sin importar al lugar al que vayan. Las comunicaciones inalámbricas, que han estado durante décadas a nuestro alrededor, y que a medida que el mundo cambia han surgido más novedades en este campo, constituyen una eficaz y poderosa herramienta que permiten la transferencia de voz, datos y video, sin la necesidad de utilizar cables para establecer la conexión.

Unas redes que presentan diferentes características y ventajas, son las redes MESH. Uno de los aspectos que determinan su importancia es que su cobertura se extiende al alcance de toda la comunidad, sin importar en donde se encuentre el usuario, además de que tiene una amplia gama de aplicaciones como son: en la industria, el gobierno, el transporte y la seguridad pública.

El presente trabajo propone la evaluación de una red Mesh que permite tener comunicaciones de voz, datos y video. Se caracteriza por proporcionar los servicios de manera independiente y simultánea entre diferentes usuarios, además de las ventajas que tienen, como sus tolerancias a fallos.

El propósito es mostrar que este tipo de redes pueden ser aplicadas en ambientes que requieran perfeccionar el servicio ofrecido al público o simplemente proporcionar comunicaciones, facilitándolas y mitigando algunos problemas de intercambio de información que se tienen en la actualidad. La zona designada para la implementación y realización de las pruebas para determinar la confiabilidad de la red, fueron las instalaciones del Instituto Politécnico Nacional, campus Zacatenco.

El desarrollo del trabajo se divide en 4 capítulos a través de los cuales se describe el procedimiento que se llevo a cabo para la instalación de la red y su evaluación.

En el capítulo 1 se desglosa la teoría de las redes MESH, exponiendo sus características, ventajas, desventajas y aspectos principales, y así mostrar el por qué utilizar esta tecnología.

En el Capítulo 2 se presenta la implementación de la red dentro del Instituto Politécnico Nacional. Se presentan las condiciones bajo las cuales se desarrollo la instalación y puesta en marcha. Se detalla la arquitectura empleada a utilizar y configuración de cada uno de los dispositivos y herramientas empleadas para su evaluación.

Lo importante de implementar una red es que ésta proporcione servicios confiables y seguros, además de que la tasa de datos con la que los proporcione sea más que la suficiente para no perder la comunicación. Por lo tanto, para llevar a cabo la evaluación de la red propuesta se hicieron diferentes pruebas de comunicación entre los clientes. Además se determinó la tasa de datos disponible por cada uno de los clientes, simulando envío de paquetes utilizando la herramienta iperf. Al mismo tiempo se tenía la calidad del enlace de cada uno de ellos. Todos estos elementos, así como sus respectivos resultados se muestran en el capítulo 3.

Finalmente se determina la factibilidad de instalar este tipo de redes en ambientes en los cuales sea difícil de instalar una red cableada, y en las que se requiera tener movilidad y comunicación constante. Aspectos que las redes WLAN actuales no proporcionan en su totalidad. De forma específica se presenta el ambiente sobre la línea B del Sistema de Transporte Colectivo Metro (STC), que corre de Cd. Azteca a Buenavista. Ya que, el sistema de radio troncalizado con el que cuenta actualmente no satisface todos los requerimientos de seguridad, confiabilidad y comunicación para ofrecer un servicio de calidad al usuario. Se hace un análisis de esta línea para determinar servicios a cubrir, arquitectura a emplear y ubicación de la misma.

CAPÍTULO 1. REDES MESH

1.1. ANTECEDENTES

Con los avances científico-tecnológicos se ha producido una revolución en el sector de las Telecomunicaciones. Las redes de comunicación y la computación distribuida ya es una realidad, las personas y las empresas hoy en día requieren compartir información digital en tiempo real. Las comunicaciones, las computadoras y los consumidores de la industria electrónica se han unido rápidamente, dando como resultado la creación de productos y servicios que permitan a la gente establecer enlaces e intercambio de información sin utilizar cables. Es por este motivo que el acceso de banda ancha inalámbrico y las comunicaciones móviles resultan uno de los asuntos primordiales en la actualidad.

El mercado de las comunicaciones inalámbricas o redes inalámbricas (WLAN) ha crecido enormemente. La tecnología inalámbrica es capaz de llegar a cualquier lugar del mundo, ofreciendo buenos servicios a costos cada vez más reducidos, ya que son una alternativa válida en entornos donde sea imposible realizar el cableado, o bien sea muy caro. También son entornos propicios, aquellos que estén sujetos a cambios de topología. Una de las principales características que otorgan es acceso a la red en cualquier momento y en cualquier lugar.

Las WLAN representan un sistema de comunicación que se establece a través del uso de tecnología de radiofrecuencia (RF). Usa el espectro electromagnético en forma de radio para tener comunicaciones [1]. Se diseña con el objeto de transmitir y recibir datos sobre el aire.

Las distintas tecnologías WLAN son estandarizadas por el Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE) [2], bajo el grupo de trabajo de la norma 802.11 de WLAN's, que se divide en diferentes estándares que se identifican por medio de letras a/b/g.

Los distintos estándares que componen la familia 802.11 se describen a continuación.

- 802.11

Es el estándar original que como máxima tasa de datos que alcanza es de 2 Mbps. Trabaja en la banda de operación de 2.4 GHz que es una banda no licenciada reservada para la industria, la ciencia y medicina (ISM " Industrial, Scientific and Medical ") a nivel mundial.

- 802.11a

Este estándar alcanza una velocidad de 54 Mbps en la banda de 5 GHz denomina UNII (Infraestructura de Información Nacional sin Licencia). Tiene la ventaja de que esta menos congestionada y con menos interferencias, pero tiene un alcance limitado de 50 metros. Además al trabajar con una mayor frecuencia tiene mayor dificultad para atravesar muros y objetos. Sin embargo es incompatible con los productos de 802.11b, debido a que no utilizan el mismo rango de frecuencias.

- 802.11b

Es conocido como el principal estándar de las redes inalámbricas, algunas veces denominado WiFi. Trabaja en la banda de operación de 2.4 GHz y cuenta con una tasa de transmisión de datos desde 5 hasta 11 Mbps. Este estándar trabaja con niveles de potencia emitida aproximados a los 100 mW.

Presenta algunas desventajas como la falta de calidad en el servicio además de la masificación de la banda, es decir, en 2.4 GHz funcionan teléfonos, teclados y mouse inalámbricos, dispositivos de Bluetooth, entre otros, que son fuentes de interferencias.

Sin embargo a pesar de estas desventajas es el estándar con mayor aceptación y distribución, ya que sus productos fueron los primeros en proporcionar una velocidad aceptable, a bajo costo y con compatibilidad universal al ser certificados por la WiFi Alliance.

- 802.11g

Este estándar es capaz de transmitir velocidades de hasta 54 Mbps. Es totalmente compatible con los dispositivos de 802.11b ya que utiliza la misma banda de operación.

Debido a la creación de estos estándares, algunos proveedores de soluciones inalámbricas con el fin de evitar confusión y descoordinación en los fabricantes crearon una asociación conocida como WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance) [3], [4]. Así certifica la interoperabilidad entre diferentes equipos según la norma IEEE 802.11b bajo la marca WiFi (Wireless Fidelity), como se menciona.

Sin embargo, aunque con las WLAN se ha mejorado el manejo de información, presentan algunas desventajas tales como: cobertura y movilidad limitada. Debido a ello se ha buscado su mejora a través de nuevas y mejores aplicaciones, como por ejemplo los conocidos despliegues WiFi [4]; así como el desarrollo de nuevas técnicas con el fin de mejorar la escalabilidad y desempeño de las redes inalámbricas.

1.2. CONFIGURACIONES

De manera general los dispositivos bajo 802.11 a/b/g, pueden operar en dos configuraciones [3], [5] conocidos como:

1. Punto a punto (peer to peer P2P) o modo Ad Hoc
2. Infraestructura

1. ESTRUCTURA PUNTO A PUNTO (PEER TO PEER P2P) O MODO AD HOC

Las redes punto a punto, básicamente se refieren a aquellas que no tiene clientes y servidores fijos, sino una serie de nodos que se comportan a la vez como clientes y como servidores de los demás nodos de la red. Así, todos los nodos se comportan igual y pueden realizar el mismo tipo de operaciones.

En aspectos generales, se entiende que es una red dentro de la cual los nodos se comunican entre ellos como iguales, cada uno de ellos es responsable de hacer que sus recursos estén disponibles para los demás elementos que constituyen a la red [6].

En este tipo de estructura cada nodo puede comunicarse directamente con otro nodo, asumiendo que se encuentran en el mismo rango de transmisión, y sin intervención de ningún Access Point, como se muestra en la figura 1.



Figura 1. Estructura punto a punto

Es una configuración sencilla de implementar y fácil de administrar, ya que los únicos elementos necesarios son los distintos dispositivos (PC's, teléfonos móviles, PDA, etc.), equipados con su correspondiente adaptador WiFi. Sin embargo, es claro que la comunicación está limitada a la comunicación entre los dos nodos. Por lo tanto esto no permite tener comunicaciones simultáneas, y por ende entre diversos elementos de red.

2. ESTRUCTURA EN INFRAESTRUCTURA

En esta configuración, todo el tráfico fluye a través de un Access Point (AP), ya que representa un mecanismo central de control, esto es, actúa como un puente con dos puertos, en donde uno de ellos permite que se tenga conexión a la red inalámbrica y el otro puerto representa el transmisor/receptor (Tx/Rx), como se observa en la figura 2.

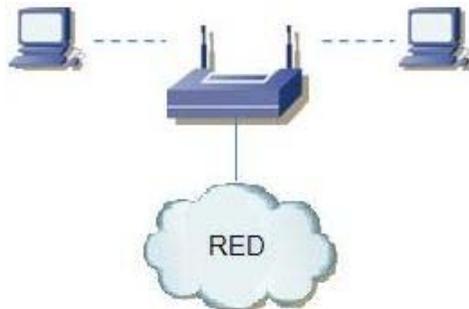


Figura 2. Estructura en Infraestructura

Es claro que este AP sirve para extender el alcance de la red existente ya que funciona como repetidor de las estaciones móviles localizadas dentro del área geográfica de la red. Un único AP puede soportar desde un pequeño grupo de usuarios, del orden de 8 a 16, hasta unos 250 dispositivos, dependiendo del fabricante, y puede funcionar en un rango de al menos 25 m y hasta varios cientos de metros. Esta es la estructura más común de una red WiFi. El usuario una vez conectado a un AP, puede moverse libremente por las zonas en las que haya cobertura y, en su movimiento, cambiará de AP según las necesidades, de manera que se mantenga una conexión a la red en condiciones óptimas [3].

Así, en una red inalámbrica de infraestructura dos nodos se pueden comunicar entre ellos, utilizando al AP como transmisor, es decir, transmiten los datos hacia él y éste se encarga de regenerar la información. Pero, debido a que el AP funciona como una estación repetidora, si presenta alguna falla o algún nodo está fuera de rango, la comunicación también se interrumpirá como en las redes punto a punto. No obstante, los nodos pueden ser modificados para retransmitir la información, agrupar una secuencia de transmisiones punto a punto para así obtener una estructura Mesh.

1.3 REDES MESH

1.3.1. INTRODUCCIÓN.

Una de las tecnologías que se ha ido desarrollando con el propósito de proveer calidad en el servicio [7], seguridad y robustez es la de las redes Mesh, también conocidas como redes en Malla.

En los últimos años han cobrado mayor atención e importancia en el área de las redes inalámbricas pues han marcado la diferencia entre los sistemas centralizados inalámbricos, como por ejemplo en las redes celulares y las redes de área local (LAN) [8]. Surgen como un complemento para el acceso a infraestructuras de banda ancha [9], ya que extienden el acceso a las redes inalámbricas de áreas locales (WLAN), enlazando una red WiFi con otra, con el objeto de unir varias formando una "malla". Proporcionan mayor cobertura y movilidad, fácil implementación, bajo costo, bajo consumo de energía básicamente y en su intrínseca tolerancia a fallas en contra de la capacidad de la red. De esta manera se rompe con la limitación al crecimiento impuesto por las topologías tradicionales. Son aplicables a cualquier ambiente, tales como: acceso a Internet de banda ancha, oficinas, campus universitarios, redes comunitarias, hogares, etc.

Al igual que las demás soluciones inalámbricas, presentan una inconveniencia que es la falta de estandarización tecnológica, que dificulta sobremanera la interoperabilidad entre equipos de diferentes proveedores. A este respecto se está trabajando en la estandarización de la IEEE 802.11s [10], [11], la cual pretende establecer funciones comunes a todos y así garantizar la interoperabilidad entre los proveedores de equipos de las redes Mesh.

Es claro que éste no es un inconveniente que limite la confiabilidad y operabilidad de la tecnología y que por lo tanto no indica que sea una mala solución para los problemas y nuevas necesidades de comunicación presentes.

1.3.2. ANTECEDENTES.

Tienen su origen en aplicaciones militares, esto con el fin de permitir a los soldados tener comunicación confiable de banda ancha en cualquier lugar; sin tener que instalar grandes equipos, tales como torres o antenas. De esta forma el equipo de cada usuario se conectaba a la red, contribuyendo a la formación de una malla de unidades de radio que automáticamente extendían el área de cobertura, conforme se unían nuevos usuarios a la misma. Es así como la confiabilidad y robustez que se requería en el entorno militar, se pasa hacia al entorno civil.

Las redes MESH, básicamente mezclan las dos topologías de las redes inalámbricas [5], [8]: punto a punto e infraestructura. Es decir, que permiten unirse a la red, a dispositivos que a pesar de estar fuera del rango de cobertura de los Access Point (AP) están dentro del rango de cobertura de algún transmisor (Tx), que directa o indirectamente está dentro del área de cobertura del AP. También permiten que los Tx's se comuniquen independientemente del AP entre sí, esto es, cada nodo funciona como repetidor.

Se puede decir que las redes Mesh, son una combinación de las redes WiFi, con redes celulares, ya que proporcionan una tasa de datos considerable para transmitir voz, datos y video, es decir son redes de banda ancha, con movilidad, e inclusive a velocidades altas.

1.3.3. DEFINICIÓN.

Se puede definir una red mesh inalámbrica de la siguiente forma:

“Una red MESH inalámbrica representa una serie de transmisiones punto a punto donde cada nodo funciona como un router y repetidor”.

Una estructura mesh representa un sistema multisaltos en la cual cada nodo ayuda a los demás a transmitir información a través de la red. Cada nodo funciona como un router transmitiendo la información de sus vecinos. En este proceso, la información puede ser reenviada, a través de nodos intermedios, a su destino.

Para una mejor ilustración en la figura 3 se observa la configuración básica de una red mesh, utilizando únicamente computadoras. Mientras que en la figura 4, se muestra un esquema típico de una red Mesh.

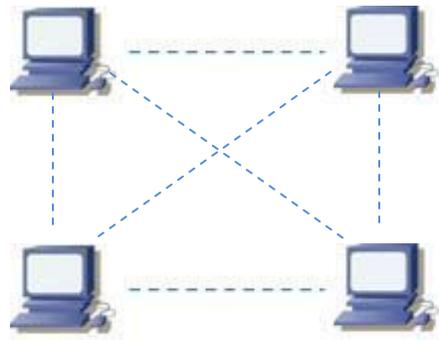


Figura 3. Configuración Básica de una Red Mesh



Figura 4. Esquema típico de una Red Mesh

En esta figura se puede observar que se pueden tener diferentes servicios y clientes y la aplicación puede ser en cualquier ámbito.

1.3.4. IEEE 802.11s [13]

El IEEE creó un grupo de trabajo para determinar el modo de operar de las redes Mesh. Como tal aún no se ha definido el estándar, solo se tienen borradores en los que se define la arquitectura de la red y el protocolo necesario, a partir de las especificaciones 802.11 con el objetivo de crear una topología de red auto-configurable que soporte la transmisión broadcast, multicast y unicast, manteniendo un throughput dentro de un margen tolerable para la transmisión de voz con requerimientos de tiempo real y datos con requerimientos de anchos de banda elevados.

Se inicio con dos propuestas principales para el diseño del estándar, las cuales son [13]:

a. Propuesta Wi-Mesh [15]

Organizada por el grupo WiMA "Wi-Mesh Alliance", constituido por diferentes empresas como: Nortel, Philips, Accton, ComNets, InterDigital, NextHop, Extreme Networks, Laboratorio de Investigación de la Marina Estadounidense, Swisscom Innovations y Thomson. Su propuesta se basa en permitir a los usuarios de tecnología inalámbrica tener comunicaciones con independencia de las aplicaciones de los procesos de traspaso de coberturas de radio, es decir, que permita la mejor relación entre la simplicidad y rendimiento.

b. Propuesta SEEmesh

Constituida por diferentes organizaciones tales como: Firetide Networks, Intel, Nokia, Motorola, NTT DoCoMo y Texas Instruments. La propuesta se basa en la introducción de "Mesh Portals", que son dispositivos que mejoran la interoperabilidad de las redes Mesh ´permitiendo que cualquier equipo estándar inalámbrico, anterior a IEEE 802.11s pueda ser reconocido e incorporado a una red Mesh.

En el desarrollo del estándar, ambas propuestas se fusionaron. La propuesta obtenida fue presentada y fue la base del borrador IEEE 802.11s D1.0 producido en noviembre del año 2006. [15]

La especificación ofrece flexibilidad para satisfacer a todos los modelos de uso contenidos en los entornos de oficina, campus, seguridad pública y militares, definiendo la subcapa MAC, el enrutamiento, seguridad e interacción de capas altas. Soporta plataformas de un solo radio y múltiples radios.

Hoy en día no se concluyen con los trabajos que de manera definitiva indiquen los parámetros de la especificación. Sin embargo si es claro que la redacción del mismo está orientado a dotar a la multitud de puntos de acceso aislados existentes en viviendas y oficinas la capacidad de conectarse con nodos exteriores pertenecientes a una red Mesh existente. Otra ventaja añadida consiste en que se mejorará la ocupación del espectro radioeléctrico urbano al conectarse el cliente a su propio AP, y no directamente al nodo exterior. Por último, se pondrá especial énfasis en que 802.11s recoja las mejoras en cuanto a tasa binaria, calidad de servicio y seguridad que se incorporen en 802.11n, 802.11e y 802.11i, respectivamente.

1.3.5. ARQUITECTURA DE LAS REDES MESH

Para el diseño de cualquier tipo de red, se debe de tener una arquitectura básica que soporte el esquema planteado. Tal arquitectura depende del tipo de red, así como de los servicios a ofrecer, necesidades a cubrir y cantidad de clientes que soportará.

Las redes Mesh se caracterizan por requerir una arquitectura sencilla con pocos elementos de red, y proporcionar la gran ventaja de que los elementos finales sirven como repetidores. Es así como el equipo por el que se constituye el sistema general no es complejo.

La arquitectura básica que constituye a este tipo de redes está compuesta por: Access Points, Routers Inalámbricos y Clientes [5].

1. ACCESS POINTS (AP'S)

- **Generalidades.**

El funcionamiento de un Access Point (Punto de acceso) se basa en administrar la información de la comunicación que fluye por todo el sistema. Estos dispositivos se conectan a un punto central que es el que administra la comunicación, es decir, son el puente que sirve de comunicación entre la red inalámbrica y la red alámbrica.

- **Access Points Inteligentes (IAP's)**

En un ambiente Mesh un Access Point proporciona un nivel de funcionalidad similar que un AP empleado en un ambiente LAN convencional. Opera en la capa de Control de Acceso al Medio (MAC). Emplea el direccionamiento MAC como un criterio de decisión para enviar o filtrar datos entre la red alámbrica e inalámbrica.

2. ROUTERS INALÁMBRICOS (WR'S)

- **Generalidades**

Los routers encaminan paquetes de información hasta la estación destino utilizando el nivel de red del modelo OSI. Proporcionan la selección de rutas basándose en parámetros tales como: estado de congestión y distancia entre nodos, de forma tal que se pueden aplicar diferentes políticas según los requerimientos específicos de cada aplicación [16]. No obstante todos ejecutan funciones similares:

- Elección del camino más adecuado
- Disponen de mecanismos para el control de flujo
- Unen redes heterogéneas

- **Routers Inalámbricos (WR's)**

Los WR's, dentro de las redes Mesh, permiten ampliar la cobertura de los AP's y no requieren comunicación directa con el punto central. Esto es, son los elementos que permiten ampliar la red asegurando suficiente cobertura conforme va creciendo. En un ambiente inalámbrico incluyen el uso de un algoritmo de asignación de ruta del móvil, el cual es reforzado por un algoritmo de corrección de errores.

3. CLIENTES

- **Generalidades**

Un cliente es un nodo que solicita servicios de un servidor o dispositivo.

- **Clientes Mesh**

Los clientes de las redes Mesh se caracterizan por ser fijos o móviles, además de que no son elementos finales ya que sirven como punto de repetición. Entre ellos pueden formar su propia red, sin tener que utilizar la infraestructura para tener comunicación. Los dispositivos que pueden funcionar como clientes son: cámaras, computadoras, celulares, PDA's, etc. Algunos de ellos requieren de elementos adicionales para tener acceso a la red, como tarjetas inalámbricas.

Es claro que la arquitectura es sencilla y que el número de elementos que la conforme dependerá exclusivamente de los servicios que otorgue la red. Existen diferentes proveedores (marcas) que ofrecen diferentes productos para el diseño de estas redes.

La figura 5 muestra un esquema completo de la arquitectura de la red Mesh.

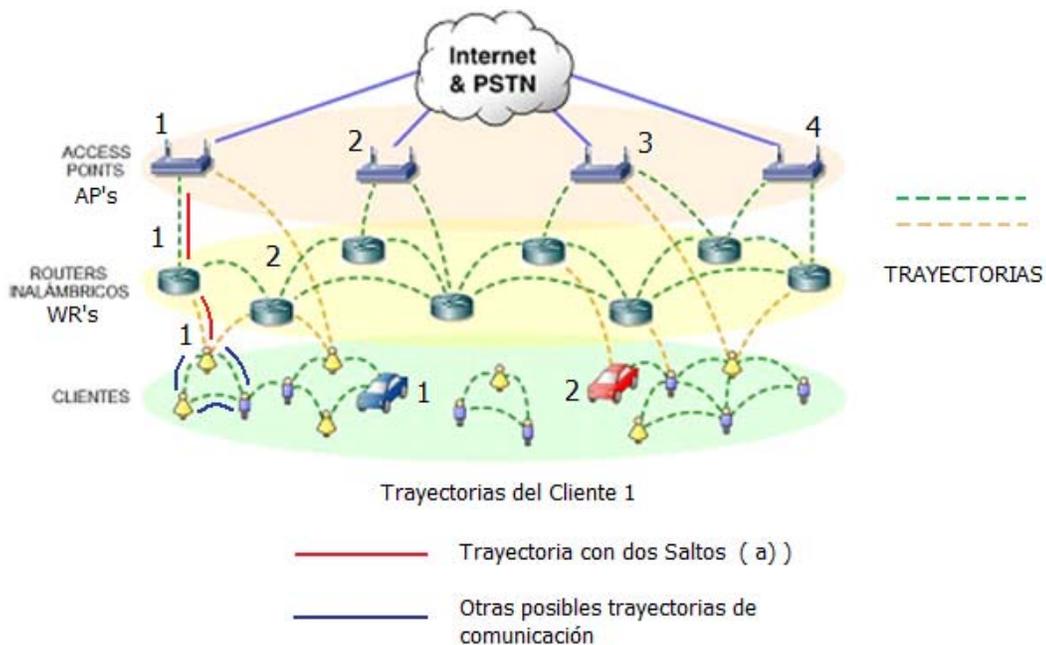


Figura 5. Arquitectura de una red Mesh.

Esta figura permite visualizar las diferentes ventajas que tienen las redes Mesh. A continuación se hace una descripción de las diferentes formas de comunicación.

- El cliente 1 puede tener acceso a la red a través de diferentes caminos. En la trayectoria más corta a) tiene que realizar 2 saltos o brincos para poder comunicarse. Si algún elemento por el cual se está conectando falla, no perderá acceso a la red, ya que puede utilizar cualquiera de los otros 3 caminos restantes que tiene. Así mismo, cada elemento de red también tiene varias opciones de conexión y no están limitados a una comunicación directa a un solo elemento de red.
- Para el resto de la arquitectura sucede lo mismo. Por ejemplo, el WR1 tiene acceso a la red de forma directa, a través del Access Point (AP1). No requiere de pasar por otros elementos para conectarse a este AP1. Si sucede que este AP1 falla, el WR1 podrá conectarse al WR2 que tiene diferentes opciones de comunicación.
- Las ventajas que se han descrito son útiles para los equipos móviles. Como se puede observar en la figura, cualquiera de los dos móviles se puede desplazar y conforme vayan avanzando se irán conectando a diferentes routers inalámbricos para no perder las comunicaciones. En su defecto puede tener comunicación directa con un Access Point, como el móvil 2 de la figura. La velocidad de desplazamiento puede llegar hasta los 100 km/h.
- Finalmente se puede observar que los clientes pueden tener comunicación formando su propia red. Si los clientes quedarán fuera del área de cobertura no perderían comunicación, pues tienen la ventaja de que entre ellos crean su propia estructura y pueden mantener las comunicaciones, extendiendo el área de cobertura.

1.3.6. BANDAS DE OPERACIÓN DE LAS REDES MESH

Una de las características principales de las redes Mesh es que pueden trabajar en dos bandas de frecuencias, con la particularidad de que las frecuencias son reutilizables. Estas bandas de operación son:

- Banda 2.4 GHz
- Banda 4.9 GHz

Las redes LAN inalámbricas (WLAN´s) emplean las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz, como se menciono.

Para el diseño y evaluación de la red se considera el uso de la banda de 2.4 GHz, por la ventaja de ser libre.

1.3.7. CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES MESH

Estas redes presentan grandes ventajas sobre las configuraciones típicas, es por ello la consideración de emplearlas para el diseño de un sistema que ofrezca diferentes servicios. Son capaces de suplir las carencias presentes en las redes celulares y en los despliegues de WMAN.

A continuación se enlista las características más sobresalientes, mostrando ventajas y desventajas.

1. FIABILIDAD

La comunicación entre un nodo y otro puede ir más allá del área de cobertura de cualquier nodo individual, esto se lleva a cabo haciendo un enrutamiento multisaltos, en donde cualquier par de nodos que deseen comunicarse podrán utilizar para ello, otros nodos intermedios que se encuentren en el camino. Así mismo, los datos se pueden enviar cada vez por un nodo distinto, saltando varias y diferentes veces hasta llegar al servidor.

Como los nodos pueden entrar y salir de la malla, cada uno de ellos debe ser capaz de cambiar dinámicamente su ruta de transmisión tomando como referencia a sus vecinos. Es así como se refuerza la fiabilidad, porque la caída de un enlace debido a interferencias, el movimiento de un vehículo entre la fuente y el destino, resultara en datos enviados a través de un enlace alternativo.

2. AUTO-CONFIGURABLES

Debido a que los nodos aprenden de sus vecinos y de otros las trayectorias no es necesario configurar cada uno. Esto beneficia en una reducción de la administración de la red, así como su fácil despliegue.

3. TOLERANTE A FALLAS

Como los nodos aprenden dinámicamente de sus vecinos, así como enlazarse a otros, existe una compensación para la falla o eliminación de uno de ellos, es decir, el hecho de que un nodo deje de funcionar, no implica que la red también falle, por el contrario el sistema seguirá funcionando.

4. ESCALABILIDAD

De las ventajas anteriores, se puede notar que se puede extender el área de cobertura agregando y ubicando solamente nuevos nodos en áreas apropiadas que permitan comunicarse con los nodos existentes. De esta forma se tiene un crecimiento modular, ya que al agregar nodos al sistema no es necesario modificar la estructura básica ya instalada.

5. COMUNICACIONES SIMULTÁNEAS

Existe comunicación entre suscriptores, y entre los suscriptores y el centro de control, y pueden soportar de manera paralela datos, voz y aplicaciones de video.

6. BAJO COSTO

Es un sistema que para su puesta en marcha y operación requiere bajo de costo debido a que no necesita una administración central ni configuración manual de los nodos como las redes convencionales.

7. SEGURIDAD

El hecho de utilizar la banda de 2.4 GHz, implica que sea un sistema abierto, y que entonces se traduzca en sistema inseguro, ya que es claro que pueden existir situaciones en las que personas puedan tener acceso a la información. Sin embargo esto es imposible, pues para que un dispositivo tenga acceso al sistema debe ser previamente dado de alta, y de esta forma sea reconocido, de lo contrario no podrá ingresar a él, y por ende a la información que se tenga. Además se tiene la posibilidad de encriptar la información, aunque en este trabajo no se utiliza esta opción.

1.3.8. REDES MESH MULTICANAL – UN RADIO

Las redes multicanal ofrecen la ventaja de que cada dispositivo puede ocupar un canal diferente para tener comunicaciones. Sin embargo, una limitación es que si los dispositivos inalámbricos emplean un solo radio, operaran en modo half dúplex. Esto indica, que no pueden transmitir ni recibir al mismo tiempo, lo que tiene como consecuencia reducción en la tasa de datos [7], [8], pero no afecta la efectividad del sistema.

Para evitar este tipo de inconvenientes y obtener un sistema full dúplex se tiene la asignación de canal con múltiples radios.

Para este diseño se utiliza: Multicanal - un radio.

1.3.9. CAPACIDAD DE LA TASA DE DATOS DISPONIBLE.

La limitación más importante para el funcionamiento de un sistema de comunicación, de manera general, es el ancho de banda del canal que se esté utilizando.

El ancho de banda de un canal está relacionado con la cantidad de datos que puede pasar a través de él. La capacidad de datos de un sistema hace referencia a la cantidad de datos generada en la fuente que puede pasar por unidad de tiempo. Es por ello que la capacidad de datos de un sistema está dada por el ancho de banda disponible o tasa de datos disponible en el canal, es decir, a mayor cantidad de datos por transmitir mayor tasa de datos o ancho de banda se debe de disponer [17].

El hecho de contar con un solo radio para transmitir y recibir implica que la tasa de datos se reduzca exactamente a la mitad del total disponible [8]. Por ejemplo, como se muestra en la figura 6, si R denota la tasa máxima disponible considerando la trayectoria entre los nodos identificados como 1, 2 y 3, de la figura 6. Si el nodo 1 desea comunicarse con el nodo 3, y el punto 2 servirá como nodo intermedio, por lo que la tasa disponible para recibir datos del nodo 1 se reducirá exactamente a la mitad, ya que se dividirá para que pueda transmitir hacia el nodo 3.

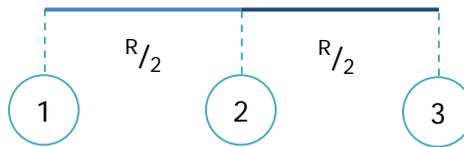


Figura 6. Tasa de Datos Disponible

1.4. PROVEEDORES DE EQUIPO MESH.

Existen diferentes compañías que ofertan sus propias soluciones de arquitectura Mesh, con la particularidad de que buscan que sean compatibles con el estándar 802.11s una vez que sea aprobado. Diferentes sustentos así como estudios realizados, indican que las redes mesh están consideradas como una de las tecnologías de acceso inalámbrico con muchas oportunidades. La figura 7 muestra la participación de algunos proveedores en el mercado internacional.

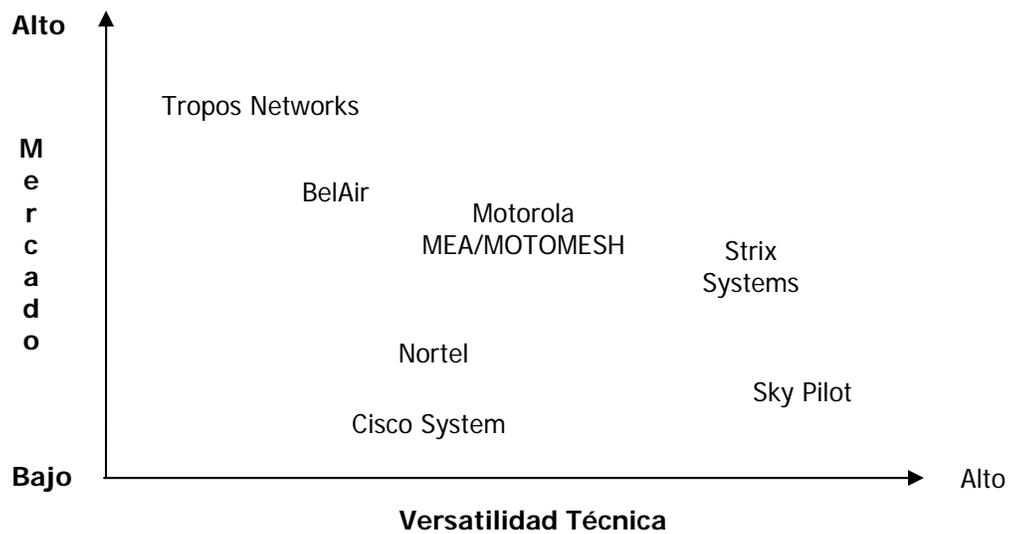


Figura 7. Proveedores de Equipo Mesh

Se puede observar que existen diferentes proveedores que ofertan soluciones Mesh. En este caso particular se hace empleo de arquitectura proporcionada por la empresa Motorola, que en el capítulo de implementación se explicarán las características específicas de cada uno de los elementos.

REFERENCIAS

- [1] Held, Gilbert, "Data over Wireless Networks Bluetooth, WAP & Wireless LANs" Mac Graw Hill. 2001.
- [2] J. García-Hernández y C. F. García-Hernández. "Análisis de la Tecnología de las Redes Inalámbricas y su Aplicación en Centrales Nucleares". ROC&C 2007 IEEE Sección México.
- [3] Millán Tejedor, Ramón Jesús, Domine las Redes P2P "Peer to Peer". Alfaomega, 2006.
- [4] J. A. Caballar, "WiFi Cómo construir una red inalámbrica", Alfaomega, 2004.
- [5] Held Gilbert, Wireless MESH Networks, Auerbach Publications, 2005.
- [6] Hallberg Bruce A, "Fundamentos de redes", Mc. Graw Hill 2003 antes 8
- [7] S. Liese, D. Wu, P. Mohapatra, "Experimental Characterization of an 802.11b Wireless Mesh Network", International Conference On Communications And Mobile Computing, Vancouver, British Columbia, Canada 2006. pp. 587-592
- [8] Zhang Yan, Wireless Mesh Networking: Architectures, Protocols and Standards. 2007.
- [9] Li-Píng Tung, Weí-Kuan Shih, Te-Chung Cho and Yeali S. Sun, Chang Chen, TCP Throughput Enhancement over Wireless Mesh Networks. IEEE Communication Magazine, 2007.
- [10] Alejandro Pascual Abascal, Miguel Ángel Pérez Ruiz. Diseño e Implantación de una red WiFi Mesh en un entorno campus. Universidad de Deusto. Bilbao, 2007
- [11] <http://www.wi-mesh.org/>

[12] Evelio Martínez Martínez, José Antonio García Macías. Redes Wi-Fi en malla (wi-fi mesh networks).

[13] <http://www.ceditec.etsit.upm.es/dmdocuments/wifi.pdf>

[14] <http://www.wi-mesh.org/index.php>

[15] http://www.ieee802.org/11/Reports/tgs_update.htm

[16] Caballero J. M, "Redes de Banda Ancha" , Alfaomega, 1998.

[17] www.wilac.net/tricalcar/

CAPÍTULO 2. IMPLEMENTACIÓN DE LA RED MESH.

Cada vez es más común que las aplicaciones de las redes inalámbricas sean destinadas para dar cobertura a edificios dedicados a la industria o a la educación, que en su mayoría incluyen espacios abiertos. Para poder ofrecer servicios aun en estos espacios abiertos, las soluciones que se tienen actualmente, ofrecen a los usuarios tener conexión sin importar el lugar en el que se encuentren, permitiendo así comunicaciones a diferentes distancias. Sin embargo, las constantes mejoras, el incremento de necesidades y la gran demanda de los usuarios, motivan el uso de otras tecnologías.

Como se explicó en el capítulo 1, las redes Mesh presentan la gran ventaja de prestar los servicios de voz, datos y video, con la característica de que la comunicación puede ser móvil, con velocidades de varios km/h (todo depende del proveedor), y también puede ser simultánea; logrando tener más y mejores comunicaciones.

Para llevar a cabo el diseño de una red se deben cumplir con ciertos requisitos, los cuales varían dependiendo el tipo de red. De manera general, se puede decir que los mínimos requisitos a considerar para hacer el diseño de una red son:

- **Funcionalidad:** Los usuarios deben poder satisfacer sus necesidades, proporcionando conectividad de usuario a usuario, y de usuario a aplicación con una velocidad y fiabilidad razonables.
- **Escalabilidad:** El diseño inicial debe permitir crecer posteriormente sin la necesidad de que exista cambio alguno en el diseño general.

- **Adaptabilidad:** El diseño debe tener cabida para las futuras tecnologías, y por lo tanto no debe incluir ningún elemento que limite la implementación de las nuevas tecnologías.
- **Manejabilidad:** La red debe facilitar el control del sistema con el fin de garantizar la estabilidad de la operación.

Atendiendo estos aspectos, servicios a cubrir y número de usuarios y/o clientes, fue como se desarrollo la propuesta de diseño, considerando también el área designada para llevar a cabo su implementación y arquitectura a emplear.

A continuación se hace la descripción de cada una de las etapas que conformaron el proceso.

2.1. DESIGNACIÓN DEL ÁREA DE IMPLEMENTACIÓN

La red propuesta pretende tener comunicaciones móviles de voz, datos y video, es decir, prestar los tres servicios; para dar mayor facilidad de comunicación al usuario sin tener que restringirlo a un lugar específico. La maqueta se montó en las instalaciones del Instituto Politécnico Nacional (IPN).

La zona considerada para el establecimiento de ésta y evaluación de sus capacidades, fue en el área académica del IPN, campus Zacatenco. Específicamente sobre la avenida principal Manuel de Anda y Barredo. En la figura 8 se muestra está zona.



Figura 8. Zona designada para la instalación de la red. Campus Zacatenco.

La trayectoria considerada tiene una longitud total medida de 1254 m, organizada en 12 edificios y caracterizada por estar establecida en una zona con las siguientes particularidades:

- Está constituida por una densidad importante de árboles, principalmente a lo largo de todo el trayecto considerado para la realización de las pruebas.

Debido a que se cuenta con el servicio de transporte "Trolebús", se tienen líneas de alta tensión sobre la avenida principal.

- Múltiples redes WiFi trabajando en la banda de operación de 2.4 GHz.

Las redes WiFi disponen de 11 canales de 11 Mbps cada uno. De forma general cada Access Point ya viene configurado con un determinado canal de fabricante, sin embargo se pueden configurar para evitar interferencias. La tabla 1 muestra los canales asignados, así como sus respectivas frecuencias.

CANAL	Frecuencia (MHz)	FCC (USA)	ETSI (Europa)
1	2412	X	
2	2417	X	
3	2422	X	X
4	2427	X	X
5	2432	X	X
6	2437	X	X
7	2442	X	X
8	2447	X	X
9	2452	X	X
10	2457	X	X
11	2462	X	X
12	2467		X
13	2472		X
14	2484		

Tabla 1. Regulación de canales y frecuencias.

Cada número de canal WiFi se corresponde con una frecuencia determinada. Los números consecutivos representan también frecuencias consecutivas. Por lo tanto, mientras más diferencia exista entre los números de canal, mayor diferencia habrá entre sus frecuencias.

Teóricamente con sólo dos frecuencias se puede cubrir cualquier área, por grande que sea. Por ello generalmente se seleccionan los canales 1, 6 y 11. De esta forma se deja una distancia de cuatro canales intermedios.

Por otro lado, para que el nivel de señal sea suficiente para una buena recepción depende del equipo receptor. Por lo tanto, se considera que un nivel mínimo de señal recibida de -80 dBm es bueno. Por ejemplo, en la tabla 2, se muestra la potencia y la sensibilidad de algunos ejemplos de receptores WiFi [1].

PROVEEDOR	POTENCIA DE TRANSMISIÓN (dBm)	SENSIBILIDAD DEL RECEPTOR (dBm)			
		11 Mbps	5.5 Mbps	2 Mbps	1 Mbps
3Com	15	-76	-80	-80	-80
Edimax	14	-80	-83	-86	-86
Orinocco	15	-83	-87	-91	-94

Tabla 2. Nivel de potencia y sensibilidad de receptores WiFi de diferentes proveedores

Se puede observar que los niveles de sensibilidad y potencia son muy similares, sin importar el tipo de proveedor. Por lo tanto el valor de -80 dBm, como se menciona, es un buen nivel a considerar para realizar pruebas.

Inicialmente se realizó un recorrido a lo largo de toda la trayectoria para detectar si existían redes WiFi operando. La finalidad es conocerlas y determinar la influencia que tendrán sobre la red Mesh.

Para ello se utilizó una Laptop que tenía instalado el software Cain's Wireless Scanner, el cual permite medir el nivel de la señal en dBm, la frecuencia y el canal de operación de las redes detectadas.

El procedimiento consistió en ubicarnos en cada edificio y entre puntos intermedios entre ellos, para hacer la detección de las redes. De esta manera detectamos en puntos específicos la cantidad de redes WiFi, así como sus características. Al mismo tiempo se determinó el comportamiento de la propagación de señal. Los resultados obtenidos se muestran en las tablas 3 y 4.

POSICIÓN	NIVEL DE SEÑAL DE LAS REDES DETECTADAS						
	BELKIN, CORPORATION	ENTERASIS	SIN NOMBRE	3COM EUROPE	Z COM	NETGEAR INC.	2 WIRE
EDIFICIO 2 – 4							
Edificio 2	-90						
Edificio 2 – 3	-90	-95, -91, 160, 160	-93, -95				
Edificio 3	-92	-95, -83, -94, 160, -92, -94	-92, 159	-94			
Edificio 3 – 4	-94	-95, -79, -94, 160, -92, -92	-95, -93	-94			
Edificio 4	-85				-76		
EDIFICIO 4 – 6							
Edificio 4 -5	-85				-76		
Edificio 5	- 85				-76		
Edificio 5 – 6	-85				-76		
Edificio 6	- 85	-82, -90			-76	-84	
EDIFICIO 6 – 8							
Edificio 6 – 7	- 85	-88, -90, -94, -94, -93			-76	- 93	
Edificio 7	- 85	-93, -90, -94, -86, -94, -94, -87		-87	- 76	-93	
Edificio 7 -8		-93, -86, -92, -95		-95			
Edificio 8		-87, -88, -85, -95, -94, -93		-92			

Tabla 3. Nivel de Señal de las Redes detectadas del Edificio 2 al 8, campus Zacatenco.

POSICIÓN	NIVEL DE SEÑAL DE LAS REDES DETECTADAS						
	Cisco-Linksys	ENTERASIS	SIN NOMBRE	3COM EUROPE	Z COM	NETGEAR INC.	2 WIRE
EDIFICIO 8 – 12							
Edificio 8 – 9		-88, -94, -90, -95, -86, -93, -84, -89, -92		- 92			-92
Edificio 9		-86, -95, -90, -95, -92, -93, -90, -93, -93		- 92			-92
Edificio 10		-61, -95, -90, -95, -93, -93, -88, 159, -93, -93, -92, -89, -92, -93, -93, -93, -92, -92		- 92			-92
Edificio 10 – 11		-79, -95, -90, -95, -93, -93, -88, 159, -93, -93, -92, -89, -92, -93, -93, -93, -92, -88		- 92			-92
Edificio 11		-86, -95, -90, -95, -93, -93, -88, 159, -93, -93, -92, -89, -92, -93, -93, -93, -92, -88, -90	-95	-92			-92
Edificio 11 – 12	-93	-91, -95, -90, -95, -93, -93, -88, 159, -93, -93, -92, -89, -92, -93, -93, -93, -92, -88, -83,	-90, -92, -90	-92			-92
Edificio 12	-88	-74, -91	-87, -91				

Tabla 4. Nivel de Señal de las Redes detectadas del Edificio 8 - 9 al 12, campus Zacatenco.

De estos resultados se puede observar que existen un gran número de redes utilizando la frecuencia de 2.4 GHz, y que el nivel de señal de éstas se recibe desde el inicio hasta el final del trayecto considerado para la instalación de la red. Los canales empleados por estas redes WiFi son: 2.412 GHz, 2.462 GHz y 2.437 GHz.

Finalmente se logro determinar que existe propagación de la señal a lo largo de todo el recorrido. Esto indica que es factible la instalación de la red Mesh.

Es así como se determina que estos elementos constituyen factores que podrían desfavorecer la operación de la red Mesh. Por lo tanto se clasifican en:

- **Pérdidas de Propagación.**

Desde que una señal de radio se emite del equipo transmisor empieza a perder potencia. Conforme aumenta la distancia desde el transmisor, las pérdidas de señal van en aumento. Por otro lado, los obstáculos como paredes, árboles, muebles, cristales afectan grandemente la pérdida de la señal.

En este caso en particular debido que a que la zona está constituida por una gran cantidad de árboles, teóricamente provocarán atenuación de la señal y por lo tanto habrá menor área de cobertura.

- **Interferencias.**

El hecho de contar con otras redes utilizando la banda de operación en la que se propone implementar la red, indica que, teóricamente, existirá interferencia. Se corre el riesgo de coincidir en el uso de la frecuencia lo que provocará la presencia no deseada de señales radioeléctricas que interrumpen el funcionamiento del sistema.

El objetivo es evaluar a la red y determinar si se ve afectada o no por estos elementos. Y así establecer si el sistema a implementar funcionará proporcionando comunicaciones constantes y simultáneas.

2.2. BANDA DE OPERACIÓN EMPLEADA

Como se menciona, esta tecnología puede trabajar en dos bandas de frecuencia. Dadas las ventajas que proporciona utilizar una frecuencia que es no licenciada, la consideración para el diseño fue emplear la banda de operación de 2.4 GHz, además de que los dispositivos empleados trabajan en dicha banda de operación.

2.3. ARQUITECTURA DE LA RED.

Actualmente el diseño de una red implica más allá que la simple conexión de dispositivos, ya que debe poseer características específicas que permitan que pueda ser escalable y administrable. En el diseño de una red es importante tener presente que además de considerar los servicios requeridos, necesidades a cubrir, lugar de implementación y cantidad de usuarios, la arquitectura a utilizar juega un papel importante, ya que cada elemento de red tiene un distinto requisito de diseño, y es muy importante el lugar o zona designada sobre el cual se va a localizar, así como la posición que tiene respecto de los demás elementos de red.

2.3.1. MOTOROLA.

Esta empresa ha desarrollado equipo para redes Mesh. Una de sus soluciones consiste en la incorporación de equipamiento que opera bajo el protocolo propietario MEA (Mesh Enable Architecture) [2], [3]. El equipo empleado para la implementación de la red fue proporcionado por esta empresa a través de un kit Mesh de pruebas.

Dado que la arquitectura de las redes Mesh es simple y que no requiere de muchos dispositivos, es importante determinar la ubicación correcta para cada elemento por ser una red que proporciona movilidad. Para lograr un buen diseño de ubicación se tomaron como referencia la relación entre los parámetros de distancia y burst rate, velocidad en megabytes por segundo en la cual los datos pueden ser transferidos, considerados para esta tecnología. En la tabla 5 se muestran los datos.

Burst Rate (Mbps)	Infraestructura a Infraestructura			Infraestructura a Suscriptor		
	6	3	1.5	6	3	1.5
Máxima Distancia (km)	0.8558	1.52186	2.70629	0.38227	0.67979	1.20885

Tabla 5. Relación distancia y burst rate.

Con esta información es claro que, en este caso particular, entre infraestructuras y entre infraestructura y suscriptor siempre existirá una tasa de transmisión de 6 Mbps, ya que la longitud total de la zona de instalación es de 1254 m, y ésta no supera los valores indicados en la tabla.

Considerando estos aspectos, además de que se tienen múltiples redes WiFi operando en la frecuencia de 2.4 GHz, la arquitectura de la red se constituyo por los siguientes dispositivos:

- 2 Access Points Inteligentes
- 2 Routers Inalámbricos
- 1 Centro de Control
- Clientes (Laptops, Cámara de Video)

A continuación se hace una descripción detallada de cada uno de los componentes de la red.

2.4. SISTEMA DE COMUNICACIÓN

Para que se transmita información de un punto a otro se requiere tener un sistema de comunicación. En este diseño el objetivo de contar con un sistema es que permita conectar la red Mesh inalámbrica con una red alámbrica, es decir, con la red formada en el centro de control para tener acceso a los diferentes dispositivos que la constituyen, así como al Internet. Para lograrlo se utilizó un sistema de comunicación CANOPY.

2.4.1. SISTEMA DE COMUNICACIÓN CANOPY [4]

Es una plataforma inalámbrica de comunicación de Banda Ancha para conectar o ampliar una red, así como para tener acceso a los dispositivos que la constituyen. Estos elementos se pueden poner en servicio muy fácilmente y con una configuración sencilla, para ello solo se necesitan cubrir los siguientes parámetros:

- Frecuencia de la portadora
- Dirección IP

La banda de operación empleada es la de 5GHz. Es una banda no licenciada UNI-II (5.15 – 5.35 GHz y 5.725 – 5.825 GHz); además de que cuenta con una cobertura aproximadamente de 3 km (de 304 m a 3,048 m). Dentro de sus principales características se tienen:

- El hardware requiere baja alimentación de corriente y su diseño es completamente ergonómico.
- El equipo utiliza antenas de ganancia moderada resultando en requerimientos mínimos para alinear las unidades. Por lo tanto, la instalación es sencilla, en contraste con muchas de las soluciones que se tienen actualmente disponibles.
- Fácil instalación ya que incluye indicadores para la visualización de la sincronización.

- Muestra baja susceptibilidad a la interferencia y requiere de una planeación y coordinación de frecuencias muy sencilla. Estas características facilitan la implementación inicial y la extensión de redes conforme las necesidades de capacidad se incrementan.
- Puede prestar servicio a: escuelas, hospitales y pequeños negocios; así como también a espacios residenciales, a un excelente costo.
- A diferencia de otros sistemas de ancho de banda que utilizan un espectro de frecuencia mayor, este sistema es inmune a los problemas de propagación asociados con las variaciones diarias del clima como lluvia y niebla.
- Es una solución rápida, ya que permite descarga y transferencia de archivos rápida.
- Es un servicio confiable, los equipos se pueden autenticar con un servidor de seguridad, debido a que cuenta con su propio protocolo de comunicación.

El sistema está constituido por tres bloques básicos de funciones:

1. Access Point (AP): Dispositivo de transmisión/recepción de datos que conecta los usuarios Canopy, además de que actúa como punto de interconexión entre la red Canopy y la una red cableada. Cada sitio AP requiere una fuente de alimentación y una conexión 10/100 BaseT a la red.
2. Modulo Suscriptor(SM): Unidad de terminación a suscriptor.
3. Backhaul Unit (BU): Ofrece flexibilidad para tener servicio de voz, datos, video desde una ubicación remota.

En la figura 9 se pueden observa los elementos de un sistema Canopy.

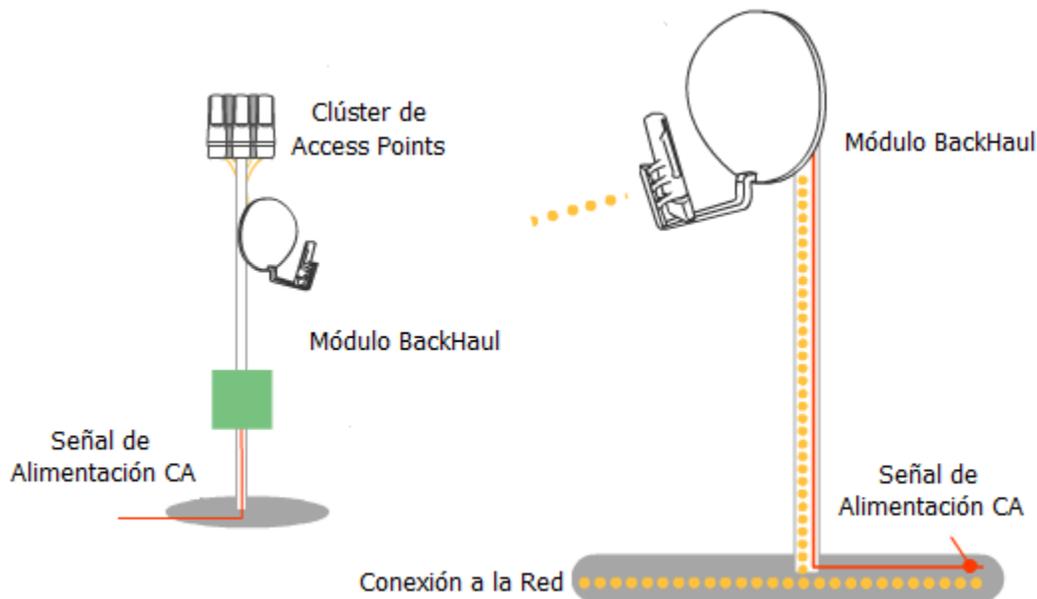


Figura 9. Elementos que constituyen al Sistema Canopy.

Para el diseño de la red Mesh se empleó el tipo de enlace BackHaul, (punto a punto). El protocolo de comunicación empleado es propietario y maneja dos tipos de encriptación 3DES y AES. Básicamente se comporta como un enlace dedicado, es decir, en el momento en el que se enlazan se obtiene Ethernet transparente en cada punta, esto con el objetivo de tener comunicación entre “el centro de control” y los “AP’s”.

Se hizo la distribución del equipo, procurando localizarlo en áreas estratégicas, es decir, cubrir la zona de cobertura y así tener 2 enlaces Canopy para poder tener comunicación con los 2 AP’s de la red Mesh. Para ello se colocaron los sistemas canopy remotos sobre la avenida principal, teniendo una separación entre ellos de 505 m. El sistema local se colocó sobre el edificio Z-4.

A continuación, en las tablas 6, 7, 8 y 9 se presenta la ubicación específica, dirección IP y contacto, del sistema canopy instalado.

- Sistema CANOPY 1.

INFORMACIÓN DEL DISPOSITIVO LOCAL 1	
UBICACIÓN: EDIFICIO Z	
TIPO	BackHaul (Maestro) 5.7 GHz
IP	10.0.0.40
CONTACTO	REMOTO 1
FRECUENCIA DE PORTADORA	5820 Hz

Tabla 6. Información del Sistema Canopy 1: Local 1

INFORMACIÓN DEL DISPOSITIVO REMOTO 1	
UBICACIÓN: EDIFICIO 8 Refrescando cada 3 segundos	
TIPO	BackHaul (Maestro) 5.7 GHz
IP	10.0.0.30
CONTACTO	LOCAL 1

Tabla 7. Información del Sistema Canopy 1: Remoto 1

- Sistema CANOPY 2.

INFORMACIÓN DEL DISPOSITIVO LOCAL 2	
UBICACIÓN: EDIFICIO Z	
TIPO	BackHaul (Maestro) 5.7 GHz
IP	10.0.0.80
CONTACTO	REMOTO 2
FRECUENCIA DE PORTADORA	5740 Hz

Tabla 8. Información del Sistema Canopy 2: Local 2

INFORMACIÓN DEL DISPOSITIVO REMOTO 2	
UBICACIÓN: EDIFICIO 2 Refrescando cada 3 segundos	
TIPO	BackHaul (Maestro) 5.7 GHz
IP	10.0.0.70
CONTACTO	LOCAL 2

Tabla 9. Información del Sistema Canopy 2: Remoto 2

En la figura 10 se puede observar su ubicación sobre el campus Zacatenco.



Figura 10. Localización del Sistema Canopy

2.5. ACCESS POINT INTELLIGENT (IAP 6300) [5]

Los IAP's sirven como puerta de enlace inalámbrico entre la red móvil de banda ancha y la red alámbrica. El modelo utilizado fue el IAP 6300, el cual trabaja en la banda de operación de 2.4 GHz. Dentro de sus principales ventajas se encuentran:

- Ofrece una tasa de datos de 6Mbps para los servicios de Voz, Datos y Video.
- Soportan movilidad a altas velocidades (más de 100km/hora).
- Su despliegue es sencillo ya que se integran a la red automáticamente.

Las características técnicas se muestran en el apéndice al final del trabajo.

Los dos Access Points Inteligentes utilizados se ubicaron a la altura del edificio 2 y 8, con una separación entre ellos de 505 m.

En la figura 11 se muestra el IAP1 colocado a la altura del edificio 2, mientras que en la tabla 10 se presenta su configuración. En la figura 12 se puede observar el IAP2 colocado a la altura del edificio 8, así como la configuración que se le asignó en la tabla 11.



Figura 11. IAP1 ubicado a la altura del edificio 2.

EDIFICIO 2	
NOMBRE: Punto 1 (IAP1)	
SBC	TRANSCEIVER
MAC: 000 512 300 436	MAC: 000 512 0A9 D58
IP: 10.2.0.1	IP: 10.2.0.2

Tabla 10. Configuración del IAP1 colocado en el edificio 2



Figura 12. IAP2 ubicado a la altura del edificio 8.

EDIFICIO 8	
NOMBRE: Punto 2 (IAP2)	
SBC	TRANSCEIVER
MAC: 000 512 301 204	MAC: 000 512 0AB 632
IP: 10.2.0.11	IP: 10.2.0.12

Tabla 11. Configuración del IAP2 colocado en el edificio 8

2.6. MOBILE WIRELESS ROUTER (MWR 6300) [6]

Los routers inalámbricos (MWR) del modelo 6300, actúan como punto de referencia para la posición de usuarios y vehículos en la red en la banda de operación de 2.4 GHz. Los datos se transmiten 100% en forma inalámbrica entre los nodos. Sus características son:

- Fácil montaje, además de que solo requieren de energía para operar.
- La integración a la red no requiere configuración.
- Mantienen un equilibrio de tráfico inteligente entre los clientes y los recursos de la red.

Las características técnicas de este dispositivo son similares a las del IAP empleado. De igual manera se presentan en el apéndice.

Ambos emplean el protocolo propietario QDMA (Acceso Múltiple de División por Cuadratura), que permite extender las comunicaciones aproximadamente de 1609 m, en comparación a las WLAN's, IEEE 802.11b, cuyo rango máximo es de 100 m aproximadamente. Además usa cuatro canales separados, uno destinado para el control, que funciona como un coordinador para la transmisión de datos entre los dispositivos; y los demás canales para la transmisión de los datos. Tales canales son: 2.41 GHz, 2.43 GHz, 2.45 GHz, 2.47 GHz.

Incluye un mecanismo de localización, que permite, por medio de triangulación de la señal, determinar la posición de algún cliente de la red dentro de una exactitud aproximada de 10 metros, teniendo la ventaja de que opera en lugares en los que es difícil obtener una posición a través de GPS "Sistema de Posicionamiento Global", como en el interior de los edificios o interior de túneles.

Para la instalación de la red se requirieron de 2 MWR's, los cuales se montaron a la altura de los edificios 4 y 6, y se encontraban separados 144.4 m. En las figuras 13 y 14 se pueden observar cada uno de ellos; y en las tablas 12 y 13 se presenta la configuración de los MWR's 1 y 2 respectivamente.



Figura 13. MWR1 ubicado a la altura del edificio 4.

EDIFICIO 4	
NOMBRE:	Router 1 (MWR1)
IP:	10.2.0.5
MAC:	000 512 0AB 100

Tabla 12. Configuración del MWR1 colocado en el edificio 4



Figura 14. MWR2 ubicado a la altura del edificio 6.

EDIFICIO 6	
NOMBRE:	Router 2 (MWR2)
IP:	10.2.0.3
MAC:	000 512 0AB 677

Tabla 13. Configuración del MWR2 colocado en el edificio 6

2.7. CENTRO DE CONTROL “MISC (MOBILE INTERNET SWITCHING CONTROLLER)”

Motorola, en conjunto con su equipo para el diseño de la red Mesh, incluye un controlador de conmutación centralizado. Éste contiene un conjunto de funciones de administración, como por ejemplo, monitoreo, resumen detallado y estadísticas de la operación de la red. Esta aplicación se denomina MiSC, “Controlador de Conmutación de Internet Móvil”. Es un software que proporciona conectividad entre los IAP’s y la red alámbrica, además de que administra todos los dispositivos de la red, desde los IAP’s hasta los clientes, para que puedan comunicarse. Permite autenticación y autorización para la integración de cualquiera de los elementos. Debido a su diseño modular facilita el acceso a la PSTN (Red Telefónica Pública Conmutada) y a Internet.

Básicamente se encarga de proporcionar enrutamiento, conmutación y las funciones de la red. De esta forma todos los dispositivos tienen comunicación con él, y así pueden conocer el momento en el que pueden transmitir, si tienen permiso para hacerlo, etc. Puede estar localizado en cualquier parte de la red LAN, realmente lo que se pretende es que tenga la administración de ella. En la tabla 14, se muestran algunas de las características de esta herramienta.

INFORMACIÓN GENERAL	
Capacidad de Suscriptores	Hasta 200
IAP's Soportados	Hasta 500
Interfaces de Red Soportada	10/100 Mb Ethernet. Opcional: E1, T1
Administración de la Red	MeshManager
Autenticación, Autorización y Administración	Servicios de autenticación proporcionados por el hardware de Motorola

Tabla 14. Características de MiSC

Al mismo tiempo se encarga de monitorear y mantener a la red a través del software MeshManager [7]. Éste proporciona las herramientas necesarias para la gestión y disposición de los clientes y de la infraestructura de la red.

La finalidad de emplear este software es realizar la configuración de los IAP's, los MWR's y de los clientes; así como también verificar el estatus que tenía cada uno de ellos en la red, sus vecinos, trazado de ruta hacia otro dispositivo y el rendimiento.

En el apéndice se muestran las pantallas del status que guardaban los cuatro equipos descritos.

La ubicación del centro de control dentro de la red Mesh, se localizo en el mejor lugar de conectividad, con el propósito de evitar problemas de no conexión. Esto fue en el edificio Z, ya que además ahí se contaban con las instalaciones necesarias para hacerlo.

Se utilizo una computadora portátil, marca DELL, para alojar al centro de control.

Los módulos BackHaul localizados sobre el edificio 4, se conectaron directamente con el centro de control "MiSC", con el propósito de formar una red de acceso local (LAN). El dispositivo utilizado para lograrlo fue un hub.

Los hubs se emplean para configurar redes, utilizando conexiones punto a punto. Su principal propósito es regenerar y reenviar las señales de la red. El motivo de utilizarlo es para crear un punto de conexión central para la conexión eléctrica de los medios y para aumentar la fiabilidad de la red.

El modelo empleado fue el SnapGear SG300-12, que posee 4 puertos Ethernet (10/100), los cuales sirvieron para conectar diferentes elementos.

Los puertos fueron empleados para las siguientes aplicaciones:

- Puerto 1 Enlace Canopy 1
- Puerto 2 Enlace Canopy 2
- Puerto 3 Centro de Control
- Puerto 4 Aplicación de voz: Se conecto una laptop de forma opcional. Con el propósito de que tener aplicaciones de voz a través de la red alámbrica.

En la figura 15 se pueden observar las conexiones mencionadas con el hub.

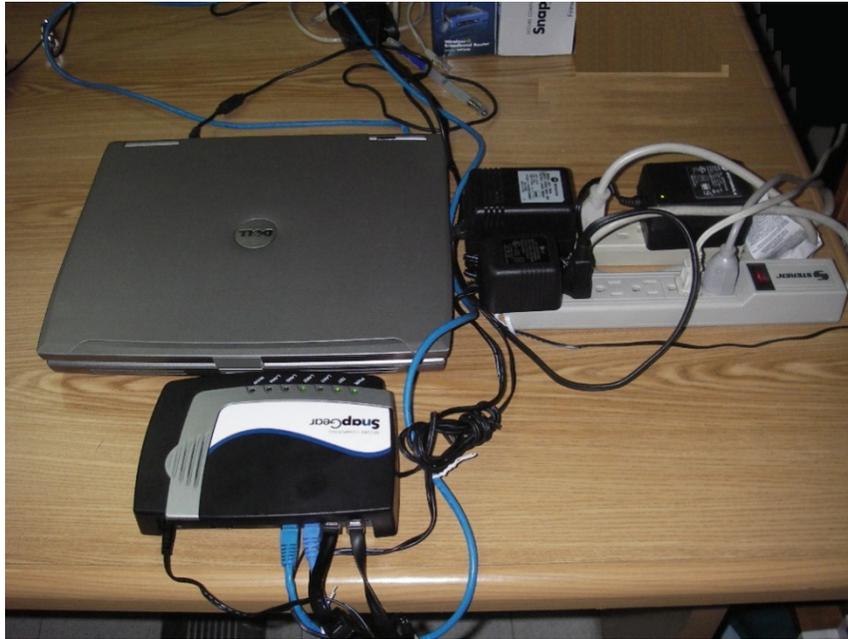


Figura 15. Conexión de la red con el hub.

En las figuras 16 y 17 se puede apreciar la localización de los elementos descritos, y la representación de la arquitectura, respectivamente.

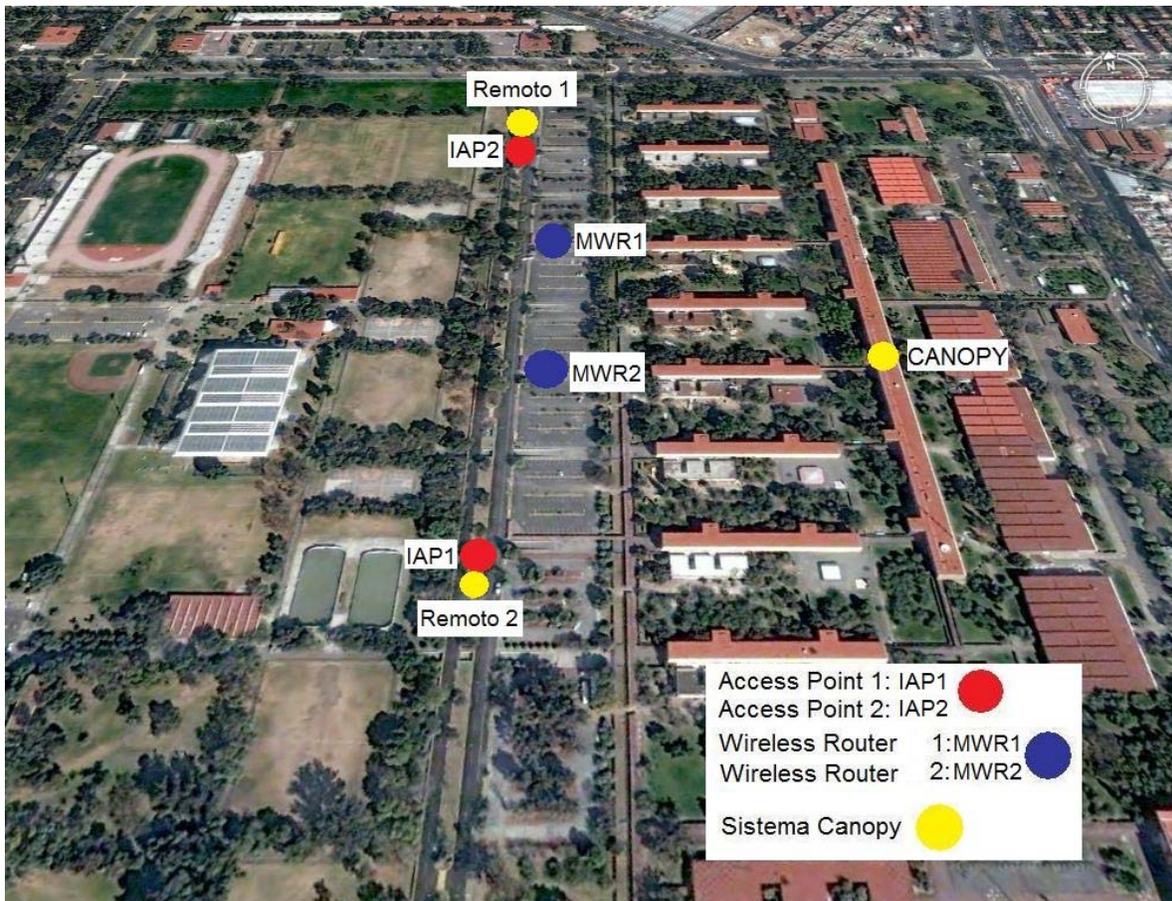


Figura 16. Distribución de los dispositivos en el campus Zacatenco.

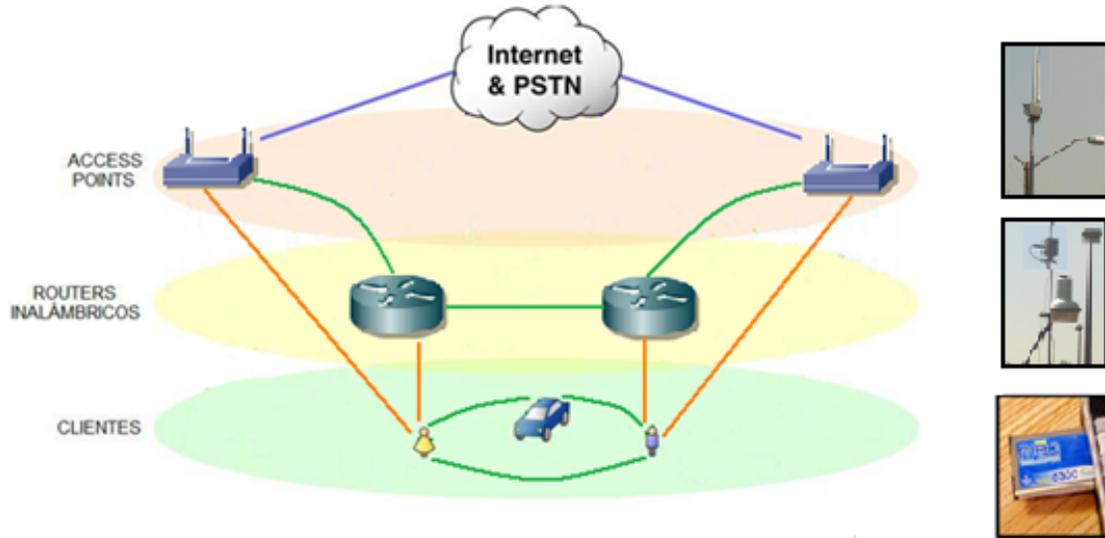


Figura 17. Arquitectura de la red Mesh para el sistema propuesto.

En esta figura se puede observar los elementos empleados en la arquitectura, así como también que los clientes tienen acceso a la red por el elemento que sea, sin embargo por cada salto que realicen se reducirá la tasa de datos disponible, como se explico en el capítulo 1.

2.8. CLIENTES

Una de las principales características de esta propuesta es que permite tener clientes (suscriptores) fijos y portátiles, a través de los cuales se proporcionan los servicios de voz, datos y video. Para poder tener una funcionalidad completa, se utilizaron diferentes dispositivos que permitieran tener conectividad de los clientes. A continuación se describen, tanto los clientes como los elementos empleados para lograr dicho objetivo.

2.8.1. MODEM MONTADO EN VEHÍCULO (VEHICLE MOUNTED MODEM "VMM 6300") [8]

Como se señaló en el capítulo 1, uno de los aspectos que distingue a esta tecnología de otras es que permite tener comunicaciones aun cuando el usuario se esté desplazando, incluso tener comunicaciones sobre vehículos que se desplazan a velocidades mayores a 100 km/h.

Aprovechando esta ventaja, se empleo un elemento de red que ofrece seguridad y fiabilidad en la conectividad inalámbrica en la banda de operación de 2.4 GHz. Además de que admite tasas de 6Mbps, mientras el vehículo sobre el que se encuentra colocado se desplaza. Dicho elemento es el módem modelo VMM 6300. Posee un puerto RJ-45, a través del cual se pueden tener acceso a diferentes dispositivos tales como: Video Cámaras, Laptops, etc.

Se monto en una camioneta y se adicionó un switch, marca ZONET. Los switch concentran la conectividad mientras crean una transmisión de datos más eficiente. Es decir, conmutan las tramas de los puertos entrantes a los puertos salientes mientras proporcionan a cada puerto un ancho de banda completo.

El switch empleado incluye cuatro puertos, los cuales se utilizaron para conectar al VMM y los tres puertos de los que dispone. De esta forma se conectó una cámara de video y una laptop.

La figura 18 muestra al modem descrito y la figura 19 la antena que se colocó en el vehículo, marca Antenex, como parte del equipo para permitir las comunicaciones móviles.



Figura 18. VMM 6300



Figura 19. Antena colocada sobre el vehículo como parte del VMM 6300

2.8.2. CÁMARA DE VIDEO

Para poder tener el servicio de adquisición de video se utilizo una cámara modelo AXIS. Se caracteriza por capturar y transmitir imágenes digitales en vivo directamente a través de cualquier red IP, permitiendo a los usuarios ver y/o manejar la cámara de forma remota a través de un servidor Web en cualquier lugar y en cualquier momento. Los elementos que caracterizan a este dispositivo se presentan en el apéndice.

Ésta se conecto al VMM, con el objetivo de ir captando y transfiriendo el video por los elementos de la red. Así a través de los clientes y el centro de control se podían visualizar las imágenes que se iban tomando a lo largo de los recorridos y se podía manipular la posición de la cámara.

En la figura 20 se puede observar la cámara dentro del vehículo.



Figura 20. Cámara AXIS dentro del vehículo.

2.8.3. MÓVIL

Se utilizó una laptop, modelo HP para utilizarla como herramienta y así tener los tres servicios:

- Voz: comunicación con el portátil y la central
- Video: captación y transferencia de los video captados durante los recorridos.
- Datos: Intercambio de información.

Esta laptop se conectó a la red a través del VMM.

2.8.4. PORTÁTIL

Laptop HP cuyo acceso a la red se hizo a través de la tarjeta inalámbrica MESH WMC 6300 [9]. Al igual que el móvil anterior, proporcionaba los 3 servicios.

La tarjeta inalámbrica MESH WMC permite tener acceso a los usuarios, en la banda de operación de 2.4 GHz, a la red móvil de banda ancha. Tiene la ventaja de que a través de ella se puede tener acceso a la red y por lo tanto, tener acceso a cada uno de los servicios que ofrece. Las especificaciones técnicas se muestran en el apéndice.

2.9. SEGURIDAD

Un aspecto fundamental e importante a considerar en el diseño e instalación de una red es la Seguridad, como se planteó en el capítulo 1. La seguridad en el campo de las redes, hace referencia a mantener libre de riesgo a la información que se comparte y envía a través de ella; así como a brindar servicios seguros. Y que solo los elementos definidos tengan acceso a ella, y que agentes externos, dispositivos y/o usuarios no puedan ingresar a ella si no están autorizados.

La arquitectura empleada para el diseño de la red, se caracteriza por tener protocolos propietarios que impiden que dispositivos similares tengan acceso a ella sin estar dados de alta. Además la forma de identificar a cada uno de los dispositivos fue a través de la MAC Address como se muestra en la tabla 15. Al mismo tiempo se presenta la dirección IP que se les asigno.

Identificación de los Elementos de la Red		
Dispositivo	IP	MAC Address
IAP1	10.2.0.2	000 512 0A9 D58
IAP2	10.2.0.12	000 512 0AB 632
MWR1	10.2.0.5	000 512 0AB 100
MWR2	10.2.0.3	000 512 0AB 677
Móvil	10.191.242.10	000 512 0AB FF2
Portátil	10.2.0.9	000 512 0A8 14D

Tabla 15. IP y MAC Address de cada elemento que conforma la red Mesh.

2.10. SERVICIOS

Como se ha mencionado las comunicaciones proporcionadas por la red son de: voz, datos y video. Para poder tener estas aplicaciones se utilizaron diferentes herramientas, las cuales se describen a continuación.

2.10.1. Voz

Para poder tener comunicación por voz, se utilizo la aplicación: TeamSpeak 2. Este software permite tener comunicación en tiempo real, con muy pocos recursos del sistema. Solo se utilizan audífonos y un micrófono. Ofrece una arquitectura cliente-servidor, que permite manejar varios clientes o usuarios de manera simultánea. El único requerimiento para poder utilizarlo es contar con Sistema operativo: Win95/98/NT/ME/2000/XP.

Esta aplicación se instalo en su versión "cliente", tanto el móvil como el portátil, los cuales tenían el sistema operativo Windows XP; y en el centro de control la versión "servidor".

La figura 21 presenta la pantalla de presentación de esta aplicación.

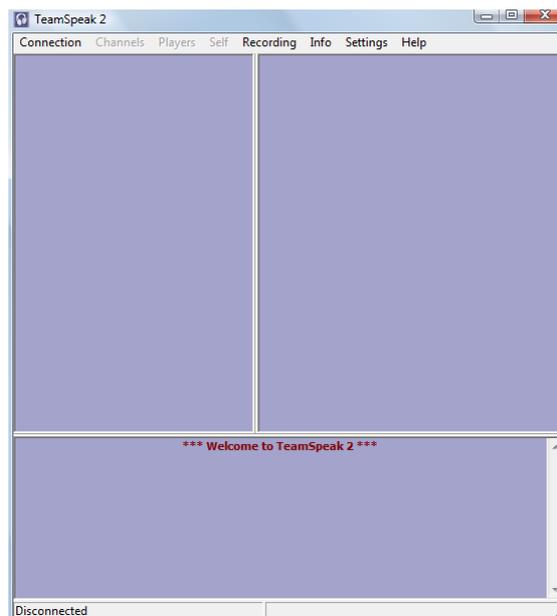


Figura 21. Pantalla de aplicación del TeamSpeak como Servidor.

2.10.2. VIDEO

Como se describió, la aplicación de video se captó en cada uno de los recorridos con la finalidad de determinar la calidad de éste. El video podía visualizarse desde el centro de control y desde cualquier cliente, ya que solo con tener la cámara de video conectada se obtenía la transmisión de las imágenes. Para poder visualizarlas solo se indicaba la dirección IP en el navegador web, la cual era: 10.191.242.12.

“Se anexa un disco con los archivos de video grabados”.

2.10.3. DATOS

Una vez que se tiene la red configurada la información contenida se puede compartir entre los diferentes elementos que la constituyen. Para medir la efectividad de ésta en la transmisión y recepción de datos se emplearon las herramientas “iperf” y “Mesh Tray”, que sirven para medir la tasa de transmisión y calidad del enlace respectivamente.

- **MEDICIÓN DE LA TASA DISPONIBLE**

Para medir la tasa disponible (throughput) que se tiene en la red se utilizó la herramienta “**iperf**”. Ésta permite medir el throughput disponible entre un cliente y el centro de control empleando tráfico TCP u UDP. Para ello uno de ellos actúa como emisor y el otro como receptor.

Se ejecuta desde MS-DOS, y con solo unas cuantas líneas de comando se le indican los parámetros para realizar la medición. En la tabla 16 se muestran los parámetros empleados, y en la figura 22 se muestra de forma más detallada los parámetros con los que se puede ejecutar la herramienta.

Opciones Cliente – Servidor	
Comando	Descripción
-f	Indica el formato para medir tasa de datos. Los formatos soportados son: 'b' = bits/s 'B' = Bytes/s 'k' = Kbits/s 'K' = KBytes/s 'm' = Mbits/s 'M' = MBytes/s 'g' = Gbits/s 'G' = GBytes/s 'a' = adaptive bits/s 'A' = adaptive Bytes/s
-i	Intervalo de tiempo en segundos, para el reporte de la tasa de datos.
-t	Tiempo total, en segundos, para transmitir.

Tabla 16. Comandos para la configuración del iperf

```

C:\Users\Hp>iperf --help
Usage: iperf [-s|-c host] [options]
       iperf [-h|--help] [-v|--version]

Client/Server:
-f, --format [kmKM]    format to report: Kbits, Mbits, KBytes, MBytes
-i, --interval #      seconds between periodic bandwidth reports
-l, --len #[KM]       length of buffer to read or write (default 8 KB)
-m, --print_mss       print TCP maximum segment size (MTU - TCP/IP header)
-o, --output <filename> output the report or error message to this specific
d file
-p, --port #          server port to listen on/connect to
-u, --udp             use UDP rather than TCP
-w, --window #[KM]   TCP window size (socket buffer size)
-B, --bind <host>    bind to <host>, an interface or multicast address
-C, --compatibility  for use with older versions does not sent extra msgs
-M, --mss #         set TCP maximum segment size (MTU - 40 bytes)
-N, --nodelay        set TCP no delay, disabling Nagle's Algorithm
-U, --IPv6Version    Set the domain to IPv6

Server specific:
-s, --server         run in server mode
-D, --daemon         run the server as a daemon
-R, --remove         remove service in win32

Client specific:
-b, --bandwidth #[KM] for UDP, bandwidth to send at in bits/sec
<default 1 Mbit/sec, implies -u>
-c, --client <host>  run in client mode, connecting to <host>
-d, --dualtest       Do a bidirectional test simultaneously
-n, --num #[KM]      number of bytes to transmit (instead of -t)
-r, --tradeoff       Do a bidirectional test individually
-t, --time #         time in seconds to transmit for (default 10 secs)
-F, --fileinput <name> input the data to be transmitted from a file
-I, --stdin          input the data to be transmitted from stdin
-L, --listenport #   port to receive bidirectional tests back on
-P, --parallel #     number of parallel client threads to run
-T, --ttl #          time-to-live, for multicast (default 1)

Miscellaneous:
-h, --help          print this message and quit
-v, --version       print version information and quit

[KM] Indicates options that support a K or M suffix for kilo- or mega-

The TCP window size option can be set by the environment variable
TCP_WINDOW_SIZE. Most other options can be set by an environment variable
IPERF_<long option name>, such as IPERF_BANDWIDTH.

Report bugs to <dast@nlanr.net>

C:\Users\Hp>_

```

Figura 22. Parámetros con los que se puede ejecutar la herramienta iperf.

- **CALIDAD DEL ENLACE**

La calidad del enlace que tenían tanto el móvil como el portátil a lo largo de toda el área de cobertura, se obtuvo a través de la aplicación Mesh Tray. Este software proporciona un reporte del estado de cada cliente, en el que incluye el estatus y tabla de ruteo de cada dispositivo. De esta forma se puede determinar la ruta o rutas posibles de conexión, así como la calidad de enlace que tiene con los Access Point cada uno de los clientes.

2.11. ASIGNACIÓN DE CANAL: MÚLTIPLES CANALES – UN RADIO.

El sistema diseñado tenía la configuración de múltiples canales y un solo radio, como lo muestra el esquema en la figura 23:

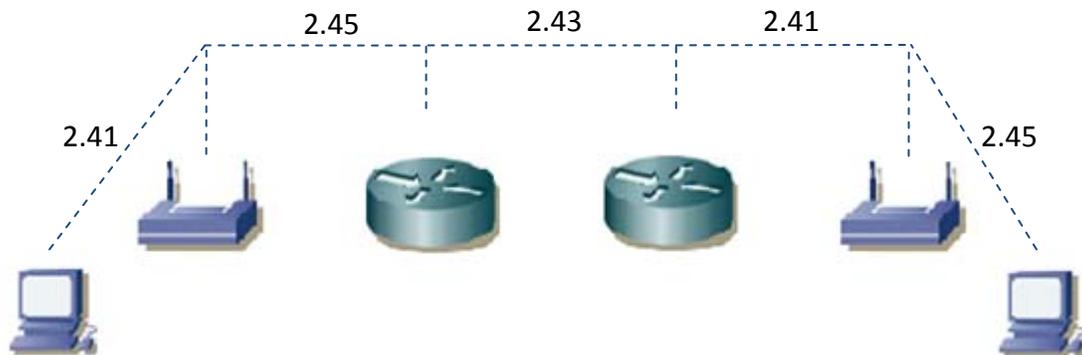


Figura 23. Red MESH multicanal.

Se pueden observar los cuatro elementos de la red, MWR's y AP's, así como los clientes, y los canales empleados para llevar a cabo las comunicaciones, los cuales son: 2.41, 2.43, 2.45 y 2.47, donde éste último es el de control. Con este esquema es claro que los clientes accesan a la red utilizando el mismo dispositivo, lo que provoca que haya reducción en la tasa de transmisión, no obstante esto no reduce la efectividad de la red.

REFERENCIAS

- [1] A. Caballar, "WiFi Cómo construir una red inalámbrica", Alfaomega, 2004.
- [2] www.motorola.com/MESH
- [3] <http://www.incamds.com/ds/motomesh/MEA%20Network.pdf>
- [4] <http://motorola.canopywireless.com/products/demo>
- [5] http://www.motorola.com/mesh/pdf/data_sheet_iap6300.pdf
- [6] http://www.motorola.com/mesh/pdf/data_sheet_mwr6300.pdf
- [7] http://www.motorola.com/mesh/pdf/data_sheet_meshmanager.pdf
- [8] http://www.motorola.com/mesh/pdf/data_sheet_vmm6300.pdf
- [9] http://www.motorola.com/mesh/pdf/data_sheet_wmc6300.pdf

CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN DE LA RED MESH: MEDICIONES REALIZADAS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Para analizar la efectividad de la red, y al mismo tiempo comprobar que es una buena alternativa de solución para problemas de comunicación en ambientes en los que se requiere tener movilidad, se llevaron a cabo diferentes pruebas de comunicación de voz, datos y video; con y sin movilidad.

La finalidad es determinar el desempeño que tiene la red, bajo las características descritas, y así establecer la efectividad de su aplicación en otros escenarios.

Uno de los aspectos principales y primordiales, a considerar, es la tasa de datos disponible que proporciona una red [1].

Para este diseño específico se cuenta con una tasa de **6 Mbps**, de acuerdo al protocolo propietario de Motorola MEA que emplea el equipo utilizado. Con este dato como referencia es con el que se realizaron las diferentes pruebas de comunicación.

A continuación se hace una descripción detallada de cada una de las pruebas realizadas.

3.1. MEDICIONES DE CALIDAD DEL ENLACE Y TABLAS DE RUTEO.

La calidad del enlace es un parámetro que sirve para determinar que se tiene comunicación en la zona de cobertura establecida. Mientras que para conocer cuál es la ruta y número de saltos que deben de realizar los clientes para lograr la comunicación se emplean las tablas de ruteo.

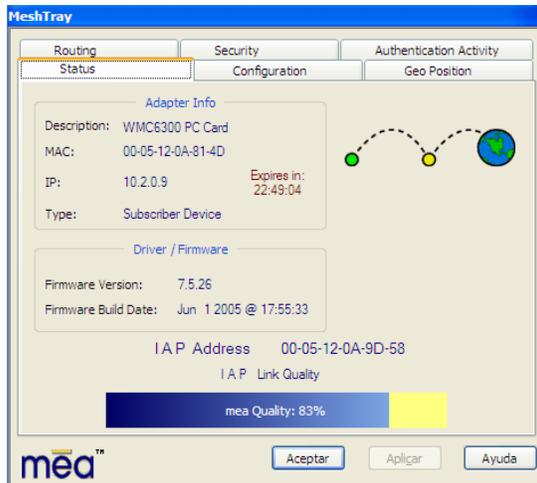
La aplicación MeshTray sirvió para tener ambos parámetros, tanto del móvil como del portátil. De esta forma se comprobó que a lo largo del área establecida siempre existía comunicación entre los clientes y entre éstos y el centro de control. Al mismo tiempo, se podían identificar los equipos a través de los cuales se estaban conectando y cuántos eran los saltos que necesitaban hacer para lograr la comunicación. Finalmente presentaba una tabla con el nivel de señal que tenían el resto de los dispositivos.

- **Mediciones del Portátil considerando toda la arquitectura de la red.**

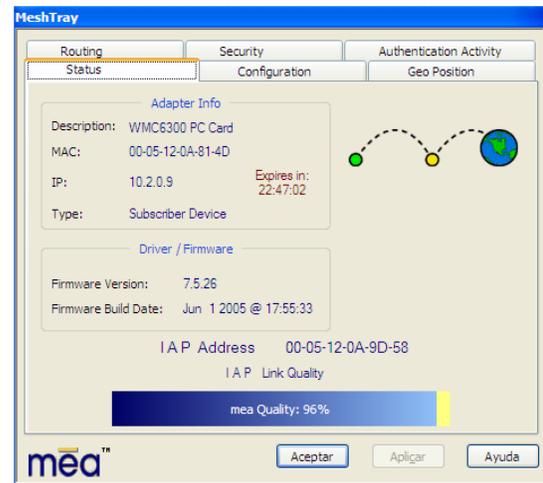
El procedimiento para realizar las mediciones del portátil y del móvil fue el siguiente:

1. Se inicio el recorrido en el edificio 2, a 241.1 m del inicio de la trayectoria, cubriendo toda el área con el móvil y el portátil.
2. Dado que el área se divide en 12 edificios, las lecturas se tomaron en puntos intermedios entre cada dos edificios y al inicio de cada uno de ellos.

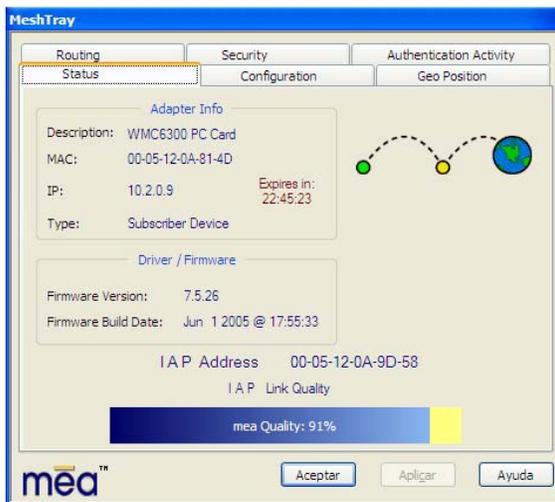
En la figura 24 se muestra la calidad del enlace que tuvo el portátil a lo largo del recorrido. De forma específica se podrá observar del inciso a) al inciso t), el nivel en cada punto en el que se detenía.



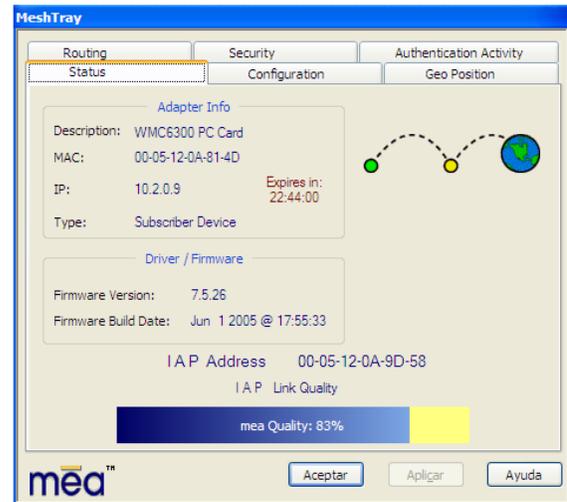
a). Calidad del enlace del portátil ubicado en el edificio 2



b). Calidad del enlace del portátil ubicado entre los edificios 2 y 3.

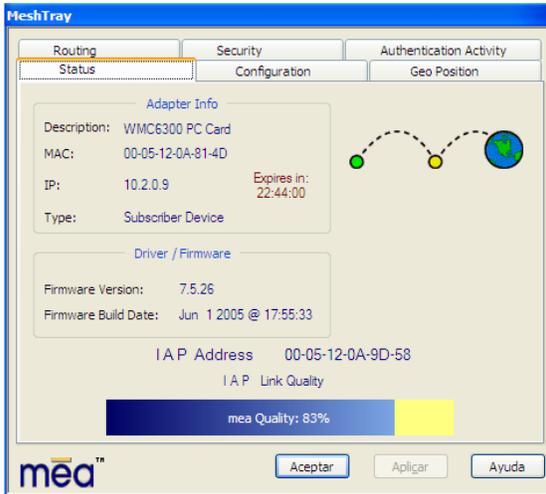


c). Calidad del enlace del portátil ubicado en el edificio 3

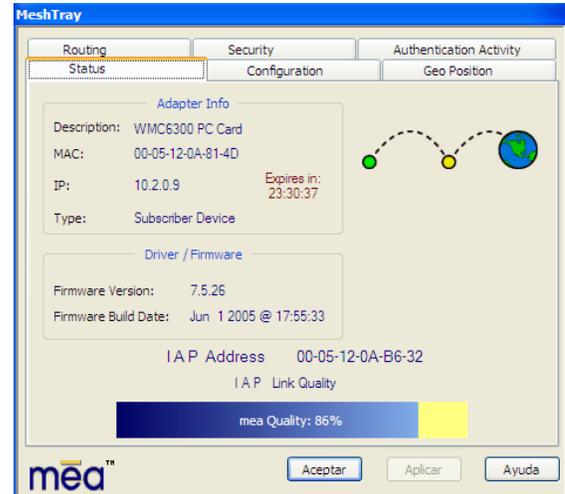


d). Calidad del enlace del portátil ubicado entre los edificios 3 y 4.

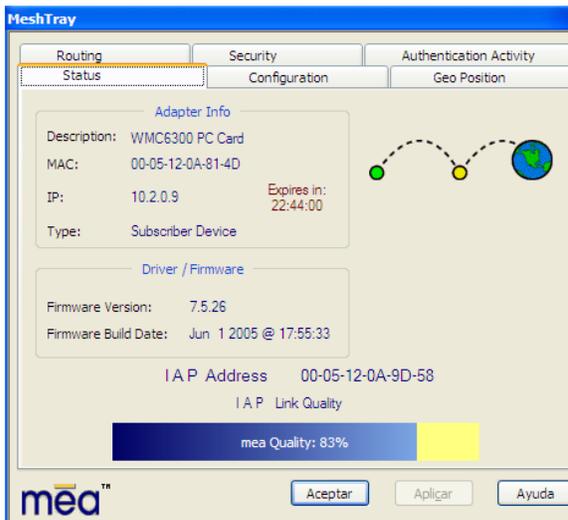
Figura 24. Calidad del enlace del portátil desde el edificio 2 hasta el 12, incisos a d.



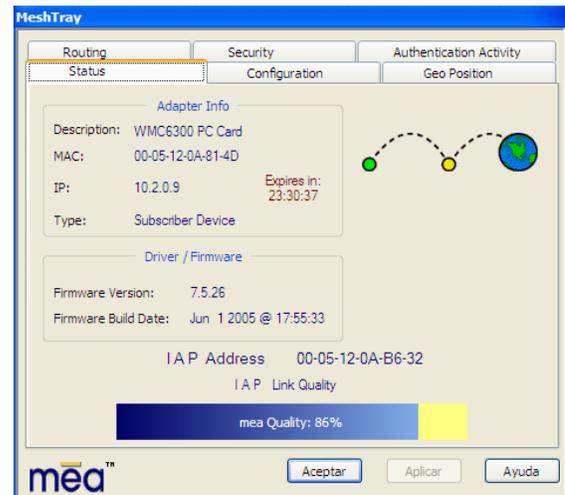
e). Calidad del enlace del portátil ubicado en el edificio 4.



f). Calidad del enlace del portátil ubicado entre los edificios 4 y 5.

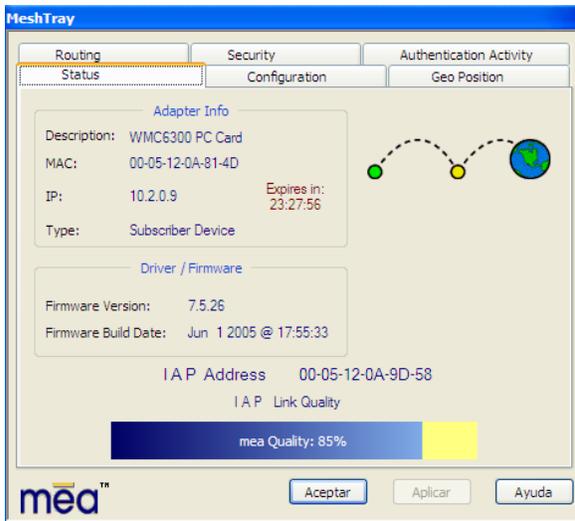


g). Calidad del enlace del portátil ubicado en el edificio 5.

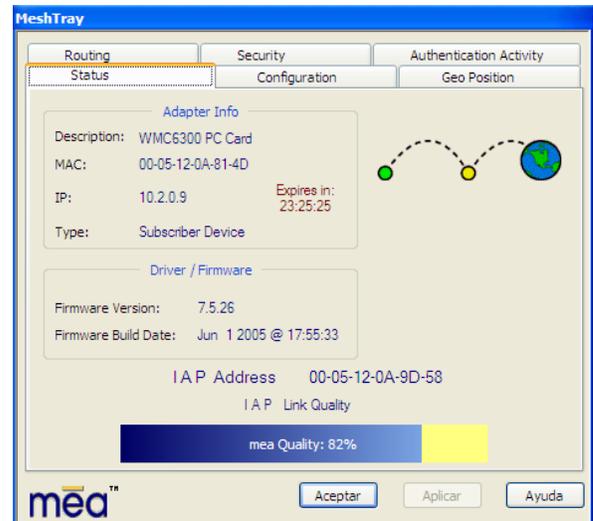


h). Calidad del enlace del portátil ubicado entre los edificios 5 y 6.

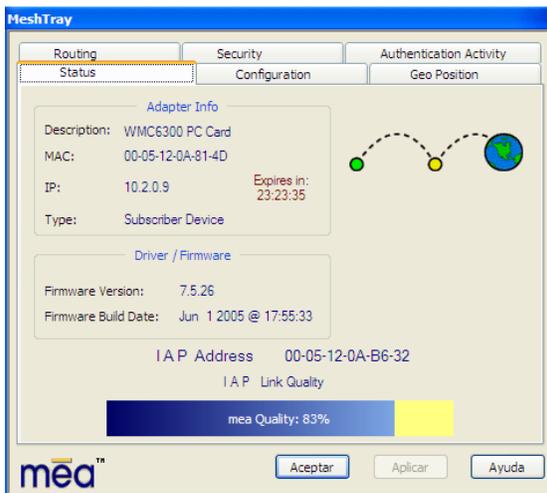
Figura 24. Calidad del enlace del portátil desde el edificio 2 hasta el 12, incisos e al h.



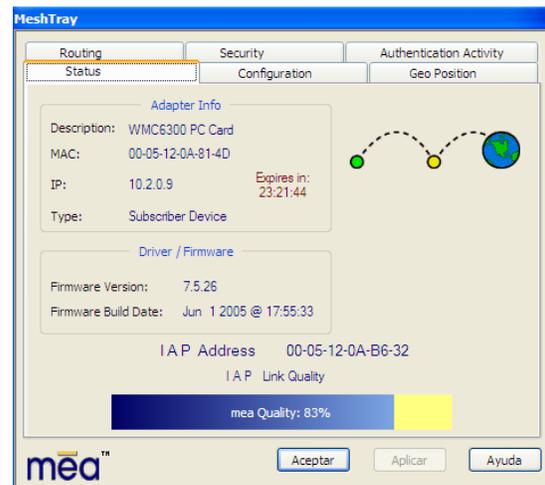
i). Calidad del enlace del portátil ubicado en el edificio 6.



j). Calidad del enlace del portátil ubicado entre los edificios 6 y 7.

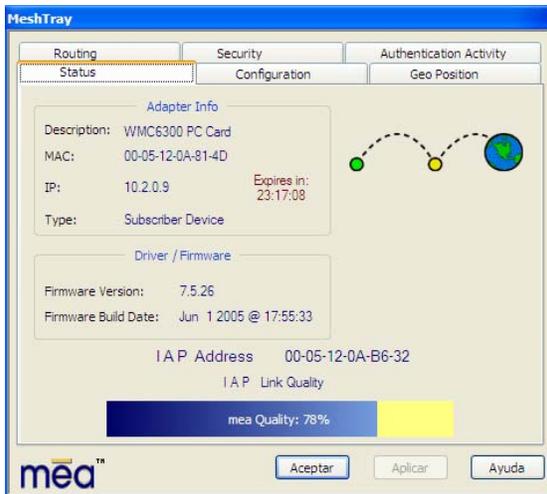


k). Calidad del enlace del portátil ubicado en el edificio 7.

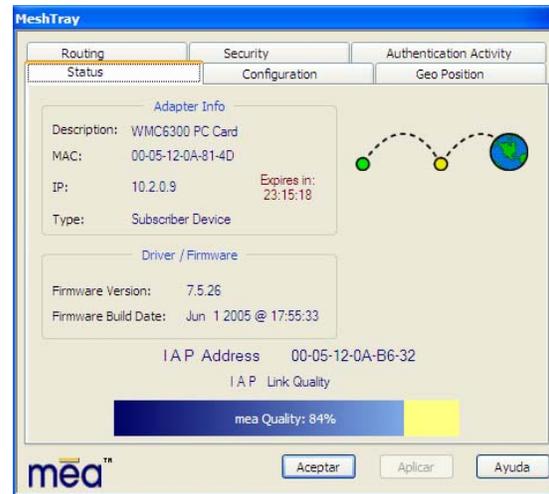


l). Calidad del enlace del portátil ubicado entre los edificios 7 y 8.

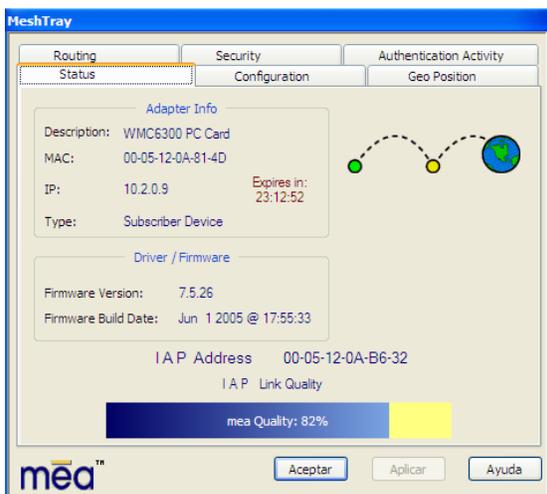
Figura 24. Calidad del enlace del portátil desde el edificio 2 hasta el 12, incisos i a l.



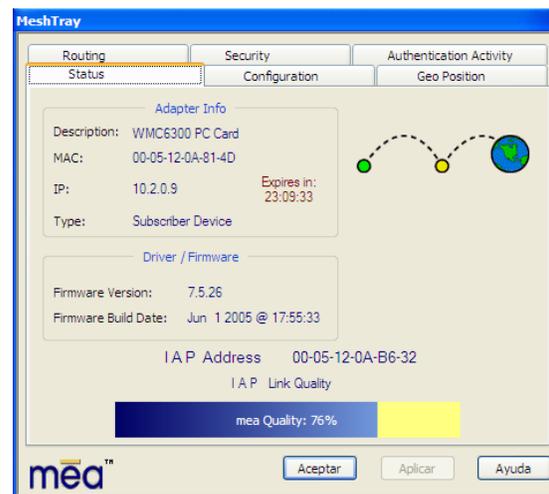
m). Calidad del enlace del portátil ubicado en el edificio 8.



n). Calidad del enlace del portátil ubicado entre los edificios 8 y 9.

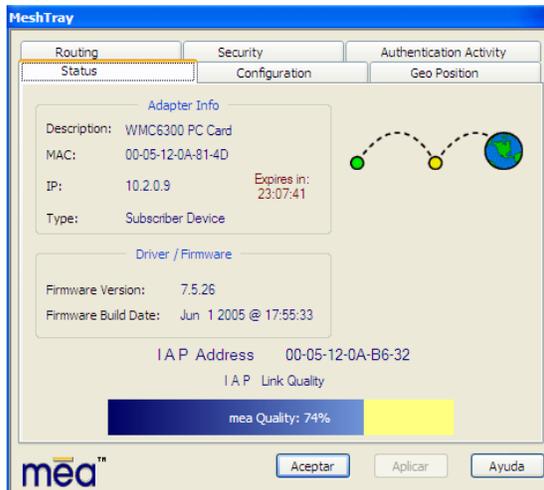


o). Calidad del enlace del portátil ubicado en el edificio 9.

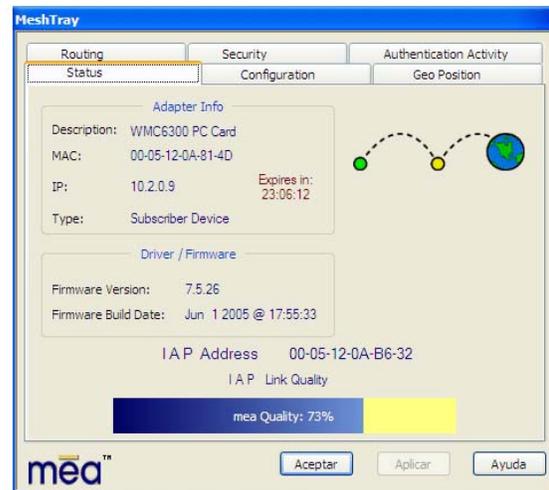


p). Calidad del enlace del portátil ubicado en el edificio 10.

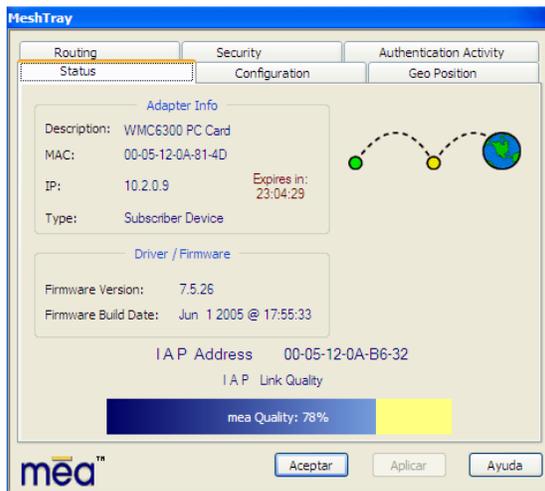
Figura 24. Calidad del enlace del portátil desde el edificio 2 hasta el 12, incisos m al p.



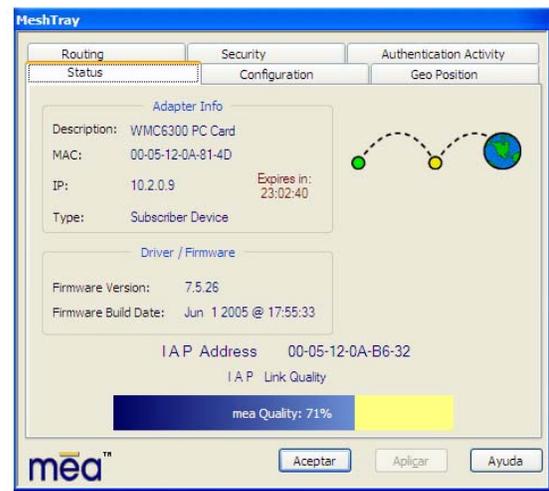
q). Calidad del enlace del portátil ubicado entre los edificios 10 y 11.



r). Calidad del enlace del portátil ubicado en el edificio 11.



s). Calidad del enlace del portátil ubicado entre los edificios 11 y 12.



t). Calidad del enlace del portátil ubicado en el edificio 12.

Figura 24. Calidad del enlace del portátil desde el edificio 2 hasta el 12, incisos q al t.

De la figura se puede observar la calidad del enlace que tiene el portátil con el IAP al que se conecta a lo largo de todo el recorrido.

Al inicio del recorrido tiene una calidad del 83% con el IAP1. Conforme empieza a avanzar, la calidad se incrementa en 96% y 91%. Cuando se coloca entre el edificio 3 – 4 y el edificio 4, ésta vuelve a ser de 83 %. El IAP por el que se conecta sigue siendo el mismo. Esta variación en la calidad es debida a que el portátil se va alejando del Access Point. Además los árboles que existen en el recorrido provocan atenuación en la señal.

En el momento en el que el portátil está entre el edificio 4 - 5 cambia su conexión hacia el IAP2 y su calidad de enlace es de 86%. Esto es claro, ya que comienza a tener más cerca al IAP2. Cuando avanza hacia el edificio 5 nuevamente se conecta al IAP1 y su porcentaje baja a 83%. La calidad es baja y utiliza un dispositivo que se encuentra más lejos debido a los obstáculos que hay en la zona. Este porcentaje aumenta a 86% entre el edificio 5 – 6 y cambia al IAP2.

De nuevo se conecta al IAP1 cuando está ubicado en el edificio 6 y entre el edificio 6 – 7, y su enlace es de 85% y 82%, respectivamente. A partir del punto del edificio 7 hasta el 12, se mantiene conectado al IAP2. Conserva un porcentaje por encima del 80%. Este es de: 83%, 83%, 78%, 84% y 82%, del edificio 7 al 9. Estos cambios que hace del IAP1 al IAP2 se justifican por que busca elementos por donde conectarse. Aunque prácticamente tiene al IAP2 más cerca, como en esa zona existe una gran densidad de árboles, esto provoca atenuación en la señal, como se mencionado repetidamente. De esta forma es como, aunque el IAP1 está más lejos no deja de estar disponible para proporcionar conectividad.

A partir del edificio 10 el enlace bajo: 76%, 74%, 73%, 78% y 71%. Su conexión es por el IAP2. Este porcentaje del enlace se debe a que el portátil se va alejando de la arquitectura. Pero esto no impide que se pierdan las comunicaciones, pues aunque la calidad decae no es lo suficientemente baja para indicar que el sistema no funciona. Por el contrario, el promedio de calidad del enlace es de 82%. Por lo que podemos decir que el sistema es confiable para tener comunicaciones y éstas no se pierden.

Para reforzar esta afirmación en la figura 25, incisos a) al t), se presentan las tablas de ruteo registradas para este cliente. Estos datos se obtuvieron a la par del nivel de señal. Se presentan por cada punto en el que se detenía el cliente.

MeshTray

Status: Routing | Configuration: Security | Geo Position: Authentication Activity

Routing Table:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-9D-58	00-05-12-0A-9D-58	1	MARGINAL

Neighbor Table: Neighbors below minimum threshold: 0 | Threshold: -120 dBm

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-BF-F2	-66 dBm	3.0
00-05-12-0A-9D-58	-81 dBm	1.5
00-05-12-0A-B1-00	-90 dBm	1.5

mea™ | Aceptar | Aplicar | Ayuda

a). Tabla de ruteo del portátil ubicado en el edificio 2.

MeshTray

Status: Routing | Configuration: Security | Geo Position: Authentication Activity

Routing Table:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-9D-58	00-05-12-0A-9D-58	1	MARGINAL

Neighbor Table: Neighbors below minimum threshold: 0 | Threshold: -120 dBm

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-BF-F2	-66 dBm	3.0
00-05-12-0A-9D-58	-81 dBm	1.5
00-05-12-0A-B1-00	-90 dBm	1.5

mea™ | Aceptar | Aplicar | Ayuda

b). Tabla de ruteo del portátil ubicado entre los edificios 2 y 3.

MeshTray

Status: Routing | Configuration: Security | Geo Position: Authentication Activity

Routing Table:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-9D-58	00-05-12-0A-BF-F2	2	GOOD

Neighbor Table: Neighbors below minimum threshold: 0 | Threshold: -120 dBm

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-BF-F2	-70 dBm	6.0
00-05-12-0A-9D-58	-79 dBm	1.5
00-05-12-0A-B1-00	-85 dBm	1.5

mea™ | Aceptar | Aplicar | Ayuda

c). Tabla de ruteo del portátil ubicado en el edificio 3.

MeshTray

Status: Routing | Configuration: Security | Geo Position: Authentication Activity

Routing Table:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-9D-58	00-05-12-0A-BF-F2	2	MARGINAL

Neighbor Table: Neighbors below minimum threshold: 0 | Threshold: -120 dBm

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-BF-F2	-76 dBm	6.0
00-05-12-0A-9D-58	-96 dBm	1.5
00-05-12-0A-B1-00	-89 dBm	1.5

mea™ | Aceptar | Aplicar | Ayuda

d). Tabla de ruteo del portátil ubicado entre los edificios 3 y 4.

Figura 25. Tabla de ruteo del portátil del edificio 2 hasta el 12, incisos a al d.

MeshTray

Status: Routing | Configuration: Security | Geo Position: Authentication Activity

Routing Table:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-BF-F2	00-05-12-0A-BF-F2	1	MARGINAL
00-05-12-0A-9D-58	00-05-12-0A-B1-00	2	GOOD

Neighbor Table: Neighbors below minimum threshold: 0 | Threshold: -120 dBm

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-BF-F2	-75 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-77	-75 dBm	1.5
00-05-12-0A-9D-58	-79 dBm	4.0
00-05-12-0A-B1-00	-60 dBm	6.0

mea™ | Aceptar | Aplicar | Ayuda

e). Tabla de ruteo del portátil ubicado en el edificio 4.

MeshTray

Status: Routing | Configuration: Security | Geo Position: Authentication Activity

Routing Table:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-9D-58	00-05-12-0A-B1-00	2	EXCELLENT
00-05-12-0A-B6-32	00-05-12-0A-B6-77	2	MARGINAL

Neighbor Table: Neighbors below minimum threshold: 0 | Threshold: -120 dBm

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-BF-F2	-52 dBm	1.5
00-05-12-0A-B6-77	-75 dBm	1.5
00-05-12-0A-9D-58	-82 dBm	1.5
00-05-12-0A-B6-32	-93 dBm	1.5
00-05-12-0A-B1-00	-67 dBm	6.0

mea™ | Aceptar | Aplicar | Ayuda

f). Tabla de ruteo del portátil ubicado entre los edificios 4 y 5.

MeshTray

Status: Routing | Configuration: Security | Geo Position: Authentication Activity

Routing Table:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-9D-58	00-05-12-0A-BF-F2	2	GOOD
00-05-12-0A-B6-32	00-05-12-0A-B6-77	2	GOOD

Neighbor Table: Neighbors below minimum threshold: 0 | Threshold: -120 dBm

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-BF-F2	-66 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-77	-79 dBm	1.5
00-05-12-0A-B1-00	-87 dBm	6.0

mea™ | Aceptar | Aplicar | Ayuda

g). Tabla de ruteo del portátil ubicado en el edificio 5.

MeshTray

Status: Routing | Configuration: Security | Geo Position: Authentication Activity

Routing Table:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-9D-58	00-05-12-0A-BF-F2	2	EXCELLENT

Neighbor Table: Neighbors below minimum threshold: 0 | Threshold: -120 dBm

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-BF-F2	-51 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-77	-61 dBm	6.0
00-05-12-0A-9D-58	-94 dBm	1.5
00-05-12-0A-B6-32	-92 dBm	1.5
00-05-12-0A-B1-00	-76 dBm	6.0

mea™ | Aceptar | Aplicar | Ayuda

h). Tabla de ruteo del portátil ubicado entre los edificios 5 y 6.

Figura 25. Tabla de ruteo del portátil del edificio 2 hasta el 12, incisos e al h.

MeshTray

Status: Routing | Configuration: Security | Geo Position: Authentication Activity

Routing Table:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-9D-58	00-05-12-0A-BF-F2	2	MARGINAL
00-05-12-0A-B6-32	00-05-12-0A-BF-F2	2	POOR

Neighbor Table: Neighbors below minimum threshold: 0 | Threshold: -120 dBm

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-BF-F2	-70 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-77	-76 dBm	1.5
00-05-12-0A-9D-58	-87 dBm	1.5
00-05-12-0A-B1-00	-96 dBm	6.0

mea™ | Aceptar | Aplicar | Ayuda

i). Tabla de ruteo del portátil ubicado en el edificio 6.

MeshTray

Status: Routing | Configuration: Security | Geo Position: Authentication Activity

Routing Table:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-B6-32	00-05-12-0A-BF-F2	2	MARGINAL
00-05-12-0A-9D-58	00-05-12-0A-BF-F2	2	MARGINAL

Neighbor Table: Neighbors below minimum threshold: 0 | Threshold: -120 dBm

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-BF-F2	-71 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-77	-78 dBm	1.5
00-05-12-0A-B6-32	-96 dBm	1.5
00-05-12-0A-B1-00	-96 dBm	1.5

mea™ | Aceptar | Aplicar | Ayuda

j). Tabla de ruteo del portátil ubicado entre los edificios 6 y 7.

MeshTray

Status: Routing | Configuration: Security | Geo Position: Authentication Activity

Routing Table:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-B6-32	00-05-12-0A-BF-F2	2	MARGINAL

Neighbor Table: Neighbors below minimum threshold: 0 | Threshold: -120 dBm

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-BF-F2	-67 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-77	-85 dBm	1.5
00-05-12-0A-B6-32	-95 dBm	1.5

mea™ | Aceptar | Aplicar | Ayuda

k). Tabla de ruteo del portátil ubicado en el edificio 7.

MeshTray

Status: Routing | Configuration: Security | Geo Position: Authentication Activity

Routing Table:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-9D-58	00-05-12-0A-BF-F2	2	POOR
00-05-12-0A-B6-32	00-05-12-0A-BF-F2	2	POOR

Neighbor Table: Neighbors below minimum threshold: 0 | Threshold: -120 dBm

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-BF-F2	-72 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-77	-95 dBm	1.5
00-05-12-0A-B6-32	-96 dBm	1.5

mea™ | Aceptar | Aplicar | Ayuda

l). Tabla de ruteo del portátil ubicado entre los edificios 7 y 8.

Figura 25. Tabla de ruteo del portátil del edificio 2 hasta el 12, incisos i al l.

The screenshot shows the MeshTray interface with the Routing Table and Neighbor Table. The Routing Table shows a path to destination 00-05-12-0A-B6-32 via next hop 00-05-12-0A-BF-F2 with 2 hops and a POOR state. The Neighbor Table shows three neighbors with their respective signal levels and last rates.

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-B6-32	00-05-12-0A-BF-F2	2	POOR

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-BF-F2	-71 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-77	-96 dBm	1.5
00-05-12-0A-B6-32	-81 dBm	1.5

m). Tabla de ruteo del portátil ubicado en el edificio 8.

The screenshot shows the MeshTray interface with the Routing Table and Neighbor Table. The Routing Table shows a path to destination 00-05-12-0A-B6-32 via next hop 00-05-12-0A-BF-F2 with 2 hops and a MARGINAL state. The Neighbor Table shows three neighbors with their respective signal levels and last rates.

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-B6-32	00-05-12-0A-BF-F2	2	MARGINAL

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-BF-F2	-65 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-32	-84 dBm	1.5

n). Tabla de ruteo del portátil ubicado entre los edificios 8 y 9.

The screenshot shows the MeshTray interface with the Routing Table and Neighbor Table. The Routing Table shows a path to destination 00-05-12-0A-9D-58 via next hop 00-05-12-0A-BF-F2 with 2 hops and a POOR state. The Neighbor Table shows two neighbors with their respective signal levels and last rates.

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-9D-58	00-05-12-0A-BF-F2	2	POOR

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-BF-F2	-71 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-32	-95 dBm	1.5

o). Tabla de ruteo del portátil ubicado en el edificio 9.

The screenshot shows the MeshTray interface with the Routing Table and Neighbor Table. The Routing Table shows a path to destination 00-05-12-0A-B6-32 via next hop 00-05-12-0A-BF-F2 with 2 hops and a POOR state. The Neighbor Table shows two neighbors with their respective signal levels and last rates.

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-B6-32	00-05-12-0A-BF-F2	2	POOR

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-BF-F2	-64 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-32	-95 dBm	1.5

p). Tabla de ruteo del portátil ubicado en el edificio 10.

Figura 25. Tabla de ruteo del portátil del edificio 2 hasta el 12, incisos m al p.

The screenshot shows the MeshTray interface with the following data:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-B6-32	00-05-12-0A-BF-F2	2	MARGINAL

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-BF-F2	-71 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-32	-95 dBm	1.5

q). Tabla de ruteo del portátil ubicado entre los edificios 10 y 11.

The screenshot shows the MeshTray interface with the following data:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-B6-32	00-05-12-0A-BF-F2	2	MARGINAL

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-BF-F2	-46 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-77	-87 dBm	1.5
00-05-12-0A-B6-32	-82 dBm	1.5

r). Tabla de ruteo del portátil ubicado en el edificio 11.

The screenshot shows the MeshTray interface with the following data:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-B6-32	00-05-12-0A-BF-F2	2	GOOD

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-BF-F2	-55 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-77	-88 dBm	1.5
00-05-12-0A-B6-32	-75 dBm	1.5

s). Tabla de ruteo del portátil ubicado entre los edificios 11 y 12.

The screenshot shows the MeshTray interface with the following data:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-B6-32	00-05-12-0A-BF-F2	2	POOR

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-BF-F2	-48 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-32	-91 dBm	1.5

t). Tabla de ruteo del portátil ubicado en el edificio 12.

Figura 25. Tabla de ruteo del portátil del edificio 2 hasta el 12, incisos q al t.

Con estos datos se puede determinar de manera completa el total de elementos por los que se enlazaba a la red. A diferencia de la calidad del enlace, que solo proporciona por que IAP se conecta. Además, indica el número de saltos que tiene que realizar. De manera adicional reporta una tabla de ruteo. En ella despliega los dispositivos vecinos y el nivel de señal que tiene cada uno de ellos.

En ambas mediciones, algunos de los factores que determinan los datos obtenidos son la distancia que se encuentra entre la arquitectura y el portátil, y los obstáculos que hay en el trayecto completo.

Si se hace una comparación de los resultados en cada uno de los puntos, se verá que esta información tiene exactamente un reporte de los elementos que ocupa para conectarse. A continuación se hace una explicación de esta relación.

La tabla de ruteo, figura 25 incisos a), b), c) y d); indica que cuando el portátil se ubica en los edificios 2; 2 – 3, 3 y 3 – 4, se conecta con el IAP1. Este dato es el mismo que se reporta en la calidad del enlace. La única diferencia que existe entre los cuatro puntos, es que en los primeros dos el portátil tiene comunicación directa con el IAP1 y es claro por la distancia a la que se encuentran. En los 2 restantes el portátil realiza dos saltos. Primero se conecta al móvil y éste se enlaza con el IAP1. Esta conexión se lleva a cabo por el nivel de señal que tenían el móvil y el IAP1, que como se puede observar en la figura 36, incisos c) y d), son los que mejor nivel tienen.

Los vecinos que tiene son tres: móvil, IAP1 y WR1.

Cuando avanza al edificio 4, 4 – 5 y 5, tiene dos opciones de conexión. Verificando el reporte de calidad del enlace, se comprueba que aunque la tabla de ruteo indica diferentes opciones de conexión, solo lleva a cabo una que es realizando dos saltos. Esta ruta es la misma que se presenta en los primeros tres puntos. La determinación de la trayectoria se debe a la calidad del enlace que tienen los dispositivos.

Se reportan 4, 5 y 3 vecinos para cada uno de las ubicaciones respectivamente. El hecho de que se agregue o disminuya el número de vecinos depende, como se mencionó, de la distancia en la que se encuentra el portátil de cada uno de ellos y la atenuación que sufre la señal.

Entre los edificios 5 – 6, la tabla de ruteo indica que solamente hay una opción de conexión, que es a través del IAP1. Mientras que la calidad del enlace indica que es a través del IAP2. Esta diferencia se debe al nivel de señal que reportan los vecinos, pues el IAP2 reporta un mejor nivel que el IAP1. Esto se puede observar en la figura 25 inciso h).

La comunicación por el IAP1 continúa en los edificios 6 y 6 – 7. En ambos reportes se comprueba esta conexión, indicando que se harán dos saltos para lograrlo. En los dos puntos se tienen 4 vecinos, solo que en el edificio 6 se tiene al IAP1 y entre los edificios 6 – 7 el vecino se cambia al IAP2. Esto se debe a la distancia, pues el portátil ahora se encuentra más cerca al edificio 8 que es donde está ubicado el segundo Access Point.

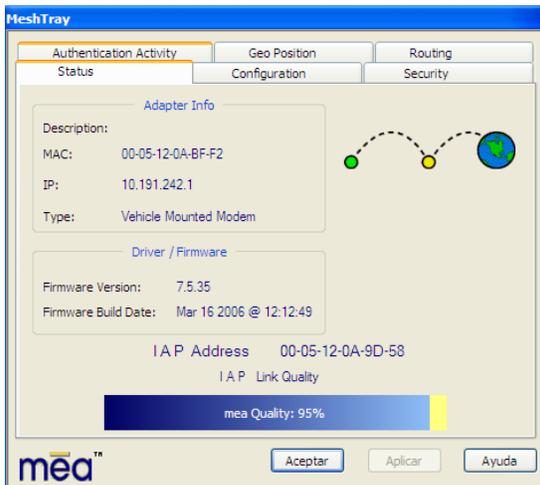
A partir del edificio 7 hasta el 12 se conecta con el IAP2. Solamente en el edificio 9, el portátil se comunica haciendo dos saltos (móvil – IAP1). Aunque está más cerca el IAP2, en esta zona se encuentran grandes árboles que provocan que la señal se atenúe y entonces busque otras rutas para comunicación.

El resto de las conexiones concuerdan con lo reportado en la calidad del enlace. Se puede observar, del inciso k) al t), que dependiendo la posición hará uno o dos saltos. Además de indicar los elementos que se tiene como vecinos.

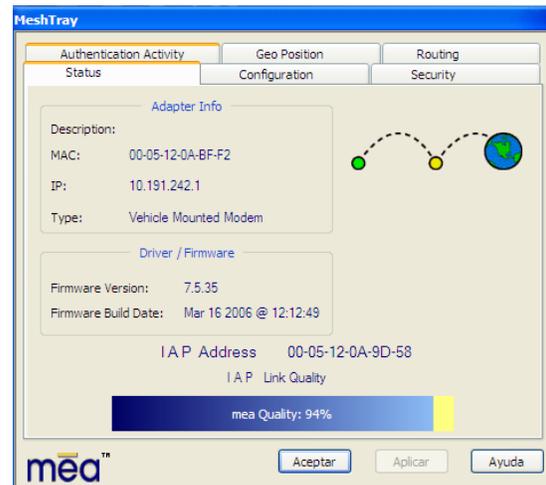
En todas estas mediciones se puede notar que cuando el portátil hace dos saltos, el elemento que utiliza para conectarse a los IAP's es el móvil, por la cercanía que tenían. Es por esta razón que no utiliza los MWR's. Para demostrar que los routers inalámbricos si participan dentro de la red, se realizó el mismo procedimiento para el móvil. Para este recorrido el portátil se desconectó.

- **Mediciones del Móvil considerando únicamente la infraestructura de la red.**

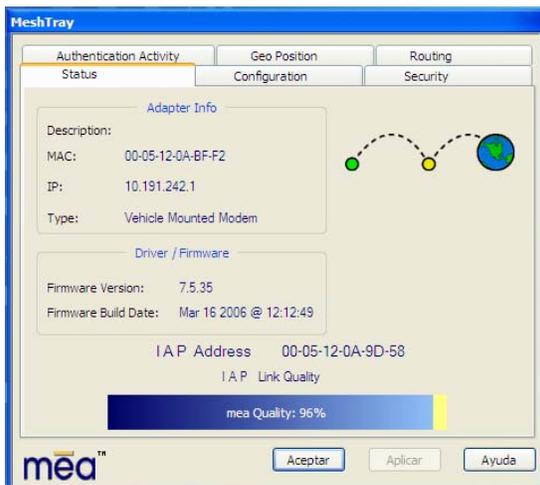
Las figuras 26 y 27, incisos a) al t), presentan los datos reportados del móvil de calidad del enlace y tablas de ruteo, respectivamente.



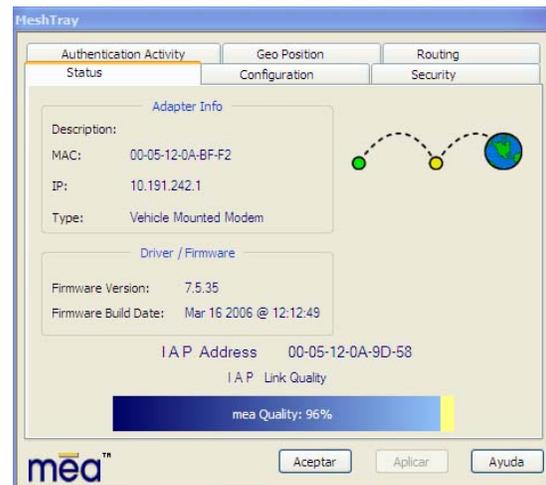
a). Calidad del enlace del móvil ubicado en el edificio 2.



b). Calidad del enlace del móvil ubicado entre los edificios 2 y 3.

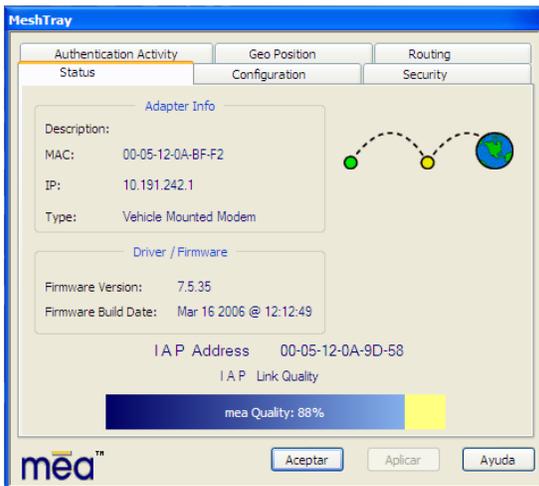


c). Calidad del enlace del móvil ubicado en el edificio 3.

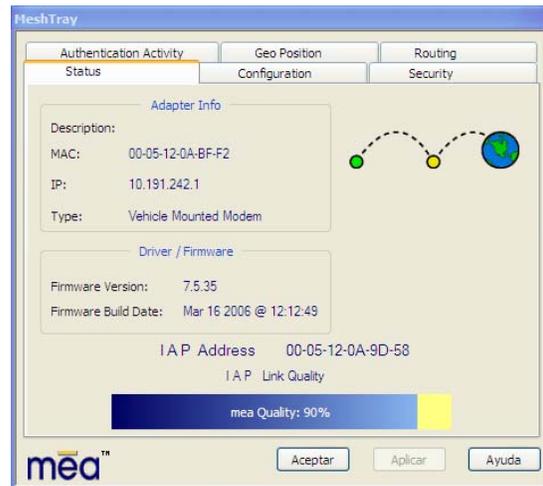


d). Calidad del enlace del móvil ubicado entre los edificios 3 y 4.

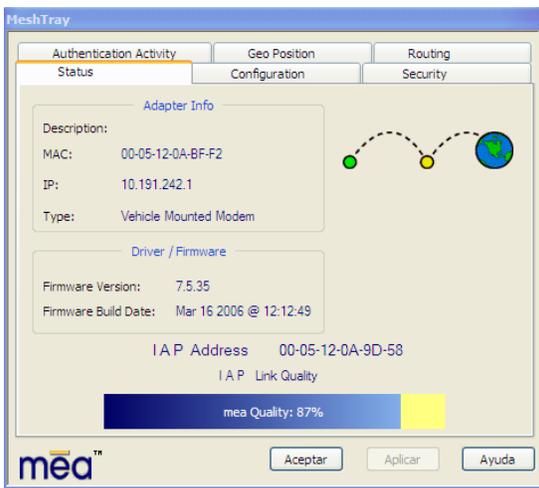
Figura 26. Calidad del enlace del móvil desde el edificio 2 hasta el 12, incisos a y d.



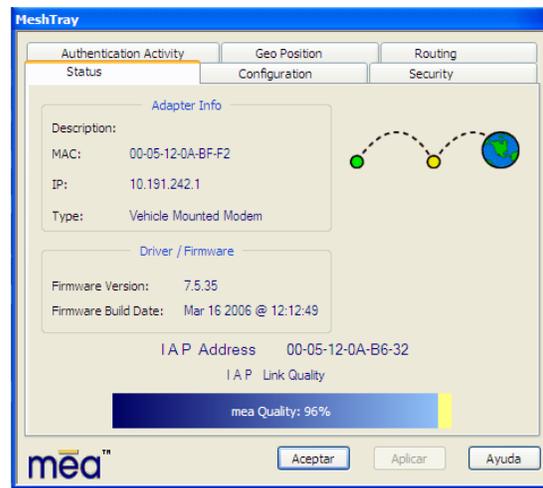
e). Calidad del enlace del móvil ubicado en el edificio 4.



f). Calidad del enlace del móvil ubicado entre los edificios 4 y 5.

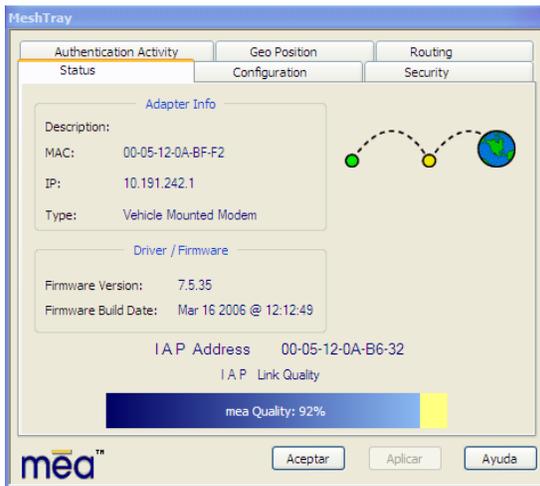


g). Calidad del enlace del móvil ubicado en el edificio 5.

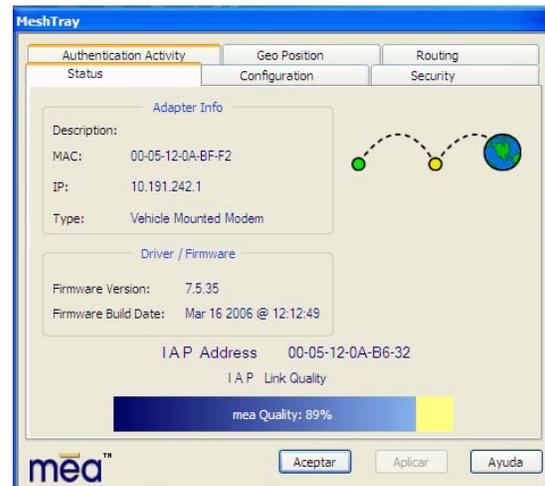


h). Calidad del enlace del móvil ubicado entre los edificios 5 y 6.

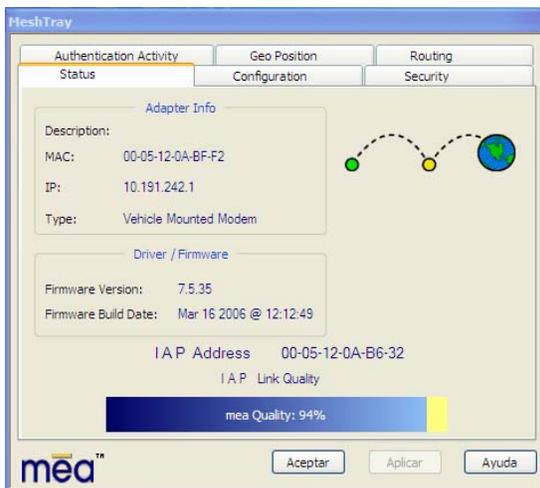
Figura 26. Calidad del enlace del móvil desde el edificio 2 hasta el 12, incisos e al h.



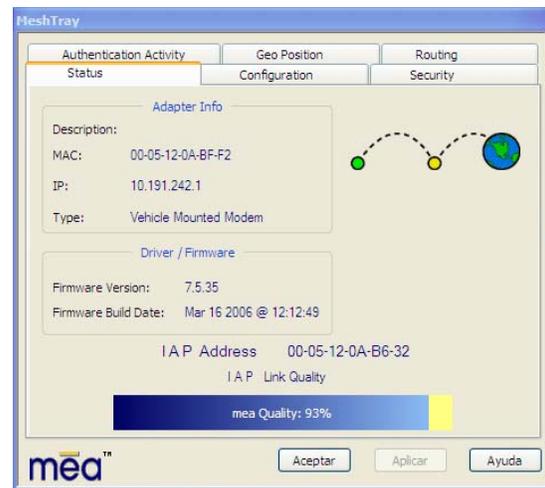
i). Calidad del enlace del móvil ubicado en el edificio 6.



j). Calidad del enlace del móvil ubicado entre los edificios 6 y 7.

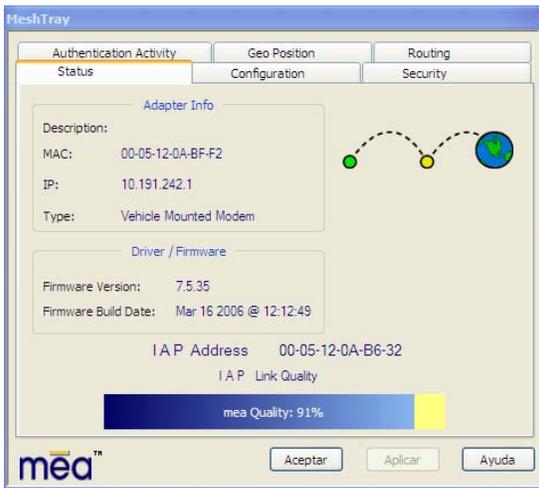


k). Calidad del enlace del móvil ubicado en el edificio 7.

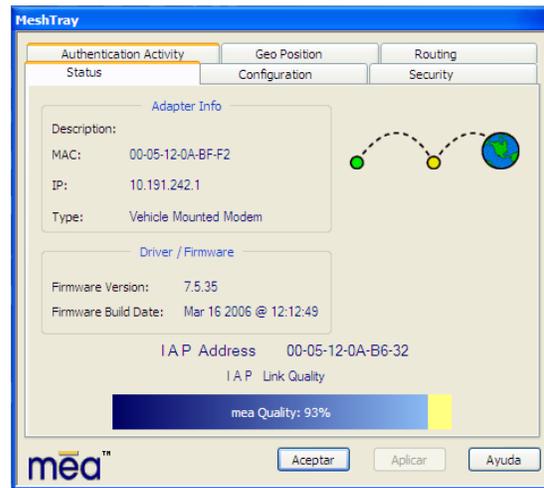


l). Calidad del enlace del móvil ubicado entre los edificios 7 y 8.

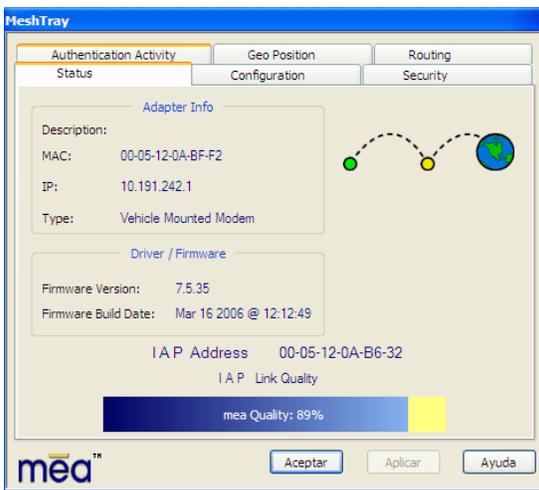
Figura 26. Calidad del enlace del móvil desde el edificio 2 hasta el 12, incisos i al l.



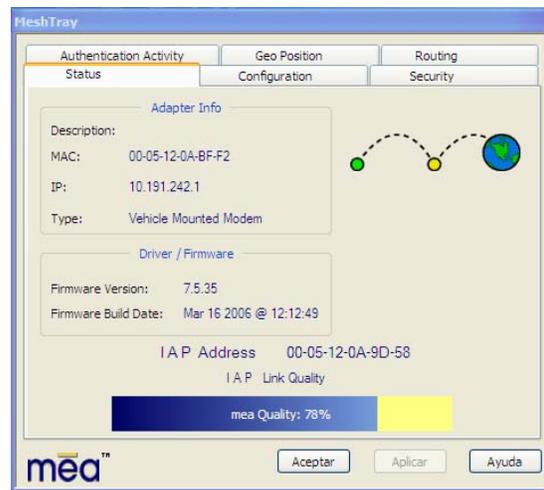
m). Calidad del enlace del móvil ubicado en el edificio 8.



n). Calidad del enlace del móvil ubicado entre los edificios 8 y 9.

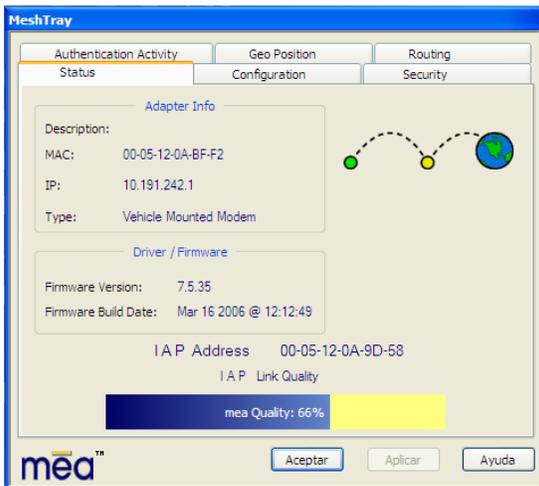


o). Calidad del enlace del móvil ubicado en el edificio 9.

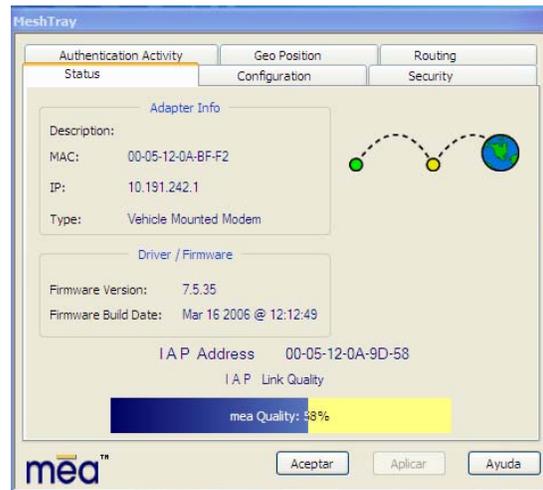


p). Calidad del enlace del móvil ubicado en el edificio 10.

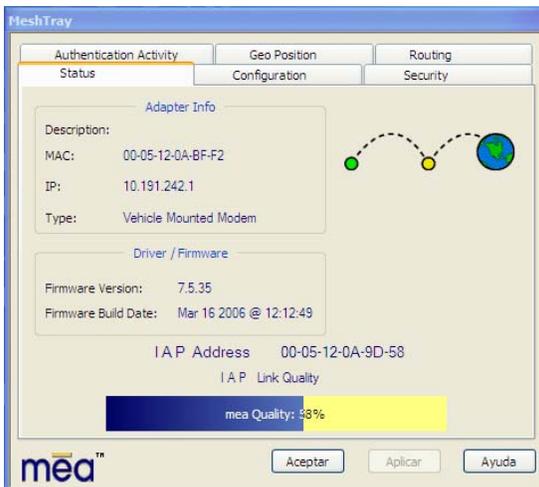
Figura 26. Calidad del enlace del móvil del edificio 2 hasta el 12, incisos m al p.



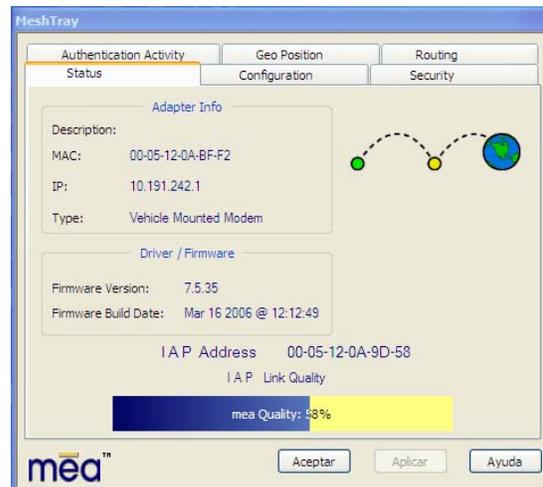
q). Calidad del enlace del móvil ubicado entre los edificios 10 y 11.



r). Calidad del enlace del móvil ubicado en el edificio 11.

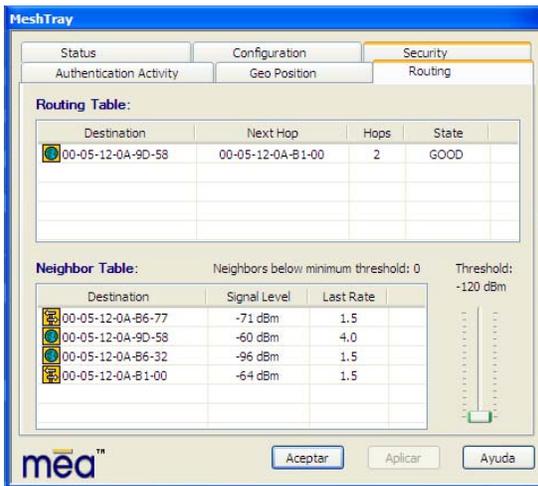


s). Calidad del enlace del móvil ubicado entre los edificios 11 y 12.

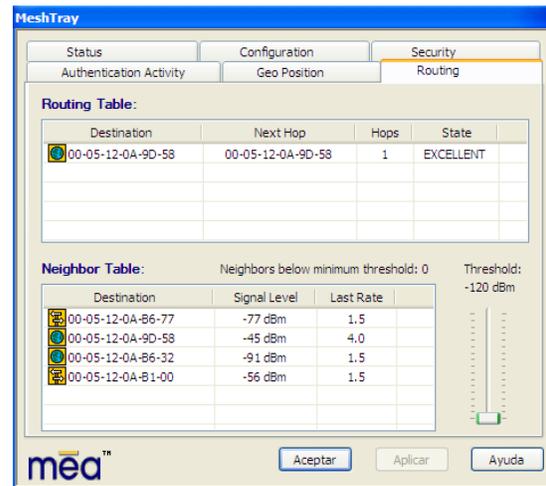


t). Calidad del enlace del móvil ubicado en el edificio 12.

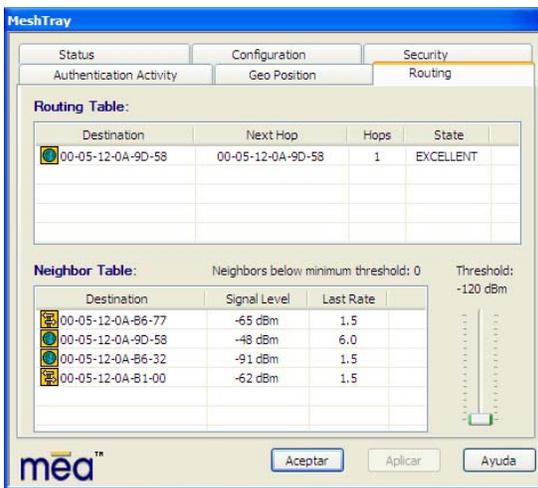
Figura 26. Calidad del enlace del móvil del edificio 2 hasta el 12, incisos q al t.



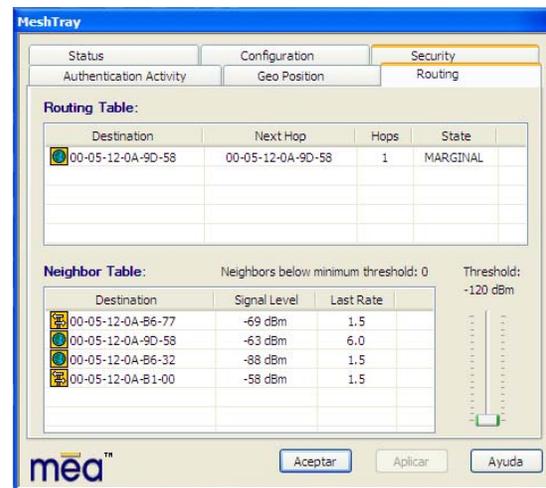
a). Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 2.



b). Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 2 y 3.



c). Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 3.



d). Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 3 y 4.

Figura 27. Tabla de ruteo del móvil del edificio 2 hasta el 12, incisos a al d.

The screenshot shows the MeshTray interface with the 'Routing' tab selected. The 'Routing Table' shows a single entry for destination 00-05-12-0A-B6-32 with next hop 00-05-12-0A-B6-77, 2 hops, and an 'EXCELLENT' state. The 'Neighbor Table' lists four neighbors with their signal levels and last rates.

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-B6-32	00-05-12-0A-B6-77	2	EXCELLENT

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-B6-77	-60 dBm	1.5
00-05-12-0A-9D-58	-69 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-32	-89 dBm	1.5
00-05-12-0A-B1-00	-62 dBm	1.5

e). Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 4.

The screenshot shows the MeshTray interface with the 'Routing' tab selected. The 'Routing Table' shows a single entry for destination 00-05-12-0A-9D-58 with next hop 00-05-12-0A-9D-58, 1 hop, and a 'MARGINAL' state. The 'Neighbor Table' lists four neighbors with their signal levels and last rates.

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-9D-58	00-05-12-0A-9D-58	1	MARGINAL

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-B6-77	-64 dBm	1.5
00-05-12-0A-9D-58	-69 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-32	-83 dBm	1.5
00-05-12-0A-B1-00	-58 dBm	1.5

f). Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 4 y 5.

The screenshot shows the MeshTray interface with the 'Routing' tab selected. The 'Routing Table' shows a single entry for destination 00-05-12-0A-9D-58 with next hop 00-05-12-0A-9D-58, 1 hop, and a 'MARGINAL' state. The 'Neighbor Table' lists four neighbors with their signal levels and last rates.

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-9D-58	00-05-12-0A-9D-58	1	MARGINAL

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-B6-77	-55 dBm	1.5
00-05-12-0A-9D-58	-63 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-32	-80 dBm	1.5
00-05-12-0A-B1-00	-63 dBm	1.5

g). Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 5.

The screenshot shows the MeshTray interface with the 'Routing' tab selected. The 'Routing Table' shows a single entry for destination 00-05-12-0A-B6-32 with next hop 00-05-12-0A-B6-77, 2 hops, and an 'EXCELLENT' state. The 'Neighbor Table' lists four neighbors with their signal levels and last rates.

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-B6-32	00-05-12-0A-B6-77	2	EXCELLENT

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-B6-77	-43 dBm	1.5
00-05-12-0A-9D-58	-69 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-32	-77 dBm	1.5
00-05-12-0A-B1-00	-63 dBm	1.5

h). Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 5 y 6.

Figura 27. Tabla de ruteo del móvil del edificio 2 hasta el 12, incisos e al h.

MeshTray

Status | Configuration | Security

Authentication Activity | Geo Position | Routing

Routing Table:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-B6-32	00-05-12-0A-B6-77	2	EXCELLENT

Neighbor Table: Neighbors below minimum threshold: 0 Threshold: -120 dBm

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-B6-77	-46 dBm	6.0
00-05-12-0A-9D-58	-69 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-32	-71 dBm	1.5
00-05-12-0A-B1-00	-63 dBm	1.5

mea™ | Aceptar | Aplicar | Ayuda

i). Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 6.

MeshTray

Status | Configuration | Security

Authentication Activity | Geo Position | Routing

Routing Table:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-B6-32	00-05-12-0A-B6-32	1	GOOD

Neighbor Table: Neighbors below minimum threshold: 0 Threshold: -120 dBm

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-B6-77	-55 dBm	6.0
00-05-12-0A-9D-58	-78 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-32	-68 dBm	1.5
00-05-12-0A-B1-00	-64 dBm	1.5

mea™ | Aceptar | Aplicar | Ayuda

j). Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 6 y 7.

MeshTray

Status | Configuration | Security

Authentication Activity | Geo Position | Routing

Routing Table:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-B6-32	00-05-12-0A-B6-32	1	GOOD

Neighbor Table: Neighbors below minimum threshold: 0 Threshold: -120 dBm

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-B6-77	-55 dBm	6.0
00-05-12-0A-9D-58	-76 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-32	-62 dBm	4.0
00-05-12-0A-B1-00	-63 dBm	1.5

mea™ | Aceptar | Aplicar | Ayuda

k). Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 7.

MeshTray

Status | Configuration | Security

Authentication Activity | Geo Position | Routing

Routing Table:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-B6-32	00-05-12-0A-B6-32	1	MARGINAL

Neighbor Table: Neighbors below minimum threshold: 0 Threshold: -120 dBm

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-B6-77	-63 dBm	6.0
00-05-12-0A-9D-58	-88 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-32	-63 dBm	6.0
00-05-12-0A-B1-00	-74 dBm	1.5

mea™ | Aceptar | Aplicar | Ayuda

l). Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 7 y 8.

Figura 27. Tabla de ruteo del móvil del edificio 2 hasta el 12, incisos i al l.

The screenshot shows the MeshTray interface with the 'Security' tab selected. The 'Routing Table' shows a single entry with a 'MARGINAL' state. The 'Neighbor Table' lists four neighbors with their respective signal levels and last rates.

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-B6-32	00-05-12-0A-B6-32	1	MARGINAL

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-B6-77	-66 dBm	6.0
00-05-12-0A-9D-58	-89 dBm	1.5
00-05-12-0A-B6-32	-57 dBm	4.0
00-05-12-0A-B1-00	-81 dBm	1.5

m). Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 8.

The screenshot shows the MeshTray interface with the 'Security' tab selected. The 'Routing Table' shows a single entry with an 'EXCELLENT' state. The 'Neighbor Table' lists four neighbors with their respective signal levels and last rates.

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-B6-32	00-05-12-0A-B6-32	1	EXCELLENT

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-B6-77	-66 dBm	6.0
00-05-12-0A-9D-58	-82 dBm	1.5
00-05-12-0A-B6-32	-49 dBm	6.0
00-05-12-0A-B1-00	-83 dBm	1.5

n). Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 8 y 9.

The screenshot shows the MeshTray interface with the 'Security' tab selected. The 'Routing Table' shows a single entry with a 'GOOD' state. The 'Neighbor Table' lists four neighbors with their respective signal levels and last rates.

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-9D-58	00-05-12-0A-B1-00	2	GOOD

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-B6-77	-75 dBm	6.0
00-05-12-0A-9D-58	-84 dBm	1.5
00-05-12-0A-B6-32	-65 dBm	1.5
00-05-12-0A-B1-00	-76 dBm	1.5

o). Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 9.

The screenshot shows the MeshTray interface with the 'Security' tab selected. The 'Routing Table' shows a single entry with a 'MARGINAL' state. The 'Neighbor Table' lists four neighbors with their respective signal levels and last rates.

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-9D-58	00-05-12-0A-B1-00	2	MARGINAL

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-B6-77	-84 dBm	1.5
00-05-12-0A-9D-58	-93 dBm	1.5
00-05-12-0A-B1-00	-80 dBm	1.5

p). Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 10.

Figura 27. Tabla de ruteo del móvil del edificio 2 hasta el 12, incisos m al p.

The screenshot shows the MeshTray interface with the 'Routing' tab selected. The 'Routing Table' contains one entry with a 'POOR' state. The 'Neighbor Table' shows two neighbors with signal levels of -82 dBm and -86 dBm.

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-9D-58	00-05-12-0A-B1-00	2	POOR

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-B6-77	-82 dBm	1.5
00-05-12-0A-B1-00	-86 dBm	1.5

q). Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 10 y 11.

The screenshot shows the MeshTray interface with the 'Routing' tab selected. The 'Routing Table' contains one entry with a 'POOR' state. The 'Neighbor Table' shows two neighbors with signal levels of -86 dBm and -91 dBm.

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-9D-58	00-05-12-0A-B1-00	2	POOR

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-B6-77	-86 dBm	1.5
00-05-12-0A-B1-00	-91 dBm	1.5

r). Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 11.

The screenshot shows the MeshTray interface with the 'Routing' tab selected. The 'Routing Table' contains one entry with a 'POOR' state. The 'Neighbor Table' shows two neighbors with signal levels of -78 dBm and -93 dBm.

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-9D-58	00-05-12-0A-B6-77	2	POOR

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-B6-77	-78 dBm	1.5
00-05-12-0A-B1-00	-93 dBm	1.5

s). Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 11 y 12.

The screenshot shows the MeshTray interface with the 'Routing' tab selected. The 'Routing Table' contains one entry with a 'POOR' state. The 'Neighbor Table' shows two neighbors with signal levels of -78 dBm and -93 dBm.

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-9D-58	00-05-12-0A-B6-77	2	POOR

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-B6-77	-78 dBm	1.5
00-05-12-0A-B1-00	-93 dBm	1.5

t). Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 12.

Figura 27. Tablas de ruteo del móvil del edificio 2 hasta el 12, incisos q al t.

Al igual que con el portátil, los datos presentados sirven para determinar los dispositivos a través de los cuales se conecta a la red, así como los que tiene de vecinos.

Al hacer una comparación de ambos resultados, se podrá observar la coincidencia en los reportes. Del edificio 2 al 5 se reporta un promedio de calidad de enlace de 92.28%, indicando que se comunica a través del IAP1. En la tabla de ruteo, incisos a) al g) figura 27, se puede ver que se comprueba, pues indica que se enlaza directamente a este dispositivo. Solo en el edificio 2 realiza dos saltos, empleando el MWR1. Sin embargo en el punto del edificio 4, el portátil hace dos saltos a través del MWR2 al IAP2.

Entre el edificio 5 – 6 se comunica directamente con el IAP2. Cuando avanza al edificio 6, realiza dos saltos conectándose al MWR2 y para enlazarse al IAP2. En la trayectoria recorrida a partir de este punto hasta al edificio 8, se conecta a través del IAP2 haciendo comunicación directa.

Para el edificio 9 se reporta que la calidad del enlace es del 89% con el IAP2. Pero la tabla de ruteo indica que se comunica con la red haciendo dos saltos. A través del MWR1 y el IAP1. Esto se puede atribuir que aunque se encuentra más cerca del IAP2, la comunicación con él se ve afectada por la atenuación que sufre la señal debido a la cantidad de árboles que tiene la zona, así como la altura que tienen.

A partir de esta posición en adelante todas las comunicaciones se llevan a cabo a través del IAP1 realizando dos saltos. Para ello utiliza los MWR's (ver incisos p) al t) figura 27). Este dato es el mismo que tiene la calidad del enlace.

Es importante señalar que el porcentaje reportado, para estas últimas ubicaciones es muy bajo, aproximadamente del 50%. Esto se debe a que se dejó fuera de la red el IAP2, con el propósito de comprobar que si éste falla el enlace no se pierde. Pues aunque el portátil se aleje, la comunicación se logrará utilizando los MWR's.

Con estos resultados se puede determinar que aunque haya obstáculos, la distancia entre infraestructura y los clientes aumente, o algún elemento deje de funcionar o presente alguna falla la conexión no se pierde. Siempre se va a buscar alguna alternativa de conexión. De esta forma se refuerza la característica de movilidad de las redes Mesh.

- **Mediciones del Móvil considerando toda la arquitectura de la red.**

Finalmente se realizaron mediciones del móvil a lo largo de todo el recorrido y con toda la arquitectura en funcionamiento, incluido el portátil.

Como en los resultados anteriores, en la figura 28, incisos a) al t), se presentan las tablas de ruteo reportadas a lo largo de todo este recorrido.

MeshTray

Status Configuration Security
Authentication Activity Geo Position Routing

Routing Table:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-9D-58	00-05-12-0A-9D-58	1	MARGINAL

Neighbor Table: Neighbors below minimum threshold: 0 Threshold: -120 dBm

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-81-4D	-72 dBm	1.5
00-05-12-0A-B6-77	-75 dBm	1.5
00-05-12-0A-9D-58	-49 dBm	4.0
00-05-12-0A-B6-32	-93 dBm	1.5
00-05-12-0A-B1-00	-65 dBm	1.5

mea™ Aceptar Aplicar Ayuda

a). Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 2.

MeshTray

Status Configuration Security
Authentication Activity Geo Position Routing

Routing Table:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-81-4D	00-05-12-0A-81-4D	1	GOOD
00-05-12-0A-9D-58	00-05-12-0A-9D-58	1	GOOD

Neighbor Table: Neighbors below minimum threshold: 0 Threshold: -120 dBm

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-81-4D	-56 dBm	3.0
00-05-12-0A-B6-77	-78 dBm	1.5
00-05-12-0A-9D-58	-45 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-32	-88 dBm	1.5
00-05-12-0A-B1-00	-58 dBm	1.5

mea™ Aceptar Aplicar Ayuda

b). Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 2 y 3.

Figura 28. Tabla de ruteo del móvil del edificio 2 hasta el 12, incisos a y b.

MeshTray

Status | Configuration | Security

Authentication Activity | Geo Position | Routing

Routing Table:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-81-4D	00-05-12-0A-81-4D	1	GOOD
00-05-12-0A-9D-58	00-05-12-0A-9D-58	1	EXCELLENT

Neighbor Table: Neighbors below minimum threshold: 0 Threshold: -120 dBm

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-81-4D	-68 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-77	-74 dBm	1.5
00-05-12-0A-9D-58	-48 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-32	-87 dBm	1.5
00-05-12-0A-B1-00	-55 dBm	1.5

mea™ | Aceptar | Aplicar | Ayuda

c). Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 3.

MeshTray

Status | Configuration | Security

Authentication Activity | Geo Position | Routing

Routing Table:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-81-4D	00-05-12-0A-81-4D	1	MARGINAL
00-05-12-0A-9D-58	00-05-12-0A-9D-58	1	GOOD

Neighbor Table: Neighbors below minimum threshold: 0 Threshold: -120 dBm

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-81-4D	-76 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-77	-72 dBm	1.5
00-05-12-0A-9D-58	-62 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-32	-92 dBm	1.5
00-05-12-0A-B1-00	-50 dBm	1.5

mea™ | Aceptar | Aplicar | Ayuda

d). Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 3 y 4.

MeshTray

Status | Configuration | Security

Authentication Activity | Geo Position | Routing

Routing Table:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-B6-32	00-05-12-0A-B6-77	2	EXCELLENT

Neighbor Table: Neighbors below minimum threshold: 0 Threshold: -120 dBm

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-81-4D	-62 dBm	3.0
00-05-12-0A-B6-77	-63 dBm	1.5
00-05-12-0A-9D-58	-65 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-32	-91 dBm	1.5
00-05-12-0A-B1-00	-57 dBm	1.5

mea™ | Aceptar | Aplicar | Ayuda

e). Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 4.

MeshTray

Status | Configuration | Security

Authentication Activity | Geo Position | Routing

Routing Table:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-9D-58	00-05-12-0A-9D-58	1	GOOD

Neighbor Table: Neighbors below minimum threshold: 0 Threshold: -120 dBm

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-81-4D	-55 dBm	3.0
00-05-12-0A-B6-77	-62 dBm	1.5
00-05-12-0A-9D-58	-65 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-32	-87 dBm	1.5
00-05-12-0A-B1-00	-57 dBm	1.5

mea™ | Aceptar | Aplicar | Ayuda

f). Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 4 y 5.

Figura 28. Tabla de ruteo del móvil del edificio 2 hasta el 12, incisos c al f.

MeshTray

Status Configuration Security
Authentication Activity Geo Position Routing

Routing Table:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-9D-58	00-05-12-0A-9D-58	1	EXCELLENT
00-05-12-0A-81-4D	00-05-12-0A-81-4D	1	MARGINAL

Neighbor Table: Neighbors below minimum threshold: 0 Threshold: -120 dBm

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-81-4D	-64 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-77	-55 dBm	1.5
00-05-12-0A-9D-58	-63 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-32	-77 dBm	1.5
00-05-12-0A-B1-00	-62 dBm	1.5

mea™ Aceptar Aplicar Ayuda

g). Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 5.

MeshTray

Status Configuration Security
Authentication Activity Geo Position Routing

Routing Table:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-81-4D	00-05-12-0A-81-4D	1	GOOD
00-05-12-0A-9D-58	00-05-12-0A-9D-58	1	MARGINAL

Neighbor Table: Neighbors below minimum threshold: 0 Threshold: -120 dBm

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-81-4D	-55 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-77	-45 dBm	1.5
00-05-12-0A-9D-58	-69 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-32	-76 dBm	1.5
00-05-12-0A-B1-00	-60 dBm	1.5

mea™ Aceptar Aplicar Ayuda

h). Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 5 y 6.

MeshTray

Status Configuration Security
Authentication Activity Geo Position Routing

Routing Table:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-9D-58	00-05-12-0A-9D-58	1	MARGINAL
00-05-12-0A-81-4D	00-05-12-0A-81-4D	1	GOOD

Neighbor Table: Neighbors below minimum threshold: 0 Threshold: -120 dBm

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-81-4D	-64 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-77	-46 dBm	6.0
00-05-12-0A-9D-58	-69 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-32	-68 dBm	1.5
00-05-12-0A-B1-00	-65 dBm	1.5

mea™ Aceptar Aplicar Ayuda

i). Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 6.

MeshTray

Status Configuration Security
Authentication Activity Geo Position Routing

Routing Table:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-81-4D	00-05-12-0A-81-4D	1	GOOD
00-05-12-0A-B6-32	00-05-12-0A-B6-32	1	MARGINAL
00-05-12-0A-9D-58	00-05-12-0A-9D-58	1	GOOD

Neighbor Table: Neighbors below minimum threshold: 0 Threshold: -120 dBm

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-81-4D	-68 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-77	-55 dBm	6.0
00-05-12-0A-9D-58	-68 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-32	-69 dBm	6.0
00-05-12-0A-B1-00	-64 dBm	1.5

mea™ Aceptar Aplicar Ayuda

j). Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 6 y 7.

Figura 28. Tabla de ruteo del móvil del edificio 2 hasta el 12, incisos g al j.

MeshTray

Status Configuration Security
Authentication Activity Geo Position Routing

Routing Table:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-81-4D	00-05-12-0A-81-4D	1	POOR
00-05-12-0A-9D-58	00-05-12-0A-B1-00	2	GOOD
00-05-12-0A-B6-32	00-05-12-0A-B6-32	1	GOOD

Neighbor Table: Neighbors below minimum threshold: 0 Threshold: -120 dBm

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-81-4D	-64 dBm	4.0
00-05-12-0A-B6-77	-56 dBm	6.0
00-05-12-0A-9D-58	-75 dBm	4.0
00-05-12-0A-B6-32	-64 dBm	6.0
00-05-12-0A-B1-00	-64 dBm	3.0

mea™ Aceptar Aplicar Ayuda

k). Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 7.

MeshTray

Status Configuration Security
Authentication Activity Geo Position Routing

Routing Table:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-81-4D	00-05-12-0A-81-4D	1	MARGINAL
00-05-12-0A-9D-58	00-05-12-0A-9D-58	1	POOR
00-05-12-0A-B6-32	00-05-12-0A-B6-32	1	POOR

Neighbor Table: Neighbors below minimum threshold: 0 Threshold: -120 dBm

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-81-4D	-66 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-77	-64 dBm	6.0
00-05-12-0A-9D-58	-87 dBm	1.5
00-05-12-0A-B6-32	-61 dBm	4.0
00-05-12-0A-B1-00	-68 dBm	3.0

mea™ Aceptar Aplicar Ayuda

l). Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 7 y 8.

MeshTray

Status Configuration Security
Authentication Activity Geo Position Routing

Routing Table:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-81-4D	00-05-12-0A-81-4D	1	MARGINAL
00-05-12-0A-B6-32	00-05-12-0A-B6-32	1	MARGINAL

Neighbor Table: Neighbors below minimum threshold: 0 Threshold: -120 dBm

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-81-4D	-65 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-77	-68 dBm	3.0
00-05-12-0A-9D-58	-84 dBm	1.5
00-05-12-0A-B6-32	-56 dBm	6.0
00-05-12-0A-B1-00	-72 dBm	1.5

mea™ Aceptar Aplicar Ayuda

m). Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 8.

MeshTray

Status Configuration Security
Authentication Activity Geo Position Routing

Routing Table:

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-81-4D	00-05-12-0A-81-4D	1	MARGINAL
00-05-12-0A-B6-32	00-05-12-0A-B6-32	1	EXCELLENT

Neighbor Table: Neighbors below minimum threshold: 0 Threshold: -120 dBm

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-81-4D	-69 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-77	-68 dBm	3.0
00-05-12-0A-9D-58	-83 dBm	1.5
00-05-12-0A-B6-32	-55 dBm	6.0
00-05-12-0A-B1-00	-81 dBm	1.5

mea™ Aceptar Aplicar Ayuda

n). Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 8 y 9.

Figura 28. Tabla de ruteo del móvil del edificio 2 hasta el 12, incisos k al n.

The screenshot shows the MeshTray interface with the 'Routing' tab selected. The 'Routing Table' and 'Neighbor Table' are displayed.

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-81-4D	00-05-12-0A-81-4D	1	GOOD
00-05-12-0A-9D-58	00-05-12-0A-9D-58	1	POOR
00-05-12-0A-B6-32	00-05-12-0A-B6-32	1	MARGINAL

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-81-4D	-63 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-77	-72 dBm	3.0
00-05-12-0A-9D-58	-82 dBm	1.5
00-05-12-0A-B6-32	-69 dBm	4.0
00-05-12-0A-B1-00	-75 dBm	1.5

o). Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 9.

The screenshot shows the MeshTray interface with the 'Routing' tab selected. The 'Routing Table' and 'Neighbor Table' are displayed.

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-81-4D	00-05-12-0A-81-4D	1	MARGINAL
00-05-12-0A-B6-32	00-05-12-0A-B6-32	1	MARGINAL

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-81-4D	-62 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-77	-82 dBm	3.0
00-05-12-0A-B6-32	-70 dBm	1.5
00-05-12-0A-B1-00	-84 dBm	1.5

p). Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 10.

The screenshot shows the MeshTray interface with the 'Routing' tab selected. The 'Routing Table' and 'Neighbor Table' are displayed.

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-81-4D	00-05-12-0A-81-4D	1	GOOD
00-05-12-0A-B6-32	00-05-12-0A-B6-32	1	MARGINAL

Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-81-4D	-66 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-77	-82 dBm	3.0
00-05-12-0A-B6-32	-65 dBm	4.0
00-05-12-0A-B1-00	-84 dBm	1.5

q). Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 10 y 11.

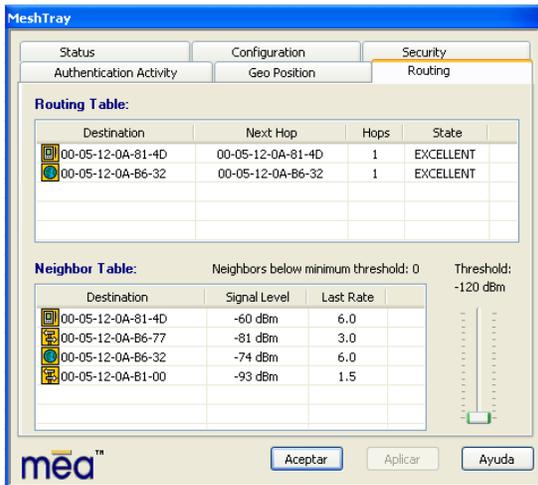
The screenshot shows the MeshTray interface with the 'Routing' tab selected. The 'Routing Table' and 'Neighbor Table' are displayed.

Destination	Next Hop	Hops	State
00-05-12-0A-81-4D	00-05-12-0A-81-4D	1	MARGINAL
00-05-12-0A-B6-32	00-05-12-0A-B6-32	1	MARGINAL

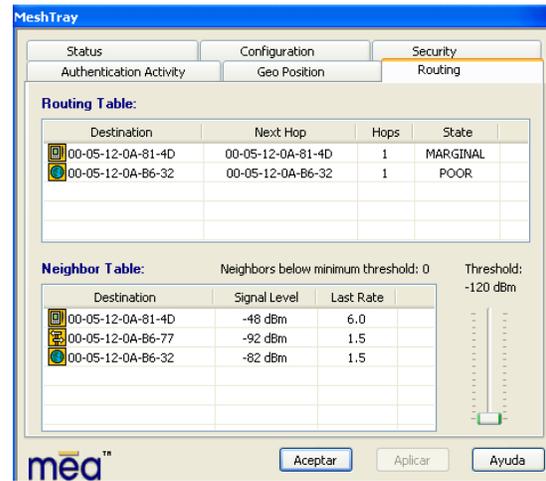
Destination	Signal Level	Last Rate
00-05-12-0A-81-4D	-55 dBm	6.0
00-05-12-0A-B6-77	-88 dBm	3.0
00-05-12-0A-B6-32	-72 dBm	3.0
00-05-12-0A-B1-00	-92 dBm	1.5

r). Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 11.

Figura 28. Tablas de ruteo del móvil del edificio 2 hasta el 12, incisos o al r.



s). Tabla de ruteo del móvil ubicado entre los edificios 11 y 12.



t). Tabla de ruteo del móvil ubicado en el edificio 12.

Figura 28. Tablas de ruteo del móvil del edificio 2 hasta el 12, incisos s y t.

De esta figura se puede observar, inciso a), que en el momento en el que el móvil se encuentra en el edificio 2, la tabla indica que solo hará un salto y éste se debe porque se conecta al IAP1. Al mismo tiempo, ofrece información de los dispositivos que tiene como vecinos y el nivel de señal que tienen. Cuando avanza al punto entre el edificio 2 - 3, al edificio 3 o entre el 3 - 4; tiene que realizar nuevamente solo un salto, pero ahora lo puede hacer a través del IAP1 o conectándose al portátil. En el edificio 4, realiza dos saltos, conectándose al MWR2 y al IAP2. Mientras que en el resto del recorrido solo hace un solo salto, aunque tiene diferentes opciones para hacerlo. Incisos b) al e).

En el punto intermedio entre el edificio 4 - 5 se conecta directamente al IAP1. Mientras que en el edificio 5, entre el 5 - 6 y el 6, tiene dos opciones de comunicación, a través del IAP1 o del portátil. Cuando llega al punto entre el edificio 6 - 7, 7, y entre el 7 - 8; presenta una opción más de conexión que es con el IAP2. Es importante resaltar que en el edificio 7 tiene una opción de conexión a dos elementos diferentes. Esto implica que haga 2 saltos y que la tasa de datos se reduzca.

Cuando se ubica exactamente en el punto en el que está ubicado el IAP2, el edificio 8, tiene la opción de comunicarse por ese dispositivo o a través del portátil y, estas opciones de conexión se mantienen cuando avanza al punto intermedio entre el edificio 8 - 9. Al momento de ubicarse en el edificio 9, nuevamente aparece la opción de conexión a través del IAP1, que aunque es pobre, es una elección más que se agrega.

En todos estos casos los vecinos del móvil son: IAP1, IAP2, MWR1, MWR2 y el portátil. Lo único que cambia de esta información es el nivel de señal que tiene cada dispositivo, dependiendo de la ubicación.

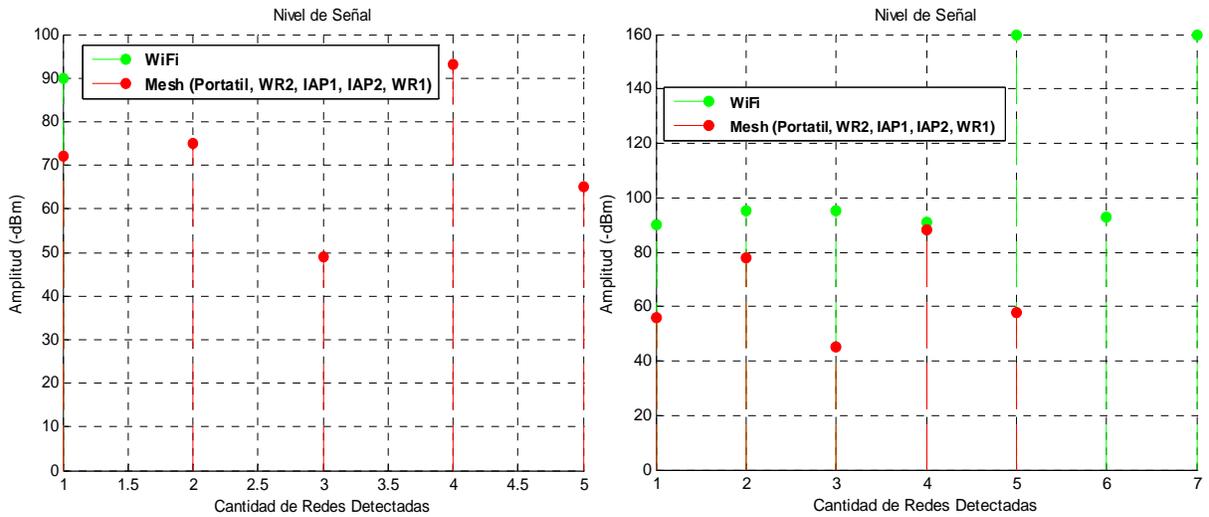
A partir del edificio 10 y hasta el fin del trayecto el móvil solo requiere hacer un salto para tener acceso a la red. Es claro que al irse alejando de la zona de cobertura el elemento más cercano para poder comunicarse es el IAP2. Mientras que el portátil es un elemento que servirá para que formen entre ellos su propia infraestructura. De esta manera podrán tener comunicación aunque se alejen de la zona de cobertura.

Los dispositivos que se tienen como en este intervalo del recorrido son: MWR1, MWR2, IAP2 y el portátil. Solo en la ubicación del edificio 12 deja de tener como vecino al MWR1, y es entendible por la distancia a la que se encuentra. Al mismo tiempo indica que aunque se encuentre en el límite de cobertura, tendrá comunicaciones, debido a que no está limitado a la conexión a un solo dispositivo, como se ha demostrado. Todos estos datos se pueden visualizar del inciso f) al t)

3.2. INFLUENCIA DE LAS REDES WiFi.

Otro aspecto por notar y que se ha mencionado, es la presencia de redes WiFi con niveles de señal muy parecido al de la red Mesh.

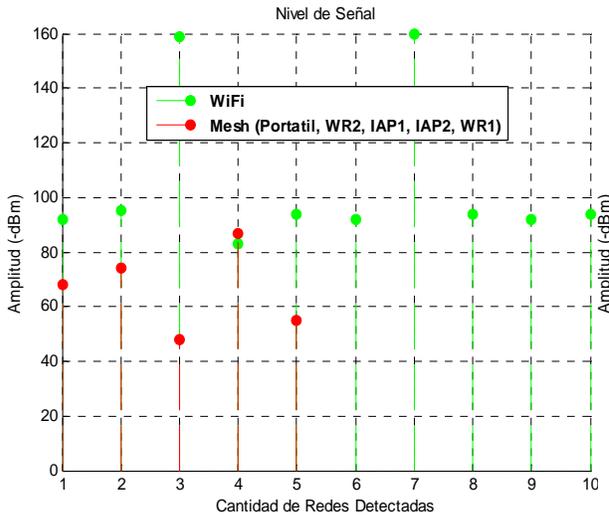
Para tener una relación de los niveles de señal detectados por el móvil, con la red WiFi en la figura 29, incisos a al t, se presentan las gráficas comparativas.



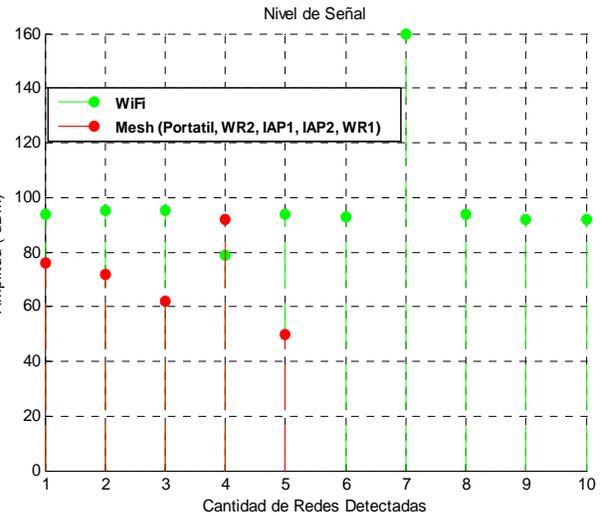
a). Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi ubicadas en el Edificio 2 y la red Mesh

b). Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi, ubicadas entre los Edificios 2 y 3, y la red Mesh

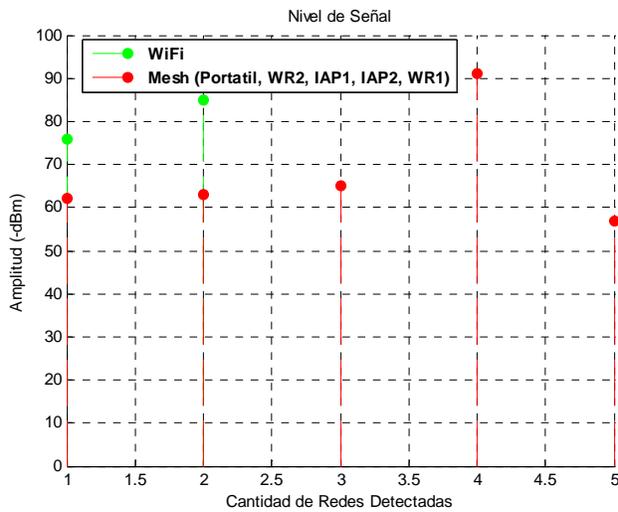
Figura 29. Nivel de Señal de las redes WiFi y de la red Mesh (móvil) edificio 2 hasta el 12, incisos a y b.



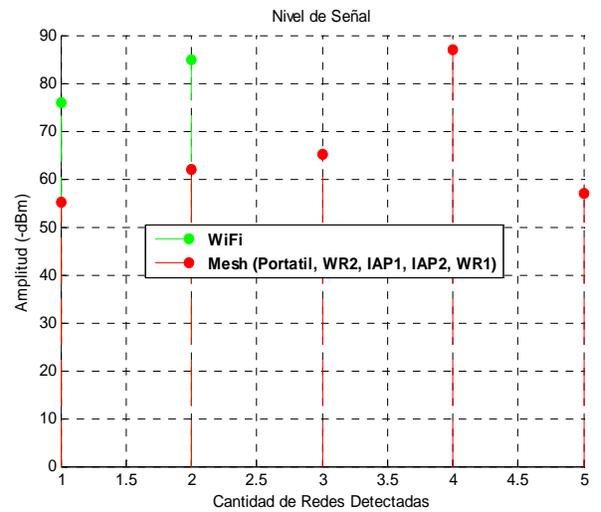
c). Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi ubicadas en el Edificio 3 y la red Mesh



d). Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi, ubicadas entre los Edificios 3 y 4, y la red Mesh

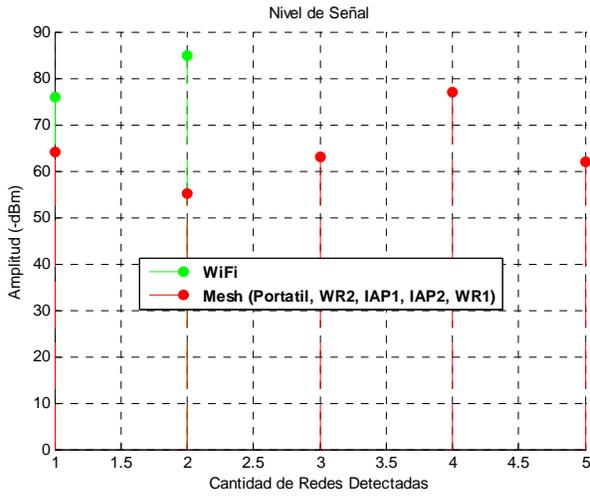


e). Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi ubicadas en el Edificio 4 y la red Mesh

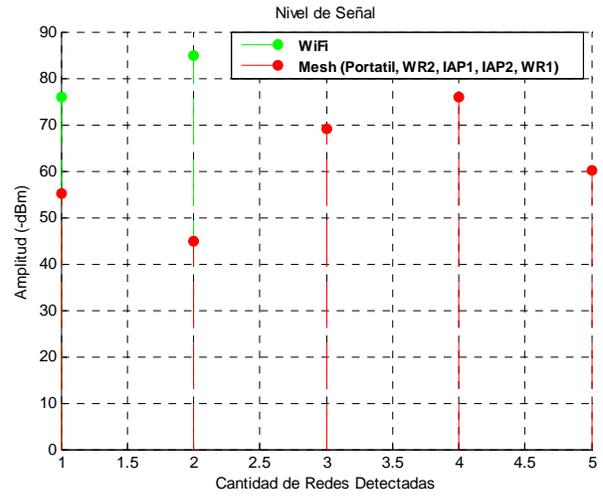


f). Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi, ubicadas entre los Edificios 4 y 5, y la red Mesh

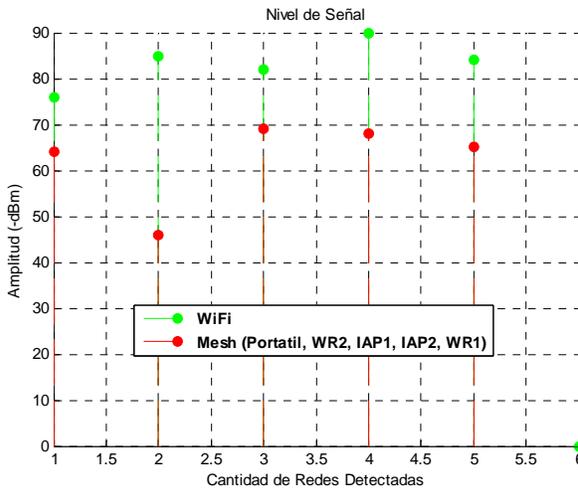
Figura 29. Nivel de Señal de las redes WiFi y de la red Mesh (móvil) edificio 2 hasta el 12, incisos c al f.



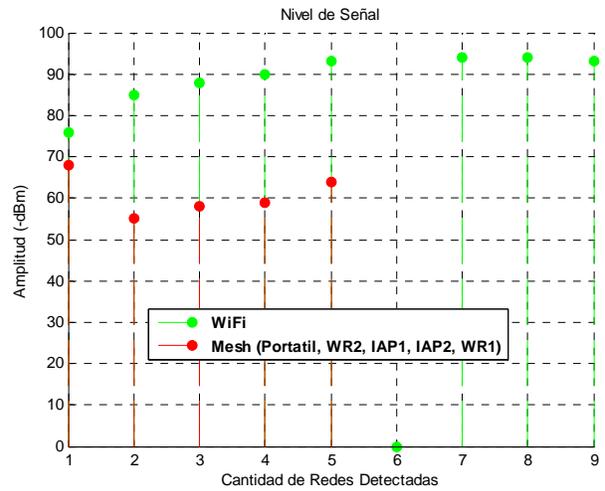
g) Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi, ubicadas en el Edificio 5, y la red Mesh



h) Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi, ubicadas entre los Edificios 5 y 6, y la red Mesh

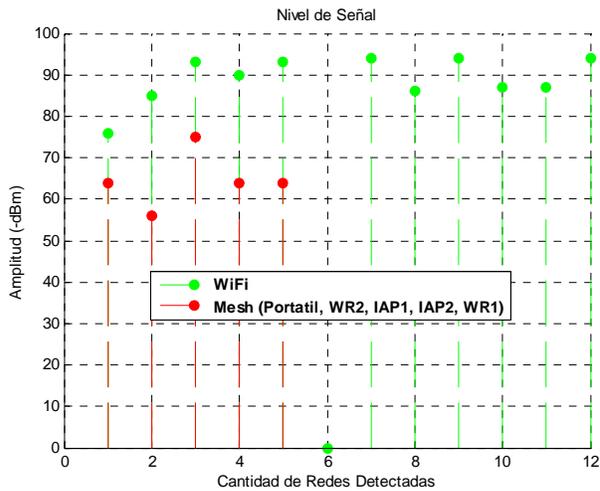


i) Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi, ubicadas en el Edificio 6, y la red Mesh

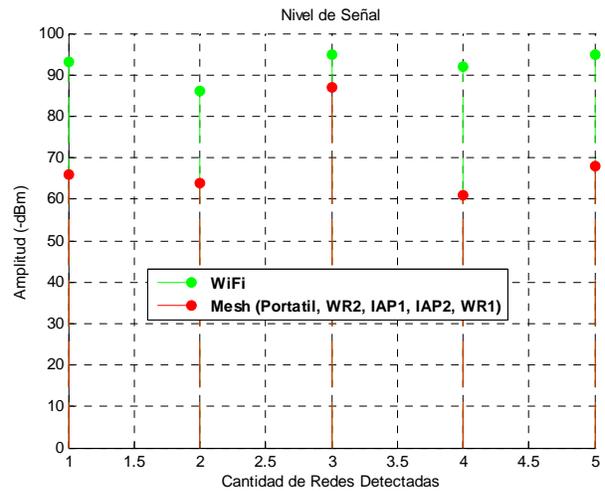


j) Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi, ubicadas entre los Edificios 6 y 7, y la red Mesh

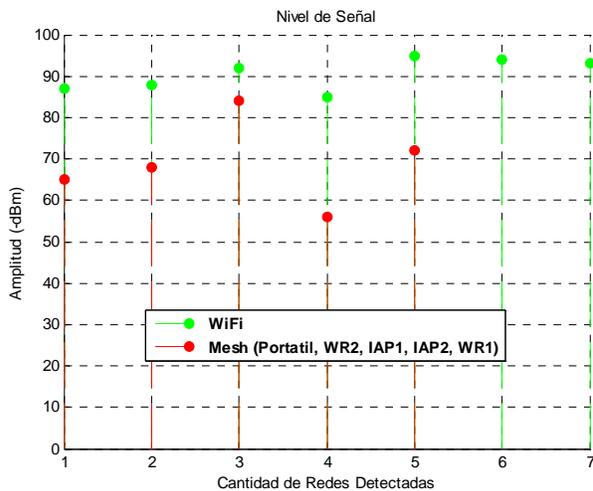
Figura 29. Nivel de Señal de las redes WiFi y de la red Mesh (móvil) edificio 2 hasta el 12, incisos g al j.



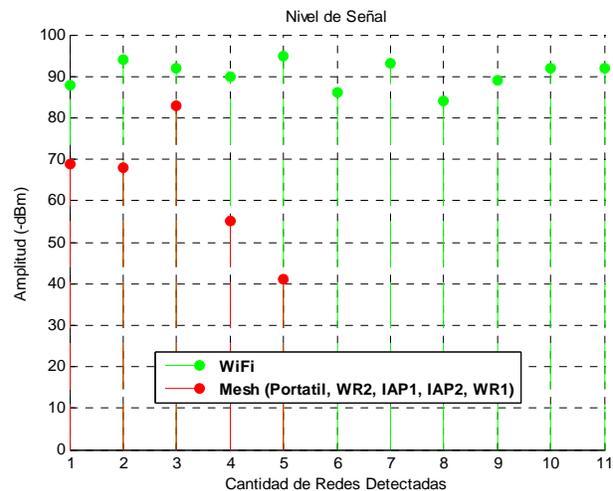
k) Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi, ubicadas entre los Edificios 7, y la red Mesh



l) Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi, ubicadas entre los Edificios 7 y 8, y la red Mesh

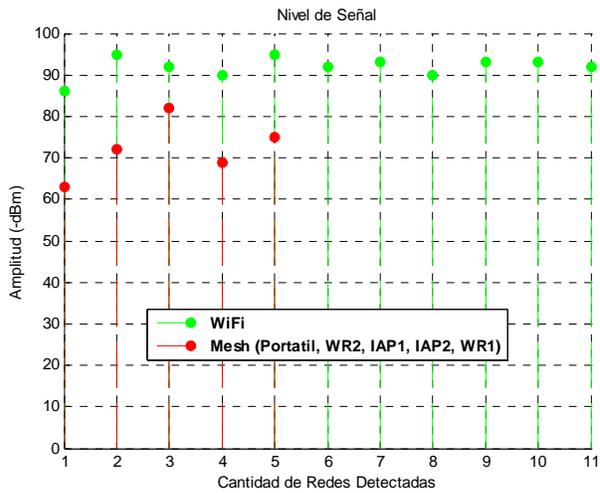


m) Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi, ubicadas en el Edificio 8, y la red Mesh

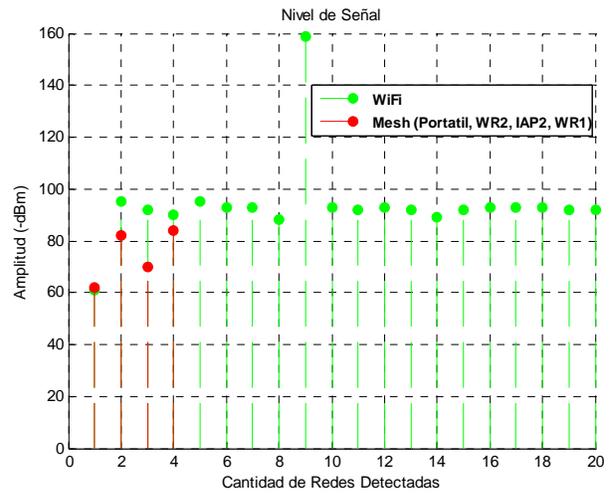


n) Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi, ubicadas entre los Edificios 8 y 9, y la red Mesh

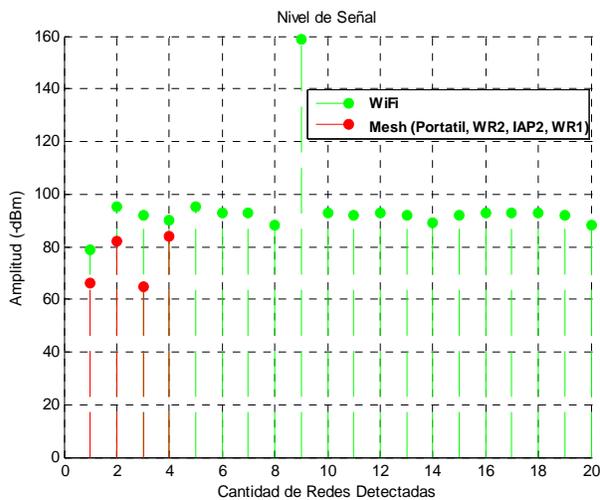
Figura 29. Nivel de Señal de las redes WiFi y de la red Mesh (móvil) edificio 2 hasta el 12, incisos k al n.



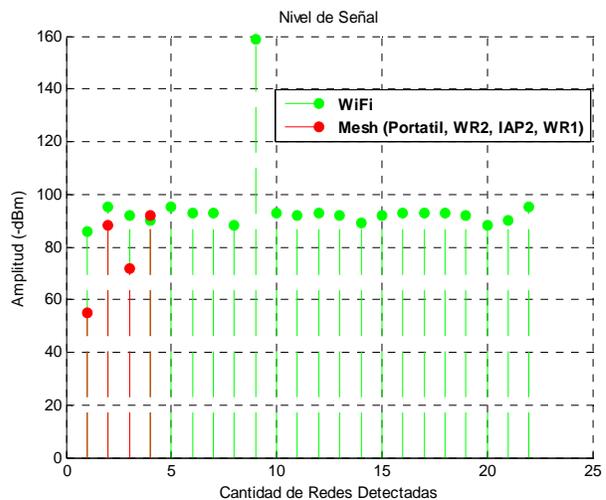
o) Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi, ubicadas en el Edificio 9, y la red Mesh



p) Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi, ubicadas en el Edificio 10, y la red Mesh

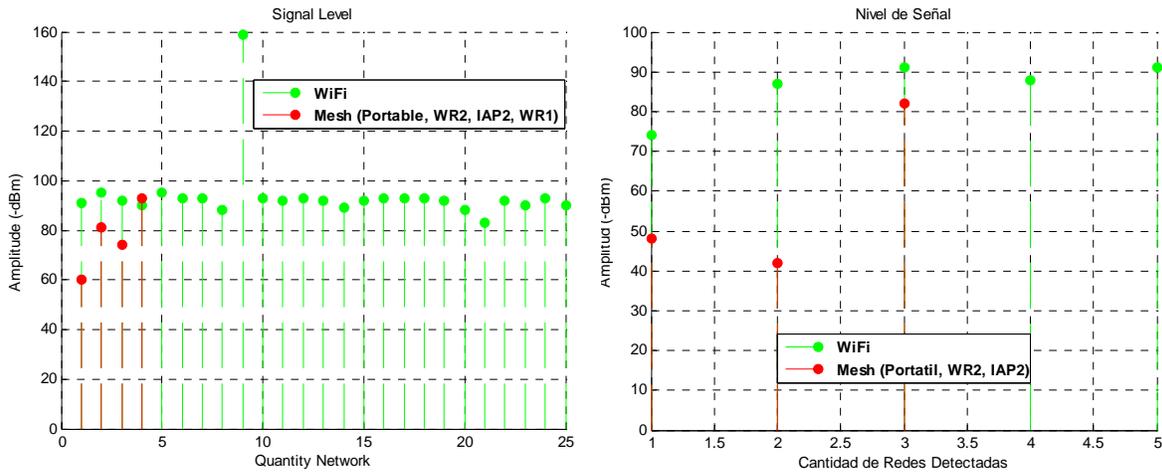


q) Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi, ubicadas entre los Edificios 10 y 11, y la red Mesh



r) Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi, ubicadas en el Edificio 11, y la red Mesh

Figura 29. Nivel de Señal de las redes WiFi y de la red Mesh (móvil) edificio 2 hasta el 12, incisos o al r.



s) Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi, ubicadas entre los Edificios 11 y 12, y la red Mesh

t) Comparación del Nivel de Señal de las Redes WiFi, ubicadas en el Edificio 12, y la red Mesh

Figura 29. Nivel de Señal de las redes WiFi y de la red Mesh (móvil) edificio 2 hasta el 12, incisos s y t.

Se puede observar que aunque existe una gran cantidad de redes WiFi, éstas no interfieren con las comunicaciones llevadas a cabo a través de la red Mesh. Es claro que aunque existen niveles de señal de alguna red WiFi, de la misma o inclusive de mayor intensidad que el de algún dispositivo de la arquitectura Mesh, al momento de llevar a cabo las pruebas la comunicación nunca se interrumpió ni existió interferencia alguna.

En el inciso b), por ejemplo, se observa que el nivel del IAP2 es casi el mismo que el de la red WiFi. Como a lo largo de las pruebas las comunicaciones no se vieron afectadas, se demuestra que la señal WiFi no interfiere con la red Mesh.

En todos los incisos se puede observar que existen más redes WiFi que elementos de la arquitectura Mesh. En el inciso c), se tiene el caso en el que la señal WiFi es mayor a la del MWR2. Aunque en todos los resultados reportados no se utilizaba el MWR2 en este punto específico, los elementos que proporcionan comunicación no se verán afectados por las redes WiFi, ni siquiera el propio router.

En los incisos l) y m), se puede observar que existe una red WiFi con un nivel muy parecido al IAP1. Pero en este caso el nivel de la red Mesh es mayor que el de la WiFi por lo tanto no provoca interferencia alguna.

Finalmente, en los incisos p) al s) existe más de una red WiFi similar a las de la arquitectura Mesh. De hecho se presenta el caso en el que la red WiFi es de mejor nivel. Se ha demostrado, de acuerdo a los resultados presentados que la zona más complicada para tener comunicaciones es hacia el final del recorrido. Pero a pesar de ello siempre se tuvo comunicación de voz, datos y video. Lo que indica que aunque existan una cantidad considerable de redes, la red Mesh no perderá su eficiencia en comunicación.

Finalmente, al hacer una comparación de los canales empleados por cada una de las redes, que se muestran en la tabla 17, se puede observar que aunque no son los mismos, se encuentran muy cercanos y sin embargo esto no provoca interferencia.

COMPARACIÓN DE CANALES EMPLEADOS POR AMBAS REDES	
MESH	WiFi
2.412 GHz, 2.462 GHz, 2.437 GHz	2.41 GHz, 2.43 GHz, 2.45 GHz, 2.47 GHz

Tabla 17. Canales empleados por la red Mesh y las redes WiFi

Todas estas mediciones sirven para resaltar las ventajas y características que tienen las redes Mesh. Por un lado la fiabilidad, que con las tablas de ruteo queda demostrado que las comunicaciones no siempre se llevan a cabo por el mismo camino. Y que son tolerante a fallas, ya que si algún elemento deja de funcionar las transmisiones seguirán por otro camino alternativo.

3.3. TASA DE DATOS DISPONIBLE

El throughput es la cantidad de datos por unidad de tiempo que se entregan en un nodo de la red. Este valor es menor a la tasa de datos máxima disponible y se puede deber a:

- La calidad del medio físico, porque puede hacer que se pierdan paquetes y hayan retransmisiones.
- Utilizar un medio compartido, ya que los mecanismos empleados para acceder al medio sin afectar otras estaciones puede hacer que baje el rendimiento.

Para determinar de forma real el throughput requerido por la red se utilizó la herramienta "iperf". Con ella se simuló el envío de paquetes de 8 kbytes, por lo que se configuró de tal forma que dichos paquetes no fueran mayores a los 200 kbytes, y de esta forma el throughput máximo requerido reportado no excedería más de 1500 kbits/s aproximadamente.

A continuación se muestra un ejemplo de cómo se ejecutaba la aplicación, tanto para el móvil como para el portátil. Se presenta el ejemplo del portátil ubicado en el edificio 4.

```
c:\>iperf -c 10.2.0.9 -i1 -fk -t20
-----
Client connecting to 10.2.0.9, TCP port 5001
TCP window size: 8.00 KByte (default)
-----
[1916] local 10.0.0.2 port 2052 connected with 10.2.0.9 port 5001
 [ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[1916] 0.0- 1.0   sec  96.0 KBytes  786 Kbits/sec
[1916] 1.0- 2.0   sec  72.0 KBytes  590 Kbits/sec
[1916] 2.0- 3.0   sec  56.0 KBytes  459 Kbits/sec
```

[1916]	3.0- 4.0	sec	48.0 KBytes	393 Kbits/sec
[1916]	4.0- 5.0	sec	48.0 KBytes	393 Kbits/sec
[1916]	5.0- 6.0	sec	48.0 KBytes	393 Kbits/sec
[1916]	6.0- 7.0	sec	48.0 KBytes	393 Kbits/sec
[1916]	7.0- 8.0	sec	48.0 KBytes	393 Kbits/sec
[1916]	8.0- 9.0	sec	40.0 KBytes	328 Kbits/sec
[1916]	9.0-10.0	sec	48.0 KBytes	393 Kbits/sec
[1916]	10.0-11.0	sec	48.0 KBytes	393 Kbits/sec
[1916]	11.0-12.0	sec	48.0 KBytes	393 Kbits/sec
[1916]	12.0-13.0	sec	40.0 KBytes	328 Kbits/sec
[1916]	13.0-14.0	sec	48.0 KBytes	393 Kbits/sec
[1916]	14.0-15.0	sec	48.0 KBytes	393 Kbits/sec
[1916]	15.0-16.0	sec	48.0 KBytes	393 Kbits/sec
[1916]	16.0-17.0	sec	56.0 KBytes	459 Kbits/sec
[1916]	17.0-18.0	sec	48.0 KBytes	393 Kbits/sec
[1916]	18.0-19.0	sec	40.0 KBytes	328 Kbits/sec
[1916]	19.0-20.0	sec	32.0 KBytes	262 Kbits/sec
[ID]	Interval		Transfer	Bandwidth
[1916]	0.0-20.4	sec	1016 KBytes	408 Kbits/sec

Estos datos indican que la aplicación se corre en un lapso total de 20 segundos, tomando un reporte cada segundo. Se simula el envío de paquetes del orden de kilobytes, y que como respuesta debe indicar la tasa de datos requerida para hacer el envío del paquete para el portátil. Para el móvil se hace de la misma forma solo se tiene que indicar la dirección **10.191.242.10**.

3.3.1. MEDICIÓN DE LA TASA DE DATOS DISPONIBLE Y NÚMERO DE SALTOS EFECTUADOS POR LOS CLIENTES

Un punto importante para la determinación de la tasa de datos disponible en la red, es el número de saltos que harán o tendrán que hacer los clientes para lograr las comunicaciones. Se tomo como referencia la configuración del iperf (throughput máximo no excedería más de 1500 kbits/s), para determinar cómo es que la tasa de datos se va reduciendo de acuerdo a los saltos que va realizando la arquitectura de la red. A continuación se explican diferentes casos.

- Cuando un cliente accede a la red de manera directa tiene una tasa disponible de 1.5 Mbits/s, pero si tiene que ir "saltando" por diferentes elementos para lograrlo, se irá sacrificando dicha tasa a la mitad del valor [2], como se muestra en la figura 30.

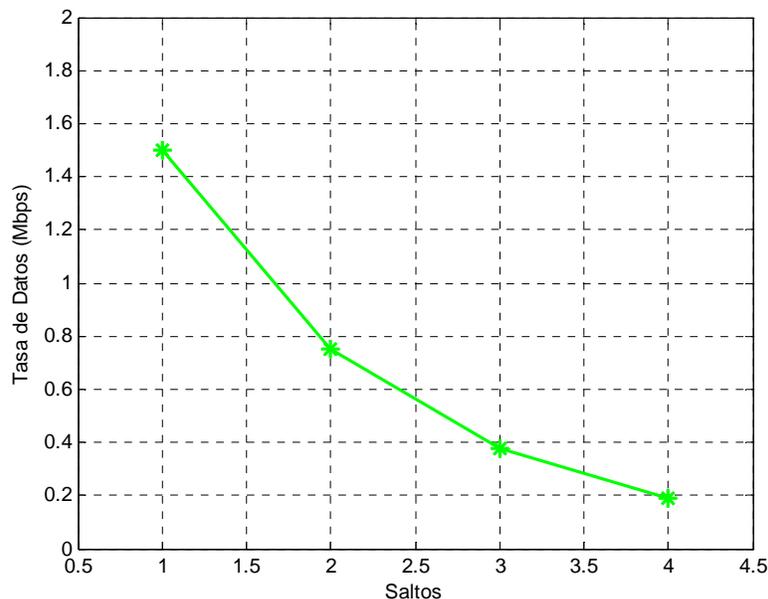


Figura 30. Reducción de la Tasa Disponible dependiendo de los Saltos.

En esta figura se puede observar que la relación que existe entre cada salto y la reducción en la tasa de datos, es exactamente a la mitad, como se explico en el capítulo tres.

- Si el móvil y el portátil acceden a la red casi al mismo tiempo, utilizando los mismos dispositivos, la tasa de datos también se reduce a la mitad pues se comparte entre los clientes. Esto se comprobó realizando varios recorridos, en los cuales el portátil ingresaba a la red 2 segundos posteriores al móvil, como lo muestra la figura 31. En ella se puede observar la posición en el edificio 2. Ambos dispositivos tenían comunicación directa con el IAP1, localizado en el mismo edificio, y por lo tanto la tasa disponible de 1.5 Mb/s se comparte entre ellos. También se puede comprobar con la aplicación iperf. A continuación se muestra el resultado desplegado para el móvil y el portátil.

PORTÁTIL:

```
c:\>iperf -c 10.2.0.9 -i1 -fk -t20
```

```
-----  
Client connecting to 10.2.0.9, TCP port 5001  
TCP window size: 8.00 KByte (default)  
-----
```

```
[1916] local 10.0.0.2 port 2045 connected with 10.2.0.9 port 5001
```

[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth
[1916]	0.0- 1.0 sec	48.0 KBytes	393 Kbits/sec
[1916]	1.0- 2.0 sec	88.0 KBytes	721 Kbits/sec
[1916]	2.0- 3.0 sec	88.0 KBytes	721 Kbits/sec
[1916]	3.0- 4.0 sec	80.0 KBytes	655 Kbits/sec
[1916]	4.0- 5.0 sec	80.0 KBytes	655 Kbits/sec
[1916]	5.0- 6.0 sec	96.0 KBytes	786 Kbits/sec
[1916]	6.0- 7.0 sec	72.0 KBytes	590 Kbits/sec
[1916]	7.0- 8.0 sec	96.0 KBytes	786 Kbits/sec
[1916]	8.0- 9.0 sec	96.0 KBytes	786 Kbits/sec
[1916]	9.0-10.0 sec	88.0 KBytes	721 Kbits/sec
[1916]	10.0-11.0 sec	80.0 KBytes	655 Kbits/sec
[1916]	11.0-12.0 sec	96.0 KBytes	786 Kbits/sec
[1916]	12.0-13.0 sec	88.0 KBytes	721 Kbits/sec
[1916]	13.0-14.0 sec	96.0 KBytes	786 Kbits/sec
[1916]	14.0-15.0 sec	88.0 KBytes	721 Kbits/sec
[1916]	15.0-16.0 sec	72.0 KBytes	590 Kbits/sec
[1916]	16.0-17.0 sec	96.0 KBytes	786 Kbits/sec
[1916]	17.0-18.0 sec	88.0 KBytes	721 Kbits/sec
[1916]	18.0-19.0 sec	136 KBytes	1114 Kbits/sec
[1916]	19.0-20.0 sec	176 KBytes	1442 Kbits/sec
[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth
[1916]	0.0-20.1 sec	1856 KBytes	756 Kbits/sec

MÓVIL:

```
c:\>iperf -c 10.191.242.10 -i1 -fk -t20
```

```
-----  
Client connecting to 10.191.242.10, TCP port 5001  
TCP window size: 8.00 KByte (default)  
-----
```

```
[1916] local 10.0.0.2 port 2044 connected with 10.191.242.10 port 5001
```

[ID]	Interval		Transfer	Bandwidth
[1916]	0.0- 1.0	sec	192 KBytes	1573 Kbits/sec
[1916]	1.0- 2.0	sec	168 KBytes	1376 Kbits/sec
[1916]	2.0- 3.0	sec	72.0 KBytes	590 Kbits/sec
[1916]	3.0- 4.0	sec	88.0 KBytes	721 Kbits/sec
[1916]	4.0- 5.0	sec	96.0 KBytes	786 Kbits/sec
[1916]	5.0- 6.0	sec	104 KBytes	852 Kbits/sec
[1916]	6.0- 7.0	sec	88.0 KBytes	721 Kbits/sec
[1916]	7.0- 8.0	sec	96.0 KBytes	786 Kbits/sec
[1916]	8.0- 9.0	sec	88.0 KBytes	721 Kbits/sec
[1916]	9.0-10.0	sec	96.0 KBytes	786 Kbits/sec
[1916]	10.0-11.0	sec	88.0 KBytes	721 Kbits/sec
[1916]	11.0-12.0	sec	88.0 KBytes	721 Kbits/sec
[1916]	12.0-13.0	sec	104 KBytes	852 Kbits/sec
[1916]	13.0-14.0	sec	96.0 KBytes	786 Kbits/sec
[1916]	14.0-15.0	sec	96.0 KBytes	786 Kbits/sec
[1916]	15.0-16.0	sec	96.0 KBytes	786 Kbits/sec
[1916]	16.0-17.0	sec	96.0 KBytes	786 Kbits/sec
[1916]	17.0-18.0	sec	96.0 KBytes	786 Kbits/sec
[1916]	18.0-19.0	sec	96.0 KBytes	786 Kbits/sec
[1916]	19.0-20.0	sec	88.0 KBytes	721 Kbits/sec
[ID]	Interval		Transfer	Bandwidth
[1916]	0.0-20.2	sec	2040 KBytes	826 Kbits/sec

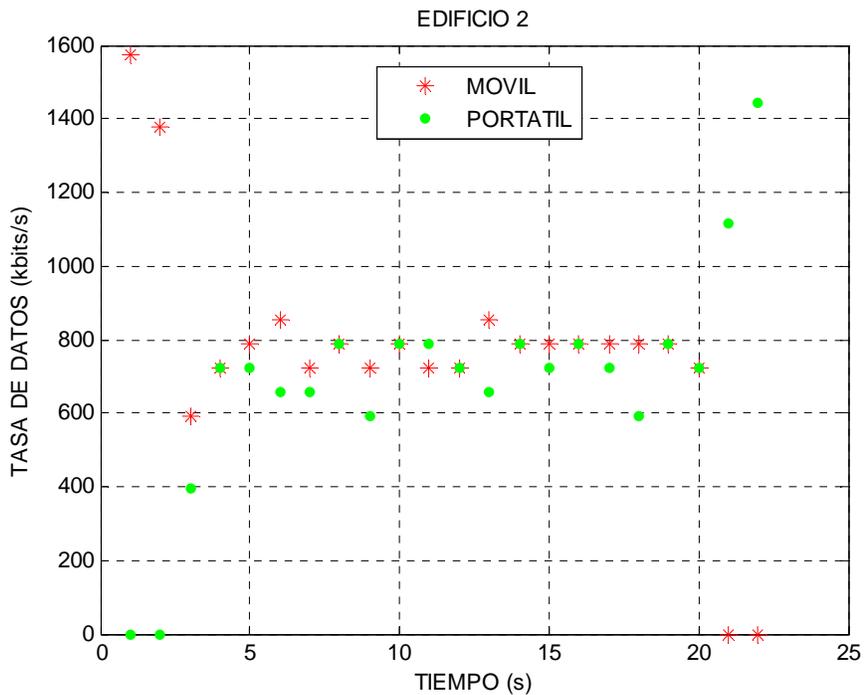


Figura 31. Reducción de la Tasa de Datos disponible como consecuencia de compartir el mismo elemento de red

Tanto los datos desplegados, como la figura demuestran que el primer dispositivo en ingresar a la red es el móvil y lo hace con el total de la tasa disponible. Dos segundos después ingresa el portátil. Como ambos accesan a través del IAP1, la tasa disponible se comparte y es por eso que hay reducción en el móvil a 590 kbits/s y el portátil tiene 393 kbits/s, que es el throughput reportado. Este valor es proporcional al tamaño del paquete que se simula se envía. El valor del portátil es mucho menor ya que va entrando a la red. Conforme el tiempo transcurre, para ambos dispositivos la tasa es aproximadamente de 750 kbits/s. Finalmente, cuando el móvil deja de utilizar la red, el total de la tasa se asigna al portátil.

Es importante señalar que la herramienta iperf, es solo una simulación del throughput que se asigna a cada elemento. Pero este valor es muy cercano al real. Para demostrarlo, siguiendo con la ubicación en el edificio 2, en la tabla 18 se presentan los datos registrados. Se agrega el valor calculado del throughput.

INTERVALO (segundos)	MÓVIL			PORTÁTIL			THROUGHPUT TOTAL MEDIDO
	TRANSFERENCIA (KBytes)	THROUGHPUT CALCULADO (kbits/s)	THROUGHPUT MEDIDO (kbits/s)	TRANSFERENCIA (KBytes)	THROUGHPUT CALCULADO (kbits/s)	THROUGHPUT MEDIDO (kbits/s)	
0 a 1	192	1536	1573	--	--	--	1573
1 a 2	168	1344	1376	--	--	--	1376
2 a 3	72	576	590	48	384	393	983
3 a 4	88	704	721	88	704	721	1442
4 a 5	96	768	786	88	704	721	1507
5 a 6	104	832	852	80	640	655	1507
6 a 7	88	704	721	80	640	655	1376
7 a 8	96	768	786	96	768	786	1462
8 a 9	88	704	721	72	576	590	1311
9 a 10	96	768	786	96	768	786	1572
10 a 11	88	704	721	96	768	786	1567
11 a 12	88	704	721	88	704	721	1442
12 a 13	104	832	852	80	640	655	1507
13 a 14	96	768	786	96	768	786	1572
14 a 15	96	768	786	88	704	721	1507
15 a 16	96	768	786	96	768	786	1572
16 a 17	96	768	786	88	704	721	1507
17 a 18	96	768	786	72	576	590	1376
18 a 19	96	768	786	96	768	786	1572
19 a 20	88	704	721	88	704	721	1442
	--	--	--	136	1088	1114	1114
	--	--	--	176	1408	1442	1442

Tabla 18. Datos reportados por la simulación del iperf en el punto del edificio 2 y el throughput calculado.

- Por el contrario, si los clientes ingresan de manera independiente al sistema, la tasa disponible para cada uno es de 1.5 Mbits/s. La reducción que se llegue a presentar en ésta depende únicamente del número de saltos que hagan. Por ejemplo, para la ubicación sobre el edificio 4, los clientes hacían dos saltos, el móvil se conectaba al MWR2 y al IAP2; mientras que el portátil al móvil y al IAP1. Así al realizar dos saltos, al hacerlo de manera independiente cada uno, y sin utilizar los mismos elementos, la tasa disponible de 1.5 Mbits/s se reduce a 750 kbits/s para cada uno. Éste valor es con el que cuenta tanto el móvil como el portátil, para llevar a cabo las comunicaciones; como se puede observar en la figura 32.

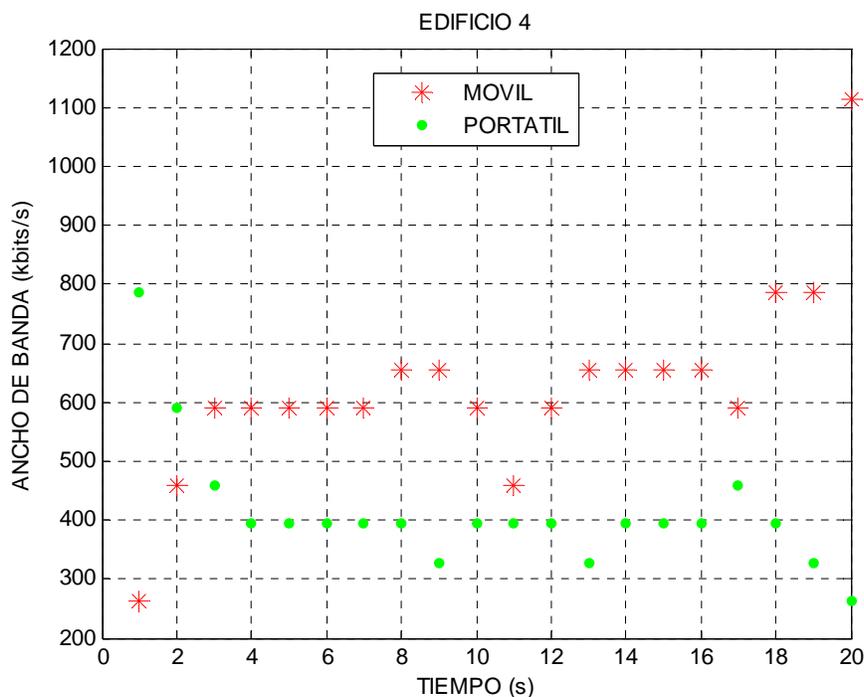


Figura 32. Tasa de Datos Disponible para móvil y portátil con dos Saltos.

Esta gráfica muestra que ambos dispositivos no pueden transmitir a más de 750 kbits/s. Los resultados graficados dependen de la simulación llevada a cabo con el iperf. Es claro que simula diferentes tamaños de paquetes y por lo tanto el throughput no es constante. Además de que este no excede la tasa disponible.

Para corroborar estos datos, en la tabla 19 se presenta la información desplegada por la herramienta iperf para cada cliente.

INTERVALO (segundos)	MOVIL			PORTATIL		
	TRANSFERENCIA (KBytes)	THROUGHPUT CALCULADO (kbits/s)	THROUGHPUT MEDIDO (kbits/s)	TRANSFERENCIA (KBytes)	THROUGHPUT CALCULADO (kbits/s)	THROUGHPUT MEDIDO (kbits/s)
0 a 1	32	256	262	96	768	786
1 a 2	56	448	459	72	576	590
2 a 3	72	576	590	56	448	459
3 a 4	72	576	590	48	384	393
4 a 5	72	576	590	48	384	393
5 a 6	72	576	590	48	384	393
6 a 7	72	576	590	48	384	393
7 a 8	80	640	655	48	384	393
8 a 9	80	640	655	40	320	328
9 a 10	72	576	590	48	384	393
10 a 11	56	448	459	48	384	393
11 a 12	72	576	590	48	384	393
12 a 13	80	640	655	40	320	328
13 a 14	80	640	655	48	384	393
14 a 15	80	640	655	48	384	393
15 a 16	80	640	655	48	384	393
16 a 17	72	576	590	56	448	459
17 a 18	96	768	786	48	384	393
18 a 19	96	768	786	40	320	328
19 a 20	136	1088	1114	32	256	262

Tabla 19. Datos reportados por la simulación del iperf en el punto del edificio 4 para el móvil y el portátil.

Finalmente, se hizo un registro de la tasa disponible del móvil, mientras hacia un recorrido sobre toda el área de cobertura, alcanzando una velocidad promedio de 90 km/h.

En la figura 33 se puede observar como variaba la tasa de datos conforme se iba desplazando, y que esta nunca llego a cero. De esta forma se comprueba que las comunicaciones no se interrumpirán inclusive a velocidades altas.

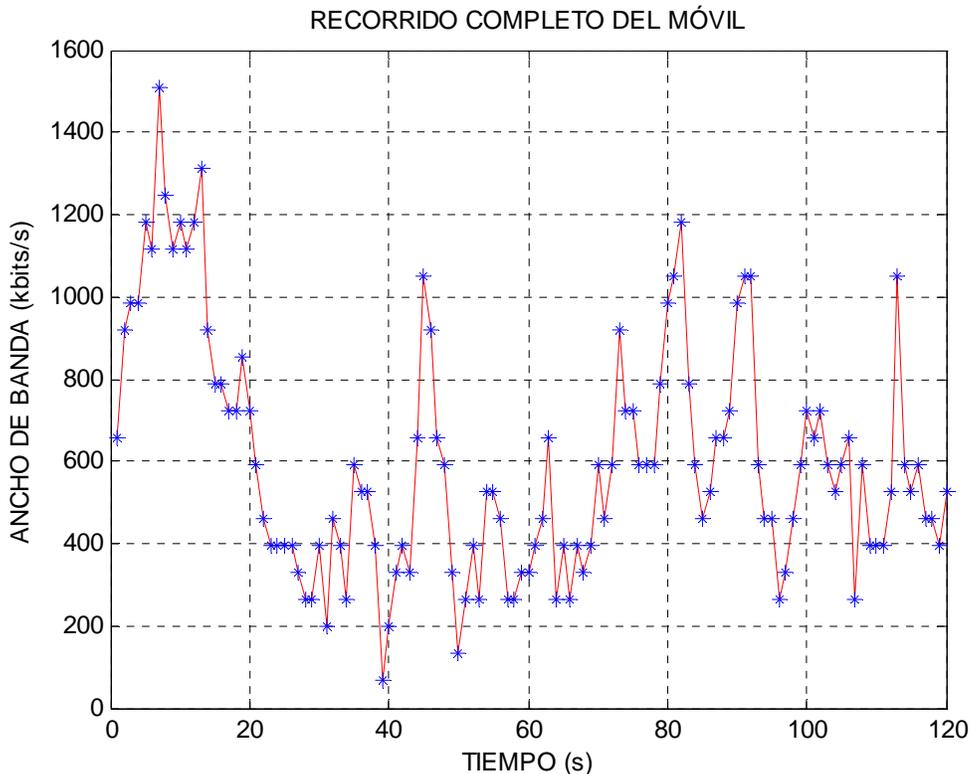


Figura 33. Recorrido completo del Móvil con velocidad promedio de 90 km/h

De la figura se puede ver que al comienzo del recorrido, y teniendo comunicación directa con el IAP1, el total de la tasa disponible se va repartiendo dependiendo del número de saltos que va haciendo el móvil para tener acceso a la red. Conforme empieza avanzar y la velocidad comienza a aumentar es claro que para que no pierda la comunicación tiene que ir conectándose con los diferentes elementos de la red, lo que provoca que haya disminución de la tasa disponible. En el segundo 20 a una velocidad aproximada de 95 km/h, se encontraba ubicado a la altura del edificio 7, en dicho punto se conectaba al IAP1 y al MWR1, por lo tanto tenía que realizar dos saltos y como consecuencia la tasa de datos reducía a 750 kbits/s.

Es claro entonces que mientras el móvil se va alejando de la zona de cobertura, la tasa disponible empieza a disminuir, sin embargo no deja de transmitir y recibir. Estas afirmaciones las corrobora la simulación del iperf sobre el móvil con una duración de 120 segundos. Éstas se muestran en las tablas 20 y 21.

MÓVIL					
INTERVALO	TRANSFERENCIA (KBytes)	THROUGHPUT MEDIDO (kbits/s)	INTERVALO	TRANSFERENCIA (KBytes)	THROUGHPUT MEDIDO (kbits/s)
0 a 1	80	655	30 a 31	24	197
1 a 2	112	918	31 a 32	56	459
2 a 3	120	983	32 a 33	48	393
3 a 4	120	983	33 a 34	32	262
4 a 5	144	1180	34 a 35	72	590
5 a 6	136	1114	35 a 36	64	524
6 a 7	184	1507	36 a 37	64	524
7 a 8	152	1245	37 a 38	48	393
8 a 9	136	1114	38 a 39	8	65.5
9 a 10	144	1180	39 a 40	24	197
10 a 11	136	1114	40 a 41	40	328
11 a 12	144	1180	41 a 42	48	393
12 a 13	160	1311	42 a 43	40	328
13 a 14	112	918	43 a 44	80	655
14 a 15	96	786	44 a 45	128	1049
15 a 16	96	786	45 a 46	112	918
16 a 17	88	721	46 a 47	80	655
17 a 18	88	721	47 a 48	72	590
18 a 19	104	852	48 a 49	40	328
19 a 20	88	721	49 a 50	16	131
20 a 21	72	590	50 a 51	32	262
21 a 22	56	459	51 a 52	48	393
22 a 23	48	393	52 a 53	32	262
23 a 24	48	393	53 a 54	64	524
24 a 25	48	393	54 a 55	64	524
25 a 26	48	393	55 a 56	56	459
26 a 27	40	328	56 a 57	32	262
27 a 28	32	262	57 a 58	32	262
28 a 29	32	262	58 a 59	40	328
29 a 30	48	393	59 a 60	40	328

Tabla 20. Datos reportados por la simulación del iperf para el móvil hasta el segundo 60.

MÓVIL					
INTERVALO	TRANSFERENCIA (KBytes)	THROUGHPUT MEDIDO (kbits/s)	INTERVALO	TRANSFERENCIA (KBytes)	THROUGHPUT MEDIDO (kbits/s)
60 a 61	48	393	90 a 91	128	1049
61 a 62	56	459	91 a 92	128	1049
62 a 63	80	655	92 a 93	72	590
63 a 64	32	262	93 a 94	56	459
64 a 65	48	393	94 a 95	56	459
65 a 66	32	262	95 a 96	32	262
66 a 67	48	393	96 a 97	40	328
67 a 68	40	328	97 a 98	56	459
68 a 69	48	393	98 a 99	72	590
69 a 70	72	590	99 a 100	88	721
70 a 71	56	459	100 a 101	80	655
71 a 72	72	590	101 a 102	88	721
72 a 73	112	918	102 a 103	72	590
73 a 74	88	721	103 a 104	80	524
74 a 75	88	721	104 a 105	32	590
75 a 76	72	590	105 a 106	72	655
76 a 77	72	590	106 a 107	32	262
77 a 78	72	590	107 a 108	72	590
78 a 79	96	786	108 a 109	48	393
79 a 80	120	983	109 a 110	48	393
80 a 81	128	1049	110 a 111	48	393
81 a 82	144	1180	111 a 112	64	524
82 a 83	96	786	112 a 113	128	1049
83 a 84	72	590	113 a 114	72	590
84 a 85	56	459	114 a 115	64	524
85 a 86	64	524	115 a 116	72	590
86 a 87	80	655	116 a 117	56	459
87 a 88	80	655	117 a 118	56	459
88 a 89	88	721	118 a 119	48	393
89 a 90	120	983	119 a 120	64	524

Tabla 21. Datos reportados por la simulación del iperf para el móvil hasta el segundo 120.

3.4. COMUNICACIÓN SIN LA INFRAESTRUCTURA DE LA RED.

Finalmente se llevo a cabo una prueba fuera del área de cobertura. De esta forma el equipo móvil se utilizo como repetidor, para tener comunicación y extender el área total. Para ello el móvil se coloco en el limite del trayecto y el portátil se coloco fuera de ésta, a una distancia de 100 m.

Como resultado se obtuvo que el portátil puede tener comunicaciones de voz con el centro de control a través del móvil como repetidor. Esto se logra a través de la infraestructura que forman entre ellos, la cual permite extender las comunicaciones más allá del área de cobertura. La figura 34 muestra la ubicación de la prueba.

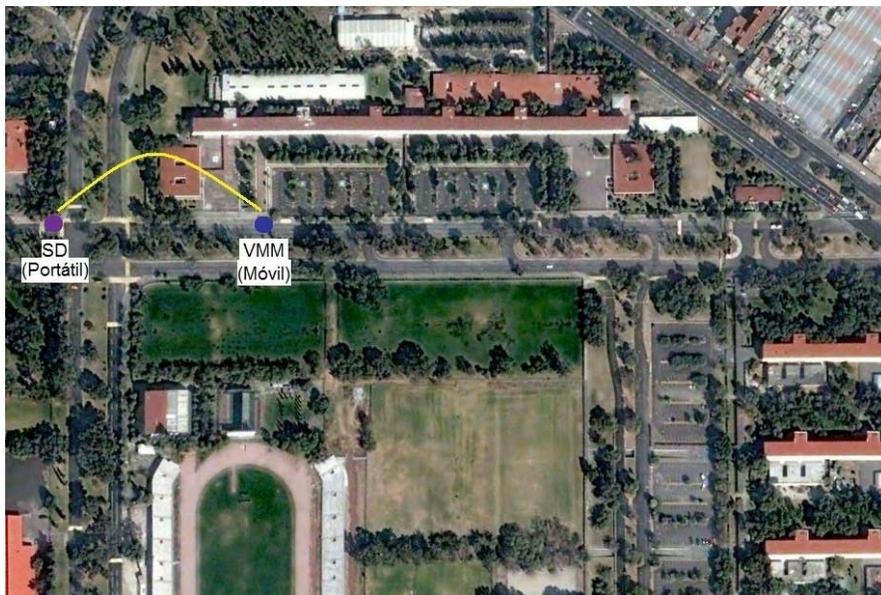


Figura 34. Prueba de comunicación sin la infraestructura de la red.

Con esto se puede verificar la propiedad que tienen las redes de que los clientes pueden crear su propia infraestructura para poder comunicarse aunque se encuentren fuera del área de cobertura.

Es importante señalar que mientras se desarrollaban todas las pruebas descritas, se tenían comunicaciones de voz entre los clientes, y entre los clientes y el centro de control, y éstas nunca se perdieron ni existió interferencia, aunque el móvil se desplazara a velocidades cercanas a los 95 km/h.

También se iba grabando el recorrido a través del móvil, y el video podía ser visualizado tanto en el centro de control como en el portátil.

Todas las comunicaciones de voz se realizaban de manera simultánea, por lo que todos podían participar en una conversación al mismo tiempo.

REFERENCIAS

- [1] S. Liese, D. Wu, P. Mohapatra, "Experimental Characterization of an 802.11b Wireless Mesh Network", International Conference On Communications And Mobile Computing, Vancouver, British Columbia, Canada 2006. pp. 587-592
- [2] Zhang Yan, Wireless Mesh Networking: Architectures, Protocols and Standards. 2007.

CAPÍTULO 4. POSIBLES ESCENARIOS DE APLICACIÓN.

De acuerdo a los resultados obtenidos se afirma que la implementación de una red Mesh en la zona académica del Instituto Politécnico Nacional, campus Zacatenco, es buena opción para proporcionar servicios móviles de voz, datos y video aún bajo condiciones desfavorables. Al mismo tiempo, dadas las ventajas y características que presentan estas redes, se puede decir que son aplicables a escenarios que requieran mejorar o proporcionar comunicaciones constantes, además de ofrecer mayor seguridad, calidad y mejora en el servicio que éstos proporcionen. Con la diferencia de que la arquitectura será propia de cada área específica.

De esta forma es como, una vez mostrada la aplicación en un campus universitario, ahora se plantea en el Sistema de Transporte Colectivo Metro, que es un medio empleado por muchas personas. Con el objetivo de perfeccionar el servicio ofrecido al público, facilitando las comunicaciones y mitigando los problemas que se tienen en la actualidad.

4.1. SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO METRO.

El Sistema de Transporte Colectivo Metro (STC) de la ciudad de México [1], esta constituido por 11 líneas cuya longitud total es de 201.388 km; contando con un parque vehicular de 355 trenes para realizar los traslados y un total de 175 estaciones. Los kilómetros de la red que están es servicio son 176.771 km. El STC "metro" es un organismo que tiene como objetivo principal proporcionar un servicio de transporte público, seguro y confiable a la población de la ciudad de México, y así satisfacer las necesidades de movilidad de la misma. El servicio provisto cumple con las expectativas de calidad, accesibilidad, frecuencia y cobertura de los usuarios.

Actualmente el servicio ofrecido, aunque cumple con su objetivo principal que es transportar a los usuarios a lo largo de la ciudad, carece de un sistema de comunicación que refuerce la seguridad y calidad proporcionada, tanto al personal como a dichos usuarios, así como también que proporcione otro tipo de servicios de comunicación.

Para lograr sus objetivos, tiene a su cargo diferentes funciones, entre las que se encuentran [2]:

1. Aplicar políticas y directrices a las que se deban de ajustar el funcionamiento de las estaciones, los programas de operación de los trenes y los sistemas de regulación del tráfico de los mismos.
2. Organizar, dirigir y coordinar las maniobras de control de afluencia de los usuarios en las estaciones de las líneas.
3. Establecer, dirigir y coordinar la instrumentación de acciones orientadas a garantizar el acceso y tránsito de usuarios en las estaciones de las diferentes líneas.
4. Establecer los mecanismos de coordinación necesarios para mantener continuidad en la prestación del servicio de transporte, en las mejores condiciones de seguridad y eficiencia.
5. Participar en la implementación de sistemas tendientes a mantener e incrementar la seguridad en la operación y circulación de trenes, así como el funcionamiento de las estaciones y puestos de control y mando.
6. Coordinar los dispositivos de apoyo para atender oportunamente los incidentes, accidentes y averías técnicas que se susciten en las estaciones, inter-estaciones, vías secundarias, instalaciones fijas y trenes de las líneas.
7. Promover el desarrollo y puesta en práctica de proyectos de ingeniería y alternativas orientadas a mejorar la calidad y productividad en la prestación del servicio.
8. Entre otras.

Se puede observar, que de estas funciones, algunas hacen referencia hacia la mejora del servicio con la implementación de sistemas que permitan tener una mejor comunicación, con el propósito de tener mayor control, seguridad y calidad en el mismo.

4.2. LÍNEA B “BUENAVISTA – CIUDAD AZTECA”

Una de las ampliaciones más recientes que ha tenido la red que constituye al metro, es la línea B que corre de Buenavista a Ciudad Azteca. Esta línea está constituida en su totalidad por 23.722 km de longitud; integrada con 21 estaciones, de las cuales 6 son subterráneas, 4 son elevadas y el resto son a nivel de piso. Su propósito es movilizar diariamente a 600 mil usuarios aproximadamente en su conjunto. Al día circulan 32 trenes, los cuales cuentan con 9 vagones cada uno. El tramo completo que la constituye presenta características muy especiales en su diseño, el cual es un factor importante a considerar para la implementación de un sistema de comunicación, que permita otorgar un mejor servicio y que entonces éste y los usuarios se beneficien.

Actualmente el metro cuenta con un sistema de Radio Troncalizado Analógico. La sección de estudios de posgrado del IPN, área Telecomunicaciones, realizó un estudio de cobertura, que permito detectar los siguientes problemas:

4. No se tiene cobertura completa a lo largo de toda la línea, lo que afecta para el control y prevención de cualquier incidente, así como para la supervisión y/o monitoreo continuo del sistema.
5. Existe interferencia de comunicación entre los usuarios.
6. No hay comunicación entre el centro de operación y control y los trenes en algunas estaciones, lo cual es vital para el buen funcionamiento de los vagones, ya que de manera continua se debe hacer un monitoreo de cada uno de ellos en sus recorridos.
7. Existe diversidad en los Sistemas de Radio, los que algunas veces presentan incompatibilidad para tener comunicaciones.

Todos estos aspectos influyen para que la línea B, requiera satisfacer necesidades de radiocomunicación. De esta forma proporcionaría mayor calidad en el servicio.

Aunado a esto requiere de otros servicios como:

1. Colocación de cámaras de video en los trenes para proporcionar mayor seguridad. De esta forma se tendría un monitoreo constante del interior de cada uno de los vagones que constituyen el tren y así visualizar las actividades desarrolladas por los usuarios durante el transcurso de los viajes.
2. Tener comunicaciones de voz entre los trenes y entre los trenes y el centro de operación y control. De esta forma se tendrá mayor control en el manejo de cualquier evento que requiera la atención del personal y/o servicios públicos.

De acuerdo a estos puntos, a los problemas descritos que presenta el sistema del metro, y tomando como referencia la red Mesh presentada a lo largo del trabajo; se considera que este escenario es una zona probable para implementar una red Mesh para mejorar y mitigar los problemas de comunicación que están presentes en la actualidad. Sin olvidar que la arquitectura tendrá que ser propia para este escenario.

Para determinar que tan factible es implementar esta solución en el metro, se realizaron diferentes actividades en esta zona para conocer sus características, de la misma forma que se hizo en el campus Zacatenco. A continuación se describen dichas actividades.

1. Visita al Sitio.

Se realizó un recorrido a lo largo de la línea B del Metro, con el objetivo de conocer el área en su totalidad.

La línea B se caracteriza por que el recorrido está constituido por partes rectas y curvas. Así como por estaciones subterráneas, elevadas y a nivel de piso. En la figura 35 se puede observar la trayectoria completa de la línea B.



Figura 35. Trayectoria de la línea B (Buenavista – Ciudad Azteca)

De la figura se pueden ver las características que describen a la trayectoria de la B. También existe un tramo que contiene diferentes curvas, que es el que se encuentra en la parte central de la figura. Este tramo es la unión de la estación San Lázaro con la estación Morelos.

La trayectoria entre estas estaciones presenta el peor caso para establecer enlaces de comunicaciones. Además de que tiene características muy especiales, pues son el límite entre las estaciones elevadas y subterráneas. El tramo que une la estación San Lázaro al túnel es inclinado y con una curvatura en el trayecto. Posteriormente, se tienen dos curvas más a lo largo del trayecto dibujando una especie de "z". De forma general, en su totalidad esta trayectoria abarca tramos subterráneos, elevados, a nivel de piso y con curvas. Lo que representa un caso muy especial para el diseño. La distancia que existe entre ellas es de 950 metros. La figura 36 muestra de manera más específica esta área.



Figura 36. Trayecto comprendido entre las estaciones San Lázaro – Morelos

2. Mediciones de Propagación de la Señal.

Al igual que en el campus Zacatenco se realizaron pruebas para determinar la propagación de la señal. Básicamente se siguió el mismo procedimiento. Se empleo equipo WiFi cuyas características cumplen con el estándar IEEE 802.11. Usan la misma banda de operación de las redes Mesh, 2.4 GHz, y su potencia de transmisión es de 20 dBm, comparada con la de las redes Mesh que es de 25 dBm.

Se empleo una tarjeta inalámbrica conectada a una laptop como receptor y un transmisor WiFi. La laptop tenía instalado el software Cain's Wireless Scanner.

El procedimiento para la medición del nivel de la señal fue el siguiente: se colocó el transmisor WiFi al final de la estación San Lázaro que es la estación elevada. Se inició un recorrido sobre el trayecto del tren, alejándonos del Access Point y se fueron realizando mediciones de la señal hasta que se obtenía una menor a -80 dBm. Se propuso este nivel mínimo de señal recibida, pues como es explico en el capítulo 2, es superior a los niveles de sensibilidad de equipos WiFi y Mesh de tipo comercial, con lo que se asegura que en todo ese recorrido se realizará el enlace de comunicación entre el AP y el suscriptor.

Al llegar al punto donde la señal alcanzaba este nivel, se movía el AP a esa posición y se repetía la prueba alejándonos nuevamente del AP hacia la estación Morelos. Esta prueba se repitió hasta cubrir todo el trayecto de la estación San Lázaro hasta la estación Morelos. Los resultados de las mediciones realizadas a los largo del andén se muestran en las tablas 22 y 23.

POSICIÓN	NIVEL DE SEÑAL DE LAS REDES DETECTADAS						
	GALILEO I	PGGMXOTE01	WLAB	0549S2JE	INFINITUM 4456	TILAN	3Com
ANDEN SAN LÁZARO							
CENTRO	-83	-91	-62				
18+450	-88	-94	-79				
18+500	-88	-94	-85	-88			
18+550	-90	-94	-85	-88	-92	-95	
18+600			-96		-87	-97	
PK18+600							
18+650			-70		-92	-97	-95
18+700			-86		-90	-97	-95
18+750			-88		-90	-97	-95
18+850			-92				
ENTRADA TUNEL			-88		-90	-97	-95
PK18+850							
18+900			-63				
18+950			-77				
19+000			-83				
19+050			-80				
19+100			-85				
19+150			-93				
PK19+150							
19+200			-63				
19+250			-74				
19+300			-77				
19+350			-85				
19+400			-87				
19+457			-91				

Tabla 22. Mediciones a lo largo del andén que une a la estación San Lázaro con Morelos.

POSICIÓN	NIVEL DE SEÑAL DE LAS REDES DETECTADAS						
	INFINITUM 4086	2WIRE187	INFINITUM 3422	INFINITUM 3726	Sin nombre	0549S2X1	2WIRE9 13
ANDEN SAN LÁZARO							
CENTRO							
18+450							
18+500						-87	
18+550						-85	
18+600	-91	-84	-91	-91	-91	-86	
PK18+600							
18+650	-92	-88	-91	-91	-90	-91	
18+700	-92	-80	-91	-91	-90	-87	
18+750	-92	-65	-91	-91	-90	-87	-93
18+850		-89					
ENTRADA TUNEL	-92	-78	-91	-91	-90	-87	-93
PK18+850							
18+900		-91					
18+950		-91					
19+000		-91					
19+050		-91					
19+100		-91					
19+150							
PK19+150							
19+200							
19+250							
19+300							
19+350							
19+400							
19+457							

Tabla 23. Mediciones a lo largo del andén que une a la estación San Lázaro con Morelos

De las Tablas 22 y 23 se puede observar que existe un gran número de redes utilizando la frecuencia de 2.4 GHz. Además, la señal de éstas se recibe tanto en la entrada como dentro del túnel, por lo tanto hay propagación de la señal.

Estas mediciones proporcionan la certeza que la idea de utilizar una red Mesh es factible. Por lo tanto, se plantea como propuesta probable una arquitectura que asegure cobertura a lo largo del trayecto comprendido entre estas dos estaciones, la cual estaría constituida por dos Access Points colocados en cada una de las estaciones, y tres Routers Inalámbricos colocados en los puntos 18+600, 18+850 y 19+150.

Estos puntos se pueden observar en la figura 37. Se puede notar que la distancia entre los equipos es aproximadamente 250 metros.

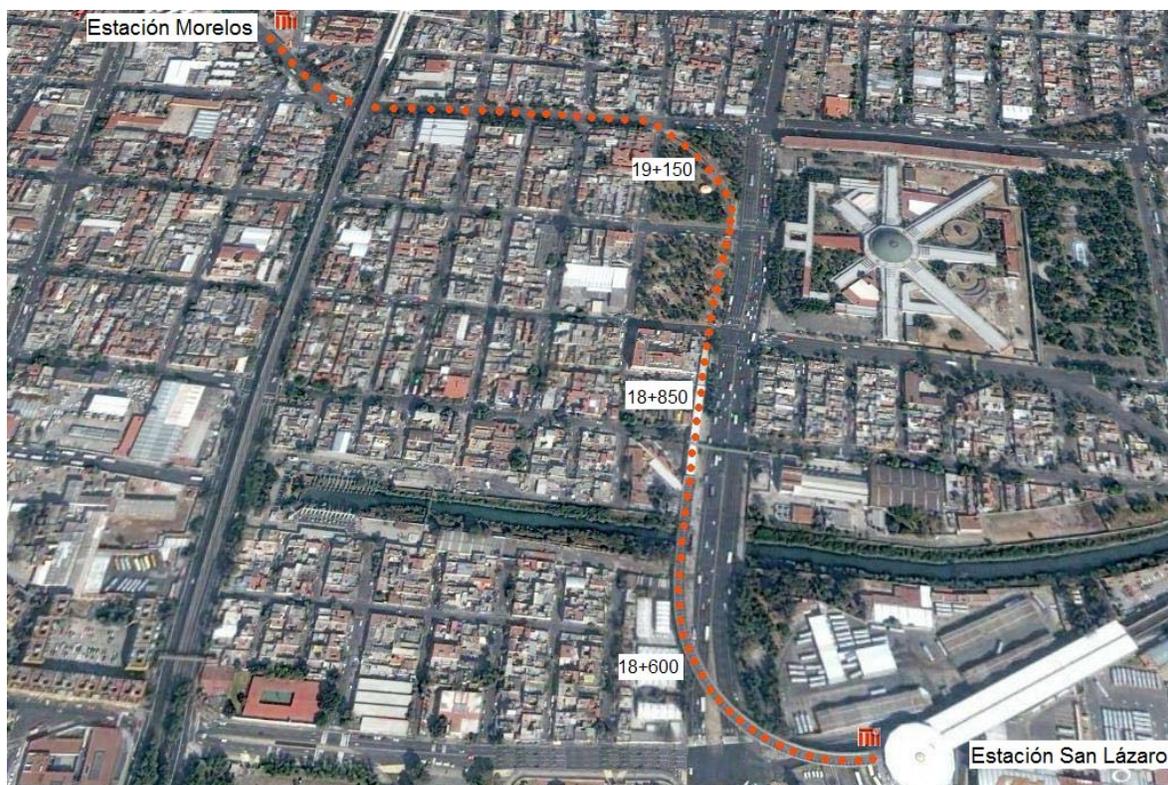


Figura 37. Puntos de ubicación de los elementos de red.

El centro de control se alojaría en la estación Morelos. La interconexión entre éste y los Access Points se podría realizar a través del tendido de Fibra Óptica que tiene el metro, a diferencia de la red implementada en el IPN.

La figura 38 presenta un esquema general del sistema que se propone.

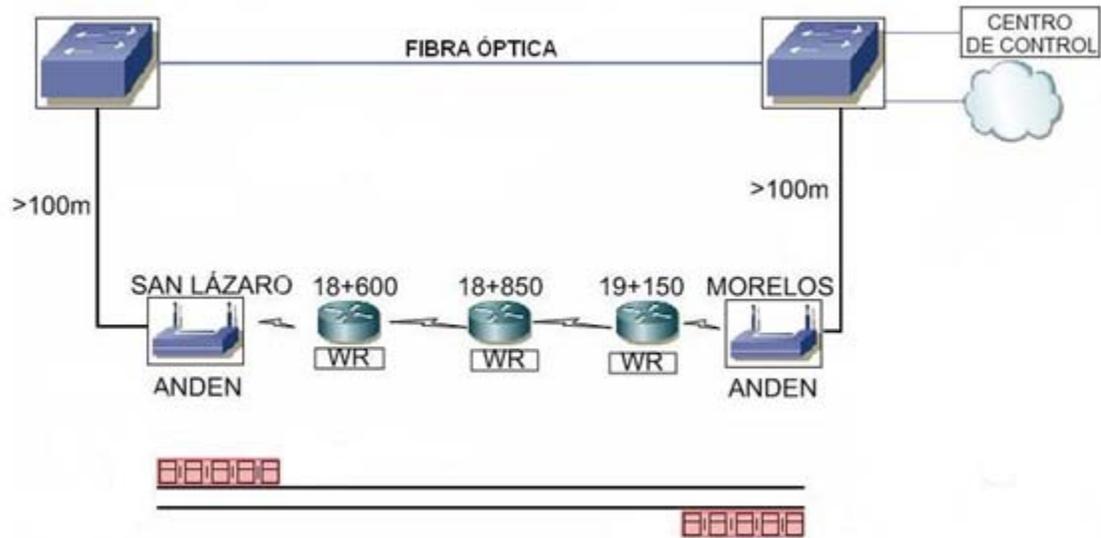


Figura 38. Esquema general del Sistema Propuesto sobre la línea B del metro.

En esta figura se puede observar la arquitectura completa a emplear, la cual se propone como posible solución para mitigar los problemas que presenta el actual sistema de comunicación que tiene el metro.

Además se ve la diferencia que existe entre esta arquitectura y la instalada en la zona del Instituto Politécnico Nacional, y es claro que ésta varía de acuerdo de los servicios a ofrecer, así como de las características propias de cada área en la que se pretenda instalar.

Es así como se plantea otro posible escenario de aplicación para las redes mesh, teniendo confianza en que sea una buena solución y permita tener un sistema de red confiable.

REFERENCIAS

- [1] Sistema de Transporte Colectivo Metro
- [2] Hernández Deviana Guadalupe, "Diseño e Instalación de una red de área local para el STC". Tesis UPIICSA, 2004.

CONCLUSIONES

Se demuestra que las redes Mesh son una opción para mejorar la calidad en el servicio de escenarios que presentan problemas en su sistema de comunicación, o que simplemente requieran de uno que proporcione servicios móviles de voz, datos y video.

Además a través de los diferentes resultados obtenidos de las pruebas realizadas en el campus Zacatenco se concluye que:

1. Aunque el área en la que se implemento la red, cuenta con elementos que desfavorecen el funcionamiento de la misma, no impide que la red opere y permita tener comunicaciones de voz y video. Algunos de estos elementos son:

- a) Múltiples redes WiFi

Las diferentes pruebas permiten comprobar que aunque se tengan niveles de señal muy similares, éstas no interferirán. Así mismo, no importa que los canales que utilicen ambas redes sean muy cercanos, puesto que no hay problemas en las comunicaciones.

- b) Líneas de alta tensión

El recorrido realizado para la evaluación del sistema, se hizo bajo las líneas de alta tensión. Los diferentes resultados obtenidos muestran que este factor tampoco interfiere con el funcionamiento de la red Mesh.

- c) Densidad alta de árboles

El hecho de estar en una zona con una densidad importante de árboles no afecta la efectividad de la red. Como se muestra en los diferentes resultados, solo provocan atenuación en la señal, y ésta no provocará que las comunicaciones se pierdan por completo.

De esta forma es como, a través del análisis realizado a la red instalada, se determina que es una opción que permite proporcionar un sistema de calidad con servicios móviles de voz, datos y video.

Además todas las pruebas realizadas para evaluar el equipo, indican la efectividad de la red. Con los resultados se puede determinar la tasa de transmisión que ocupará un cliente para la transmisión de voz, datos y/o video. Así como también, los elementos a través de los cuales tiene acceso a la red y como afectan los obstáculos presentes en el área y la distancia a la que se encuentre la infraestructura de los clientes.

Finalmente se concluye la factibilidad de instalar este tipo de redes en otro tipo de escenarios, como en el Sistema de Transporte Colectivo Metro. Para ello se hizo además, un análisis del tramo comprendido entre las estaciones San Lázaro – Morelos de la línea B, ya que actualmente, es el peor caso de comunicación que presenta todo el recorrido. Los datos obtenidos indican que es posible llevar a cabo la instalación.

TRABAJO FUTURO

Las comunicaciones móviles tienen una amplia gama de aplicaciones así como de necesidades de comunicación por cubrir en diferentes escenarios. Decir cuál es el trabajo futuro más cercano a desarrollar no es tarea fácil, ya que involucra diferentes caminos:

- Continuar la investigación sobre redes Mesh y la norma de estandarización 802.11s, la cual permitirá utilizar equipo no propietario. Esto traerá grandes ventajas para el desarrollo de diversas aplicaciones sin la necesidad de restringirse a una sola compañía, además de que evitará la monopolización, dando al usuario mayores opciones para la elección de la arquitectura y al mismo tiempo poder combinarlas.
- Escalar la propuesta presentada con miras de una aplicación real en el Sistema de Transporte Colectivo Metro. De tal forma que de manera integral el servicio sea más eficiente y de mejor calidad.
- De igual forma se propone su implementación en otras áreas que requieran tener comunicaciones móviles para mejorar el servicio ofrecido, o simplemente para mejorar la productividad de la misma. Al mismo tiempo se puede mejorar la red diseñada, dados los avances que se dan en esta área de manera rápida, así como las diferentes necesidades que se tienen cada día.

Lo más importante es no dejar que los avances y o mejoras que se dan para los diseños de redes nos rebasen, sino todo lo contrario, utilizarlos de manera eficiente y correcta con el objeto de facilitar el desarrollo de las actividades de diferentes ámbitos como las: empresariales, escolares, cotidianas, de servicio a la comunidad, etc., proporcionando mayor seguridad y confiabilidad en el usuario.

APÉNDICE: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

A continuación se presentan las características técnicas de los equipos empleados para la instalación de la red.

- Access Point Inteligente IAP 6300

Características IAP 6300	
Potencia de Salida	25 dBm
Modulación RF	QDMA
Frecuencia de Operación	2.4 - 2.4835 GHz
Máxima Tasa de Datos	6 Mbps
Espectro utilizado	60 MHz

Tabla a. Características Técnicas del IAP 6300

- Router Inalámbrico MWR 6300

Características MWR 6300	
Potencia de Salida	25 dBm
Modulación RF	QDMA
Frecuencia de Operación	2.4 - 2.4835 GHz
Máxima Tasa de Datos	6 Mbps
Espectro utilizado	60 MHz

Tabla b. Características Técnicas del MWR 6300

- Estatus de los Access Point y los Routers Inalámbricos

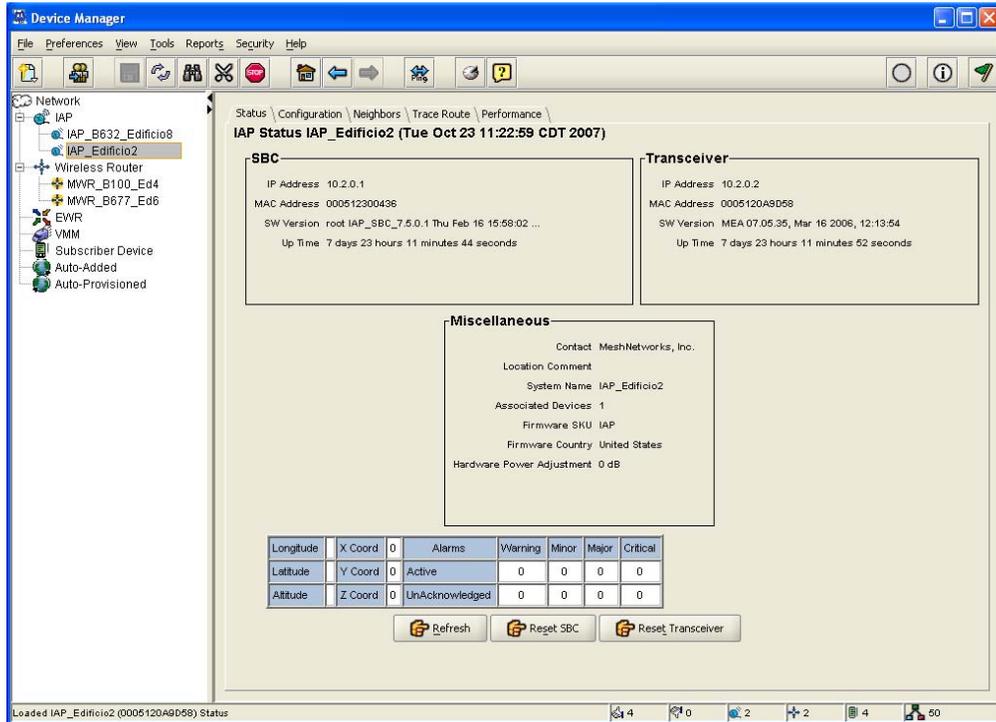


Figura i. Estatus del IAP1.

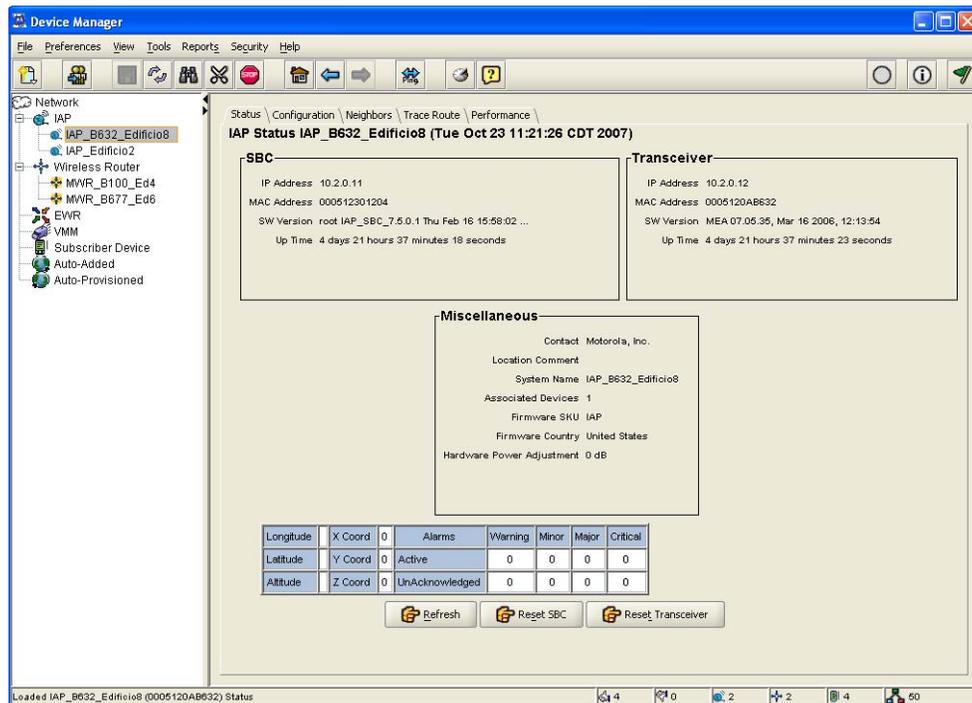


Figura ii. Estatus del IAP2

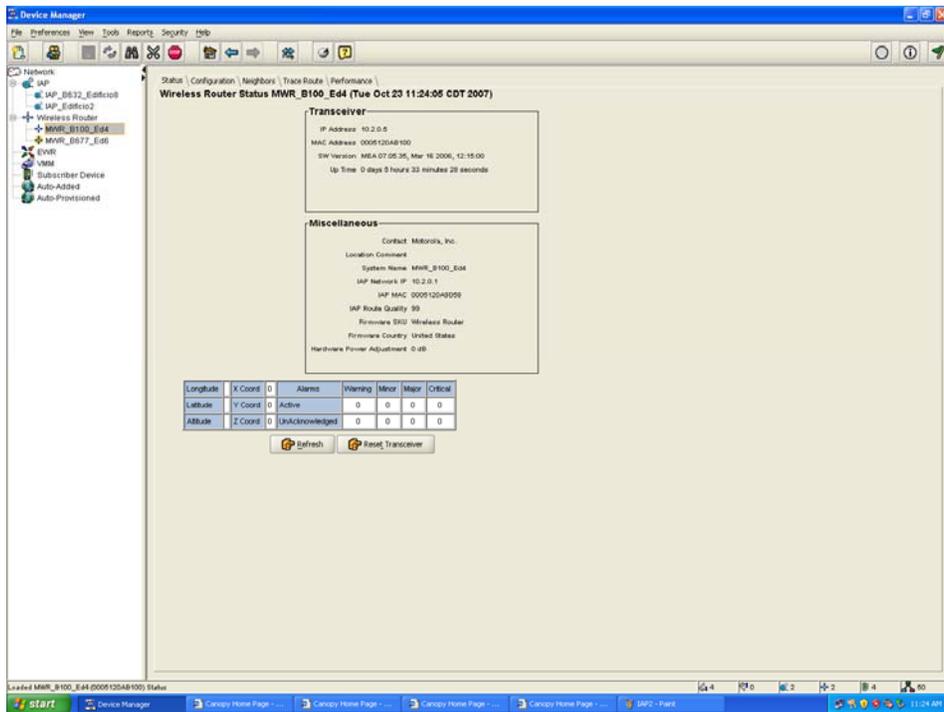


Figura iii. Estatus del MWR1

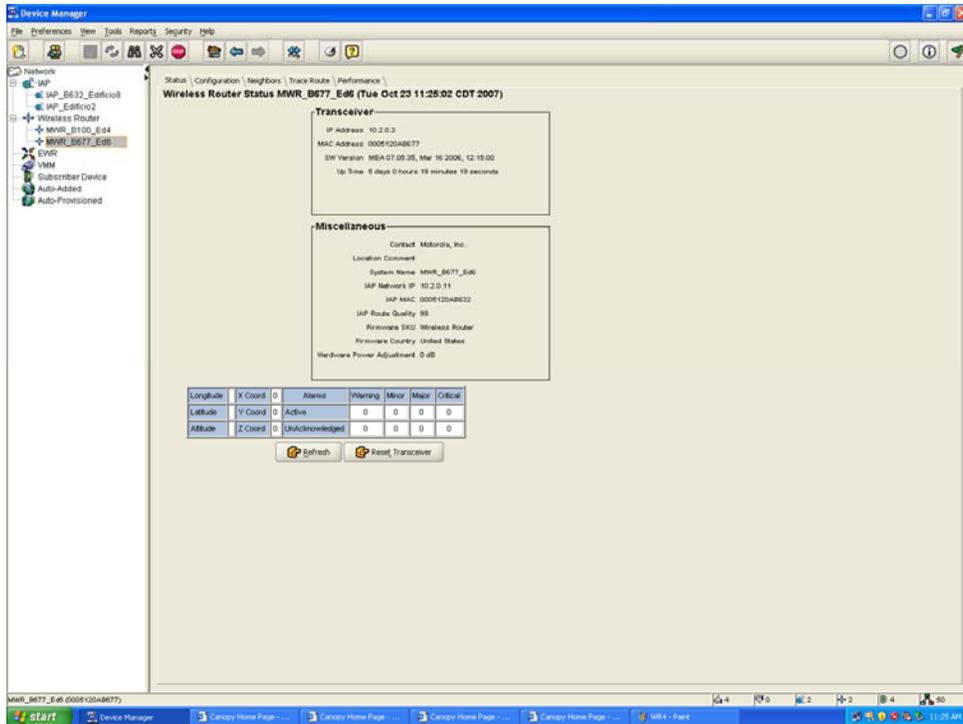


Figura iv. Estatus del MWR2

- Módem Inalámbrico VMM 6300

Características VMM 6300	
Potencia de Salida	23 dBm
Modulacion RF	QDMA
Frecuencia de Operación	2.4 – 2.4835GHz
Maxima Tasa de Datos	6 Mbps
Espectro utilizado	60 MHz
Tipo de Antena	Omnidireccional

Tabla c. Características técnicas del WMM 6300

- Cámara AXIS Modelo 213

Cámara de red AXIS 213	
Control de Movimiento	Horizontal/Vertical/Zoom
Resolución	Hasta 704 x 576 píxeles con 25 ips
Compresión de Video	Motion JPEG MPEG 4
Conectores	Ethernet 10BaseT/100BaseT, RJ-45
Alimentación	11.5 – 14 V CC.

Tabla d. Características técnicas de la cámara

- Tarjeta Inalámbrica WMC 6300

Características WMC 6300	
Potencia de Salida	23 dBm
Modulacion RF	QDMA
Frecuencia de Operación	2.4 – 2.4835GHz
Maxima Tasa de Datos	6 Mbps
Espectro utilizado	60 MHz

Tabla e. Características técnicas de la WMC 6300

GLOSARIO

Access Point: Dispositivos que se conectan a un punto central que es el que administra la comunicación, es decir, funcionan como un puente que sirve de comunicación entre una red inalámbrica y una red alámbrica.

Ancho de Banda: Describe la capacidad de rendimiento medida de un medio o red específica.

Banda Ancha: Margen entre las frecuencias inferiores y superiores que pasan por un dispositivo, circuito o un sistema con una atenuación aceptable, típicamente de 3dB. Rango de frecuencias disponible para la transmisión de señales. También puede indicar la capacidad de caudal de tráfico ofrecido por un medio de comunicaciones.

Backhaul: Sirven para interconectar redes entre sí utilizando diferentes tipos de tecnologías alámbricas o inalámbricas, para hacer circular la información.

Burst Rate: Velocidad (en megabytes por segundo) en la cual los datos pueden ser transferidos.

Ciente: Nodo que solicita servicios de un servidor.

Cluster: Conjunto de nodos interconectados entre sí mediante enlaces radio, que comparten un medio y unas características para la transmisión y recepción de datos comunes.

Enlace: Trayecto entre dos puntos de un sistema de telecomunicaciones, con características técnicas específicas.

Hub: Dispositivo cuyo propósito es regenerar y reenviar las señales dentro de una red.

Malla: En inglés denominada Mesh, red en la que los dispositivos están organizados en una topología de malla, caracterizada por que cada nodo de la red se conecta con el resto de los nodos.

Modelo OSI: Modelo de arquitectura de red que está constituido por 7 capas, cada una de las cuales especifica funciones particulares de red.

Nodo: Punto en una red en el que concurren dos o más enlaces de comunicaciones y está equipado con dispositivos que permiten la función de conmutación. Se utiliza a veces genéricamente para hacer referencia a una entidad que puede acceder a una red y se utiliza de modo indistinto con la palabra dispositivo.

Red: Conjunto de dispositivos, tales como: computadoras, routers, switches, etc., que a través de algún medio de comunicación se pueden comunicar entre sí.

Servicios: Capacidades suministradas por un nivel a las entidades de nivel superior.

TDMA: Técnica empleada en la que los usuarios y/o clientes esperan su turno para transmitir, obteniendo cada uno en forma periódica la banda entera durante un breve lapso de tiempo.

Throughput: Cantidad de datos por unidad de tiempo que se entregan, mediante un medio físico o lógico, en un nodo de la red.

Topología: Forma en que los equipos terminales se conectan entre sí y con los nodos, a través de los enlaces de comunicaciones.

ANEXOS

Se muestran en orden cronológico los artículos, presentados en Congresos, que respaldan este trabajo.

1. "Propuesta de Diseño de una Red MESH en el Sistema de Transporte Colectivo Metro de la Ciudad de México"
IEEE ROC&C
Acapulco Guerrero. Noviembre 2007.
2. "Implementación de Tecnología MESH para comunicación entre las Estaciones San Lázaro y Morelos del Sistema de Transporte Colectivo Metro"
10° Congreso Nacional de Ingeniería Electromecánica y de Sistemas.
México D.F. Noviembre 2007.
3. "Diseño de una Red Mesh para proporcionar servicios de voz, datos y video"
18° Congreso Interuniversitario de Electrónica, Computación y Eléctrica CIECE 2008.
Acapulco, Guerrero. Marzo 2008
4. "Characterization of a Wireless Mesh Network for voice, data and video"
CERMA 2008
Cuernavaca, Morelos. Septiembre 2008.