

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES

PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERÍA

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED CON TECNOLOGÍA WIMAX  
(IEEE 802.16-2004) PARA EL CAMPUS POLITÉCNICO DE LA ESPE

EDWIN PATRICIO AMAGUAÑA DÁVILA  
TATIANA MAGALI APOLO CÁRDENAS

SANGOLQUÍ – ECUADOR

MARZO 2009

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente proyecto de grado titulado:" DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED CON TECNOLOGÍA WIMAX (IEEE 802.16-2004) PARA EL CAMPUS POLITÉCNICO DE LA ESPE", ha sido desarrollado en su totalidad por la señorita TATIANA APOLO CÁRDENAS con CC: 1718393687 y el señor EDWIN AMAGUAÑA DÁVILA con CC: 1718133406, bajo nuestra dirección.

Atentamente

---

Ing. Román Lara

DIRECTOR

---

Ing. Gonzalo Olmedo

CODIRECTOR

## RESUMEN

El principal objetivo del presente proyecto es el diseño y simulación de una red con tecnología WiMAX (IEEE 802.16-2004) para el Campus Politécnico de la ESPE, que permita realizar comunicaciones triple-play (voz, datos y video) a nivel de todo el campus.

En el primer capítulo se determinan los parámetros necesarios para el diseño de una red de comunicación inalámbrica utilizando tecnología WiMAX. En el segundo capítulo se realiza el estudio de las características topográficas del entorno para el diseño de la red en el campus politécnico de la ESPE, así como un análisis de los requerimientos para una cobertura óptima.

En el tercer capítulo se establecen los parámetros de diseño a través de cálculos matemáticos que permita un óptimo rendimiento del sistema de comunicaciones WiMAX, una vez diseñada la red en el cuarto capítulo se realiza la simulación de zonas de cobertura, y el desempeño de la red diseñada utilizando dos herramientas computacionales como son Sirenet y Network Simulator.

En el quinto capítulo se realiza un análisis de los resultados obtenidos en los dos simuladores para determinar los factores que intervienen en la propagación de la señal, así como el área de cobertura real y la capacidad de la red en distintos escenarios. El presente proyecto finaliza con el sexto capítulo en el cual se establecen las conclusiones y recomendaciones obtenidas una vez desarrollado el proyecto.

## DEDICATORIA

Este proyecto de grado va dedicado a mi familia, especialmente a mis padres Dandy y Mary quienes han sabido darme el apoyo y estímulo para continuar con mis estudios y superarme siempre a pesar de las dificultades que se han presentado, también agradezco a mis hermanas Diana y Camila, quienes con sus sonrisas y buen humor me han dado la fuerza necesaria para finalizar mi carrera, a mis abuelitos que con su ternura y desinterés han alegrado mi vida y a todas las personas que me han estimulado a seguir adelante y me han dado una mano amiga en las dificultades.

*Tatiana Magali*

## DEDICATORIA

Este proyecto que representa uno de los esfuerzos más grandes de mi vida estudiantil, se lo dedico a Dios que me dio la oportunidad de vivir para tratar en lo posible de llevar una vida de acuerdo a sus preceptos, y a mis padres, mis hermanos, “mis gorditos”, que sin la ayuda de ellos nada de esto habría sido posible. Gracias.

*Edwin Patricio*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos de manera significativa a nuestros padres por brindarnos su apoyo incondicional y ser ejemplo de superación y entrega.

También hacemos extensivo un sincero agradecimiento a nuestros directores de tesis: Ing. Román Lara e Ing. Gonzalo Olmedo, ya que con su constante y valiosa orientación fueron muy importantes para el cumplimiento de los objetivos planteados por el presente proyecto, y más aún para incrementar nuestros conocimientos y habilidades que serán de gran ayuda para nuestra vida profesional.

De manera especial también agradecemos a dos profesores como son el Ing. David Andrade e Ing. Alejandro Castro, que durante nuestra carrera estudiantil supieron ganarse nuestro respeto y admiración, por su gran capacidad para impartir sus conocimientos y compartir con sus alumnos sus valores y experiencias.

## PRÓLOGO

La presente investigación se la va realizar debido a que en nuestro país se han producido hasta el momento muy pocos estudios sobre diseño de sistemas WiMAX, lo que ha dificultado aún más su posible implementación.

Además por el desarrollo que han alcanzado las nuevas tecnologías, lo cual ha traído consigo la evolución de las comunicaciones inalámbricas muy ligadas a las comunicaciones móviles, las mismas que han demostrado ser una solución eficaz en aquellos lugares en donde el cable es inaccesible o muy costoso.

Por este motivo, es fundamental que la ESPE ofrezca su aporte a nivel de la investigación científica y tecnológica, en este caso al realizar investigación sobre la tecnología de redes inalámbricas de área metropolitana específicamente (WiMAX). Por lo que la ESPE requiere de un sistema que se encuentre a la vanguardia con tecnología de última generación para la comunicación entre los diferentes miembros del campus, y resulta de vital importancia contar con la mayor cantidad de estudios que faciliten la implementación de la RED a corto o mediano plazo, lo cual incrementará de forma directa el prestigio de la institución y otorgará a sus estudiantes una herramienta para el desarrollo de sus investigaciones.

# INDICE GENERAL

## CAPITULO 1

### SISTEMAS DE COMUNICACIONES INALÁBRICAS WIMAX

1.1. Evolución de Sistemas Inalámbricos	1
1.1.1. Wi-Fi	2
Características	3
Seguridad	3
Ventajas	4
1.1.2. Bluetooth	4
Especificaciones	5
Aplicaciones	5
1.1.3. WiMAX	5
1.2. Descripción tecnológica de WiMAX	6
1.2.1. Características	7
1.2.2. Estandarización	8
1.3. Parámetros de funcionamiento	11
1.3.1. Propagación	12
1.3.2. Frecuencia de trabajo	13
1.3.3. Modulación	14
Tecnología OFDM	14
Modulación Adaptativa	17
1.3.4. Seguridad	18

## CAPITULO 2

### ESTUDIO TOPOGRÁFICO DEL CAMPUS DE LA ESPE

2.1. Reconocimiento del entorno del campus de la ESPE	20
2.2. Delimitación de la zona de cobertura	20
2.3. Determinación de parámetros topográficos de lugares estratégicos	22

## **CAPITULO 3**

### **DISEÑO DE LA RED WIMAX**

3.1. Estudio de requerimientos para la cobertura .....	25
3.1.1. Identificación de zonas con mayor demanda del servicio .....	26
Tráfico para Acceso a la Red Internet .....	29
Tráfico para la Transmisión de datos .....	29
Tráfico para Voz sobre IP .....	30
Tráfico de Servidores Web .....	30
Tráfico de Videoconferencia .....	31
3.1.2. Establecimiento de parámetros técnicos para la cobertura .....	32
Modelo de Propagación en el Espacio Libre (Free Space) ....	34
Modelo de Propagación por sombra (Shadowing) .....	35
Modelo de Propagación SUI .....	37
3.1.3. Estructura de la red .....	41
3.1.4. Determinación de equipos a utilizar .....	44
Alvarion .....	47
Airspar .....	50
Aperto .....	55
Axxcelera .....	57
Proxim .....	61
3.2. Selección de equipos .....	63

## **CAPITULO 4**

### **SIMULACIÓN DE LA RED**

4.1. Simulación en SIRENET .....	65
4.1.1. Programación .....	66
Consideraciones del simulador .....	67
Ubicación de los parámetros de diseño .....	68
Creación de un modelo de propagación .....	72
Características del Transmisor y Receptor .....	77
4.1.2. Establecimiento de niveles de la señal .....	84

4.2. Simulación en Network Simulator NS-2 .....	92
4.2.1. Programación FreeSpace .....	104
Establecimiento de parámetros de diseño .....	108
Tasas de transmisión .....	110
4.2.2. Programación Shadowing .....	117
Establecimiento de parámetros de diseño .....	118
Tasas de transmisión .....	119

## **CAPÍTULO 5**

### **ANÁLISIS DE DESEMPEÑO DE LA RED WIMAX**

5.1. Análisis de las simulaciones .....	123
5.2. Obtención de parámetros óptimos de funcionamiento de la red .....	130
5.3. Recomendación de características de equipos a utilizar .....	132

## **CAPITULO 6**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

6.1. Conclusiones .....	135
6.2. Recomendaciones .....	138

## **ANEXOS**

Anexo 1: Dependencias de la Escuela Politécnica del Ejército .....	143
Anexo 2: Especificaciones técnicas de equipos WiMAX .....	150
Anexo 3: Resultados en Sirenet .....	173
Anexo 4: Código de Network Simulator .....	187

## INDICE DE TABLAS

Tabla. 1.1. Característica de los estándares 802.11 .....	2
Tabla. 2.1. Coordenadas de los límites de la ESPE .....	21
Tabla. 2.2. Alturas y coordenadas de las dependencias de la ESPE .....	24
Tabla. 3.1. Identificación de personas por edificio .....	27
Tabla. 3.2. Resultados del tráfico por cada edificio .....	32
Tabla. 3.3. Algunos valores típicos del exponente $\beta$ path loss .....	36
Tabla. 3.4. Valores típicos de desvanecimiento $\sigma_{dB}(dB)$ por sombra .....	37
Tabla. 3.5. Parámetros numéricos del modelo de propagación SUI .....	40
Tabla. 3.6. Banda de funcionamiento en WiMAX .....	45
Tabla. 3.7. Distribución de la banda de 3,4 a 3,7GHz .....	45
Tabla. 3.8. Características de equipos Alvarion .....	50
Tabla. 3.9. Características de estaciones base AIRSPAN .....	54
Tabla. 3.10. Características de CPEs. AIRSPAN .....	55
Tabla. 3.11. Características de los equipos de Aperto .....	57
Tabla. 3.12. Características de los equipos AXXCELERA .....	60
Tabla. 3.13. Características de equipos PROXIM .....	62
Tabla. 4.1. Parámetros de la antena transmisora .....	80
Tabla. 4.2. Parámetros del transmisor servicio fijo .....	81
Tabla. 4.3. Parámetros del receptor .....	82
Tabla. 4.4. Distancias entre las diferentes dependencias de la ESPE y sus niveles de potencia .....	92
Tabla. 4.5. Throughput de cada nodo sin interferencia .....	113
Tabla. 4.6. Throughput de cada nodo con interferencia .....	116
Tabla. 4.7. Throughput de cada nodo sin interferencia .....	120
Tabla. 4.8. Throughput de cada nodo con interferencia .....	121
Tabla. 5.1. Distancias entre las diferentes dependencias de la ESPE con el Edificio Administrativo y sus niveles de potencia .....	125

## INDICE DE FIGURAS

Figura. 1.1. Estándares Inalámbricos .....	7
Figura. 1.2. Arquitectura de WiMAX .....	11
Figura. 1.3. Zona de Fresnel con LOS .....	12
Figura. 1.4. Propagación NLOS .....	13
Figura. 1.5. Ortogonalidad subportadoras OFDM .....	15
Figura. 1.6. OFDM Vs. Portadora Simple. Datos serie convertidos en símbolos .....	16
Figura. 1.7. Señales Recibidas OFDM y Portadora Simple .....	17
Figura. 1.8. Radio de Celda Relativo para Modulación Adaptativa .....	18
Figura. 2.1. Panorámica del campus de la Escuela Politécnica del Ejército ..	21
Figura. 2.2. Ubicación de las diferentes dependencias de la ESPE .....	23
Figura. 3.1. Esquema del Campus Politécnico de la ESPE .....	27
Figura. 3.2. Estructura de la red WiMAX .....	44
Figura. 3.3. Equipos Alvarion para WiMAX .....	47
Figura. 3.4. HiperMAX .....	52
Figura. 3.5. MicroMAX .....	52
Figura. 3.6. MacroMAX .....	52
Figura. 3.7. CPE ProST .....	54
Figura. 3.8. CPE EasyST .....	54
Figura. 3.9. CPE PrimeMAX .....	54
Figura. 3.10. Estaciones base APERTO .....	56
Figura. 3.11. Estaciones suscriptoras APERTO .....	56
Figura. 3.12. Estación base ExcelMAX .....	59
Figura. 3.13. Estación base AB-MAX .....	59
Figura. 3.14. CPE ExcelMAX .....	60
Figura. 3.15. CPE AB-MAX .....	60
Figura. 3.16. Estación base PROXIM .....	62
Figura. 3.17. CPE PROXIM .....	62

Figura. 4.1. Ventana de inicio del simulador Sirenet	69
Figura. 4.2. Ingreso del nombre y descripción del proyecto	69
Figura. 4.3. Creación de un estudio	70
Figura. 4.4. Selección del estudio a crear	70
Figura. 4.5. Parámetros generales del estudio	71
Figura. 4.6. Parámetros de cálculo	72
Figura. 4.7. Parámetros del método Editable Ampliado	76
Figura. 4.8. Edición del primer elemento del método Editable Ampliado	77
Figura. 4.9. Parámetros ingresados para el método Editable Ampliado	77
Figura. 4.10. Área de trabajo de SIRENET	78
Figura. 4.11. Parámetros de identificación del transmisor	79
Figura. 4.12. Selección del servicio y otros parámetros de radio del transmisor	80
Figura. 4.13. Parámetros de la antena	81
Figura. 4.14. Parámetros de servicio fijo	81
Figura. 4.15. Parámetros de radio del receptor	82
Figura. 4.16. Ingreso del servicio fijo del receptor	83
Figura. 4.17. Parámetros de la antena receptora	83
Figura. 4.18. Área de cobertura de la red WiMAX	84
Figura. 4.19. Exportación del área de cobertura al Google Earth	85
Figura. 4.20. Área de cobertura en el Google Earth	85
Figura. 4.21. Ubicación del Campus Politécnico de la ESPE	87
Figura. 4.22. Radio de cobertura	88
Figura. 4.23. Distancia Estación base – Laboratorios del DEE	89
Figura. 4.24. Selección del Tipo Estudio: Perfil	90
Figura. 4.25. Resultados obtenidos en el simulador	90
Figura. 4.26. Estructura punto-multipunto de la red	91
Figura. 4.27. Procedimiento de simulación	93
Figura. 4.28. Ventana principal de la herramienta NAM	97
Figura. 4.29. Topología de la red en simulador NS-2	97
Figura. 4.30. Ubicación de las coordenadas en SIRENET y NS-2	110
Figura. 4.31. Conexión entre la Estación Base y DEE	112
Figura. 4.32. Throughput de cada nodo sin interferencia	114
Figura. 4.33. Transmisión simultánea entre la estación base y los CPE's	115

Figura. 4.34. Throughput en cada nodo con interferencia .....	116
Figura. 4.35. Throughput de cada nodo sin interferencia .....	120
Figura. 4.36. Throughput en cada nodo con interferencia .....	122
Figura. 5.1. Área de cobertura en SIRENET .....	124
Figura. 5.2. Throughput de cada nodo sin interferencia .....	127
Figura. 5.3. Throughput en cada nodo con interferencia .....	128
Figura. 5.4. Throughput de cada nodo sin interferencia .....	129
Figura. 5.5. Throughput en cada nodo con interferencia .....	130
Figura. 5.6. Equipo estación base de Alvarion .....	133
Figura. 5.7. Estación Suscriptora Alvarion .....	133

## **CAPÍTULO 1**

### **SISTEMAS DE COMUNICACIONES INALÁMBRICAS WIMAX**

#### **1.1. Evolución de Sistemas Inalámbricos**

Gracias al adelanto de la telefonía móvil, se logró el desarrollo de las redes inalámbricas, es por ello que es necesario iniciar la descripción a partir de la evolución de redes de comunicación móviles para luego detallar los avances que han alcanzado las comunicaciones inalámbricas.

Las redes celulares de primera generación se desplegaron en los años 80, las mismas que eran completamente analógicas, ya para los años 90 se desarrollaron las primeras redes de segunda generación, las cuales eran digitales. A inicios de la presente década se empezaron a desplegar redes de 2.5 y tercera generación, en las cuales predomina la transmisión de datos a alta velocidad, siendo los principales usuarios los operadores asiáticos, europeos y norteamericanos.

A medida que la telefonía móvil fue evolucionando también lo han hecho las redes inalámbricas, las cuales cobran vital importancia en edificaciones en las cuales las redes cableadas no logran satisfacer las necesidades de movilidad que requieren los usuarios, por lo cual las redes inalámbricas se han convertido en un complemento adecuado para las redes cableadas.

Los sistemas de acceso inalámbrico a las redes locales y de banda ancha más utilizados son los sistemas WiFi y actualmente está siendo difundida la tecnología WiMAX. Además, existen otros tipos de sistemas de acceso e identificación de corto alcance como RFID y derivados como Bluetooth, Zigbee [1].

### 1.1.1. Wi-Fi

Wi-Fi son las siglas de *Wireless Fidelity*, el mismo que comprende el conjunto de estándares para redes inalámbricas basados en las especificaciones de la IEEE 802.11. Esta tecnología fue empleada inicialmente en redes locales inalámbricas, hoy en día ya es utilizada para acceder a Internet.

Wi-Fi es una marca de la *Wi-Fi Alliance* (anteriormente la *Wireless Ethernet Compatibility Alliance*), la organización comercial que prueba y certifica que los equipos cumplen los estándares IEEE 802.11.

WLAN, tecnología basada en el estándar IEEE 802.11, fue creada como una extensión inalámbrica de banda ancha para redes de área local y que proporcionando velocidades que llegan a 54Mbps.

En la tabla 1.1 se pueden apreciar las características de los estándares:

**Tabla. 1.1. Característica de los estándares 802.11 [1]**

<b>ESTANDAR</b>	<b>802.11</b>	<b>802.11B</b>	<b>802.11A</b>	<b>802.11G</b>
<b>Fecha</b>	1997	1999	2001	2003
<b>Banda de frecuencias</b>	2.4 GHz	2.4 GHz	5.8 GHz	2.4 GHz
<b>Velocidad máxima</b>	512 Kbps	11 Mbps	54 Mbps	54 Mbps
<b>Distancia máxima (interiores)</b>	150m	150m	50m	50m
<b>PIRE (normativa europea)</b>	100mW (20dBm)	100mW (20dBm)	200mW-1W	100Mw(20dBm)
<b>Técnica de acceso</b>	DSSS/FHSS	DSSS	OFDM	OFDM

## **Características**

La cobertura de las redes Wi-Fi dentro de un edificio es de hasta 75 metros y en exteriores a 300 metros.

La utilización del ancho de banda en redes Wi-Fi es importante ya que opera en la banda de los 2,4 GHz, de libre acceso, ello implica que cualquier persona pueda crear su red sin necesidad de obtener ningún tipo de licencia.

Las tecnologías inalámbricas: Bluetooth y Wi-Fi operan en la banda libre de 2,4 GHz, sin embargo el área de cobertura es diferente entre ellos, al igual que el índice de transmisión, siendo para Bluetooth su radio de acción de aproximadamente 10 metros y con un índice de transmisión de datos de unos 720 Kbps, mientras que Wi-Fi, ofrece un índice de transmisión de datos mayor y tiene mayor alcance.

Los estándares más destacados son: el 802.11a, es que a pesar de que en el mercado estadounidense ya existen multitud de productos que lo utilizan, su operatividad no es posible en España, Italia, Portugal y Alemania, ya que la banda en la que opera, los 5 GHz, es de uso restringido militar.

## **Seguridad**

Una de las mayores falencias en la tecnología Wi-Fi ha sido la seguridad. Las primeras especificaciones del 802.11 poseían ciertos errores ya que pronto se demostraron insuficientes ante usuarios no autorizados que inclusive accedían a archivos privados.

Una de las soluciones fue la creación de especificaciones como la 802.11i que utiliza mecanismos de encriptación más robustos.

## Ventajas

- **Escalabilidad.** Permite añadir equipos a la red o cambiar la topología.
- La tecnología Wi-Fi no requiere de ningún tipo de concesión, por lo que cualquier persona puede crear su propia red sin necesidad de realizar ningún pago por la adquisición de la misma.

## Desventajas

- La tecnología inalámbrica Wi-Fi requiere de un mayor consumo de energía que el de otras tecnologías inalámbricas, como es por ejemplo: Bluetooth.
- No existe compatibilidad entre algunos de los estándares Wi-Fi, lo cual puede ocasionar problemas de conexión a la red.

### 1.1.2. Bluetooth

Bluetooth es una especificación para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPANs) que permiten la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia segura y de banda libre. Los principales objetivos que se pretende conseguir con esta norma son:

- Facilitar las comunicaciones entre equipos móviles y fijos.
- Eliminar cables y conectores entre éstos.
- Ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre nuestros equipos personales.

Los dispositivos que utilizan esta tecnología son en su mayoría de sectores de las telecomunicaciones y la informática personal, como teléfonos móviles, computadoras portátiles, ordenadores personales, impresoras y cámaras digitales.

## Especificaciones

Bluetooth establece un canal de comunicación de máximo 720 kbps es decir 1 Mbps de capacidad de transmisión con un alcance en óptimas condiciones de 10 metros pudiéndose incrementar hasta los 100 m usando repetidores.

La banda de frecuencia con la que trabaja está en el rango de 2,4 a 2,48 GHz, con posibilidad de transmitir en Full Duplex.

La potencia de transmisión a una distancia máxima de 10 metros es de 0 dBm (1 mW), además en su versión de largo alcance transmite entre 20 y 30 dBm (entre 100 mW y 1 W) que representa aproximadamente 100 metros.

## Aplicaciones

- Conexión inalámbrica entre los celulares y equipos de manos libres.
- Comunicación inalámbrica entre la computadora y dispositivos de entrada y salida como por ejemplo impresora, teclado y mouse.
- Controles remotos que en su mayoría funciona con infrarrojo.
- Enviar pequeñas publicidades desde anunciantes a dispositivos con Bluetooth.

### 1.1.3. WiMAX

WiMAX proviene de las siglas en inglés *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (Intercomunicación Mundial para el Acceso por Microondas). Es una tecnología basada en los estándares IEEE 802.16 e HiperMAN del Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones (ETSI), permite el acceso de banda ancha sin cables en última milla, como alternativa al cable y a otras tecnologías inalámbricas como el Wi-Fi.

WiMAX permite la conectividad entre puntos fijos, móviles y portátiles, y la conectividad móvil de banda ancha sin necesidad de tener línea de vista con la estación base.

Esta tecnología se sitúa en un rango intermedio de cobertura entre las demás tecnologías de acceso de corto alcance y ofrece velocidades de banda ancha para un área metropolitana.

## 1.2. Descripción tecnológica de WiMAX

En los últimos años se han planteado diferentes expectativas en torno al acceso de banda ancha de última milla. El cableado representa altos costos de instalación especialmente en áreas rurales o geográficamente inaccesibles.

Llevar servicios ADSL no resulta económicamente rentable para los distintos operadores de telefonía.

Dichas limitaciones tecnológicas y topográficas, unidas a la rápida adopción del acceso a Internet por parte del usuario, promovieron el desarrollo del estándar inalámbrico WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) para llegar a un mayor número de usuarios y que proporcione la introducción de nuevos y mejores servicios de telecomunicaciones.

WiMAX es el nombre comercial asignado al estándar 802.16 que describe la "Interfaz Aérea para Sistemas Fijos de Acceso Inalámbrico de Banda Ancha".

WiMAX es un concepto parecido a WiFi pero con marcadas diferencias de acuerdo a sus características, como por ejemplo mayor cobertura y anchos de banda.

WiMAX, se diseñó como una solución de última milla en redes metropolitanas (MAN) para prestar servicios al público.

En la figura 1.1 se presentan sus principales competidores como el estándar Hiperaccess (>11 GHz) e HiperMAN (<11 GHz) del ETSI, sin embargo la relevancia que ha tenido WiMAX ha llevado a que se estudie la posibilidad de asociarlo con HiperMAN, que también emplea la modulación OFDM.

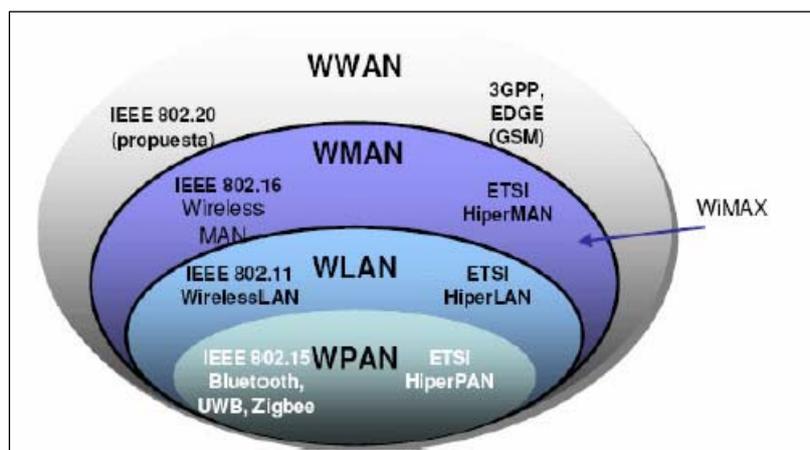


Figura. 1.1. Estándares Inalámbricos

### 1.2.1. Características

WiMAX es una tecnología para la transmisión inalámbrica de información empleados en el área metropolitana o MAN.

Está basada en OFDM, y con 256 subportadoras puede cubrir un área de 48 Km permitiendo la conexión sin línea de vista. Esta tecnología soporta niveles de servicio (SLAs) y calidad de servicio (QoS).

Dicha técnica de modulación es también empleada para la TV digital, sobre cable o satélite, así como para Wi-Fi (802.11a). Con el fin de facilitar la interoperabilidad con otros sistemas celulares o inalámbricos soporta modos como FDD y TDD.

Tiene una gran capacidad para varios cientos de usuarios por canal, posee un gran ancho de banda y adicionalmente es adecuada para tráfico continuo como a ráfagas, es independiente de protocolo, por lo que puede transportar IP,

Ethernet, ATM etc., otra característica es que soporta servicios múltiples, resultando adecuado para voz sobre IP (VoIP), datos y vídeo [2].

Tanto voz como vídeo necesitan baja latencia pero soportan la pérdida de algún bit, mientras que las aplicaciones de datos deben estar libres de errores, pero toleran bien el retardo.

Otra característica a destacar en WiMAX es que soporta antenas inteligentes, propias de las redes celulares de tercera generación, lo cual mejora la eficiencia espectral, llegando a ser el doble que 802.11a.

Además, se puede formar redes malladas (*mesh networks*) para que distintos usuarios puedan comunicarse entre sí, sin necesidad de tener visión directa entre ellos, logrando la comunicación entre usuarios dispersos en un sector a bajo costo y con gran seguridad al disponerse de rutas alternativas entre ellos.

### **1.2.2. Estandarización**

WiMAX ofrece un mayor ancho de banda y alcance que el Wi-Fi. Está conformado por los estándares IEEE 802.16 [3] y el estándar HiperMan del organismo de estandarización europeo ETSI.

Su principal referente a nivel mundial lo constituye el WiMAX Forum, que es un consorcio de más de 100 empresas dedicadas a diseñar los parámetros y estándares de esta tecnología, y a realizar estudios y análisis de los resultados obtenidos para probar los desarrollos implementados.

A continuación se establecen las principales características de la familia de estándares 802.16.

## **802.16**

La primera versión del estándar fue completada en el 2001, en donde para su funcionamiento se debía considerar que la estación base y subscriptora debían contar con línea de vista, y empleaba técnicas de multiplexación ortogonal por división de frecuencia (OFDM), de esta forma se soportan canales con un ancho de banda mayor a 10 MHz.

Además este primer estándar fue diseñado para conexiones punto a punto.

### **802.16a**

El estándar 802.16a fue completado a inicios del 2003, el mismo que emplea bandas de frecuencia tanto licenciadas como no licenciadas e incorpora la propagación sin línea de vista (NLOS) en sus enlaces.

En este estándar se da mayor capacidad a la capa de control de acceso al medio o MAC (*medium access control*). Además en este estándar se puede trabajar con protocolos como Ethernet, ATM e IP.

El estándar 802.16a es utilizado para conexiones fijas de última milla punto a punto y punto multipunto.

### **802.16c**

En este estándar se desarrollan aspectos como la evolución del funcionamiento, la prueba y ensayo de los posibles perfiles del sistema que resultó de vital importancia para constituir un gran acuerdo de opciones disponibles con 802.16 en general.

La metodología de perfiles del sistema ayuda a definir las características obligatorias y opcionales, todo esto con el objetivo de establecer parámetros a seguir por los fabricantes de los elementos obligatorios que deben ser considerados para asegurar la interoperabilidad, siendo los elementos opcionales

como por ejemplo diversos niveles de protocolos de seguridad incorporados, los que permiten que los fabricantes distingan sus productos por precio, funcionalidad y sector de mercado.

### **802.16d**

Las principales características de los estándares anteriores han sido incorporadas en 802.16-2004, siendo éste el reemplazo del estándar 802.16a. Este estándar fijo soporta numerosos elementos obligatorios y opcionales.

Teóricamente puede transmitir a una capacidad de 70 Mbps en condiciones ideales, sin embargo en un entorno real se podría alcanzar los 40 Mbps.

En éste estándar se tiene tres tipos de modulación para la capa física: modulación con una sola portadora, con OFDM de 256 portadoras y de 2048 portadoras, sin embargo el más utilizado es el OFDM de 256 portadoras, debido a que el proceso de cálculo para la sincronización tiene menor complejidad respecto al esquema de 2048 portadoras.

### **802.16 e**

En diciembre del 2005, se aprobó el estándar 802.16e, que permite utilizar este sistema de comunicaciones inalámbricas con dispositivos en movimiento.

WiMAX móvil ofrece alta velocidad, mayor rendimiento y un alcance más amplio comparado con otras alternativas de banda ancha inalámbrica, lo que es crucial cuando se desea tener acceso a contenido como: videos en alta definición, música, fotos y otros archivos de datos de gran tamaño mientras estamos en movimiento.

En países asiáticos ya ha sido implementado WiMAX móvil y se le ha denominado con el nombre WiBRO (*Wireless Broadband*).

### 1.3. Parámetros de funcionamiento

La familia de la IEEE 802.16 tiene algunos estándares para ambos tipos de acceso inalámbrico tanto fijo como móvil. En el presente proyecto únicamente será abordado el estándar IEEE 802.16-2004.

La tasa de transferencia para WiMAX teóricamente es de 70 Mbps a distancias de hasta 50 kilómetros de una estación base en ambientes sin obstrucciones, con línea de vista o planos.

Además las arquitecturas de WiMAX pueden ser tipo *mesh* y Punto a multipunto (PMP). En este caso se adoptó un modo tipo PMP como se puede observar en la figura 1.2.

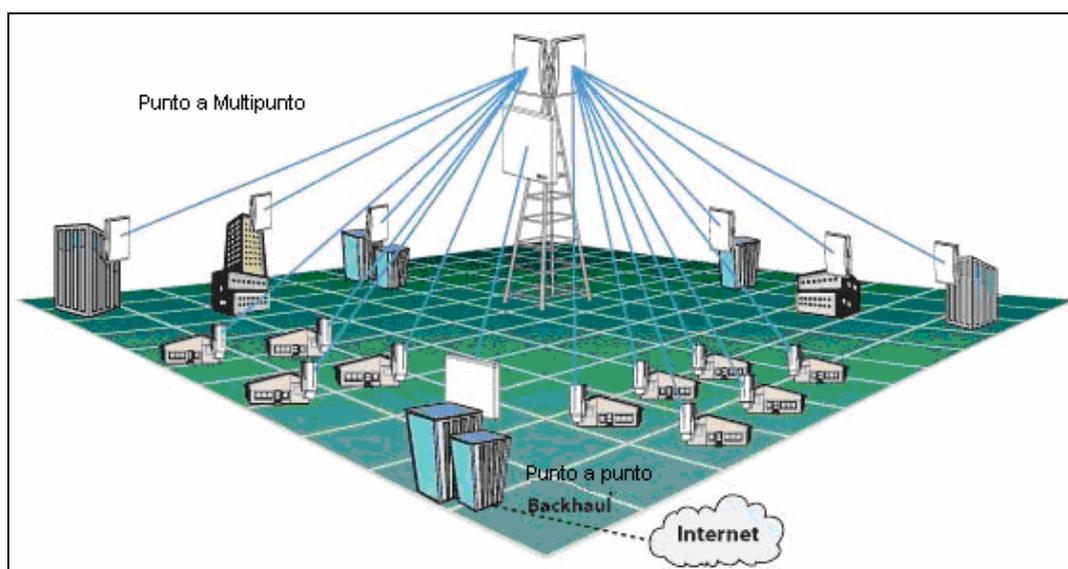


Figura. 1.2. Arquitectura de WiMAX

Una red típica en el modo PMP se encuentra compuesta de una Estación Base (BS) que se comunica con una o más estaciones de abonado (SS) conocido como Equipos cliente (CPE). Los tipos de arquitecturas que puede emplear WiMAX son:

- Punto a punto (PTP): Una conexión entre la estación base y un SS, pudiéndose ampliar hacia el modo PMP.

- Punto-a-multipunto (PMP): Una conexión entre un BS y SS múltiples nodos.

### 1.3.1. Propagación

El canal de radio de un sistema de comunicación inalámbrico puede ser de dos tipos: LOS o NLOS. En enlace LOS, la señal viaja por un camino directo que no posee obstrucciones entre el transmisor y el receptor; en este tipo de enlace se requiere que la mayor parte de la primera zona de Fresnel este libre de cualquier obstrucción, como se puede ver en la figura 1.3. Al no tomarse en cuenta dicha consideración se produce una reducción en relación al nivel de intensidad de la señal recibida [4].

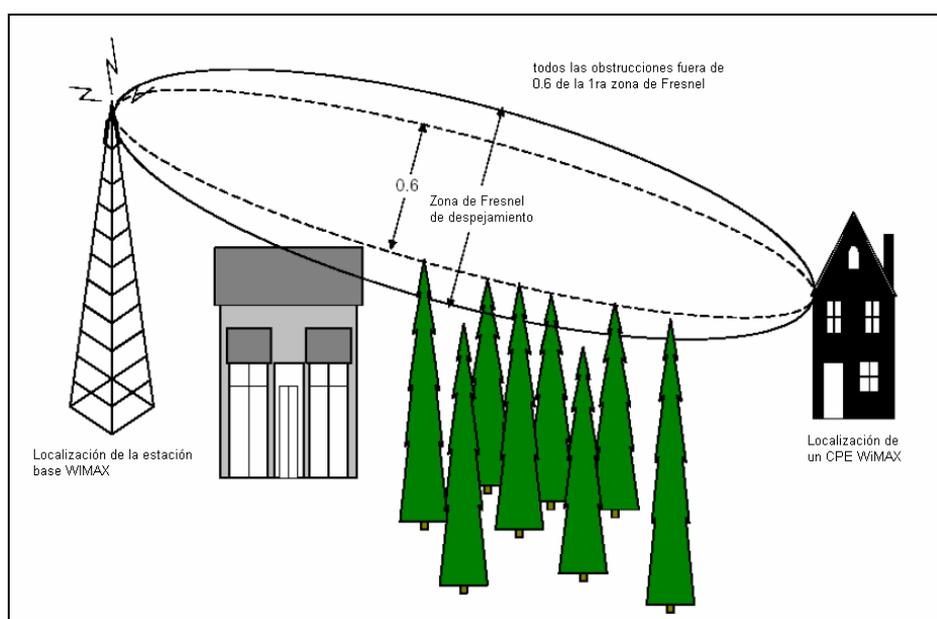
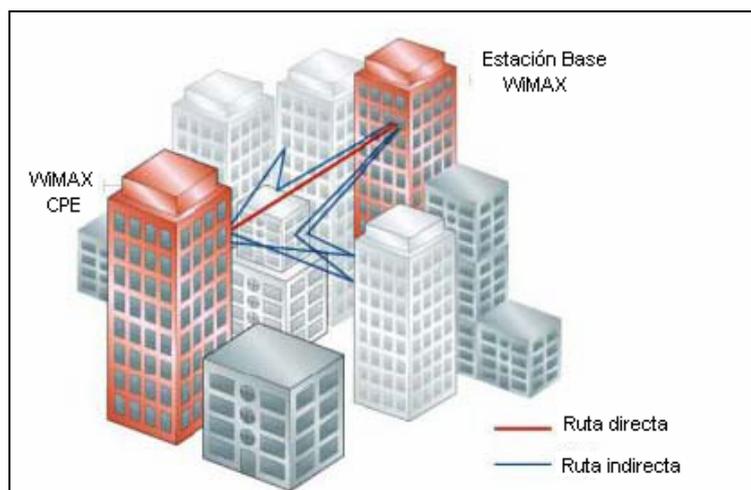


Figura. 1.3. Zona de Fresnel con LOS

Mientras que en un enlace NLOS, la señal alcanza al receptor por medio de diferentes formas de propagación (reflexiones, difracciones y dispersiones) como se observa en la figura 1.4.

La señal que llega al receptor resulta de la formación de diferentes señales que llegan a través de las anteriores formas de propagación. Dichas señales poseen distintos retardos, atenuaciones, polarizaciones y la estabilidad es relativa, frente a la señal directa.



**Figura. 1.4. Propagación NLOS**

El desvanecimiento generado por el multitrayecto (*multipath*) provoca el cambio de polarización en la señal en los enlaces NLOS, dificultando el rehúso de frecuencias que normalmente se presenta en LOS. A pesar de ello existen ventajas en enlaces NLOS como son: estrictos requerimientos de planificación y posibilidad de disminución de la altura de las antenas, forzando a las estaciones base a operar en condiciones de NLOS, ya que en sistemas LOS las antenas perderían la visibilidad directa con el receptor.

### 1.3.2. Frecuencia de trabajo

WiMAX utiliza las bandas de 3,5 GHz y 10,5 GHz, válidas internacionalmente, que requieren licencia, y las de 2,4 GHz y 5,725-5,825 GHz que son bandas libres.

El estándar inicial 802.16 se encontraba en la banda de frecuencias de 10-66 GHz y requería línea de vista (LOS).

La versión 802.16a, utiliza una banda del espectro más estrecha y baja, de 2-11 GHz, facilitando su regulación. En estas frecuencias es posible trabajar sin línea de vista directa, por lo que podremos utilizar antenas no direccionales, en ocasiones de interior y auto instalables. Además, como ventaja tiene la capacidad

de dar servicio a unas 200 estaciones suscriptoras (SS) que pueden dar cobertura y servicio a edificios completos.

El estándar 802.16d conocido con el nombre de WiMAX Fijo, utiliza la banda de frecuencia licenciada en 2,5 GHz (2,5-2,69 GHz) y la no licenciada en 5 GHz (5,25-5,85 GHz).

La versión móvil de este estándar (802.16e) emplea la banda de frecuencias comprendida entre los 2 y 6 GHz.

Por lo general, se dispone de tres bandas de frecuencias: 2,4 GHz, 3,5 GHz y 5,4/5,8 GHz. La selección de la banda a operar está dada por la disposición de una licencia o no en las bandas habilitadas.

Para la banda de 3,5 GHz (y la banda de 2,4 GHz en USA) es necesario disponer de licencia. En Europa los operadores de tecnología LMDS son los que disponen de licencia, al operar en la banda de 3,5 GHz. Otro condicionante será el mayor alcance de la banda de 2,4 GHz, respecto a la menor interferencia de la banda de 5,4/5,8 GHz en el caso de seleccionar una banda libre.

### **1.3.3. Modulación**

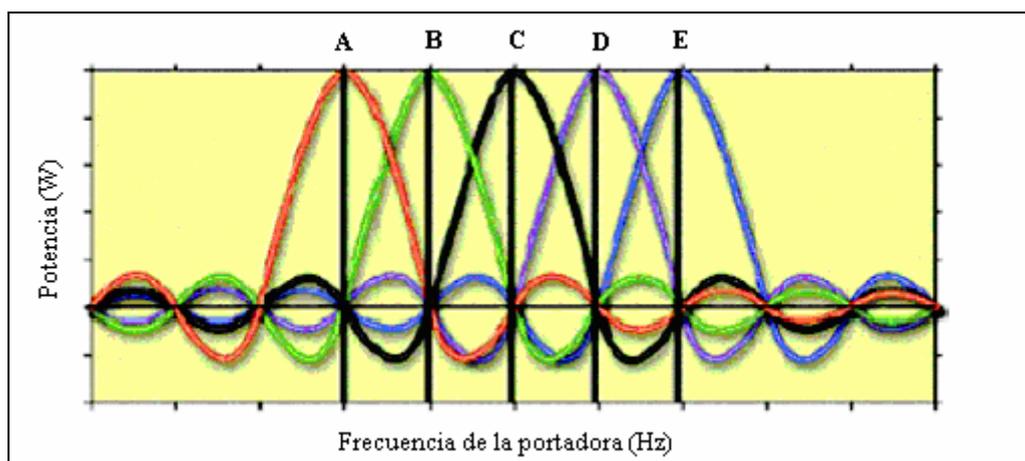
#### **Tecnología OFDM**

La multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM) permitió el desarrollo del protocolo IEEE 802.16. La modulación OFDM posee muchas ventajas frente a otras modulaciones previas a esta, además permite en redes inalámbricas la transmisión de forma eficiente en pequeños anchos de banda [5].

Esta modulación divide la señal de banda ancha en un número de señales de banda reducida. En FDM convencional, los canales adyacentes están muy distanciados. Para poder traslapar los canales, se debe reducir la interferencia

entre los subcanales adyacentes, requiriendo la ortogonalidad, como se puede observar en la figura 1.5.

La ortogonalidad significa que las frecuencias son armónicas entre sí, es decir que las frecuencias siguientes son múltiplos de la frecuencia fundamental.



**Figura. 1.5. Ortogonalidad subportadoras OFDM**

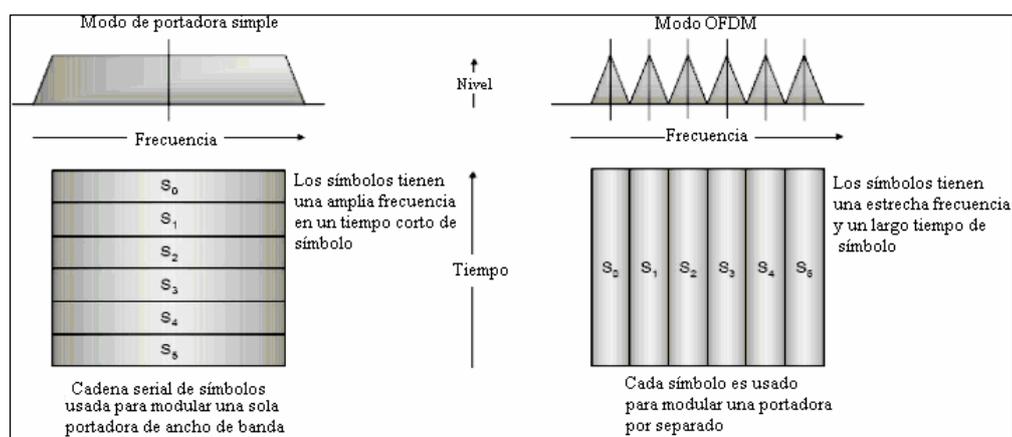
Las subportadoras son datos que emplean diferentes técnicas de modulación como:

- BPSK (*BiPhase Shift Keying*)- Su modulación se basa en el desplazamiento de fase, en la cual dos bits se modulan inmediatamente, seleccionando uno de cuatro grados posibles de los desplazamientos de fase del portador es decir, 0, 90, 180, 270 grados.
- QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*). Modula la señal enviándola en cuatro fases, 45, 135, 225, y 315 grados, y el cambio de fase de un símbolo al siguiente codifica dos bits por símbolo.
- 16-QAM.- En esta modulación se tienen 4 fases y 4 amplitudes, de esta forma se tiene 16 símbolos.
- 64-QAM.- Esta es una modulación en la que se tienen 4 fases y 16 amplitudes, con lo cual se obtienen 64 símbolos.

Cuando se produce la máxima respuesta espectral de cada subportadora el resto de respuestas espectrales de subportadoras son cero. Entonces a cada símbolo PSK o QAM se le asigna una subportadora y una implementación DFT inverso (IDFT) con lo que se logra obtener una señal de dominio en el tiempo.

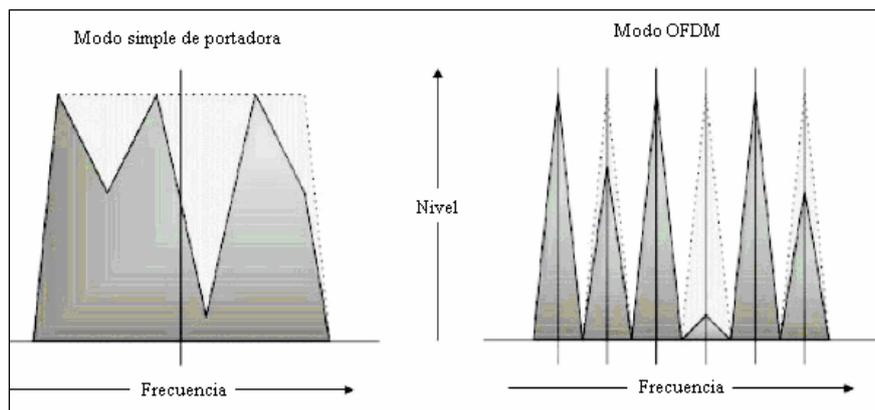
La forma de onda WiMAX OFDM permite la operación en entornos con un gran retardo de dispersión que caracteriza a los ambientes NLOS. Debido a los símbolos de tiempo OFDM y al uso de los prefijos cíclicos, la onda OFDM elimina problemas de interferencia intersimbólica (ISI) y evita la complejidad de la ecualización adaptativa.

En la señal OFDM el *fading* selectivo es localizado en subportadoras que son relativamente fáciles de ecualizar. En la figura 1.6 se compara una señal OFDM y una señal de portadora simple, en las cuales la información es enviada en paralelo por OFDM y en serie por la portadora simple.



**Figura. 1.6. OFDM Vs. Portadora Simple. Datos serie convertidos en Símbolos (Cada símbolo puede representar 1 o más bits de datos).**

Entre las principales ventajas de OFDM se encuentran el superar la dispersión de retardo, el efecto multicamino, y la ISI de forma eficaz, lo cual permite tener mayores tasas de transferencias y la ecualización de portadoras individuales de OFDM de manera más sencilla que cuando se quiere ecualizar una señal de portadora simple más extensa como se observa en la figura 1.7.



**Figura. 1.7. Señales Recibidas OFDM y Portadora Simple. El área de puntos representa el espectro transmitido. El área sólida es la entrada del receptor.**

Además otra característica de OFDM, es el superar los inconvenientes de propagación con NLOS. Finalmente tiene la capacidad de modular de forma más sencilla las señales portadoras individuales OFDM que modular una simple portadora ensanchada.

Por estas razones los estándares como: el IEEE 802.16 y ETSI BRAN, han seleccionado a OFDM como tecnología de modulación.

### **Modulación adaptativa**

Este tipo de modulación permite a WiMAX ajustar el sistema de modulación dependiendo de la condición de relación señal/ruido (SNR) del enlace de radio.

Si el enlace de radio tiene alta calidad, se usa el esquema de modulación más alto, proporcionando al sistema mayor capacidad. En el transcurso de la transmisión, y dependiendo de los efectos multicamino de la señal, el sistema puede cambiarse a un esquema de modulación menor con el fin mantener la calidad de conexión y estabilidad del enlace, permitiendo al sistema superar los efectos multicamino (*fading*) [6].

La característica más importante de la modulación adaptativa es que esta incrementa el rango sobre el cual puede ser usado un esquema de modulación

superior, al contrario de tener un esquema fijo diseñado para la condición de peor caso.

En la figura 1.8 se observa que para localizaciones cercanas al emisor, la modulación 64QAM de mayor calidad es la utilizada (SNR es mayor), sin embargo a medida que el receptor se aleja de la estación base la calidad de la señal se va deteriorando y se opta por utilizar una señal, de modulación más robusta pero menos potente, como es la modulación BPSK.

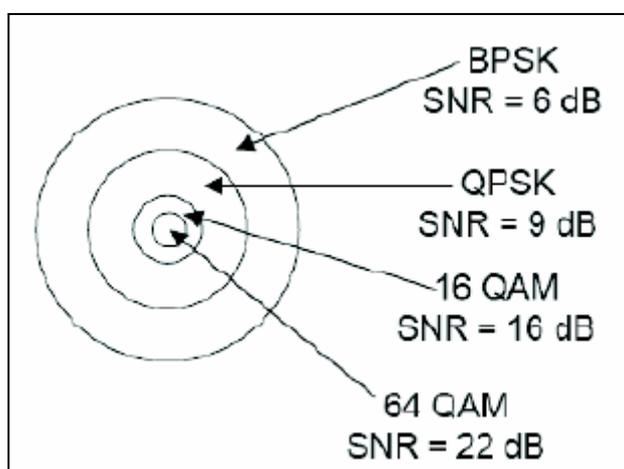


Figura. 1.8. Radio de Celda Relativo para Modulación Adaptativa

#### 1.3.4. Seguridad

Las medidas de seguridad de WiMAX incluyen la autenticación de usuarios y la encriptación de los datos mediante los algoritmos Triple DES (128 bits) y RSA (1.024 bits).

Para determinar el funcionamiento de Triple DES, es necesario describir el DES (*Data Encryption Standard*), este algoritmo cifra bloques de 64 bits con una clave de 56 bits más 8 de paridad y el algoritmo de descifrado es muy similar, facilitando su implementación en hardware y software.

El mayor inconveniente que presenta el algoritmo DES es que la longitud de la clave (56 bits) es muy corta, por lo que no es utilizado para cifrar datos

importantes. Para solucionar dicho inconveniente surge el algoritmo Triple DES, que utiliza tres veces DES [7].

Adicionalmente se utiliza el sistema de encriptación con clave pública RSA, el cual es un algoritmo de encriptación con clave pública protegido por patente.

El funcionamiento del RSA consiste en hacer pública la clave de cifrado y ocultar la clave de descifrado. Al enviar un mensaje, el emisor busca la clave pública de cifrado del receptor y al llegar al receptor dicho mensaje, éste se encarga de descifrarlo usando su clave oculta.

Los mensajes enviados son representados a través de números y su funcionamiento consiste en el producto de dos números primos muy altos (mayores que 10100) que se eligen al azar y con ello conformar la clave de descifrado. La seguridad de RSA se debe a que no existe forma rápida para factorizar un número grande en factores primos empleando las computadoras tradicionales.

## **CAPÍTULO 2**

### **2. ESTUDIO TOPOGRÁFICO DEL CAMPUS DE LA ESPE**

#### **2.1. Reconocimiento del entorno del campus de la ESPE**

Para el desarrollo del presente proyecto resulta fundamental la realización de un estudio del entorno del campus de la Escuela Politécnica del Ejército en el cual se determina los parámetros topográficos y la infraestructura de la misma, que serán de gran ayuda para obtener en las posteriores simulaciones resultados coherentes con la implementación real de este tipo de tecnología.

Para el desarrollo del presente capítulo se ha empleado un tipo de tecnología conocido como GPS (*Global Positioning System*) para la obtención de las coordenadas geográficas de las distintas dependencias de la ESPE en las cuales se realizará el estudio para diseñar la red inalámbrica.

#### **2.2. Delimitación de la zona de cobertura**

Con el fin de realizar la delimitación de la zona de cobertura ha sido necesario un estudio de campo, con la ayuda del GPS Meridian 211836B, que posee una precisión de  $\pm 3$  metros, la misma que se considera aceptable y gracias a ello se ha logrado determinar las coordenadas geográficas de los puntos extremos del campus politécnico. Este análisis es importante ya que permite establecer el área de cobertura en el cual se quiere aplicar dicha tecnología, lo cual resulta beneficioso desde el punto de vista de ahorro de potencia como el de equipos a emplear.

En la tabla 2.1 se muestran las coordenadas de los límites establecidos.

Tabla. 2.1. Coordenadas de los límites de la ESPE

LÍMITES	COORDENADAS	
	Latitud	Longitud
Entrada de la ESPE	0°18'53"S	78°26'33"O
Capilla	0°18'43"S	78°26'41"O
Transportes	0°19'10"S	78°26'44"O
Mecánica	0°18'49"S	78°26'51"O

Para una mayor comprensión de las coordenadas obtenidas se presenta en la figura 2.1 la panorámica del campus con la ayuda de la herramienta computacional Google Earth.

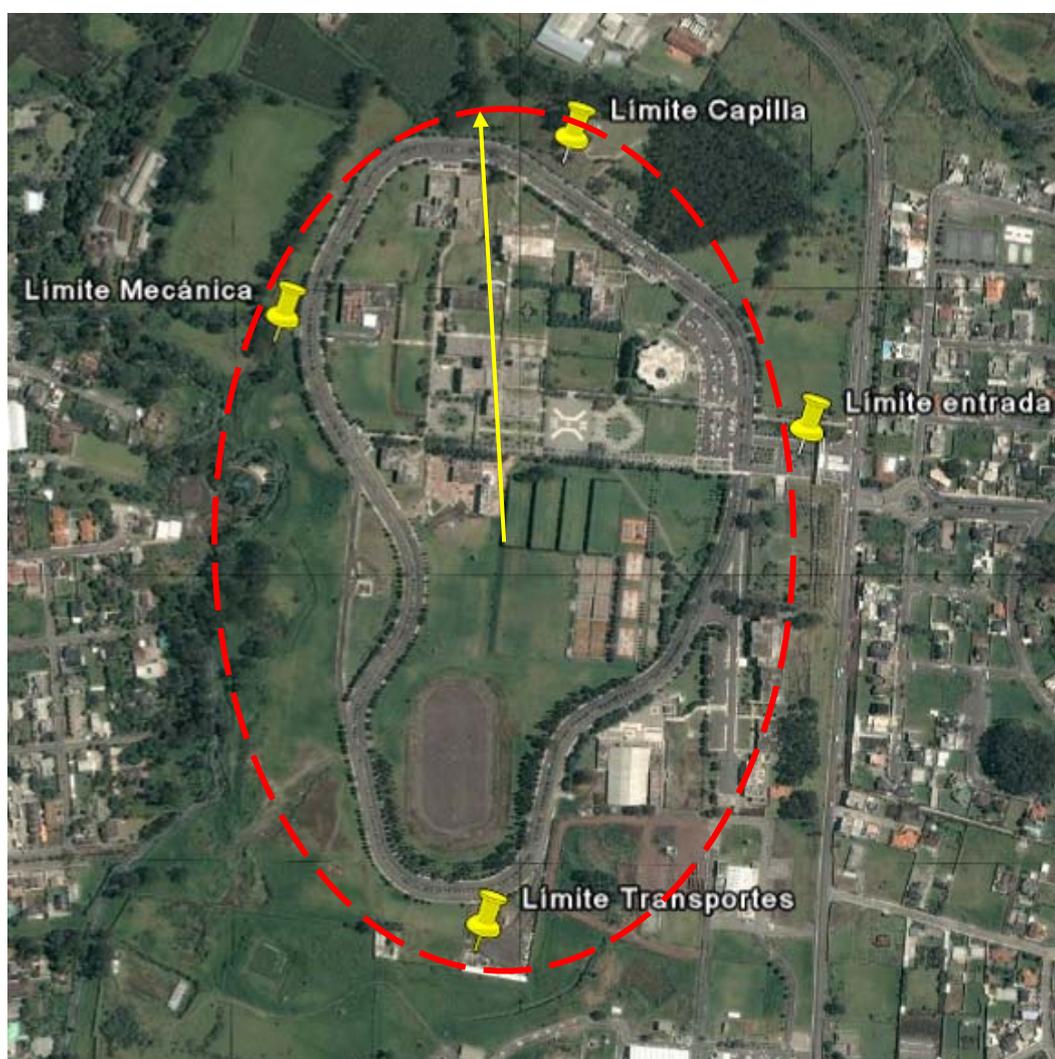


Figura. 2.1. Panorámica del campus de la Escuela Politécnica del Ejército

De acuerdo a la panorámica obtenida y gracias a las distancias determinadas con la utilización del Google Earth, se establece que la zona de

cobertura tiene un área aproximada de 3,8 hectáreas y un radio aproximado de 500m.

Todos estos datos servirán como referencia para tener una idea clara al momento del diseño de la red WiMAX.

### **2.3. Determinación de parámetros topográficos de lugares estratégicos**

Como preámbulo para el diseño de la red es necesario el determinar puntos estratégicos en los cuales se colocarán los equipos para lo cual se han establecido quince de ellos con el fin de brindar la cobertura a todo el campus politécnico.

Dichos puntos corresponden a los edificios y construcciones de cada uno de los departamentos, así como a los sectores administrativos, de logística y de recreación a los que se desea brindar todos los servicios aplicables a la red diseñada.

Es así como se procede a determinar los parámetros más importantes de dichas edificaciones como son: sus coordenadas geográficas y su altura aproximada, todo esto con el fin de facilitar el diseño de la red inalámbrica que necesariamente deberá contar con sitios adecuados para la ubicación tanto de la estación base como de las estaciones suscriptoras que son los componentes fundamentales dentro de una red WiMAX.

En la figura 2.2 se puede observar la ubicación exacta de cada dependencia perteneciente al campus politécnico.



**Figura. 2.2. Ubicación de las diferentes dependencias de la ESPE**

Una vez que se ha obtenido una visión clara de los diferentes sitios a los cuales se desea brindar cobertura se procede después de un minucioso estudio de campo a determinar los puntos de cada una de las dependencias para la ubicación de las antenas como se observa en la tabla 2.3 que se muestra a continuación.

Tabla. 2.2. Alturas y coordenadas de las dependencias de la ESPE

Nº	EDIFICIO	ALTURA DE TERRAZAS (m)	COORDENADAS	
			Latitud	Longitud
1	Edificio Administrativo	22	0°18'52"S	78°26'38"O
2	Bar	6	0°18'54"S	78°26'44"O
3	Biblioteca	8	0°18'51"S	78°26'38"O
4	Bloque D	10	0°18'46"S	78°26'43"O
5	Departamento de Eléctrica y Electrónica	5	0°18'45"S	78°26'45"O
6	Edificio Central	10	0°18'51"S	78°26'43"O
7	Elect.-Biotecnología	5	0°18'45"S	78°26'45"O
8	Geográfica	7	0°18'54"S	78°26'46"O
9	Idiomas	6	0°18'47"S	78°26'40"O
10	Mecánica	7	0°18'49"S	78°26'49"O
11	Residencia	10	0°18'59"S	78°26'35"O
12	Coliseo	5	0°19'03"S	78°26'38"O
13	Casino	8	0°19'03"S	78°26'35"O
14	MED	10	0°18'48"S	78°26'43"O
15	Transportes	3,5	0°19'09"S	78°26'42"O

En este caso se han obtenido las coordenadas geográficas y las alturas aproximada de las terrazas que se convertirán en lugares propicios para la instalación de las antenas transmisoras o suscriptoras.

Como se puede observar existen lugares con alturas de mayor representación con respecto a otras, de acuerdo con lo cual se facilitará la elección del edificio en el cual se ubicará la antena transmisora cuyo análisis se llevará a cabo en el siguiente capítulo.

## CAPITULO 3

### DISEÑO DE LA RED WIMAX

#### 3.1 Estudio de requerimientos para la cobertura

En la actualidad la Escuela Politécnica del Ejército no cuenta con una red inalámbrica que le permita ofrecer servicios triple play (voz, video y datos de forma simultánea) a toda la comunidad politécnica, ya que solamente posee puntos inalámbricos (*access point*) que se conectan a un determinado ISP (proveedor de servicios de Internet), el cual determina una velocidad de transmisión de información que no es lo suficientemente alta para abastecer a todos sus usuarios de los servicios antes mencionados.

De acuerdo con lo señalado resulta de suma importancia el diseño de una red que sea capaz de adaptarse al desarrollo de nuevas tecnologías en la comunicación de información y que pueda brindar los diferentes servicios requeridos por los miembros de la Escuela.

En este sentido, gracias al análisis minucioso que se ha realizado hasta el momento se ha llegado a determinar que efectivamente la tecnología que en la actualidad se presenta como la más adecuada para ofrecer dichos servicios la constituye WiMAX-2004, por su capacidad tanto en velocidad de transmisión como por su cobertura, razones por las cuales resulta ideal en entornos como la Escuela Politécnica del Ejército.

Uno de los puntos más importantes del proyecto consiste en determinar los parámetros y componentes que intervendrán para un funcionamiento óptimo de la red a diseñar.

Además resulta de vital importancia el establecimiento de zonas con mayor demanda del servicio ya que esto nos permitirá determinar el tráfico que cursa en la red interna de la Escuela Politécnica del Ejército.

### **3.1.1 Identificación de zonas con mayor demanda del servicio**

Para determinar la capacidad de los equipos a instalar es necesario realizar un estudio de la demanda del servicio a ser proporcionado por el sistema WiMAX de acuerdo con la zona de cobertura.

Con el dimensionamiento del tráfico del sistema se puede tener una idea más clara del ancho de banda a emplearse y de algunos parámetros relacionados con los equipos.

Para la determinación del tráfico de la red se ha establecido un número de usuarios potenciales por edificio, tomando en cuenta los datos actuales de personas que tienen acceso a un computador en las diferentes dependencias dentro de los edificios y realizando una proyección adecuada de las personas que emplearán este sistema inalámbrico.

Se realizará un estudio independiente del tráfico que se va a generar en cada edificio, para obtener una estimación del ancho de banda que debe proporcionar el sistema WiMAX. Teniendo en cuenta que la teoría analizada establece que el ancho de banda entregado por el sistema no se divide para el número de estaciones subscriptoras, se tomará en cuenta los valores de ancho de banda que requiere cada edificio, los que permiten determinar los parámetros necesarios de la estación base y las subscriptoras para brindar el servicio de acuerdo a los requerimientos de cada dependencia.

En la figura 3.1 se puede tener una visión más clara de la estimación del número de personas por dependencia que utilizan computadores personales en el campus politécnico.

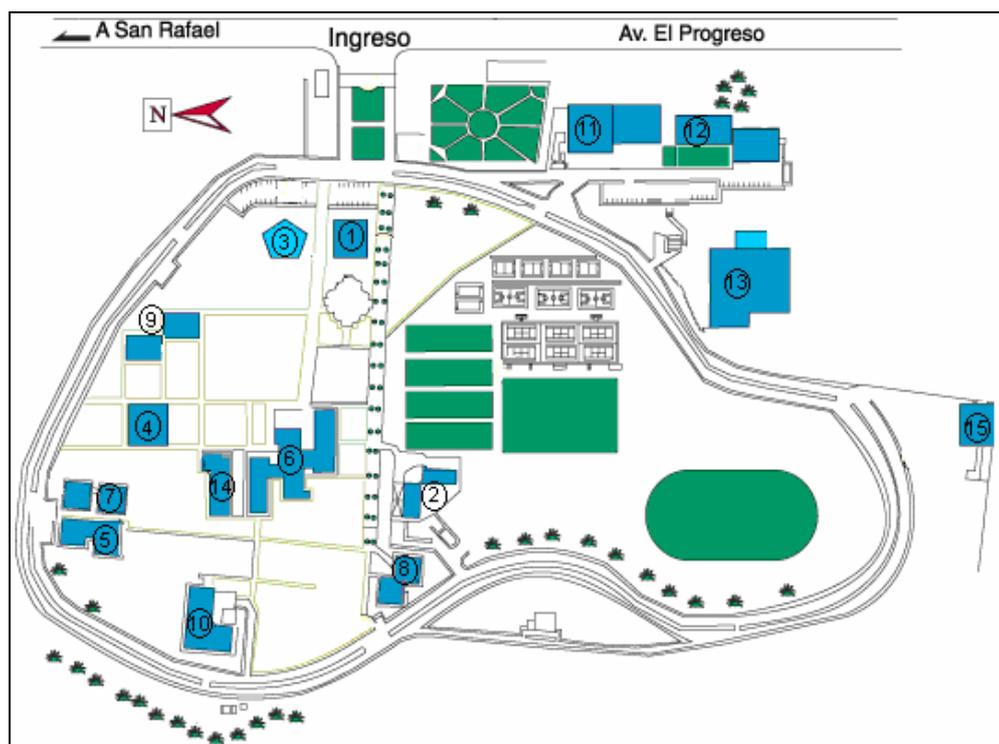


Figura. 3.1. Esquema del Campus Politécnico de la ESPE

A continuación se puede observar la correspondencia entre la simbología de la gráfica y la densidad de usuarios que en la actualidad se encuentran utilizando servicios que abarcará la red WiMAX, de acuerdo a cada edificación:

Tabla. 2.1. Identificación de personas por edificio

Número	Edificio	Personas / edificio
1	Edificio Administrativo	220
2	Bar	24
3	Biblioteca	240
4	Bloque D	60
5	Departamento de Eléctrica y Electrónica	80
6	Edificio Central	235
7	Electro-Biotecnología	24
8	Geográfica	24
9	Idiomas	45
10	Mecánica	20
11	Residencia	180
12	Casino	24
13	Coliseo	45
14	MED	230
15	Transportes	10

**Nota:** La estimación del número de personas que se señalan en la tabla anterior se determinó gracias a los datos proporcionados por la Unidad de Redes y Sistemas de la Escuela Politécnica del Ejército.

Como se puede ver en la tabla 3.1, los edificios con mayor número de personas que en la actualidad emplean computadores personales son: el Edificio Administrativo, el Edificio Central, la Biblioteca y la MED, sobre los cuales se debe poner especial interés ya que son los puntos más importantes en cuanto al tráfico generado. Un análisis adecuado permitirá establecer un ancho de banda requerido para el correcto funcionamiento del sistema WiMAX.

Una vez determinadas las zonas con mayor requerimiento del sistema, se procede al cálculo de los distintos tipos de tráfico de acuerdo al número de usuarios en la actualidad y a los potenciales usuarios [9].

El tráfico total en sentido descendente (*downlink*) o ascendente (*uplink*) de cada edificación se calcula usando las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned}
 \text{Total uplink} = (0,7) \cdot [ & \sum \text{flujos ascendentes/usuario potencial (internet)} \\
 & + \sum \text{Tráfico (datos)} + \sum \text{Tráfico (Vos sobre IP)} \\
 & + \text{Flujos ascendentes/sector (Servidores Web)} \\
 & + \text{Tráfico (Videoconferencia)}]
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total downlink} = (0,7) \cdot [ & \sum \text{flujos descendente /usuario potencial (internet)} \\
 & + \sum \text{Tráfico (datos)} + \sum \text{Tráfico (Vos sobre IP)} \\
 & + \text{Flujos descendente/sector (Servidores Web)} \\
 & + \text{Tráfico (Videoconferencia)}]
 \end{aligned}
 \tag{3.2}$$

**Nota:** 0,7 representa el 70% de los usuarios potenciales, es decir es el porcentaje de proyección de la demanda.

### Tráfico para Acceso a la Red Internet

Para determinar un dimensionamiento adecuado del tráfico de la red es necesario realizar una estimación porcentual del número de personas que utilizará la red para acceder al Internet y cuantas de ellas lo harán de forma simultánea.

De acuerdo con lo señalado, se asume que el 80% de las personas que pertenecen a una estación subscriptora (SS) tendrá acceso a la red de Internet y el 10% de dichas conexiones se realizará de forma simultánea, considerando que la velocidad en el *downlink* será de 512 Kbps.

El tráfico generado por el servicio de Internet es asimétrico ya que se requiere que el flujo *downlink* tenga mayor capacidad que el *uplink*, debido a que la información que se envía desde las computadoras personales generalmente es pequeña si se la compara con la información que se recibe, por lo cual como parámetro de diseño se tendrá un flujo de *uplink* de 128 Kbps.

Para calcular dicho tráfico se hace uso de las siguientes expresiones [9] :

$$\begin{aligned} &\text{Downlink} \\ \text{Tráfico} &= (0,8) \cdot (0,1) \cdot N_p \cdot 512 \text{ [Kbps]} \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} &\text{Upnlink} \\ \text{Tráfico} &= (0,8) \cdot (0,1) \cdot N_p \cdot 128 \text{ [Kbps]} \end{aligned} \quad (3.4)$$

donde  $N_p$  representa el número total de personas por cada subscriptora.

### Tráfico para la Transmisión de datos

Para el análisis de este tipo de tráfico se asume que la probabilidad de que los usuarios potenciales del sistema necesiten enlaces para la transmisión de datos es del 30%.

También se debe tomar en cuenta que los valores que puede ofrecer este servicio están en los 256, 512, 1024 y 2048 Kbps, lo cual dependerá de los requerimientos en cada estación suscriptoras.

Además el tráfico generado por este tipo de servicio es simétrico por lo que tanto el flujo de *downlink* como el de *uplink* tendrán la misma velocidad.

El tráfico generado por la transmisión de datos se calcula de la siguiente manera [9]:

$$\text{Tráfico} = (0,3) \cdot \text{velocidad del enlace en Kbps (256, 512, 1024, 2048)} \quad (3.5)$$

### Tráfico para Voz sobre IP

En este caso se estima que el 75% de los usuarios potenciales emplearán este servicio para el cual se ofrecerá un tráfico de 100 mE en horas pico de acuerdo a parámetros de calidad preestablecidos.

Además se tendrá una velocidad dúplex de 64 Kbps para estos enlaces, cuyo tráfico se determina con la siguiente expresión [9]:

$$\text{Tráfico} = (0.75) \cdot (0.1) \cdot N_p \cdot 64 \text{ [Kbps]} \quad (3.6)$$

### Tráfico de Servidores Web

Para este tráfico se asume el 40% del total de usuarios posee servidores Web y además se toma en cuenta que habrán al menos dos servidores por cada edificio donde se encuentran las estaciones suscriptoras, considerando que dichos servidores serán visitados simultáneamente en un 80%.

Se debe identificar que éste tipo de tráfico funciona de manera similar a la de acceso a Internet, es decir, su velocidad de transmisión es asimétrica [9]. De

acuerdo con esto se asumirá una velocidad downlink de 128 Kbps y un flujo *uplink* de con una velocidad de 512 Kbps.

La siguiente expresión permite realizar el cálculo para dicho tráfico [9].

$$\begin{array}{l} \text{Downlink} \\ \text{Tráfico} = (0,4) \cdot (0,8) \cdot \text{número total de servidores} \cdot 128 \text{ [Kbps]} \end{array} \quad (3.7)$$

$$\begin{array}{l} \text{Uplink} \\ \text{Tráfico} = (0,4) \cdot (0,8) \cdot \text{número total de servidores} \cdot 512 \text{ [Kbps]} \end{array} \quad (3.8)$$

### Tráfico de Videoconferencia

Para éste tipo de tráfico se asume que tendrán este servicio el 40% de los usuarios potenciales, y ofreciendo una garantía del 20% de las conexiones de este tipo de tráfico en la hora más congestionada. La velocidad de transmisión para obtener una calidad óptima será de 512 Kbps dúplex.

$$\text{Tráfico} = (0,4) \cdot (0,2) \cdot \text{número total de usuarios} \cdot 512 \text{ [Kbps]} \quad (3.9)$$

### Análisis de los resultados del tráfico

Una vez identificados las expresiones que permiten calcular los diferentes tráficos requeridos en cada una de las edificaciones del campus politécnico que utilizarán los servicios de la red WiMAX, se procede a la obtención de resultados, los mismos que permitirán determinar algunas conclusiones importantes para el desarrollo del diseño de la red.

En la tabla 3.2 se presenta un resumen de los resultados obtenidos del tráfico total empleando (2.1) y (2.2) tanto para downlink como *uplink* en cada edificio.

**Tabla. 3.2. Resultados del tráfico por cada edificio**

<b>EDIFICIO</b>	<b>TOTAL DOWNLINK (Mbps)</b>	<b>TOTAL UPLINK (Mbps)</b>
Edificio Administrativo	9,19	7,04
Bar	2,54	4,60
Biblioteca	9,83	7,25
Bloque D	3,74	5,04
Departamento de Eléctrica y Electrónica	4,39	5,25
Edificio Central	9,67	7,20
Electrónica Biotecnología	2,54	4,60
Geográfica	2,54	4,60
Idiomas	3,26	4,88
Mecánica	2,41	4,56
Residencia	7,70	6,41
Coliseo	3,26	4,88
Casino	2,54	4,60
MED	9,51	7,15
Transportes	2,09	4,45

De acuerdo con los resultados obtenidos en la tabla 3.2 se puede observar claramente que el tráfico generado por cada uno de los edificios se encuentra en el rango de los 10 Mbps, como es el caso de la dependencia que más tráfico genera como es la Biblioteca cuyo tráfico es de 9,83 (Mbps), lo que se trata en este caso es obtener un parámetro máximo que permita la determinación de las velocidades de transmisión necesarias que deben brindar los equipos a adquirir para una futura implementación de la red WiMAX en el campus politécnico.

### **3.1.2 Establecimiento de parámetros técnicos para la cobertura**

El camino por el cual va la señal a partir de la estación base a la estación subscriptora puede atravesar de forma sencilla como el caso de LOS (línea de vista) en el cual no se presenta obstáculos hasta un entorno en el cual se

presenten obstáculos tales como edificios, árboles y otros elementos que pudieran interferir en la transmisión.

Por lo anteriormente mencionado tanto la predicción como el modelamiento del canal constituyen una parte importante para el diseño del sistema de comunicación, para lo cual es fundamental emplear un modelo matemático que se adapte a nuestras necesidades.

Los modelos simulan los efectos que se producen en el medio de propagación así como las interferencias multicamino, a través de combinaciones de expresiones deterministas (para la atenuación por distancia) y procesos aleatorios (para las interferencias y rebotes) [10]. En algunos software de simulación como por ejemplo *Network Simulator*, se implementan dichos modelos de manera que cuando se recibe un paquete se calcula la potencia de recepción de la señal. Si se encuentra por debajo del umbral de recepción, el paquete se marca como erróneo y es eliminado por el nivel MAC.

Para el presente proyecto se ha elegido para la simulación, tres tipos de modelo con el fin de determinar el comportamiento de la red con diferentes medios de propagación y con ello obtener nuestras conclusiones sobre dichos modelos simulados.

De los diferentes modelos de propagación que se conoce, se han seleccionado tres que se ajustan a los requerimientos de la red a diseñar, los cuales son:

- Modelo de propagación en Espacio Libre (*Free Space*).
- Modelo de propagación por sombra (*Shadowing*).
- Modelo de propagación SUI.

En el caso del modelo de propagación *Free Space* se genera una simulación en un entorno ideal. En el modelo de propagación por Sombra se establece ciertos parámetros que intervienen simulando o considerando un entorno más real que *Free Space*. Finalmente el modelo SUI ha sido seleccionado debido a que es

el modelo aceptado y recomendado por el estándar IEEE 802.16 para la simulación del canal de propagación.

### Modelo de Propagación en el Espacio Libre (*Free Space*)

Todo sistema de telecomunicación debe diseñarse para que en el receptor se obtenga una relación señal-ruido mínima que garantice su funcionamiento. Los servicios de radiocomunicaciones, radiodifusión, radiolocalización (radar), teledetección y radioayudas a la navegación, tienen en común el empleo de ondas electromagnéticas radiadas como soporte de la transmisión de información entre el transmisor y el receptor.

Para la correcta planificación de cualquiera de estos sistemas resulta esencial conocer los factores que pueden alterar la propagación electromagnética, su magnitud y su influencia en las distintas bandas de frecuencias.

En condiciones de propagación el espacio libre la relación entre la potencia recibida y la transmitida (pérdida de transmisión) por dos antenas separadas una distancia  $d$  es:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad , \quad (3.10)$$

donde:

$$\lambda = \frac{C}{f} \quad ,$$

$P_t$  es la potencia de la señal de transmisión

$G_t$  y  $G_r$  son las ganancias de las antenas receptoras y respectivamente.

$L$  es la pérdida del sistema donde ( $L \geq 1$ ).

Es común seleccionar  $G_t = G_r = 1$  y  $L = 1$  en  $ns$  de simulación.

$C$  es la velocidad de la luz y  $f$  la frecuencia en Hz.

El modelo *Free Space* básicamente representa el rango de comunicación como un círculo de radio  $d$ , alrededor del transmisor. Si un receptor se encuentra

dentro del círculo, éste recibe todos los paquetes, de otra forma éste pierde todos los paquetes [11].

En (3.10) se muestra que la relación entre la potencia recibida y transmitida, no determina de una forma clara el funcionamiento del sistema de acuerdo a la frecuencia, es decir en función de los parámetros de las antenas empleadas la dependencia con la frecuencia varía.

Se puede determinar que cuando se tiene antenas con dimensiones fijas y considerando una propagación en espacio libre, resulta que la disminución de frecuencia en frecuencias bajas y el aumento en frecuencias altas, provoca una disminución de las pérdidas de transmisión.

El modelo de propagación en espacio libre representa un modelo ideal relacionado con las condiciones de propagación en el vacío, por lo que en un entorno terrestre no es muy aplicado, debido a que la curvatura de la tierra, la atmósfera y la ionosfera alteran las condiciones de propagación para enlaces reales.

### **Modelo de Propagación por sombra (*Shadowing*)**

El modelo espacio libre predice la potencia recibida como una función determinística de la distancia, el mismo que establece un rango de comunicación como un círculo ideal de cobertura. En realidad, la potencia a una determinada distancia es un variable randómica, debido al efecto de propagación multitrayecto, el cual es también conocido como efecto de desvanecimiento. De hecho, el modelo anterior predice la potencia recibidas a una distancia  $d$ . Un modelo más general es llamado modelo *Shadowing*.

Este modelo se acerca más a la realidad ya que simula tanto los desvanecimientos provocados por obstáculos así como la propagación multicamino que se tienen en recepción, logrando de esta manera obtener resultados más fiables y precisos.

El modelo *Shadowing* está formado por dos partes. La primera se la conoce como pérdida de propagación y predice el valor principal de potencia en recepción a una distancia  $d$ , que en este caso se denota con  $\overline{P_r(d)}$ . Esta emplea una distancia  $d_0$  como referencia. La siguiente expresión muestra la relación entre  $\overline{P_r(d)}$  y  $P_r(d)$ .

$$\frac{P_r(d_0)}{P_r(d)} = \left( \frac{d}{d_0} \right)^\beta \quad (3.11)$$

Donde  $\beta$  es el exponente de pérdida de propagación, y es determinada de forma empírica de acuerdo a mediciones de campo, cuyos valores referenciales se pueden observar en la tabla 3.3 de acuerdo al tipo de entorno en donde se realicen las pruebas.

**Tabla. 3.3. Algunos valores típicos del exponente  $\beta$  path loss**

AMBIENTE		$\beta$
Ambientes exteriores	Espacio Libre	2
	Área urbana con sombra	2,7 a 5
Dentro del edificio	Línea de vista	1,6 a 1,8
	Obstrucción	4 a 6

La pérdida de propagación se la representa en dB, y tiene la siguiente forma, la misma que proviene de (3.11):

$$\left[ \frac{P_r(d)}{P_r(d_0)} \right]_{dB} = -10\beta \log \left( \frac{d}{d_0} \right) \quad (3.12)$$

La segunda parte del modelo *shadowing* refleja la variación de la potencia de recepción a una determinada distancia. Esta es una variable randómica log-normal, esto es una distribución Gaussiana si es medida en dB. El modelo de propagación de *shadowing* es representado por:

$$\left[ \frac{P_r(d)}{P_r(d_0)} \right]_{dB} = -10\beta \log \left( \frac{d}{d_0} \right) + X_{dB} \quad (3.13)$$

donde  $X_{dB}$  es una variable randómica con media igual a cero y desviación estándar  $\sigma_{dB}$ , la misma que es obtenida a través de mediciones de acuerdo al medio de propagación en el que se proyecte la señal transmitida.

En la tabla 3.4 se muestran los valores típicos que puede asumir la desviación estándar  $\sigma_{dB}$  o *shadowing*.

**Tabla. 3.4. Valores típicos de desvanecimiento  $\sigma_{dB}$  (dB) por sombra**

AMBIENTE	$\sigma_{dB}$ (dB)
Ambientes exteriores	4 a 12
Oficina con alta ocupación	7
Oficina con baja ocupación	9,6
Industrial con línea de vista	3 a 6
Industrial con obstáculos	6,8

En definitiva el modelo de *shadowing* establece un modelo estático enriquecido a diferencia del modelo *FreeSpace* que es un modelo circular ideal. Los nodos se pueden comunicar únicamente de forma probabilística cuando se encuentran cerca del rango límite de comunicación.

En el caso del simulador que es utilizado para el presente proyecto como es *Network Simulator 2* (NS-2), el modelo de propagación *Shadowing* usa una distribución Gaussiana para determinar la potencia recibida en un nodo, por lo que se puede establecer un equivalente entre la SNR (relación señal a ruido) que se puede observar en el canal real, con dicha potencia determinada por el simulador.

### Modelo de Propagación SUI

El modelo SUI (*Stanford University Interim Models*), el cual es una extensión del modelo de canal desarrollado por AT&T, es recomendado por el estándar IEEE 802.16 para la estimación de cobertura en sistemas WIMAX [12].

En este sentido resulta conveniente mencionar el hecho de que AT&T ha realizado una gran cantidad de mediciones en diversas zonas de los Estados Unidos, para determinar con la mayor precisión posible un modelo para el ambiente inalámbrico de radiofrecuencia en el cual trabaja la tecnología WiMAX.

En el modelo empírico de AT&T se han realizado las debidas consideraciones con el fin de que se obtengan resultados que se apeguen a la realidad, lo cual ha sido comprobado al llevarse a cabo una serie de pruebas y simulaciones [12]. Dentro del modelo de pérdidas de trayecto de AT&T se establecen parámetros tales como las alturas de las antenas, la frecuencia portadora y el tipo del terreno.

Como complemento al trabajo realizado por AT&T, la Universidad de Stanford ha desarrollado un conjunto de modelos de canal para la simulación de ambientes donde se produce el fenómeno del multitrayecto de la señal transmitida.

Los modelos de canal de propagación se denominan SUI, y como se mencionó anteriormente son una extensión del trabajo de AT&T, a los cuales se aplican en tres categorías de terreno [13]:

- **Tipo A:** Colinas pequeñas con moderada alta densidad de árboles.
- **Tipo B:** Colinas grandes con baja densidad de árboles, o plano con moderada-alta densidad de árboles.
- **Tipo C:** Plano con baja densidad de árboles.

A través de estos tipos de terreno se ofrece un método simple y más exacto para la obtención de las pérdidas de trayecto sobre el canal de radiofrecuencia bajo condiciones NLOS. Debido a su naturaleza estadística, este modelo puede representar una gran gama de las pérdidas de trayecto, las mismas que son experimentadas dentro de una comunicación real.

Gracias al uso de los modelos de canal es posible predecir con mayor exactitud la cobertura que se puede alcanzar con una estación base que se

encuentra configurada de una manera determinada, lo que significa sin lugar a duda un apoyo para la planificación y diseño de redes WiMAX.

Sin embargo, se presentan algunos inconvenientes en la práctica con los modelos SUI, los cuales están relacionados con la clasificación del terreno y su elección para una determinada aplicación, pues no son considerados algunos parámetros para zonas urbanas o urbanas densas, que constituyen los sitios con mayor porcentaje de penetración en donde se espera desplegar la tecnología WiMAX.

Una vez establecido las características de este tipo de modelo se procede a la determinación de las ecuaciones que permiten llevar a cabo el cálculo de las pérdidas que se producen durante la transmisión de información por parte de la red WiMAX.

Para calcular las pérdidas que se producen en el nivel de la señal debido a la propagación en un ambiente determinado se tiene la siguiente expresión:

$$P_L = A + 10\gamma \log \frac{d}{d_0} + s \quad \text{para } d > d_0, \quad (3.14)$$

donde

$P_L$  representa las pérdidas en dB del nivel de la señal,  
 $\gamma$  es el coeficiente de pérdida de trayectoria, dado por:

$$\gamma = \left( a - bh_b + \frac{c}{h_b} \right), \quad (3.15)$$

y

$$A = 20 \log \left( \frac{4\pi d_0}{\lambda} \right) \quad (3.16)$$

En la cual la altura  $h_b$  de la antena de estación base está en el rango de:

$$10 \text{ m} < h_b < 80 \text{ m}$$

Además la expresión cuenta con algunas constantes que se procede a definir a continuación:

$a, b$  y  $c$  Son constantes que dependen del tipo de terreno.

$d_0$  Es una distancia de referencia escogida entre 100 y 1000 m.

$s$  Representa el efecto de *shadowing*, para el cual se asume una distribución normal con desviación estándar entre 8 y 10 dB.

Una vez establecidos los parámetros que intervienen para el cálculo de las pérdidas, en la tabla 3.5 se muestra los valores de las constantes a emplearse de acuerdo al tipo de terreno en el cual se despliega la red WiMAX.

**Tabla. 3.5. Parámetros numéricos del modelo de propagación SUI**

PARÁMETRO DEL MODELO	CATEGORÍA DE TERRENO		
	A (Colinas pequeñas /Moderada a alta densidad de árboles)	B (Colinas pequeñas /Ligera densidad de árboles o llano/ Moderada a alta densidad de árboles)	C (Plano/ Ligera densidad de árboles)
a	4,6	4,0	3,6
b (en $m^{-1}$ )	0,0075	0,0065	0,0050
c (en m)	12,6	17,1	20,0

### Factores de corrección

Además del análisis establecido anteriormente se debe tomar en cuenta también algunos factores de corrección que permiten aumentar la confiabilidad de las simulaciones.

Para el caso del modelo de propagación SUI los factores de corrección han sido determinados, considerando frecuencias mayores a los 2 GHz [14] y para una altura de la antena CPE entre 2 y 8 m, de igual forma la expresión de este

tipo de modelo de propagación se encuentra en dB y es calculado de la siguiente forma:

$$P_{L_{\text{modificado}}} = P_L + \Delta P_{L_f} + \Delta P_{L_h} \quad , \quad (3.17)$$

donde  $P_L$  es la pérdida del nivel de la señal dada en (3.14),

$\Delta P_{L_f}$ (dB) es el factor de corrección en frecuencia y se lo calcula de la siguiente forma:

$$\Delta P_{L_f} = 6 \log \frac{f}{2000} \quad , \quad (3.18)$$

donde  $f$  está dada en MHz,

$\Delta P_{L_h}$ (dB) es el factor de corrección de la altura del CPE, el cual es determinado con la siguiente expresión:

$$\Delta P_{L_h} = 10,8 \cdot \log \frac{h}{2} \quad , \quad (3.19)$$

donde  $h$  es la altura del CPE entre 2m y 8m.

### 3.1.3. Estructura de la red

El proyecto hasta el momento ha definido la situación actual en cuanto a la infraestructura y parámetros topográficos de las distintas dependencias de la Escuela Politécnica del Ejército, así como la definición de los probables escenarios que pueden intervenir en la propagación de la señal a transmitir con la red WiMAX.

Además se ha realizado un análisis del tráfico que puede ser generado por cada uno de los edificios que constituyen el campus, lo cual nos permite tener una idea más clara de la densidad de usuarios que actualmente utilizan algún tipo de servicio relacionado con la red a diseñar, y de esta forma proyectar los usuarios potenciales que serán beneficiados por los múltiples servicios adicionales a los actuales, los mismos que serán proporcionados por la red de comunicación inalámbrica que está siendo diseñada.

La estructura de la red constituye un eje fundamental ya que a partir de esta se seleccionan los lugares en los cuales se colocarán los CPE con el fin de aprovechar al máximo la cobertura ya que se pretende brindar con dicho servicio en puntos estratégicos y de esta forma ofrecer el servicio a la mayor cantidad de usuarios posibles con la ventaja de otorgar una velocidad mayor a la existente así como el servicio triple play (voz, video y datos de forma simultánea).

Una vez establecidos los parámetros más importantes y de conocer la situación actual del campus, se procede a la selección del sitio en el cual se ubicará la estación base, así como los lugares donde se ubicarán las estaciones suscriptoras.

De acuerdo al análisis realizado el en capítulo dos y parte del capítulo tres del presente proyecto se pueden obtener las siguientes consideraciones para el desarrollo del diseño:

Después de realizar un estudio de campo y el análisis correspondiente se ha llegado a determinar que el edificio que cuenta con las condiciones más idóneas, tanto en altura como en la forma como se propagará la señal en el ambiente del campus politécnico, es el Edificio Administrativo (Edificio Nuevo), para la colocación de la estación base. En este sentido la elección del edificio, se dió gracias a las facilidades que el mismo brinda para la colocación de dicha estación y su respectiva antena, es decir como se pudo establecer anteriormente dicho edificio es el de mayor altura con el que cuenta la ESPE siendo la misma de veinte y dos metros aproximadamente, lo que permitirá la colocación de la antena de la estación base sin la necesidad de contar con una torre de transmisión, lo cual trae beneficios en el aspecto económico en primera instancia, ya que no se requiere de una infraestructura adicional a la ya existente.

Otro aspecto de vital importancia para la elección del Edificio Administrativo representa el hecho de que se tiene línea de vista directa (sin la presencia de obstáculos entre el transmisor y receptor) con la mayoría de edificaciones donde se ubicarán las estaciones suscriptoras (ver Anexo 1). Este hecho resulta muy adecuado porque como ya se ha explicado la tecnología WiMAX puede trabajar

sin línea de vista pero cuando ésta existe, su desempeño mejora considerablemente, con lo que se logra garantizar la cobertura total y una calidad excelente de los servicios proporcionados por la red a todo el Campus.

Finalmente con respecto a la colocación de la estación base, es el hecho de que el Edificio Administrativo tiene una ubicación estratégica con respecto a los demás dependencias del campus, es decir desde dicho punto se tiene un radio de cobertura homogéneo, lo que permite el aprovechamiento al máximo de la señal transmitida, lo cual representa un factor muy importante en cuanto a la potencia que se requiere ya que la misma se encuentra dentro de los parámetros aceptables y tolerables para las emisiones radio-magnéticas de una antena dentro de una zona urbana y que se adapte al entorno de la Escuela.

Ahora, en cuanto a la ubicación de las estaciones suscriptoras, la Escuela Politécnica del Ejército cuenta con edificaciones que tienen una altura que en promedio se aproxima a los cinco metros, en las mismas (preferentemente en sus terrazas) que serán colocados los CPEs, de acuerdo a los datos que se obtuvieron con la ayuda del GPS. Cabe recalcar que los suscriptores al igual que en el caso de la estación base no requieren una infraestructura adicional para su ubicación como es el caso de torres o mástiles.

Gracias al estudio de campo realizado también se pudo determinar que el número ideal de estaciones suscriptoras para brindar cobertura a todas las dependencias y edificaciones de la Escuela, el cual fue de quince estaciones suscriptoras. Este valor se obtuvo ya que se consideró que cada edificio seleccionado cuenta con un número determinado de usuarios que podrían emplear los servicios ofrecidos por la red.

En la figura 3.2 se muestra la estructura de la red, considerando la ubicación de la estación base con respecto a las estaciones suscriptoras en una configuración punto-multipunto.

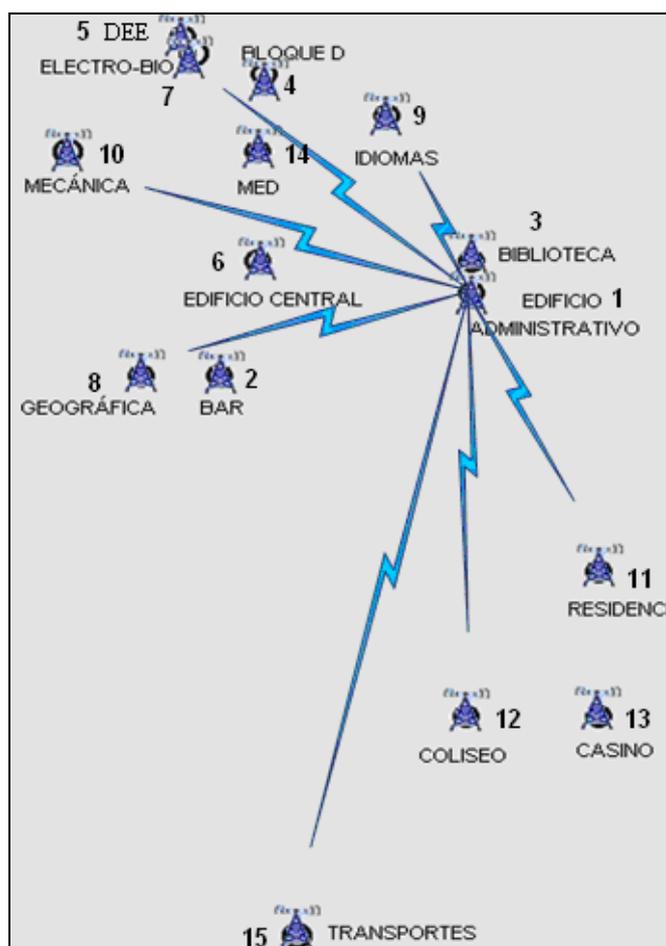


Figura. 3.2. Estructura de la red WIMAX

### 3.1.3. Determinación de equipos a utilizar.

Los equipos a ser empleados para la implementación de la red WiMAX constituyen parámetros fundamentales ya que se convierten en pilares que permiten conocer el verdadero alcance que podrá tener la red.

Si bien es cierto se requiere de un diseño previo para su selección, éste debe apegarse lo más posible a la realidad ya que de otra forma se podría tener resultado inesperados.

Para la selección de equipos a emplearse se los ha dividido de acuerdo a un parámetro fundamental para la realización de cualquier implementación de redes tanto alámbricas como inalámbricas el cual constituye la banda de frecuencia de funcionamiento u operación, debido a que se presentan dos tipos de bandas; una

en la cual para su funcionamiento se requiere licencia, mientras que la otra es una banda libre que a pesar de no requerir licencia (banda ISM) si es necesario reconocer en el CONATEL (Consejo Nacional de Telecomunicaciones) los equipos que vayan a ser empleados así como parámetros técnicos de funcionamiento y la finalidad que tiene la implementación de dicha red (registro de la red).

La tecnología WiMAX opera en bandas con licencia como la de 3,5 GHz y en bandas sin licencia como la banda ISM. Las bandas de frecuencia que son empleadas por sistemas de telecomunicaciones que requieren técnicas de Modulación Digital de Banda Ancha, con las cuales trabajan la mayoría de equipos WiMAX se presentan en la tabla 3.6:

**Tabla. 3.6. Banda de funcionamiento en WiMAX**

<b>Característica de la banda</b>	<b>Frecuencia de funcionamiento</b>
Banda libre	5,450 – 5,850 GHz
Banda licenciada	3,4-3,7 GHz

Esta división se ha realizado con el fin de comparar los equipos que se utilizarán en cada una de dichas bandas, pero resulta ideal para el diseño de la red WiMAX en el campus politécnico, la elección del tipo de banda especialmente por los costos que representa su implementación. De acuerdo con esto en la tabla 3.7 se muestran los valores de concesión de las bandas licenciadas de 3,4 a 3,7 GHz [15], los mismos que son normados por el CONATEL.

**Tabla. 3.7. Distribución de la banda de 3,4 a 3,7GHz**

<b>BLOQUE</b>	<b>ANCHO DE BANDA (MHz)</b>	<b>TIPO DE CONCESIÓN</b>	<b>VALOR DE CONCESIÓN (\$)</b>
E	28,5	Nacional	1'632.457,00
F,G	28,5	Regional	790.975,00
H	14,5	Regional	461.733,00

Además de las bandas que se definieron, existen otras como la D1-D1' cuyo costo comercial es de \$602.166,00 la misma que será concesionada de forma directa por el CONATEL a nivel nacional, la banda D2-D2' que fue otorgada a PACIFICTEL S.A. en \$969.975,00 con un tipo de concesión a nivel nacional.

Como se puede observar en el análisis anterior los altos costos que implican la adjudicación de una banda licenciada, no hacen posible la utilización de este tipo de bandas para la implementación de la red en el campus politécnico de la ESPE ya que sus fines son netamente académicos, por lo que necesariamente se debe utilizar una banda de frecuencia libre que en este caso será la de 5,450 – 5,850 GHz debido a su amplia aplicación comercial.

Una vez seleccionadas las bandas de frecuencias en las que pueden trabajar los equipos de este tipo de tecnología, se procede al análisis tanto de los equipos como de los principales fabricantes de acuerdo a las características en frecuencia y de potencias que se requiere para brindar la cobertura al Campus Politécnico.

Para la selección de los equipos se debe tener en cuenta que en la actualidad existe una gran cantidad tanto de equipos como de fabricantes que son empleados para la implementación de redes con tecnología WiMAX. La mayoría de los fabricantes a nivel mundial han desarrollado tecnología de punta para todo tipo de usuarios en los mercados más exigentes.

A continuación se realiza un análisis detallado de los principales fabricantes y los productos que ofertan actualmente en el mercado para trabajar bajo el estándar IEEE 802.16–2004, así como los parámetros técnicos más representativos que se deben tomar en cuenta al momento de seleccionar los equipos que formarán parte de la red. Cabe recalcar que los parámetros técnicos de los equipos se los puede observar en el Anexo 2.

## ALVARION

Alvarion constituye una empresa dedicada a la fabricación de equipos inalámbricos para diversos ambientes tanto como para proveedores de servicios como instituciones públicas y privadas que desean brindar cobertura a través de la implementación de redes de acceso, las mismas que resultan de vital importancia para proporcionar servicios multimedia como voz, datos, video, etc.

Alvarion ha permanecido como líder en el mercado de acceso inalámbrico de banda ancha, convirtiéndose en el proveedor más grande del mundo en relación a equipos para el diseño de redes inalámbricas.

De acuerdo con lo expresado, Alvarion ha producido una serie de equipos de los cuales los más representativos de acuerdo a sus características de funcionamiento, pertenecen a la familia BreezeACCESS.

En la figura 3.3 se puede observar los equipos que forman parte de esta familia:



**Figura. 3.3. Equipos Alvarion para WiMAX**

BreezeACCESS de Alvarion, puede cumplir con los requerimientos para proporcionar servicios en diversos ambientes, desde las zonas rurales escasamente pobladas hasta zonas urbanas con alta densidad de población. Además tiene la característica de que para su desarrollo se han realizado varios

estudios, los mejores resultados al aplicar en sus equipos tecnología de modulación OFDM.

También se debe resaltar el hecho de que al emplear dicha modulación se puede trabajar en ambientes sin línea de vista directa entre la estación base y suscriptoras (NLOS), lo cual representa numerosos beneficios tanto en eficiencia espectral como en ahorro de consumo de energía debido a las potencias que utilizan dichos equipos.

Finalmente se puede mencionar que BreezeACCESS es compatible con una amplia gama de servicios de red, incluyendo Acceso a Internet, VPN, Voz, E1/T1, vídeo y aplicaciones multimedia [16]. Además presenta capacidades avanzadas de Calidad de Servicio (QoS).

El sistema de acceso inalámbrico BreezeACCESS consta de los siguientes componentes:

#### ***Equipos de Estaciones Bases:***

La estación base BreezeACCESS es altamente modular y escalable, se encuentra disponible en tamaños micro y macro para garantizar la máxima rentabilidad del sistema WiMAX.

Dichas estaciones base son adecuadas para grandes despliegues tanto en zonas densamente pobladas sean estas urbanas o suburbanas; mientras que las estaciones base micro constituyen la solución más rentable para ideales en zonas rurales y áreas de baja densidad.

Los módulos pueden ser intercambiables inclusive si estos se encuentran encendidos, poseen una alta disponibilidad y se puede complementar a través de múltiples sistemas de redundancia.

***Estaciones de usuarios CPEs:***

BreezeACCESS CPEs presenta una gran variedad de CPE ofreciendo máxima flexibilidad con el fin de aumentar el servicio a los clientes.

El sistema es capaz de operar en diversos entornos, de baja de población rural a las zonas de alta densidad y las zonas urbanas proporcionando a los suscriptores un acceso rápido a tasas netas de datos de hasta 10Mbps en un canal de 3.5 a 10 MHz, las demás características técnicas se pueden observar en el correspondiente anexo que se mencionó anteriormente.

La estación suscriptora CPE de BreezeACCESS se compone de una unidad interior (IDU) y de una al aire libre unidad (ODU).

El CPE ODU contiene un módem, radio, procesador de datos y componentes de gestión. También contiene una antena plana de alta ganancia, ya sea con polarización vertical u horizontal. Aunque también se puede encontrar CPEs ODU con un conector a una antena externa.

El CPE UDI está disponible para múltiples configuraciones de redes en una gran variedad de mercados y aplicaciones. Cada UDI se conecta directamente a la ODU a través un cable categoría 5e, el mismo que lleva los datos tráfico, además de las señales de activación y control entre el IDU y ODU.

La tabla 3.8 muestra los equipos necesarios para la red WiMAX, así como un resumen de las características principales de los mismos.

Tabla. 3.8. Características de equipos Alvarion

CARACTERÍSTICAS	ESTACIÓN BASE BreezeACCESS	CPE BreezeACCESS
Estándar	802.16-2004	802.16-2004
Banda de Frecuencias	1,5GHz;2,3GHz;2,5GHz;3,3-3,8GHz; 5GHz	1,5GHz;2,3GHz;2,5GHz;3,3-3,8GHz; 5GHz
Capa Física	OFDM 256 FFT con uplink	OFDM 256 FFT con uplink
Modo Dúplex	FDD, TDD	FDD, TDD
Modulación	64 QAM a BPSK(8 niveles adaptativos)	64 QAM a BPSK(8 niveles adaptativos)
Ancho de canal	1,75MHz; 3,5 GHz; 5MHz; 7MHz; 10 MHz	1,75MHz; 3,5 GHz; 5MHz; 7MHz; 10 MHz
Potencia de Transmisión	28 dBm	20 dBm
Ganacia Antena	Antena externa 8 dBi, de 60°,90°,120°; omnidireccional	Antena Interna 18 dBi
Interfaz	10/100/1000 Base-T, E1/T1	10/100 Base-T, 802.11g Wi-Fi, RJ-11 POTS, E1/T1
Sensibilidad	-82 a -85 dBm	-82 a 85 dBm
<b>PRECIO</b>	<b>\$3820,00</b>	<b>\$812,00</b>

## AIRSPAN

Airspan es un líder mundial en banda ancha inalámbrica con una gran cantidad de clientes en más de 100 países. Como miembro fundador del WiMAX Forum, Airspan ha llevado a la forma en WiMAX, se encuentran entre la primera ola de empresas para lograr la certificación de su estación base y los dispositivos de usuario final [17].

Airspan constituye una solución propicia para los mercados residenciales, en pequeñas y medianas empresas y aplicaciones para redes de acceso troncal de banda ancha. Sus productos ofrecen, alta escalabilidad de redes, operaciones con LOS, NLOS y gestión de calidad de servicio (*Quality of Service, QoS*) de extremo a extremo en topologías punto multipunto.

Airspan tiene una familia de equipos WiMAX llamada AS.MAX que consta de tres diferentes soluciones de estación base, y una serie de CPEs para interiores y exteriores.

De acuerdo a este punto de vista Airspan presenta tres tipos de estación base para WiMAX:

- HiperMAX
- MacroMAX
- MicroMax

Estos diferentes tipos de tecnología han servido para el desarrollo de redes WiMAX tanto fijas como móviles gracias a la utilización de diversas bandas de frecuencia y otras características que se han adaptado a todo tipo de despliegue de la siguiente manera:

**HiperMAX.**- Estación base WiMAX con alta flexibilidad y ofrece servicios con una disponibilidad elevada.

Trabaja tanto en el estándar 802.16d como en el 802.16e, con una división para interiores y exteriores de la arquitectura diseñada para admitir varios transceptores con la utilización de antenas inteligentes. Esta estación base ofrece una solución de alta disponibilidad de servicios WiMAX a través de un sistema con varios niveles de redundancia [18].

**MacroMAX.**- Estación base que incluye una macro – celda.

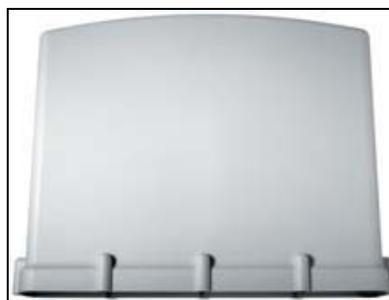
Su funcionamiento se da en un modo único ya sea: 802.16d o 802.16e. Además incluye transceptores duales de Radiofrecuencia que soportan la transmisión en dos canales (*Full duplex*). Sus principales aplicaciones se dan para WiMAX móvil en ambientes externos y para WiMAX fijo en ambientes internos.

**MicroMax.-** Estación base que incluye una micro – celda.

De la misma forma que en el caso anterior su funcionamiento puede darse en un único estándar fijo o móvil, sus características son similares a la de MacroMax, con la ventaja de que su rendimiento es óptimo en zonas con alta densidad de edificios y con costos de implementación accesibles para zonas de baja densidad poblacional o rural. Además puede trabajar en varias bandas de frecuencia. En las siguientes figuras se muestra los diferentes tipos de estaciones base que ofrece Airspan.



**Figura. 3.4. HiperMAX**



**Figura. 3.5. MicroMAX**



**Figura. 3.6. MacroMAX**

Una vez analizadas las estaciones base, es necesario determinar los equipos complementarios (CPEs) que presenta la familia AS.MAX, para el despliegue de la red inalámbrica. De acuerdo con esto Airspan presenta tres tipos de estaciones suscriptoras:

- PrimeMAX
- ProST
- EasyST

### **CPE PrimeMAX**

También se lo denomina PrimeST, el mismo que ha sido diseñado como complemento para los distintos tipos de estaciones base con que cuenta AIRSPAN. La principal característica que presenta este tipo de suscriptor es que puede trabajar con más de 4 u 8 E1/T1s, además puede trabajar en las bandas de 3,5 y 5,8 GHz.

### **CPE ProST**

Prost es una estación suscriptor diseñada para su implementación en ambientes externos. Por su funcionamiento resulta ideal cuando se desea garantizar un nivel de servicio específico, además asegura alta disponibilidad de los servicios y su operación en entornos de propagación con o sin línea de vista.

### **CPE EasyST**

EasyST es un dispositivo suscriptor diseñado para trabajar en ambientes internos, siendo compatible con cualquier estación base de AIRSPAN, el mismo que sirve para brindar conexión a la red al usuario final. Gracias a este CPE se puede mejorar la disponibilidad del servicio y la fiabilidad del sistema. De igual forma que en el caso de las estaciones base, en las siguientes figuras se observan cada uno de los CPE's de este fabricante.



Figura. 3.7. CPE ProST



Figura. 3.8. CPE EasyST



Figura. 3.9. CPE PrimeMAX

La tabla 3.9 muestra los principales parámetros dentro de las estaciones bases que posee AIRSPAN:

Tabla. 3.9. Características de estaciones base AIRSPAN

CARACTERÍSTICAS	HIPERMAX	MACROMAX	MICROMAX
Estándar	IEEE 802.16-2004	IEEE 802.16-2004	IEEE 802.16-2004
Banda de Frecuencias	3,4-3,6GHz	3,4-3,6GHz	3,4-3,6GHz
Capa Física	OFDM 256 FFT	OFDM 256 FFT	OFDM 256 FFT
Modo Dúplex	FDD, TDD	FDD, TDD	FDD, TDD
Modulación	64 QAM, 16 QAM, QPSK, BPSK	64 QAM, 16 QAM, QPSK, BPSK	64 QAM, 16 QAM, QPSK, BPSK
Potencia de Transmisión	De subida hasta 32 dBm	De subida hasta 37 dBm	27 dBm
Ganancia Antena	Antena externa de 60°,90°,120° Omnidireccional	Antena externa de 60°,90°,120° Omnidireccional	5,8 T1 de 60° 12 dBi 3,5 T1 de 15° 18 dBi 3,5 T1 de 60° 12 dBi
Sensibilidad	-115 dBm (1/16) -100 dBm (1/1)	-115 dBm (1/16) -100 dBm (1/1)	-115 dBm (1/16) -100 dBm (1/1)
<b>PRECIO</b>	<b>\$35000,00</b>	<b>\$21000,00</b>	<b>\$3100,00</b>

Una vez establecido los parámetros de las estaciones base se realiza el mismo procedimiento con los CPE que posee AIRSPAN como se muestra en la tabla 3.10:

**Tabla. 3.10. Características de CPEs. AIRSPAN**

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>PRIMEMAX</b>	<b>EASYST</b>	<b>PROST</b>
Estándar	IEEE 802.16-2004	IEEE 802.16-2004	IEEE 802.16-2004
Banda de Frecuencias	3,4-3,6GHz	3,4-3,6GHz	3,4-3,6GHz
Capa Física	OFDM 256 FFT	OFDM 256 FFT	OFDM 256 FFT
Modo Dúplex	HFDD, TDD	HFDD, TDD	HFDD, TDD
Modulación	64 QAM, 16 QAM, QPSK, BPSK	64 QAM, 16 QAM, QPSK, BPSK	64 QAM, 16 QAM, QPSK, BPSK
Potencia de Transmisión	24 dBm	De subida hasta 23 dBm	De subida hasta 23 dBm
Ganacia Antena	Antena externa de 60°,90°,120° Omnidireccional	6 dBi 4x90 Omnidireccional	15 dBi, 18 dBi
Sensibilidad	-98 dBm	-98 dBm	-98 dBm
<b>PRECIO</b>	<b>\$825,00</b>	<b>\$436,00</b>	<b>\$610,00</b>

## **APERTO**

Aperto Networks constituye una empresa que forma parte del WiMAX Forum para la certificación de equipos e infraestructura de redes inalámbricas WiMAX. De sus productos los que sobresalen son aquellos con tecnología PacketMAX®, ya que una de sus características es la de ofrecer precios asequibles inalámbrica de voz y datos de banda ancha para empresas de servicios. Adicionalmente trabaja con equipos como son estaciones base y suscriptoras que pueden adaptarse en frecuencias de operación con licencia y sin licencia [19].

### **Estaciones base:**

PacketMAX a través de sus estaciones base proporciona la interconexión de diferentes tipos de servicios como: voz, vídeo, datos y multimedia que se encuentran disponibles para suscriptores fijos como móviles, convirtiéndose de

esta forma en una solución multiservicio. Pudiendo operar en bandas con y sin licencia. Cada uno de los diferentes tipos de estaciones base brindan desde un despliegue en un solo sector hasta 4 o más sectores.

### ***Estaciones Suscriptoras PacketMAX***

Este tipo de estaciones suscriptoras brindan un servicio a un costo bajo y con una gran flexibilidad para el cliente. Combinando los beneficios que presenta WiMAX y con el acceso que posee WiFi. Brinda al usuario una velocidad de ancho de banda elevada, sea en ambientes interiores como en campus y carreteras; ya sea fijo o móvil. Posee una antena dual que garantiza un aprovechamiento óptimo de la misma debido a su orientación independiente.

Las figuras 3.10 y 3.11 muestran los equipos que forman parte de la familia PacketMAX:



**Figura. 3.10. Estaciones base APERTO**



**Figura. 3.11. Estaciones suscriptoras APERTO**

Aperto ofrece productos con nuevas capacidades como servicios de multi-diseño inteligente, que son altamente escalables y tienen alta capacidad de cobertura. Cabe recalcar que PacketMAX se convirtió en la primera estación base WiMAX Forum Certificada en el 2006 y hoy sigue siendo la principal estación base utilizada para pruebas de interoperabilidad por el WiMAX Forum.

Aperto ha contribuido para el desarrollo de estándares con el fin industrializar los sistemas WiMAX y de esta forma disminuir los costos tanto de instalación como el de operación de la red y permitir que un mayor número de personas puedan tener acceso a los beneficios que brinda dicha red. En la tabla 3.11 se puede observar las características de los equipos de dicha empresa.

**Tabla. 3.11. Características de los equipos de Aperto**

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>ESTACIÓN BASE PACKETMAX</b>	<b>CPE PACKETMAX</b>
Modelos	PacketMax 5000 PacketMax 3000 PacketMax 2000	PacketMax 100 PacketMax 300 PacketMax 500
Estándar	802.16d	802.16d
Modo dúplex, física	TDD, OFDM 256 FFT	TDD, OFDM 256 FFT
Banda de Frecuencia	2,5; 3,5; 5 GHz	2,5; 3,5; 5 GHz
Potencia de Transmisión	17 dBm, 20 dBm, 30 dBm	PM 100:19 dBm, PM 300/PM500: 19 dBm
Interfáz	100/1000 Ethernet PM 5000 10/100 Ethernet PM 3000 y PM 2000	10/1000 Ethernet
<b>PRECIO</b>	N/D	N/D

## **AXXCELERA BROAD BAND WIRELESS**

Axxcelera *Broad Band Wireless* brinda productos con tecnología inalámbrica de banda ancha para acceso a Internet, además forma parte del Foro WiMAX.

Esta compañía fabricó varios equipos que trabajan en diferentes bandas de frecuencias como las familias ExxcelMax y el AB – MAX.

ExxcelMax y el AB – MAX son equipos de banda ancha que son usados no solo en empresas, si no también en el mercado residencial, ya que operan en bandas de frecuencia con y sin licencia [20].

Estos equipos trabajan con el estándar de WiMAX fijo y para su funcionamiento no requieren de línea de vista (NLOS), además proveen QoS lo cual permite ofrecer a cada usuario diferentes tipos de servicios.

### **Estaciones Base**

En cuanto a las estaciones base de ExcelMAX, pueden trabajar en modo punto a multipunto en las bandas de frecuencia licenciadas de 3.3 a 3.8 GHz, otra característica sobresaliente es que soporta tres modos de duplexación Full Duplex y Half Duplex.

Otro tipo de estación base de AXXCELERA como se mencionó anteriormente lo constituye la familia AB-MAX, cuyos equipos trabajan en las bandas de frecuencia ISM (bandas que no requieren licencia para la operación de equipos) correspondiente a los 5 GHz, específicamente en 5.25 – 5.35 GHz, 5.47 – 5.725 GHz y 5.725 – 5.850 GHz. Su funcionamiento es similar al de la familia ExcelMAX, con lo cual se puede obtener un mayor rendimiento de la red.

A través de estas estaciones base se puede ofrecer fiabilidad y alta calidad, con lo que se puede ofrecer diversos servicios como datos, voz y vídeo garantizando su operación sobre cualquier tipo de terreno o ambiente. AXXCELERA proporciona también una gestión de la red, suministro y herramientas de configuración, para realizar una instalación y mantenimiento de manera muy simple. Las figuras 3.12 y 3.13 muestran diferentes tipos de estaciones-base ofertados por dicha empresa.



Figura. 3.12. Estación base ExcelMAX



Figura. 3.13. Estación base AB-MAX

### Estaciones Suscriptoras

Las estaciones suscriptoras de AXXCELERA también se distribuyen de acuerdo al tipo de familia, es así que ExcelMAX ha diseñado el CPE para operar en el espectro de frecuencias comprendido entre los 3.3-3.8 GHz. Este CPE es compatible con los diferentes proveedores de servicios de banda ancha, además ofrece una excelente calidad en servicios de voz, vídeo y datos a empresas y usuarios residenciales.

Los suscriptores de AB-MAX de la misma forma que en el caso anterior son totalmente compatibles con las estaciones base de su familia, ya que están orientados al trabajo en bandas de frecuencia no licenciadas, específicamente en la banda de 5 GHz. Sus características de funcionamiento permiten brindar calidad de servicio y la posibilidad de ubicar su antena en la parte externa de cualquier edificación. En las figuras 3.14 y 3.15 se puede observar las diferentes presentaciones en cuanto a estaciones suscriptoras con las que cuenta AXXCELERA.



Figura. 3.14. CPE ExcelMAX



Figura. 3.15. CPE AB-MAX

La tabla 3.12 muestra los parámetros más representativos de las estaciones base y suscriptoras de AXXCELERA, los mismos que deben ser tomados en cuenta para la selección de los equipos para la implementación de la red.

Tabla. 3.12. Características de los equipos AXXCELERA

CARACTERISTICAS	EXXCELMAX	AB - MAX
Banda de Frecuencia	3,3 - 3,8 GHz	5,25 - 5,35 GHz, 5,47 - 5,725 GHz, 5,725 - 5850 GHz
Estándar	802,16 – 2004	802,16 - 2004
Capa Física	OFDM	OFDM
Modo de duplexión	Full Duplex FDD, Half Duplex FDD, TDD	Full Duplex FDD, Half Duplex FDD, TDD
Ancho de Canal	14 MHz (opcional), 10 MHz , 7 MHz, 3,5 MHz y 1,75 MHz	5 MHz, 10 MHz, 15 MHz Y 20 MHz
Tipo de Modulación	64 QAM, 16QAM, QPSK, BPSK	64 QAM, 16QAM, QPSK, BPSK
Potencia de Transmisión	27 dBm	18 dBm 21 dBm (opcional)
Sensibilidad de Recepción	- 100 dBm	- 92 dBm
Ganancia de la Antena	Antena Externa 16,5 dBi (60°), 14 dBi (90°), 10 dBi (omnidireccional)	18 dBi
Interfaz	10/100 Base T Full Duplex	100 Base T Ethernet
<b>Precio</b>	<b>\$3200,00</b>	<b>\$3700,00</b>

## PROXIM

PROXIM es una empresa que se especializa en la fabricación de equipos para tecnologías WiMAX y pre-WiMAX. Su principal objetivo es el de proporcionar una alta velocidad de transmisión, un gran alcance inalámbrico de banda ancha tanto en zonas rurales como metropolitanas, permitiendo de esta manera un acceso a datos, voz y aplicaciones de vídeo.

Al igual que la mayoría de fabricantes que pertenecen al WiMAX Forum, esta empresa tiene una familia de equipos conformada por estaciones base y unidades de abonados, llamada Tsunami la misma que se generó para tener y acelerar la introducción de servicios de acceso inalámbrico de banda ancha, de manera eficiente y a bajo costo.

### Estaciones Base y Suscriptoras

Dentro de la familia de equipos Tsunami existe la serie MP.16 la misma que opera en la banda licenciada de los 3,5 GHz, ofrece flexibilidad y calidad de servicio QoS. Sus equipos pueden ser instalados bajo condiciones climáticas extremas.

La estación base de esta serie (MP.16) puede tener enlaces punto a punto y punto multipunto y bajo una transmisión segura de datos tanto para exteriores como para interiores (*out-door e in-door*).

Estos equipos manejan anchos de banda elevados pudiendo soportar aplicaciones como vídeo vigilancia inalámbrica y a la vez cumplir con ciertas condiciones necesarias para brindar seguridad inalámbrica.

Otra serie como la MP.11 opera en bandas de frecuencia con y sin licencia. Para un rango de operación en los 2,4 GHz, 5,4 GHz y 5,8 GHz en la banda licenciada y las bandas de frecuencia sin licencia de 4,9 GHz. En las figuras 3.16 y 3.17 se muestran tanto de la estación base como suscriptoras [21].



Figura. 3.16. Estación base PROXIM

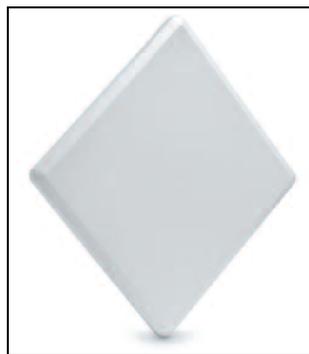


Figura. 3.17. CPE PROXIM

Como en los anteriores casos resulta fundamental resumir en una tabla las principales características técnicas de los equipos PROXIM, en la tabla 3.13 se realiza el análisis entre las familias de productos tanto para estaciones base como unidades suscriptoras:

Tabla. 3.13. Características de equipos PROXIM

CARACTERISTICAS	TUSAMI MP.11 2454 - R	TUSAMI MP.16 3500
Banda de Frecuencia	5,25 - 5,35 GHz, 5,47 - 5,725 GHz, 5,725 - 5850 GHz	3,400 - 3,600 GHz
Estándar	802,16 – 2004	802,16 - 2004
Modo de Duplexación	TDD	TDD
Ancho de Canal	5,3 MHz	3,5 MHz
Capa Física	OFDM 256 FFT	OFDM 256 FFT
Tipo de Modulación	OFDM, BPSK, QPSK, 16 QAM, 64QAM	OFDM, BPSK, QPSK, 16 QAM, 64QAM
Potencia de Transmisión	21 dBm	21 dBm
Ganancia de la Antena	SS Antena Interna 23 dBi BS depende de la antena externa	SS Antena Interna 18 dBi, Antena externa omnidireccional 8 dBi
Interfaz	10/100 Base T Full Duplex	10/100 Base T Full Duplex
<b>Precio</b>	<b>\$3100,00</b>	<b>\$2800,00</b>

### 3.2. Selección de equipos

Con referencia al análisis de los equipos presentados en párrafos anteriores se muestra que existe una gran cantidad de equipos que pueden ser utilizados en sistemas WiMAX. Además la mayoría de fabricantes a nivel mundial han desarrollado la más alta tecnología para todo tipo de usuarios.

En la selección de equipos fue necesario el estudio de los diferentes fabricantes a fin de conocer tanto los equipos como sus parámetros técnicos de funcionamiento, así como también se debe tomar en cuenta la facilidad de conseguir estos equipos en el mercado nacional o importarlos directamente de sus casas fabricantes, considerando el presupuesto económico disponible.

La selección correcta de los equipos a ser instalados dan como resultado un incremento en la productividad por las altas velocidades que proporciona la red, lo cual provocará el desarrollo general de la comunidad politécnica de la ESPE, aunque una mala elección de componentes podría provocar que el sistema no cumpla con las expectativas creadas para la implementación de la red, con lo cual se generaría una red muy lenta, insegura o inestable.

Para la selección se consideró un análisis entre diferentes fabricantes tomando en cuenta sus características técnicas, así como los costos que representarían su instalación en el campus.

Los equipos seleccionados deben cumplir con las siguientes características:

- Basen su funcionamiento en el protocolo 802.16-2004.
- Trabajen con modulación OFDM.
- Operen en la Banda de Frecuencia de 5.8 GHz por ser una banda libre y que no requiere de licencia.
- La estación base debe tener la opción de utilizar antena externa ya que se necesita una antena omnidireccional.
- Compatibilidad con las redes existentes.

Una vez realizado el análisis de cada una de los fabricantes se ha llegado a determinar que los equipos más utilizados en la actualidad son de las compañías Alvarion, Aperto, y Airspan con lo cual se tiene mayor información disponible de su desempeño en implementaciones reales, además que cumplen con los requerimientos técnicos antes mencionados. Sin embargo el fabricante que mayores ventajas presenta es Alvarion, ya que a través de las estaciones base y suscriptoras que forman parte de la familia BreezeACCESS se puede implementar una red con alta calidad de servicio (QoS), así como lograr eficiencia espectral y ahorro en el consumo de energía. Además cumple con el requerimiento fundamental de operar con una velocidad de transmisión de 10 Mbps, la misma que fue determinada luego del análisis del tráfico generado por las dependencias del campus.

Es importante considerar que los equipos de la familia BreezeACCESS incluyen varios tipos de antenas de acuerdo a la aplicación, en el caso de la red diseñada para el campus de la ESPE se debe tener en cuenta el costo-beneficio, ya que si bien es cierto una antena direccional presenta mayores ventajas, pero sus costos son muy elevados, y para la implementación del presente diseño resulta más conveniente la utilización de antenas omnidireccionales ya que en primera instancia se ha llegado a determinar que debido a la topografía e infraestructura del campus la misma que presenta edificaciones a distancias relativamente cortas de la estación base y cercanas entre sí, por lo que no se tendría mayor pérdida de la señal y se puede reducir la potencia de transmisión; por otra parte se produce una disminución considerable en cuanto a los costos de implementación con este tipo de antena, claro está manteniendo la calidad de los servicios proporcionados por la red.

En el siguiente capítulo se determinan los parámetros técnicos que se requieren para brindar una excelente cobertura y tasas de transmisión adecuadas por parte de la red diseñada.

## CAPITULO 4

### SIMULACIÓN DE LA RED

#### 4.1 Simulación en SIRENET

En la actualidad los sistemas computacionales para la simulación de los diferentes tipos de redes de comunicación, constituyen una excelente herramienta para conocer y predecir el comportamiento de dichas redes.

Existen dos tipos de simuladores: el primero constituyen simuladores con licencia (se requiere comprar dicho software especializado), mientras existen otro tipo de simuladores cuya utilización es libre.

Los simuladores empleados en el presente proyecto constituyen herramientas de gran valor ya que facilitan la planificación de redes radio y lo importante en ellos es que se pueden simular redes WiMAX, apegándose lo más cercano posible a la realidad, ya que se incluyen modelos de propagación como el caso del Modelo SUI.

En el caso específico de SIRENET (*Simulation of RadioElectric NETWORKS*) en su versión 3.0, es un software de simulación desarrollado por la compañía española Intelia que cuenta con licencias para su utilización, el mismo que facilita la planificación y gestión de redes radioeléctricas.

En SIRENET se puede resaltar el hecho de que contiene un sistema de información geográfica que permite a través de cartografía digital representar simulaciones radioeléctricas, con los algoritmos de cálculo más difundidos nivel internacional en cuanto a comunicaciones inalámbricas.

A SIRENET se la puede conocer también como una herramienta de planificación que permite trabajar con todo tipo de servicios radioeléctricos y tecnologías, resultando una aplicación adecuada para el diseño de redes de radiodifusión, servicios móviles, servicio fijo, etc.

#### **4.1.1 Programación**

En primer lugar SIRENET presenta una interfaz gráfica amigable para el usuario, lo cual permite aprovechar al máximo sus capacidades, permitiendo inclusive la creación o modificación de parámetros predefinidos para un determinado estudio, lo cual representa una característica importante al momento de la simulación de redes o enlaces entre sus diferentes nodos, ya que la programación en este software resulta relativamente sencilla y los resultados obtenidos son fiables y fáciles de interpretar.

SIRENET basa su funcionamiento en la creación de "estudios" con diferentes funcionalidades [22]. Dichos estudios tienen diversos grados de complejidad que van desde el análisis de la propagación radioeléctrica entre dos puntos hasta el establecimiento de la cobertura radioeléctrica de un determinado sistema de comunicación inalámbrico compuesto por varias estaciones y en cualquier tipo de ambiente de propagación.

De acuerdo con lo expresado anteriormente se puede determinar que la programación en la herramienta SIRENET es muy sencilla e intuitiva ya que consta de un conjunto de menús y ventanas que van guiando al usuario en los pasos que se deben seguir para la obtención de los resultados esperados.

Los estudios hacen uso de las entidades de base de datos, las mismas que presentan grandes beneficios, ya que si por ejemplo un perfil requiere de un transmisor y de un receptor entre los cuales se analizará la propagación radioeléctrica; distintos estudios pueden hacer uso de las mismas entidades de base de datos y de esta manera estudiar posteriormente su cobertura radioeléctrica en un área determinada e inclusive analizar su cobertura conjunta

dentro de una red en un estudio de cobertura múltiple, todo lo cual representa ahorro de tiempo y recursos adicionales para la programación.

Los resultados de los estudios realizados pueden ser almacenados, impresos y exportados a formatos de las aplicaciones más representativas en los sistemas informáticos, lo que permite un análisis más profundo y detallado de los resultados obtenidos, como por ejemplo hacer uso de herramientas de amplia difusión en Internet como es el caso de Google Earth, a partir de cualquier estudio que se realice en SIRENET.

Este sistema de almacenamiento y estructura en base de datos que proporciona SIRENET, además permite la gestión de todos los estudios y elementos radioeléctricos de manera ordenada, permitiendo establecer grupos de estudios, emplazamientos y estaciones asociados a una misma red o tecnología.

### **Consideraciones del simulador**

Para que el usuario pueda aprovechar todas las ventajas con las que cuenta SIRENET, éste tendrá que contar con:

- Instalador del programa
- Llave hardware
- Fichero de permisos

Dichos elementos son entregados por la empresa creadora del simulador, Intelia Consultores. Adicionalmente para el presente proyecto se requirió realizar una petición a esta empresa de elementos cartográficos como:

- Modelo Digital del Terreno de la zona donde se desean realizar los cálculos (Ecuador).
- Mapa imagen sobre el que representar los resultados (al menos un mapa imagen).

Finalmente es necesario determinar las características mínimas con las que debe contar el computador personal que se utilice para la simulación de un determinado estudio, para el máximo aprovechamiento de las capacidades de la herramienta. A continuación se presentan dichas características tanto en equipos como en sistemas operativos:

**Hardware:**

- Procesador Intel Pentium IV o AMD K7
- 60 GB de disco duro
- 512 MB RAM
- Unidad CD-ROM
- Tarjeta de vídeo de 128 MB

**Software:**

- SIRENET ha sido desarrollado para ser instalado en una plataforma de Windows 95/98/2000, Windows NT o Windows XP/SP2.

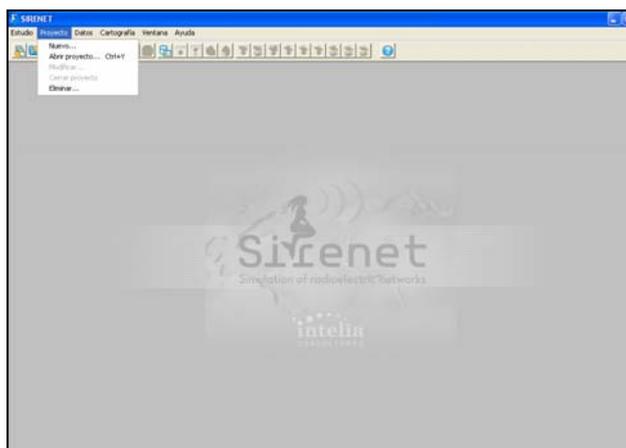
**Ubicación de los parámetros de diseño**

Con la finalidad de conocer las características en cuanto a cobertura de la red inalámbrica a ser diseñada en el campus politécnico bajo el estándar 802.16-2004 se ha realizado la simulación empleado el software SIRENET, que en la actualidad es uno de los programas en el cual se obtienen los mejores resultados con relación a este tipo de redes.

A continuación se realiza una descripción del procedimiento que se debe seguir para obtener la simulación de la red, a través de una selección y ubicación adecuada de sus diferentes parámetros.

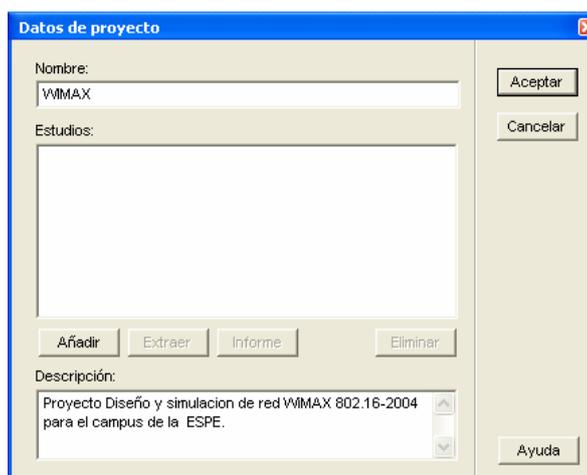
**Procedimiento:**

En primer lugar se crea un nuevo proyecto en el simulador SIRENET como se muestra en la figura 4.1, con la finalidad de guardar dentro de esta carpeta todos los estudios que se vayan a crear, para organizar de manera adecuada la información que se vaya ingresando y generando.



**Figura. 4.1. Ventana de inicio del simulador Sirenet**

A continuación se establece el nombre del proyecto y de forma opcional una breve descripción de éste, como se observa en la figura 4.2:



**Figura. 4.2. Ingreso del nombre y descripción del proyecto**

Una vez creado el proyecto se procede a la especificación de un nuevo estudio para determinar en cada uno de ellos las diferentes características de la red, lo cual se puede realizar como se indica en la figura 4.3.

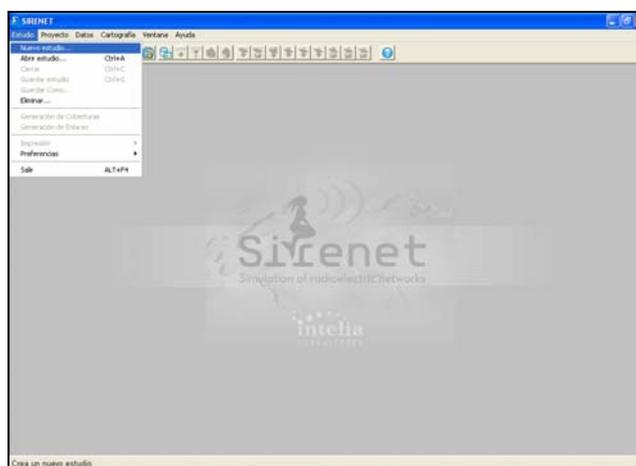


Figura. 4.3. Creación de un estudio

Al abrir un nuevo estudio aparece la ventana que se muestra en la figura 4.4 en donde se encuentran todos los “estudios disponibles” que posee la herramienta SIRENET. Debido a esto el principal parámetro que se requiere obtener en SIRENET constituye la cobertura, la misma que está relacionada con las características de las estaciones a emplearse, por ende es éste el parámetro que se selecciona para el proyecto.

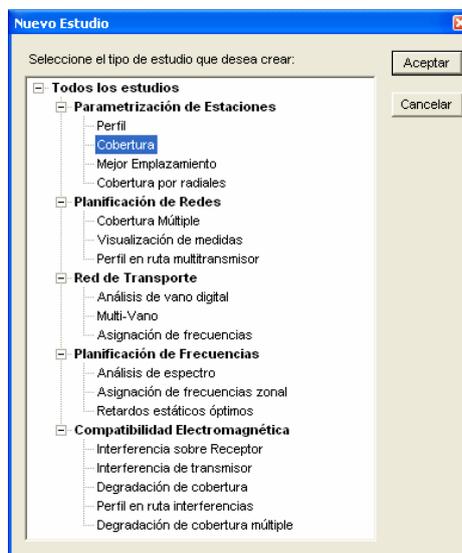
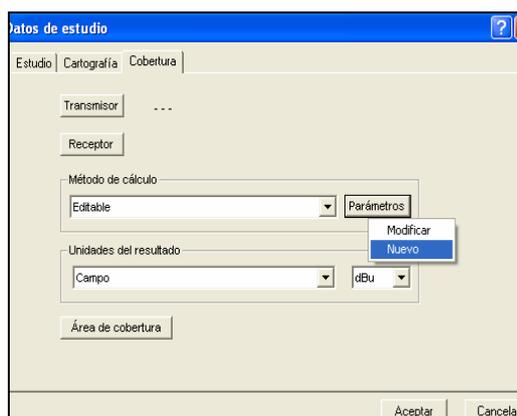


Figura. 4.4. Selección del estudio a crear

Luego que se selecciona el tipo de estudio aparece la ventana como se observa en la figura 4.5 en la cual se pueden ingresar los parámetros generales que serán utilizados en todas las simulaciones dentro de este estudio, los mismos que están relacionados con el tipo de cartografía (para el presente proyecto mapas del Ecuador), así como el modelo de propagación que se lo puede elegir, modificar o crear en la opción Métodos de Cálculo.



**Figura. 4.5. Parámetros generales del estudio**

Para el análisis de la cobertura que tendrá el sistema WiMAX, como se mencionó en los tipos de modelos de propagación, el método más adecuado resulta ser el modelo SUI. Sin embargo el programa SIRENET no cuenta con este tipo de modelo, por lo cual es necesaria su creación.

En este sentido en SIRENET se puede crear o modificar un modelo de propagación de manera sencilla, ya que cuenta con una interfaz que le permite al programador tomar en cuenta todos los parámetros y detalles que debe tener un modelo para simular de manera eficaz el medio y los factores que inciden en la propagación de las señales.

Resulta entonces de vital importancia el análisis de la creación de un nuevo modelo de cálculo de propagación tanto para el presente proyecto como para otros estudios que se realicen utilizando la herramienta SIRENET, por lo cual a continuación se presenta el procedimiento a seguir al momento de crear un nuevo modelo para la simulación de la red WiMAX.

### Creación de un modelo de propagación

Para la creación del nuevo modelo de propagación en la figura anterior se selecciona el método de cálculo llamado Editable; una vez seleccionada dicha opción aparece la ventana mostrada en la figura 4.6 en la cual se va a introducir todos los parámetros para el establecimiento del nuevo modelo y de esta manera lograr resultados satisfactorios, que traten en lo posible de representar el comportamiento de la red en un entorno real.

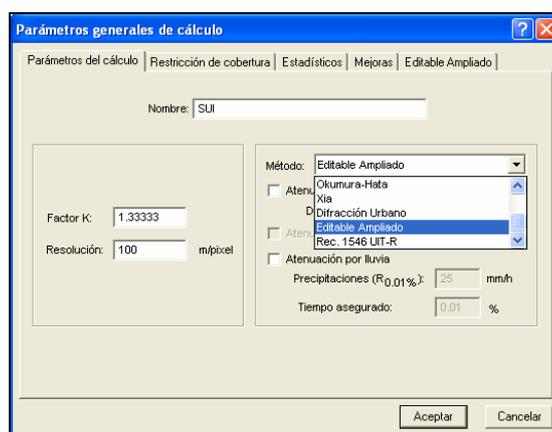


Figura. 4.6. Parámetros de cálculo

El primer paso de la creación del método es su identificación, en este caso particular se lo denomina SUI. Luego en la opción Método se selecciona Editable Ampliado con el propósito de ingresar las variables que son componentes de este método como: frecuencia, distancia y entorno tomando en cuenta el tipo de terreno en el cual se desplegará la red por ejemplo si es un ambiente con obstrucciones, etc.

Otro parámetro de relevancia a considerar es el factor k (factor de corrección del radio de curvatura de la Tierra) que depende directamente de la ubicación geográfica y de la zona climática donde se quiere realizar el estudio, en este caso se selecciona un factor  $k=4/3$  que corresponde al Ecuador.

A continuación y una vez seleccionado el método Editable Ampliado, aparece la siguiente ventana en la cual se ingresa una fórmula que representa los distintos factores que intervienen para la atenuación de la señal de acuerdo al

modelo de propagación. Por lo antes mencionado es indispensable el análisis y los cálculos realizados para la obtención de dicha fórmula.

La expresión general que incluye los factores de corrección para el modelo SUI, la cual será ingresada en el programa de simulación corresponde a la ecuación (3.8), de la cual parte el siguiente análisis:

$$A = 20 \log \frac{4\pi d_0}{\lambda} = 20 \log \frac{4\pi d_0 f}{C}$$

$$A = 20 \log \frac{4\pi d_0 f}{3 \times 10^8}$$

Del capítulo 3 se determina el valor de la constante  $d_0=100$ , debido a que en la ecuación 3.8, se establece que dicha distancia de referencia ( $d_0$ ) debe ser menor a la distancia del enlace entre la estación base y las estaciones suscriptoras, la misma que no supera un kilómetro en cuanto a la cobertura en el campus politécnico de la ESPE.

$$A = 20 \log \left( \frac{4\pi 100 f}{3 \times 10^8} \right) = 20 \log \left( \frac{400\pi f}{3 \times 10^8} \right)$$

$$A = 20 \log(4,188 \times 10^{-6}) + 20 \log(f)$$

$$A = -107,558 + 20 \log(f)$$

Ahora se calcula  $\gamma$  que representa el coeficiente de pérdida de trayectoria, el mismo que depende de las constantes de diferentes tipos de terreno de la tabla 3.5. Para el caso del campus politécnico se ha seleccionado el tipo C (Relativamente plano con ligera densidad de árboles), debido a que éste cumple con las características del entorno y topografía del campus. De la ecuación 3.7 se tiene:

$$\gamma = a - bh_b + \frac{c}{h_b}$$

Donde las constantes de acuerdo a la categoría del terreno (Tipo C) son:

$$a = 3,6; \quad b = 0,005; \quad c = 20$$

Con  $h_b$  que representa la altura de la estación base. Como se mencionó en el capítulo tres correspondiente al diseño de la red, la estación base se ubicará en el Edificio Administrativo el mismo que cuenta con una altura aproximada de 22 m, que será empleado en la ecuación (4.4).

$$\gamma = 3.6 \cdot 0.005 \cdot 22 + \frac{20}{22}$$

$$\gamma = 4,399$$

Reemplazando estos valores en la ecuación (4.2) se tiene:

$$P_L = 107,558 + 20\log(f) + 10 \cdot 4,399 \cdot \log \frac{d}{d_0} + s$$

Donde  $s$  representa el efecto de *shadowing*, para el cual se asume un valor comprendido entre 8 y 10 dB, en el caso de este análisis se escogió un valor de 8,2 dB que corresponde al tipo de terreno seleccionado.

$$P_L = 107,558 + 20\log(f) + 43,99 \cdot \log \frac{d}{100} + 8,2$$

$$P_L = 107,558 + 20\log(f) + 43,99 \cdot \log(d) - 43,99 \cdot \log(100) + 8,2$$

$$P_L = 107,558 + 20\log(f) + 43,99 \cdot \log(d) - 87,98 + 8,2$$

$$P_L = 187,34 + 20\log(f) + 43,99 \log(d)$$

Ahora se procede al cálculo de los factores de corrección en cuanto a la frecuencia y a la altura de la antena suscriptor.

Para el factor de corrección de frecuencia se realiza el cálculo para obtener una expresión en Hz, y de esta manera sumarlo a la expresión general.

$$\Delta P_{Lf} = 6 \log\left(\frac{f}{2000}\right), \quad f \text{ es la frecuencia en MHz}$$

$$\Delta P_{Lf} = 6 \log(f) - 6 \log(2000)$$

$$\Delta P_{Lf} = 6 \log(f \cdot 10^{-6}) - 6 \log(2000)$$

$$\Delta P_{Lf} = 6 \log(f) + 6 \log(1 \cdot 10^{-6}) - 6 \log(2000)$$

$$\Delta P_{Lf} = 6 \log(f) - 55,81 \text{ (dB)}$$

En cuanto al factor de corrección de la altura de la estación suscriptor comprendida entre 2 y 8 m, se ha seleccionado un valor de 5 m, debido a que éste es un valor promedio de las alturas de los edificios del campus en los cuales se instalarán las antenas suscriptoras.

$$\Delta P_{Lh} = -10,8 \log\left(\frac{h}{2}\right)$$

$$\Delta P_{Lh} = -10,8 \log(h) + 10,8 \log(2)$$

$$\Delta P_{Lh} = -10,8 \log(h) + 3,25$$

$$\Delta P_{Lh} = -10,8 \log(5) + 3,25$$

$$\Delta P_{Lh} = -4,297 \text{ (dB)}$$

Finalmente reemplazando todos los valores calculados en la expresión general (4.1), se obtiene una ecuación en función de la frecuencia en (Hz) y la distancia en (m).

$$P_{L\text{modificado}} = -187,34 + 20 \log(f) + 43,99 \log(d) + 6 \log(f) - 55,81 - 4,297$$

$$P_{L\text{modificado}} = -247,441 + 26 \log(f) + 43,99 \log(d) \quad (4.1)$$

Una vez encontrada la expresión que representa las pérdidas que se producen en un sistema WiMAX de acuerdo al modelo de propagación SUI, es necesaria la transformación de dicha expresión para ser introducida en el programa SIRENET, el mismo que requiere que la ecuación se encuentre en

función de la frecuencia en (GHz) y la distancia en (m), con lo cual se obtiene la siguiente expresión:

$$P_{L_{\text{modificado}}} = 187,34 + 20 \log(f) + 43,99 \log(d) + 6 \log(f) - 55,81 - 4,297$$

$$P_{L_{\text{modificado}}} = 247,441 + 26 \log(f \cdot 10^9) + 43,99 \log(d)$$

$$P_{L_{\text{modificado}}} = 247,441 + 26 \log(f) + 26 \log(1 \cdot 10^9) + 43,99 \log(d)$$

$$P_{L_{\text{modificado}}} = -13,441 + 26 \log(f) + 43,99 \log(d)$$

Una vez que se ha obtenido la ecuación que representa las pérdidas de propagación de la señal se procede a introducir los valores obtenidos en la ventana de la figura 4.7 correspondiente al método Editable Ampliado.

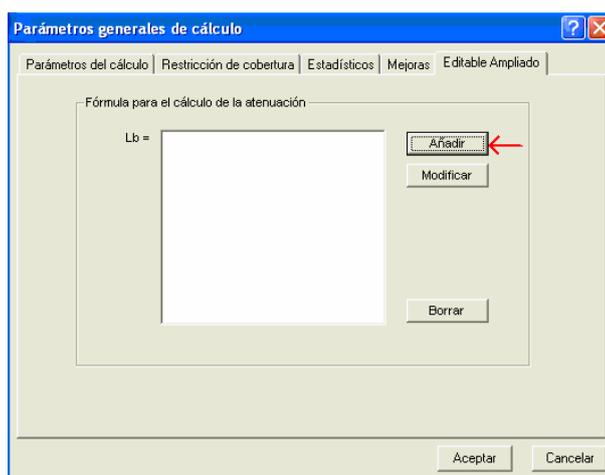


Figura. 4.7. Parámetros del método Editable Ampliado

En la ventana anterior se selecciona la opción Añadir para ingresar cada una de las constantes que forman parte de la fórmula general obtenida, se ingresa de forma individual como se ve en la figura 4.8, en este caso se trata de la primera constante en la cual una vez ingresado el valor se presiona la opción Aceptar, y se repite este procedimiento para las otras dos constantes de la fórmula tanto para la frecuencia como para la distancia:

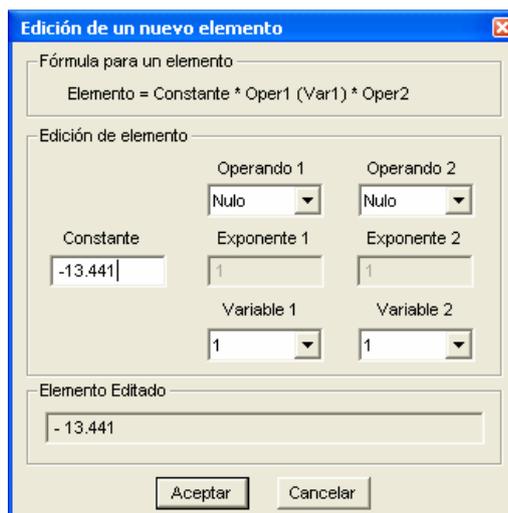


Figura. 4.8. Edición del primer elemento del método Editable Ampliado

Una vez ingresado los tres valores del modelo de propagación se obtiene la ventana mostrada en la figura 4.9 en la cual se puede verificar que la fórmula se encuentre escrita correctamente y con sus respectivas variables, las cuales serán de gran importancia ya que una vez aceptado este modelo, los valores tanto en frecuencia como en distancia podrán ser modificados por el usuario, de acuerdo al sistema a ser analizado:

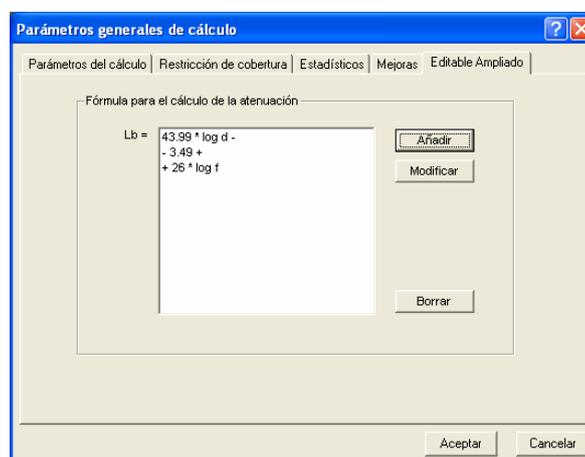
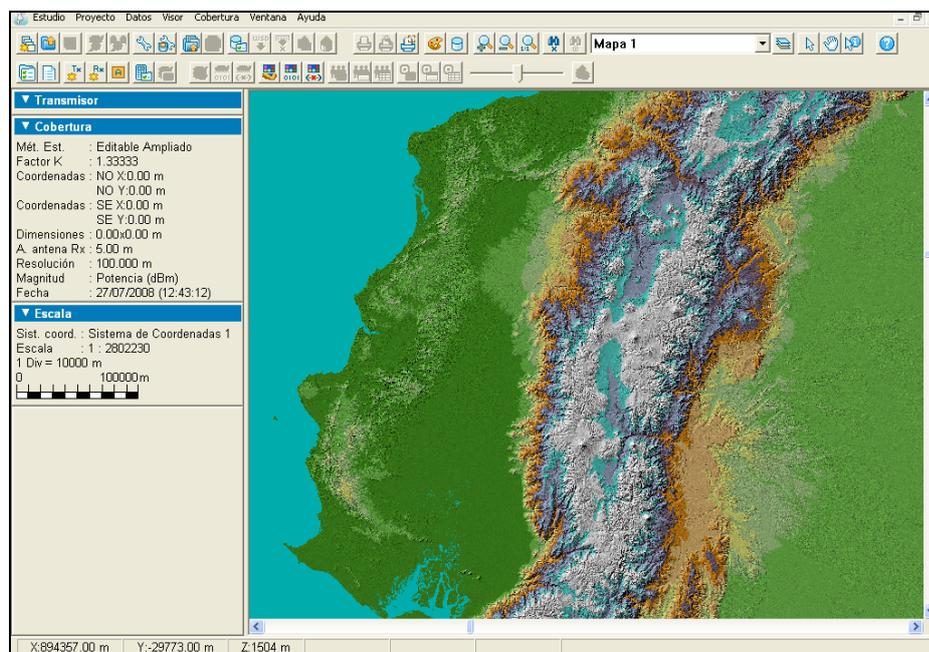


Figura. 4.9. Parámetros ingresados para el método Editable Ampliado

### ***Características del Transmisor y Receptor***

Luego de seleccionar los parámetros generales para la cobertura, el programa muestra su página principal de trabajo, donde se encuentran cargados

los mapas seleccionados tanto los mapas visuales que permiten al usuario una ubicación en el punto determinado de acuerdo a la ciudad en la que se encuentre, así como los mapas de altimetría en los cuales se encuentran ubicadas los diversos parámetros topográficos de cada región del Ecuador como por ejemplo montañas, nevados, llanuras, etc., como se puede observar en la figura 4.10:



**Figura. 4.10. Área de trabajo de SIRENET**

Una vez que se han cargado los mapas se puede empezar a trabajar con los distintos componentes de la red. En primer lugar se configuran los parámetros del transmisor, para luego continuar con el receptor y generar los resultados esperados.

Sobre la barra de herramientas se presiona el icono  con el cual se accede a la ventana general de los parámetros del transmisor, los mismos que pueden ser modificados de acuerdo a las necesidades de la red y a las características propias de los equipos y en base al diseño desarrollado en el capítulo 3.

Es necesario acotar que los valores que se ubicarán en el programa corresponden a los equipos de la familia BreezeACCESS del fabricante Alvarion, para obtener una simulación que se aproxime a su desenvolvimiento en la

realidad, y de esta manera determinar si la elección de estos equipos que se realizó en el capítulo correspondiente al diseño de la red fue la más idónea para su implementación en el campus politécnico, ya que dicha elección se realizó en base a la comparación tanto de parámetros técnicos, características teóricas de rendimiento y costos del sistema en general entre varios fabricantes del mercado.

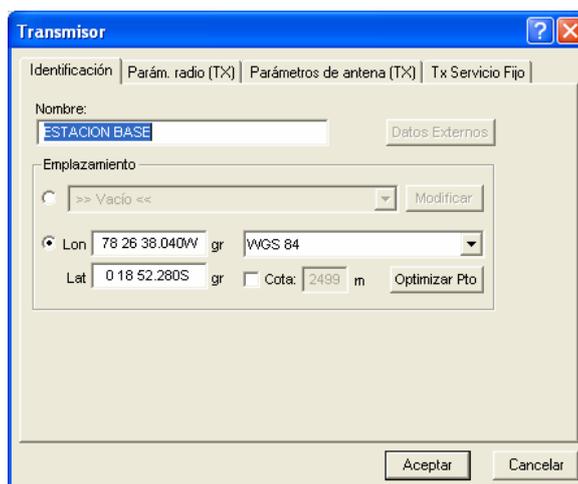


Figura. 4.11. Parámetros de identificación del transmisor

En la ventana general del transmisor que se muestra en la figura 4.11, es fundamental la parte correspondiente a la Identificación del equipo ya que en ella se ingresan parámetros como coordenadas geográficas de la estación base, las mismas que pertenecen al Edificio Administrativo que además fueron tomadas con la ayuda de un GPS y comparadas para verificar su grado de precisión con los datos que proporciona el programa Google Earth. Por ello este paso tiene enorme importancia en el proceso de simulación debido a que los mapas proporcionados por el programa SIRENET presentan gran exactitud en cuanto a la descripción topográfica y de altitudes del terreno por lo cual, un error en la ubicación de una coordenada determinada provocaría que el resultado obtenido no sea el más preciso y no refleje los posibles escenarios que puede presentar la red al momento de su funcionamiento.

Como siguiente paso se definen los parámetros del equipo radio base que forman parte del transmisor, como se puede observar en la figura 4.12, en la opción tipo de Servicio se selecciona: WiMAX que es un sistema de última milla de acceso inalámbrico el mismo que se adapta al sistema diseñado para el

campus. Además se selecciona un valor de frecuencia de referencia correspondiente a la banda libre que se va a emplear, en este caso 5,8 GHz.

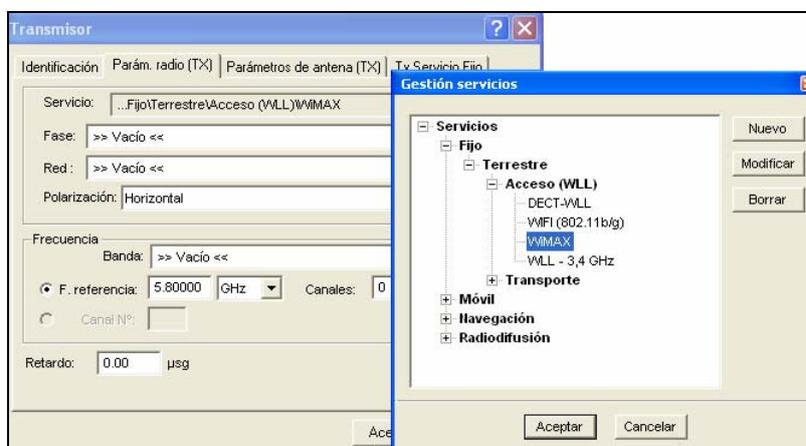


Figura. 4.12. Selección del servicio y otros parámetros de radio del transmisor

En la ventana que corresponde a los Parámetros de la antena transmisora, se ingresan los valores más representativos del tipo de antena seleccionada como son:

Tabla. 4.1. Parámetros de la antena transmisora

PARÁMETRO	VALOR
<b>Potencia</b>	22 dBm
<b>Pérdidas</b>	2dB
<b>Ganancia</b>	7 dBi
<b>Tipo de antena</b>	Omnidireccional
<b>Altura de la antena</b>	22m

Como se puede observar en la figura 4.13, además de los parámetros antes mencionados, también existe una opción muy importante como es la de “Editar” en la cual se pueden modificar e inclusive crear nuevos tipos de antenas de acuerdo a las necesidades y requerimientos del sistema, en este caso se ha modificado la ganancia de una antena existente en el programa para que se adapte al equipo seleccionado, pero también se podría modificar su diagrama de radiación de acuerdo a los diagramas copolares o contrapolares de dicha antena.

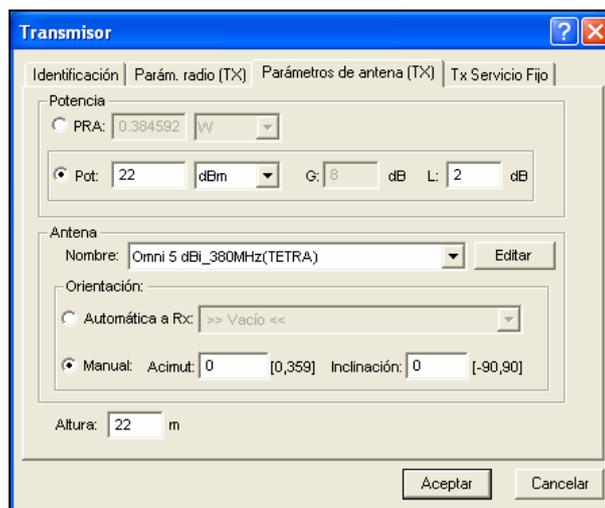


Figura. 4.13. Parámetros de la antena

Para finalizar con la configuración del transmisor, en la pestaña Tx Servicio Fijo que se muestra en la figura 4.14 se ingresan los parámetros generales del sistema WiMAX que se empleará de acuerdo a los equipos seleccionados tales como velocidad de transmisión teórica, tipo de modulación, tiempos de reparación y solución de un problema, como se muestra en la tabla 4.2.

Tabla. 4.2. Parámetros del transmisor servicio fijo

PARÁMETRO	VALOR
<b>Velocidad de Tx</b>	10 Mbps
<b>Modulación</b>	16 QAM
<b>MTBF (Medium Time Before Failure)</b>	62500h
<b>MTTR (Medium Time to Repare)</b>	5 h

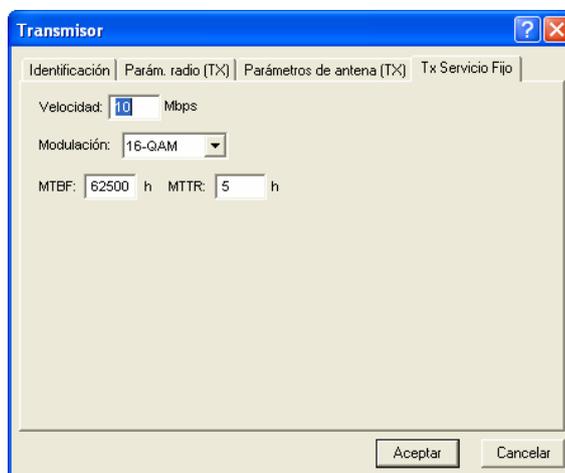
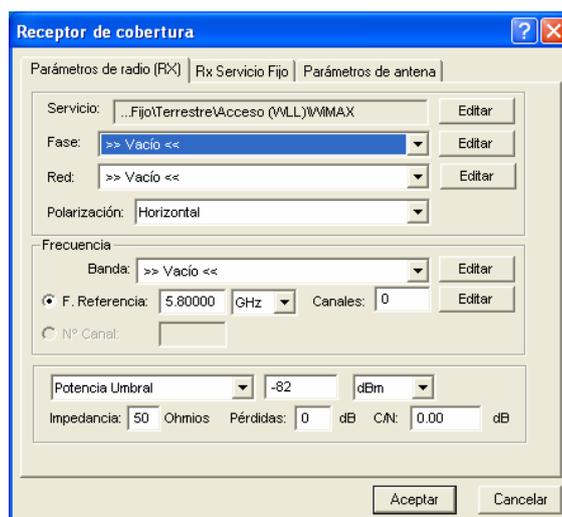


Figura. 4.14. Parámetros de servicio fijo

Una vez establecidos los parámetros del transmisor se procede a modificar las características del receptor para ajustarlo y hacerlo compatible con la señal generada por el transmisor en la ventana correspondiente a la figura 4.15. Además existen valores que el programa adapta al CPE de acuerdo a los parámetros establecidos para su estación base (transmisor) como el tipo de servicio y la frecuencia de operación como se puede observar en la tabla 4.3.

**Tabla. 4.3. Parámetros del receptor**

PARÁMETRO	VALOR
<i>Tipo de Servicio</i>	WiMAX
<i>Frecuencia de referencia</i>	5,8 GHz
<i>Potencia umbral</i>	-82 dBm
<i>Impedancia</i>	50 $\Omega$



**Figura. 4.15. Parámetros de radio del receptor**

La pestaña Rx Servicio Fijo de la figura 4.16 permite ajustar el receptor a las características del Tx, ya que presenta parámetros muy similares a los presentados para el transmisor. Adicionalmente en dicha ventana se ingresan los valores umbrales en dBm relacionados con BER (tasa de error de bit) para garantizar la calidad del servicio dentro de dichos parámetros.

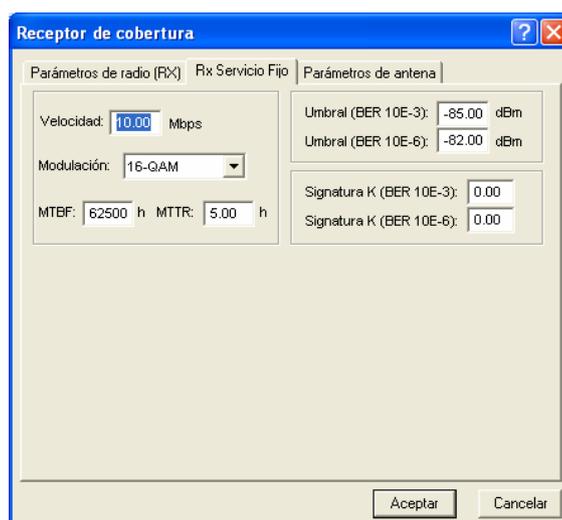


Figura. 4.16. Ingreso del servicio fijo del receptor

Finalmente en la pestaña Parámetros de antenna que se observa en la figura 4.17, se selecciona el tipo antenna a emplearse, en este caso Omnidireccional, este parámetro es fundamental ya que de ello dependerá en un gran porcentaje el área de cobertura que tenga el sistema, la misma que cuenta con una ganancia de 2 dBi y una altura de las antenas suscriptoras de 6 m, la misma que es el resultado de promediar las alturas con que cuentan los distintos edificios del campus que forman parte de la red.

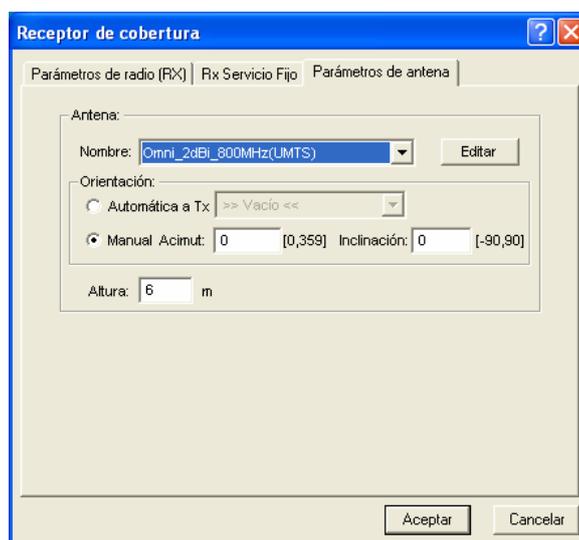


Figura. 4.17. Parámetros de la antenna receptora

### 4.1.2 Establecimiento de niveles de la señal

A fin de conocer la cobertura de la red y una vez establecidos los parámetros de la misma, se procede a delimitar el área de cobertura ya que resulta importante para el análisis de la red a fin de conocer la extensión de la misma dentro del área geográfica de estudio.

Para definir el área de cobertura se presiona el ícono , luego se procede a delimitar dentro del mapa un área geográfica que rodea al campus politécnico por medio un recuadro, en el cual se desea conocer los niveles de potencia que determinan el área de cobertura de la red WiMAX. Finalmente Luego se presiona el ícono  que se lo identifica como cálculo de estudio, para conocer el área de cobertura, la misma que se puede observar en la figura 4.18.

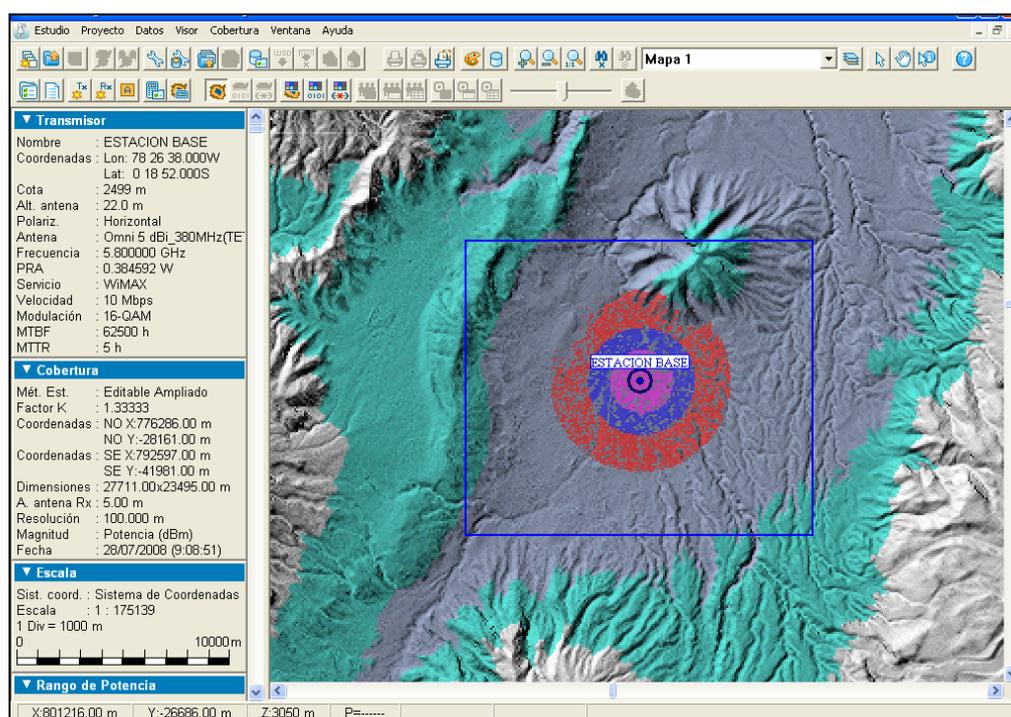


Figura. 4.18. Área de cobertura de la red WiMAX

Con la finalidad de realizar una mejor visualización del área de cobertura obtenida, la herramienta SIRENET tiene la opción de realizar exportación hacia Google Earth. A través del procedimiento mostrado en la figura 4.19.

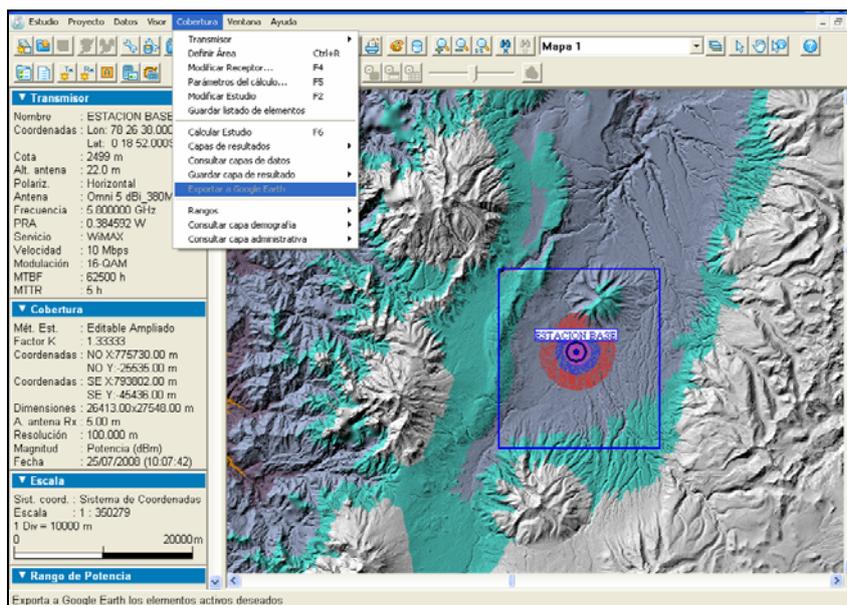


Figura. 4.19. Exportación del área de cobertura al Google Earth

Se selecciona la opción Exportar al Google Earth, de forma automática se abre dicho programa, en el cual se puede tener una panorámica más amplia de los lugares hasta donde llegaría la cobertura, así como el nivel de la señal ya que mantiene su simbología en cuanto a los colores que representan a dicha cobertura, esto se lo puede observar en la figura 4.20.

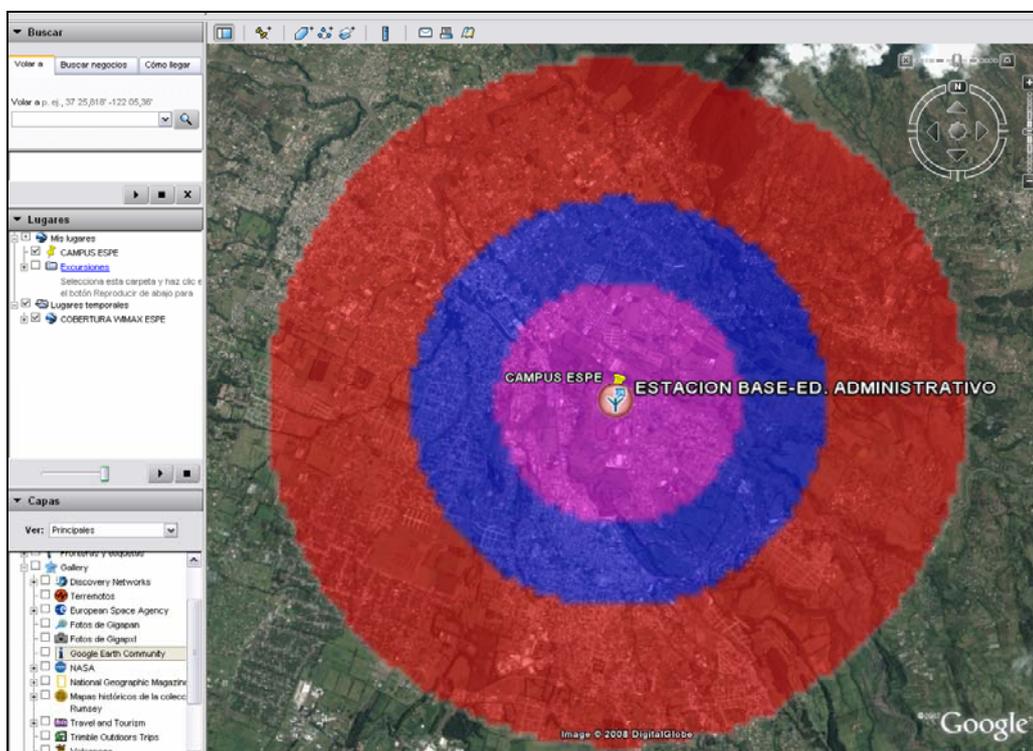


Figura. 4.20. Área de cobertura en el Google Earth

En la gráfica que antecede se obtienen tres zonas representadas por colores los mismos que dependen de la potencia de recepción que deben tener los equipos para identificar y procesar las señales emitidas por la estación base, dichos colores en el programa tienen la siguiente valoración:

1. Rosado ( $-66 \text{ dBm} \leq P$ )
2. Azul ( $-76 \text{ dBm} \leq P < -66 \text{ dBm}$ )
3. Rojo ( $-86 \text{ dBm} \leq P < -76 \text{ dBm}$ )

Donde P representa la potencia de la señal al momento de llegar a cada una de las distintas zonas geográficas del mapa, en otras palabras representa los niveles mínimos de sensibilidad con que debe contar el equipo suscriptor para recibir la señal y aprovechar al máximo los servicios que proporciona la red. Para una mejor comprensión de lo anteriormente expuesto a continuación se detalla la representación de cada una de las áreas de cobertura.

- **Rosado.**- Área donde se obtiene una excelente cobertura y los equipos pueden trabajar en condiciones favorables para que los usuarios obtengan las señales transmitidas.
- **Azul.**- Se obtiene cobertura sin embargo esta no es tan buena como en el caso anterior y los niveles de potencia de transmisión se deben incrementar para recibir la señal, tomando en cuenta que dichos niveles de potencia deben estar dentro de los límites establecidos por los entes reguladores a fin de no causar daños en la salud de las personas.
- **Rojo.**- Área donde a pesar de tener cobertura, los equipos deben presentar potencias y sensibilidades muy grandes para recibir y procesar las señales transmitidas.

Establecidos los parámetros que determinan los niveles de potencia de acuerdo al color se procede a la obtención de datos en la región que cuenta con una tonalidad rosada, ya que como se mencionó anteriormente ésta área presenta las mejores condiciones para el establecimiento de la red. Como se

puede observar en la siguiente gráfica el programa Google Earth permite realizar un acercamiento para verificar en este caso si el campus politécnico se encuentra dentro de la zona de interés.



**Figura. 4.21. Ubicación del Campus Politécnico de la ESPE**

En el acercamiento a través de la figura 4.21 al área de cobertura de interés (área rosada) se puede observar que cubre la totalidad de la ESPE y además abre la oportunidad de realizar convenios para la concesión del servicio a operadoras externas que exploten dicha cobertura y brindar los servicios a los sectores aledaños a la Escuela Politécnica del Ejército.

Como ventaja adicional el programa SIRENET a través de Google Earth permite conocer el radio aproximado del área de cobertura de manera sencilla mediante el ícono , el mismo que muestra un cuadro con la respectiva distancia tanto en kilómetros como en otras unidades como se puede observar en la figura 4.22.

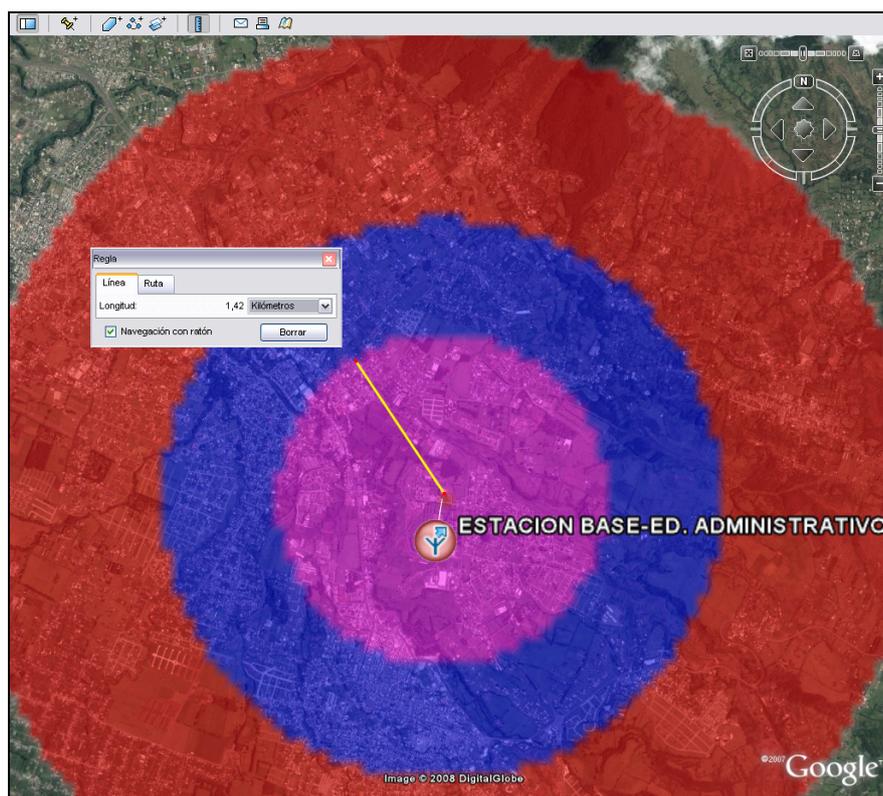
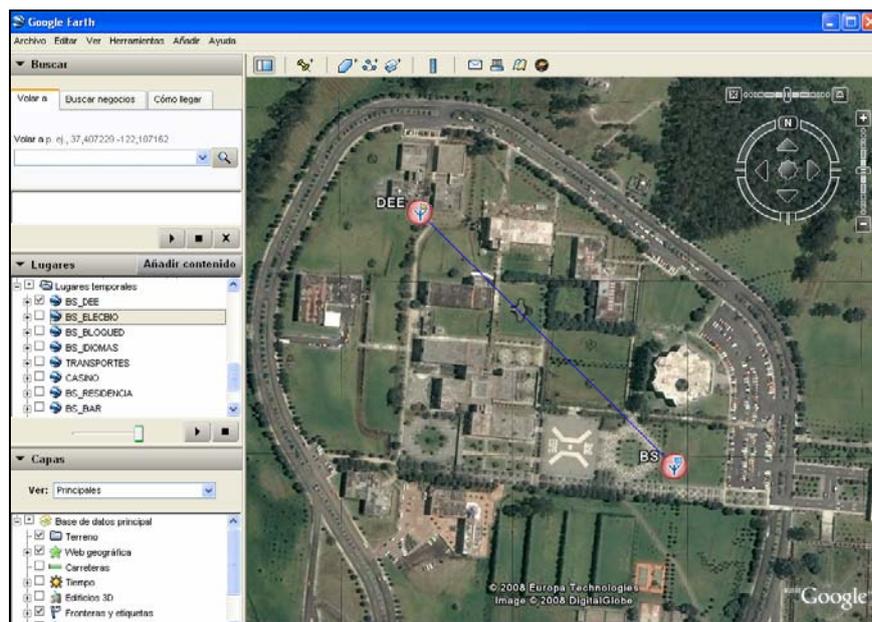


Figura. 4.22. Radio de cobertura

Una vez obtenida la cobertura correspondiente al área de interés la misma que es de aproximadamente 1,42 kilómetros de radio, en la cual se verifica que el campus politécnico se encuentra en la zona idónea para el establecimiento de la red de acuerdo a las características técnicas de los equipos, se realiza un análisis de los niveles de potencia de la señal en cada dependencia del campus donde se encuentran ubicados los CPEs, obteniendo además un parámetro de vital importancia para la simulación en el siguiente software especializado (*Network Simulator*) como son las distancias exactas entre la estación base y cada suscriptora.

En la figura 4.23 se observa un ejemplo de los resultados obtenidos al realizar el análisis de cada edificio en SIRENET, los resultados de cada una de las dependencias de la ESPE (ver Anexo 3).



**Figura. 4.23. Distancia Estación base – Laboratorios del DEE**

Como se puede observar en la figura anterior se realiza un análisis más detallado del funcionamiento de la red para la obtención de los niveles de potencia de la señal, ya que en el análisis de cobertura que se realizó si bien es cierto se pueden obtener también estos valores, pero sin la exactitud necesaria, destacando que el objetivo de realizar la cobertura en SIRENET es conocer el área máxima de alcance de la red. Para obtener resultados más exactos se puede utilizar otra aplicación del programa SIRENET como lo es el Perfil.

El procedimiento para la creación del perfil es muy similar al que se realizó en la cobertura en cuanto a parámetros de transmisión y recepción de los equipos a utilizar así como en el método de cálculo, con la diferencia que al inicializar se selecciona el Tipo de Estudio-Perfil en lugar de cobertura como se muestra en la figura 4.24.

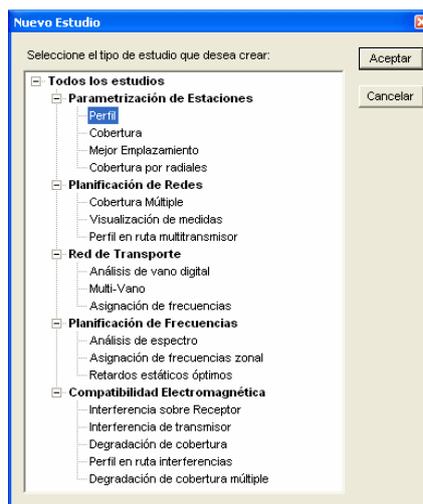


Figura. 4.24. Selección del Tipo Estudio: Perfil

Al ejecutar las aplicaciones de Perfil correspondientes a cada dependencia, se obtiene una serie de parámetros que indican tanto los valores introducidos por el usuario de cada equipo o servicio, así como nuevos valores calculados por el simulador, como la potencia de recepción que es uno de los parámetros de mayor importancia a ser analizados en el presente proyecto. En la figura 4.25 se muestra los resultados obtenidos en uno de los edificios, específicamente entre la Estación Base (Edificio Administrativo) y el Bar.

<b>▼ Transmisor</b>	
Nombre	: ESTACION BASE1
Coordenadas	: Lon: 78 26 38.000W Lat: 0 18 52.000S
Cota	: 2499 m
Alt. antena	: 22.0 m
Polari.	: Horizontal
Antena	: Omni 5 dBi_360MHz(T
Frecuencia	: 5900 MHz
PRA	: 0.384592 W
Servicio	: WiMAX
Velocidad	: 10 Mbps
Modulación	: 16-QAM
MTBF	: 62500 h
MTTR	: 5 h
<b>▼ Perfil</b>	
Mét. Est.	: Editable Ampliado
Factor K	: 1.33333
Puntos	: 3
Longitud	: 0.196 Km
Acimut	: 251.680 °
Poten. recib.	: -24.3674 dBm
Fecha	: 10/08/2008 (12:12:09)
<b>▼ Receptor</b>	
Nombre	: BAR
Coordenadas	: Lon: 78 26 44.000W Lat: 0 18 54.000S
Cota	: 2495 m
Frecuencia	: 5800 MHz
Alt. antena	: 6.0 m
Polari.	: Horizontal
Antena	: Omni_2dBi_800MHz(U
Servicio	: WiMAX
Velocidad	: 10 Mbps
Modulación	: 16-QAM
MTBF	: 62500 h
MTTR	: 5 h

Figura. 4.25. Resultados obtenidos en el simulador

Como complemento en la figura 4.26 se muestra la agrupación de cada uno de los enlaces obtenidos una vez realizada la exportación al Google Earth de dichos enlaces, con el propósito de tener una mejor visualización del entorno de la red a implementarse, en la cual se puede observar claramente su estructura de tipo punto-multipunto.

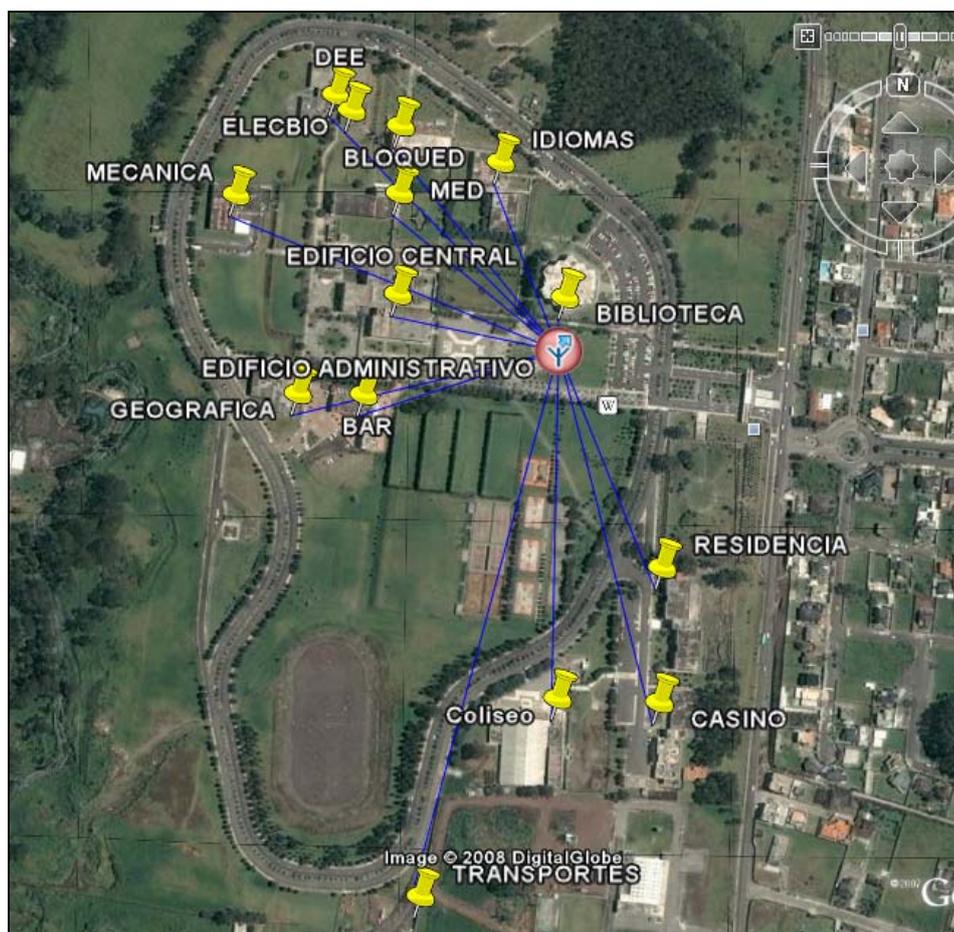


Figura. 4.26. Estructura punto-multipunto de la red

Con los resultados obtenidos se realiza la tabla 4.4, en la cual la segunda columna muestra las distancias que tienen cada una de las dependencias de la ESPE en relación con el Edificio Administrativo, ya que será en ese lugar donde se coloque la estación base, y en la tercera columna se establece el nivel de la potencia de recepción de la señal transmitida, cuyo análisis se realizará en el capítulo cinco correspondiente al análisis del desempeño de la red. Los parámetros topográficos restantes entre la estación base y los CPEs se los puede observar en el Anexo 4.

**Tabla. 4.4. Distancias entre las diferentes dependencias de la ESPE y sus niveles de potencia**

EDIFICIO	DISTANCIA A LA ESTACIÓN BASE (m)	NIVELES DE POTENCIA (dBm)
Bar	192	-24,36
Biblioteca	45	3,63
Bloque D	210	-27,48
DEE	306	-32,28
Edificio Central	158	-20,09
Electrónica Biotecnología	290	-32,29
Geográfica	251	-29,16
Idiomas	164	-21,00
Mecánica	348	-35,16
Residencia	239	-27,09
Coliseo	338	-33,93
Casino	363	-34,57
MED	198	-23,97
Transportes	526	-42,65

## 4.2 Simulación en Network Simulator NS-2

Otro simulador de redes constituye NS-2 que es uno de los más extendidos en la investigación ya que es un software que no requiere una licencia para su funcionamiento y adicionalmente por su alto desempeño en la simulación de todo tipo de redes.

NS-2 es un software de simulación orientado a redes de comunicaciones. Su desarrollo en los últimos años se da a partir 1989 surgiendo como una variante del simulador REAL *Network Simulator*. En 1995, obtuvo el apoyo del proyecto VINT (*Virtual Internetwork Testbed*) el cual fue desarrollado por ciertas entidades como la USC (*University of Southern California*), Xerox, LBNL (*Lawrence Berkeley National Laboratory*), cuyo principal objetivo fue la creación de un simulador para el análisis de la escalabilidad y la interconexión entre protocolos de diferentes tipos de redes [23].

En la actualidad la herramienta NS-2 continua en desarrollo a través de CONSER (*Collaborative Simulation For Education and Reserch*) y SAMAN (*Simulation Augmented by Measurement and Analysis for Networks*), los mismos

que investigan la evolución de los protocolos y tratan de detectar o predecir fallos en el simulador con el fin de extender su utilización.

El principal objetivo de NS-2 es manejar todos los protocolos de simulación manejando bytes y grandes volúmenes de datos en un tiempo de ejecución corto. Además gracias al lenguaje C++ en cual fue desarrollado este simulador se pueden manejar volúmenes de datos de forma rápida durante la simulación.

La forma de trabajo de NS-2 se puede observar en la figura 4.27 en la cual el simulador interpreta los *scripts* escritos en OTcl por parte del usuario, gracias a que cuenta con un planificador de eventos de simulación, librerías de objetos de componentes de red y librerías de módulos de instalación de red, para finalmente obtener los resultados requeridos para el análisis (generación de datos y gráficas).

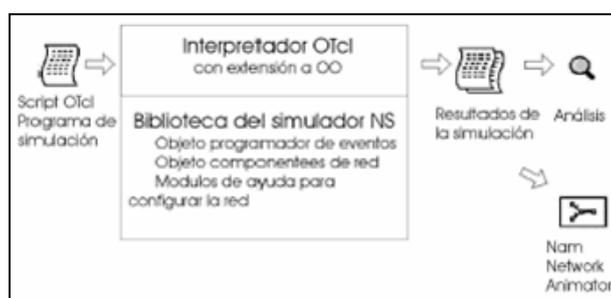


Figura. 4.27. Procedimiento de simulación

## Funcionamiento de NS-2

NS-2 fue creado inicialmente para la simulación de redes fijas, pero más tarde se implementó para redes inalámbricas. Mediante esta implementación aparecen las principales redes ad hoc, WLAN (*Wireless Local Area Networks*) así como WMAN (*Wireless Metropolitan Area Networks*), en este trabajo se utilizara esta implementación para realizar simulaciones de nodos fijos en entornos WMAN en los cuales encaja la tecnología WiMAX [24].

El NS-2 se basa en dos lenguajes de programación. Por una parte, se utiliza el lenguaje OTcl para introducir las especificaciones del escenario que el usuario

quiere simular, mientras que se utiliza C++ para la implementación de los protocolos. Para la simulación de la red WiMAX en el campus politécnico de la ESPE, no es necesaria la implementación de un protocolo, ya que se utiliza uno ya existente que corresponde al estándar IEEE 802.16.

Para realizar una simulación en NS-2 se deben seguir los siguientes pasos:

- Implementación del protocolo a analizar mediante código en lenguaje C++ o empleo de uno que se encuentre previamente definido en NS-2.
- Descripción de la simulación en lenguaje OTcl. En este punto se debe describir todas las especificaciones del escenario que se desea simular, así como el establecimiento de parámetros técnicos de los equipos a emplearse en la red.
- Ejecución de la simulación, la cual se manda a ejecutar el fichero donde previamente se han guardado los archivos de la simulación. La ejecución se realiza mediante el comando “*ns*” seguido del nombre del fichero.
- Análisis de los resultados, para lo cual NS-2 incluye una herramienta con la que se pueden visualizar las simulaciones, denominada NAM. Con esta herramienta se pueden visualizar desde la carga de tráfico entre dispositivos hasta la pérdida de paquetes como también movilidad de terminales. Además se pueden obtener los datos que se deseen evaluar a través de programas específicos que pueden ser creados por el usuario.

Otro aspecto fundamental lo constituye la utilización de un determinado sistema operativo, en el presente proyecto se trabaja en la plataforma de Windows por su mayor difusión y conocimiento de su funcionamiento para lo cual es necesario la utilización de un emulador como es el *CYGWIN*, el mismo que permite trabajar con la utilización de líneas de comando para la ejecución de los diferentes programas.

Además los archivos escritos en lenguaje OTcl pueden ser creados o modificados en diversos editores de texto, con el fin de trabajar en una interfaz más amigable para el usuario. En este caso se trabajó con el programa *Notepad++*, el mismo que permite una mejor visualización tanto de los comandos como de las líneas de código que conforman el programa.

### **Ventajas**

- Es un Software con una gran variedad de aplicaciones como pueden ser la implementación de diferentes topologías de red tanto cableadas como inalámbricas, protocolos de enrutamiento, protocolos de transporte. Algunos de estos protocolos son http, TcpApp, telnet, CBR (*Constant Bit Rate*), TCP, RTP, algoritmos de enrutamiento.
- Es una herramienta de simulación muy conocida en el entorno académico por ser un software con licencia de distribución libre presentado además una gran capacidad de configuración por ser de código libre.
- Es un sistema que puede trabajar en varias plataformas, ya que puede ser ejecutado en diferentes sistemas operativos como Windows en cualquiera de sus versiones y Linux (Ubuntu, SUSE, etc.)
- Contiene una herramienta de animación gráfica para facilitar el aprendizaje y el entendimiento de las diferentes redes a implementar.

### **Desventajas**

- Las simulaciones pueden ser modificadas o configuradas a través de programación mediante código, por lo que requieren un mayor tiempo de desarrollo.
- En NS-2 no es posible simular un escenario *wireless* sin la especificación de un protocolo.

- Para simulaciones con alto grado de complejidad NS-2 requiere de un computador con características técnicas muy elevadas especialmente en el procesamiento de datos, ya que de otra forma dichas simulaciones requieren de grandes periodos de tiempo en su ejecución.

### **Aplicaciones de NS-2**

Entre las principales aplicaciones posee NS-2 se destacan las siguientes:

- Simular estructuras y protocolos de redes de todo tipo (satélite, *wireless*, cableadas, etc).
- Desarrollar nuevos protocolos y algoritmos para comprobar su funcionamiento.
- Comparar distintos protocolos de acuerdo a sus prestaciones en diferentes tipos de redes cableadas e inalámbricas.

### **Herramienta NAM del NS-2**

NAM constituye una herramienta de simulación basada en el lenguaje Tcl/Tk cuyo principal objetivo es el de mostrar de forma gráfica las simulaciones obtenidas mediante los ficheros de gráficos de salida del simulador NS-2. Una vez que se ejecute el fichero con la información de las redes, la herramienta NAM mostrará en una ventana la topología de red indicada en la simulación como se indica en la figura 4.28.

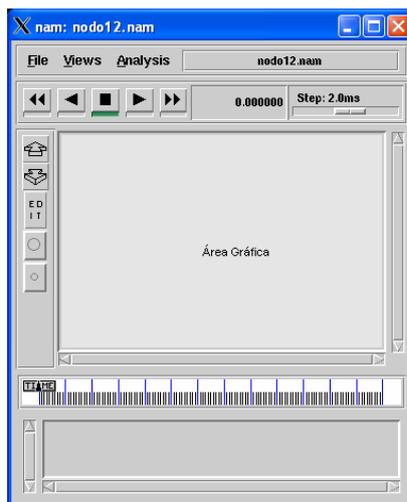


Figura. 4.28. Ventana principal de la herramienta NAM

Para el presente proyecto ha sido necesario el establecimiento muy aproximado de las coordenadas geográficas de cada una de las dependencias del campus politécnico ya que resulta de gran importancia para la simulación de la red en su topología punto – multipunto. En la figura 4.29 se muestra la topología de la red en el simulador NS-2.



Figura. 4.29. Topología de la red en simulador NS-2

## Consideraciones para la simulación de la red

Para la simulación de la red WiMAX se empleó la versión 2.29 de Network Simulator debido a que esta incluye un módulo desarrollado para el estándar IEEE 802.16 por un grupo de investigadores del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Chang Gung de Taiwán.

El módulo fue diseñado utilizando lenguaje de programación C ++, el mismo que ha sido creado de tal forma que pueda interactuar con los diferentes módulos de NS-2 como son el tráfico que es generado por un agente, la capa de enlace, la interfaz de colas, la Capa MAC (en la cual interviene el módulo WiMAX diseñado), y la capa física que determina el canal de comunicación.

El principal objetivo de la simulación de la red WiMAX diseñada para el campus politécnico utilizando el software NS-2, es la obtención del *throughput* (relación entre el número de paquetes recibidos y el tiempo total de envío) de cada uno de los enlaces entre la estación base y las estaciones suscriptoras, para de esta manera conocer la capacidad real que debe tener la red en cuanto a la velocidad de transmisión y ancho de banda para brindar los servicios tanto de voz, video y datos (triple play).

La presente sección del proyecto se ha dividido en dos tipos de simulaciones, la primera consiste en analizar el *throughput* que se genera entre la estación base y cada uno de los nodos que conforman la red, en la misma que no se produce interferencia por el tráfico generado en la transmisión de otros nodos, es decir, el análisis se realiza de forma independiente y bajo dos entornos de propagación *FreeSpace* y *Shadowing*. En el segundo análisis se realiza el mismo procedimiento para la obtención del *throughput* entre la estación base y cada uno de los nodos pero con intervención de interferencia generada por las transmisiones simultáneas de los nodos restantes, considerando los mismos modelos de propagación del primer análisis.

Como se mencionó anteriormente el análisis que se realiza en NS-2 tiene que ver fundamentalmente con la obtención del *throughput*, pero resulta

indispensable el estudio previo del tráfico que generarán los enlaces antes de implementar la simulación. De acuerdo con esto se tratarán los principales protocolos tanto de la capa de transporte como en la de aplicación que son requeridos por el simulador para la generación del tráfico, ya que como se conoce el resto de capas o niveles están directamente relacionados con el modelo WiMAX desarrollado por la Universidad de Chang Gung, así como los principales protocolos de enrutamiento requeridos por NS-2 para la simulación de la red.

### **Capa de transporte**

Su función es aceptar los datos enviados por las capas superiores, fragmentarlos si es necesario, y pasarlos a la capa de red. También se asegura que los datos lleguen correctamente al otro lado de la comunicación. En esta capa se proveen servicios de conexión para las capas superiores que serán utilizados finalmente por los usuarios de la red al enviar y recibir paquetes. Entre los principales protocolos de esta capa se encuentran los siguientes:

#### **UDP**

UDP son las siglas de *User Datagram Protocol*, es un protocolo del nivel de transporte basado en el intercambio de datagramas. Su principal función es la del envío de datagramas a través de la red sin que se haya establecido previamente una conexión, ya que el propio datagrama incorpora suficiente información de direccionamiento en su cabecera [25].

Entre las ventajas que proporciona UDP se encuentra una sencilla implementación, los segmentos de cabecera son pequeño, mientras que sus principales desventajas son por ejemplo que no posee confirmación, ni control de flujo, por lo que los paquetes pueden adelantarse unos a otros; y tampoco se conoce si han llegado correctamente, ya que no hay confirmación de entrega o de recepción.

Su principal aplicación se da en protocolos como DHCP, BOOTP, DNS y demás protocolos en los que el intercambio de paquetes de la

conexión/desconexión es mayor, así como para la transmisión de audio y vídeo en tiempo real, en la cual no es posible realizar retransmisiones debido a los exigentes requisitos de retardo que se tiene en este tipo de conexiones.

## **TCP**

TCP (*Transmission-Control-Protocol*) es un protocolo de comunicación orientado a la conexión y fiable del nivel de transporte, por lo que constituye uno de los protocolos fundamentales en Internet. En la pila de protocolos TCP/IP, TCP es la capa intermedia entre el protocolo de internet (IP) y la aplicación [26].

Habitualmente, las aplicaciones necesitan que la comunicación sea fiable y, dado que el protocolo IP aporta un servicio de datagramas no fiable (sin confirmación), TCP añade las funciones necesarias para prestar un servicio que permita que la comunicación entre dos sistemas se efectúe: libre de errores, sin pérdidas y con seguridad.

Por lo mencionado anteriormente el protocolo TCP constituye una serie de normas y recomendaciones teóricas, que en la práctica pueden programarse de distintas maneras, por ello existen algunas variaciones de TCP, cada una con sus ventajas e inconvenientes como se puede observar a continuación:

- **TCP Tahoe**

Utiliza la técnica de partida lenta es decir, ésta comienza a retransmitir a una tasa inicial lenta y va creciendo de forma exponencial para detectar estado de la red y el control de flujo y de esta manera disminuir la pérdida de segmentos [27].

- **TCP Reno**

El agente TCP Reno es similar al agente TCP Tahoe, con la diferencia que éste no regresa al estado de partida lenta, logrando una retransmisión rápida, de esta manera se reduce la ventana de congestión a la mitad de la

ventana actual.

- **TCP Vegas**

TCP Vegas es un protocolo recientemente desarrollado que surgió para mejorar el desempeño de transmisión, aumentando el flujo de enlace hasta 70% (mejora a Reno en velocidad entre un 40 y 70%) en algunos casos, pudiéndose reducir a la mitad de la cantidad de pérdidas. Este objetivo se logra alterando el funcionamiento de los tres mecanismos básicos: la retransmisión, el control de la congestión y la salida lenta.

### ***Capa de aplicación***

Conformada por los protocolos que sirven directamente a los programas de usuario, navegador, e-mail, FTP, TELNET, CBR, etc., es decir existen tantos protocolos como aplicaciones. Cabe aclarar que el usuario normalmente no interactúa directamente con el nivel de aplicación, suele interactuar con programas que a su vez interactúan con el nivel de aplicación pero ocultando la complejidad que éste implica. El presente proyecto tiene como objetivo el diseño de una red WiMAX a fin de brindar un servicio triple play al campus politécnico, por lo que a continuación se analiza los principales protocolos que se emplean para este tipo de servicio.

### ***CBR***

CBR (*Constant Bit Rate*) se trata de un protocolo cuya principal característica es de mantener constante la tasa de bits en la etapa de codificación del canal de transmisión, y es un término relacionado con la calidad del servicio [28].

CBR es muy útil para flujo de datos multimedia con canales de capacidad limitada. Sin embargo, CBR no es la mejor opción para almacenaje ya que no asignará suficientes bits para las secciones “complicadas” (resultantes de la

degradación de la calidad) y por el contrario gastará bits innecesarios en secciones “simples”.

### ***FTP***

FTP (File Transfer Protocol) es un protocolo de transferencia de archivos entre sistemas conectados a una red TCP, el mismo que se basa en la arquitectura cliente-servidor, de manera que desde un equipo cliente se pueda conectar a un servidor para descargar archivos desde él o para enviar archivos propios independientemente del sistema operativo utilizado en cada equipo, por lo que hasta la actualidad es utilizado en Internet [29].

El principal problema de FTP es que está diseñado para ofrecer la máxima velocidad en la conexión, pero no la máxima seguridad, debido a que todo el intercambio de información, desde el login y password del usuario en el servidor hasta la transferencia de cualquier archivo, se realiza en texto plano sin ningún tipo de cifrado ni encriptación. Como consecuencia usuarios no autorizados pueden capturar el tráfico generado, acceder al servidor, e inclusive apropiarse de los archivos transferidos. Para solucionar este problema son de gran utilidad aplicaciones como scp y sftp, incluidas en el paquete SSH, que permiten transferir archivos pero cifrando todo el tráfico.

### ***TELNET***

Telnet es una aplicación que permite al usuario de cualquier computador personal enlazarse a un host remoto conectado a Internet. Entonces, el usuario actuará a partir de esos momentos, como una terminal más que se hubiera conectado al host remoto. Este acceso requiere por lo general que el usuario posea una cuenta en el host remoto y una transferencia confiable de datos [30].

Además cabe recalcar que Telnet sólo sirve para acceder en modo terminal, es decir, bajo un ambiente sin gráficos; sin embargo resulta una herramienta muy útil para arreglar fallos a distancia sin necesidad de estar físicamente presente en el lugar donde aconteció la falla.

## **Protocolos de enrutamiento**

Existen cuatro protocolos de enrutamiento aplicados en NS-2 para la creación de redes inalámbricas: DSDV, DSR, AODV y TORA [31]. A continuación se realiza una breve descripción de cada uno de ellos.

### **DSDV**

DSDV (*Destination-Sequenced Distance-Vector Routing*). En este protocolo de enrutamiento los mensajes se intercambian entre nodos vecinos, es decir, entre los nodos que están dentro de un mismo rango de cobertura.

Su funcionamiento se basa en que los mensajes de actualización de rutas son activados de forma inmediata cuando es necesario cambiar las tablas de enrutamiento de los nodos.

### **DSR**

DSR (*Dynamic Source Routing*). Constituye un algoritmo de tipo *source routing* (ruta establecida en el origen), en el cual los paquetes son examinados para verificar la existencia de una ruta definida en el origen. En caso de que no existiera una ruta, los paquetes son almacenados en un bus, mientras que en el origen se usa un protocolo para descifrar rutas y encontrar un nuevo camino hacia el destino.

### **AODV**

AODV (*Ad-Hoc On-demand Distance Vector*). En el que se conoce una ruta para un destino en particular enviando mensajes de tipo ROUTE REQUEST, de esta forma cuando el mensaje llega al destino, una respuesta de tipo ROUTE REPLY contiene los nodos necesarios para alcanzar el destino siendo creada y transmitida en dirección al origen. Además tiene la capacidad de trabajar en dos tipos de enrutamiento unicast y multicast.

## TORA

TORA (*Temporally Ordered Routing Algorithm*). Su trabajo se presenta de forma independiente en cada nodo, es decir que cuando un nodo necesita una ruta para un destino en particular, transmite un paquete de requerimiento, el mismo que contiene la dirección de destino de la ruta. Este paquete es enviado por la red hasta que alcanza el destino, o al nodo intermediario que conoce una ruta para llegar al mismo.

### 4.2.1 Programación FreeSpace

Para la realización de la simulación del funcionamiento de la red WiMAX para el campus politécnico ha sido necesaria la creación de varios programas; sin embargo resulta conveniente analizar la estructura general requerida por NS-2 del cual parten dichas simulaciones, para luego especificar el funcionamiento particular de cada una de ellas.

Como se indicó la realización de un programa en NS-2 por parte del usuario se da a través del lenguaje OTcl, el mismo que cuenta con una estructura basada en una serie de instrucciones mediante líneas de código.

Para realizar una simulación de una red inalámbrica, en primer lugar es necesaria la definición de variables globales que adquieren cada uno de los nodos que intervienen en la simulación como el tipo de propagación, el tipo de antena, el tipo de protocolo de enrutamiento que utilizaran, el número de nodos fijos, etc., como establece a continuación:

```
set val(chan) Channel/WirelessChannel ;# Tipo de canal
set val(prop) Propagation/FreeSpace ;# Modelo de propagación
set val(netif) Phy/WirelessPhy ;# Tipo de interfaz de red
set val(mac) Mac/802_16 ;# Tipo de MAC
set val(ifq) Queue/DropTail/PriQueue ;# Tipo de interfaz de cola de paquetes
set val(ll) LL ;# Tipo de capa de enlace
set val(ant) Antenna/OmniAntenna ;# Modelo de antena
```

```

set val(ifqlen) 50                ;# Número máximo de paquetes en cola
set val(nn) 15                    ;# Número de nodos
set val(rp) DSDV                  ;# Protocolo de enrutamiento (sin el en la
                                  corrida muestra: routes not yet computed)

set val(x) 2000                   ;# Dimensión de la topografía en X (m)
set val(y) 2000                   ;# Dimensión de la topografía en Y (m)

```

En el código anteriormente establecido resaltan parámetros como el tipo de canal ya que la simulación a realizarse es de una red inalámbrica, adicionalmente se establece la variable para el modelo de propagación en este caso se muestra como ejemplo el modelo *FreeSpace*; sin embargo es posible emplear otros tipos de modelo como son: *Shadowing*, *TwoRayGround*, etc., de acuerdo a las condiciones ambientales y topográficas del área de cobertura. Además es importante el establecimiento de una variable que defina el tipo de estándar de comunicación cableado o inalámbrico empleado, para el presente proyecto se empleará el estándar 802.16 (WiMAX). Adicionalmente es necesario definir un protocolo de enrutamiento ya que NS-2 requiere de dicho parámetro para la simulación de este tipo de redes, como se mencionó existen varios protocolos de enrutamiento como son: DSDV, AODV, DSR, TORA, los mismos que serán seleccionados de acuerdo a la aplicación y capacidad de la red.

Luego que se han definido las variables que serán empleadas en el programa se procede a inicializar la simulación y a crear archivos necesarios para el almacenamiento de información que se genere.

```

set ns [new Simulator]           ;#Se abre una simulacion
set tracefd [open uplink1_14.tr w] ;#Crea el archivo .tr
set namtrace [open uplink1_14.nam w] ;#Crea el archivo .nam
set trace_gput [open put1_14up w] ;#Crea el archivo put
set trace_ggput [open ggput1_14up w] ;#Crea el archivo ggput

```

Como se puede observar se crean los archivos tanto para el análisis de datos como el gráfico, en los mismos que se almacena toda la información obtenida por el simulador para posteriormente ser representados por NAM o a través de ggput para el estudio del *throughput*.

Como otra parte de la inicialización del programa a continuación se puede observar varias líneas de código complementarias al entorno de simulación que se ha definido en el código anteriormente explicado.

```

$ns trace-all $tracefd
$ns namtrace-all-wireless $namtrace $val(x) $val(y)
$ns color 0 BLUE ;# Color de efectos en la simulación
set topo [new Topography] ;# Creación de una nueva topografía
$topo load_flatgrid $val(x) $val(y) ;# Dimensiones del área de simulación
create-god $val(nn) ;# Creación de God --> General Operations
Director (Director general de operaciones)
set chan0 [new $val(chan)] ;# Creación de un canal

```

A continuación se muestra la configuración que se realiza a los nodos de acuerdo al funcionamiento de la red WiMAX. Para la configuración de los nodos se consideran varios componentes como, la capa de enlace (LL–Link Layer), interfaz de colas (IfQ), la capa MAC que debe encontrarse activa, el canal a emplearse para el envío y recepción, etc.

```

$ns node-config -adhocRouting $val(rp) \
    -llType $val(ll) \
    -macType $val(mac) \
    -ifqType $val(ifq) \
    -ifqLen $val(ifqlen) \
    -antType $val(ant) \
    -propType $val(prop) \
    -phyType $val(netif) \
    -channel $chan0 \
    -topoInstance $topo \
    -agentTrace OFF \
    -routerTrace OFF \
    -macTrace ON \
    -movementTrace OFF

```

Además se puede observar que algunos comandos se encuentran inactivos con el fin de optimizar el proceso de simulación, caso contrario algunos de estos comandos podrían tener un valor por defecto contrario al requerido.

Como parte fundamental del proceso de simulación se encuentra la obtención del *throughput* en cada una de las simulaciones se ha creado un subprograma, el mismo que permita la obtención del número exacto de paquetes recibido por un nodo en un tiempo determinado.

```

set count 0      ;#Declaración y enceramiento de variables
set tot_ack 0
set last_ack 0

proc record {} {
global ns tcp0 count last_ack trace_gput tot_ack trace_ggput ;#declaración de
variables globales
set count [expr $count + 1] ;# Incremento en 1 de la variable count
set time 0.1          ;# Intervalo de tiempo en que se analiza el número de
                        paquetes recibido por el nodo
set now [$ns now]    ;# Procedimiento para imprimir la información tcp

#Procedimiento para el calcula el throughput promedio
set new_ack [$tcp0 set ack_]
set gput_avg [expr ($new_ack - $last_ack) / $time]
set last_ack $new_ack
set tot_ack [expr ($new_ack + $tot_ack)]
puts $trace_gput "$now $gput_avg"
puts $trace_ggput "$now $new_ack"

#Registra para que este procedimiento se vuelva a correr
$ns at [expr $now+$time] "record"

```

El programa anterior determina los paquetes recibidos por un nodo a través del análisis de los reconocimientos y confirmaciones generadas por el protocolo

TCP que son almacenadas en el archivo *ggput* y como se verá más adelante éste análisis se lo puede realizar con diferentes tipos de tráfico generado por la red.

Finalmente se realiza el cierre del programa ya que para guardar la información es necesario cerrar todos los programas que se han creado ya que de otra forma no se detiene la simulación.

```
proc finish {} {
  global ns trace_gput tot_ack trace_ggput
  $ns flush-trace
  exec nam uplink1_14.nam &
  close $trace_ggput
  close $trace_gput
  exit 0
}
$ns at 0 "record"
$ns at 13.0 "finish"
$ns run
```

De igual forma es necesario establecer el tiempo durante en el cual se va a ejecutar la simulación para lo cual es necesario establecer el tiempo de inicio y el tiempo de finalización. Una vez establecido todos el programa se procede a correrlo a través de la instrucción final *ns run*.

### Establecimiento de parámetros de diseño

Otro aspecto fundamental que forma parte de la programación en NS-2, es la ubicación de las características técnicas de los equipos que pertenecen a la red diseñada.

```
Phy/WirelessPhy set Pt_ 0.5           ;# Potencia de transmisión (W)
Phy/WirelessPhy set freq_ 5.8*1e9     ;# Frecuencia de trabajo (Hz)
Phy/WirelessPhy set L_ 2.0            ;# Pérdidas (dB)
Antenna/OmniAntenna set Gt_ 7.0      ;# Ganancia de transmisión (dBi)
Antenna/OmniAntenna set Gr_ 3.0      ;# Ganancia de recepción (dBi)
```

```
Mac/802_16 set bandwidth_ 10Mb ;#Definición del ancho de banda
```

En NS-2 es necesario definir los parámetros más relevantes que intervienen en los enlaces entre la estación base y las estaciones suscriptoras, como se puede observar en el código anterior han sido ubicados los parámetros de acuerdo a los equipos elegidos en el capítulo del diseño de la red. Entre los principales parámetros que se definen se encuentran la potencia de transmisión, la frecuencia (banda libre) y las ganancias de las antenas. Además se incluye un parámetro muy importante como es el ancho de banda ya que en base a éste se realiza el análisis del *throughput*.

Con el propósito de obtener una simulación con resultados más fiables y que reflejen en lo posible las condiciones y el funcionamiento de la red en el entorno real, es necesario el establecimiento de la topología tanto de la estación suscriptora como de los CPE's dentro del área gráfica de NS-2.

```
set node_(0) [$ns node] ;#Creación del nodo 0
$node_(0) set X_ 762.88; ;#Establecimiento de las coordenadas en x del nodo 0
$node_(0) set Y_ 1278.35 ;#Establecimiento de las coordenadas en y del nodo 0
$node_(0) set Z_ 0.0 ;#Establecimiento de las coordenadas en z del nodo
0(no se le define valor ya que mov. solo en x e y)
$ns initial_node_pos $node_(0) 40 ;#Definición del tamaño del nodo, sirve tambien
para ser visualizado en la nam
```

Para el establecimiento de las coordenadas, se define el nodo a crear, siendo importante la posición en x e y ya que en NS-2 la coordenada z representa la velocidad en caso de tratarse de un nodo móvil, por lo que en el presente proyecto todas las coordenadas en z tienen el valor de cero ya que se trata de nodos fijos.

Cabe resaltar que los valores de x e y correspondientes a cada nodo se obtuvo después del análisis de campo en el se determinaron las coordenadas exactas de los edificios del campus lo cual permitió realizar un esquema de la topología de la red, además se consideraron las distancias entre los nodos que se

obtuvieron en la herramienta SIRENET. La equivalencia entre las coordenadas geográficas reales y las coordenadas del simulador se pudo llevar a cabo gracias a la herramienta NAM de NS-2, la misma que permite la ubicación de nodos y sus respectivas coordenadas en metros como se observa en la figura 4.30.

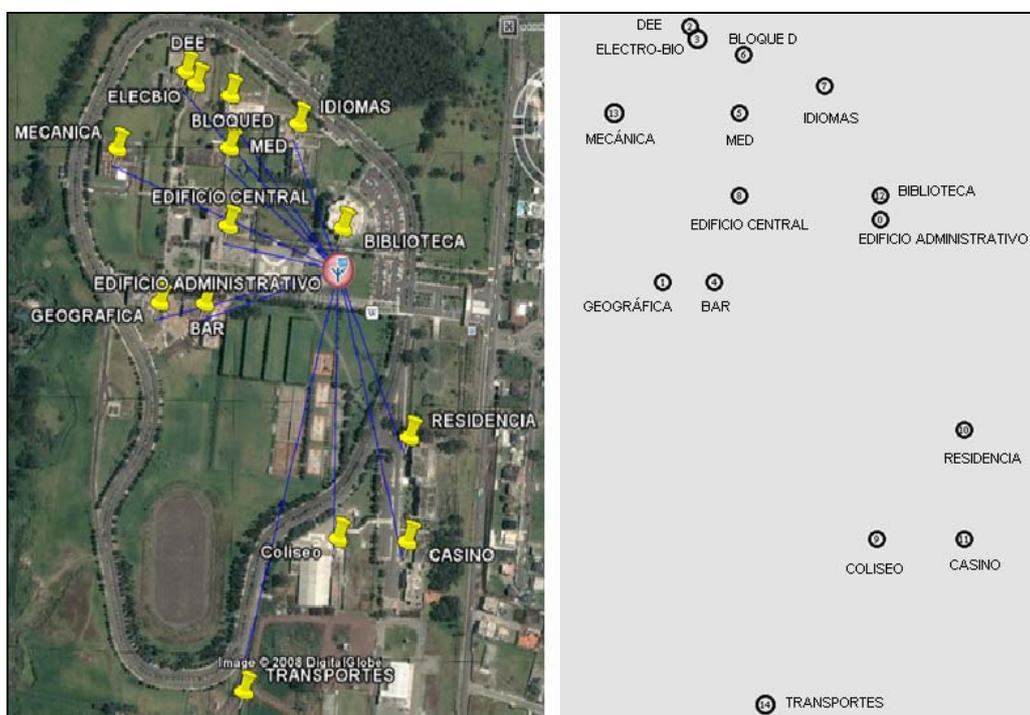


Figura. 4.30. Ubicación de las coordenadas en SIRENET y NS-2

### Tasas de transmisión

Debido a que el principal objetivo de la presente simulación realizada en NS-2 constituye la obtención del *throughput*, es decir conocer la tasa de transmisión real de la red en distintos entornos de propagación; a continuación se procede a la descripción de los programas así como los resultados obtenidos con la intervención del modelo de propagación *FreeSpace*.

El objetivo de la simulación en *FreeSpace* fue el determinar las características mínimas requeridas por los equipos para trabajar con la tecnología WiMAX, es decir bajo este entorno se establecen condiciones ideales para la propagación de la señal, como son: línea de vista directa (LOS) entre la estación base y las suscriptoras, ausencia de obstrucciones como vegetación o factores

que provoquen difracción, refracción, etc., y considerando únicamente la pérdida básica que se produce en la propagación.

Para realizar un mejor análisis del funcionamiento de la red se ha dividido esta sección en dos escenarios. En el primero se realiza el análisis del *throughput* únicamente entre la estación base y cada uno de las catorce estaciones suscriptoras sin la presencia de interferencias producidas por otras transmisiones. A continuación se muestra el código necesario para establecer estas condiciones dentro del programa.

```
# Creación del agente TCP (Etapa de transmisión)
Agent/TCP set window_ 200           ;# Tamaño de la ventana
set tcp0 [new Agent/TCP/Reno]       ;# Selección del protocolo de transporte
$ns attach-agent $node_(0) $tcp0    ;# Enlace del nodo 0 con el tipo de protocolo
$tcp0 set packetSize_ 536          ;# Tamaño del paquete TCP

# Etapa de recepción
set sink0 [new Agent/TCPSink]       ;# Creación de un agente para la recepción
$ns attach-agent $node_(1) $sink0   ;# Enlace del nodo 1 al agente receptor
$ns connect $tcp0 $sink0            ;# Conexión entre transmisor y receptor

# Creación de una aplicación FTP
set ftp0 [new Application/FTP]      ;# Definición del tipo de aplicación
$ftp0 attach-agent $tcp0            ;# Aplicación que interviene en la conexión
```

Como se puede observar el código descrito se divide en tres partes de acuerdo a su función. La primera sirve para crear la etapa de transmisión, en la cual se define fundamentalmente el nodo que será el transmisor dentro de la red, así como el protocolo que se empleará para el transporte de información. Una vez creado el nodo transmisor en la segunda parte se procede a la creación del nodo receptor en la misma que además se establece la conexión entre el nodo transmisor y el receptor (estación base-CPE). Finalmente, se genera un tipo de aplicación para la cual se emplea la red, en este caso específico se ha seleccionado una aplicación de tipo FTP ya que se trata de simular el funcionamiento de la red mediante una conexión al Internet.

En la figura 4.31 se puede observar los resultados obtenidos en la herramienta NAM una vez que se ha ejecutado el programa, en este caso se puede observar el comportamiento de la red al establecer una conexión entre la estación base y el Departamento de Eléctrica y Electrónica. Además cabe mencionar que cada análisis requiere de programas independientes con su determinado formato (ver Anexo 5).

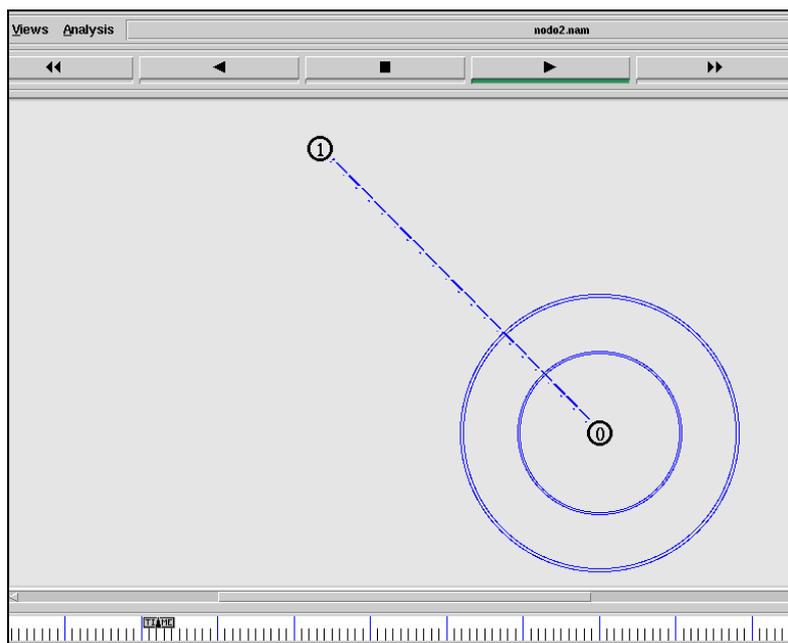


Figura. 4.31. Conexión entre la Estación Base y DEE

Como se puede observar en la simulación la conexión se presenta de forma gráfica, pero también se obtuvo otro tipo de resultados gracias al programa que analiza el número de paquetes recibidos por cada nodo. Además de los parámetros que se han explicado anteriormente se debe tener en cuenta que el tamaño del paquete por defecto en bytes que asigna NS-2 en una aplicación FTP es de quinientos treinta y seis, y el tiempo de simulación debe ser establecido en el programa de acuerdo a las necesidades del usuario, en este caso se ha trabajado con periodos de tiempo de diez segundos.

Para la obtención del *throughput* se parte de la siguiente expresión:

$$\eta = \frac{p \cdot 536 \cdot 8}{\Delta t} \quad (4.2)$$

Donde:

$\eta$  representa el *throughput* generado por la red.

$p$  constituye el número de paquetes recibidos (en el caso del presente estudio se trata del número de reconocimientos generados por el protocolo TCP con los cuales se confirma la llegada de un paquete al receptor).

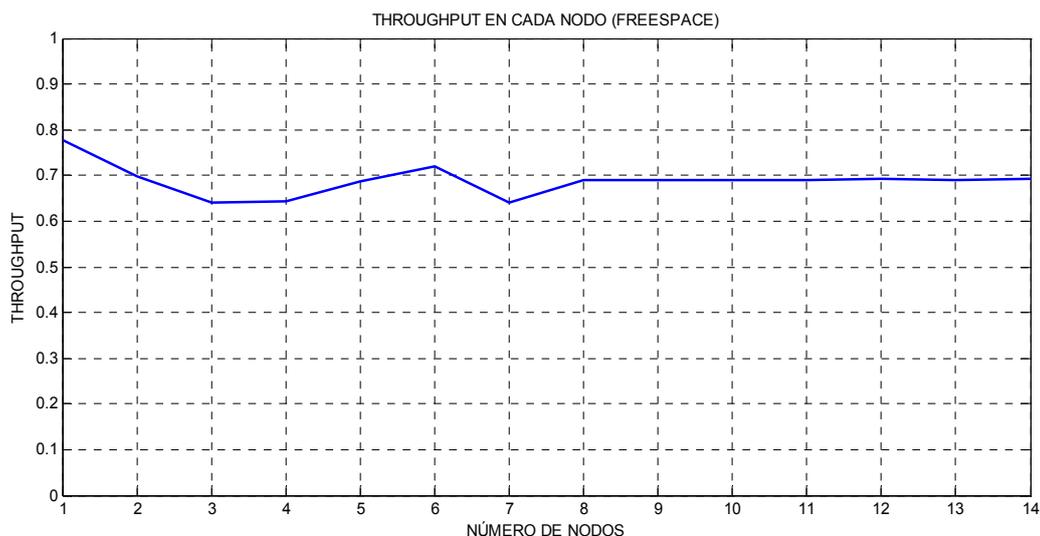
$\Delta t$  es la diferencia entre el tiempo de simulación y el tiempo de inicio.

A continuación se muestra la tabla 4.5 con el resumen de los resultados obtenidos en cada una de las simulaciones para una potencia de transmisión de 22 dBm, un intervalo de tiempo de 10 segundos, y su equivalencia al aplicar la ecuación 4.5.

**Tabla. 4.5. Throughput de cada nodo sin interferencia**

<b>Nº NODO</b>	<b>DEPENDENCIA</b>	<b>Nº PAQUETES RECIBIDOS</b>	<b>THROUGHPUT (Mbps)</b>
1	Geográfica	18158	7,7861504
2	DEE	16304	6,9911552
3	Elec-Biotec.	14932	6,4028416
4	Bar	14990	6,427712
5	MED	16052	6,8830976
6	Bloque D	16814	7,2098432
7	Idiomas	14972	6,4199936
8	Edificio Central	16072	6,8916736
9	Coliseo	16072	6,8916736
10	Residencia	16058	6,8856704
11	Casino	16110	6,907968
12	Biblioteca	16128	6,9156864
13	Mecánica	16118	6,9113984
14	Transportes	16128	6,9156864

Para una mejor visualización del funcionamiento de la red en cada uno de sus nodos es necesaria la obtención de una gráfica normalizada como se muestra en la figura 4.32 para su posterior análisis.



**Figura. 4.32. Throughput de cada nodo sin interferencia**

Ahora en el segundo análisis además de la conexión entre la estación base y cada uno de los nodos, se incluye la interferencia producida por el tráfico que generan otras transmisiones de los diferentes nodos en forma simultánea, para lo cual al igual que en el caso anterior se establece el código adicional para la obtención de los resultados deseados.

A continuación se presenta la generación del tráfico multimedia a través del protocolo de aplicación CBR; donde el análisis se lo realiza sobre un nodo en particular mientras los restantes continúan transmitiendo de manera simultánea.

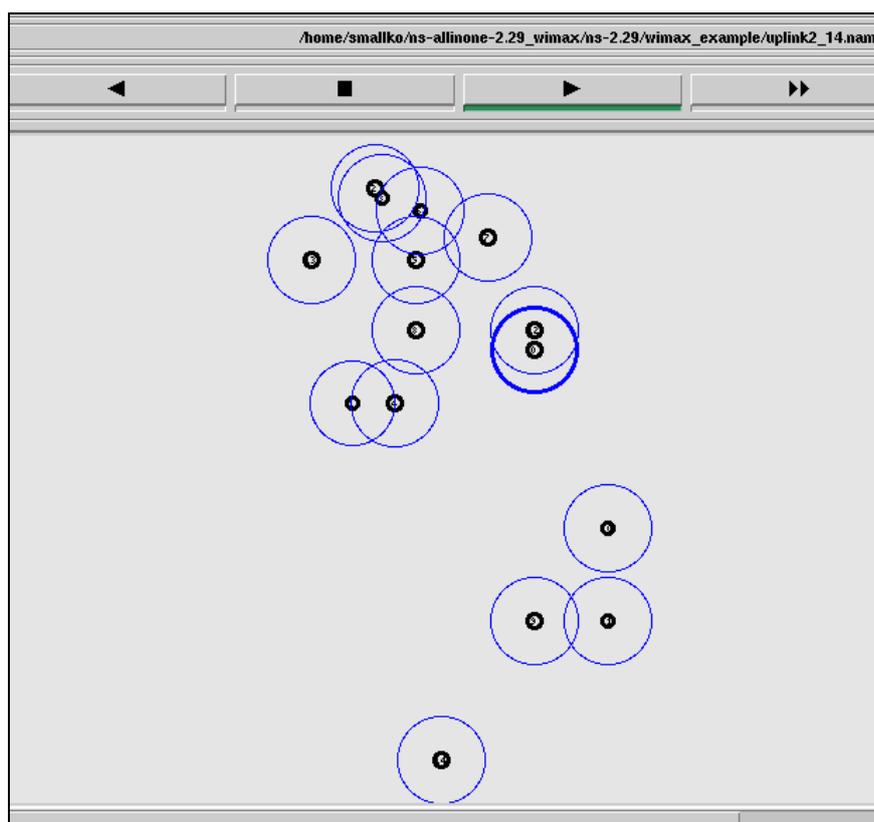
```

set udp0 [new Agent/UDP]           ;# Selección del protocolo de transporte
$ns attach-agent $node_(1) $udp0   ;# Enlace del nodo 0 con el tipo de protocolo
set null0 [new Agent/Null]        ;# Creación de un agente para la recepción
$ns attach-agent $node_(0) $null0  ;# Enlace del nodo 1 al agente receptor
$ns connect $udp0 $null0          ;# Conexión entre transmisor y receptor
set cbr0 [new Application/Traffic/UGS] ;# Definición del tipo de aplicación
$cbr0 attach-agent $udp0          ;# Aplicación que interviene en la conexión
$cbr0 set type_ UGS                ;# Aplicación que interviene en CBR
$cbr0 set packet_size_ 536        ;# Tamaño del paquete (bytes)
$cbr0 set rate_ 512Kb             ;# Velocidad de transmisión

```

Como se puede observar el procedimiento para la creación tanto del nodo transmisor como receptor consiste en la selección de los protocolos con los cuales van a trabajar, en este caso en particular la conexión contará con una aplicación multimedia la cual gracias a la aplicación CBR con UGS permite simular una transmisión en la cual el retardo es atenuado para mejorar la calidad de servicio. Además se incluye una velocidad de transmisión para el tráfico multimedia de 512 Kbps.

En la figura 4.33 se puede observar el funcionamiento de la red en la herramienta NAM en la cual se puede observar la topología de la red así como la transmisión de datos en forma simultánea, entre la estación base y cada uno de las estaciones suscriptoras, dicha figura únicamente muestra una fracción de la simulación ya que la simulación emplea un mayor tiempo.



**Figura. 4.33. Transmisión simultánea entre la estación base y los CPE's**

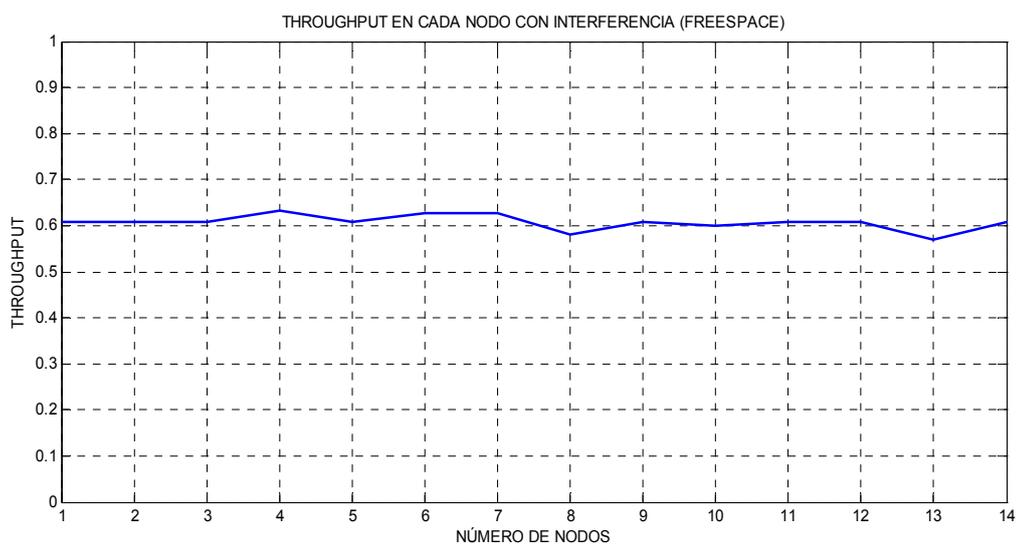
De la misma forma que en el caso anterior en la tabla 4.6 se muestra un resumen de los resultados obtenidos en las simulaciones, en la cual se observa

tanto el número de paquetes recibidos por cada nodo con la interferencia de los nodos restantes, así como su equivalencia con relación al *throughput*.

**Tabla. 4.6. Throughput de cada nodo con interferencia**

<b>ANÁLISIS EN EL NODO</b>	<b>DEPENDENCIA</b>	<b>Nº PAQUETES RECIBIDOS</b>	<b>THROUGHPUT (Mbps)</b>
1	Geográfica	14177	6,0790976
2	DEE	14171	6,0765248
3	Elec-Biotec.	14171	6,0765248
4	Bar	14739	6,3200832
5	MED	14172	6,0769536
6	Bloque D	14610	6,264768
7	Idiomas	14626	6,2716288
8	Edificio Central	13539	5,8055232
9	Coliseo	14163	6,0730944
10	Residencia	13988	5,9980544
11	Casino	14170	6,076096
12	Biblioteca	14162	6,0726656
13	Mecánica	13266	5,6884608
14	Transportes	14172	6,0769536

En la figura 4.34 se puede observar el comportamiento de la red de acuerdo a los resultados obtenidos en las simulaciones, en la cual se muestra el análisis del *throughput* en cada nodo con la presencia de interferencia generada por tráfico multimedia de forma simultánea.



**Figura. 4.34. Throughput en cada nodo con interferencia**

### 4.2.2 Programación Shadowing

Como se analizó en el Capítulo 3 en la sección correspondiente a los modelos de propagación, el método de *Shadowing* permite la obtención de resultados que se acercan mucho más al funcionamiento real de la red, ya que con este método se consigue simular condiciones más críticas del entorno de propagación de la señal como pueden ser el desvanecimiento de la señal transmitida debido al efecto multitrayecto e inclusive la presencia de zonas con alta densidad de obstrucciones que provocan la disminución de la visión directa entre la estación base y las suscriptoras.

Es importante señalar que el código básico empleado para las simulaciones ya fueron descritas en la propagación *FreeSpace*, a continuación se describirá parámetros y líneas de código que son propias para esta simulación (*Shadowing*).

```
set val(prop) Propagation/Shadowing ;# modelo de propagación
```

A través de la línea de código anterior se ha seleccionado el modelo de propagación en este caso se ha establecido el modelo *Shadowing*.

```
Propagation/Shadowing set pathlossExp_ 5.0 ;# Exponente para la pérdida  
de propagación.
```

```
Propagation/Shadowing set std_db_ 8.0 ;#Desviación shadowing (dB)
```

```
Propagation/Shadowing set dist0_ 1.0 ;#Distancia de referencia (m)
```

```
Propagation/Shadowing set seed_ 0 ;#Generación randómica
```

Como se puede observar en el código se ha tomado en cuenta ciertos valores promedio que dependen de las características del entorno de propagación, por ejemplo la propagación tiene un exponente de pérdida igual a cinco, ya que se desea representar espacios exteriores con un entorno urbano y con desvanecimiento por sombra por ello se ha seleccionado dicho valor con el cual se pretende simular las condiciones más extremas que podrían afectar a la red en el momento de realizar las transmisiones.

Otro parámetro importante lo constituye la desviación *Shadowing*, la misma que permite simular las condiciones de variación de los niveles de potencia de la señal con respecto a la distancia, por ello se ha considerado un valor de ocho dB ya que es un valor promedio y representa el entorno de propagación en espacio libre en el que se despegará la red WiMAX.

Como complemento al proceso de simulación utilizando el modelo *Shadowing*, es necesaria la inclusión de una distancia de referencia de acuerdo a la aplicación, en este caso se escoge un valor de uno para considerar que todas las distancias dentro de las simulaciones se encuentran en metros. Finalmente se incluye un valor con el cual se puede generar datos de manera randómica, lo cual permite obtener resultados más cercanos a la realidad, ya que como se mencionó en capítulos anteriores la variación de la potencia de recepción del CPE en una red inalámbrica tiene un comportamiento randómico o aleatorio.

### **Establecimiento de los parámetros de diseño.**

Con el propósito de establecer un funcionamiento lo más real en la simulación de éste tipo de modelo, se ha considerado importante el establecimiento de parámetros que permitan lograr dicho objetivo.

Uno de los principales códigos empleados en la simulación con el modelo *Shadowing* constituye el tipo de antena a emplearse, la altura de las antenas tanto transmisora como receptora, al igual que las ganancias respectivas de dichas antenas.

```
Phy/WirelessPhy set Pt_ 0.5           ;# Potencia de transmisión (W)
Phy/WirelessPhy set freq_ 5.8*1e9     ;# Frecuencia de trabajo (Hz)
Phy/WirelessPhy set L_ 2.0            ;# Pérdidas (dB)
Antenna/OmniAntenna set Gt_ 7.0       ;# Ganancia de transmisión (dBm)
Antenna/OmniAntenna set Gr_ 3.0       ;# Ganancia de recepción (dBm)
Antenna/OmniAntenna set ht_ 22.0      ;# Altura de la antena de transmisión(m)
Antenna/OmniAntenna set hr_ 6.0       ;# Altura de la antena de recepción (m)
Mac/802_16 set bandwidth_ 10Mb       ;#Definición del ancho de banda
```

En el código anteriormente establecido se consideraron los mismos parámetros que en Sirenet ya que el objetivo es simular la misma red y realizar un análisis de parámetros diferentes, a fin de lograr un estudio completo de la red WiMAX para el campus politécnico.

La potencia de transmisión se encuentra en (W) y se consideró de 0.5 debido a que el área de cobertura es relativamente pequeña, considerando el área de cobertura que posee la red WiMAX es extensa. Otra consideración importante constituye el ancho de banda con el cual se trabaja ya que el análisis que se pretende obtener es con relación al *throughput*.

### **Tasas de transmisión**

El modelo de propagación *Shadowing* incluye pérdidas adicionales a las presentadas con el modelo *FreeSpace* con lo que se obtiene un valor más cercano al *throughput* real a generarse por la red.

De acuerdo con esto en las presentes simulaciones se tratará de simular la red en base a lo descrito en los programas realizados con el modelo de propagación *FreeSpace*, por lo que no será necesario abordar nuevamente en el análisis del código y más bien se describirán cada uno de los resultados obtenidos en las simulaciones para la comparación de los mismos en el siguiente capítulo.

De la misma forma que en el análisis anterior se procede a la presentación de los datos obtenidos en el simulador bajo el modelo de propagación *Shadowing*, como se puede observar a continuación en la tabla 4.7 donde se muestra el *throughput* generado por la red en condiciones más reales en cuanto a la propagación de la señal.

Tabla. 4.7. Throughput de cada nodo sin interferencia

ANÁLISIS EN EL NODO	DEPENDENCIA	Nº PAQUETES RECIBIDOS	THROUGHPUT (Mbps)
1	Geográfica	14772	6,3342336
2	DEE	14610	6,264768
3	Elec-Biotec.	14771	6,3338048
4	Bar	14770	6,333376
5	MED	14582	6,2527616
6	Bloque D	14560	6,243328
7	Idiomas	14950	6,41056
8	Edificio Central	14980	6,423424
9	Coliseo	14772	6,3342336
10	Residencia	14650	6,28192
11	Casino	14615	6,266912
12	Biblioteca	14617	6,2677696
13	Mecánica	14650	6,28192
14	Transportes	14632	6,2742016

Como se realizó con el modelo de propagación *FreeSpace*, en la tabla anterior se pueden observar los resultados obtenidos al conectar dos nodos sin la presencia de interferencia de otro tipo de transmisiones, es decir se analiza la tasa de transmisión que se genera con una aplicación FTP que tiene un protocolo de transporte de información TCP, con la diferencia de que ahora se cuenta con parámetros que simulan de mejor manera las condiciones desfavorables que se pueden presentar en la propagación de la señal, además a continuación se muestra la gráfica 4.35 con la cual se puede tener una idea más clara del comportamiento de la red en un entorno de propagación con desvanecimiento de la señal por sombra (*Shadowing*).

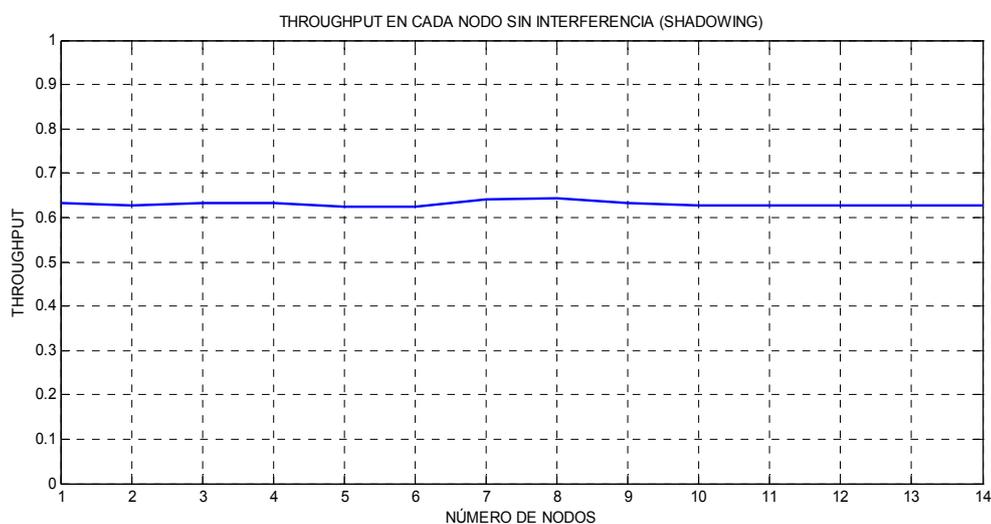


Figura. 4.35. Throughput de cada nodo sin interferencia

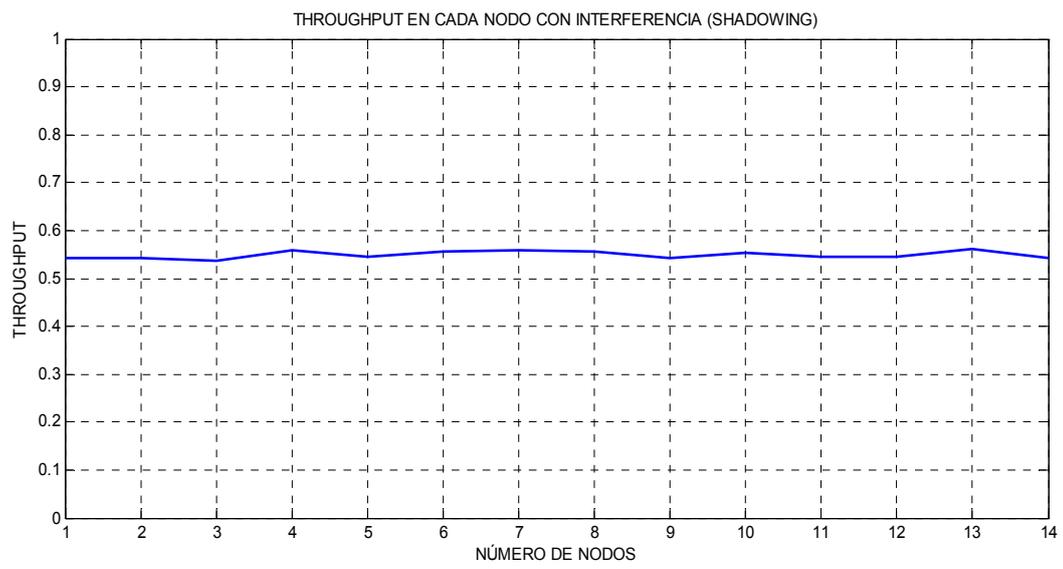
Finalmente se pretende simular las peores condiciones que se pueden presentar en la propagación de la señal en el campus politécnico, ya que además de las pérdidas en los niveles de la señal o disminución que se podría producir en la velocidad de transmisión.

Por la inclusión del modelo de propagación *Shadowing*, se presentan interferencias debido a las transmisiones simultáneas de las aplicaciones multimedia de tipo CBR (voz, datos y video) sobre la red WiMAX de cada uno de los nodos, realizándose el análisis sobre la conexión entre un nodo y la estación base el mismo que se encuentra con una aplicación FTP, en la tabla 4.8 se puede observar los resultados obtenidos una vez que se han ejecutado las simulaciones de la transmisión de cada nodo con interferencia.

**Tabla. 4.8. Throughput de cada nodo con interferencia**

<b>ANÁLISIS EN EL NODO</b>	<b>DEPENDENCIA</b>	<b>Nº PAQUETES RECIBIDOS</b>	<b>THROUGHPUT (Mbps)</b>
1	Geográfica	12629	5,4153152
2	DEE	12630	5,415744
3	Elec-Biotec.	12523	5,3698624
4	Bar	13047	5,5945536
5	MED	12712	5,4509056
6	Bloque D	12943	5,5499584
7	Idiomas	13032	5,5881216
8	Edificio Central	12980	5,565824
9	Coliseo	12628	5,4148864
10	Residencia	12915	5,537952
11	Casino	12711	5,4504768
12	Biblioteca	12715	5,452192
13	Mecánica	13081	5,6091328
14	Transportes	12632	5,4166016

En la figura 4.36 se puede visualizar de mejor manera el comportamiento de la red de acuerdo a las condiciones de simulación anteriormente establecidas, con cada uno de los nodos de la red y el *throughput* que se ha generado después del análisis matemático partiendo de la expresión 4.1.



**Figura. 4.36. Throughput en cada nodo con interferencia**

## **CAPÍTULO 5**

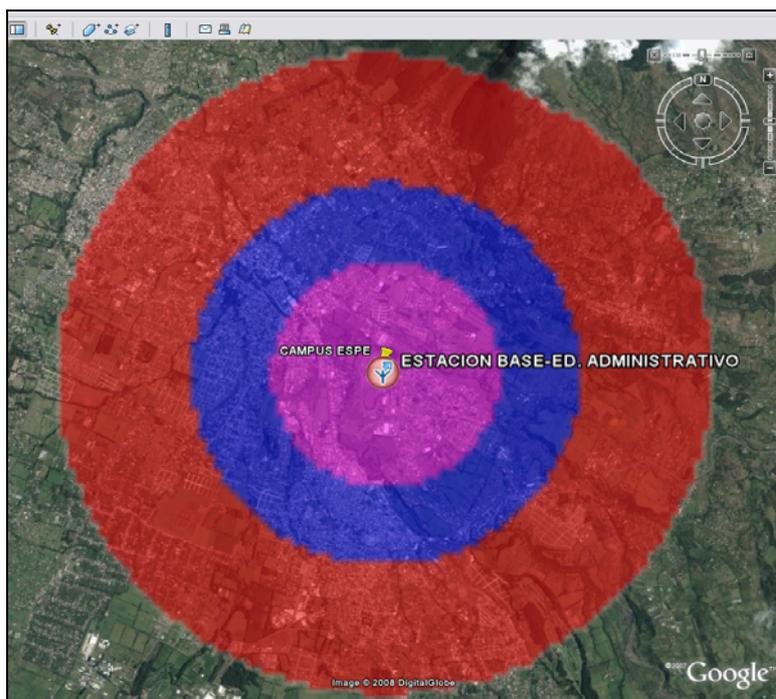
### **ANÁLISIS DE DESEMPEÑO DE LA RED WIMAX**

#### **5.1 Análisis de las simulaciones**

El objetivo de realizar una comparación entre las simulaciones obtenidas es el de conocer los datos más sobresalientes que se han logrado, ya que si bien es cierto los dos simuladores empleados muestran diferentes parámetros, en conjunto se obtienen el análisis de todos los factores que estarían determinando los parámetros necesarios para el óptimo funcionamiento de la red.

El primer simulador empleado lo constituye SIRENET el cual ha permitido observar parámetros referentes al área de cobertura, así como el de las potencias con las que las estaciones receptoras deberán contar a fin de obtener parámetros adecuados que faciliten la buena implementación de la red.

A continuación se muestra la figura 5.1 correspondiente al programa de SIRENET, bajo las consideraciones establecidas en el capítulo 4.



**Figura. 5.1. Área de cobertura en SIRENET**

Como se puede observar el área de cobertura comprendida abarca el campus politécnico de la ESPE, por tanto las consideraciones de diseño son adecuadas, cabe mencionar que se ha desarrollado todo el trabajo bajo una frecuencia de operación correspondiente a la banda no licenciada de 5,8 GHz, debido al análisis sobre la banda licenciada de 3,4-3,7 GHz en el Ecuador que se observó en el capítulo 3 en la cual se estableció que todas las bandas de frecuencia dentro de este rango tienen un costo comercial para su concesión por lo cual se optó por una banda libre.

En la tabla 5.1 se puede observar el comportamiento de la red WiMAX, específicamente en referencia a sus niveles de potencia en las distintas dependencias del campus, teniendo en cuenta que la simulación emplea el modelo de propagación recomendado por la IEEE para este tipo de redes.

**Tabla. 5.1. Distancias entre las diferentes dependencias de la ESPE con el Edificio Administrativo y sus niveles de potencia**

<b>Nº</b>	<b>EDIFICIO</b>	<b>DISTANCIA A LA ESTACIÓN BASE (m)</b>	<b>NIVELES DE POTENCIA (dBm)</b>
1	Bar	192	-24,36
2	Biblioteca	45	3,63
3	Bloque D	210	-27,48
4	DEE	306	-32,28
5	Edificio Central	158	-20,09
6	Elec.-Biotec.	290	-32,29
7	Geográfica	251	-29,16
8	Idiomas	164	-21,00
9	Mecánica	348	-35,16
10	Residencia	239	-27,09
11	Coliseo	338	-33,93
12	Casino	363	-34,57
13	MED	198	-23,97
14	Transportes	526	-42,65

Como se puede observar en la tabla anterior, todos los valores obtenidos son muy aceptables debido a que en la simulación se incluyen la sensibilidad de los equipos receptores la misma que es muy inferior, por lo cual se puede determinar que los parámetros técnicos seleccionados son los más adecuados para brindar una óptima cobertura al campus.

De acuerdo al análisis de tráfico que se ha realizado en el capítulo 3, se pudo determinar que las dependencias con mayor número de usuarios potenciales de la red son: Edificio Administrativo, Biblioteca, Central y MED, sobre los cuales se realizará un análisis más detallado ya que como se mencionó anteriormente los niveles de señal son muy buenos a nivel de todo el campus, por lo que queda claro que en los edificios restantes a pesar de no tener una alta densidad de usuarios sin embargo sus niveles de señal recibida son excelentes.

En cuanto al Edificio Administrativo no se ha podido realizar la simulación del enlace de su unidad suscriptora a la estación base por encontrarse ubicado ambas en el mismo sitio y los softwares no permiten este tipo de análisis, pero se puede determinar que el nivel de la señal sería óptimo de acuerdo a resultados obtenidos en nodos más cercanos. Con respecto a la Biblioteca, Edificio Central y

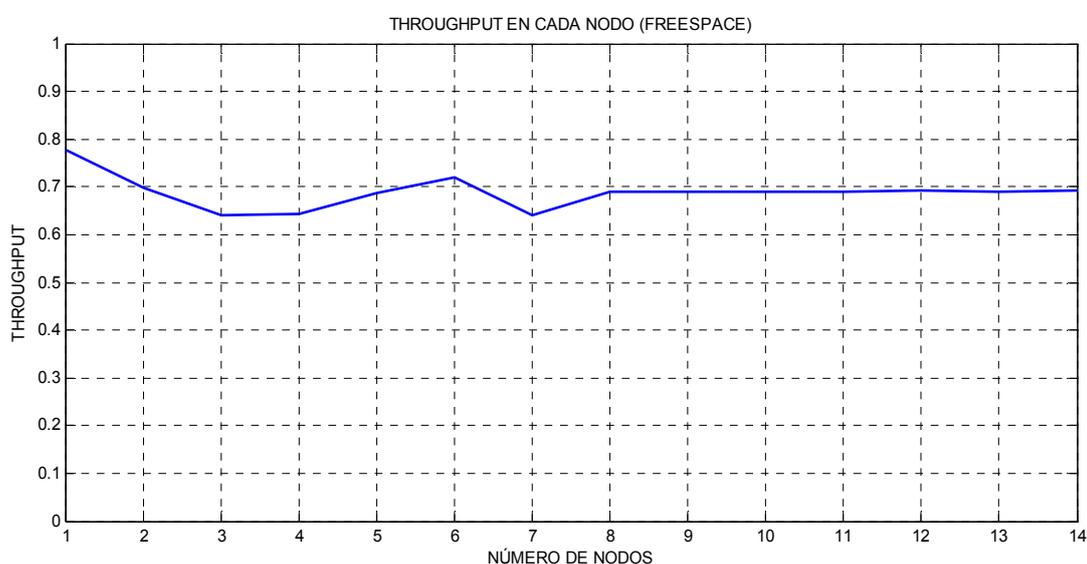
MED se puede observar que los niveles de potencia son altos con respecto a la sensibilidad de los equipos receptores, por lo que queda determinado que los usuarios potenciales no tendrán problema al momento de establecer la comunicación con la estación base. Finalmente, se puede mencionar que el nodo más alejado a la estación base, es decir, Transportes también recibe una señal muy buena con lo que se establece que todo el campus politécnico podrá acceder a los servicios prestados por la red sin ningún tipo de inconveniente.

Como ya se mencionó en la sección correspondiente a la simulación de la red, el trabajo en el segundo simulador (*Network Simulator*) se ha centrado en un aspecto fundamental para el desarrollo del proyecto como lo es el análisis del *throughput* generado por cada nodo en diversas circunstancias, tratando de representar los posibles escenarios tanto de propagación como de interferencia que podría experimentar la red una vez implementada en el campus.

Previo al análisis de los resultados obtenidos en las distintas simulaciones es necesario recalcar la importancia que en las redes actuales representa el estudio del *throughput*, ya que éste parámetro constituye la cantidad de información que es entregada sobre un canal de comunicación en un tiempo determinado. Con dicho parámetro se podrá establecer de manera más aproximada la capacidad con la que funcionará la red en la ESPE, de acuerdo con las características técnicas de los equipos seleccionados en el diseño de la red.

Ahora se procede al análisis del *throughput* generado por la red en cada uno de los nodos de la red, sin interferencia de otras transmisiones, con un modelo de propagación que incluye solamente una pérdida básica en la transmisión de la señal como lo es *FreeSpace*. Al momento de analizar la cantidad de información recibida por parte de cada nodo, se debe recordar que para este caso específico se considera la transmisión de una aplicación FTP en cada enlace, además dichas simulaciones fueron realizadas para determinar el comportamiento de la red con un enlace de bajada de información (*downlink*), ya que resulta importante conocer la tasa de transmisión al momento de la descarga de información a través de la red WiMAX, por lo cual más adelante también se observará este análisis pero con otro modelo de propagación.

En la figura 5.2 se muestra el funcionamiento de la red cuando cada nodo recibe información de la red (aplicación FTP), en la cual se puede observar que el *throughput* obtenido tiene variaciones pequeñas como en el caso de los nodos 3, 4, 6 y 7, sin embargo se puede determinar que en las condiciones de simulación antes mencionadas, la red en promedio tiene un *throughput* de 6,88 Mbps, que en relación a la velocidad de transmisión teórica de 10 Mbps, representa aproximadamente el 70% de la capacidad máxima de la red por lo cual los resultados son muy aceptables para una futura implementación de la red en el Campus.

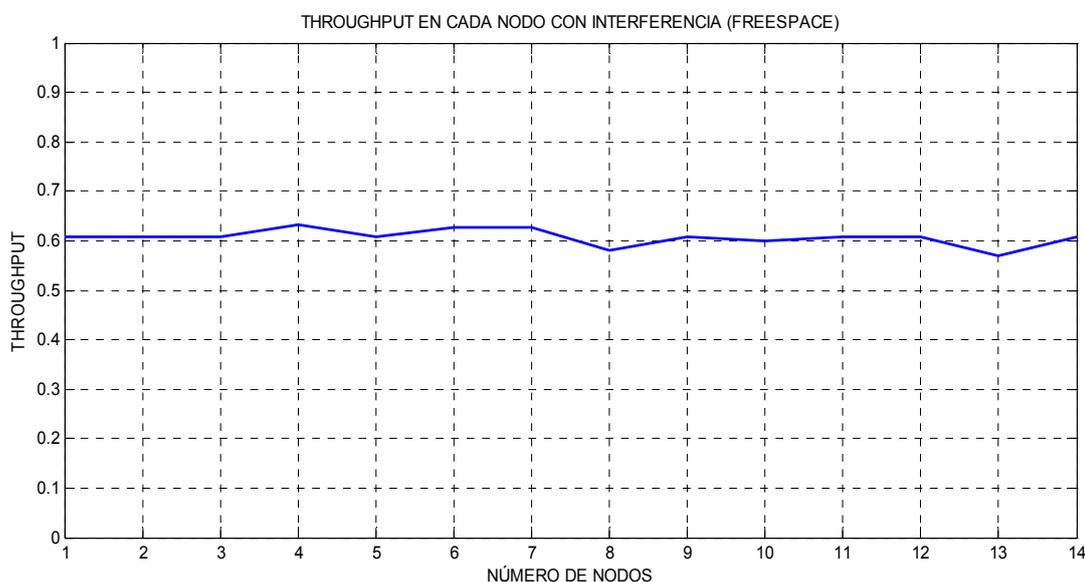


**Figura. 5.2. Throughput de cada nodo sin interferencia**

También es importante establecer que en la obtención del *throughput* de cada nodo con interferencia, se debe tener en cuenta que el análisis del comportamiento de la red se lo realiza para un enlace de subida (*uplink*) de información multimedia (aplicación CBR), con el propósito de simular condiciones más desfavorables que pueden presentarse en la transmisión de información.

En la figura 5.3 se muestra una disminución del *throughput* del 10% en relación al *throughput* obtenido en cada nodo sin interferencia, por lo que resulta que en cada nodo con interferencia existe una disminución promedio de 40% ya que disminuye la velocidad de transmisión, es decir de 10 Mbps a 6,08 Mbps, con

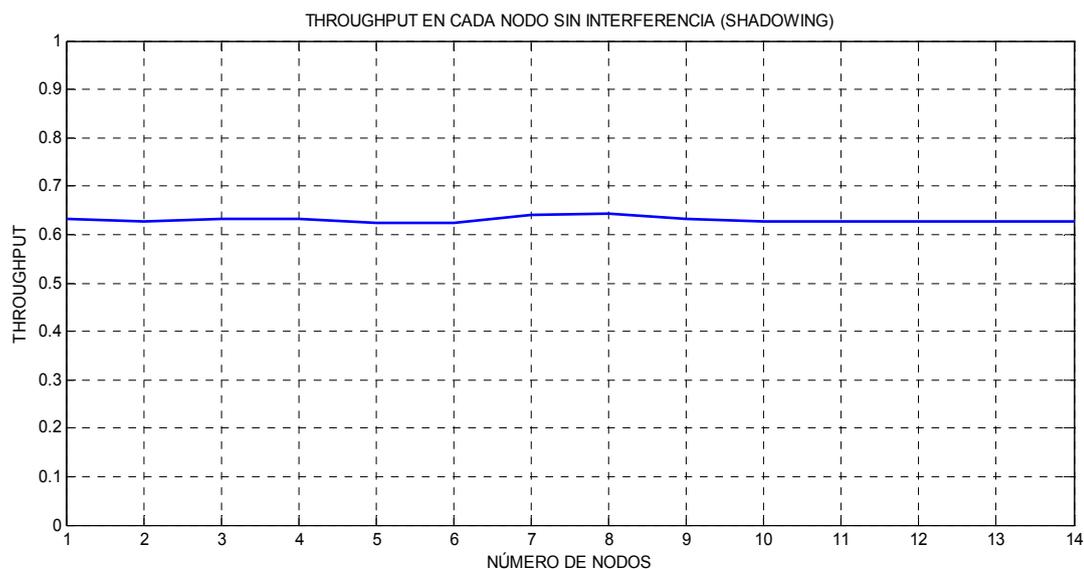
lo cual se puede observar que se presenta una caída más considerable aunque resaltando el hecho de que la red continúa con un funcionamiento aceptable.



**Figura. 5.3. Throughput en cada nodo con interferencia**

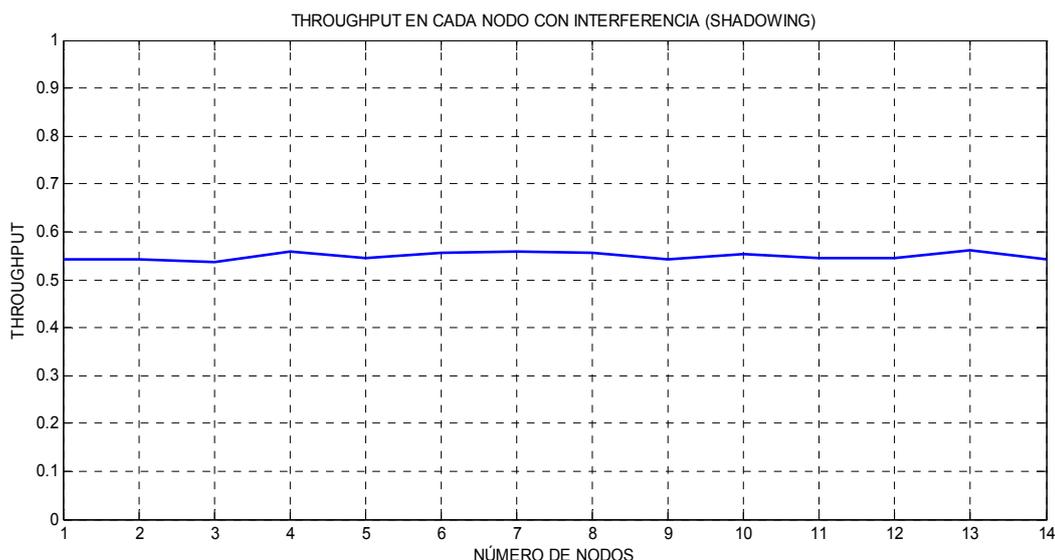
Para realizar el análisis con el segundo modelo de propagación (*Shadowing*), se consideran características similares a las simulaciones en *FreeSpace* con ciertas variaciones, ya que en este caso se tomarán en cuenta las posibles pérdidas que sufre la señal ya sea por desvanecimientos multitrayecto o por la presencia de obstrucciones.

De la misma forma se procede al análisis del *throughput* generado por la red en cada uno de los nodos sin interferencias, y con el modelo de propagación *Shadowing* cuyos resultados de las simulaciones se pueden observar en la figura 5.4. En ella se muestra claramente la estabilización de la red a pesar de ser incluidos por el modelo de propagación varias pérdidas que se podrían producirse debido al desvanecimiento de la señal, además se observa que la red mantiene un *throughput* aproximado de 6,30 Mbps en la mayoría de nodos inclusive en los nodos más alejados de la estación transmisora, lo que en definitiva ya confirma los resultados obtenidos con *FreeSpace* en cuanto al comportamiento de la red al transmitirse sobre ella una aplicación de tipo FTP.



**Figura. 5.4. Throughput de cada nodo sin interferencia**

La figura 5.5 muestra el *throughput* generado en cada nodo bajo el modelo de propagación *Shadowing* con interferencia producida por transmisiones multimedia simultáneas, el cual no presenta variaciones significativas al igual que en lo establecido en *FreeSpace* ya que por ejemplo tanto el punto más distante a la estación base como es el caso de transportes (nodo 14), así como el más cercano, el cual lo constituye la biblioteca (nodo 12) presentan un *throughput* muy similar ya que la variación entre ellas corresponde al 0,65%, con lo queda determinado que el funcionamiento de la red bajo las condiciones más adversas que se pueden presentar en una implementación real es aceptable, ya que se genera un *throughput* promedio de 5,48 Mbps lo que significa que la red prácticamente disminuye a la mitad de su capacidad, sin embargo con este valor aún se conserva una alta velocidad para la transmisión de información.



**Figura. 5.5. Throughput en cada nodo con interferencia**

Como se pudo observar en los análisis correspondientes a la obtención del *throughput* bajo los dos modelos de propagación, el comportamiento del mismo no presenta variaciones significativas dependiendo del edificio (nodo) que es analizado, es decir, el *throughput* es independiente de la topografía, debido a que la distancia entre las diferentes dependencias no es significativo con respecto a las distancias que se pueden alcanzar con la aplicación de la tecnología WiMAX y el entorno no presenta obstrucciones severas que podrían variar la velocidad de transmisión de forma drástica de un nodo a otro, al igual que la intervención que generan los demás nodos sobre un determinado nodo, ya que este no tiene un cambio sustancial en relación al análisis de un solo nodo con la estación base.

## 5.2 Obtención de parámetros óptimos de funcionamiento de la red

Resulta de vital importancia la selección de los parámetros más representativos con los que deben trabajar los equipos una vez que en el capítulo tres ya ha sido seleccionado el fabricante y en el capítulo cuatro se ha realizado la simulación de la red en el campus politécnico de la ESPE.

En primera instancia se debe tomar en cuenta que la red diseñada presenta una cobertura muy buena de acuerdo a la potencia de transmisión que ha sido ingresada en las simulaciones, por lo que se ha determinado que la potencia ideal

con la que debería operar la estación base BreezeACCESS de Alvarion es de 22 dBm o 158,48 mW , ya que con este nivel de potencia se logra cubrir a todo el campus politécnico y como se pudo observar en los resultados obtenidos del *throughput* también se genera un tráfico adecuado inclusive en las peores condiciones de propagación de la señal.

Otro aspecto muy importante en este punto lo constituye la selección de equipos suscriptores que cuenten con la sensibilidad necesaria para recibir y procesar la señal enviada desde la estación base. Los CPE's de la familia BreezeACCESS tiene una sensibilidad en el rango de -82 a -85 dBm, por lo que se han seleccionado aquellos equipos que presenten un valor promedio de -82 dBm, ya que como se observó en los resultados obtenidos en cuanto a los niveles de potencia con los que llega la señal a cada dependencia, este valor elegido es extremadamente conveniente ya que en el peor de los casos la señal estará en el orden de los -42.65 dBm con lo cual queda establecido que todos los CPE's ubicados en el campus tendrán la capacidad de recibir la señal en óptimas condiciones y con alta velocidad de transmisión de todo tipo de información que sea generada por la red WiMAX.

En cuanto a la frecuencia de trabajo con la que van a operar los equipos, se debe recordar que para el presente diseño han sido tomados en cuenta los equipos de Alvarion que trabajen en la banda libre de 5,8 GHz, es decir en Ecuador entre los 5,725 y 5,850 GHz, valores entre los cuales se ha determinado que una frecuencia central de operación que es de 5,800 GHz debido a que en los software de simulación se requiere de este valor, claro que también se puede mencionar que de acuerdo a la aplicación se deben seleccionar frecuencias tanto de subida como de bajada de información.

También resulta fundamental el hecho de que se ha escogido un ancho de banda de 10 MHz, ya que este parámetro permite que la red diseñada alcance altas velocidades de transmisión en condiciones que en otros casos saturarían y provocarían la caída de la misma por la generación de todo tipo de tráfico, es decir con este valor de ancho de canal de transmisión se puede mantener tasas de transmisión muy aceptables como son por ejemplo de 5.36 Mbps, tomando en

cuenta que las velocidades de transmisión ofrecidas por los equipos seleccionados de la familia BreezeACCESS están en los 10 Mbps.

La selección del tipo de antena constituye un parámetro muy importante para el desempeño de la red, en el presente proyecto se ha seleccionado una antena de tipo omnidireccional, con unas ganancias de 7 y 3 dBi para las antenas transmisoras y receptoras respectivamente, de acuerdo a valores promedio establecidos por la familia BreezeACCESS, con los cuales se ha obtenido resultados muy satisfactorios en las simulaciones de acuerdo al diseño realizado.

### **5.3 Recomendación de características de equipos a utilizar**

En las simulaciones realizadas se puede observar que los parámetros técnicos escogidos para trabajar con los equipos de la familia BreezeACCESS de Alvarion son los más adecuados para la posible implementación de la red WiMAX en el campus politécnico de la ESPE ya que se puede brindar cobertura y servicios con excelente calidad y velocidad de transmisión, además de que se requieren niveles de potencia relativamente bajos consiguiendo de esta forma un ahorro de energía que también es un factor muy beneficioso de la red.

Además se realizó un análisis para determinar los valores específicos de los parámetros más importantes con los que deben contar los equipos que forman parte de la red, por lo cual en esta sección se realiza una sugerencia de los equipos que de acuerdo a lo expuesto en el presente proyecto, serían los mejores para la implementación tanto en rendimiento como en costos.

En cuanto a la estación base, el modelo de Alvarion que más se ajusta a los parámetros seleccionados para la red es el AU-D-SA-5.8-90-VL, cuyas principales características son que trabaja en la banda de 5,725-5,850 GHz, trabaja sin línea de visión directa (NLOS) y presenta QoS (calidad de servicio) en sus aplicaciones. En la figura 5.6 se puede observar los equipos que conforman la estación base que provee este fabricante, resaltando el hecho de que incluyen su antena para evitar inconvenientes de acoplamiento con el resto de equipos.



**Figura. 5.6. Equipo estación base de Alvarion**

La estación suscriptor o CPE que se ha seleccionado como idóneo para el presente proyecto que la distribuye Alvarion es el modelo SU-A-5.8-3-1D-VL, la misma que presenta como principal característica a su sensibilidad típica de -85 dBm, además de trabajar en el mismo rango de frecuencia de su estación base. De la misma forma que en el caso anterior en la figura 5.7 se puede observar que el equipo suscriptor también incluye su antena, facilitando su implementación.



**Figura 5.7. Estación Suscriptor Alvarion**

Adicionalmente se debe tener en cuenta que el cableado tanto entre la estación base así como de las suscriptoras con sus respectivas antenas resulta un tema también importante, ya que de su comportamiento depende también el buen desempeño de la red; sin embargo de acuerdo a la presente investigación realizada se ha llegado a conocer que el fabricante provee a un costo muy accesible este tipo de implementos, los cuales han sido desarrollados específicamente para los equipos Alvarion, por lo cual resultaría muy conveniente su adquisición.

Entonces con los equipos específicos antes mencionados se podría implementar la red diseñada, ya que se establecen los modelos y adicionalmente características requeridas para la implementación, cumpliendo de esta manera los requerimientos de la red diseñada para el campus politécnico.

## **CAPITULO 6**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **6.1 Conclusiones**

El principal parámetro de diseño que se determinó en el presente proyecto es la ubicación de la estación base de la red Wimax en el campus de la Escuela Politécnica del Ejército, la misma que se estableció en el Edificio Administrativo. Este punto fue seleccionado después de varios estudios de campo y analíticos, cuyos resultados fueron determinantes y concluyentes debido a las ventajas que proporcionaban con respecto a otros sitios, específicamente relacionados con la cobertura y la infraestructura a ser utilizada. Con respecto al primer punto se determinó que ninguna otra dependencia cuenta con una línea de visión directa entre la estación base y todas las estaciones suscriptoras a ser ubicadas en el campus, lo cual resulta muy beneficioso para obtener una operación óptima en el proceso de transmisión de información (voz, datos y video), ya que si bien es cierto la tecnología WiMAX trabaja en entornos sin línea de vista, pero también está comprobado que incrementa notablemente su rendimiento en condiciones ideales de propagación de la señal como las que se presenta en este diseño. En cuanto a la infraestructura para la ubicación de la estación base, el Edificio Administrativo también presenta grandes ventajas ya que gracias a su altura no es necesaria una torre para el soporte de la antena transmisora lo cual representa una disminución en los costos de implementación sin afectar el rendimiento de la red.

En la simulación realizada en la herramienta SIRENET se pudo determinar que con niveles de potencia relativamente bajos con respecto a los parámetros técnicos proporcionados por los distintos fabricantes, se obtiene un área de cobertura dentro de la cual se encuentra el campus politécnico. Además cabe recalcar el hecho de que los resultados obtenidos en este simulador, tratan de

representar de la forma más aproximada posible la cobertura real que puede generar la red una vez implementada en el campus, ya que para la misma ha sido introducido el modelo de propagación SUI, el cual es recomendado por el estándar IEEE 802.16 (WiMAX) para la representación de entornos de propagación. De acuerdo con esto se logró obtener una ecuación característica en función de las pérdidas que se producen en la propagación de la señal debido a factores topográficos, frecuencias de trabajo y distancias entre los más importantes, gracias a la cual se pudo crear el modelo de propagación SUI que fue nombrado.

Se logró establecer de acuerdo al análisis del tráfico generado por la red en el software Network Simulator, que la cantidad de información recibida por un nodo de la red en tiempo determinado (*throughput*) es independiente de la topografía que presenta el campus politécnico, ya que si bien es cierto se generan ciertas diferencias en cuanto al análisis de cada nodo, pero en términos generales la red muestra una relativa estabilidad inclusive entre los nodos más cercanos y lejanos a la estación base. Este hecho se produce debido a que la tecnología WiMAX ha sido desarrollada para alcanzar distancias de hasta 50 Km de radio de cobertura trabajando con línea de vista directa, que en comparación con las distancias entre las dependencias del campus y la estación base resultan ser muy superiores, con lo cual se comprueba esta hipótesis y se garantiza además que todas las estaciones suscriptoras contarán con excelente cobertura y calidad en los servicios prestados por la red.

Con el modelo de propagación FreeSpace es posible determinar las características mínimas requeridas por los equipos para trabajar con la tecnología WiMAX y de esta manera garantizar el funcionamiento de la red ya que solo se introduce una pérdida básica producida por la propagación electromagnética de la señal, en el caso de las simulaciones realizadas se ha determinado que con distintos escenarios con respecto al tráfico generado por la red, su capacidad disminuye de un 30 a 40% de su capacidad teórica; mientras que el modelo de propagación Shadowing trata de simular las condiciones más adversas que puede enfrentar la propagación de la señal ya que introduce diferentes tipos de pérdidas debido principalmente a la presencia de obstrucciones entre la estación base y las

estaciones suscriptoras, en cuyo grupo de simulaciones, al realizar el análisis como el caso anterior se determinó que la capacidad de la red disminuye aproximadamente un 45%, es decir el comportamiento de la red es bastante aceptable ya que mantiene un buen rendimiento en cuanto a las altas velocidades de transmisión que brinda, logrando de esta manera estabilizarse a pesar de ser sometida a un alto tráfico de información.

Las herramientas de simulación en la actualidad facilitan la planificación de redes radioeléctricas como se comprobó en el presente proyecto con el empleo tanto de SIRENET como de Network Simulator. En el caso específico de SIRENET<sup>®</sup> establece un sistema de información geográfica que permite a través de cartografía digital simular diversos tipos de redes inalámbricas y servicios, incluyendo algoritmos de cálculo muy utilizados a nivel mundial, con la ventaja de mostrar una interfaz gráfica amigable para el usuario, permitiendo la creación o modificación de parámetros predefinidos para un determinado estudio. En cuanto a Network Simulator a diferencia del simulador anterior éste no requiere una licencia para su funcionamiento presentando un alto desempeño en la simulación de de todo tipo de redes, por lo que se ha convertido en una herramienta muy empleada y difundida; sin embargo su programación es más compleja ya que todas sus aplicaciones se basan en instrucciones en lenguaje OTcl.

Se determinó que los equipos más adecuados para una futura implementación de la red en el campus pertenecen a la familia BreezeACCESS de Alvarion, ya que cumplen con las principales características determinadas en el diseño como es el caso de la banda de frecuencias de operación, velocidad de transmisión, potencia de transmisión, sensibilidad de las estaciones suscriptoras entre otras. Además dichos equipos brindan una alta calidad de servicio (QoS), así como logran una alta eficiencia espectral y ahorro en el consumo de energía.

La determinación del tráfico empleado en la red constituye un factor importante para el diseño de la red ya que permite conocer la capacidad que deben cumplir los equipos a fin de obtener resultados esperados en la transmisión de información triple play, es decir lograr altas velocidades y evitar en lo posible la saturación de la red lo que provocaría una caída de la misma. Este análisis de

igual forma resultó de gran ayuda para la simulación ya que gracias a los protocolos de transporte existentes en el simulador Network Simulator, como son CBR para aplicaciones multimedia y FTP en el caso de aplicaciones de Internet, se ha logrado determinar el comportamiento de la red ante estos dos tipos de tráfico que podrían presentarse.

La tecnología WiMAX en la actualidad posee grandes ventajas frente otro tipo de estándares inalámbricos debido a que presenta una alta capacidad para un considerable número de usuarios, adicionalmente tiene un gran ancho de banda y es adecuada para tráfico continuo a manera de ráfagas, por lo cual es independiente de protocolo logrando transportar IP, Ethernet, ATM etc., y de esta forma soportar servicios múltiples, resultando idónea para la transmisión de voz sobre IP (VoIP), datos y vídeo.

En estudio de campo se estableció que el área de terreno en el cual se encuentra el campus de la ESPE corresponde a un tipo C de acuerdo al modelo de propagación SUI, es decir es relativamente plano con ligera densidad de árboles, además se obtuvieron las coordenadas de cada una de las dependencias a través del empleo de un GPS proporcionado por el Departamento de Ciencias de la Tierra con una sensibilidad de  $\pm 3$  metros, cuyos resultados obtenidos fueron aceptables y permitieron el desarrollo del diseño.

## **6.2 Recomendaciones**

Para trabajar con el simulador Network Simulator y crear una red WiMAX (802,16-2004) se requiere el empleo de la versión 2,29 debido a que la misma presenta las librerías necesarias para dicho estándar inalámbrico y permite desarrollar diversos tipos de aplicaciones. Dichas librerías se incluyen dentro de un solo módulo (WiMAX) creado por investigadores de la Universidad de Chang Gung de Taiwán por lo que se recomienda su utilización para la simulación de redes como la diseñada en el presente proyecto.

Es importante señalar que otra forma de analizar los datos obtenidos en Network Simulator, es a través de la utilización del programa TraceConverter, el

mismo que permite exportar los resultados del simulador hacia un entorno gráfico de Matlab con lo cual se pueden realizar estudios más detallados sobre el comportamiento que presentan las redes al momento de transmitir información. El único inconveniente que se debe considerar es que este programa de Matlab no es compatible con algunas aplicaciones de NS-2 como es el caso del presente diseño, en el cual no se pudo analizar los resultados con esta herramienta; sin embargo para futuras investigaciones se debería tomar en cuenta este aspecto para profundizar más aún el estudio de las redes inalámbricas con el estándar IEEE 802.16 (WiMAX).

Con el fin de obtener resultados que sean más exactos en SIRENET en cuanto a la cobertura y a las zonas en las que se podrían presentar desvanecimientos de la señal por diversas causas, es recomendable contar con mapas topográficos del lugar específico a ser analizado, para lo cual según la presente investigación se debería tener un contacto permanente con la empresa diseñadora del simulador ya que ellos están en la capacidad de realizar este tipo de mapas, aunque se debe tener en cuenta que esto representa un costo adicional al que se cancela por derechos de utilización o licencias del programa.

Al momento de la adquisición de los equipos para una probable implementación de la red en el campus de la Escuela Politécnica del Ejército, se debe tener en cuenta que si bien es cierto se ha determinado que los equipos más idóneos son los de Alvarion, también existen otros fabricantes con los cuales se podría trabajar pero se deberían considerar los diferentes parámetros técnicos que deben tener los equipos y además el costo-beneficio que representaría para la institución una inversión de este tipo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] López, Juan, Utilización de sistemas inalámbricos en entornos sanitarios, [www.ctmd.deusto.es/images/ProyectosCatedra/USIES\\_Preestudio\\_v1.0.pdf](http://www.ctmd.deusto.es/images/ProyectosCatedra/USIES_Preestudio_v1.0.pdf), 31 de Enero del 2007, 10 de mayo del 2008.
- [2] Loutfi, Nuaymi, *WiMAX: Technology for Broadband Wireless Access*, 1ra ed., Ed. Wiley, 23 de marzo 2007.
- [3] IEEE, 802.16 Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, <http://www.ieee802.org/16/>, 1 de Octubre del 2004, 2 de Marzo del 2008.
- [4] WiMAX NLOS Features, <http://www.wimaxforum.org/documents/download/WiMAXNLOSgeneral-versionaug04.pdf>, 10 de marzo del 2008.
- [5] Jeffrey G. Andrews, Arunabha Ghosh, Rias Muhamed, *Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wireless Networking (Prentice Hall Communications Engineering and Emerging Technologies Series)*, 1ra ed., Ed. Prentice Hall, 10 de Noviembre del 2007.
- [6] Gonzalez, Pablo, *Diseño de una herramienta de planificación de sistemas WiMAX*, <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3582/1/53965-1.pdf>, 19 de julio de 2006, 15 de marzo del 2008.
- [7] Télécommunications Security issues in WiMAX/IEEE 802.16 BWA system, [www.rennes.enst-bretagne.fr/~pmaille/papiers/nuaymi2004security.pdf](http://www.rennes.enst-bretagne.fr/~pmaille/papiers/nuaymi2004security.pdf), 14 de abril del 2008.
- [8] Global Positioning System, [http://en.wikipedia.org/wiki/Global\\_Positioning\\_System](http://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System), 15 de abril del 2008.
- [9] Jácome Dávila Lenin, Trujillo Paredes Patricia, *Estudio y Diseño de un Sistema de Acceso Inalámbrico de Banda Ancha (LMDS) para un área comercial de la ciudad de Quito*, junio del 2001.
- [10] David, Rincón, Mitigación de la Dependencia a Largo Plazo del Tráfico en Redes WLAN IEEE 802.11, <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/9907/4378494/04378495.pdf?isnumber=4378494&prod=JNL&arnumber=4378495&arSt=128&ared=135&arAuthor=Rincon%2C+David%3B+Cano%2C+Cristina>, 3 de Junio del 2007, 22 de julio del 2008.
- [11] The *ns* Manual, [www.ecse.rpi.edu/Homepages/shivkuma/teaching/fall2002/ns-2/ns\\_doc.pdf](http://www.ecse.rpi.edu/Homepages/shivkuma/teaching/fall2002/ns-2/ns_doc.pdf), 10 de marzo del 2008, 10 de mayo del 2008.

- [12] WiGIPLAN: Herramienta de planificación de despliegues WiMAX en entornos rurales con apoyo SIG, [http://telecomid.webs.upv.es/ftp/CD/Programa%20Oficial%20Telecom%20I+D%202007\\_07\\_14\\_archivos/pdf/90.pdf](http://telecomid.webs.upv.es/ftp/CD/Programa%20Oficial%20Telecom%20I+D%202007_07_14_archivos/pdf/90.pdf), 5 de mayo de 2008.
- [13] An Empirically Based Path Loss Model for Wireless Channels in Suburban Environments, <http://wsl.stanford.edu/~ee359/greenshad.pdf>, 7 de julio del 1999, 25 de abril del 2008.
- [14] IEEE, Channel Models for Fixed Wireless Applications, [http://wirelessman.org/tga/docs/80216a-03\\_01.pdf](http://wirelessman.org/tga/docs/80216a-03_01.pdf), 16 de julio 2001, 26 de abril del 2008.
- [15] RESOLUCIÓN 337-14-CONATEL-2008 CONSEJO NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CONATEL, [http://www.conatel.gov.ec/site\\_conatel/index.php?view=article&catid=134%3Aresoluciones-2008&id=302%3Aresoluciones-junio-agosto 2008&option=com\\_content&Itemid=201](http://www.conatel.gov.ec/site_conatel/index.php?view=article&catid=134%3Aresoluciones-2008&id=302%3Aresoluciones-junio-agosto%202008&option=com_content&Itemid=201), 20 de Agosto 2008.
- [16] BreezeACCESS™: Delivering the Promise of WiMAX, [http://www.alvarion.com/knowledgecenter/brochures/BreezeACCESS /](http://www.alvarion.com/knowledgecenter/brochures/BreezeACCESS/), 23 de junio del 2008.
- [17] Airspan's WiMAX Product Portfolio, [http://www.airspan.com/products\\_wimax.aspx](http://www.airspan.com/products_wimax.aspx), 25 de junio del 2008.
- [18] HyperMAX Base Station, <http://www.airspan.com/pdfs/HiperMAX%20Datasheet.pdf>, 25 de junio del 2008.
- [19] PacketMAX Family, <http://www.apertonet.com/products/pmax.html>, 28 de julio del 2008.
- [20] Licensed Broadband Products and Unlicensed Broadband Products, <http://www.axxcelera.com/online/products.php#s480>, 28 de junio del 2008.
- [21] Tsunami MP.11 Series, [http://www.proxim.com/products/mp11\\_bs/](http://www.proxim.com/products/mp11_bs/), 5 de julio del 2008.
- [22] Intelia Consultores, *Sirenet versión 3.0-Simulación de redes radioeléctricas*, 2007, 8 de abril del 2008.
- [23] Roldán Bravo, Alfonso, *Estudio de modelos de movimiento en interiores para aplicación en entornos WLAN*, 14 de diciembre de 2007, 20 de mayo del 2008.
- [24] Network simulator, [http://en.wikipedia.org/wiki/Network\\_Simulator](http://en.wikipedia.org/wiki/Network_Simulator), 22 de junio del 2008.
- [25] User Datagram Protocol, <http://es.wikipedia.org/wiki/UDP>, 6 de julio del 2008.
- [26] Protocolos de Red: Protocolo TCP/IP, <http://www.monografias.com/trabajos/protocolotcpip/protocolotcpip.shtml>, 6 de julio del 2008.

[27] Vasques Alan Tamer, Pereira Esteves Rafael, Gomes Abelém Antônio Jorge, *Simulação de Redes de ão de Redes de Computadores utilizando o Computadores utilizando o Network Network Simulator*, 8 de julio del 2008.

[28] Constant bitrate, [http://en.wikipedia.org/wiki/Constant\\_bitrate](http://en.wikipedia.org/wiki/Constant_bitrate), 8 de julio del 2008.

[29] FTP Básico, <http://www.monografias.com/trabajos/ftpbasico/ftpbasico.shtml>, 8 de julio del 2008.

[30] Telnet, <http://es.wikipedia.org/wiki/Telnet>, 10 de julio del 2008.

[31] Mohamad Y. Alsaadi, Simulation Study for a Secure Routing Protocol for Wireless Mobile Ad Hoc Network, <http://grad.uprm.edu/oeg/TesisDisertaciones/Digitales/IngenieriaElectricaComputadoras/>, 2006, 10 de Julio del 2008.

# **ANEXO 1**

**DEPENDENCIAS DE LA ESCUELA  
POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

A continuación se presentan las imágenes en las cuales se puede observar la perspectiva con respecto a la línea de vista desde cada edificio de la ESPE hacia el Edificio Administrativo (Estación Base).



**DEE - Edificio Administrativo**



**Edificio Central-Edificio Administrativo**



**Biblioteca-Edificio Administrativo**



**Geográfica-Edificio Administrativo**



**Bloque D-Edificio Administrativo**



**Bar-Edificio Administrativo**



**Idiomas-Edificio Administrativo**



**MED-Edificio Administrativo**



**Coliseo-Edificio Administrativo**



**Casino-Edificio Administrativo**



**Residencia-Edificio Administrativo**



**Trasportes-Edificio Administrativo**



**Vista frontal desde el Edificio Nuevo**



**Vista lateral izquierda desde el Edificio Nuevo**



**Vista lateral derecha desde el Edificio Nuevo**

## **ANEXO 2**

### **ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE EQUIPOS WIMAX**

## Equipos Alvarion



# BreezeACCESS® VL

Broadband Wireless Access with Toll Quality Voice

BreezeACCESS VL, Alvarion's broadband wireless platform in the 5 GHz frequency, is part of the BreezeACCESS product family, the world's most deployed wireless broadband platform. Superior features such as non-line-of-sight (NLOS), extended reach, high capacity in all packet sizes, encryption, and end-to-end QoS for time critical applications are key to its success in deployments worldwide.

Increase revenue from offering toll quality voice over IP (VoIP) and other triple play services through the use of quality of service algorithms (QoS), multimedia application prioritization (MAP) for wireless link prioritization, and unprecedented high capacity in all packet sizes. BreezeACCESS VL supports hundreds of simultaneous calls per sector.

With BreezeACCESS VL, operators offer a wide variety of services and applications, including VoIP, wireless leased line, hotspot feeding, gaming services, secure VPNs, video surveillance and wireless xDSL in urban and rural environments, and all at reduced capital and operating costs than wired alternatives.





### Choose BreezeACCESS VL for:

- Video and voice with end-to-end quality of service supporting an unmatched number of hundreds of toll quality calls per sector
- Connecting communities - for cost-effective access within communities, municipalities and educational institutions
- Hotspot feeding - high throughput, reliable service
- Security and surveillance - wireless cameras transmitting bandwidth hungry video and requiring secure reliable services
- Last mile access - services for both residential and business users with NLOS capabilities for all environments, rural and urban
- Enterprise networks - leased line replacement for cost effective connectivity, providing VoIP and data services in enterprises and campuses

### Reasons for Choosing BreezeACCESS VL

#### Economic Advantages

- More revenues by providing subscribers toll quality voice and video services with differentiated price packages for multiple speeds and upgrade options
- Less infrastructure investment today - NLOS, high capacity, outstanding coverage, multi-subscriber profiles in same sector and network, modular and flexible "pay-as-you-grow" enables fewer base stations and site constructions
- Lower CAPEX tomorrow - protect your investment for co-location with future WiMAX systems. Both sets of CPEs (BreezeACCESS VL and BreezeMAX™) are able to operate at the same sector. AlvariSTAR™ management tool will support all Alvarion WiMAX, BreezeACCESS VL and BreezeNET B<sup>2</sup> platforms with seamless management migration
- Out-of-the-box low cost installation -
  - 10 LEDs SNR BAR display on outdoor unit for fast antenna alignment without external tools or monitors, standard CAT5 cable and best AU mode for fast association
  - Optimal performance through always-on adaptive modulation and automatic transmit power control (ATPC)
  - Over-the-air software upgrade for easy, cost-saving installation
- Lower OPEX - fewer base stations, remote management and remote firmware upgrade, effective diagnostic tools, self adaptive to environmental changes



#### Technological Advantages

- Wide coverage, more customers with fewer base stations
- Multimedia Application Prioritization (MAP) using wireless link prioritization for full end-to-end QoS
- Unique dynamic resource allocation protocol (DRAP) with Alvarion's voice gateways ensuring high quality voice, while maintaining residual capacity for best effort data services
- Very high capacity and packet processing for best network performances and high number of VoIP calls
- DFS+ (dynamic frequency selection) for countries that require it, plus an Alvarion only algorithm to improve channel management under certain conditions of low radar activity
- Best access unit (AU) selection - for fast and simple SU association with best AU detected, also acts as a redundancy mechanism that automatically selects second best AU if best AU fails
- Flexible network planning - Supports 10 and 20 MHz subchannel options for radio planning and interference avoidance with automatic subchannel search
- Rugged, widely deployed robust solution in 5 GHz

#### Management Advantages

- AlvariSTAR - a comprehensive network management support tool with scalable architecture, topology management, configuration and monitoring, fault management, and performance monitoring
- BreezeCONFIG - a configuration and monitoring utility that is intuitive and simple to use and enables simultaneous firmware upgrades for multiple CPEs





### Extensive Access Suite Features

- Bridging functionality - simple configuration, fast installation  
802.1Q VLAN support with trunk, access and hybrid and QinQ 802.ad modes
- QoS - end-to-end QoS with MAP using packet prioritization
- SLA enforcement - supports committed information rates (CIR) and maximum information rates (MIR) per user, per direction; packet prioritization with IP TOS, VLAN, DiffServ and UDP/TCP port range classification, and graceful degradation in case of congestion

### Security and Filtering Options

- AES 128 and WEP 128 encryption options - and new FIPS-197 encryption mode, certified according to Federal Information Processing Standards, access/denial list enabling only authorized CPEs to connect
- Access control with IP address protocol and MAC based filtering, offering better control including being able to limit the number of authorized IP addresses, enabling an additional source of revenue or for preventing local broadcasts from flooding the wireless link

### Flexibility and Modularity

- Flexible topology allowing stand-alone or chassis based configurations for modular and scalable solutions enabling "pay as you grow". Deployable in multiple sectors using various antenna choices
- AC and DC power supply options
- Supports 3, 6 and 54 Mbps CPE rates with attached and external antenna options
- Upgradeable CPE bandwidth over the air

### The Complete Spectrum™ Solution

- Covers the entire 5 GHz band and easily integrates with BreezeACCESS's 900 MHz, 2.4 GHz, 3.5 and 4.9 GHz bands using the same infrastructure and range of technologies
- Supports concurrent LOS, NLOS and multi-frequencies with subscriber speeds from 3 to 54 Mbps
- Permits operators to customize networks for various market segments to achieve the highest revenue per cell

### Robustness and Reliability

- Adaptive modulation with 8 rates schemes and smooth changes between rates responding to link conditions, facilitating link robustness, set at the highest per customer rate possible
- Automatic transmit power control (ATPC) - the access unit automatically measures and adjusts the subscriber unit's transmission power, enabling easier installation and optimizing network performance
- Supports various redundancy options
- Built in Forward Error Correction and retransmission correcting lost and damaged bits
- Full outdoor rated equipment option with OPS-AC-HD

### System Components

The BreezeACCESS VL solution consists of a base station and customer premises equipment (CPE) units. The base stations are available as either modular or stand-alone micro cell units. CPEs are available in various models for differing bandwidths and single or multiple user configurations.

### Access Units (AUs)

Installed at the base station site, each AU includes indoor and outdoor units. The indoor connects to the network through a standard Ethernet 10/100BaseT (RJ-45) interface and to the outdoor unit is connected to the indoor unit through a CAT-5 cable. Almarion offers two types of base stations:

- The modular shelf base station (BS-SH-VL) 19" 3U universal chassis holding up to 6 AU modules. Two power supply modules can be used in a BS-SH-VL chassis (either AC or DC) for fail-safe operation. The AU-D-BS kit includes a chassis based indoor unit, pole mounted outdoor unit and sector antennas.
- The stand-alone micro base station (AU-D-SA) kit includes a small indoor unit, pole-mounted outdoor unit and a sector antenna.



A variety of antennas can be used with the base station: 360, 120, 90 and 60 degrees.

### Subscriber Units (SUs)

The subscriber unit (SU) enables customer connection with the base station and supports single or multiple end users. SUs provide an efficient platform for always-on, high-speed Internet and Intranet, VoIP, VPN and other services.



Each SU connects to the network through a standard Ethernet 10/100BaseT (RJ-45) interface and connects to its outdoor part via CAT-5 cable. Each SU kit includes a single data port indoor unit, CAT-5 indoor-outdoor cable, pole mounted outdoor unit and integrated antenna in most cases. Several subscriber unit add-on modules are available including: the networking gateway that offers residential, SOHO and SME subscribers a flexible range of wireless and wireline networking services and the voice gateway that offers the efficient provision of voice and data.

Several CPE models are available (ff - frequency band):

- The SU-A-ff-3-1D-VL supports gross rate of up to 3 Mbps for a single user, includes integrated antenna
- The SU-A-ff-6-BD-VL supports gross rate of up to 6 Mbps for multiple users, includes integrated antenna
- The SU-A-ff-54-BD-VL supports gross rate of up to 54 Mbps for multiple users, includes integrated antenna
- The SU-E-ff-54-BD-VL supports gross rate of up to 54 Mbps for multiple users, does not include antenna

## Headquarters

International Corporate Headquarters  
Tel: +972.3.645.6262  
Email: corporate-sales@alvarion.com

North America Headquarters  
Tel: +1.650.314.2500  
Email: n.america-sales@alvarion.com

## Sales Contacts

Australia  
Email: australia-sales@alvarion.com

Brazil  
Email: brazil-sales@alvarion.com

Canada  
Email: canada-sales@alvarion.com

Caribbean  
Email: caribbean-sales@alvarion.com

China  
Email: china-sales@alvarion.com

Czech Republic  
Email: czech-sales@alvarion.com

France  
Email: france-sales@alvarion.com

Germany  
Email: germany-sales@alvarion.com

Hong Kong  
Email: hongkong-sales@alvarion.com

Italy  
Email: italy-sales@alvarion.com

Ireland  
Email: uk-sales@alvarion.com

Japan  
Email: japan-sales@alvarion.com

Latin America  
Email: lasales@alvarion.com

Mexico  
Email: mexico-sales@alvarion.com

Nigeria  
Email: nigeria-sales@alvarion.com

Philippines  
Email: far-east-sales@alvarion.com

Poland  
Email: poland-sales@alvarion.com

Romania  
Email: romania-sales@alvarion.com

Russia  
Email: info@alvarion.ru

Singapore  
Email: far-east-sales@alvarion.com

South Africa  
Email: africa-sales@alvarion.com

Spain  
Email: spain-sales@alvarion.com

U.K.  
Email: uk-sales@alvarion.com

Uruguay  
Email: uruguay-sales@alvarion.com

For the latest contact information in your area, please visit [www.alvarion.com/company/locations](http://www.alvarion.com/company/locations)



© Copyright 2007 Alvarion Ltd. All rights reserved.  
All other trademarks, trade names, product and service names mentioned herein are the registered trademarks, trade names, trademarks or service marks of Alvarion Ltd.  
All other names or marks may be the trademarks of their respective owners.  
The content herein is subject to change without notice.

## Specifications

### Radio

Frequency	4.900 - 5.100 GHz, 5.15 - 5.35 GHz, 5.47 - 5.725 GHz, 5.725 - 5.850 GHz								
Radio access method	Time Division Duplex (TDD)								
Channel	10 MHz, 20 MHz								
Central frequency resolution	5 MHz, 10 MHz								
Max output power (at antenna port)	AU: -10 dBm to 21 dBm, 1 dB steps SU: -10 dBm to 21 dBm, automatically adjusted by ATPC Actual max. power may be limited for compliance with local regulation								
Sensitivity, typical (dBm at antenna port)	Modulation	1	2	3	4	5	6	7	8
	Level* (20 MHz)	-89	-88	-86	-84	-81	-77	-73	-71
	Level* (10 MHz)	-92	-91	-89	-87	-84	-80	-76	-74
	* Modulation level combines modulation scheme and coding gain.								
Modulation scheme (Adaptive)	OFDM: BPSK, QPSK, QAM 16, QAM 64								
Antenna port (AU-RE)	N-Type 50 ohm								
Subscriber integrated antenna AU antennas	20 dBi (19 dBi in 4.9-5.1 GHz band), 10.5° HV, Integrated flat panel 60°: 16 dBi, Sector 60° horizontal, 10° vertical 90°: 16 dBi, Sector 90° horizontal, 6° vertical 120°: 15 dBi, Sector 120° horizontal, 6° vertical, 360°: 8 dBi, Sector 360° horizontal, 9° vertical (AU-SA only)								

### Data Communication

VLAN support	Based on IEEE 802.1q, QinQ 802.3ad
Layer-2 traffic prioritization	Based on IEEE 802.1p
Layer-3 traffic prioritization	IP ToS according to RFC 791 and DSCP according to RFC 2474
Layer-4 traffic prioritization	UDP/TCP port range
Security	WEP 128-bit authentication, AES 128, WEP 128, and certified RPS-197 mode built in encryption

### Configuration and Management

Local & remote management	SNMP based NMS and windows based configuration utility, Telnet
Remote management access	From wired LAN, wireless link
Management access protection	Multilevel password Configuration of remote direction (from Ethernet only, wireless only, or both sides) Configuration of IP addresses of authorized stations
Software upgrade	Via TFTP and FTP
Configuration up/download	Via TFTP and FTP
SNMP agents	SNMPv1 client, MIB II, Bridge MIB, Private BreezeACCESS VLMIB

### Physical and Electrical

Type	Connectors	Electrical
SU-NI, AU-NI	Ethernet 10/100BaseT RJ45, 2 embedded LEDs Radio 10/100BaseT Ethernet RJ-45 AC IN 3-pin AC power plug	Power consumption 25W AC input: 100-240VAC, 50/60Hz
SU-RA, AU-RE	Indoor 10/100Base RJ-45 with waterproof sealing assembly	54 VDC from indoor to outdoor
AU-BS	Ethernet 10/100BaseT RJ-45, 2 embedded LEDs Radio 10/100BaseT Ethernet RJ-45	Power consumption 30W (module plus outdoor unit) AC input: 100-240VAC, 50/60Hz 3.3VDC, 54V from power supply in backplane
BS-PS AC (AC power supply)	AC-IN 3-pin power plug	Power consumption: 240W, full chassis (1 PS, 6 AU) AC input: 85-265VAC, 47-65Hz DC output: 54V, 3.3V
BS-PS-DC (DC power supply)	-48 VDC 3-pin DC D-Type 3 power pin plug Amphenol	Power consumption: 240W, full chassis (1 PS, 6 AU) DC input: -48 VDC nominal (-34 to -72), 10 A max. DC output: 54V, 3.3V

### Standards Compliance

Type	Standard	
EMC	FCC Part 15 class B, CE ETSI EN 301 489-1/4	
Safety	UL 60950-1, EN 60950-1	
Environmental	Operation	ETS 300 019 part 2-3 class 3.2E for indoor units ETS 300 019 part 2-4 class 4.1E for outdoor units
	Storage	ETS 300 019-2-1 class 1.2E
	Transportation	ETS 300 019-2-2 class 2.3
Lightning protection	EN 61000-4-5, class 3 (2kV)	
Radio	FCC part 15	EN 301 753 EN 301 021 EN 301 893 (V 1.3.1)

Note: Not all options are available in all regions and some features require software licensing key. Please contact your local representative for further information

## Equipos Airspan



### MicroMAXe

#### Main Features

- Supports 802.16e-2005 SFDMA  
Supports wide range of frequency bands
  - + 2.3GHz, 2.5GHz, 3.3GHz, 3.5GHz, 3.7GHz, 4.9GHz, 5.4GHz, 5.8GHz
- All-in-one single outdoor unit minimises deployment costs and site OPEX
- Dual 36dBm radios
- STC and MIMO support
  - + Matrix A
  - + Matrix B
- Supports 5/10/20MHz channel size
  - + 2x5MHz
  - + 2x10MHz
  - + 1x20MHz
- Supports 512, 1024, 2048 FFT SFDMA
- Supports interoperable reference points defined by NRM
  - + Supports interoperable R6 reference point
- Compact and light form factor

### MicroMAX Base Station

MicroMAX is a family of single mode (802.16d or 802.16e) highly integrated micro-cell base stations with all-in-one outdoor packaging of RF and base-band components. For Mobile WiMAX applications, MicroMAXe includes integrated dual RF transceivers to support two-channel MIMO. Performance optimized variants for high density roof-top deployments and cost optimized variants for low density / rural deployments are available.

MicroMAX family comprises of two products:

- **MicroMAXe** - an all outdoor solution for Mobile WiMAX applications to minimise physical footprint and operator OPEX
- **MicroMAXd** - an outdoor solution for Fixed WiMAX applications with an indoor traffic aggregator.

### MicroMAXe

MicroMAXe is a sophisticated micro-cell Mobile WiMAX base station which employs the software defined radio (SDR) technology first developed for HiperMAX, together with dual radio transceivers, antennas and GPS receiver all in a highly integrated, physically small and light, all outdoor package.

MicroMAXe has been designed to provide a sophisticated yet cost-effective base station solution in less dense deployment situations. The product supports a wide range of licensed and unlicensed frequency bands. The product has been designed to address the markets needs thru to 2011 and beyond by supporting the current and future air interfaces thanks to its SDR technology.

MicroMAXe base station product bringing together state-of-the-art technologies in a compact and all

outdoor package. Thanks to its small footprint MicroMAXe is easy to deploy and minimises site OPEX expenditure.

MicroMAXe comes in two variants, a Hi-Power class and a Lo-Power class. MicroMAXe implements dual radios for 2x2MIMO delivering up to 56dBm EIRP with the integrated antennas.

MicroMAXe initially supports 5MHz and 10MHz channel sizes. However, the product is capable of supporting 20MHz channels (Mobile WiMAX profile Rel.1.5) as well. MicroMAXe has been designed to support either 2x10MHz (using dual PHY/MAC) or 1x20MHz channel.

MicroMAXe has been conceived for deployment in 3-sector configuration, which is the optimum configuration for Mobile WiMAX deployments. MicroMAXe design also incorporates an Ethernet switch which enables the traffic from 3 sectors to be aggregated for backhaul and network interfacing. MicroMAXe fully supports the interoperable R6 reference point for interworking with ASN Gateways either in a distributed or centralised network configuration.

Spectrum is a scarce and valuable resource which must be used efficiently. In order to achieve frequency reuse factor of one (N=1) the best balance between spectral efficiency and interference mitigation must be achieved. This is realised through Fractional Frequency Reuse for which MicroMAXe has been optimized. Fractional Frequency Reuse controls co-channel interference to support frequency reuse of one with minimal degradation in spectral efficiency. MicroMAXe can also be deployed using traditional frequency reuse plans.

## MicroMAXd



CAT5 cable, which carries both data and power. Each BSDU can support up to 8 BSRs.

MicroMAXd is designed to support lower density, rural broadband access, enterprise applications and DSL in-fill scenarios in both licensed (1.5GHz, 3.3GHz, 3.5, 3.7GHz, 4.9GHz) and unlicensed (5.1, 5.4GHz, 5.8GHz, 5.9GHz) bands.

One of the key features of the MicroMAX BSR is that it requires less than 28W power, making it ideally suited for those rural deployments where power generation and supply may be a problem.

MicroMAXd operating in unlicensed bands can be used by Wireless ISPs to deploy WiMAX easily and cost effectively wherever the need is identified.

Both MicroMAXe and MicroMAXd base stations are managed by Netspan, Airspan's SNMP based element management platform.

MicroMAXd is a complete standalone base station, sharing the same system architecture as our tried and tested ASWipLL product line.

The MicroMAXd base station is highly modular in design and consists of two main components: the all-outdoor Base Station Radios (BSR) and the indoor aggregator Base Station Distribution Unit (BSDU), or the single channel Data Adaptor.

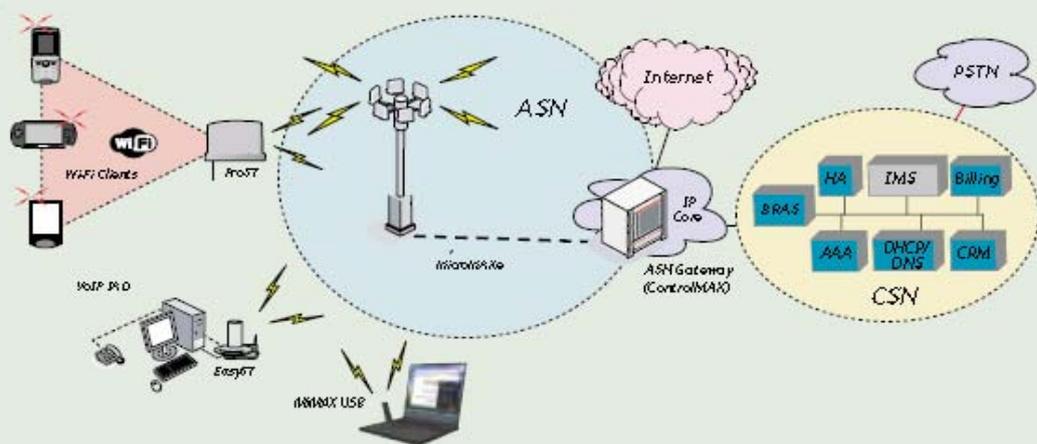
Each base station site can contain up to 16 BSRs, depending on the amount of available spectrum. Each BSR is connected to the BSDU via a 100BaseT interface operating over a

## MicroMAXd

### Main Features

- Cost optimized for lower density applications
  - Modular and scalable architecture
  - All outdoor integrated baseband digital processing, radio and antenna
  - Up to 16 radios per mast
  - Radios connected to indoor aggregator using Cat5
  - Cat5e (100m), up to 300m with Cat5 repeater
- Sophisticated radio implementation
- Supports WiMAX Forum™ profiles in 1.5GHz, 3.3GHz, 3.5GHz, 3.7GHz, 4.9GHz, 5.1GHz, 5.4GHz, 5.8GHz and in 5.9GHz bands
- BPSK/QPSK/16QAM/64QAM adaptive modulation
- Full duplex FDD and TDD operation
- Advanced software features
  - Full IEEE 802.16 QoS service classes
  - Full 802.1d transparent bridging
  - IEEE 802.1Q/p VLAN tagging/untagging
  - Bridging and routing functionality

## Network Architecture



## MicroMAX Base Station Technical Summary

	MicroMAXe	MicroMAXd
Mobile WiMAX	Yes	No
Fixed WiMAX	No	Yes
Standards Compliance	IEEE802.16e-2005	IEEE802.16-2004
Form Factor	All Outdoor	Split Indoor / Outdoor
Frequency Bands	2.3GHz, 2.5GHz, 3.3GHz, 3.5GHz, 3.7GHz, 4.9GHz, 5.4GHz, 5.8GHz, (700MHz - Future)	1.5GHz, 3.3GHz, 3.5GHz, 3.7GHz, 4.9GHz, 5.1GHz, 5.4GHz, 5.8GHz, 5.9GHz
Channel Size	20MHz, 2x10MHz, 10MHz, 5MHz	10MHz, 5MHz, 3.5MHz, 1.75MHz
FFT	2048, 1024, 512	256
Duplex Method	TDD (FDD - Future)	TDD, FDD
Tx Power (Frequency band dependant)	Up to 2 x +36dBm	+27dBm
Maximum EIRP per sector	56dBm	44dBm
GPS Synchronisation	8hr holdover, Integrated	Distributed
STC	Yes	No
MRC	Yes	No
MIMO	2x2	No
MIMO Matrix Type	Matrix A, Matrix B	No
CSM	Yes	No
Beamforming	No	No
Uplink Sub-Channelization	Yes	Yes
PLSC	Yes	No
Fractional Frequency Reuse	Yes	No
Dynamic Frequency Selection (DFS)	Yes	Yes
Ethernet CS	Yes (Future)	Yes
IP CS	Yes	No
IP version support	IPv6, IPv4	IPv4
Network Interface	100Gb Ethernet / R6	10Gb Ethernet
End to End VLAN (802.1Q)	No	Yes
Network VLAN Traffic Segregation	Yes	Yes
ASN Profile	Profile C	No
Supported Usage Scenarios	Mobile, Portable, Nomadic, Fixed	Nomadic, Fixed
Handover Supported	Yes	No
Encryption	AES	DES, AES
Authentication	PKM, PKMv2, EAP-TLS, EAP-AKA, EAP-SIM	PKM
Environmental (outdoor elements)	ETS 300 019-1-4 Class 4.1E	ETS 300 019-1-4 Class 4.1E
Environmental (indoor elements)	-	ETS 300 019-1-3 Class 3.2

Note: Specifications are subject to change without notice and are for information purposes only.



Worldwide Headquarters:  
Airspan Networks Inc.  
777 Yamato Road, Suite 105,  
Boca Raton, FL 33431-4408, USA  
Tel: +1 561 893 8670 Fax: +1 561 893 8671

Main Operations:  
Airspan Communications Limited  
Cambridge House, Oxford Road,  
Luton, Bedfordshire, LU8 1UN, UK  
Tel: +44 (0) 1895 467 100 Fax: +44 (0) 1895 467 101

[www.airspan.com](http://www.airspan.com)




## The Ultimate Mobile WiMAX Base Station

### Main Features

- HiperMAX supports:
  - Option of split indoor / outdoor or all outdoor elements
  - Fully redundant architecture
  - Up to 6 channels per ATCA shelf with full redundancy or Up to 12 channels without redundancy
  - Optical, zero-loss connectivity between indoor and outdoor units
- Up to 40dBm transmit power
- Supports FDD and TDD profiles
- Advanced antenna options, including diversity, MIMO and SAS
- Up to 5bps/Hz per radio (2x2 MIMO)
- HiperMAX uses PicoChip® based Software Defined Radio (SDR) array, rated at 4x600 billion instructions/s
- Hybrid beamforming and MIMO enhancements allows multiple simultaneous transmissions to End User Devices
  - Interference avoidance through null forming
  - Key to spectral efficiency enhancements
  - Multiple antenna beams are synthesised at baseband
- Supports Fractional Frequency Reuse utilising PUSC modes in OFDMA

## HiperMAX Base Station

HiperMAX is the ultimate Mobile WiMAX base station designed for high-density deployment situations. HiperMAX has been architected to provide a highly scalable, fully redundant base station product that will continue to deliver the optimum performance for years to come.

HiperMAX is fully compatible with the Mobile WiMAX Network Reference Model (NRM) as part of the Access Service Network (ASN). HiperMAX supports the reference point (R6) between the base station and the ASN Gateway as well as the reference point (R8) between base stations. HiperMAX interworks with Airspan's ASN Gateway called ControlMAX and with other third party ASN gateways.

HiperMAX represents the state of the art, next generation base station design and includes:

- Fully upgradeable, software defined, PHY and MAC layers enabling simultaneous support for both Mobile WiMAX (SOFDMA) and Fixed WiMAX (OFDM)
- Fully digital, OBSAI based, fibre optic interfaces between indoor and outdoor equipment, which can operate at up to 3km

- Multi-channel transmit and receive diversity
- 2x2 and 4x2 MIMO configurations
- 4 or 8 channel Smart Antenna Systems (SAS)
- Support for FDD and TDD profiles

HiperMAX is designed to deliver the best link budget with the highest capacity and net throughput; all essential qualities for macro-cell deployments used in typical wireless roll out.

HiperMAX implements an all-outdoor radio with up to eight-element antenna array system.

All HiperMAX base stations support SAS and multi-channel Transmit and Receive diversity and are platform ready for SDMA, which uses the antenna array to enhance capacity and improve frequency re-use.

HiperMAX base stations cooperate with the IMS which is part of the Connectivity Service network (CSN) to deliver voice and other multimedia services and can also be configured to support VoIP applications, using a standard media gateway to the PSTN.



HiperMAX mast head units deployed in Vodafone Malta

## HiperMAX Operation

The flexibility of the HiperMAX architecture allows many deployment configurations including those suited to both macro and micro cellular installations. It supports all outdoor as well as split indoor / outdoor configurations allowing the operator to select the deployment model best suited to operational expense considerations and site access constraints.

A HiperMAX Base station configured for traditional multi-sector macro-cell deployments consists of a baseband section, suitable for location within a protected environment, and an outdoor RF section. The indoor boards, referred to as blades within the ATCA standard, are housed in a 5 or 14 slot NEBS compliant ATCA chassis. The outdoor enclosure contains the RF subsystem components, which enables smart antenna functionality running on a Software Defined Radio (SDR). The connection between the baseband and RF sections is made through a fibre optic cable. HiperMAX supports different antenna options including:

- Tx and Rx Diversity
- 2x2 MIMO Matrix A & B
- 4x2 MIMO Matrix A & B
- 4 or 8 element SAS

The antenna system of choice is connected to the outdoor RF unit and in turn to each baseband blade. HiperMAX can support up to 12 baseband blades per 14-slot shelf, with a single fibre optic cable to each RF unit. Baseband blades can be configured to support 6 active channels with full redundancy or 12 active channels without redundancy.

The ATCA shelf also houses the shelf controller and power supplies. In addition to the ATCA shelf, the HiperMAX rack houses the Ethernet switch and the GPS synchronisation unit. The Ethernet switch aggregates the individual traffic streams onto a Gigabit Ethernet stream for backhaul purposes. For TDD and smart antenna operation the multiple sectors are locked to a GPS timing source. The ATCA shelf manager provides a platform management layer that holds an inventory of field replaceable units in the system and monitors their status.

Fibre optic modules operating at speeds of up to 3.1 Gbit/s and are connected to fibre optic cables capable of carrying up to 10Gb/s for future expansion, if required.

The all outdoor version of HiperMAX is known as HiperMAX-micro. This consists of split baseband and RF sections connected via a fibre interface, but with all power supply and GPS synchronisation functionality housed within a single SDR-micro enclosure. This form factor is particularly well suited to low density micro-cell sites where access to a temperature controlled room is not possible or preferred, eg. a building rooftop.



HiperMAX-micro

HiperMAX fully supports the extensive QoS characteristics of the IEEE 802.16e-2005 radio interface. In addition, it incorporates specific additional radio resource management features that allow applications such as VoIP to be robustly delivered by implementing Admission Control on a per call basis.

HiperMAX is managed by Netspan, the SNMP based central management platform.

## Network Architecture



## HiperMAX Base Station Technical Summary

	HiperMAX
Mobile WiMAX	Yes
Fixed WiMAX	Yes
Standards Compliance	IEEE802.16e-2005 IEEE802.16-2004
Form Factor	Split Indoor / Outdoor and all Outdoor
Frequency Bands	2.3GHz, 2.5GHz, 3.3GHz, 3.5GHz, 3.7GHz, 4.9GHz (700MHz - Future)
Channel Size	20MHz, 2x10MHz, 10MHz, 7MHz, 5MHz, 3.5MHz, 1.75MHz
FFT	2048, 1024, 512, 256
Duplex Method	TDD, FDD, H-FDD
Tx Power (Frequency band dependant)	Up to 4x +40dBm
Maximum EIRP per sector	+63dBm
GPS Synchronisation	24hr holdover, Distributed
STC	Yes
MRC	Yes
MIMO	4x2, 2x2
MIMO Matrix Type	Matrix A, Matrix B
CSM	Yes
Beamforming	Yes
Uplink Sub-Channelization	Yes
PUSC	Yes
Fractional Frequency Reuse	Yes
Dynamic Frequency Selection (DFS)	No
Ethernet CS	Yes
IP CS	Yes
IP version support	IPv6, IPv4
Network Interface	1000BT Ethernet / RJ
End to End VLAN (802.1Q)	Yes
Network VLAN Traffic Segregation	Yes
ASN Profile	Profile C
Supported Usage Scenarios	Mobile, Portable, Nomadic, Fixed
Handover Supported	Yes
Encryption	DES, AES
Authentication	PKM, PKM2, EA P-TLS, EAP-AKA, EAP-SIM
Environmental (outdoor elements)	ETS 300 019-1-4 Class 4.1 E
Environmental (indoor elements)	ETS 300 019-1-3 Class 3.2

Note: Specifications are subject to change without notice and are for information purposes only.



Worldwide Headquarters:  
Airspan Networks Inc.  
777 Yamato Road, Suite 105,  
Boca Raton, FL 33431-4408, USA  
Tel: +1 561 893 8670 Fax: +1 561 893 8671

Main Operations:  
Airspan Communications Limited  
Cambridge House, Oxford Road,  
Uxbridge, Middlesex, UB8 1UN, UK  
Tel: +44 (0) 1895 467 100 Fax: +44 (0) 1895 467 101

[www.airspan.com](http://www.airspan.com)

## Equipos AXXCELERA

# ExcelMAX™ Full Duplex FDD (FD-FDD) CPE3210

### Point to Multipoint

#### Key Features

- WiMAX-2004 Compliant - NLOS operation
- Enhanced NLOS Features: Uplink Sub-channelization
- Totally integrated, easy to install, outdoor unit
- Full Duplex FDD support
- Supports data, voice and video services
- Comprehensive Quality of Service (CIR, PIR, Priority) and VLAN support

#### Benefits

- Unmatched CPE capacity
- Maximizes revenues (multi-service, differentiated SLAs)
- Carrier Class voice and Triple Play services due to Full Duplex CPE
- Easy and quick to install (integrated unit with Pocket PC Installation Wizard)
- Robust, field proven platform

#### Applications

- Data applications (High speed Internet access, VPN, VLAN, Video Conferencing)
- VoIP applications (30 POTS lines per CPE, SIP Call Admission Controller)
- Video Broadcast (IGMP)



### AXXCELERA BROADBAND

Axxcelera Broadband Wireless is a data networking solutions company developing leading-edge technology for the deployment of broadband wireless communications over the Internet. The ExcelMAX™ fixed wireless broadband platform bridges the last mile, currently replacing the local loop for corporate and small business subscribers and migrating to the residential market and will be certified WiMAX compliant. Axxcelera is a principal member of the WiMAX Forum.

### EXCELMAX FD-FDD CPE3210 OVERVIEW

Axxcelera's ExcelMAX™ FD-FDD CPE3210 is a Point to Multipoint (PMP) CPE designed to operate in the 3.3-3.8 GHz spectrum and supports a Full Duplex FDD (Frequency Division Duplex) architecture. The WiMAX-2004 compliant CPE allows service providers to offer broadband wireless services to customers in Non Line of Site (NLOS) locations. The Full Duplex CPE 3210 allows carriers to offer excellent quality voice and video services to business and residential users. The ExcelMAX™ CPE3210 supports a strong suite of Quality of Service (QoS) features, including Committed Information Rate (CIR), Peak Information Rate (PIR), BE, nrtPS, rtPS, and UGS. The CPE supports Call Admission Control (CAC) features, which allows for scalable carrier class VoIP services and the IGMP protocol which supports Video Broadcast services. All CPEs in a service provider network are completely manageable remotely by Axxcelera's carrier-class Network Management System using SNMP protocol.

### REASONS TO BUY EXCELMAX CPE3210

ExcelMAX™ FD-FDD CPE3210 offers service providers an excellent return on investment. Its multi-service capabilities and QoS features allow service providers to offer reliable, high quality, revenue generating applications (data, VoIP and video broadcast) to different customer types (residential, SoHo, MDU and SME). This mature CPE architecture has been deployed in large data, voice and video networks and ensures reliable operations in the field. Axxcelera provides a suite of management, installation, provisioning and configuration tools which make the installation and maintenance of the CPE extremely simple.



**RF SPECIFICATIONS**

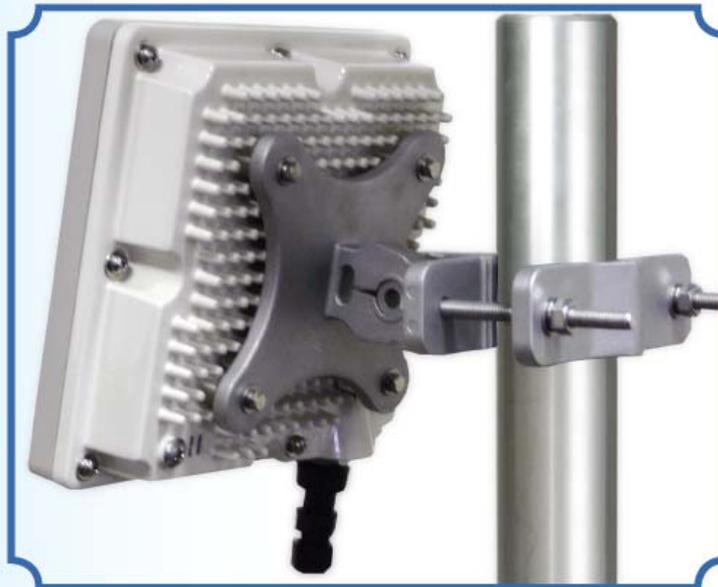
Frequency Band	3.3-3.8 GHz
Air Interface Standard	802.16-2004
Architecture	Point to Multipoint (PMP)
Duplex Scheme	Full Duplex FDD
Duplex Spacing	100 MHz typical
RF Channel Sizes	7 MHz and 3.5 MHz
Modulation Types	Dynamic Adaptive: 64QAM, 16QAM, QPSK, BPSK
Coding Rates	1/2, 2/3 and 3/4
Net Throughput	> 40 Mbps (7 MHz channel size)
Transmit Power (at antenna port)	+21 dBm (payload, all modulations)
Receive Sensitivity	-93 dBm
Antenna Beam Width	22 degrees
Antenna Gain	16 dBi
External Antenna (optional)	N-Type

**ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS**

Operating Temperature	-33°C to +55°C (outdoor unit) -5°C to +40°C (indoor unit)
Operating Humidity	10-100% condensing (outdoor) 10-90% non-condensing (indoor)
Power supply	120-240 VAC 50-60 Hz
Power consumption	15 Watts nominal
Dimensions	20.3cm x 20.3cm x 6.4cm (outdoor unit)
Weight	1.36 kg (outdoor unit)

**STANDARDS SUPPORTED**

Air Interface	IEEE 802.16-2004
NLOS Enhanced Features	Uplink Sub-channelization
Prioritization	IEEE 802.1p (8 different prioritization levels)
VLAN	IEEE 802.1Q
Security/Encryption	BS and SS authentication via x.509 certificates, CBC-Mode 56-bit DES, AES-CCM mode
Interfaces	10/100 Base T Full Duplex, E1 (RJ-48) planned)
Network Management	SNMP, Telnet, HTTP
International Standards	Wireless performance ETSI EN 301 753 and EN 301 021 Antenna performance ETSI EN 302 085 CE Compliance via European R&TTE Directive Annex IV Self-Declaratory process Emissions: EN55022 (CISPR 22) to Class B; EN61000-3-2 and EN61000-3-3 Susceptibility: EN300 489 (includes EN61000 series) EN60950 (IEC 950); Including amendments 1-4
EMC	
Safety	



**Axxcelera**  
B R O A D B A N D W I R E L E S S

a **Mossley** company.

111 Castilian Dr Santa Barbara, CA 93117 USA  
tel 805-968-9621 fax 805-685-9638

e-mail: sales@axxcelera.com

web site: www.axxcelera.com

Axxcelera Broadband Wireless is certified to the ISO 9001:2000 Quality Management System standard.

Axxcelera reserves the right to make changes to specifications of products described in this datasheet at any time without notice.

© 2007 Axxcelera Corp. 4.05

Rev. 07.20.07.007

## Equipos Aperto



# PacketMAX 20 Voice Services Gateway

**Integrated VoIP Gateway and Router**

PacketMAX<sup>®</sup> 20 Voice Services Gateway (VSG) is simple to install, intuitive to use, and powers a range of voice services over fixed and mobile WIMAX networks

Product Brief



PacketMAX 20

### KEY FEATURES

- SIP Version 2 (RFC 3261) VoIP protocol
- VoIP codec G.711, G.723, G.726, and G.729 supported
- Advanced call-control and call services feature-set
- Advanced routing and firewall capabilities
- Tight integration with Wimax Forum Certified PacketMAX series subscriber stations
- Remote management

### Typical Applications:

- Roll out managed voice offering, assigning higher priority and guarantee of services to subscribers versus users of peer-to-peer or "free" VoIP
- Budget-conscious Voice over IP solutions from a single integrated platform
- Premium services for residential, SOHO, and business
- Integrated Voice and Data Solution for residential and commercial environment
- Extend legacy analog telephone devices for IP-based voice services



## Wireless to the MAX

### PacketMAX 20

Aperto Networks introduces the PacketMAX 20 Voice Services Gateway, a broadband VoIP Gateway and Router that seamlessly extends PacketMAX voice service capabilities to external POTS phones and IP-based telephony devices. PacketMAX 20 enables service providers to deploy premium voice services to residential and commercial customers served by PacketMAX subscriber units.

The PacketMAX 20 optimizes the trade-off between throughput and voice quality by supporting 4 popular voice codecs. Voice networking is achieved using the popular SIPv2 protocol. In addition, comprehensive VoIP parameters allow service providers to localize the PacketMAX 20 to fit country and regional telephony requirements and user preferences. Service providers can use the PacketMAX 20 to deploy a wide variety of telephone applications for their users including CLASS calling features, call forwarding, caller ID, call blocking, and other advanced calling features.

As an Integrated Access Device (IAD), the PacketMAX 20 combines advanced IP network features with embedded VoIP functionalities to create a robust, reliable and flexible voice and data network. Support for PPPoE allows service providers to leverage their existing authentication and IP address assignment infrastructure. Simple HTTP based web-interface ensures plug-and-play VoIP for residential customers within minutes.

Leveraging Aperto's heritage as a Wimax technology leader, the PacketMAX system delivers superior link performance, unsurpassed quality of service, and the broadest range of networking features for an optimized VoIP deployment for residential and SOHO environments.

Tight integration with existing PacketMAX subscriber stations will allow operators to include higher revenue voice services. After PacketMAX 20 is physically connected by the user, the operator remotely provisions, monitors and troubleshoots the system without costly truck rolls. The end result to the operator: increased revenue from valuable voice services and lower operating expense.

## PacketMAX 20 System Specifications

### VoIP Specifications

VoIP Protocol : SIP v2 (RFC 3261)  
 Voice Algorithms : G.711 (A/m-Law), G.723.1 (5.8 and 6.3 Kbps), G.729A/B

### FXS Features

HX1X Gain Control : Configurable TX/RX levels (-13.0 to +7.0dBm in 0.1dB steps)  
 Sampling Rates : 10ms to 60ms, configurable  
 Line Impedance : Configurable impedance  
 Polarity Reversal : T/R Reversal  
 DTMF detection and generation : In-band and out-of-band DTMF (RFC 2833, SIP INFO, In-audio)  
 Ring Voltage : 60 -90 Vrms, configurable  
 On Hook Voltage : -48V  
 QoS : Adaptive jitter buffer (max = 300ms); DSCP Marking and 802.1p VLAN

### Class User Services

Dial Plan : Configurable based on MGCP NCS format  
 Speed Dial : 8 speed dial numbers  
 Call Features : Call waiting, call forwarding w/o consultation, call transfer, call hold  
 CLIP : Caller ID generation

### IP Networking Features/Options

IP Protocols : IPv4 (RFC 791), PPPoE, DHCP client on WAN, static routing, dynamic routing  
 Firewall : Access control list, NAT, port-forwarding  
 VPN : IPSec, PPTP, L2TP, pass through

### Physical Interfaces

WAN : 1 x 10/100 BT (RJ45)  
 LAN : 1 x 10/100 BT (RJ45)  
 FXS : 1 X RJ11/ FXS for analog telephone (Tip/Ring); upto 5 phones

### Management

Management and Provisioning : HTTP; SNMP v2; firmware upgradeable

### Mechanical

Dimensions (H\*W\*Weight) : 138\*24\*91 (mm) / 150g

### Electrical

Input DC Voltage : 12VDC, 1.0A      Input AC voltage : 100 VAC – 240 VAC, 50/60 Hz, 0.3A

### Environmental

Operation Temperature : 0 – 40° C      RoHS compliance : Yes  
 Humidity : 10 – 95%, non-condensing altitude : 10000 feet

### About Aperto Networks:

Aperto Networks helps leading service providers deliver affordable wireless voice and broadband profitably by building the world's most advanced WIMAX base stations and subscriber units. Aperto fundamentally changes the economics of delivering voice and broadband services through IP-rich, point-to-point and point-to-multipoint networks, allowing carriers to offer a wider variety of services to more customers using less equipment. Its carrier-class WIMAX technology offers industry-leading subscriber density, quality of service, ease of use and reliability. Aperto is a founding board member of the WIMAX Forum as well as a founder and lead contributor to IEEE 802.16 and the ETSI-BRAN standards. Serving more than 400 customers in over 90 countries, Aperto Networks is based in Milpitas, California. For more information on Aperto Networks, go to [www.apertonet.com](http://www.apertonet.com).

Aperto Networks | 555 Gibraltar Drive, Milpitas, CA 95035, USA | Phone: +1.408.719.9977 | Fax: +1.408.719.9970  
 Visit our website at [www.apertonet.com](http://www.apertonet.com) | Sales and Product Inquiries: [sales@apertonet.com](mailto:sales@apertonet.com) | © 2008 Aperto Networks. All rights reserved.  
 Specifications subject to change without notice. Not all features are available in the current release. Contact Aperto Sales for details.

FW2008-05-02



## PacketMAX 100 Subscriber Unit

### Solution to Suit Any Subscriber Environment

The PacketMAX 100 series subscriber unit provides an economical solution for small enterprise, home office, and consumers.

Product Brief



PacketMAX 100

### PacketMAX 100

The WiMAX Forum® Certified PacketMAX® 100 series of subscriber units allows service providers to take full advantage of the growing WiMAX market. The PacketMAX 100 is economically deployed and delivers the features required to address the underserved small enterprise, home office, and residential markets. With PacketMAX 100, end users can browse web pages, make voice calls, view streaming video, and download files—simultaneously over the wireless link at multi-megabit speeds.

Aperto offers PacketMAX 100 models operating in licensed and license-exempt 3 GHz and 5 GHz bands using spectrum-efficient TDD scheduling. PacketMAX 100 units are compliant with the IEEE 802.16-2004 standard. Leveraging Aperto's heritage as a WiMAX technology leader, the PacketMAX system delivers superior link performance, unsurpassed quality of service, and the broadest range of networking features for an optimized WiMAX deployment.

Providers can install the PacketMAX 100 in minutes. The units do not require a direct line of sight with the base station, and support centralized WiMAX provisioning from the remote management and monitoring station. The PacketMAX 100 consists of an outdoor radio with integrated antenna or optional external antenna for even greater gain. An indoor unit interfaces to standard ethernet networks and conveniently accepts AC power. Ethernet cabling carries network signaling and system power between the indoor and outdoor units.

Aperto offers PacketMAX 100 models designed to meet a variety of subscribers and network requirements. The choice of capabilities includes bridging, IP networking, network address translation, fire wall, integrated VoIP processing, and a host of features allowing simultaneous differentiated services for the small enterprise and home office user.

### KEY FEATURES

- WiMAX Forum Certified
- IEEE 802.16-2004 compliant
- Superior QoS for multi-service support including voice services
- Licensed and license-exempt frequency bands
- LOS, OLOS, NLOS deployments

### Typical Applications:

- Economical last mile access for solution for small to medium businesses, home offices, and consumers
- QoS enabled wireless T4/E1 services for enterprise voice and data
- 'Wireless DSL' service offering greater bandwidth and lower cost to the end user
- Create hot zones by backhauling WiFi access used for municipal and mesh network configurations
- Offer Voice over IP based services with single integrated solution



Wireless to the MAX

## Equipos AXXCELERA

# AB-MAX™

## Point to Multipoint

### Key Features

- WiMAX Compliant Point-to-Multipoint platform
- NLOS Operation
- QoS Support (CIR, PIR)
- Supports Routing and Bridging
- U-NII, ISM, and ETSI bands
- Support for Dual Polarized Antennas
- Support for DFS

### Benefits

- Improved cell penetration and range
- Improved cell throughput (Up to 64QAM modulation)
- Different SLAs for different end users
- Ability to remotely switch antenna polarization

### Applications

- Wireless ISPs
- Rural Broadband
- T1/E1 replacement
- Cyber Cafes
- Enterprise



## AXXCELERA BROADBAND

Axxcelera Broadband Wireless is a data networking solutions company that is developing leading-edge technology for the deployment of broadband wireless communications over the Internet. The AB-MAX™ fixed wireless broadband platform bridges the last mile, currently replacing the local loop for corporate and small business subscribers and migrating to the residential market and will be certified WiMAX compliant. Axxcelera is a principal member of the WiMAX Forum.

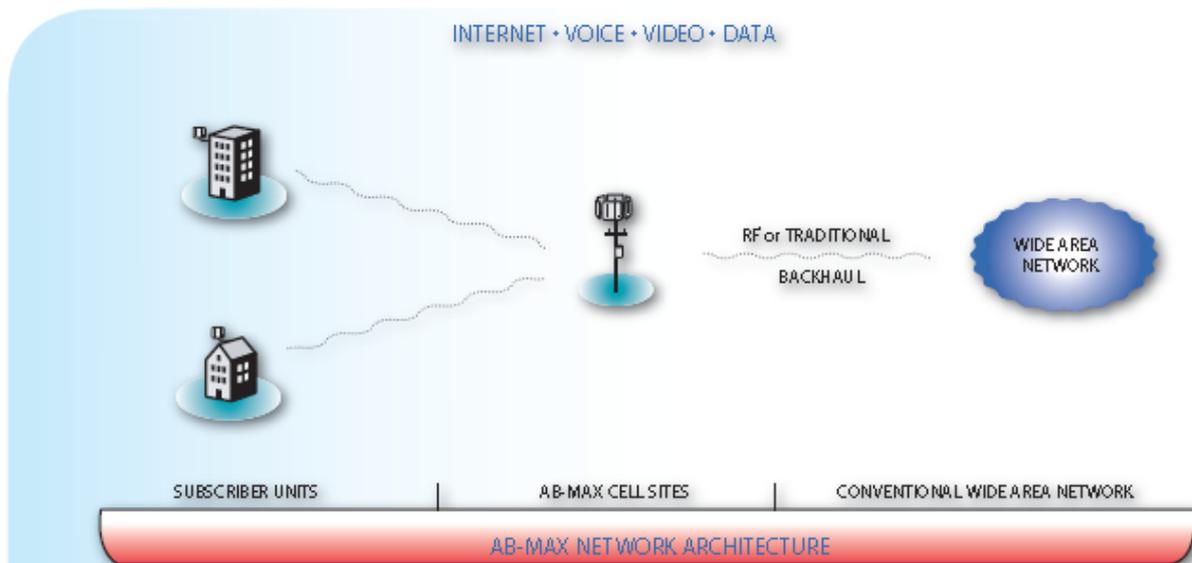
## AB-MAX OVERVIEW

AB-MAX™ consists of fixed broadband wireless access equipment (Access Point and CPE) for Internet, data, multimedia, video, voice, and other emerging IP based applications. Combining WiMAX with higher level network features, AB-MAX™ provides a robust, cost-effective alternative to wired alternatives such as T1/E1, DSL and cable modems.

## REASONS TO BUY AB-MAX

AB-MAX™ offers service providers a true, standards based Non Line of Site (NLOS) platform that helps improved cell range and penetration compared with proprietary single carrier solutions. It also supports Quality of Service (QoS) features like CIR and PIR along with advanced scheduling services like best effort service, real time polling and UGS services. This allows a service provider to offer different classes of service to different end customers. Deployments may use frequencies from the entire U-NII 5GHz ISM and ETSI spectrum. Select from various modulation options and antenna polarizations, all in an extremely low cost, easy to deploy product.





### AB-MAX OPERATION

AB-MAX™ offers numerous options for provisioning and management. For small campus type networks, AB-MAX™ can be configured in a static environment via a web interface. For larger networks, AB-MAX™ can be configured via an automated provisioning server, where each unit can be provisioned and managed from a single location. AB-MAX™ also includes support MIB-2, WiMAX MIB, and Axxcelera custom MIB.

### CELLSITE COMPONENTS

- One or more environmentally sealed Access Points (AP), each with an integrated 60° by 7° beam width patch antenna
- Six Access Points provide 360° geographic coverage
- Ethernet switch or router
- Backhaul equipment such as that offered by Axxcelera
- Other third party equipment as required

### CUSTOMER PREMISE (CPE) COMPONENTS

- AB-MAX™ Subscriber Unit (SU) with integrated 20° by 20° beam width dual polarization patch antenna

### NONLINE OF SIGHT

WiMAX technology includes OFDM, which provides greater non line of sight deployment options.

### SPECIFICATION SUMMARY

Operating Frequency Range	5.25 - 5.35 GHz, 5.47 - 5.725 GHz And 5.725 - 5.850 GHz (Per U-NII, ISM, and ETSI band Specifications)
Channel Bandwidth Modulation	5, 10, 15 or 20* MHz per channel Dynamic Adaptive (BFSK, QPSK, 16QAM, 64QAM)
Transmit Power	+18 dBm +21 dBm (Optional)
Antenna Gain	18 dBi
Rx Sensitivity	-92 dBm
Dimension	CPE/Subscriber Unit: 10"Hx10"Wx3.2"D (250x250x80 mm) Access Point: 20"Hx10"Wx3.2"D (510x250x80 mm)
Weight	CPE/Subscriber Unit: 7.7lbs (3.5kg) Access Point: 11.0lbs (5.0kg)
Certification:	FCC, ETSI, WiMAX (planned)
External Antenna	The AB-MAX™ product is available with an external antenna connection option
Protocols	Ethernet Bridging per IEEE802.1D, VLAN per IEEE 802.1Q (SU only) Differentiated Services per IEEE802.1D/p IGMP (SU only) Static Routing with NAT (SU only) DHCP client and server (SU only)
Interfaces	RJ45 socket offering 100BaseT Ethernet
Error Control	1/2, 2/3, or 3/4 FEC with optional ARQ * Planned

### ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS

Temperature Range	-33°C to +55°C ambient temperature
Humidity	Up to 100% at 45°C
Wind Loading	120 miles/hour (~193 km/hour) per Bellcore GR-487-CORE section 3.31

**Axxcelera**  
B R O A D B A N D W I R E L E S S

a **Mossley** company.

111 Chestnut Dr Santa Barbara CA 93117 USA  
tel: 805-968-9621 fax: 805-685-9638  
e-mail: sales@axxcelera.com  
web site: www.axxcelera.com

Axxcelera Broadband Wireless is certified to the ISO 9001:2000 Quality Management System standard.

Axxcelera reserves the right to make changes to specifications of products described in this data sheet at any time without notice.

© 2006 Axxcelera Corp. 4.05

## ExcelMAX™ Full Duplex FDD (FD-FDD) CPE3210

### Key Features

- WiMAX 2004 Compliant - NLOS operation
- Enhanced NLOS Features: Uplink Sub-channelization
- Totally integrated, easy to install, outdoor unit
- Full Duplex FDD support
- Supports data, voice and video services
- Comprehensive Quality of Service (CIR, PIR, Priority) and VLAN support

### Benefits

- Unmatched CPE capacity
- Maximizes revenues (multi-service, differentiated SLAs)
- Carrier Class voice and Triple Play services due to Full Duplex CPE
- Easy and quick to install (integrated unit with Pocket PC Installation Wizard)
- Robust, field proven platform

### Applications

- Data applications (High speed Internet access, VPN, VLAN, Video Conferencing)
- VoIP applications (30 POTS lines per CPE, SIP, Call Admission Controller)
- Video Broadcast (IGMP)

### Point to Multipoint



## AXXCELERA BROADBAND

Axxcelera Broadband Wireless is a data networking solutions company developing leading-edge technology for the deployment of broadband wireless communications over the Internet. The ExcelMAX™ fixed wireless broadband platform bridges the last mile, currently replacing the local loop for corporate and small business subscribers and migrating to the residential market and will be certified WiMAX compliant. Axxcelera is a principal member of the WiMAX Forum.

## EXCELMAX FD-FDD CPE3210 OVERVIEW

Axxcelera's ExcelMAX™ FD-FDD CPE3210 is a Point to Multipoint (PMP) CPE designed to operate in the 3.3-3.8 GHz spectrum and supports a Full Duplex FDD (Frequency Division Duplex) architecture. The WiMAX 2004 compliant CPE allows service providers to offer broadband wireless services to customers in Non Line of Site (NLOS) locations. The Full Duplex CPE 3210 allows carriers to offer excellent quality voice and video services to business and residential users. The ExcelMAX™ CPE3210 supports a strong suite of Quality of Service (QoS) features, including Committed Information Rate (CIR), Peak Information Rate (PIR), BE, rtPS, nrtPS, and UGS. The CPE supports Call Admission Control (CAC) features, which allows for scalable carrier class VoIP services and the IGMP protocol which supports Video Broadcast services. All CPEs in a service provider network are completely manageable remotely by Axxcelera's carrier-class Network Management System using SNMP protocol.

## REASONS TO BUY EXCELMAX CPE3210

ExcelMAX™ FD-FDD CPE3210 offers service providers an excellent return on investment. Its multi-service capabilities and QoS features allow service providers to offer reliable, high quality, revenue generating applications (data, VoIP and video broadcast) to different customer types (residential, SoHo, MDU and SME). This mature CPE architecture has been deployed in large data, voice and video networks and ensures reliable operations in the field. Axxcelera provides a suite of management, installation, provisioning and configuration tools which make the installation and maintenance of the CPE extremely simple.



**RF SPECIFICATIONS**

Frequency Band	3.3-3.8 GHz
Air Interface Standard	802.16-2004
Architecture	Point to Multipoint (PMP)
Duplex Scheme	Full Duplex FDD
Duplex Spacing	100 MHz typical
RF Channel Sizes	7 MHz and 3.5 MHz
Modulation Types	Dynamic Adaptive: 64QAM, 16QAM, QPSK, BPSK
Coding Rates	1/2, 2/3 and 3/4
Net Throughput	> 40 Mbps (7 MHz channel size)
Transmit Power (at antenna port)	+21 dBm (payload, all modulations)
Receive Sensitivity	-93 dBm
Antenna Beam Width	22 degrees
Antenna Gain	16 dBi
External Antenna (optional)	N-Type

**ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS**

Operating Temperature	-33°C to +55°C (outdoor unit) -5°C to +40°C (indoor unit)
Operating Humidity	10-100% condensing (outdoor) 10-90% non-condensing (indoor)
Power supply	120-240 VAC 50-60 Hz
Power consumption	15 Watts nominal
Dimensions	20.3cm x 20.3cm x 6.4cm (outdoor unit)
Weight	1.36 kg (outdoor unit)

**STANDARDS SUPPORTED**

Air Interface	IEEE 802.16-2004
NLOS Enhanced Features	Uplink Sub-channelization
Prioritization	IEEE 802.1p (8 different prioritization levels)
VLAN	IEEE 802.1Q
Security/Encryption	BS and SS authentication via x.509 certificates, CBC-Mode 56-bit DES, AES-CCM mode
Interfaces	10/100 Base T Full Duplex; E1 (RJ-48) planned)
Network Management	SNMP, Telnet, HTTP
International Standards	Wireless performance ETSI EN 301 753 and EN 301 021 Antenna performance ETSI EN 302 085 CE Compliance via European R&D/TE Directive Annex IV Self-Declaratory process Emissions: EN55022 (CISPR 22) to Class B; EN61000-3-2 and EN61000-3-3 Susceptibility: EN300 489 (includes EN61000 series) EN60950 (IEC 950); Including amendments 1-4
EMC	
Safety	



**Axxcelera**  
B R O A D B A N D W I R E L E S S

a **Mossley** company.

111 Coulburn Dr. Santa Barbara CA 93117 USA  
tel: 805-968-9621 fax: 805-685-9638  
e-mail: sales@axxcelera.com

web site: www.axxcelera.com  
Axxcelera Broadband Wireless is certified to the ISO 9001:2000 Quality Management System standard.

Axxcelera reserves the right to make changes to specifications of products described in this data sheet at any time without notice.  
© 2007 Axxcelera Corp. 4.05

Rev. 07/2007

## PROXIM



**Proxim**  
WIRELESS

# Tsunami Multipoint Wireless Point-to-Multipoint System



### APPLICATIONS

- Last mile access
- Extending VoIP service to remote sites
- Leased line replacement
- Fast service deployment into multi-tenant, rural areas
- Campus networking

### Cutting-Edge Technology Delivers Carrier-Class Performance

The Tsunami Multipoint wireless Ethernet system delivers cutting-edge technology built on over twenty years of wireless innovation at Proxim. Advanced features deliver reliable, cost-effective alternatives to legacy leased lines, while delivering superlative network performance. The combined throughput and reliability make the Tsunami Multipoint systems perfect for high-performance campus networks, and densely populated last mile Internet access. Proxim point-to-multipoint innovation includes:

- Patented Active Interference Rejection (AIR) technology, which uses a pre-processing filter to nullify interference in the 5.8 GHz band
- Proxim's finely honed wireless transmission protocol, which delivers 200% better throughput than competitors, achieved through protocol efficiency gains
- Specialized traffic prioritization algorithms and VLAN functionality, enabling latency-sensitive application performance
- Unique Ethernet plus power technology, combining power and network connections into a single Cat5 link
- Connections engineered with true carrier-class 99.995% reliability

### Simplify Operations and Cost-structure

Tsunami Multipoint dramatically simplifies the installation and maintenance of high-performance network links. These results translate into a quick payback period relative to leased lines, and have many direct cost-saving benefits.

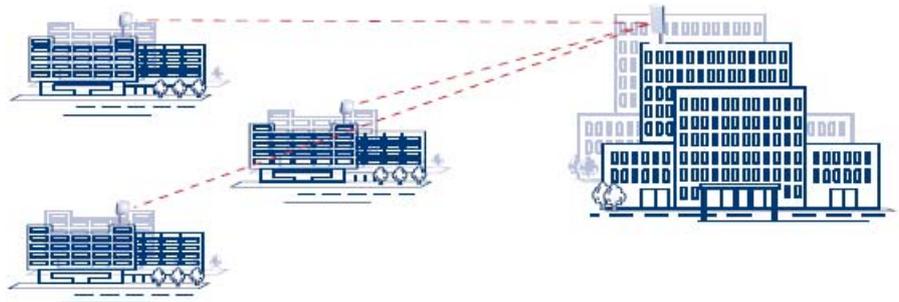
- Private infrastructure eliminates recurring monthly leases and bypasses telephone tolls

- Outdoor weatherized Subscriber Unit allows system maintenance without entering the subscriber's building
- Single cable design eliminates installation labor and expense
- Antenna connectors facilitate coverage area "shaping" and reduce initial infrastructure costs
- Audible tones guide directional positioning, allowing one-person installation
- Remote SNMP management proactively detects issues
- Unlicensed band operation eliminates regulatory delays and fees/costs

### Unrivaled Performance Trounces Competition

Performance, capacity and scalability are critical concerns in designing business networks. Whether it's expanding service footprint or connecting buildings on a new campus, system performance dictates the success of critical applications. Tsunami Multipoint offers:

- Industry-leading 60 Mbps and 20 Mbps over-the-air transmission rates
- Unrivaled 54 Mbps and 18 Mbps throughput rates – 200% higher than closest competitor
- 99.99%+ effective interference prevention, yielding superior performance in high-density areas
- Base Station Unit support for 1000+ Subscriber Units, scaling to network and subscriber demand
- 6 miles/10km range, easily linking sites and extending VoIP functionality



## Tsunami Multipoint Specifications

	MODEL	MODEL NUMBER	AGGREGATE THROUGHPUT	THRESHOLD (BER=1X10 <sup>-4</sup> )	OUTPUT EIRP	ACTIVE INTERFERENCE REJECTION (A.I.R.)
Base Station Unit (BSU)	60 Mbps	301-40400-65	17, 25.5, 34, 51 Mbps	-77 dBm	36 dBm	
	20 Mbps	301-40400-25	17 Mbps	-89 dBm	36 dBm	
	60 Mbps	301-40400-65R	17, 25.5, 34, 51 Mbps	-77 dBm	36 dBm	✓
	20 Mbps	301-40400-25R	17 Mbps	-89 dBm	36 dBm	✓
Subscriber Unit (SU)	60 Mbps	301-40100-652	17, 25.5, 34, 51 Mbps	-88, -85, -81, -77 dBm	35 dBm	
	20 Mbps	301-40100-252	17 Mbps	-89 dBm	35 dBm	
<b>SYSTEM</b>						
Operating Frequency Range		572.5-5825 MHz				
Radio Access Method		TDMA				
Duplexing		Time Division Duplex (TDD)				
Integrated Antenna: BSU/SU		18 dBi (60° x 6°)/20 dBi (10° x 10°)				
Max Subscriber Units / BSU		1,023				
Distance/Capacity Limits (clear line of site/over the air)		60 Mbps at 3 miles/5 kilometers; 20 Mbps at 6 miles/10 kilometers				
Frequency Channels		4 non-overlapping, 6 available				
Regulatory Compliance		FCC Part 15.400 (U-NII); FCC Part 15.247 (ISM) 20 Mbps only; Industry Canada RSS210; Model 40100-2540100-65 (SU); Model 40400-2540400-65 (BSU)				
<b>STANDARDS COMPLIANCE AND INTERFACES</b>						
Ethernet Interface		10/100BaseT				
Ethernet Connector		RJ45 female				
SU indoor-outdoor cable		RJ45 (outdoor) & DIN (indoor) over Category-5 cable				
BSU indoor-outdoor cable		Weatherproof RJ45 connectors over Category-5 cable				
Standards Compliance		IEEE 802.1d Bridging Mode; IEEE 802.1q transparent VLAN tagging				
<b>CONFIGURATION AND MANAGEMENT</b>						
Base Station Unit Configuration		Via Ethernet				
Subscriber Unit Configuration		Automatic				
Management		Via optional SNMP Toolkit (p/n 501-40400-5T)				
Security		Authentication, IP/MAC Filtering				
Software Upgrades		Over-the-air Subscriber Unit reprogramming; Downloadable Base Station Unit reprogramming				
<b>POWER/ ENVIRONMENT</b>						
Electrical:						
Base Station Unit		+48 Volts DC, 1 Amp				
Subscriber Unit		+28 Volts DC, 0.6 Amps				
Base Station Unit Power Brick		100-240 Volts AC, 50/60 Hz				
Subscriber Unit Power Brick		110 or 220 Volts AC				
Operational Temperature		-25°-55° C (BSU and SU only)				
Humidity		5%-100%, condensing				
MTBF		Base Station Unit: 75,000 hours; Subscriber Unit: 100,000 hours				
FCC		Part 15/Class B				
<b>PHYSICAL DIMENSIONS</b>						
		SIZE (W x H x D)			WEIGHT	
SU (Outdoor Unit)		10.5 x 10.5 x 6.8 in./26.5 x 26.5 x 17.4 cm			10 lbs./4.5 kg	
SU Power Brick (Indoor Unit)		3.6 x 5.1 x 2.6 in./9.2 x 13 x 6.7 cm			2.7 lbs./1.2 kg	
BSU (Outdoor Unit)		10.2 x 24 x 6.6 in./25.9 x 61 x 16.8 cm			20 lbs./9 kg	
BSU Power Brick (Indoor Unit)		3.7 x 7.1 x 2.5 in./9.5 x 18 x 6.3 cm			1.5 lbs./0.7 kg	
<b>MOUNTING (INSTALLATION)</b>						
Base Station Unit		Pole Mount, 1.75-2.75 in dia.				
Subscriber Unit		Pole Mount, 1.25-1.75 in dia.				
<b>WIND LOADING</b>						
Maximum operational wind speed		50m/s (112 mph)				
Maximum survivable wind speed		90m/s (200 mph)				
<b>WARRANTY</b>						
1-year limited parts and labor						
Service Packs available for priority technical assistance						

### About Proxim Wireless

Proxim Wireless is a global leader in networking equipment for Wi-Fi and broadband wireless networks. Proxim provides solutions for enterprise applications, last mile access, municipal broadband networks, and cellular backhaul. Product families include ORINOCO and TeraStar Wi-Fi products; Tsunami, TeraBridge, Gigalink, and TeraOptic Ethernet bridges, and Lynx point-to-point digital radios.

## Tsunami Multipoint with External Antenna Connector

	MODEL	MODEL NUMBER	AGGREGATE THROUGHPUT	THRESHOLD (BER=1x10 <sup>-5</sup> )	OUTPUT POWER
Base Station Unit (BSU)	60 Mbps	301-40400-65C	17, 25.5, 34, 51 Mbps	-77 dBm	17 dBm
Subscriber Unit (SU)	60 Mbps	301-40100-652C	17, 25.5, 34, 51 Mbps	-87, -83, -79, -75 dBm	17 dBm
<b>SYSTEM</b>					
Operating Frequency Range	5725-5825 MHz				
Radio Access Method	TDMA				
Duplexing	Time Division Duplex (TDD)				
Max Subscriber Units /BSU	1,023				
Distance/Capacity Limits (clear line of site/over the air)	60 Mbps at 4 miles/6.9 kilometers; 20 Mbps at 6 miles/10 kilometers				
Frequency Channels	4 non-overlapping, 6 available				
Regulatory Compliance	FCC Part 15.400 (U-NII); Industry Canada RSS210; Mode140100-652C (SU)/40400-65C (BSU)				
<b>STANDARDS COMPLIANCE AND INTERFACES</b>					
Ethernet Interface	10/100BaseT				
Ethernet Connector	RJ45 female				
SU indoor-outdoor cable	RJ45 (outdoor) & DIN (indoor) over Category-5 cable				
BSU indoor-outdoor cable	Weatherproof RJ45 connectors over Category-5 cable				
External Antenna Connector	Standard -N Female				
Standards Compliance	IEEE 802.1d Bridging Mode; IEEE 802.1q transparent VLAN tagging				
<b>CONFIGURATION AND MANAGEMENT</b>					
Base Station Unit Configuration	Via Ethernet				
Subscriber Unit Configuration	Automatic				
Management	Via optional SNMP Toolkit (p/n 501-40400-ST)				
Security	Authentication, IP/MAC Filtering				
Software Upgrades	Over-the-air Subscriber Unit reprogramming; Downloadable Base Station Unit reprogramming				
<b>POWER/ENVIRONMENT</b>					
Electrical:					
Base Station Unit	+48 Volts DC, 1 Amp				
Subscriber Unit	+28 Volts DC, 0.6 Amps				
Base Station Unit Power Brick	100-240 Volts AC, 50/60 Hz				
Subscriber Unit Power Brick	110 or 220 Volts AC				
Operational Temperature	-25°-55° C (BSU and SU only)				
Humidity	5%-100%, condensing				
MTBF	Base Station Unit: 75,000 hours; Subscriber Unit: 100,000 hours				
FCC	Part 15/Class B				
<b>PHYSICAL DIMENSIONS</b>					
	SIZE (W x H x D)			WEIGHT	
SU (Outdoor Unit)	10.5 x 10.5 x 6.8 in/26.5 x 26.5 x 17.4 cm			10 lbs/4.5 kg	
SU Power Brick (Indoor Unit)	3.6 x 5.1 x 2.6 in/9.2 x 13 x 6.7 cm			2.7 lbs/1.2 kg	
BSU (Outdoor Unit)	10.2 x 24 x 6.6 in/25.9 x 61 x 16.8 cm			20 lbs/9 kg	
BSU Power Brick (Indoor Unit)	3.7 x 7.1 x 2.5 in/9.5 x 18 x 6.3 cm			1.5 lbs/0.7 kg	
<b>MOUNTING (INSTALLATION)</b>					
Base Station Unit	Pole Mount, 1.75-2.75 in dia.				
Subscriber Unit	Pole Mount, 1.25-1.75 in dia.				
<b>WIND LOADING</b>					
Maximum operational wind speed	50m/s (112 mph)				
Maximum survivable wind speed	90m/s (200 mph)				
<b>WARRANTY</b>					
1-year limited parts and labor					
Service Packs available for priority technical assistance					

Proxim Wireless Corporation  
2115 O'Neil Drive  
San Jose, CA 95131  
tel: 800.229.1630  
tel: 408.731.2700  
fax: 408.731.3675  
www.proxim.com

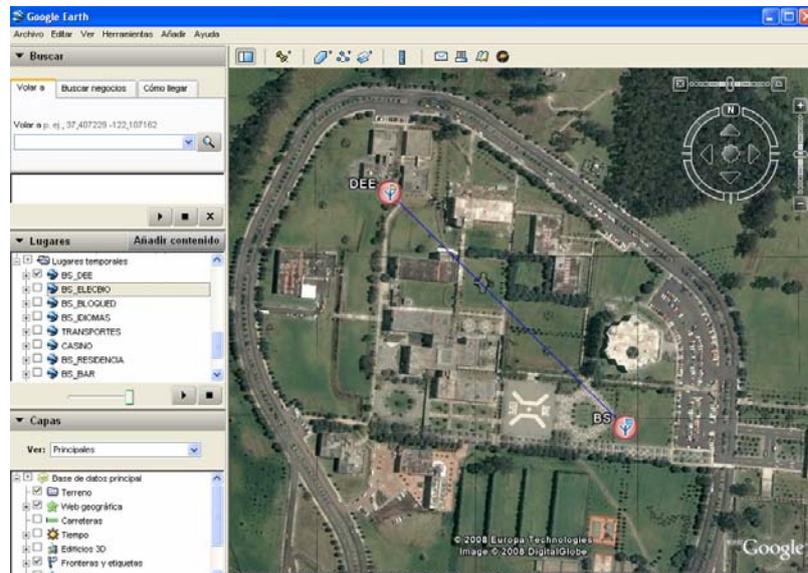


©2004 Proxim Wireless Corporation. All rights reserved. Proxim is a registered trademark and the Proxim logo and Tsunami are trademarks of Proxim Wireless Corporation. All other trademarks mentioned herein are property of their respective owners. Specifications are subject to change without notice.

# **ANEXO 3**

RESULTADOS EN SIRENET

## ESTACIÓN BASE – LABORATORIOS DEL DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

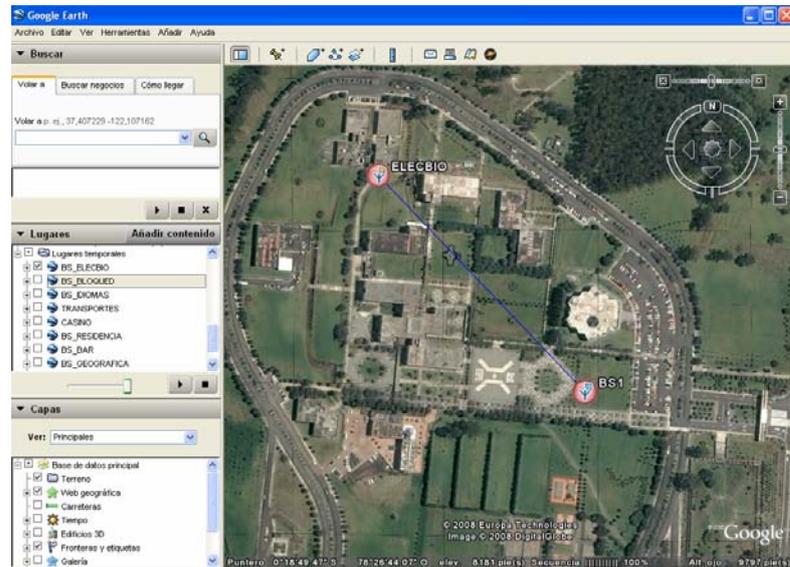


**Distancia Estación base – Laboratorios de Electrónica**

▼ Transmisor	
Nombre	: BS
Coordenadas	: Lon: 78 26 38.040W Lat: 0 18 52.280S
Cota	: 2499 m
Alt. antena	: 22.0 m
Polariz.	: Horizontal
Antena	: 3_Sect360_12dBi
Frecuencia	: 3.500000 GHz
PRA	: 6.939090 W
Servicio	: WIMAX
Velocidad	: 10 Mbps
Modulación	: 16-QAM
MTBF	: 62500 h
MTTR	: 5 h
▼ Perfil	
Mét. Est.	: L.O.S.
Factor K	: 1.33333
Puntos	: 5
Longitud	: 0.306 Km
Acimut	: 314.808 °
Poten. recib.	: -53.8966 dBm
Fecha	: 29/02/2008 (12:01:29)
▼ Receptor	
Nombre	: DEE
Coordenadas	: Lon: 78 26 45.050W Lat: 0 18 45.270S
Cota	: 2500 m
Frecuencia	: 3.500000 GHz
Alt. antena	: 5.0 m
Polariz.	: Horizontal
Antena	: Omni_2dBi_800MHz(UM
Servicio	: WIMAX
Velocidad	: 10 Mbps
Modulación	: 16-QAM
MTBF	: 62500 h
MTTR	: 5 h

**Resultados obtenidos en el simulador**

## ESTACIÓN BASE- ELECTRICA/BIOTECNOLOGÍA

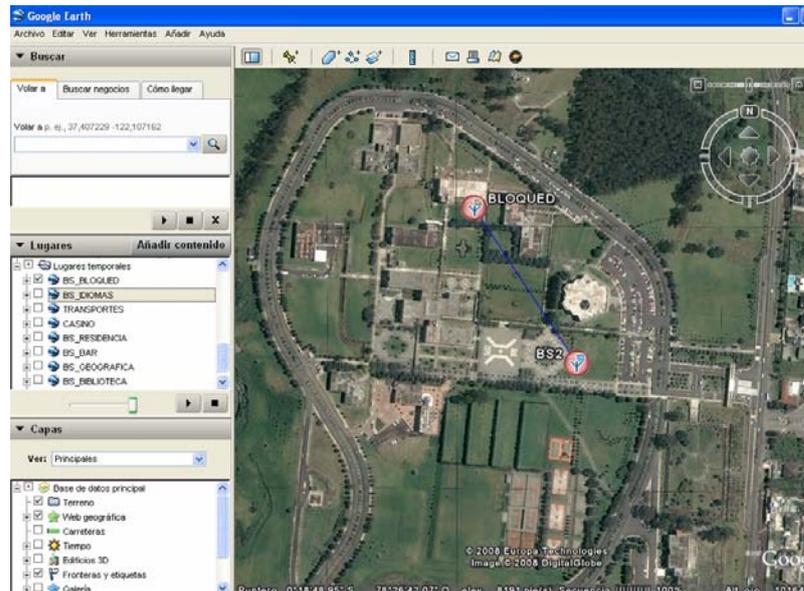


Estación base – Electrónica/ Biotecnología

▼ Transmisor	
Nombre	: BS1
Coordenadas	: Lon: 78 26 38.040W Lat: 0 18 52.280S
Cota	: 2499 m
Alt. antena	: 22.0 m
Polariz.	: Horizontal
Antena	: 3_Sect360_12dBi
Frecuencia	: 3.500000 GHz
PRA	: 6.939090 W
Servicio	: WIMAX
Velocidad	: 10 Mbps
Modulación	: 16-QAM
MTBF	: 62500 h
MTTR	: 5 h
▼ Perfil	
Mét. Est.	: L.O.S.
Factor K	: 1.33333
Puntos	: 4
Longitud	: 0.290 Km
Acimut.	: 316.275 °
Poten. recib.	: -53.3429 dBm
Fecha	: 29/02/2008 (12:07:56)
▼ Receptor	
Nombre	: ELECIBIO
Coordenadas	: Lon: 78 26 44.510W Lat: 0 18 45.470S
Cota	: 2500 m
Frecuencia	: 3.500000 GHz
Alt. antena	: 5.0 m
Polariz.	: Horizontal
Antena	: Omni_2dBi_800MHz(UM
Servicio	: WIMAX
Velocidad	: 10 Mbps
Modulación	: 16-QAM
MTBF	: 62500 h
MTTR	: 5 h

Resultados obtenidos en el simulador

## ESTACIÓN BASE – BLOQUE D

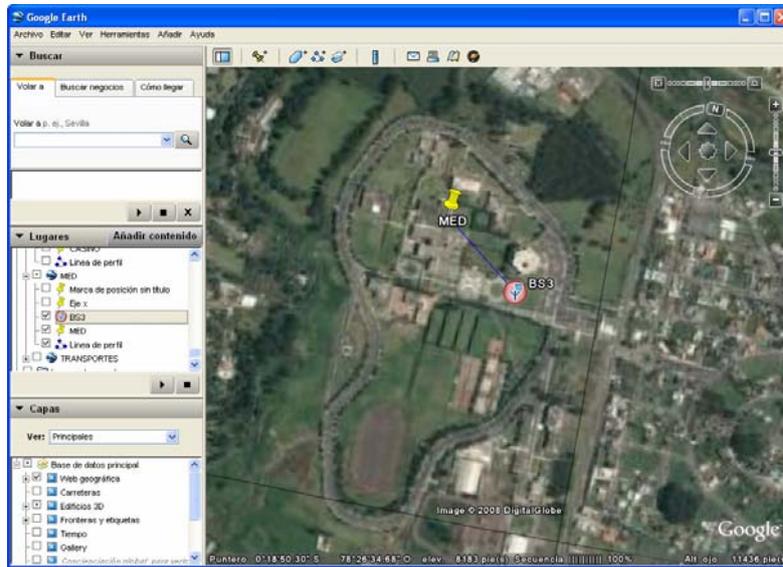


Distancia estación bases – bloque D

▼ Transmisor	
Nombre	: BS2
Coordenadas	: Lon: 78 26 38.040W Lat: 0 18 52.280S
Cota	: 2499 m
Alt. antena	: 22.0 m
Polariz.	: Horizontal
Antena	: 3_Sect360_12dBi
Frecuencia	: 3.500000 GHz
PRA	: 6.939090 W
Servicio	: WIMAX
Velocidad	: 10 Mbps
Modulación	: 16-QAM
MTBF	: 62500 h
MTTR	: 5 h
▼ Perfil	
Mét. Est.	: L.O.S.
Factor K	: 1.33333
Puntos	: 4
Longitud	: 0.210 Km
Acimut	: 326.624 °
Poten. recib.	: -49.4263 dBm
Fecha	: 29/02/2008 (12:13:22)
▼ Receptor	
Nombre	: BLOQUED
Coordenadas	: Lon: 78 26 41.770W Lat: 0 18 46.580S
Cota	: 2505 m
Frecuencia	: 3.500000 GHz
Alt. antena	: 10.0 m
Polariz.	: Horizontal
Antena	: Omni_2dBi_800MHz(UM
Servicio	: WIMAX
Velocidad	: 10 Mbps
Modulación	: 16-QAM
MTBF	: 62500 h
MTTR	: 5 h

Resultados obtenidos en el simulador

### ESTACIÓN BASE – MED

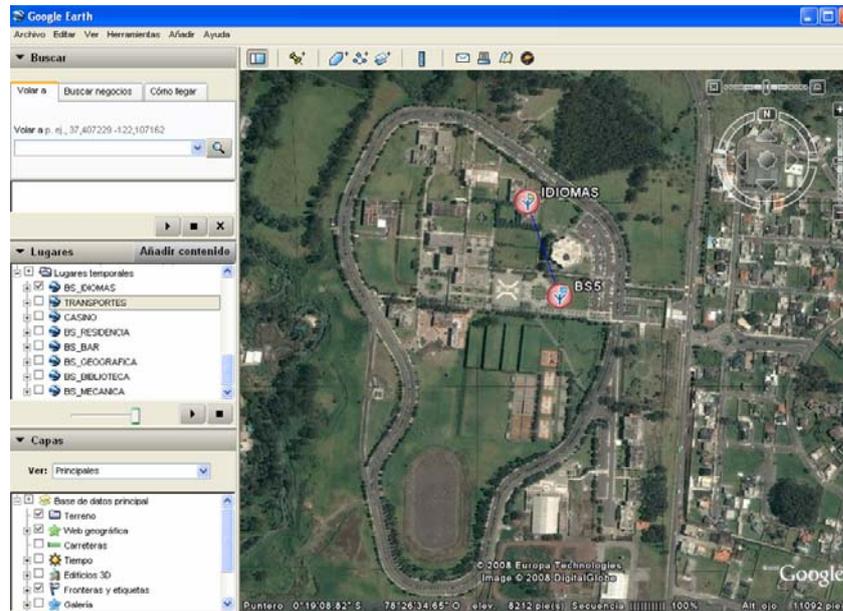


**Distancia Estación base - MED**

▼ Transmisor	
Nombre	: BS3
Coordenadas	: Lon: 78 26 38.000W Lat: 0 18 52.000S
Cota	: 2499 m
Alt. antena	: 22.0 m
Polariz.	: Horizontal
Antena	: 3_Sect360_17dBi
Frecuencia	: 3.500000 GHz
PRA	: 69.390897 W
Servicio	: WIMAX
Velocidad	: 10 Mbps
Modulación	: 16-QAM
MTBF	: 62500 h
MTTR	: 5 h
▼ Perfil	
Mét. Est.	: Editable Ampliado
Factor K	: 5.00000
Puntos	: 3
Longitud	: 0.198 Km
Acimut	: 308.473 °
Poten. recib.	: -48.7586 dBm
Fecha	: 06/08/2008 (10:59:29)
▼ Receptor	
Nombre	: MED
Coordenadas	: Lon: 78 26 43.000W Lat: 0 18 48.000S
Cota	: 2499 m
Frecuencia	: 3.500000 GHz
Alt. antena	: 10.0 m
Polariz.	: Horizontal
Antena	: Omni_2dBi_800MHz(UM)
Servicio	: WIMAX
Velocidad	: 10 Mbps
Modulación	: 16-QAM
MTBF	: 62500 h
MTTR	: 5 h

**Resultados obtenidos en el simulador**

## ESTACIÓN BASE – IDIOMAS

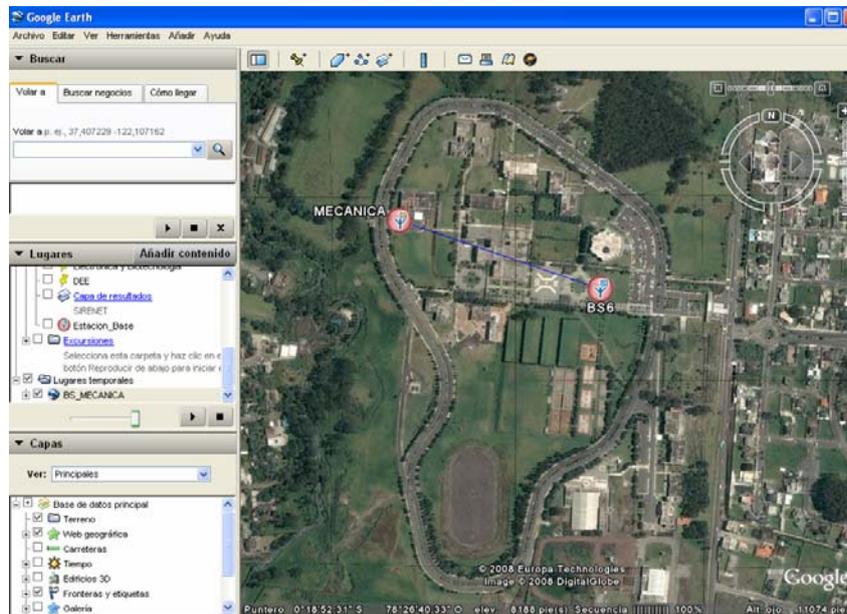


Distancia Estación Base - Idiomas

▼ Transmisor	
Nombre	: BS5
Coordenadas	: Lon: 78 26 38.040W Lat: 0 18 52.280S
Cota	: 2499 m
Alt. antena	: 22.0 m
Polariz.	: Horizontal
Antena	: 3_Sect360_12dBi
Frecuencia	: 3.500000 GHz
PRA	: 6.939090 W
Servicio	: WIMAX
Velocidad	: 10 Mbps
Modulación	: 16-QAM
MTBF	: 62500 h
MTTR	: 5 h
▼ Perfil	
Mét. Est.	: L.O.S.
Factor K	: 1.33333
Puntos	: 3
Longitud	: 0.164 Km
Acimut	: 341.007 °
Campo recib.	: 97.4577 dBu
Fecha	: 29/02/2008 (12:33:21)
▼ Receptor	
Nombre	: IDIOMAS
Coordenadas	: Lon: 78 26 39.770W Lat: 0 18 47.220S
Cota	: 2501 m
Frecuencia	: 3.500000 GHz
Alt. antena	: 6.0 m
Polariz.	: Horizontal
Antena	: Omni_2dBi_800MHz(UN
Servicio	: WIMAX
Velocidad	: 10 Mbps
Modulación	: 16-QAM
MTBF	: 62500 h
MTTR	: 5 h

Resultados obtenidos en el simulador

## ESTACIÓN BASE- MECÁNICA

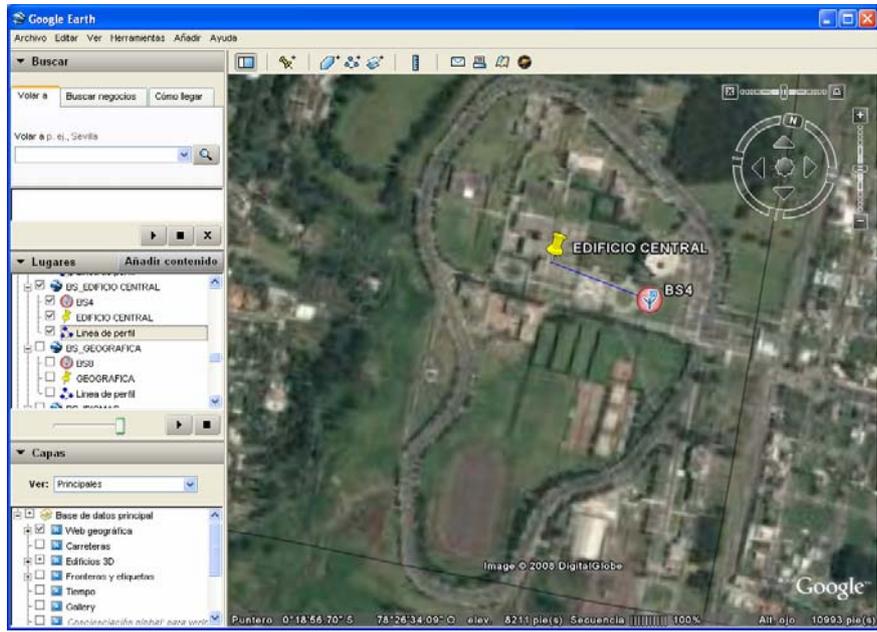


Distancia Estación Base - Mecánica

▼ Transmisor	
Nombre	: BS6
Coordenadas	: Lon: 78 26 38.040W Lat: 0 18 52.280S
Cota	: 2499 m
Alt. antena	: 22.0 m
Polariz.	: Horizontal
Antena	: 3_Sect360_12dBi
Frecuencia	: 3.500000 GHz
PRA	: 6.939090 W
Servicio	: WIMAX
Velocidad	: 10 Mbps
Modulación	: 16-QAM
MTBF	: 62500 h
MTTR	: 5 h
▼ Perfil	
Mét. Est	: L.O.S.
Factor K	: 1.33333
Puntos	: 5
Longitud	: 0.348 Km
Acimut	: 289.410 °
Campo recib.	: 90.7659 dBu
Fecha	: 29/02/2008 (12:44:54)
▼ Receptor	
Nombre	: MECANICA
Coordenadas	: Lon: 78 26 48.640W Lat: 0 18 48.520S
Cota	: 2495 m
Frecuencia	: 3.500000 GHz
Alt. antena	: 7.0 m
Polariz.	: Horizontal
Antena	: Omni_2dBi_800MHz(UM)
Servicio	: WIMAX
Velocidad	: 10 Mbps
Modulación	: 16-QAM
MTBF	: 62500 h
MTTR	: 5 h

Resultados obtenidos en el simulador

### ESTACIÓN BASE- EDIFICIO CENTRAL

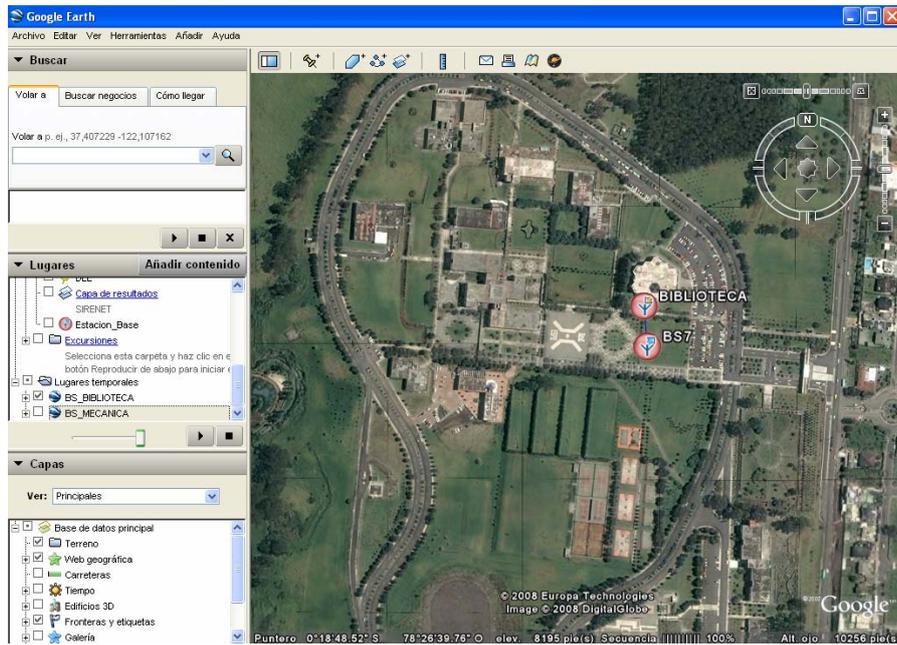


**Distancia Estación Base- Edificio Central**

▼ Transmisor	
Nombre	: BS4
Coordenadas	: Lon: 78 26 38.000W Lat: 0 18 52.000S
Cota	: 2499 m
Alt. antena	: 22.0 m
Polariz.	: Horizontal
Antena	: 3_Sect360_17dBi
Frecuencia	: 3.500000 GHz
PRA	: 69.390897 W
Servicio	: WiMAX
Velocidad	: 10 Mbps
Modulación	: 16-QAM
MTBF	: 62500 h
MTTR	: 5 h
▼ Perfil	
Mét. Est.	: Editable Ampliado
Factor K	: 5.00000
Puntos	: 3
Longitud	: 0.158 Km
Acimut	: 281.236 °
Poten. recib.	: -45.3611 dBm
Fecha	: 06/08/2008 (10:55:45)
▼ Receptor	
Nombre	: EDIFICIO CENTRAL
Coordenadas	: Lon: 78 26 43.000W Lat: 0 18 51.000S
Cota	: 2496 m
Frecuencia	: 3.500000 GHz
Alt. antena	: 10.0 m
Polariz.	: Horizontal
Antena	: Omni_2dBi_800MHz(UM)
Servicio	: WiMAX
Velocidad	: 10 Mbps
Modulación	: 16-QAM
MTBF	: 62500 h
MTTR	: 5 h

**Resultados obtenidos en el simulador**

## ESTACIÓN BASE – BIBLIOTECA

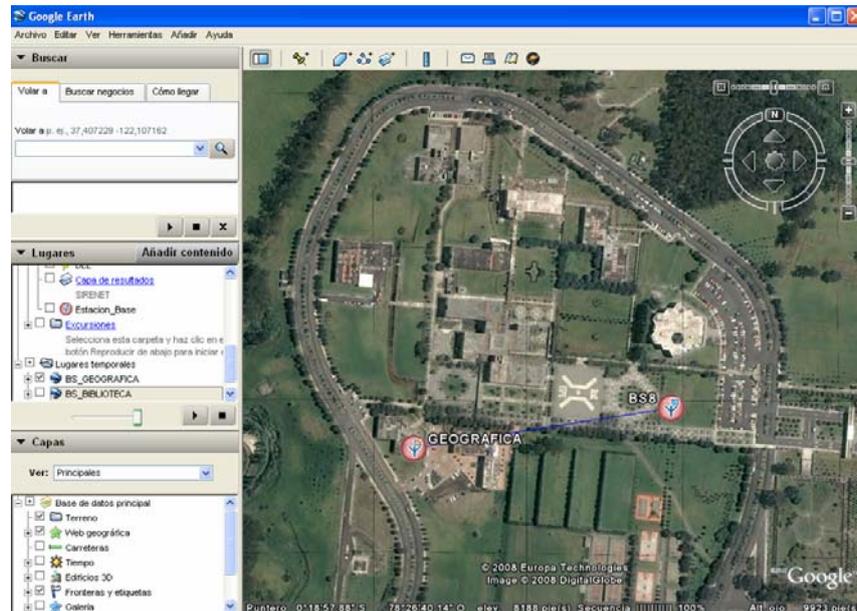


## Distancia Estación Base – Biblioteca

▼ Transmisor	
Nombre	: BS7
Coordenadas	: Lon: 78 26 38.040W Lat: 0 18 52.280S
Cota	: 2499 m
Alt. antena	: 22.0 m
Polariz.	: Horizontal
Antena	: 3_Sect360_12dBi
Frecuencia	: 3.500000 GHz
PRA	: 6.939090 W
Servicio	: WiMAX
Velocidad	: 10 Mbps
Modulación	: 16-QAM
MTBF	: 62500 h
MTTR	: 5 h
▼ Perfil	
Mét. Est.	: L.O.S.
Factor K	: 1.33333
Puntos	: 2
Longitud	: 0.045 Km
Acimut	: 357.631 °
Campo recib.	: 97.0673 dBu
Fecha	: 29/02/2008 (12:50:01)
▼ Receptor	
Nombre	: BIBLIOTECA
Coordenadas	: Lon: 78 26 38.100W Lat: 0 18 50.820S
Cota	: 2499 m
Frecuencia	: 3.500000 GHz
Alt. antena	: 8.0 m
Polariz.	: Horizontal
Antena	: Omni_2dBi_800MHz(UM
Servicio	: WiMAX
Velocidad	: 10 Mbps
Modulación	: 16-QAM
MTBF	: 62500 h
MTTR	: 5 h

## Resultados obtenidos en el simulador

## ESTACIÓN BASE –GEOGRÁFICA

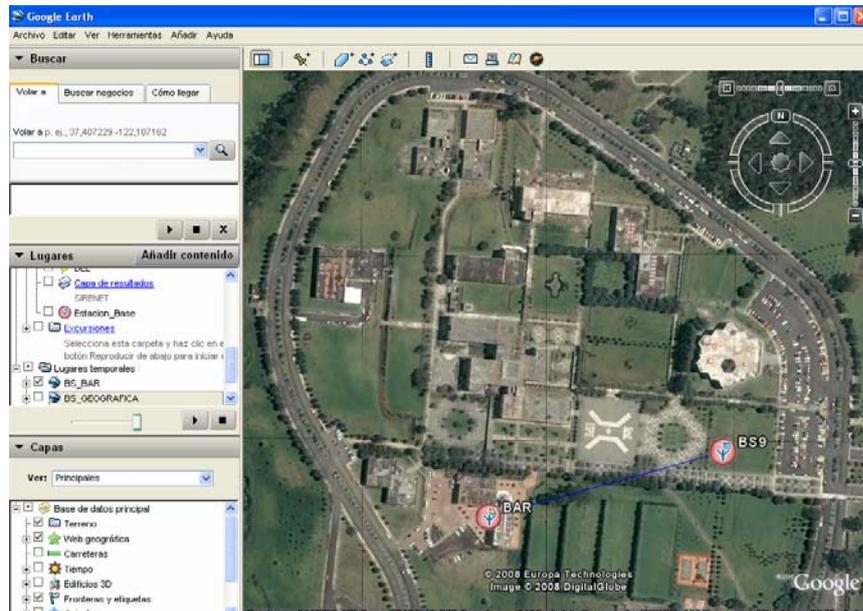


Distancia Estación Base - Geográfica

▼ Transmisor	
Nombre	: BS8
Coordenadas	: Lon: 78 26 38.040W Lat: 0 18 52.280S
Cota	: 2499 m
Alt. antena	: 22,0 m
Polariz.	: Horizontal
Antena	: 3_Sect360_12dBi
Frecuencia	: 3.500000 GHz
PRA	: 6.939090 W
Servicio	: WIMAX
Velocidad	: 10 Mbps
Modulación	: 16-QAM
MTBF	: 62500 h
MTTR	: 5 h
▼ Perfil	
Mét. Est.	: L.O.S.
Factor K	: 1.33333
Puntos	: 4
Longitud	: 0.251 Km
Acimut	: 260.277 °
Campo recib.	: 94.1844 dBu
Fecha	: 29/02/2008 (12:57:36)
▼ Receptor	
Nombre	: GEOGRAFICA
Coordenadas	: Lon: 78 26 46.040W Lat: 0 18 53.660S
Cota	: 2495 m
Frecuencia	: 3.500000 GHz
Alt. antena	: 7,0 m
Polariz.	: Horizontal
Antena	: Omni_2dBi_800MHz(UM
Servicio	: WIMAX
Velocidad	: 10 Mbps
Modulación	: 16-QAM
MTBF	: 62500 h
MTTR	: 5 h

Resultados obtenidos en el simulador

## ESTACIÓN BASE – BAR

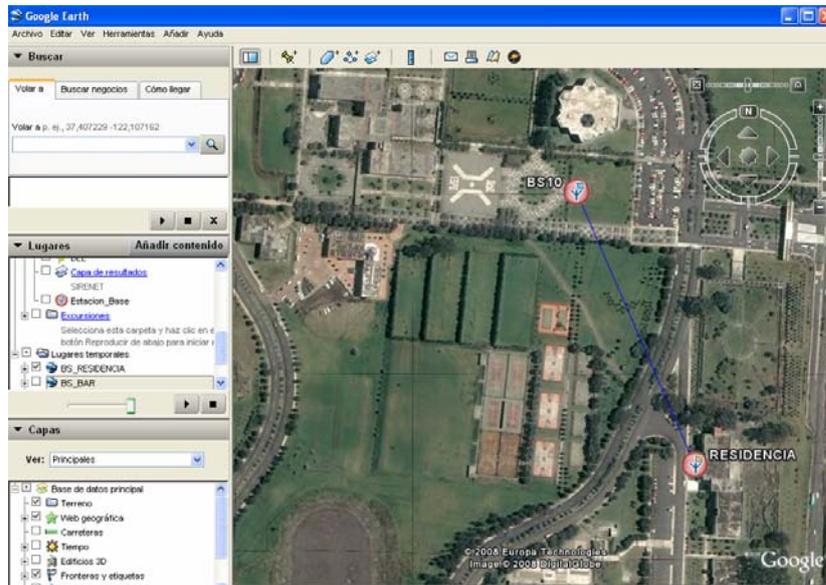


**Distancia Estación Base- Bar**

▼ Transmisor	
Nombre	: BS9
Coordenadas	: Lon: 78 26 38.040W Lat: 0 18 52.280S
Cota	: 2499 m
Alt. antena	: 22.0 m
Polariz.	: Horizontal
Antena	: 3_Sect360_12dBi
Frecuencia	: 3.500000 GHz
PRA	: 6.939090 W
Servicio	: WiMAX
Velocidad	: 10 Mbps
Modulación	: 16-QAM
MTBF	: 62500 h
MTTR	: 5 h
▼ Perfil	
Mét. Est.	: L.O.S.
Factor K	: 1.33333
Puntos	: 3
Longitud	: 0.192 Km
Acimut	: 252.782 °
Poten. recib.	: -50.7353 dBm
Fecha	: 29/02/2008 (13:01:22)
▼ Receptor	
Nombre	: BAR
Coordenadas	: Lon: 78 26 43.970W Lat: 0 18 54.130S
Cota	: 2495 m
Frecuencia	: 3.500000 GHz
Alt. antena	: 6.0 m
Polariz.	: Horizontal
Antena	: Omni_2dBi_800MHz(UN
Servicio	: WiMAX
Velocidad	: 10 Mbps
Modulación	: 16-QAM
MTBF	: 62500 h
MTTR	: 5 h

**Resultados obtenidos en el simulador**

## ESTACIÓN BASE – RESIDENCIA

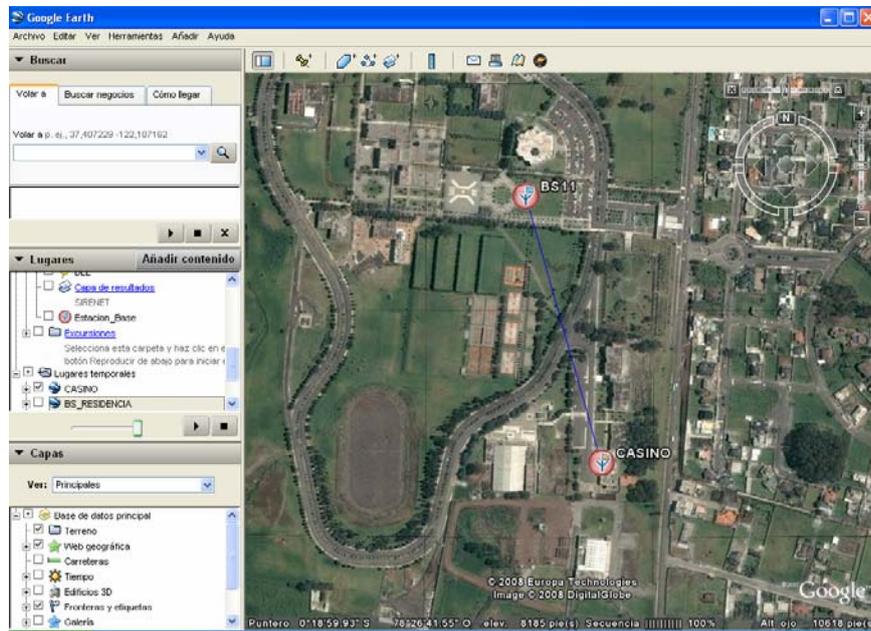


Distancia Estación Base – Residencia

▼ Transmisor	
Nombre	: BS10
Coordenadas	: Lon: 78 26 38.040W Lat: 0 18 52.280S
Cota	: 2499 m
Alt. antena	: 22.0 m
Polariz.	: Horizontal
Antena	: 3_Sect360_12dBi
Frecuencia	: 3.500000 GHz
PRA	: 6.939090 W
Servicio	: WIMAX
Velocidad	: 10 Mbps
Modulación	: 16-QAM
MTBF	: 62500 h
MTTR	: 5 h
▼ Perfil	
Mét. Est.	: L.O.S.
Factor K	: 1.33333
Puntos	: 4
Longitud	: 0.239 Km
Acimut	: 156.467 °
Poten. recib.	: -50.8818 dBm
Fecha	: 29/02/2008 (13:05:37)
▼ Receptor	
Nombre	: RESIDENCIA
Coordenadas	: Lon: 78 26 34.960W Lat: 0 18 59.400S
Cota	: 2504 m
Frecuencia	: 3.500000 GHz
Alt. antena	: 10.0 m
Polariz.	: Horizontal
Antena	: Omni_2dBi_800MHz(U)
Servicio	: WIMAX
Velocidad	: 10 Mbps
Modulación	: 16-QAM
MTBF	: 62500 h
MTTR	: 5 h

Resultados obtenidos en el simulador

## ESTACIÓN BASE – CASINO

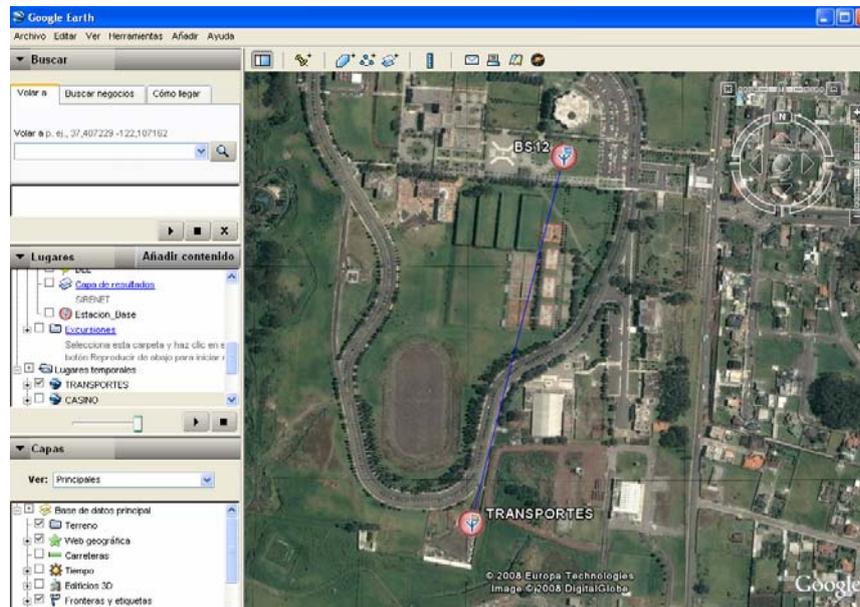


Distancia Estación Base – Casino

▼ Transmisor	
Nombre	: BS11
Coordenadas	: Lon: 78 26 38.040W Lat: 0 18 52.280S
Cota	: 2499 m
Alt. antena	: 22.0 m
Polariz.	: Horizontal
Antena	: 3_Sect360_12dBi
Frecuencia	: 3.500000 GHz
PRA	: 6.939090 W
Servicio	: WiMAX
Velocidad	: 10 Mbps
Modulación	: 16-QAM
MTBF	: 62500 h
MTTR	: 5 h
▼ Perfil	
Mét. Est.	: L.O.S.
Factor K	: 1.33333
Puntos	: 5
Longitud	: 0.363 Km
Acimut	: 164.134 °
Campo recib.	: 91.8423 dBu
Fecha	: 29/02/2008 (13:11:17)
▼ Receptor	
Nombre	: CASINO
Coordenadas	: Lon: 78 26 34.830W Lat: 0 19 03.650S
Cota	: 2510 m
Frecuencia	: 3.500000 GHz
Alt. antena	: 8.0 m
Polariz.	: Horizontal
Antena	: Omni_2dBi_800MHz(UM
Servicio	: WiMAX
Velocidad	: 10 Mbps
Modulación	: 16-QAM
MTBF	: 62500 h
MTTR	: 5 h

Resultados obtenidos en el simulador

## ESTACIÓN BASE- TRANSPORTE



Distancia Estación Base – Bar

▼ Transmisor	
Nombre	: BS12
Coordenadas	: Lon: 78 26 38.040W Lat: 0 18 52.280S
Cota	: 2499 m
Alt. antena	: 22.0 m
Polariz.	: Horizontal
Antena	: 3_Sect360_12dBi
Frecuencia	: 3.500000 GHz
PRA	: 6.939090 W
Servicio	: WIMAX
Velocidad	: 10 Mbps
Modulación	: 16-QAM
MTBF	: 62500 h
MTTR	: 5 h
▼ Perfil	
Mét. Est.	: L.O.S.
Factor K	: 1.33333
Puntos	: 7
Longitud	: 0.526 Km
Acimut	: 194.290 °
Poten. recib.	: -57.4909 dBm
Fecha	: 29/02/2008 (13:16:53)
▼ Receptor	
Nombre	: TRANSPORTES
Coordenadas	: Lon: 78 26 42.240W Lat: 0 19 08.880S
Cota	: 2510 m
Frecuencia	: 3.500000 GHz
Alt. antena	: 3.5 m
Polariz.	: Horizontal
Antena	: Omni_2dBi_800MHz(UM)
Servicio	: WIMAX
Velocidad	: 10 Mbps
Modulación	: 16-QAM
MTBF	: 62500 h
MTTR	: 5 h

Resultados obtenidos en el simulador

# **ANEXO 4**

**CÓDIGO DE NETWORK SIMULATOR**

Ejemplo del código utilizado en el enlace downlink entre la estación base y cada uno de los suscriptores sin interferencia con un modelo de propagación FreeSpace.

```
#=====
#   DECLARACION DE VARIABLES
#=====
#Modelo de Propagación: FreeSpace, Protocolo de enrutamiento:DSDV

set val(chan) Channel/WirelessChannel    ;# tipo de canal
set val(prop) Propagation/FreeSpace      ;# modelo de propagación
set val(netif) Phy/WirelessPhy          ;# Tipo de interfaz de red
set val(mac) Mac/802_16                  ;# Tipo de MAC
set val(ifq) Queue/DropTail/PriQueue     ;# Tipo de interfaz de cola de paquetes
set val(ll) LL                            ;# tipo de capa de enlace
set val(ant) Antenna/OmniAntenna         ;# Modelo de antena
set val(ifqlen) 50                        ;# Número máximo de paquetes en cola
set val(nn) 2                              ;# Número de nodos
set val(rp) AODV                          ;# Protocolo de enrutamiento (sin el en la corrida)
sale:routes not yet computed)

set val(x) 2000                            ;# Dimensión de la topografía en X (m)
set val(y) 2000                            ;# Dimensión de la topografía en Y (m)

#=====
#   PARAMETROS DE LAS ANTENAS
#=====

Phy/WirelessPhy set CStresh_ 5.011872*1e-12 ;#Umbral superior de la sensibilidad del receptor
Phy/WirelessPhy set Rb_ 11*1e6
Phy/WirelessPhy set Pt_ 3.6
Phy/WirelessPhy set freq_ 3.5*1e9          ;#Frecuencia de trabajo
Phy/WirelessPhy set L_ 2.0                 ;#Pérdidas
Antenna/OmniAntenna set Gt_ 7.0           ;#Ganancia de transmisión
Antenna/OmniAntenna set Gr_ 3.0           ;#Ganancia de recepción

#=====
#   PROGRAMA PRINCIPAL
#=====

#Inicialización de NS
set ns      [new Simulator]                ;#se abre una simulación
set tracefd [open nodo1.tr w]             ;#Abre documento .tr
set namtrace [open nodo1.nam w]           ;#Abre documento .nam

Mac/802_16 set bandwidth_ 10Mb

set trace_gput [open put w]
set trace_ggput [open ggput1 w]

$ns trace-all $tracefd
$ns namtrace-all-wireless $namtrace $val(x) $val(y)
$ns color 0 BLUE

#Crear el objeto para la topografía
set topo    [new Topography]              ;#Objeto para la topografía
$topo load_flatgrid $val(x) $val(y)
```

```

create-god $val(nn) ;#Creación de God --> General Operations
Director (Director general de operaciones)

set chan0 [new $val(chan)] ;#creación de un canal

#=====
# CONFIGURACIÓN DE NODOS
#=====

$ns node-config -adhocRouting $val(rp) \
    -llType $val(ll) \
    -macType $val(mac) \
    -ifqType $val(ifq) \
    -ifqLen $val(ifqlen) \
    -antType $val(ant) \
    -propType $val(prop) \
    -phyType $val(netif) \
    -channel $chan0 \
    -topoInstance $topo \
    -agentTrace OFF \
    -routerTrace OFF \
    -macTrace ON \
    -movementTrace OFF

#=====
# DEFINICIÓN DE NODOS
#=====

set node_(0) [$ns node] ;#Creación del nodo 0
$node_(0) set X_ 762.88; ;#Establecimiento de las coordenadas en x del nodo 0
$node_(0) set Y_ 1278.35 ;#Establecimiento de las coordenadas en y del nodo 0
$node_(0) set Z_ 0.0 ;#Establecimiento de las coordenadas en z del nodo 0(no
se le define valor ya que mov. solo en x e y)
$ns initial_node_pos $node_(0) 40 ;#Definición del tamaño del nodo, sirve también para ser
visualizado en la nam

set node_(1) [$ns node] ;#Creación del nodo 1
$node_(1) set X_ 195.87 ;#GEOGRÁFICA
$node_(1) set Y_ 1113.4
$node_(1) set Z_ 0.0
$ns initial_node_pos $node_(1) 40

#=====
# GENERACIÓN DE TRÁFICO
#=====

# TCP
Agent/TCP set window_ 200
set tcp0 [new Agent/TCP/Reno]
$ns attach-agent $node_(1) $tcp0
$tcp0 set packetSize_ 500

# Receptor
set sink0 [new Agent/TCPSink]
$ns attach-agent $node_(0) $sink0
$ns connect $tcp0 $sink0

```

```
$tcp0 set fid_ 0
#FTP
set ftp0 [new Application/FTP]
$ftp0 attach-agent $tcp0

#=====
#      OBTENCIÓN DEL THROUGHPUT
#=====

set count 0
set tot_ack 0
set last_ack 0

proc record {} {
    global ns tcp0 count last_ack trace_gput tot_ack trace_ggput
    set count [expr $count + 1]
    set time 0.1
    set now [$ns now]

    #Calcula el throughput promedio
    set new_ack [$tcp0 set ack_]
    set gput_avg [expr ($new_ack - $last_ack) / $time]
    set last_ack $new_ack
    set tot_ack [expr ($new_ack + $tot_ack)]
    puts $trace_gput "$now $gput_avg"
    puts $trace_ggput "$now $new_ack"

    #registra para que este procedimiento se vuelva a correr
    $ns at [expr $now+$time] "record"
}

proc finish {} {
    global ns trace_gput tot_ack trace_ggput
    $ns flush-trace
    exec nam nodo1.nam &

    close $trace_ggput
    close $trace_gput
    exit 0
}

$ns at 0 "record"
$ns at 1.0 "$ftp0 start"
$ns at 11.0 "$ftp0 stop"
$ns at 13.0 "finish"

$ns run
```

Ejemplo del código para un enlace uplink entre la estación base y cada uno de los suscriptores con interferencia utilizando un modelo de propagación Shadowing.

```
#UPLINKING CON DOS NODOS
#=====
#   DECLARACION DE VARIABLES
#=====
#Modelo de Propagación: Shadowing, Protocolo de enrutamiento:DSDV

set val(chan) Channel/WirelessChannel    ;# tipo de canal
set val(prop) Propagation/Shadowing      ;# modelo de propagación
set val(netif) Phy/WirelessPhy          ;# Tipo de interfaz de red
set val(mac) Mac/802_16                  ;# Tipo de MAC
set val(ifq) Queue/DropTail/PriQueue     ;# Tipo de interfaz de cola de paquetes
set val(ll) LL                            ;# tipo de capa de enlace
set val(ant) Antenna/OmniAntenna        ;# Modelo de antena
set val(ifqlen) 50                        ;# Número máximo de paquetes en cola
set val(nn) 15                             ;# Número de nodos
set val(rp) DSDV                           ;# Protocolo de enrutamiento (sin el en la corrida
sale:routes not yet#computed)
set val(x) 3000                             ;# Dimensión de la topografía en X (m)
set val(y) 3000                             ;# Dimensión de la topografía en Y (m)

#=====
#   PARAMETROS DE LAS ANTENAS
#=====

Phy/WirelessPhy set Pt_ 3.6
Phy/WirelessPhy set freq_ 5.8*1e9          ;#Frecuencia de trabajo
Phy/WirelessPhy set L_ 2.0                 ;#Pérdidas
Antenna/OmniAntenna set Gt_ 7.0           ;#Ganancia de transmisión
Antenna/OmniAntenna set Gr_ 3.0           ;#Ganancia de recepción
Antenna/OmniAntenna set ht_ 22.0         ;#Altura de la antena de transmisión
Antenna/OmniAntenna set hr_ 9.0          ;#Altura de la antena de recepción

# Setting the bandwidth to 10 Mbps

#=====
#   PROGRAMA PRINCIPAL
#=====

#Inicialización de NS
set ns [new Simulator]                    ;#se abre una simulación
set tracefd [open uplink1_14.tr w]       ;#Abre documento .tr
set namtrace [open uplink1_14.nam w]     ;#Abre documento .nam

Mac/802_16 set bandwidth_ 10Mb

set trace_gput [open put1_14up w]
set trace_ggput [open ggput1_14up w]

$ns trace-all $tracefd

$ns namtrace-all-wireless $namtrace $val(x) $val(y)
$ns color 0 BLUE
```

```

Propagation/Shadowing set pathlossExp_ 5.0
Propagation/Shadowing set std_db_ 8.0
Propagation/Shadowing set dist0_ 1.0
Propagation/Shadowing set seed_ 0

#Crear el objeto para la topografía
set topo [new Topography] ;#Objeto para la topografía
$topo load_flatgrid $val(x) $val(y)

create-god $val(nn) ;#Creación de God --> General Operations
Director (Director general de operaciones)

set chan0 [new $val(chan)] ;#creación de un canal

#=====
# CONFIGURACIÓN DE NODOS
#=====

$ns node-config -adhocRouting $val(rp) \
    -llType $val(ll) \
    -macType $val(mac) \
    -ifqType $val(ifq) \
    -ifqLen $val(ifqlen) \
    -antType $val(ant) \
    -propType $val(prop) \
    -phyType $val(netif) \
    -channel $chan0 \
    -topoInstance $topo \
    -agentTrace OFF \
    -routerTrace OFF \
    -macTrace ON \
    -movementTrace OFF

#=====
# DEFINICIÓN DE NODOS
#=====

set node_(0) [$ns node] ;#Creación del nodo 0 EDIFICIO ADMINISTRATIVO
$node_(0) set X_ 762.88; ;#Establecimiento de las coordenadas en x del nodo 0
$node_(0) set Y_ 1278.35 ;#Establecimiento de las coordenadas en y del nodo 0
$node_(0) set Z_ 0.0 ;#Establecimiento de las coordenadas en z del nodo 0(no
se le define valor ya que mov. solo en x e y)
$ns initial_node_pos $node_(0) 40 ;#Definición del tamaño del nodo, sirve también para ser
visualizado en la nam

set node_(1) [$ns node] ;#Creación del nodo 1
$node_(1) set X_ 195.87 ;#Geográfica
$node_(1) set Y_ 1113.4
$node_(1) set Z_ 0.0
$ns initial_node_pos $node_(1) 40

set node_(2) [$ns node] ;#Creación del nodo 2
$node_(2) set X_ 268.04 ;#Departamento de Eléctrica y Electrónica
$node_(2) set Y_ 1783.50
$node_(2) set Z_ 0.0
$ns initial_node_pos $node_(2) 40

set node_(3) [$ns node] ;#Creación del nodo 4
$node_(3) set X_ 288.65 ;#Electrónica-Biotecnología

```

```
$node_(3) set Y_ 1752.57
$node_(3) set Z_ 0.0
$ns initial_node_pos $node_(3) 40

set node_(4) [$ns node]                ;#Creación del nodo 4
$node_(4) set X_ 329.89                 ;#BAR
$node_(4) set Y_ 1113.4
$node_(4) set Z_ 0.0
$ns initial_node_pos $node_(4) 40

set node_(5) [$ns node]                ;#Creación del nodo 5
$node_(5) set X_ 396.9                 ;#MED
$node_(5) set Y_ 1556.70
$node_(5) set Z_ 0.0
$ns initial_node_pos $node_(5) 40

set node_(6) [$ns node]                ;#Creación del nodo 6
$node_(6) set X_ 407.21                 ;#BLOQUE D
$node_(6) set Y_ 1711.34
$node_(6) set Z_ 0.0
$ns initial_node_pos $node_(6) 40

set node_(7) [$ns node]                ;#Creación del nodo 7
$node_(7) set X_ 618.55                 ;#IDIOMAS
$node_(7) set Y_ 1628.86
$node_(7) set Z_ 0.0
$ns initial_node_pos $node_(7) 40

set node_(8) [$ns node]                ;#Creación del nodo 8
$node_(8) set X_ 396.9                 ;#EDIFICIO CENTRAL
$node_(8) set Y_ 1340.20
$node_(8) set Z_ 0.0
$ns initial_node_pos $node_(8) 40

set node_(9) [$ns node]                ;#Creación del nodo 9
$node_(9) set X_ 762.88                 ;#COLISEO
$node_(9) set Y_ 432.98
$node_(9) set Z_ 0.0
$ns initial_node_pos $node_(9) 40

set node_(10) [$ns node]               ;#Creación del nodo 10
$node_(10) set X_ 989.69                ;#RESIDENCIA
$node_(10) set Y_ 721.64
$node_(10) set Z_ 0.0
$ns initial_node_pos $node_(10) 40

set node_(11) [$ns node]               ;#Creación del nodo 11
$node_(11) set X_ 989.69                ;#CASINO
$node_(11) set Y_ 432.98
$node_(11) set Z_ 0.0
$ns initial_node_pos $node_(11) 40

set node_(12) [$ns node]               ;#Creación del nodo 12
$node_(12) set X_ 762.88                ;#BIBLIOTECA
$node_(12) set Y_ 1340.20
$node_(12) set Z_ 0.0
$ns initial_node_pos $node_(12) 40

set node_(13) [$ns node]               ;#Creación del nodo 13
$node_(13) set X_ 72.16                 ;#MECÁNICA
```

```

$node_(13) set Y_ 1556.70
$node_(13) set Z_ 0.0
$ns initial_node_pos $node_(13) 40

set node_(14) [$ns node]                ;#Creación del nodo 14
$node_(14) set X_ 474.22                ;#TRANSPORTES
$node_(14) set Y_ 0.0
$node_(14) set Z_ 0.0
$ns initial_node_pos $node_(14) 40

#=====
# GENERACIÓN DE TRÁFICO
#=====

# TCP
Agent/TCP set window_ 200
set tcp0 [new Agent/TCP/Reno]
$ns attach-agent $node_(1) $tcp0
$tcp0 set packetSize_ 536
# Receptor
set sink0 [new Agent/TCPSink]
$ns attach-agent $node_(0) $sink0
$ns connect $tcp0 $sink0
$tcp0 set fid_ 0
#FTP
set ftp0 [new Application/FTP]
$ftp0 attach-agent $tcp0
$ftp0 set rate_ 512Kb
$ns at 1.0 "$ftp0 start"
$ns at 11.0 "$ftp0 stop"

set udp0 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $node_(2) $udp0
set null0 [new Agent/Null]
$ns attach-agent $node_(0) $null0
$ns connect $udp0 $null0
$udp0 set fid_ 2
set cbr0 [new Application/Traffic/UGS]
$cbr0 attach-agent $udp0
$cbr0 set type_ UGS
$cbr0 set packet_size_ 536
$cbr0 set rate_ 512Kb
$cbr0 set random_ false
$ns at 1.0 "$cbr0 start"
$ns at 11.0 "$cbr0 stop"

set udp1 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $node_(3) $udp1
set null1 [new Agent/Null]
$ns attach-agent $node_(0) $null1
$ns connect $udp1 $null1
$udp1 set fid_ 2
set cbr1 [new Application/Traffic/UGS]
$cbr1 attach-agent $udp1
$cbr1 set type_ UGS
$cbr1 set packet_size_ 536
$cbr1 set rate_ 512Kb
$cbr1 set random_ false
$ns at 1.0 "$cbr1 start"
$ns at 11.0 "$cbr1 stop"

```

```
set udp2 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $node_(4) $udp2
set null2 [new Agent/Null]
$ns attach-agent $node_(0) $null2
$ns connect $udp2 $null2
$udp2 set fid_ 2
set cbr2 [new Application/Traffic/UGS]
$cbr2 attach-agent $udp2
$cbr2 set type_ UGS
$cbr2 set packet_size_ 536
$cbr2 set rate_ 512Kb
$cbr2 set random_ false
$ns at 1.0 "$cbr2 start"
$ns at 11.0 "$cbr2 stop"
```

```
set udp3 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $node_(5) $udp3
set null3 [new Agent/Null]
$ns attach-agent $node_(0) $null3
$ns connect $udp3 $null3
$udp3 set fid_ 2
set cbr3 [new Application/Traffic/UGS]
$cbr3 attach-agent $udp3
$cbr3 set type_ UGS
$cbr3 set packet_size_ 536
$cbr3 set rate_ 512Kb
$cbr3 set random_ false
$ns at 1.0 "$cbr3 start"
$ns at 11.0 "$cbr3 stop"
```

```
set udp4 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $node_(6) $udp4
set null4 [new Agent/Null]
$ns attach-agent $node_(0) $null4
$ns connect $udp4 $null4
$udp4 set fid_ 2
set cbr4 [new Application/Traffic/UGS]
$cbr4 attach-agent $udp4
$cbr4 set type_ UGS
$cbr4 set packet_size_ 536
$cbr4 set rate_ 512Kb
$cbr4 set random_ false
$ns at 1.0 "$cbr4 start"
$ns at 11.0 "$cbr4 stop"
```

```
set udp5 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $node_(7) $udp5
set null5 [new Agent/Null]
$ns attach-agent $node_(0) $null5
$ns connect $udp5 $null5
$udp5 set fid_ 2
set cbr5 [new Application/Traffic/UGS]
$cbr5 attach-agent $udp5
$cbr5 set type_ UGS
$cbr5 set packet_size_ 536
$cbr5 set rate_ 512Kb
$cbr5 set random_ false
$ns at 1.0 "$cbr5 start"
$ns at 11.0 "$cbr5 stop"
```

```
set udp6 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $node_(8) $udp6
set null6 [new Agent/Null]
$ns attach-agent $node_(0) $null6
$ns connect $udp6 $null6
$udp6 set fid_ 2
set cbr6 [new Application/Traffic/UGS]
$cbr6 attach-agent $udp6
$cbr6 set type_ UGS
$cbr6 set packet_size_ 536
$cbr6 set rate_ 512Kb
$cbr6 set random_ false
$ns at 1.0 "$cbr6 start"
$ns at 11.0 "$cbr6 stop"
```

```
set udp7 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $node_(9) $udp7
set null7 [new Agent/Null]
$ns attach-agent $node_(0) $null7
$ns connect $udp7 $null7
$udp7 set fid_ 2
set cbr7 [new Application/Traffic/UGS]
$cbr7 attach-agent $udp7
$cbr7 set type_ UGS
$cbr7 set packet_size_ 536
$cbr7 set rate_ 512Kb
$cbr7 set random_ false
$ns at 1.0 "$cbr7 start"
$ns at 11.0 "$cbr7 stop"
```

```
set udp8 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $node_(10) $udp8
set null8 [new Agent/Null]
$ns attach-agent $node_(0) $null8
$ns connect $udp8 $null8
$udp8 set fid_ 2
set cbr8 [new Application/Traffic/UGS]
$cbr8 attach-agent $udp8
$cbr8 set type_ UGS
$cbr8 set packet_size_ 536
$cbr8 set rate_ 512Kb
$cbr8 set random_ false
$ns at 1.0 "$cbr8 start"
$ns at 11.0 "$cbr8 stop"
```

```
set udp9 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $node_(11) $udp9
set null9 [new Agent/Null]
$ns attach-agent $node_(0) $null9
$ns connect $udp9 $null9
$udp9 set fid_ 2
set cbr9 [new Application/Traffic/UGS]
$cbr9 attach-agent $udp9
$cbr9 set type_ UGS
$cbr9 set packet_size_ 536
$cbr9 set rate_ 512Kb
$cbr9 set random_ false
$ns at 1.0 "$cbr9 start"
$ns at 11.0 "$cbr9 stop"
```

```

set udp10 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $node_(12) $udp10
set null10 [new Agent/Null]
$ns attach-agent $node_(0) $null10
$ns connect $udp10 $null10
$udp10 set fid_ 2
set cbr10 [new Application/Traffic/UGS]
$cbr10 attach-agent $udp10
$cbr10 set type_ UGS
$cbr10 set packet_size_ 536
$cbr10 set rate_ 512Kb
$cbr10 set random_ false
$ns at 1.0 "$cbr10 start"
$ns at 11.0 "$cbr10 stop"

set udp11 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $node_(13) $udp11
set null11 [new Agent/Null]
$ns attach-agent $node_(0) $null11
$ns connect $udp11 $null11
$udp11 set fid_ 2
set cbr11 [new Application/Traffic/UGS]
$cbr11 attach-agent $udp11
$cbr11 set type_ UGS
$cbr11 set packet_size_ 536
$cbr11 set rate_ 512Kb
$cbr11 set random_ false
$ns at 1.0 "$cbr11 start"
$ns at 11.0 "$cbr11 stop"

set udp12 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $node_(14) $udp12
set null12 [new Agent/Null]
$ns attach-agent $node_(0) $null12
$ns connect $udp12 $null12
$udp12 set fid_ 2
set cbr12 [new Application/Traffic/UGS]
$cbr12 attach-agent $udp12
$cbr12 set type_ UGS
$cbr12 set packet_size_ 536
$cbr12 set rate_ 512Kb
$cbr12 set random_ false
$ns at 1.0 "$cbr12 start"
$ns at 11.0 "$cbr12 stop"

#=====
# GENERACIÓN DEL THROUGHPUT
#=====

set count 0
set tot_ack 0
set last_ack 0

proc record {} {
    global ns tcp0 count last_ack trace_gput tot_ack trace_ggput
    set count [expr $count +1]
    set time 0.1
    set now [$ns now]

    #Calcula el throughput promedio

```

```
    set new_ack [$tcp0 set ack_]
    set gput_avg [expr ($new_ack - $last_ack) / $time]
    set last_ack $new_ack
    set tot_ack [expr ($new_ack + $tot_ack)]
    puts $trace_gput "$now $gput_avg"
    puts $trace_ggput "$now $new_ack"

    #registra para que este procedimiento se vuelva a correr
    $ns at [expr $now+$time] "record"
}

proc finish {} {

    global ns trace_gput tot_ack trace_ggput
    $ns flush-trace
    exec nam uplink1_14.nam &

    close $trace_ggput
        close $trace_gput
    exit 0
}

$ns at 0 "record"

$ns at 13.0 "finish"

$ns run
```

## FECHA DE ENTREGA

El presente proyecto de grado fue entregado en la fecha.

Sangolquí, \_\_\_\_\_ 2009

Realizado por:

---

Edwin Patricio Amaguaña D.

---

Tatiana Magali Apolo C.

---

Ing. Gonzalo Olmedo

COORDINADOR DE CARRERA DE TELECOMUNICACIONES