Análisis comparativo de las tecnologías WIFI y WIMAX; Aplicaciones y Servicios

César Yépez F, PHD, cyepez@espol.edu.ec
Arellys Briones E, are_briones@yahoo.com
Nadia Gracia C, ngracia78@hotmail.com
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC)
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, vía Perimetral Km 30.5, Guayaquil, Ecuador

Resumen

El presente trabajo realizará comparaciones entre las dos tecnologías inalámbricas existentes actualmente de área local y metropolitana como lo son WiFi y WIMAX respectivamente.
El análisis comparativo de los aspectos teóricos será realizado entre los estándares IEEE 802.11 e IEEE 802.16 y sus respectivas variantes con la finalidad de determinar en que puntos uno es superior a otro.
El análisis comparativo de los aspectos prácticos será obtenido de pruebas realizadas con equipos reales o en su defecto con pruebas de laboratorio.
Al término del estudio se espera concluir cual de estas dos tecnologías tiene más propiedades y características en las mismas aplicaciones y servicios.

Palabras Claves: Red WIFI, red WIMAX, enlace inalámbrico, alcance y potencia de señal, rango de cobertura, velocidad de transmisión, tecnologías propietarias.

Abstract

The present work will make comparisons between the two existing wireless technologies at the moment for local and metropolitan area as they are Wi-Fi and WIMAX respectively.
The comparative analysis of the theoretical aspects will be made between the standards IEEE 802.11 and IEEE 802.16 and their respective variants with the purpose of determining in these points which one is superior.
The comparative analysis of the practical aspects between these two technologies will be obtained from tests made with real equipment or in their defect with tests simulated in laboratory.
At the end of the study we hoped to conclude which of these two technologies has more properties and characteristics in the same applications and services.

INTRODUCCIÓN

La popularización de las redes de área local inalámbricas y su posible interconexión han dado pie a que potencialmente se puedan crear redes inalámbricas, incluso móviles, de gran ancho de banda en amplias zonas urbanas dando lugar así a las redes metropolitanas.
El estándar IEEE 802.11 para LANs inalámbricas fue publicado en 1999. Estos productos basados en un estándar de interoperabilidad son certificados por la Alianza de Compatibilidad Ethernet Inalámbrica (Wireless Ethernet Compatibility Alliance, WECA por sus siglas en ingles) con el Wi-Fi™ logo. Las Redes Inalámbricas basadas en el estándar de la IEEE 802.11 o Wi-Fi han sido un completo éxito, y ahora se están enfocando en conseguir una mayor cobertura. Mientras Wi-Fi ha ido borrando virtualmente la competencia en el área local, el mercado de área metropolitana se encuentra en desarrollo.

WIMAX, siglas de Interoperabilidad Mundial para Acceso de Microondas (Worldwide Interoperability for Microwave Access), es definido en el estándar IEEE 802.16, y ha sido promovido por el WIMAX Forum. El Forum se encarga de desarrollar pruebas de ajuste de interoperabilidad para asegurar soluciones a los vendedores resultando en productos de bajo costo, basados en un estándar abierto.

Debido al incremento en el reconocimiento de WIMAX en el mercado, es ahora regularmente comparado con Wi-Fi. Mientras los dos comparten ciertamente algunas características técnicas fundamentales, se están acercando al espacio inalámbrico de dos perspectivas diferentes.

DESARROLLO DEL PROYECTO

Para el desarrollo del proyecto, se investigó la información teórica en libros y con ayuda del Internet se obtuvo documentos publicados de diferentes empresas relacionadas al área de telecomunicaciones en especial a aquellas que dan interés al manejo de redes de área local y metropolitana o aquellas que proveen equipos para fabricar estas redes como es el caso de Cisco y Motorola.
Una vez obtenida y clasificada la información se procedió a realizar las pruebas de campo para la obtención de datos, que para el caso de WIFI se utilizó la red de Pacifictel, con esta se procedieron a realizar mediciones de potencia y alcance de señal, así como también un análisis de interferencia y seguridad inalámbrica en todo el edificio. Para el caso de WIMAX se utilizó la red de SETEL, aquí se analizó primero el nivel de seguridad y luego la obtención datos y el análisis del alcance de la señal se la realizó en diferentes puntos de la cuidad de Guayaquil ya que éste tiene un extenso rango de cobertura.

CONTENIDO

1. **Protocolos de WIFI y WIMAX**

   1.1 Wi-Fi
   - IEEE 802.11 [1 y 2Mbit/s, 2,4GHz]
   - IEEE 802.11a [54Mbit/s, 5GHz]
   - IEEE 802.11b [Realce del 802.11 para soportar 5.5 y 11Mbits/s,]
   - IEEE 802.11e [Realces: QoS, incluyendo choque de paquetes,]
   - IEEE 802.11g [54Mbit/s, 2,4GHz estándar compatible con b,]
   - IEEE 802.11i [Realce en seguridad]

   1.2 WIMAX
   - IEEE 802.16 [32 a 134Mbps]
   - IEEE 802.16ª [≤ 70 o 100Mbps]
   - IEEE 802.16d [hasta 75Mbps]
   - IEEE 802.16e [hasta 15Mbps]

2. **Análisis de características de WIFI y WIMAX**

2.1 Bandas de Frecuencia

2.1.1 Bandas de Frecuencia WIFI

802.11a opera dentro de la porción de 5GHz del espectro de frecuencia de radio, mientras que 802.11b y 802.11g operan en banda 2.4GHz. Estas bandas proporcionan beneficios muy diferentes para cada uno de los protocolos y también dan como resultado distintos inconvenientes y dificultades en la implementación.

2.1.2 Bandas de Frecuencia WIMAX

WIMAX opera en espectros con y sin licencia dentro del rango de 2 a 11GHz, pero particularmente cuatro bandas son las mas atractivas: con licencia 2.5GHz y 3.5GHz, sin licencia 3.5GHz y 5GHz.

2.2 Protocolo de Acceso al Medio

2.2.1 Protocolos de Contención

En estos protocolos cualquier nodo puede disponer del medio para su envío de datos. Este conlleva ciertos problemas, como la posibilidad de que dos nodos transmitan al mismo tiempo, lo que conllevaría a interferencia en la señal, que pueden corromper el paquete original. Para evitar este problema, se cuenta con tres técnicas de control de acceso: CSMA, CSMA/CD, CSMA/CA, los cuales son utilizados por WIFI en los protocolos 802.11a/b/g.

2.2.2 Protocolos de Arbitraje

Es una tecnología de transmisión digital que permite a un número de usuarios acceder sin interferencia a un canal de radio-frecuencia para colocar en una porción de tiempo único a cada usuario dentro del canal, este depende en el hecho de que la señal de audio ha sido digitalizada. Este ubica un canal de frecuencia por un corto tiempo y entonces se mueve a otro canal. TDMA tiene tres usuarios compartiendo una frecuencia de portadora de 30KHz, esta técnica es utilizada por WIMAX en los protocolos 802.16, 802.16a/d/e.

2.3 Ancho de Banda

2.3.1 Modulación

Modulación es el proceso por el cual una onda portadora es capaz de portar el mensaje o señal digital. Hay tres métodos básicos: por amplitud, por frecuencia y por fase.

La Modulación Adaptativa permite enviar más bits por símbolo y con esto se consiguen tasas de transmisiones más altas o mejor eficiencia espectral, el uso de la modulación adaptativa permite a un sistema inalámbrico escoger el más alto orden de modulación dependiendo de las condiciones del canal.

En la siguiente tabla se resume la modulación que utiliza WiFi y WIMAX.

TIPO DE MODULACIÓN		ASK	FSK	CCK	PSK		QAM			ADAPTATIVA
					BPSK	QPSK	16	64	256	
WIFI	802.11b			•	•	•				•
	802.11a				•	•	•	•		
	802.11g			•	•	•	•	•		•
WIMAX	802.16					•	•	•		•
	802.16a				•	•	•	•	•	•
	802.16d				•	•	•	•	•	•
	802.16e				•	•	•	•	•	•

2.4 Duplexación

Se refiere al proceso de creación de canales bi-direccionales de transmisión de datos para los enlaces de subida y bajada. Existe la Duplexación por división de Tiempo (TDD) y la Duplexación por división de Frecuencia (FDD). Soluciones con licencia es decir 802.16 utilizan FDD mientras que WiFi utiliza TDD.

2.5 Técnica de Transmisión

En Wi-Fi, para el 802.11b se utiliza la técnica de Espectro Extendido por Secuencia Directa (DSSS) y para 802.11a y g se utiliza la Multiplexación por División Ortogonal de Frecuencia de 64 canales (OFDM). El estándar original 802.11 incluía una opción para el uso de FHSS pero con el tiempo fue desechada.

Para el estándar 802.11a se define el uso de las técnicas OFDM de 256 sub-portadoras y OFDMA de 2048 sub-portadoras y COFDM, mientras que 802.16d y e utilizan OFDM y OFDMA.

2.6 Velocidad de Transmisión

La tasa de transmisión es la cantidad de datos digitales que es transmitida de un lugar a otro en un tiempo dado, usualmente en segundos y es medida en bits por segundo. En la siguiente tabla se resume la capacidad de transmisión de cada sistema.

VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN		Mbps
WIFI	802.11b	11
	802.11a	54
	802.11g	54
WIMAX	802.16	32 a 134
	802.16a	≤ 70 o 100
	802.16d	hasta 75
	802.16e	hasta 15

2.7 Rango de Cobertura

Los enlaces inalámbricos se pueden realizar con Línea de Vista Directa (LOS) y Sin Línea de Vista Directa (NLOS), en la primera la señal viaja sobre un camino directo y libre desde el transmisor al receptor, en la segunda una señal alcanza el receptor a través de reflexiones, dispersión y difracciones. En la siguiente tabla se visualiza el rango de de cobertura de cada sistema.

RANGO DE COBERTURA		LOS	NLOS
WIFI	802.11b	100 mts	
	802.11a	100 mts	
	802.11g	125 mts	
WIMAX	802.16	1.61 a 4.83 Km	
	802.16a		4.83 a 8.05 Km
	802.16d		4.83 a 8.05 Km max 48.3 Km
	802.16e		Móvil hasta 5 Kmts

2.8 Calidad de Servicio

El QoS le permite proporcionar un mejor servicio a ciertos flujos. Esto es conseguido ya sea elevando la prioridad de un flujo o limitando la prioridad de otro flujo. El QoS trata de solucionar algunos inconvenientes en la transmisión entre los mas comunes tenemos: Perdida de Paquetes, Retraso o Latencia de los paquetes y la Variación en el Retraso o Inestabilidad.

2.9 Seguridad

La seguridad es siempre importante para las comunicaciones de datos inalámbricos debido al hecho de que uno no puede controlar el acceso a la infraestructura física usada en los medios inalámbricos ya que se usan las ondas de aire. A continuación se detallan los mecanismos de seguridad para cada sistema.

2.9.1 Seguridad WiFi

Los mecanismos de seguridad mas comunes disponibles en los actuales equipos inalámbricos son:

- Identificador de conjunto de servicios
- Filtrado de direcciones MAC
- Privacidad equivalente al cableado (WEP)
- WPA
- 802.11i (WPA2)

Algunas de las características que ofrece la seguridad WIFI son:

- Autenticación verificada de la fuente o el origen de los datos que viajan a través de la red
- Autorización asegurada que el usuario tena permitido acceder solamente a servicios autorizados.
- Protección confidencial de los datos contra la intercepción desautorizada.
- Integridad asegurada de que los datos no sean modificados por un individuo desautorizado

2.9.2 Seguridad WIMAX

La subcapa de privacidad IEEE 802.16 proporciona al usuario privacidad para encriptar el enlace entre la Estación Base (BS) y la Estación de Servicio (SS), proporcionando protección contra robo de servicio por servicio de encriptación que fluye dentro de la red.

La subcapa de privacidad emplea un protocolo de administración de clave cliente/servidor autenticado que es capaz de soportar el Estándar de Encriptación Avanzada (AES). En este protocolo la Estación Base (BS), actúa como servidor, controlando la distribución de clave a la Estación de Servcio (SS), la cual actúa como cliente.

La subcapa de privacidad emplea a los componentes de los protocolos para llevar a cabo toda la seguridad relacionadas con las tareas. El primero es un protocolo de encapsulamiento, el cual es usado para la encriptación de paquetes de datos a través de la red.

La segunda componente de la subcapa de privacidad es el Protocolo de Administración de Clave Privada (PKM). Este es usado para proporcionar distribución segura de claves entre la Estación Base (BS) y las Estaciones de Servicio (SS). Este protocolo es además usado por la BS y el SS para mantener la sincronización de la asignación de claves de los datos entre ellos, y por el BS controlar el acceso a los servicios de red.

3. Aplicaciones y Servicios

3.1 Red WiFi

La infraestructura se encuentra en un edificio ubicado a 2° 9' 43'' S y 79° 53' y utiliza desde el cuarto al sexto piso de éste. El área total de cada piso es de 36.34 x 36.34 m^2. Pacifictel cuenta con una topología de red estrella. Los APs se encuentran conectados a un switch propio de cada piso y estos a su vez están conectados a un switch principal ubicado en el 5to piso, donde llega el proveedor a través de fibra óptica.

Con los APs inalámbricos colocados estratégicamente se da cobertura a todas las PCs ubicadas en cada departamento de los diferentes pisos.

Los equipos utilizados en esta red operan en la banda de frecuencia de 2.4MHz Half Duplex.

Los servicios de esta red están limitados a los que el proveedor les brinde, siendo hasta el momento utilizada para transmisión de datos.

3.1.1 Parámetros y mediciones

Los parámetros tomados en consideración fueron: Nivel de señal, Nivel de ruido y Relación señal a ruido.

Con esto se obtuvo el lugar óptimo para cada AP y se realizaron pruebas de alcance de señal en diferentes puntos de la zona cubierta, los cuales se detallan a continuación:

CUARTO PISO:

Prueba 1

Lugar de medición	Nivel de Señal [dBm]	Nivel de Ruido [dBm]	Señal/Ruido [dBm]
A	- 54	- 96	40
B	- 60	- 96	40
C	- 60	- 97	34
D	>- 45	- 97	34
E	- 50	- 95	43
F	>- 45	- 95	43
G	- 63	- 97	35
H	- 58	- 96	40
I	- 60	- 100	35
J	- 50	- 98	47
K	- 65	- 96	34
L	- 55	- 96	40
M	- 66	- 96	30
N	- 65	- 96	33
O	- 68	- 96	22
P	- 75	- 96	20
Q	- 65	- 98	30

Prueba 2

Lugar de medición	Nivel de Señal [dBm]	Nivel de Ruido [dBm]	Señal/Ruido [dB]
A	- 60	- 96	35
B	- 54	- 97	45
C	>- 45	- 96	49

Prueba 3

Lugar de medición	Nivel de Señal [dBm]	Nivel de Ruido [dBm]	Señal/Ruido [dB]
A	- 60	- 97	43
B	- 60	- 100	39
C	- 60	- 100	39
D	- 60	- 100	39
E	- 58	- 98	38
F	>- 45	- 97	56
G	- 57	- 99	43
H	- 62	- 96	30

QUINTO PISO

Prueba 1

Lugar de medición	Nivel de Señal [dBm]	Nivel de Ruido [dBm]	Señal/Ruido [dB]
A	- 53	- 98	43
B	>- 45	- 98	46
C	- 59	- 95	34

Prueba 2

Lugar de medición	Nivel de Señal [dBm]	Nivel de Ruido [dBm]	Señal/Ruido [dB]
A	- 60	- 96	34
B	- 63	- 96	38
C	>- 45	- 96	49
D	- 58	- 96	36

Prueba 3

Lugar de medición	Nivel de Señal [dBm]	Nivel de Ruido [dBm]	Señal/Ruido [dB]
A	- 58	- 96	36
B	- 68	- 96	26

Prueba 4

Lugar de medición	Nivel de Señal [dBm]	Nivel de Ruido [dBm]	Señal/Ruido [dB]
A	- 60	- 96	38
B	- 55	- 98	42
C	>- 45	- 98	55

SEXTO PISO

Prueba 1

Lugar de medición	Nivel de Señal [dBm]	Nivel de Ruido [dBm]	Señal/Ruido [dB]
A	- 62	- 96	32
B	- 57	- 96	40
C	- 50	- 97	52
D	- 60	- 94	30

Prueba 2

Lugar de medición	Nivel de Señal [dBm]	Nivel de Ruido [dBm]	Señal/Ruido [dB]
A	- 50	- 96	43
B	>- 45	- 96	50
C	>- 45	- 97	55
D	>- 45	- 96	45
E	- 57	- 94	41
F	- 53	- 96	39
G	- 55	- 97	40

Prueba 3

Lugar de medición	Nivel de Señal [dBm]	Nivel de Ruido [dBm]	Señal/Ruido [dB]
A	- 53	- 97	40
B	>- 45	- 97	51
C	- 60	- 96	37

Prueba 4

Lugar de medición	Nivel de Señal [dBm]	Nivel de Ruido [dBm]	Señal/Ruido [dBm]
A	- 55	- 97	37
B	>- 45	- 97	52

Prueba 5

Lugar de medición	Nivel de Señal [dBm]	Nivel de Ruido [dBm]	Señal/Ruido [dB]
A	- 60	- 96	39

3.2 Red WIMAX

La red WIMAX de SETEL, cuenta con dos nodos uno ubicado a 2° 7’ 5’’ S y 79° 56’ 39’’ W conocido como nodo Norte y el otro a 2° 11’ 27’’ S y 79° 53’ 16’’ W que se lo denomina nodo Centro.
La red WIMAX es una red multipunto, en cual cada estación base es independiente de la otra, es decir no cuanta con una topología definida. La red de Setel llega a los nodos mediante fibra óptica. Se utiliza un convertidor de fibra óptica a 10/100 base T para conectar las radio bases WIMAX a esta red.

El nodo Norte cuenta con dos radio bases, una de las cuales da cobertura hasta el kilómetro 17,5 de la vía a Daule y la otra hasta el kilómetro 4.5 de la vía a Daule. Este nodo no cuenta con la altura suficiente para dar cobertura a la zona noreste de la cuidad y Durán. El nodo Centro brinda una extensa cobertura abarcando los sectores centro, sureste y suroeste de la cuidad hasta el Puerto Marítimo.
Los equipos utilizados en esta red operan en la banda de frecuencia de 3.5MHz Full Duplex. Los servicios que SETEL ofrece son hasta el momento telefonía IP e Internet de banda ancha.

3.2.1 Parámetros y Mediciones

Los parámetros tomados en consideración para la instalación de las estaciones de usuarios fueron: la relación señal a ruido y la intensidad de la señal recibida.
Con los resultados de estos parámetros se determina la posibilidad del enlace, debido a que hay sectores de la ciudad que aún no están cubiertos.
A continuación se presentan algunas pruebas realizadas en diferentes sectores se la urbe.

Clientes enlazados al nodo norte

Punto	**SNR [dB]**	**RSS [dBm]**	**Modulación**	**Pot. de Tx [dBm]**
2° 7' 36''S 79° 55' 52''O	30,6	- 67,9	64 QAM ¾	16
2° 5' 1'' S 79° 55' 43''O	32,9	- 73,5	64 QAM ¾	16
2° 9' 8''S 79° 55' 54''O	28,8	- 79,5	64 QAM ¾	19
2° 9' 12''S 79° 55' 50''O	31,5	- 66,1	64 QAM ¾	19
2° 7' 47''S 79° 55' 55''O	32,2	- 60	64 QAM ¾	7
2° 6' 26''S 79° 56' 0''O	32,5	- 47,1	64 QAM ¾	6,5
2° 2' 50''S 79° 56' 51''O	17,4	- 83,3	QPSK 1/2	21

Clientes enlazados al nodo centro.

Punto	**SNR [dB]**	**RSS [dBm]**	**Modulación**	**Pot. de Tx [dBm]**
2° 11' 41''S 79° 54' 10''O	32,2	- 65,2	64 QAM 3/4	10
2° 17' 12''S 79° 53' 33''O	28,8	- 75,9	64 QAM ¾	19
2° 14' 32''S 79° 55' 30''O	31	- 72,8	64 QAM ¾	18,5
2° 11' 56''S 79° 53' 2''O	31,4	- 63	64 QAM ¾	10,5
2° 16' 21''S 79° 52' 43''O	29,9	80,3	64 QAM ¾	19
2° 13' 57''S 79° 54' 12''O	32,1	- 71	64 QAM 3/4	14
2° 12' 5''S 79° 54' 57''O	29,5	- 71,3	64 QAM 3/4	20
2° 12' 45''S 79° 53' 8''O	20.5	- 76,7	16 QAM1/2	24

4. Análisis Comparativo

4.1 Aspectos teóricos de Wi-Fi versus aspectos teóricos de WIMAX

- **Bandas de Frecuencia**
  El estándar de redes LAN inalámbricas 802.11 describe únicamente cuatro interfaces de radio enlaces que operan en las bandas de radio sin licencia de 2.4GHz o 5GHz como se describió en el capitulo 2, 2.2.1, a diferencia del estándar 802.16 que incluye un rango mucho mayor de frecuencias, de 10 a 66GHz y de 2 a 11GHz. Una ventaja de WIMAX es que en las bandas de frecuencia mas bajas puede soportar NLOS, eliminando la necesidad de alinear el equipo del

usuario con la estación base y además incorpora una característica de Selección Dinámica de Frecuencia, donde el equipo automáticamente busca un canal libre, siendo un gran beneficio en las bandas sin licencia, esta característica no esta presente en Wi-Fi.

- **Protocolo de Acceso al medio**
  Wi-Fi utiliza un protocolo de acceso al medio llamado CSMA/CA, las WLAN usan configuraciones de medios compartidos half duplex donde todas las estaciones transmiten y reciben sobre un mismo canal de radio. El problema fundamental que éste crea en un sistema de radio es que una estación no puede "escuchar" mientras está transmitiendo, lo que hace imposible detectar una colisión. A diferencia en las redes WIMAX, el acceso al canal de entrada será controlado por la estación base. Los usuarios que deseen transmitir primero envían una petición a un canal de acceso basado en contención. Los permisos exclusivos para usar el canal de entrada es designado por la estación base utilizando un sistema de permisos para enviar. Como sólo una estación tiene permiso para enviar en un tiempo determinado, no habrá colisiones en el tráfico entrante.

- **Modulación**
  Ambas tecnologías, Wi-Fi y WIMAX hacen uso de la modulación adaptativa. Es decir, el transmisor automáticamente cambiará a una técnica de modulación mas robusta aunque menos eficiente en condiciones adversas, siendo así, en este aspecto, ambas gozan de los mismos beneficios.

- **Duplexación**
  Todas las redes Wi-Fi son sistemas TDD basados en contención, donde todos los AP y las estaciones móviles compiten por el uso del mismo canal. Debido a la operación de medios compartidos se necesitan tiempos de guarda lo cual reduce a menos del 50% la velocidad de transmisión y el uso es menos eficiente para tecnologías de voz. Sin embargo, los sistemas WIMAX pueden ser configurados para utilizar FDD o TDD. Al usar FDD no se requieren tiempos de guarda con lo cual no se ve afectada la velocidad de transmisión y puede ser usada para tecnologías de voz y video pero tiene un costo monetario asociado para su implementación.

- **Técnicas de Transmisión**
  En la especificación original del estándar 802.11, se incluyó una opción para el uso de FHSS, pero ésta con el transcurso del tiempo fue desechada, en la actualidad ambas tecnologías gozan de los beneficios que otorga el uso de OFDM, entre los cuales tenemos: el aprovechamiento del ancho de banda, la resistencia a interferencias y al desvanecimiento de la señal, lo que conlleva a un mayor alcance.

- **Velocidad de Transmisión**
  En teoría la mayor velocidad de transmisión que alcanza la tecnología Wi-Fi es de 54Mbps pero se ve superada por la tecnología WIMAX que en teoría alcanza 134Mbps.

- **Rango de Cobertura**
  Se cuentan con enlaces LOS y NLOS. Los enlaces Wi-Fi son en su totalidad LOS por lo tanto su mayor alcance (en teoría 125m) es menor en comparación con los enlaces WIMAX que pueden ser no solo LOS (max. 48 Km) sino también NLOS (max 8 Km) y por lo tanto brinda una mayor cobertura.
  Los sistemas 802.16 tienen una mayor ganancia total del sistema, consiguiendo mayor penetración a través de obstáculos a distancias mayores, un mejor nivel de reflexión multitrayecto y dispersión del retardo gracias a la implementación de una FFT de 256 en vez de la FFT de 64 de los sistemas 802.11.
  Esta es la característica y diferencia mas importante al comparar teóricamente ambas tecnologías.

- **Seguridad**
  Otra gran diferencia entre Wi-Fi y WIMAX es la privacidad o la habilidad de proteger a las transmisiones de los espías de red. La seguridad ha sido una de las mayores deficiencias en Wi-Fi, aunque mejores sistemas de encriptación están disponibles ahora. En Wi-Fi, la encriptación es opcional y tres técnicas diferentes han sido definidas: WEP, WPA y WPA2. En cambio, dado que WIMAX fue diseñado para aplicaciones de redes públicas, virtualmente todas las

transmisiones WIMAX son encriptadas, como resultado no se han presentado los problemas de seguridad que existieron en las primeras versiones de Wi-Fi.

4.2 Aspectos prácticos de Wi-Fi versus aspectos prácticos de WIMAX

- **Velocidad de Transmisión y Rango de Cobertura**

  A continuación se tabulan las velocidades de transmisión efectivas (throughput) y el rango de cobertura en las pruebas realizadas en la red Wi-Fi de Pacifictel con los equipos LINKSYS de Cisco, en la cuales se envió un paquete de datos de 100 Kbytes.

AP 402

Nivel de Señal [dBm]	Distancia al AP [mts]	Velocidad bajada [Mbps]	Velocidad subida [Mbps]
- 45	8.98	12.383	12.74
- 50	14.45	20.20	17.7
- 54	12.88	22.47	14.39
- 58	13.93	19.9	16.665
- 60	16.83	22.22	11.33
- 63	16.71	18.605	22.1
- 65	7.33	10.18	18.18

AP 404

Nivel de Señal [dBm]	Distancia al AP [mts]	Velocidad bajada [Mbps]	Velocidad subida [Mbps]
- 45	4.32	20.62	18.18
- 50	7.93	27.585	17.465
- 55	12.11	21.98	25.48
- 75	17.07	21.98	19.61

AP 408

Nivel de Señal [dBm]	Distancia al AP [mts]	Velocidad bajada [Mbps]	Velocidad subida [Mbps]
- 45	5.09	21.39	18.1
- 54	7.33	25	22.73
- 60	12.6	23.53	13.56

AP 410

Nivel de Señal [dBm]	Distancia al AP [mts]	Velocidad bajada [Mbps]	Velocidad subida [Mbps]
- 45	4.33	27.585	27.585
- 57	8.71	22.22	17.095
- 58	5.25	20.305	15.935
- 60	11.61	13.745	6.04
- 62	9.47	19.325	18.87

AP 501

Nivel de Señal [dBm]	Distancia al AP [mts]	Velocidad bajada [Mbps]	Velocidad subida [Mbps]
- 45	6.28	19.225	15.685
- 53	10.19	20.835	19.705
-59	10.5	25.48	25.48

AP 503

Nivel de Señal [dBm]	Distancia al AP [mts]	Velocidad bajada [Mbps]	Velocidad subida [Mbps]
- 45	8.96	21.055	19.9
- 50	5.87	26.49	22.345
- 58	7.21	20.41	16.88
- 63	9.9	19.51	18.87

AP 505

Nivel de Señal [dBm]	Distancia al AP [mts]	Velocidad bajada [Mbps]	Velocidad subida [Mbps]
- 45	5.75	22.345	20.41
- 55	11.67	18.35	18.35
- 60	12.12	21.74	18.02

AP 509

Nivel de Señal [dBm]	Distancia al AP [mts]	Velocidad bajada [Mbps]	Velocidad subida [Mbps]
- 58	3.09	20.1	14.495
- 68	9.09	20.2	15.875

AP 602

Nivel de Señal [dBm]	Distancia al AP [mts]	Velocidad bajada [Mbps]	Velocidad subida [Mbps]
- 50	6.82	22.855	16.735
- 57	7.97	21.39	15.325
- 60	11.79	21.98	16.665
- 62	15.15	22.22	19.35

AP 604

Nivel de Señal [dBm]	Distancia al AP [mts]	Velocidad bajada [Mbps]	Velocidad subida [Mbps]
- 45	5.32	18.435	17.855
- 50	3.2	22.47	16.13
- 53	5.54	20.62	15.625
- 55	6.31	26.845	16.88
- 57	10.24	15.685	15.325

AP 606

Nivel de Señal [dBm]	Distancia al AP [mts]	Velocidad bajada [Mbps]	Velocidad subida [Mbps]
- 60	6.68	24.095	17.935

AP 608

Nivel de Señal [dBm]	Distancia al AP [mts]	Velocidad bajada [Mbps]	Velocidad subida [Mbps]
- 45	10.08	19.9	16.735
- 55	9.48	21.39	19.14

AP 610

Nivel de Señal [dBm]	Distancia al AP [mts]	Velocidad bajada [Mbps]	Velocidad subida [Mbps]
- 45	8.58	20.725	23.67
- 53	7.59	22.22	17.17
- 60	10.38	22.6	18.69

Seguidamente se tabulan las velocidades de transmisión efectivas (throughput) y el rango de cobertura en las pruebas realizadas en la red WIMAX de Setel con los equipos AIRSPAN de Asmax, para el efecto se envió un paquete de datos de 1518 bytes.

Nodo Norte (Hempel)

Lugar de Medición	Nivel de la señal [dBm]	Distancia del Enlace [Km]	Velocidad de bajada [Mbps]	Velocidad de subida [Mbps]
2° 7' 36''S 79° 55' 52''O	- 67,9	0,78	8.13	6.39
2° 5' 1'' S 79° 55' 43''O	- 73,5	2,04	7.68	6.02
2° 9' 8''S 79° 55' 54''O	- 79,5	1,9	7.90	6.21
2° 9' 12''S 79° 55' 50''O	- 66,1	1,9	7.78	6.11
2° 7' 47''S 79° 55' 55''O	- 60	1,2	7.98	6.27
2° 6' 26''S 79° 56' 0''O	- 47,1	0,66	8.21	6.45
2° 2' 50''S 79° 56' 51''O	- 83,3	4,8	1.68	1.32

Nodo Centro (Forum)

Lugar de Medición	Nivel de la señal [dBm]	Distancia del Enlace [Km]]	Velocidad de bajada [Mbps]	Velocidad de subida [Mbps]
2° 11' 41''S 79° 54' 10''O	- 65,2	1,020	8.12	6.38
2° 17' 12''S 79° 53' 33''O	- 75,9	6,240	7.63	5.99
2° 14' 32''S 79° 55' 30''O	- 72,8	4,2	7.77	6.10
2° 11' 56''S 79° 53' 2''O	- 63	0,66	8.19	6.42
2° 16' 21''S 79° 52' 43''O	- 80,3	5,160	7.71	6.06
2° 13' 57''S 79° 54' 12''O	- 71	3	7.83	6.14
2° 12' 5''S 79° 54' 57''O	- 71,3	1,98	7.93	6.22
2° 12' 45''S 79° 53' 8''O	- 76,7	1,44	3.59	2.82

Analizando las tablas de Wi-Fi anteriormente mostradas se ha deducido que el porcentaje en el cual la velocidad se ve disminuida es del 22% en el enlace de bajada y 33% en el enlace de subida, en cambio para la red WIMAX analizada, se presenta una disminución del 14% en el enlace de bajada y subida, lo cual demuestra que dentro de sus capacidades de velocidad la tecnología WIMAX es mas eficiente y supera a la tecnología Wi-Fi.
Con respecto al rango de cobertura de estas tecnologías se puede concluir que Wi-Fi se aproxima al alcance teórico en un ambiente libre de obstáculos pero al presentarse éstos, el nivel de la señal decae de manera drástica. En las pruebas realizadas se comprobó que estas señales difícilmente atraviesan paredes de concreto lo cual implicó un aumento en la cantidad de equipos utilizados para cubrir determinadas áreas.
Similarmente, el rango de cobertura de la red WIMAX alcanzó aproximadamente los valores esperados, aunque debido a la topografía de la cuidad y a la ubicación de uno de sus nodos no se alcanzó a cubrir en su totalidad las zonas esperadas

Conclusiones

- Al analizar el rango del espectro de frecuencia sin licencia de 2.4GHz en la cuidad de Guayaquil, se determinó que éste está próximo a saturarse, por lo que el futuro de la tecnología Wi-Fi en esta banda se verá amenazado, a diferencia de la tecnología WIMAX que utiliza la banda de 3.5GHz que se encuentra menos inundada y además opera en bandas de frecuencia con licencia asegurando el uso exclusivo de un rango del espectro, beneficiándose de lo que todo esto conlleva.
- Se comprueba que gracias a la modulación adaptativa, los enlaces WIMAX con una modulación menos eficiente no presentaron una disminución significativa en el nivel de la señal, por lo cual se pudieron instalar puntos mas lejanos superando el rango de cobertura esperado.
- La señal Wi-Fi proveniente de un AP, comienzan a degradarse cuando trabajan mas de 20 personas de forma concurrente; por el contrario, WIMAX permite que una misma estación tenga cientos de personas trabajando en la red.
- En Wi-Fi el envío de datos a velocidades menores requiere menos tiempo, pero pueden tolerar mas interferencia o menor calidad de la señal, mientras que el envío de datos equivalentes a velocidades menores toleró menos degradación de la señal y por lo tanto operó con distancias menores. Con las

pruebas realizadas se comprobó que para tener una cobertura de aproximadamente 210mt se necesita tener una velocidad de 1Mbps y conforme se aumenta la velocidad de transmisión la cobertura disminuye así para 11Mbps y 54Mbps se alcanza aproximadamente 60 y 35mts respectivamente. La velocidad en las pruebas realizadas en los enlaces WIMAX se mantuvo estable aun con la presencia de variación en la distancia de la antena de subscriptor a la base.

- Cabe resaltar que los costos de inversión en una red Wi-Fi son relativamente menores en comparación con la adquisición de equipos WIMAX, se espera que con la estandarización del 802.16 los costos de los equipos se vean reducidos considerablemente.
- Analizando el futuro de las redes inalámbricas en el Ecuador se ha podido concluir que WIMAX no competirá con Wi-Fi sino que ambas son tecnologías complementarias, la primera alimentará los denominados hotspots o puntos de accesos al público en general de Wi-Fi, mientras ésta última permitirá el acceso del usuario a las aplicaciones de Internet.

7. Bibliografía

1. LES OWENS, TONY BAUTTS, ERIC OUELLET, CHRISTIAN BARNES, Hack Proofing Your Wireless Network, Primera Edición, Editorial Syngress Publishing
2. NEIL REID, RON SEIDE, 802.11 (Wi-Fi) Manual de Redes Inalámbricas, Primera Edición, Editorial Mc Graw Hill
3. www.IEEE.org
4. http://greco.dit.ump.es
5. www.lpi.usra.edu
6. www.intel.com
7. www.personal.us.es
8. www.personales.unican.es
9. http://bach.gast.it.uc3m.es
10. http://searchnetworking.techtarget.com
11. http://web1.nps.navy.mil
12. www.hsc.fr
13. www.sequans.com
14. http://uk.itronix-europe.com
15. www.cisco.com
16. www.3gamericas.org
17. www.hp.com
18. www.wi-fi.org