

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES**

**Diseño de un Sistema de Red Inalámbrico basado en  
WiMAX para su aplicación en las instalaciones de la  
Universidad Católica Andrés Bello**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**Presentado ante la**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO**

**Como parte de los requisitos para optar al título de**

**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

**REALIZADO POR**

**Bernardo A. Infante A.**

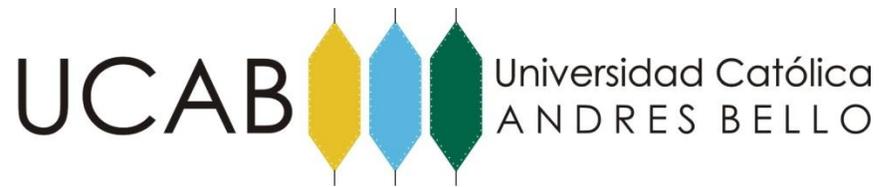
**PROFESOR GUIA**

**Ing. Javier Barrios**

**FECHA**

**Caracas, julio de 2012**





**FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES**

**Diseño de un Sistema de Red Inalámbrico basado en  
WiMAX para su aplicación en las instalaciones de la  
Universidad Católica Andrés Bello**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**Presentado ante la**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO**

**Como parte de los requisitos para optar al título de**

**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

**REALIZADO POR**

**Bernardo A. Infante A.**

**PROFESOR GUIA**

**Ing. Javier Barrios**

**FECHA**

**Caracas, julio de 2012**







# **Diseño de un Sistema de Red Inalámbrico basado en WiMAX para su aplicación en las instalaciones de la Universidad Católica Andrés Bello**

## **RESUMEN**

Bernardo A. Infante A.

Este Trabajo Especial de Grado consiste en el diseño general de un sistema inalámbrico con tecnología WiMAX para las instalaciones de la Universidad Católica Andrés Bello, se llevaron a cabo simulaciones de cobertura y de calidad de servicio, además de estimaciones de lo que se podría lograr con esta red.

Se realizó una evaluación de la cobertura de la red actual para determinar que zonas necesitan nuevos puntos de acceso y de esta manera optimizar el servicio WiFi para los usuarios de la red. Con el uso de simuladores de cobertura se determinó el comportamiento de las ondas de propagación de WiMAX bajo condiciones con y sin línea de vista directa. Haciendo uso de Opnet IT GURU se analizó el comportamiento de los paquetes en una red WiMAX simulando las características de calidad de servicio con las que cuenta esta tecnología.

El resultado final de este Trabajo Especial de Grado contiene el diseño general del sistema inalámbrico con tecnología WiMAX en la UCAB, además de los posibles usos y aplicaciones que se le pueden añadir a la red y una estimación de los costos que puede llevar la ejecución del proyecto.

Palabras claves: WiMAX, Calidad de Servicio, Cobertura, Red Inalámbrica.

## **Dedicatoria**

*A mis padres, por enseñarme a no rendirme ante los obstáculos  
Por los valores que me inculcaron  
Y su apoyo incondicional durante todo este proceso.*

## **Agradecimientos**

A mis Padres, que me apoyaron en todo momento, sin ustedes esto no hubiese sido posible. Su apoyo, ejemplo y Fe en mí, me dieron los incentivos para llegar hasta aquí.

A mis hermanos, que siempre estuvieron presentes y me apoyaron en todo lo que pudieron.

A mis amigos, con los cuáles compartí momentos de la carrera que nunca olvidaré y que sé que siempre contaré con ellos.

A mi tutor, que me apoyó durante la realización de este Trabajo Especial de Grado

A la Universidad Católica Andrés Bello por haberme abierto sus puertas, brindarme una educación de primera y convertirme en un profesional con valores éticos y morales.

A todas esas personas que de alguna u otra forma me apoyaron estos años.

**¡GRACIAS!**

## Índice

### Índice General

Dedicatoria .....	ii
Agradecimientos.....	iii

### **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO .....3**

I.1 Planteamiento del problema .....	3
I.2 Objetivo General .....	5
I.3 Objetivos Específicos.....	5
I.4 Justificación .....	5
I.5 Alcances y Limitaciones .....	7

### **CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL.....8**

II.1 Redes Inalámbricas .....	8
II.2 WiFi .....	11
II.3 WiMAX .....	12
II.3.1 Backhaul .....	13
II.3.2 WiMAX <i>Forum</i> .....	14
II.3.3 WiFi y WiMAX .....	14
II.3.4 Evolución de WiMAX .....	15
II.3.5 Metas y Retos que presenta WiMAX .....	15
II.3.6 El futuro de las telecomunicaciones: WiMAX .....	17
II.3.7 Entendiendo la tecnología WiMAX.....	18
II.3.7.1 Funcionamiento de WiMAX.....	18
II.3.7.2 Estación Base WiMAX.....	19
II.3.7.3 Recibidor WiMAX .....	20
II.3.7.4 Arquitectura Interna .....	20
II.3.7.4.1 Capa Física.....	21
II.3.7.4.2 Capa MAC .....	24
II.3.8 Calidad de servicio (QoS).....	25
II.3.9 Desarrollo de una Red WiMAX .....	27
II.3.9.1 Definición de los parámetros .....	28
II.3.9.2 Estudio del lugar .....	28
II.3.9.3 Estimación de propagación de Radio Enlaces .....	29
II.3.9.3.1 Cálculo del Transmisor .....	30
II.3.9.3.2 Cálculo del Receptor.....	31
II.3.9.3.3 Cálculo de pérdidas en el medio de propagación.....	31
II.4 Antecedentes de Proyectos de Redes WiMAX-WiFi .....	32
II.4.1 WiMAX y Wi-Fi en Mijas.....	32
II.4.2 Red WiMAX-WiFi en Sevilla .....	33
II.4.3 La Universidad de Cádiz.....	34

### **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA Y DESARROLLO.....35**

III.1 Levantamiento de Información para el desarrollo del Proyecto .....	36
III.1.1 Cantidad de usuarios de la red.....	37
III.1.2 Nivel de Potencia de la señal .....	37
III.1.3 Otros factores de importancia para el diseño de la red .....	39

III.2 Diseño y Dimensionado de la Red Inalámbrica .....	41
III.3 Estimación de los parámetros de transmisión y propagación de ondas .....	42
III.3.1 Estimación de parámetros de transmisión .....	42
III.3.2 Estimación de parámetros de propagación .....	43
III.4 Simulación de la Red Inalámbrica Diseñada .....	45
III.4.1 Simulación de la cobertura de la Red .....	45
III.4.1.1 Simulación de la cobertura de la Red WiMAX haciendo uso de Radio Plan .....	45
III.4.1.2 Simulación de la cobertura de la red WiFi haciendo uso de Radio Mobile.....	51
III.4.1.3 Simulación de la cobertura de la red haciendo uso de Radio Mobile .....	52
III.4.2 Simulación de la Calidad de Servicio QoS de la red .....	56

## **CAPÍTULO IV: RESULTADOS..... 66**

IV.1 Parámetros a usar en el diseño de la nueva red .....	67
IV.2 Evaluación Técnica de la Red WiFi de la UCAB .....	68
IV.3 Diseño y Dimensionado de la Red Inalámbrica con tecnología WiMAX.....	71
IV.4 Estimación de los parámetros de transmisión y propagación de ondas .....	74
IV.4.1 Estimación de parámetros de transmisión .....	74
IV.4.2 Estimación de parámetros de propagación .....	75
IV.5 Simulación de la red inalámbrica con tecnología WiMAX.....	77
IV.5.1 Simulación de cobertura WiMAX haciendo uso de Radio Plan .....	77
IV.5.2 Simulación de cobertura WiFi haciendo uso de Radio Plan .....	79
IV.5.3 Simulación de cobertura haciendo uso de Radio Mobile .....	79
IV.5.4 Simulación de Calidad de Servicio haciendo uso de Opnet IT Guru .....	96
IV.6 Costo de la red diseñada.....	99
IV.6.1 Otros costos.....	101
IV.7 Mantenimiento y monitorización de la Red .....	102

## **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 104**

## **CAPÍTULO VI: LISTA DE REFERENCIAS..... 108**

### **Anexos**

Anexo 1. Datasheet PacketMAX 3000.....	111
Anexo 2. Datasheet PacketMAX 320.....	113
Anexo 3. PacketMAX Base Station Specifications.....	115
Anexo 4. PacketMAX - Common Specifications.....	116
Anexo 5. Antena Omnidireccional para la Estación Base WiMAX.....	117
Anexo 6. Cisco Catalyst 2950 series switches .....	118
Anexo 7. Datasheet Router TP-LINK TL-WAS5110G .....	119
Anexo 8. Datasheet Cisco Unified Wireless IP Phone 7925G .....	120
Anexo 9. Datasheet TP-LINK 2.4GHz 8dBi Indoor Omni-directional Antenna .....	122
Anexo 10. Datasheet TP-LINK 2.4GHz 15dBi Outdoor Omni-directional Antenna.....	124

### **Índice de Tablas**

Tabla 1: Evaluación Técnica Red Inalámbrica UCAB.....	68
Tabla 2: Estimación de Pérdidas y Potencia recibida en cada enlace.....	75

Tabla 3: Costos de la Red WiMAX diseñada.....	100
Tabla 4: Otros costos a tomar en cuenta para la ejecución de la Red .....	101
Tabla 5: Costo de los teléfonos IP inalámbricos .....	101

## Índice de Figuras

Figura 1: Esquema Marco Referencial .....	8
Figura 2: Posicionamiento de Estándares Wireless .....	10
Figura 3: Infraestructura de Red WiFi.....	11
Figura 4: Línea de vista directa e indirecta.....	13
Figura 5: Conexión de estación base WiMAX .....	19
Figura 6: Arquitectura interna de WiMAX .....	20
Figura 7: Modulaciones según la distancia en WiMAX.....	23
Figura 8: Velocidades de transmisión según esquema de modulación .....	23
Figura 9: Subcapas de la Capa MAC.....	25
Figura 10: Elementos de un Radio Enlace.....	30
Figura 11: Cantidad de usuarios conectados a la Red en el piso 2 de la Biblioteca de la UCAB .....	38
Figura 12: Niveles de potencia de la señal WiFi en el piso 2 de la Biblioteca de la UCAB .....	38
Figura 13: Plano del Edificio de Laboratorios sin levantamiento 3D.....	46
Figura 14: Plano del Edificio de Laboratorios con levantamiento 3D.....	47
Figura 15: Selección del material para las paredes del Edificio de Laboratorios .....	47
Figura 16: Selección del material para las columnas del Edificio de Laboratorios .....	48
Figura 17: Plano de los Edificios de Laboratorios y Aulas en 3D.....	48
Figura 18: Plano resultante en modo de propagación por el uso de la versión para estudiantes del software .....	49
Figura 19: Posición de la antena de la Estación Base WiMAX.....	49
Figura 20: Configuración del transmisor de la Estación Base WiMAX .....	50
Figura 21: Configuración Transmisor WiFi .....	51
Figura 22: Configuración de la frecuencia y condiciones climáticas de la Red .....	54
Figura 23: Configuración del tipo de Topología de la Red .....	55
Figura 24: Configuración de función y altura de los dispositivos de la Red .....	55
Figura 25: Configuración de la Estación Base WiMAX .....	56
Figura 26: Topología de Red en el Edificio de Laboratorios.....	57
Figura 27: Modelo de Topología de Red usado para analizar el QoS de WiMAX .....	58
Figura 28: Configuración de las aplicaciones HTTP y VoIP .....	59
Figura 29: Configuración de los perfiles HTTP y VoIP .....	60
Figura 30: Definición de perfil HTTP a “LAN 1” .....	60
Figura 31: Definición de perfil VoIP a “usuario VoIP 1” .....	61
Figura 32: Configuración del perfil “Best Effort” .....	62
Figura 33: Configuración del perfil “Interactive Voice” .....	63
Figura 34: Asignación de perfiles de QoS .....	64
Figura 35: Modelo de Topología de Red Con QoS configurado .....	65
Figura 36: Esquema de Resultados.....	66
Figura 37: Diseño de Red Inalámbrica con tecnología WiMAX en el campus de la UCAB .....	72
Figura 38: Constelación 64 QAM en 802.16d.....	74
Figura 39: Vista en 2D de la Cobertura de la Estación Base WiMAX en el Edificio de Laboratorios. 78	
Figura 40: Vista en 3D de la Cobertura de la Estación Base WiMAX en el Edificio de Laboratorios. 78	
Figura 41: Cobertura WiFi en zona piloto del Edificio de Laboratorios .....	79

Figura 42: Enlaces entre la Estación Base WiMAX y los CPE de cada Edificio de la UCAB. ....	80
Figura 43: Enlace de Radio con CPEMOD1 .....	81
Figura 44: Zona de Fresnel con CPEMOD1 .....	82
Figura 45: Enlace de Radio con CPEMOD2.....	83
Figura 46: Zona de Fresnel con CPEMOD2 .....	83
Figura 47: Enlace de Radio con CPEFER.....	84
Figura 48: Zona de Fresnel con CPEFER .....	85
Figura 49: Enlace de Radio con CPECIN .....	86
Figura 50: Zona de Fresnel con CPECIN.....	86
Figura 51: Enlace de Radio con CPEPOS.....	87
Figura 52: Zona de Fresnel con CPEPOS .....	88
Figura 53: Enlace de Radio con CPEBIB2 .....	89
Figura 54: Zona de Fresnel con CPEBIB2.....	89
Figura 55: Enlace de Radio con CPEBIB .....	90
Figura 56: Zona de Fresnel con CPEBIB .....	91
Figura 57: Enlace de Radio con CPELOY .....	92
Figura 58: Zona de Fresnel con CPELOY .....	92
Figura 59: Enlace de Radio con CPECDE .....	93
Figura 60: Zona de Fresnel con CPECDE.....	94
Figura 61: Enlace de Radio con CPELAB .....	95
Figura 62: Zona de Fresnel con CPELAB.....	95
Figura 63: Resultados de simulación de red sin QoS .....	97
Figura 64: Resultados de simulación de red con QoS .....	98
Figura 65: WaveCenter EMS Pro gestionando Red WiMAX .....	102
Figura 66: Funcionamiento de WaveCenter EMS.....	103
Figura 67: Fases para la Implementación del Proyecto .....	107

## Índice de Gráficos

Gráfico 1: Estado de Cobertura en las zonas estudiadas de la UCAB.....	69
Gráfico 2: Cantidad de Usuarios en cada zona estudiada de la UCAB .....	70
Gráfico 3: Nivel de FSL en cada enlace.....	75
Gráfico 4: Niveles de Potencia de Rx en cada CPE .....	76
Gráfico 5: Relación entre FSL y Potencia de Rx .....	77



## **Introducción**

El punto final de este Trabajo Especial de Grado es determinar las principales ventajas que habrían de usar la tecnología WiMAX en la red inalámbrica actual de la UCAB. Para lograr esto, se compararán los parámetros de la red inalámbrica actual que se obtendrán a partir de una evaluación técnica de esta con los parámetros estimados del diseño de Red con tecnología WiMAX que se propondrá.

El diseño de la red incluirá un resumen de costos en caso de implementar la red diseñada, donde se especificarán los costos de cada uno de los terminales y costos de instalación, además de posibles costos adicionales para las posibles nuevas aplicaciones que pueda soportar la red diseñada.

Este Trabajo Especial de Grado está estructurado en 6 capítulos, los cuáles explican de forma sistemática el desarrollo para el óptimo diseño de la red WiMAX para la UCAB.

El capítulo 1, aborda el porqué de este Trabajo Especial de Grado, exponiendo y justificando el problema que dio origen a este planteamiento y donde se dan a conocer el Objetivo General de este Trabajo, así como los objetivos específicos, exponiendo los alcances y limitaciones que se tienen para la realización de este proyecto.

En el capítulo 2, se podrá encontrar el Marco Referencial el cual le dará al lector los conocimientos básicos sobre la tecnología WiMAX para así poder entender la metodología y desarrollo de este Trabajo Especial de Grado.

En el capítulo 3 se explicará la metodología y desarrollo que se seguirá para la obtención de los resultados, dando a conocer los pasos a seguir en cada actividad del proyecto, fundamentándose en los parámetros teóricos y prácticos de los dispositivos y protocolos usados en las redes WiMAX, de igual forma podrá entender los resultados obtenidos en las simulaciones de cobertura y desempeño IP los cuáles se pueden ver en el capítulo 5.

En el capítulo 6, se halla la lista de las referencias bibliográficas y otras fuentes que fueron consultadas para la realización de este Trabajo Especial de Grado.

Es importante destacar que este diseño no tratará sobre realizar un nuevo diseño de red basado en WiMAX, sino en incluir esta tecnología en la red inalámbrica que la UCAB tiene actualmente para así poder determinar las ventajas que habrían de implementar WiMAX o no sobre la red actual.

En los anexos se encuentran las especificaciones técnicas de todos los terminales propuestos para la implementación de la red propuesta, donde se pueden ver sus características de radio, potencia y servicios que ofrecen. Dichas características serán usadas para las simulaciones de cobertura a realizar en este Trabajo Especial de Grado.

# Capítulo I

## Planteamiento del Proyecto

### I.1 Planteamiento del problema

La UCAB tiene una red inalámbrica WiFi la cual brinda una mala experiencia de navegación para los usuarios ya sea para el uso correo electrónico, investigaciones académicas, videos en línea, descarga de archivos y cualquier otro uso que se le pueda dar a Internet.

En base a una evaluación técnica de la red WiFi de la UCAB, se pudo determinar que la baja calidad de esta red tiene dos principales causas, las cuáles son cobertura y desempeño. Hay muchas locaciones de la Universidad que no tienen cobertura suficiente para establecer una conexión entre los dispositivos electrónicos de los usuarios (laptops, tabletas o smartphones) con los puntos de acceso instalados alrededor del campus, lo cual ocasiona que los usuarios se tengan que trasladar a zonas donde si hay buena cobertura WiFi para establecer una conexión congestionando la red en esa locación haciendo que el desempeño de esta sea deficiente.

Un ejemplo de esto son los pisos 1 y 2 de Biblioteca, los cuáles tienen los niveles óptimos para establecer una conexión WiFi entre los usuarios y los puntos de acceso, la comunidad Ucabista se dirige a estas locaciones para hacer uso de la red lo cual hace que se congestione causando que el usuario que a pesar de que tenga una conexión estable no cuente con los recursos para tener una buena experiencia de navegación.

Los usuarios de los lugares más concurridos como Mezzanina del Edificio Cincuentenario, la Biblioteca central y el Auditorio de Ingeniería que necesitan el Internet como parte de su metodología de estudio cuentan con un desempeño pésimo de red, y es lógico ya que según el DTI los routers y switches no tienen configuración

alguna que ayude al desempeño de la red ya sea calidad de servicio (QoS) o configuración de ancho de banda en los switches.

Además del bajo desempeño de la red, esta no se usa para otras aplicaciones que podrían ser de gran utilidad como por ejemplo telefonía IP, cámaras de seguridad, video-conferencias o video-llamadas lo cual es la tendencia a nivel mundial ya que todos los servicios están migrando a IP.

Otro factor importante que hace que la red actual de la UCAB sea poco eficiente es su poca escalabilidad, ya que para la instalación de nuevos puntos de acceso es necesaria la instalación de nuevos puntos de red lo cual conlleva engorrosos cableados que ocasionan altas pérdidas de la señal y afectan la estética del campus de la UCAB, un ejemplo de esto son las tuberías de cableado presentes en todo el Edificio de Laboratorios así como la estructura cableada instalada en la pasarela que comunica a Antimano con la Universidad.

Otro problema que tiene la red, es el bajo nivel de ancho de banda con el que es alimentando. Según el DTI, la UCAB cuenta con una conexión de ancho de banda de 12 Mbps, la cual es muy baja teniendo en cuenta la alta población Ucabista que usa la red que es aproximadamente unos 1300 usuarios (ya sean laptops, tabletas o smartphones) y según las recomendaciones de la IETF (Grupo Especial sobre Ingeniería de Internet), para que un usuario cuente con una buena experiencia de navegación, este necesita al menos 1 Mbps de ancho de banda y si la UCAB cuenta con un ancho de banda de solo 12 Mbps, es imposible brindarle un buen servicio a los usuarios aún así los puntos de accesos estén desplegados de forma eficiente de forma que haya buena cobertura en todo el campus de la UCAB, .

La demanda de datos al igual que las exigencias de los usuarios tiende a un alto crecimiento, lo que está causando que la red sea cada vez menos eficiente. Si no hacen expansiones y mejoras de la red, aplicación de nuevas tecnologías y optimización de los puntos de acceso WiFi, esta red se convertirá en una red obsoleta con poca capacidad y mucha deficiencia en poco tiempo. De no ser tomadas medidas

de optimización, luego se tendrá que hacer una completa sustitución de la red, lo cual será mucho más costoso para la Universidad y será mucho más engorroso.

## **I.2 Objetivo General**

Diseñar una red inalámbrica con tecnología WiMAX en las instalaciones de la Universidad Católica Andrés Bello.

## **I.3 Objetivos Específicos**

1. Realizar el levantamiento de la información necesaria para establecer las características con las que debe contar la red WiMAX en la UCAB.
2. Dimensionar la red inalámbrica con tecnología WiMAX para el campus de la UCAB, indicando especificaciones de los terminales a utilizar.
3. Simular la red inalámbrica WiMAX en una zona piloto para buscar y solucionar posibles problemas de cobertura, además de analizar el manejo del tráfico de red.
4. Estudiar la factibilidad a nivel económico de implementar la red inalámbrica diseñada.

## **I.4 Justificación**

Una solución viable ante el problema planteado y el punto de estudio de este trabajo de investigación, es que WiMAX sea usado para proveer *backhaul* a la red WiFi de la UCAB, para lograr así una red inalámbrica más eficiente y que satisfaga tanto en alcance como en desempeño a la población no solo estudiantil sino también docente, obrera y administrativa de la UCAB, además de determinar que otros usos se le puede dar a la red diseñada con tecnología WiMAX.

WiMAX puede darle más escalabilidad a los puntos de acceso WiFi, WiMAX es una tecnología inalámbrica de banda ancha pensada para sustituir el Ethernet como medio de transmisión. Su frecuencia, potencia de transmisión y métodos de convolución le permiten ser una tecnología inalámbrica con alcances de grandes distancias en condiciones con o sin línea de vista.

El principal impacto que tendría la implementación de WiMAX en la red inalámbrica de la UCAB, es la escalabilidad que le brindaría no solo a los puntos de

acceso WiFi, sino a cualquier otro dispositivo de red necesario en cualquier zona de la universidad ya sean switches, impresoras, cámaras y teléfonos IP y cualquier otro dispositivo que en el futuro sea IP ya que estamos convergiendo a un mundo de datos. Este crecimiento inalámbrico de la red es mucho más eficiente que un crecimiento a nivel de cableado ya que este es mucho más costoso a nivel de instalación y mantenimiento. La frecuencia a la que opera WiMAX permite bajos niveles de pérdidas por propagación en el espacio y factores que por lo general ocasionan pérdidas de potencia como la lluvia, paredes o árboles no afectan la transmisión de ondas de esta tecnología haciéndola entonces de gran utilidad.

WiMAX, mejorará el desempeño de los puntos de acceso gracias a las políticas de QoS que esta tecnología inalámbrica ofrece, con la principal ventaja de que estas políticas de QoS vienen configuradas en los terminales de forma que al momento de la implementación de la red solo se deben instalar los nuevos dispositivos WiMAX sin necesidad de configuraciones previendo así la falta de conocimientos de configuración de estos dispositivos por parte del DTI.

WiMAX tiene una alta capacidad de transmisión, por lo cual puede brindarles a todos los usuarios el ancho de banda necesario para que estos tengan una buena experiencia de navegación siempre y cuando la UCAB tenga o compre un enlace de mayor ancho de banda a un ISP. Si la UCAB no cuenta con un mayor ancho de banda, la implementación de WiMAX no tendría mayor impacto en la experiencia de navegación del usuario, ya que solo se lograría tener mayor cobertura de red, un usuario conectado con potencia óptima a un punto de acceso pero con poca disponibilidad de ancho de banda no podría hacer uso del Internet de forma óptima.

Diariamente a nivel mundial hay nuevos avances en la tecnología, las redes necesitan expansiones y la red WiFi de la UCAB es la misma que fue instalada en 2007, esto es un gran atraso tecnológico el cual está causando que la UCAB no pueda hacer uso de las últimas tendencias tecnológicas y la implementación de una tecnología como WiMAX es el primer paso para tener una red más innovadora y acorde a las tendencias tecnológicas que existen en la actualidad.

Con este Trabajo Especial de Grado, se busca obtener las oportunidades tecnológicas que le puede dar WiMAX a la red inalámbrica de la UCAB, además de la optimización de la misma brindándole más desempeño a los puntos de acceso WiFi.

## **I.5 Alcances y Limitaciones**

### Alcances:

- Este trabajo especial de grado incluye el diseño de una red inalámbrica con tecnología WiMAX pensado para su aplicación en las instalaciones de la UCAB.
- Incluye una simulación donde se puede observar el flujo de tráfico de la red diseñada en una zona piloto.
- Incluye estimaciones de los beneficios que se quieren obtener al aplicar la red inalámbrica diseñada.
- Incluye un estudio de la factibilidad del proyecto a nivel tecnológico y económico.

### Limitaciones:

- Este trabajo especial de grado no incluye la implementación del proyecto en las instalaciones de la UCAB.
- Para la simulación, se eligió una zona piloto de la universidad siendo esta el edificio de Laboratorios.
- En la simulación no se incluye la demostración de las velocidades de transmisión que se pudieran obtener con el diseño de red WiMAX por limitaciones de *software*.

## Capítulo II Marco Referencial

El siguiente esquema resume de forma general el desarrollo de este capítulo



**Figura 1: Esquema Marco Referencial**

Fuente: Propia

### II.1 Redes Inalámbricas

Las redes inalámbricas son conexiones entre nodos a través de ondas electromagnéticas, sin necesidad de conexiones físicas. Una de las principales ventajas de las redes inalámbricas es el costo ya que no hay necesidad de cable

Ethernet y una de sus principales desventajas es que debe tener un sistema de seguridad mucho más exigente para así poder evitar intrusos.

Los posibles tipos de onda en redes inalámbricas según Nuaymi (2007) son:

- **Ondas de radio:** Son omnidireccionales, no necesita de parabólicas y no es sensible a los cambios climáticos como la lluvia. Hay varios tipos de banda, se puede transmitir con una frecuencia de 3 a 30 Hz y un máximo de 300 a 3000 MHz.
- **Microondas terrestres:** Son ondas electromagnéticas que comunican dos antenas parabólicas a grandes distancias. El emisor y el receptor deben estar perfectamente alineados. Su frecuencia es de 1 a 300 GHz.
- **Microondas por satélite:** la información se reenvía de un satélite, es de las ondas más flexibles pero es fácil que sufra interferencias. Su frecuencia es desde 300 MHz hasta 300GHz.
- **Infrarrojos:** deben estar alineados directamente, no atraviesan paredes y tienen una frecuencia de 300 GHz a 384 THz.

Según Nuaymi, existen 4 tipos de redes inalámbricas:

–PAN (*Wireless Personal Area Network*)

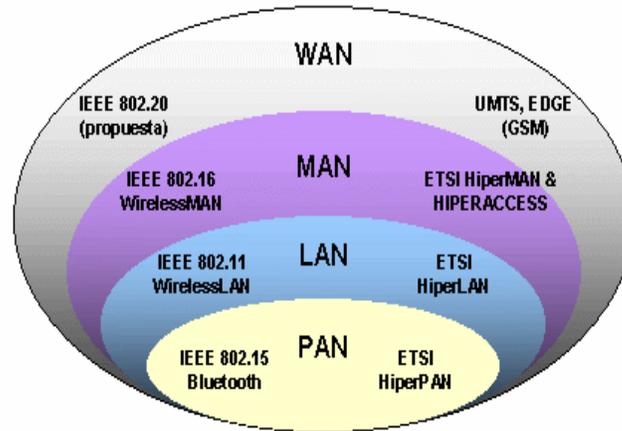
–LAN (*Wireless Local Area Network*)

–MAN (*Wireless Metropolitan Area Network*)

–WAN (*Wireless Wide Area Network*)

En la [figura 2](#) se puede observar un esquema de estos 4 tipos de redes inalámbricas.

## Posicionamiento de Estándares Wireless



**Figura 2: Posicionamiento de Estándares Wireless**  
Fuente: (Eciencia, 2011)

Las redes PAN normalmente cubren distancias menores a los 10 metros y son utilizadas para la conexión entre varios dispositivos portátiles sin necesidad de utilizar cables. Este tipo de redes alcanzan velocidades de hasta 1Mbps y son usadas principalmente para teléfonos celulares ya que estas redes tienen un bajo consumo de energía, un ejemplo del uso de esta red en celulares es el uso de la tecnología Bluetooth.

Las redes LAN normalmente cubren distancias menores a los 100 metros y son utilizadas para redes con relativamente alta capacidad de datos. Este tipo de redes pueden ofrecer velocidades desde 1Mbps hasta 1Gbps y son usadas principalmente en computadoras personales ya que son las que tienen mayor abastecimiento de energía. La tecnología WiFi es la más popular en este tipo de redes.

Las redes MAN pueden cubrir distancias hasta de 50 kilómetros y por lo general son utilizadas para brindar servicio de Internet a zonas sub-urbanas a través del uso de diferentes tecnologías, siendo WiMAX una de ellas. Este tipo de redes en

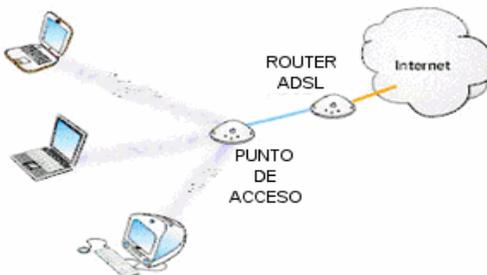
condiciones ideales pueden llegar a alcanzar velocidades de hasta 10 Gbps haciendo uso de Fibra Óptica.

Las redes WAN son las redes utilizadas para la conexión de redes LAN, haciendo uso de tecnologías de red celular de comunicaciones móviles como WiMAX móvil, GPRS, GSM, EDGE, 3G y LTE para la transferencia de datos. Estas redes tienen un alcance hasta de 1000 kilómetros por lo cual son usadas para dar servicio de Internet móvil a las redes LAN aisladas.

## II.2 WiFi

Las redes inalámbricas que utilizan este tipo de tecnología, son usadas generalmente a nivel doméstico y empresarial dado que el alcance de la red es bastante limitado, pero a pesar de esto, es una de las redes inalámbricas más populares ya que es la forma más eficiente y económica para los usuarios de eliminar cables que le permitan conexión a Internet.

El término WiFi proviene de la abreviación de *Wireless Fidelity* (Fidelidad sin cables). WiFi trabaja bajo la norma 802.11 y fue creada para sustituir a las capas físicas y MAC de Ethernet, es decir, WiFi y Ethernet son redes iguales con la única diferencia en la forma de acceso del ordenador a la red, Ethernet mediante cable y WiFi mediante ondas electromagnéticas, esta característica hace que estas redes sean compatibles. (Nuaymi, 2007). En la [Figura 3](#) se puede observar la infraestructura de una red WiFi.



**Figura 3: Infraestructura de Red WiFi**

Fuente: (PDAexpertos, 2011)

## II.3 WiMAX

El término WiMAX proviene de la abreviación *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (Interoperabilidad Mundial para Acceso Microondas). WiMAX es la iniciativa más representativa a nivel mundial de conexiones inalámbricas enfocándose en comunicaciones metropolitanas. El organismo que certifica el cumplimiento de los estándares y la interoperabilidad de los equipos de diferentes fabricantes es el WiMAX fórum; todo aquel equipo que no cuente con esta certificación no puede garantizar su interoperabilidad con otros productos.

El WiMAX *Forum* define perfiles que acotan las diversas opciones que se contemplan en el estándar (modulación, ancho de banda, frecuencia), y complementa este en áreas no cubiertas por IEEE, como sistemas de pruebas y arquitectura de red.

WiMAX es una tecnología para redes inalámbricas basada en el estándar IEEE 802.16, este estándar ha tenido numerosas evoluciones obteniendo estándares para WiMAX fijo (802.16d) y WiMAX móvil (802.16e), cada uno ofreciendo distintas tasas de velocidad y distintos valores de ancho de banda.

Un sistema o red WiMAX debe tener dos partes fundamentales:

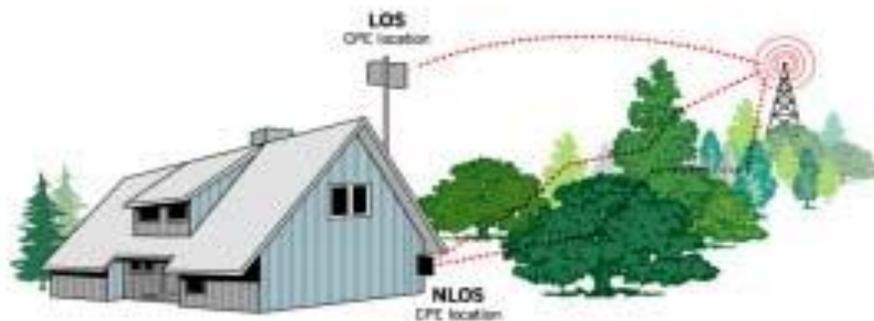
1. La Estación Base WiMAX: parecida al concepto de una base de telefonía móvil, la cual debe tener un transmisor capaz de alcanzar grandes distancias.
2. El receptor WiMAX: estos receptores pueden ser un dispositivo mediano como los CPE o una tarjeta PCMCIA, incluso algunas PC ya tienen estas tarjetas integradas.

Las estaciones base de WiMAX se comunican vía inalámbrica con un gran número de dispositivos o clientes, este tipo de conexiones se conocen como conexiones punto-multipunto. Existen dispositivos que pueden actuar como repetidores de señal, pasando las señales de un dispositivo a otro hasta que se alcance la estación WiMAX destino.

Las redes WiMAX ofrecen dos tipos de conexiones:

1. Sin necesidad de visión directa: conexión donde una pequeña antena del dispositivo conecta a la torre. En este modo WiMAX utiliza su rango más bajo de frecuencias que está entre 2 y 11 GHz, por ser transmisiones de una relativa baja longitud de onda no son susceptibles a intermedios del camino logrando propagarse fácilmente a través de ellos.
2. Con necesidad de visión directa: este tipo de conexiones son más estables y son capaces de enviar mayor cantidad de datos con una baja tasa de error. Este tipo de servicios usan las frecuencias más altas lo que origina que haya menos interferencias y el ancho de banda sea mayor.

En la [Figura 4](#) se puede observar de manera gráfica la diferencia entre un sistema con línea de vista directa y un sistema sin línea de vista directa.



**Figura 4: Línea de vista directa e indirecta**  
Fuente: (*All About Networking*, 2010)

### II.3.1 Backhaul

El *backhaul* o red de retorno es la conexión entre distintos equipos de telecomunicaciones encargados de hacer circular la información; los *backhaul* pueden ser usados para interconectar redes de diferentes tipos de tecnologías, como por

ejemplo una red con tecnología WiMAX y que utilice enlaces WiFi, el cual sería el caso ideal para el diseño de la red de la UCAB, obteniendo así una red híbrida WiFi/WiMAX ya que el diseño de una red que utilice exclusivamente tecnología WiMAX no sería lo más apropiado por el momento, ya que actualmente no hay disponibilidad de dispositivos móviles con compatibilidad WiMAX en el mercado.

Las tecnologías de *backhaul*, son el refugio del Internet a nivel mundial, su efectividad va a depender de los requerimientos de banda ancha y la capacidad de red disponible.

### **II.3.2 WiMAX Forum**

El WiMAX *Forum* es una organización sin fines de lucro que certifica y promueve la compatibilidad e interoperabilidad de productos *wireless* basados en el estándar 802.16. Su principal meta es acelerar el proceso de adopción, despliegue y expansión de la tecnología WiMAX alrededor de todo el mundo. El WiMAX *Forum* trabaja en conjunto con los proveedores de servicio y reguladores de estos para así asegurar que los sistemas o dispositivos que cuenten con el certificado, conozcan los requerimientos de los clientes y del gobierno. (WiMAX *Forum*, 2011)

### **II.3.3 WiFi y WiMAX**

WiMAX puede usarse para mejorar en forma significativa el rendimiento de los puntos de acceso de redes inalámbricas WiFi, aumentando el rendimiento de la red de *backhaul* y haciendo más fácil y económico su despliegue. Frecuentemente estas dos tecnologías son comparadas alegando que WiMAX seguirá el camino de WiFi, ya que WiFi tardó años en lograr su popularidad. Recientemente, WiMAX ha llamado la atención, pero no es un fenómeno universal y su éxito ni se asemeja al éxito de WiFi, añadiendo el hecho de que los dispositivos finales con tecnología WiMAX no son ni serán una prioridad para los fabricantes.

Los defensores de WiMAX aseguran que en el largo plazo, los usuarios migraran su tecnología inalámbrica de WiFi a WiMAX, aunque WiFi continuará evolucionando para tornarse más eficaz, y cuando se complete 802.11n, WiFi brindará velocidades de datos más altas y también mayores rangos.

### **II.3.4 Evolución de WiMAX**

La primera extensión de WiMAX, también conocida como 802.16a, ratificada en Marzo de 2003 no requiere transmisión con línea de vista y permite el uso de frecuencias bajas (2 a 11 GHz) la cuales son frecuencias que no están reguladas, presenta una tasa de transmisión de 70 Mbps la cual puede soportar cientos de usuarios. Las siguientes extensiones del estándar 802.16 (Pareek, 2007) fueron:

- 802.16b: extensión que mejoró la calidad de servicio, haciendo que WiMAX fuera un sistema más robusto y estable.
- 802.16c: extensión que añadió el poder tener interoperabilidad con otros protocolos.
- 802.16d: extensión que añadió el estándar para el desarrollo de puntos de acceso.
- 802.16e: extensión que añadió el soporte para movilidad de usuarios.

### **II.3.5 Metas y Retos que presenta WiMAX**

La principal meta de WiMAX, aunque se podría decir que también es la meta de la industria de las Telecomunicaciones es mantener a los usuarios “siempre lo mejor conectados”. Este escenario comprende que los usuarios pueden combinar y mezclar tecnologías con diferentes estándares y protocolos, de forma que estén conectados en cualquier lugar y en cualquier momento.

Los sistemas *wireless* pueden alcanzar “siempre lo mejor conectados” siguiendo los pasos a continuación:

- Todos los tipos de redes *wireless* deben ser distribuidas a nivel mundial.
- Los *hot spots* (término que se usa para identificar una zona WiFi) deben ser todos los lugares públicos, todas las industrias, oficinas, hogares e institutos educativos, toda área debe ser un *hot spot*.
- Uso de tecnologías de largo alcance para proveer conexión entre *hot spots* que estén a larga distancia.

Según (Pareek, 2007), la conexión a Internet de todos los dispositivos en cualquier lugar es la razón principal de los retos que WiMAX tiene que enfrentar, como lo son:

- Integración y coordinación múltiple de radio, punto de partida para la construcción de dispositivos WiMAX.
- *Networking* inteligente, de forma que los usuarios puedan hacer *roam* dentro y entre redes de distintos protocolos.
- Administración de energía; los dispositivos que usen tecnología WiMAX tendrán un alto consumo de energía, por lo cual el ahorro de energía es uno de los retos más grandes que presenta WiMAX.
- Soporte para identificación y autenticación de confianza de forma eficiente, ya que estos dos factores son claves en la conectividad entre redes.
- Uso de una plataforma computarizada, poderosa y flexible de forma que sea un comunicador universal con un propósito principal de procesamiento de información.
- El uso general y la adaptación de esta tecnología a dispositivos móviles debe ser sencilla para así garantizar su uso.

### II.3.6 El futuro de las telecomunicaciones: WiMAX

Con el uso de WiMAX se logrará que los servicios de Internet inalámbrico con altas tasas de transmisión sean una realidad, además de dejar el campo abierto para otras aplicaciones de voz o de video. Gracias a esta tecnología, se podrán ofrecer servicios de banda ancha *wireless* con tasas de transmisión de múltiples Mbps a todos los usuarios que estén dentro del alcance de la red WiMAX.

WiMAX podrá expandir su uso gracias a la posibilidad de operar bajo frecuencias sin licencia aunque también puede operar bajo frecuencias con licencia, además de que tiene un gran desempeño en comunicaciones sin necesidad de línea de vista y ofrece un mayor QoS (abreviación de *Quality of service*, inglés para calidad de servicio) que otras tecnologías.

El WiMAX *Forum*, respaldado por líderes de la industria de las Telecomunicaciones como lo son Intel y Nokia, fomentará una amplia adopción de acceso a banda ancha *wireless* con el uso de WiMAX, a través del establecimiento de una marca para la tecnología e impulsar la interoperabilidad entre los productos.

Con el uso de tecnología WiMAX se pueden hallar soluciones para:

- Extender el alcance muy limitado de los *hot spots* públicos, y crear zonas más grandes con acceso a banda ancha *wireless*. Estas zonas son llamadas *hot zones*.
- Ofrecer mejoras en el acceso a banda ancha en áreas urbanas y suburbanas que hagan uso de cobre como medio de conexión, ya que a grandes distancias, las conexiones a través de cobre tienen mucha pérdida de potencia y las tasas de transmisión son muy bajas.

Con los dispositivos compatibles con WiMAX, se provee la mayor tasa de velocidad en redes inalámbricas antes vista, extendiendo el alcance de las redes inalámbricas actuales. Se obtiene una integración con otras redes de forma que los

usuarios a pesar de su movilidad siempre estén conectados y así poder disfrutar de la experiencia “siempre lo mejor conectados”. (Pareek, 2006)

### **II.3.7 Entendiendo la tecnología WiMAX**

WiMAX es el futuro para un mundo *wireless* y con banda ancha, extendiendo estos servicios a nuevos lugares remotos. Esta tecnología ofrece mayores rangos y mayor ancho de banda que cualquier otra tecnología *wireless* fija. Esta tecnología ofrece una velocidad teórica de 70 Mbps y un alcance radial de 50 Km.

Según (Pareek, 2006) el concepto general del uso WiMAX en redes inalámbricas, se basa en un *backbone* (término que se usa para describir las principales conexiones troncales de Internet) de estaciones conectadas a la red pública, donde cada una de estas estaciones pueda soportar cientos de suscriptores los cuales pueden ser *hot spots* públicos o privados de WiFi.

#### **II.3.7.1 Funcionamiento de WiMAX**

El funcionamiento de un sistema WiMAX, se basa en conectar una estación base WiMAX a una red pública, a través de fibra óptica, cable de cobre, enlaces microondas o cualquier otro tipo de conectividad punto a punto de alta velocidad y los clientes o los suscriptores a quienes se espera llegar con esta red podrán conectarse directamente a la estación base o a los *access point* WiFi que estén conectados a ella.

La estación base de WiMAX puede servir a sus suscriptores con o sin línea de vista, usando un tipo de conexión llamado punto-multipunto. El uso ideal de WiMAX supone el uso de una conexión sin línea de vista para la conexión de los suscriptores con la estación base.

La arquitectura usada en WiMAX está constituida por 2 bloques principales, la estación base y el receptor WiMAX utilizado por los usuarios, el cual es comúnmente denominado CPE (abreviación de *Customer Premise Equipment*, inglés

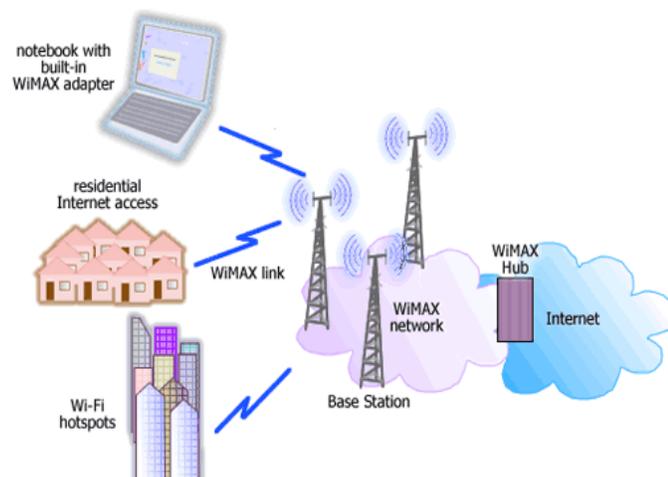
para Equipo instalado del cliente). Se consideran sólo estos bloques ya que los estándares 802.16 no especifican alguna tecnología en especial para la conexión con el núcleo de la red. (Pareek, 2007)

En la [figura 5](#) se puede observar el esquema de conexión de una Estación Base WiMAX

### II.3.7.2 Estación Base WiMAX

Consiste en un equipo electrónico con un potente transmisor, en las pruebas de campo que se han hecho de estas estaciones se han obtenido alcances radiales de hasta 9,5 Km (a pesar de que teóricamente tiene un alcance radial de 50 Km). Estas usan el acceso a los medios de control de la capa definida en el estándar para así poder asignar a los suscriptores el ancho de banda de subida y de bajada de acuerdo a sus necesidades.

Estos equipos son ubicados por lo general en casetas con los resguardos que necesitan la mayoría de los equipos de telecomunicaciones. Las antenas WiMAX pueden ser omnidireccionales o direccionales.



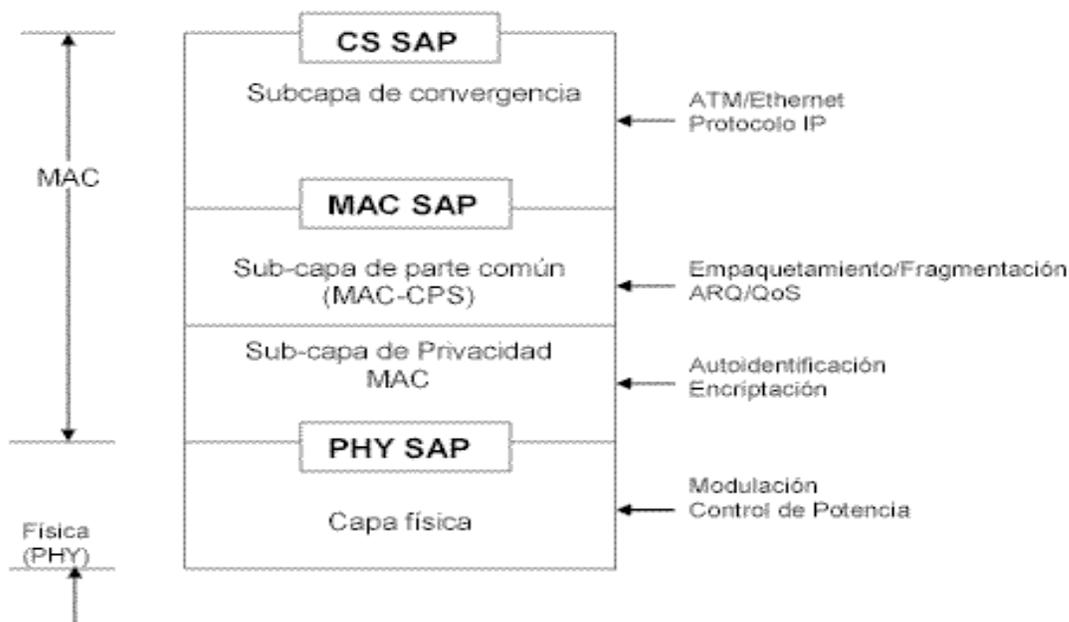
**Figura 5: Conexión de estación base WiMAX**  
Fuente: (WiFi Notes, 2011)

### II.3.7.3 Recibidor WiMAX

Un receptor WiMAX está conformado por dos módulos, uno para la antena y otro para los componentes electrónicos que se encargan de procesar la señal, a veces estos módulos están integrados en uno solo. Estos receptores tienen conexión inalámbrica con la estación base y estos luego pueden ser conectados a *access points*, *switches* o cualquier otro dispositivo que pueda brindar o necesite conexión a Internet.

### II.3.7.4 Arquitectura Interna

Para entender el funcionamiento de la arquitectura interna de WiMAX se deben estudiar dos factores, la capa física y la capa MAC del estándar 802.16 de la IEEE. La [figura 6](#) representa un esquema del funcionamiento de estas capas



**Figura 6: Arquitectura interna de WiMAX**  
Fuente: (Organización de los Estados Americanos, 2006)

#### II.3.7.4.1 Capa Física

El estándar 802.16 fue desarrollado para trabajar en dos diferentes rangos de frecuencias, el primer rango incluye las bandas que requieren de licencia, que son entre 10 y 66 GHz y el segundo rango que son las bandas que pueden no requerir licencia que son entre 2 y 11 GHz.

La primera interfaz establecida es *WirelessMAN-SC*, con esta interfaz se pretende hacer un uso flexible del espectro soportando dos tipos de Multiplexación: Multiplexación por División de Tiempo y Multiplexación por División de Frecuencia. Soporta perfiles adaptativos, en los que los parámetros de transmisión incluyendo modulación y esquemas de codificación se pueden ajustar para cada trama. Esta interfaz necesita línea de vista directa.

En esta interfaz el método de acceso utilizado es una combinación de TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo) y DAMA (Acceso Múltiple Asignado por la Demanda). El enlace de subida se divide en una serie de ranuras en el tiempo, el número de ranuras asignadas para el registro, contienda o tráfico de usuario es controlado por la capa MAC de la estación base y puede variar en el tiempo para optimizar su rendimiento. El enlace de bajada utiliza Multiplexación por división de tiempo. Ante la necesidad de operar sin necesidad de línea de vista, se desarrollaron las interfaces aéreas en el rango de 2 a 11 GHz lo cual permite llegar a usuarios a nivel local.

Las interfaces aéreas especificadas sin necesidad de línea de vista son:

- *WirelessMAN-SCa*
- *WirelessMAN-OFDM*
- *WirelessMAN-OFDMA*
- *WirelessHUMAN*

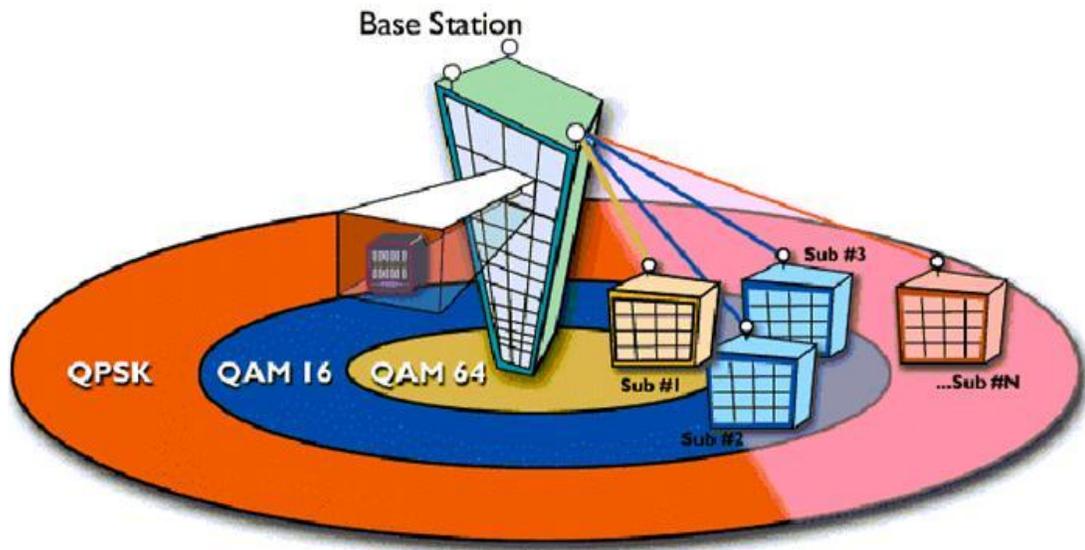
La interfaz *WirelessMAN-SCa*: es una versión que no requiere línea de vista de la *WirelessMAN-SC*, esta interfaz debe soportar DDT (Duplexación por División de Tiempo) o DDF (Duplexación por División de Frecuencia) y hace uso de TDMA en los enlaces de subida y de bajada.

La interfaz *WirelessMAN-OFDM*, como lo dice su nombre, usa como método de multiplexación OFDM (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales) con 256 puntos, como método de acceso hace uso de TDMA y para las bandas no licenciadas es la interfaz obligatoria de uso. Se utiliza principalmente en el despliegue de accesos fijos, donde los clientes estén desplegados en áreas locales como hogares y empresas. Esta interfaz soporta subcanalización hasta de 16 subcanales en el enlace ascendente, tiene la capacidad de realizar transmisiones DDT y DDF soportando modulaciones desde BPSK hasta 64QAM.

La interfaz *WirelessMAN-OFDMA*, como lo dice su nombre, usa como método de Multiplexación OFDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonales) con 2048 puntos, con esta interfaz se asignan grupos de subportadoras a cada cliente y por requerimientos de propagación puede soportar SAA (Sistema de Antenas Adaptivas) y además de las características de la interfaz anterior tiene la capacidad de utilizar sistemas MIMO (*Multiple Input Multiple Output*).

La interfaz *WirelessHUMAN*, está centrada en el uso de bandas de frecuencias entre los 5 y 6 GHz, se creó ante la necesidad de reglamentar el uso de esta banda y poder hacerla compatible con el estándar 802.11a de la IEEE. Las características son básicamente las mismas a las mencionadas en las interfaces anteriores, salvo que sólo soporta transmisiones DDT.

En la [figura 7](#), se puede observar las diferentes velocidades de transmisión que se pueden obtener dependiendo del método de modulación usado.



**Figura 7: Modulaciones según la distancia en WiMAX**  
Fuente: (Quobis, 2012)



**Figura 8: Velocidades de transmisión según esquema de modulación**  
Fuente: (Quobis, 2012)

#### II.3.7.4.2 Capa MAC

La capa MAC provee la función de interfaz de medio independiente para la capa Física, ya que la capa Física de WiMAX es inalámbrica, esta capa administra los recursos de la interfaz aérea lo más eficientemente posible.

Este protocolo fue diseñado para soportar aplicaciones punto-multipunto de banda ancha, tanto en los enlaces ascendentes como en los descendentes, además soporta distintos servicios que requieren un elevado ancho de banda como lo son VoIP o transmisión de datos sobre IP, a los cuales se les exigen altos niveles de QoS.

En esta capa se encuentran los protocolos que soportan las diversas tecnologías para el *backhaul* que conectará a la estación base con el núcleo de la red incluyendo ATM y otros protocolos basados en el concepto de paquetes.

Otro de los factores que se maneja en la capa MAC es la seguridad, factor muy importante en las redes inalámbricas donde el medio de propagación no se puede controlar y puede ser intervenido fácilmente, la seguridad es manejada en una subcapa para autenticación tanto para el acceso a la red como para el establecimiento de conexión, también en esta subcapa se encuentra la encriptación de datos (ToIP Universidad de Chile, 2011).

La capa MAC presenta tres subcapas, cada una con una función específica. Estas tres subcapas se pueden observar en la [figura 9](#).

- SSCS abreviatura de *Service-Specific Convergence Sublayer* (Subcapa de Convergencia Servicio-Específico) proporciona una interfaz con la capa superior de las entidades a través de un punto de acceso de servicio de convergencia.
- CPS abreviatura de *Common Part Sublayer* (Subcapa de partes comunes) proporciona las funciones de la capa MAC como la programación para establecer el enlace, pedido y concedido del ancho de banda y control de

conexión.

- PS abreviatura de *Privacy Sublayer* (Subcapa de seguridad) proporciona funciones de autenticación y encriptación de información. (Pareek, 2006)



**Figura 9: Subcapas de la Capa MAC**  
Fuente: (WiMAX, 2009)

### II.3.8 Calidad de servicio (QoS)

La calidad de servicio (QoS, *Quality of Service*) es la capacidad que tiene un sistema de comunicaciones de asegurar que se cumplen los requisitos de tráfico para un flujo de información.

La RFC 2475 (*An Architecture for Differentiated Services*) establece algunas características significativas, cualitativas o estadísticas, que se deben tener en cuenta en la transmisión de un paquete en una dirección a través de una o más rutas en una red: caudal (*throughput*), demora (*delay*) y variación de demora (*jitter*).

Internet ofrece un único nivel de servicio, *Best Effort*, donde no existe una pre-asignación de recursos, ni plazos conocidos, ni garantía de recepción correcta de

la información. Solamente se ofrece el mejor nivel de servicio posible disponible en ese momento.

La QoS tiene como objeto solventar los problemas que han ido surgiendo en Internet y en las redes IP en general ante las nuevas aplicaciones y acceso masivo de usuarios. La demanda de servicios garantizados, y el despliegue de aplicaciones multimedia y servicios síncronos como voz y video en tiempo real, han generado la necesidad de definir y establecer calidad de servicio en las redes para el buen funcionamiento de estas aplicaciones.

Según (Pareek, 2007), un CPE hace una petición de QoS a las estaciones base. Dicha petición se basa en la aplicación deseada y puede darse más de una a la vez. Según los recursos y los tipos de servicio disponibles, se decidirá el tipo de QoS a otorgar. La QoS es manejada por la capa MAC, con funciones que se encargan de pre configurar los parámetros de tráfico de la Estación base con una QoS específica. WiMAX ofrece 5 tipos de QoS, cada uno de ellos diseñado para aplicaciones específicas:

1. Unsolicited Grant Service (UGS):

Diseñado para soportar aplicaciones en tiempo real que generan paquetes de tamaño fijo periódicamente y con requerimientos estrictos de retardo, reservando un ancho de banda fijo. Ejemplo: VoIP sin supresión de silencios.

2. Real Time Packet Service (rtPS)

Diseñado para soportar aplicaciones en tiempo real que envían paquetes de tamaño variable periódicamente con requisitos más estrictos de retardo. Ejemplo: reproducción de videos en línea (*Streaming Videos*).

3. Extended Real Time Packet Service (ErtPS)

Se especifica en 808.16e y se utiliza en servicios de VoIP con supresión de silencio. Especifica tasas mínimas y máximas, *jitter* y retardos.

4. *Non Real Time Packet Service (nrtPS)*

Diseñado para aplicaciones que no especifican tiempos de retardo. Las conexiones nrtPS reservan un mínimo de ancho de banda para poder mejorar el desempeño de ancho de banda en aplicaciones que así lo requieren. Ejemplo: FTP.

5. *Best Effort (BE)*:

Similar a un nrtPS pero no reserva un mínimo de ancho de banda. Ejemplos: transferencia de datos y navegación.

La VoIP ha migrado el tráfico de voz que tradicionalmente utilizaba como soporte una red de conmutación de circuitos (RTPC), a una red de conmutación de paquetes. Esto implica que la información de voz es fragmentada creando un flujo de paquetes independientes que viajan por diferentes caminos de la red, llegando al destino de forma desordenada y con diferentes retardos acumulados. Debido a esto, en la integración de la voz y los datos sobre una estructura única de conmutación de paquetes, existen algunas limitaciones que deben ser consideradas en el diseño e implantación de una solución de este tipo:

- El ancho de banda necesario para la transmisión de las comunicaciones de voz.
- El retardo con el que llegan los paquetes.
- La variación del retardo en la transmisión (*jitter*).
- Las pérdidas de paquetes.

### **II.3.9 Desarrollo de una Red WiMAX**

Según (Nuaymi, 2007), para realizar un proyecto WiMAX son necesarias las siguientes fases:

- Definición de lo requerimientos.
- Estudio del lugar.
- Estimación de propagación de Radio Enlaces
- Despliegue lógico y físico.

### **II.3.9.1 Definición de los parámetros**

La clave para lograr un desarrollo óptimo de una red WiMAX es que los parámetros necesarios para esta, sean los mismos parámetros que ofrezca la estación base. Los datos de densidad son una excelente métrica para combinar la capacidad de la estación base con los requerimientos que se necesiten.

Los datos de densidad pueden ser calculados fácilmente tomando en cuenta los pasos a continuación:

1. Segmento de Mercado Objetivo
2. Demografía de la zona
3. Servicios a ser ofrecidos
4. Número de clientes esperados

### **II.3.9.2 Estudio del lugar**

Una vez adquiridos los datos de densidad para la zona, se debe entender el terreno sobre el cual la red será diseñada y así poder planificar el mejor diseño posible. El estudio del lugar, sirve para identificar los puntos donde las estaciones base pueden ser instaladas y que pueda proveer los datos de densidad requeridos de la forma más eficiente. Con el estudio del lugar se pueden determinar factores como el tipo de estación base a utilizar y las opciones de modulación que pueden ser empleadas (dependiendo del área de cobertura). Finalmente, basándose en estos

factores, los posibles perfiles del sistema están finalizados.

La decisión para seleccionar cualquier perfil del sistema, depende de factores como el costo, mantenimiento, regulaciones del gobierno y cualquier otro factor que se considere relevante.

### **II.3.9.3 Estimación de propagación de Radio Enlaces**

Los elementos para el cálculo de un Radio Enlace pueden dividirse en 3 partes principales:

1. El lado del transmisor con la potencia de transmisión efectiva.
2. La parte de la propagación con las pérdidas por propagación.
3. El lado del receptor con la sensibilidad del receptor efectiva.

El cálculo de un Radio Enlace se basa en la sumatoria de todas las contribuciones (en decibelios) a través de las tres partes principales del camino de transmisión. Todos los valores positivos son ganancia y todos los negativos son pérdidas. En la ecuación 1, se observa el balance de potencias.

$$\text{Ecuación 1: } \text{Potencia de Rx} = \text{Potencia de Tx} - \text{Pérdidas} + \text{Ganancia} \geq \text{Sensibilidad Rx}$$

Fuente: (Korowajczuk, 2011)

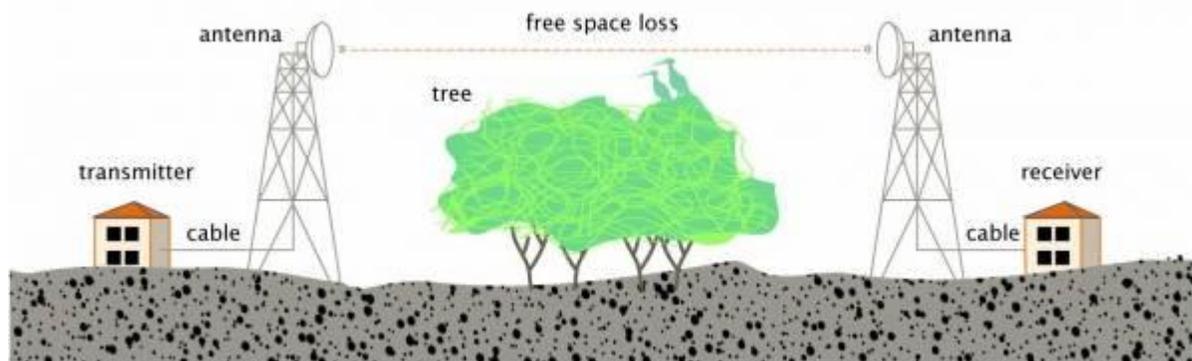
Donde

$$\text{Ecuación 2: } \text{Pérdidas} = \text{Pérdida en cable} + \text{Pérdida por el recorrido en el aire}$$

Fuente: (Korowajczuk, 2011)

$$\text{Ecuación 3: } \text{Ganancias} = \text{Ganancia del transmisor} + \text{Ganancia del receptor}$$

Fuente: (Korowajczuk, 2011)



**Figura 10: Elementos de un Radio Enlace**  
Fuente (Montevideolibre, 2011)

### II.3.9.3.1 Cálculo del Transmisor

- *Potencia de transmisión (Tx).*

La potencia de transmisión es la potencia de salida de la tarjeta de radio, está acotado por las regulaciones impuestas en cada país/región y momento. La potencia de transmisión se encuentra en las especificaciones técnicas de los productos de cada fabricante. (Montevideolibre, 2011)

- *Pérdida del cable.*

Las pérdidas de la señal de radio ocurrirán en los cables que conectan el transmisor y el receptor a las antenas. Las pérdidas dependen del tipo de cable y la frecuencia de operación y se miden normalmente en dB/m. Por lo general, el cable siempre causará pérdidas. Las pérdidas típicas de los cables varían entre 0,1 dB/m y 1 dB/m. Las pérdidas en cables dependen significativamente de la frecuencia. (Montevideolibre, 2011)

- *Pérdida en conectores.*

Por lo menos un cuarto de decibelio de pérdida en el cableado por cada conector. Si se usan cables largos, las pérdidas de los conectores se incluyen

normalmente en la parte de la ecuación de las “pérdidas del cable”. Pero para más seguridad es recomendable asumir siempre como regla general un promedio de 0.3 dB de pérdida por conector. (Montevideolibre, 2011)

### **II.3.9.3.2 Cálculo del Receptor**

#### *- Ganancia de la antena en el receptor*

Las ganancias típicas de las antenas varían entre 2 – 5 dB<sub>i</sub>, hasta 25 – 30 dB<sub>i</sub>. La ganancia de la antena puede verse afectada diferentes razones, principalmente relacionadas a instalaciones incorrectas (pérdidas por el ángulo, pérdidas por la polarización). Esto significa que solamente se podrá obtener la ganancia completa de la antena si esta está instalada óptimamente. (Montevideolibre, 2011)

#### *- Sensibilidad del receptor*

La sensibilidad del receptor es un parámetro que merece especial atención dado que indica el valor mínimo de potencia que es necesario para que sea posible decodificar/extraer los “bits lógicos” de la señal de radio, y mantener una cierta tasa de transferencia. Cuanto menor sea la sensibilidad, mejor es el receptor de radio. (Montevideolibre, 2011)

### **II.3.9.3.3 Cálculo de pérdidas en el medio de propagación**

Las pérdidas de propagación están relacionadas a toda atenuación de la señal que ocurre desde que ésta deja la antena de transmisión hasta que alcanza la antena del receptor. (Montevideolibre, 2011)

#### *- Pérdida en el espacio libre*

La mayoría de la potencia de una señal de radio se perderá en el aire. Aún en el vacío perfecto, las ondas de radio perderán algo de su energía (por el principio de Huygens) debido a que parte de la energía se irradia siempre en direcciones distintas a la del eje del enlace. Observe que esto no está relacionado con el aire, la niebla, la

lluvia o cualquier otro factor que agregue pérdidas adicionales. (Montevideolibre, 2011)

La pérdida en el espacio libre (FSL por sus siglas en inglés) mide la pérdida de potencia en el espacio libre sin considerar cualquier tipo de obstáculos. La señal de radio se debilita en el espacio libre debido a la expansión en una superficie esférica. La FSL es proporcional al cuadrado de la distancia y también proporcional al cuadrado de la frecuencia de radio. En decibelios, esto resulta en la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 4: } FSL(dB) = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + 92,45$$

Fuente: (Montevideolibre, 2011)

d = distancia en Km

f = frecuencia en GHz

## II.4 Antecedentes de Proyectos de Redes WiMAX-WiFi

### II.4.1 WiMAX y Wi-Fi en Mijas

En 2005, el Ayuntamiento de Mijas (Municipio Andaluz de la provincia de Málaga, España) dotó acceso de banda ancha a Internet *wireless* a tres zonas rurales y logró unir a 22 dependencias municipales con una alta capacidad de transmisión de datos. Fue la primera iniciativa de este tipo que se puso en marcha en Andalucía. En el proyecto de las redes WIMAX se desplegó una red troncal compuesta por 8 estaciones base y una red de acceso municipal con 2 estaciones bases adicionales, así como 22 puntos de conexión inalámbrica en las distintas dependencias municipales.

Para el proyecto de las redes WiFi se desplegaron 3 redes independientes en Valtocado, Entrerriós y Osunillas con capacidad para unos 60 usuarios por estación, que brindan cobertura en un radio aproximado de 2,5 kilómetros. En función de la demanda, la red de acceso a Internet sin cables se fue extendiendo progresivamente a nuevas zonas rurales del municipio. También la red WIMAX municipal creció hasta

cubrir todo el territorio.

El despliegue de las redes se realizó cumpliendo todas las garantías legales y medioambientales impuestas por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio y la Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones, partiendo de proyectos técnicos visados por el Colegio de Ingenieros de Telecomunicaciones.

*Extraído de BandaAncha.EU (2011)*

#### **II.4.2 Red WiMAX-WiFi en Sevilla**

El alcalde de Sevilla, Alfredo Sánchez Monteseirín, junto al delegado de Innovación Tecnológica, Juan Antonio Martínez Troncoso, presentó el 22 de marzo de 2011 la implantación de la red municipal “WiMAX-WiFi” que permitirá el acceso inalámbrico a Internet en los edificios públicos adscritos a la administración local y facilitará las comunicaciones entre los funcionarios y trabajadores de las empresas municipales, así como el control remoto de todos los dispositivos que lo permitan, como semáforos, cámaras o alumbrado público.

Esta red permitirá que “Sevilla se convierta en una ciudad tecnológicamente avanzada” y la primera entre las grandes ciudades que contará con una red propia de este tipo. Los ciudadanos podrán realizar cualquier gestión vía telemática conectándose a esta red en los edificios públicos, tanto en dependencias municipales como en centros cívicos, sedes de distrito y bibliotecas, entre otros. También podrán acceder a Internet con una velocidad limitada a 256 Kbps.

En el mes de junio ya estaban instalados 50 puntos de acceso de los 105 puntos previstos. Para la interconexión de los edificios municipales, la red troncal permitirá comunicar 15 edificios a una velocidad de 300 Mbps. En cuanto a la red de dependencias municipales, están previstos 40 puntos de interconexión, con velocidades de 100 Mbps.

*Extraído de RedPeriodistas.es (2011)*

### II.4.3 La Universidad de Cádiz

Esta universidad es pionera en el uso de WiMAX a nivel universitario, instalando una red que permite la conexión *wireless* a toda la Universidad. Esta tecnología, de última generación permite llevar la red de datos de la Universidad de Cádiz a todos los usuarios y miembros de la comunidad universitaria que se encuentren situados en un perímetro de varios kilómetros de las antenas.

Para utilizar la nueva red inalámbrica externa se colocaron a disposición de los usuarios dos tipos de receptores. En primer lugar, un receptor de altas prestaciones, pensado para la organización de eventos universitarios en recintos ajenos a la UCA, que convierte la señal WiMAX en una red WiFi convencional de 54 Megas multiusuario. El otro tipo de dispositivo se destina al uso individual de los posibles usuarios y permitirá llevar la red, en cualquier punto de cobertura, con un ancho de banda de 6 megas.

El uso de esta tecnología se incorporará al servicio ya existente de préstamo de ordenador portátil para los alumnos de la UCA. Desde ese momento, será posible acceder sin cables a los servicios de red de la UCA (web, correo electrónico, biblioteca, campus virtual, etc.) desde sus domicilios, sin coste alguno, siempre y cuando el usuario se encuentre dentro de la zona de cobertura.

*Extraído de Universia (2011)*

## Capítulo III

### Metodología y Desarrollo

A continuación se presenta una descripción de cada una de las fases del proyecto, definiéndolas de la siguiente forma:

- Fase 1: Investigación y análisis sobre la tecnología WiMAX, proyectos WiMAX implantados, antecedentes de Redes Inalámbricas WiMAX y otros temas de importancia para el desarrollo del trabajo.
- Fase 2: Realizar una evaluación técnica de la Red Inalámbrica con la que actualmente cuenta la UCAB y determinar los factores que hacen que esta red no sea eficiente y que deben ser tomados en cuenta en el nuevo diseño.
- Fase 3: Establecer el diseño lógico y dimensionado de la Red.
- Fase 4: Realizar una estimación de los parámetros de propagación de la Red Inalámbrica diseñada para las instalaciones de la UCAB.
- Fase 5: Realizar una simulación de la Red Inalámbrica diseñada, realizando una estimación de los nuevos parámetros y poder determinar si la red diseñada ofrece un mejor servicio.
- Fase 6: Determinar los beneficios que proporciona la Red Inalámbrica diseñada a la UCAB.

Las investigaciones realizadas en la fase I se realizaron a través de libros de texto, libros en formato digital, revistas, artículos electrónicos, entre otros. En esta fase se adquirieron los conocimientos necesarios para el desarrollo de una red inalámbrica con tecnología WiMAX, principalmente su capacidad de cobertura, ancho de banda y capacidad de transmisión. En esta fase se lograron determinar algunas las características técnicas de la red inalámbrica que se desea diseñar para la UCAB, principalmente que estándar de WiMAX es más viable aplicar, el cual es 802.16d también llamado WiMAX fijo.

### III.1 Levantamiento de Información para el desarrollo del Proyecto

Para la realización de esta actividad se usaron las fases I y II del proyecto, la fase I para determinar los parámetros teóricos de la red que se desea diseñar y la fase II para conocer los parámetros que debe soportar dicha red.

Teniendo en cuenta que este proyecto fue realizado con la finalidad de mejorar la red actual con la que cuenta la UCAB, se estudiaron los parámetros de la red que hacen que esta no sea eficiente para la población Ucabista. Se determinó cual el nivel de potencia recibido y el promedio de la cantidad de usuarios en las zonas con mayor densidad estudiantil de la UCAB. Para poder determinar estos parámetros se han utilizado distintos medios y/o *softwares*, disponibles en Internet.

Se recorrió todo el campus de la Universidad, y se analizaron estos parámetros en diferentes lugares, en especial donde la comunidad Ucabista puede hacer uso del servicio de Internet inalámbrico. Los lugares estudiados han sido:

- Edificio Cincuentenario
- Planta Baja
- Mezzanina
- Pisos 1, 2, 3, 4 y 5
- Edificio de Postgrado
  - Planta Baja
  - Pisos 1 y 2
- Edificio de Módulos
  - Módulos 1, 2, 3, 4, 5 y 6 (Planta Baja y Piso 3)
- Biblioteca
  - Planta Baja
  - Pisos 1, 2 y 3
- Edificio de Laboratorios
  - Planta Baja (Este y Oeste)

- Pisos 1 y 2 (Este y Oeste)
- Edificio Loyola
  - Planta Baja
- Áreas
  - Solárium
  - Feria

### III.1.1 Cantidad de usuarios de la red

Para determinar la cantidad de usuarios conectados a esta se utilizó la versión gratuita de 30 días del *software CommView for WiFi*. Según los expertos en el tema, este es el mejor *software* disponible para el estudio y análisis de una red WiFi ya que presenta un menú que permite analizar todas las características de la red a la cual el ordenador esté conectado. *CommView for WiFi* está diseñado para capturar y analizar paquetes de datos en redes inalámbricas 802.11 a/b/g, funciona recogiendo información desde el adaptador inalámbrico y decodifica la información analizada. Algunas herramientas adicionales son las alarmas configurables, las tablas de estadísticas, importar/exportar, la búsqueda de paquetes y la codificación completa de la mayoría de los protocolos. En la [figura 11](#) se presentan los datos arrojados por el *software* para la cantidad de usuarios conectados a la red, este test fue realizado en el piso 2 de la Biblioteca de la UCAB. Como se observa en la figura 8 hay un total de 96 usuarios conectados al *access point*.

### III.1.2 Nivel de Potencia de la señal

Para determinar el nivel de potencia de la señal WiFi en la UCAB se ha utilizado inSSIDer versión 2.0, este *software* de distribución libre se encuentra disponible en metageek.net y puede funcionar con *Windows Vista, XP* y *Windows Seven*. Este *software* es una utilidad que encuentra las redes WiFi cercanas y muestra la potencia de su señal además de determinar otros datos como SSID (*Service Set Identifier*), dirección MAC y tipo de seguridad. En la [figura 12](#) se puede observar el funcionamiento de este *software* en el piso de 2 de la Biblioteca de la UCAB.

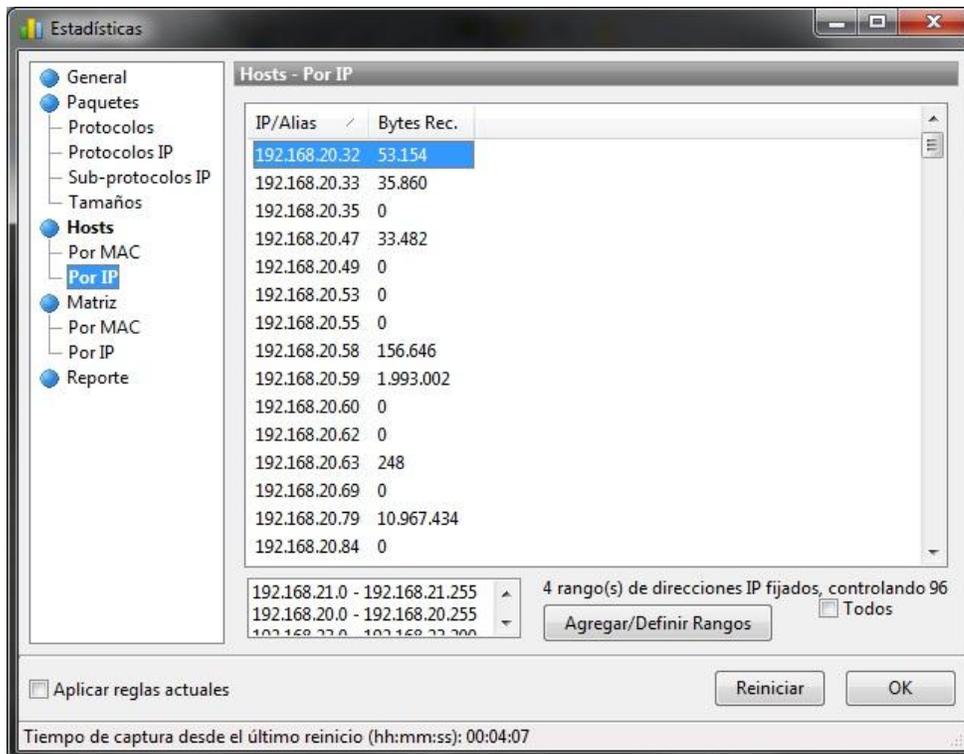


Figura 11: Cantidad de usuarios conectados a la Red en el piso 2 de la Biblioteca de la UCAB

Fuente: Propia



Figura 12: Niveles de potencia de la señal WiFi en el piso 2 de la Biblioteca de la UCAB

Fuente: Propia

### III.1.3 Otros factores de importancia para el diseño de la red

También se determinaron las siguientes características claves para el diseño de una red inalámbrica:

- Segmento de Mercado Objetivo: es a quienes está enfocado el servicio o la red a diseñar.

Evidentemente, el servicio de esta red está enfocado a la Comunidad Ucabista, ya sean estudiantes, personal académico y administrativo.

- Demografía de la zona: dentro del contexto de este proyecto, esta se refiere al comportamiento de los usuarios que va a tener la red, es decir, como y para que necesitan Internet Inalámbrico.

Los estudiantes necesitan esta red para el desarrollo de investigaciones académicas y estar en contacto a través de portales o correos electrónicos con los profesores. El personal académico y administrativo necesita una red inalámbrica para estar en constante contacto con los estudiantes y entre ellos mismos ya sea a través de correos electrónicos o llamadas telefónicas.

- Servicios a ser ofrecidos: Son los servicios con los que va a contar la red, los cuáles son determinados en base al estudio de la demografía de la zona.

Los servicios que ofrecerá esta red son Exploración Web y Telefonía IP (VoIP).

- Número de clientes esperados: Se espera que la cantidad de usuarios de la red sea aproximada a los datos obtenidos en la evaluación técnica de la red.

Aproximadamente 1300 usuarios, y la meta de este Trabajo Especial de Grado es brindarles a todos una experiencia de navegación de más calidad a la que tienen actualmente.

Luego se procedió al estudio del lugar, esto se refiere a un análisis del terreno de la UCAB para así poder realizar el mejor diseño posible, con este estudio se logró determinar el punto donde el transmisor de la Estación Base WiMAX debe estar colocada para funcionar de la forma más eficiente posible, además de donde deben estar colocados los otros dispositivos como los CPE's y puntos de acceso.

La Estación Base WiMAX debe estar colocada en un punto central de la Universidad para tener un mejor desempeño y la calidad de la señal sea igual en todo el campus ya que si todos los receptores tienen la misma distancia a la Estación Base, el método de modulación será el mismo en todos los enlaces, por eso se considera que el transmisor de la Estación Base WiMAX debe estar colocado en la azotea del edificio de Módulos y el terminal lo más cerca posible para evitar pérdidas por cable.

Los CPE, deben estar colocados en la parte más alta de cada edificio de la universidad, de forma que haya la menor cantidad posible de interferencia entre estos y la estación base. Dado que hay 9 localidades que necesitan tener conexión a la estación base siendo una de ellas el edificio de módulos que necesita dos CPE por la alta densidad de usuarios, se deben instalar 10 CPE.

Los puntos de acceso deben estar colocados en lugares abiertos y debe haber al menos 1 punto de acceso por cada piso de cada edificio a excepción de los edificios de módulos y Laboratorios que deben tener 3 y 2 puntos de acceso respectivamente por cada piso, estos puntos de acceso tendrán conectados un transmisor que amplifique la potencia de la señal WiFi.

El Switch entre el CPE y los puntos de acceso debe estar colocado en el mismo lugar donde este colocado el CPE para facilidad de instalación y también para evitar pérdidas por cable.

Los teléfonos VoIP serán teléfonos inalámbricos conectados directamente al punto de acceso más cercano. La cantidad de dispositivos dependerá de los requerimientos de la UCAB.

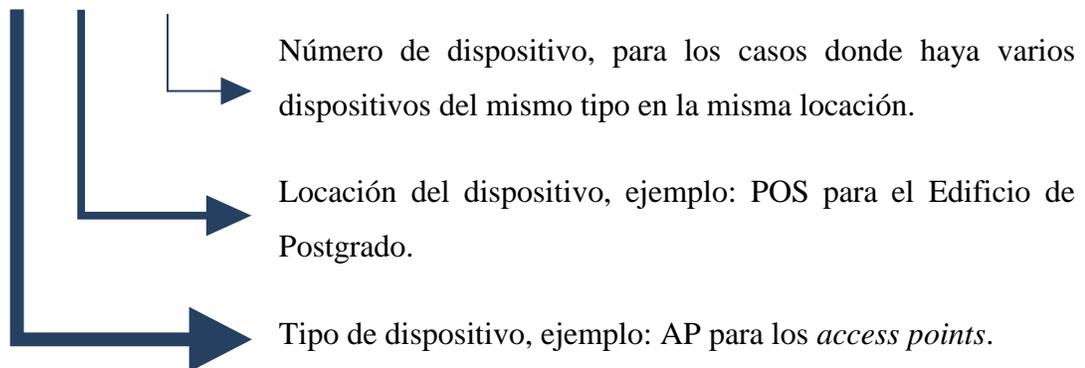
### III.2 Diseño y Dimensionado de la Red Inalámbrica

En esta fase se diseñó la red inalámbrica con tecnología WiMAX, especificando los equipos a utilizar tomando en cuenta las especificaciones técnicas de estos y especificando la ubicación exacta de cada uno de estos de forma que puedan brindar cobertura en todo el campus de la Universidad Católica Andrés Bello. Para poder establecer un diseño eficiente, se tomaron en cuenta las características de los equipos a utilizar como frecuencias, ganancias, sensibilidad de Rx del CPE seleccionado y potencia de transmisión de la Estación Base WiMAX seleccionada. El diseño de red no fue realizado en un *software* de diseño de redes ya que no hay disponibilidad de *softwares* libres con equipos o tecnología WiMAX, de forma que se utilizó Microsoft Visio, *software* que permite dimensionar redes y hacer un bosquejo de estas.

En este diseño se puede observar claramente la distribución de los equipos seleccionados en el campus de UCAB, especificando las cantidades de terminales, nombre de cada uno de estos el cual identifica y determina su ubicación exacta de forma que puedan prestar el servicio de Internet Inalámbrico a la comunidad Ucabista.

El nombre de los Equipos fue colocado acorde a la siguiente distribución:

XXX YYY ZZ



### **III.3 Estimación de los parámetros de transmisión y propagación de ondas**

La realización de estas estimaciones tienen la finalidad de conocer el comportamiento de la interfaz aérea entre la Estación Base WiMAX y los CPE's de forma que se pueda garantizar que el desempeño telemático de la red sea eficiente y no se vea afectado por problemas de cobertura.

En los parámetros de transmisión se estudiarán los factores de modulación ya que de estos depende la tasa de transferencia y en los parámetros de propagación se estudiará el enlace entre cada CPE con la Estación Base de forma de que se pueda determinar la conexión estable entre estos.

#### **III.3.1 Estimación de parámetros de transmisión**

La tecnología WiMAX utiliza la modulación adaptativa, la cual permite ajustar el sistema de modulación dependiendo de la condición de relación señal/ruido (SNR) del enlace de radio. Cuando el enlace de radio tiene alta calidad, es usado el esquema de modulación más alto, dando al sistema mayor capacidad. Durante la pérdida de señal, el sistema WiMAX puede cambiarse a un esquema de modulación menor para mantener localidad de conexión y estabilidad del enlace. Esta característica permite al sistema superar el fading de tiempo selectivo.

Como se pudo observar en la [figura 8](#), a distancias de 2 Km entre la Estación Base WiMAX y los terminales suscriptores o CPE se puede transmitir a una tasa de al menos 40 Mbps. Tomando en cuenta los valores de transmisión según el tipo de modulación y que los CPE's están a menos de un 1 Km de distancia de la estación Base WiMAX en la UCAB acorde a los valores obtenidos por el departamento de Servicios Generales de la UCAB y verificados haciendo uso de Google Earth, se estima que el método de modulación usado por la interfaz aérea será 64 QAM en cada enlace, de tal forma se obtendrán las más altas tasas de transmisión que puede brindar la tecnología WiMAX que pueden ir desde los 40 Mbps hasta los 70 Mbps.

### III.3.2 Estimación de parámetros de propagación

El estudio de la propagación de los ondas es de gran importancia en un proyecto de esta índole, dado que se debe garantizar que el enlace entre la Estación Base WiMAX y los CPE's sea estable y confiable de forma que el desempeño de la red pueda ser eficiente y se le pueda brindar a los usuarios de la Red Inalámbrica un servicio de Internet con altos niveles de calidad.

La estimación de estos parámetros de propagación consiste en el balance de potencias para así poder asegurar que la potencia recibida en cada CPE sea mayor a la sensibilidad de estos receptores.

Para realizar el balance de potencias, se utilizará la [Ecuación 1](#) del apartado II.3.9.3, donde se debe hacer una sumatoria de ganancias y posibles pérdidas. Las ganancias a considerar para este balance de potencias serán las propias de cada terminal elegido para el diseño de la red y que se pueden consultar en los Anexos 5 y 2 para la Antena del Transmisor de la Estación Base WiMAX y para el CPE respectivamente.

Las pérdidas que serán en tomadas en cuenta serán solo aquellas que se dan por propagación libre en el espacio ya que las pérdidas por lluvia o niebla se dan solo en ondas cuya frecuencia es superior a los 5GHz (Korowajczuk, 2011), además de que no hay obstáculos dígame árboles, edificio o cualquier otro objeto entre la Estación Base WiMAX y los CPE's.

#### Sumatoria de Ganancias

Ganancias = Ganancia de Tx + Ganancia de Rx [\(Ver Ecuación 3\)](#)

Ganancia del Tx = 10 dBi [\(Ver Anexo 5\)](#)

Ganancia del Rx = 17 dBi [\(Ver Anexo 2\)](#)

$$\mathbf{Ganancias = 10\ dBi + 17\ dBi = 27\ dBi}$$

### Pérdidas por Propagación en el Espacio Libre (FSL)

Se utilizará la [Ecuación 4](#) que se puede observar en el apartado II.3.9.3.3, de forma que:

$$FSL(dB) = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + 92,45$$

Donde la distancia será la correspondiente de cada enlace entre Estación Base WiMAX y CPE diseñado y la frecuencia utilizada será 3,5 GHz, valor al que pueden transmitir los terminales PacketMax seleccionados de Aperto Networks y la antena transmisora conectada a la Estación Base WiMAX PacketMAX 3000 ([Ver Anexo 5](#)).

### Sumatoria de Pérdidas

Pérdidas= FSL + Pérdidas por conectores + Pérdidas por cable ([Ver Ecuación 2](#))

Donde las pérdidas por cable son consideradas de 1 dB (Korowajczuk, 2011) ya que se recomienda que no haya más de un metro entre la Estación Base WiMAX y la antena transmisora. Las pérdidas por conectores serán consideradas de 0,6 dB (Korowajczuk, 2011) por el conector hacia la BS y el conector hacia la antena. Los CPE's PacketMAX 320 de Aperto Networks tienen la antena integrada ([Ver Anexo 2](#)) por lo que no es necesario tomar en cuenta pérdidas por cable o conectores para estos dispositivos.

Una vez que se obtuvieron estos resultados los cuáles se pueden observar en el apartado IV.4.2, se procedió a realizar el balance de potencias donde el resultado obtenido tendría que ser mayor a la sensibilidad de los dispositivos receptores WiMAX, es decir, los CPE PacketMAX 320, de esta forma se podrá demostrar la calidad y estabilidad de los enlaces entre cada uno de estos dispositivos y la Estación Base WiMAX PacketMAX 3000. Este estudio no se realizó para la transmisión de ondas WiFi ya que la sensibilidad de los terminales de cada usuario (laptops, tabletas, smartphones) varía acorde a cada fabricante por lo que se tendrían Potencias de Rx muy diferentes para cada usuario.

### **III.4 Simulación de la Red Inalámbrica Diseñada**

La simulación de la Red Inalámbrica con tecnología WiMAX diseñada se ha dividido en dos partes:

- Simular la cobertura de la Red.
- Simular la calidad de servicio QoS de la Red.

#### **III.4.1 Simulación de la cobertura de la Red**

La cobertura de la Red diseñada es una característica importante de conocer, ya que una de las causas de la ineficiencia de la red actual es el poco alcance que esta tiene según la evaluación técnica realizada previamente.

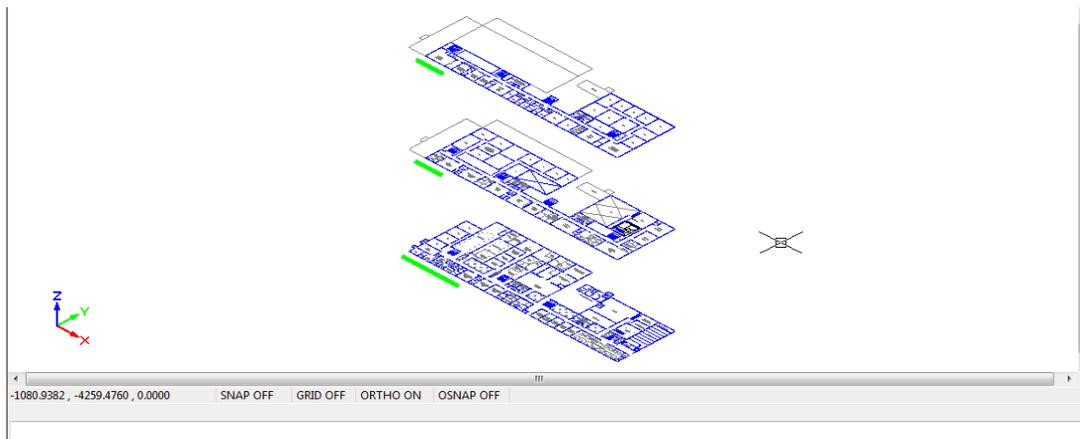
##### **III.4.1.1 Simulación de la cobertura de la Red WiMAX haciendo uso de Radio Plan**

Este *software* versión para estudiantes disponible en [www.actix.com](http://www.actix.com) permite cargar un plano 3D tipo .dxf o .dwg que son por lo general archivos hechos en AutoCAD, una vez importado el plano se puede seleccionar el tipo de material con el cual están contruidos los Edificios del este ya que cada material causa diferentes pérdidas de potencia dando así diferentes niveles de pérdidas por propagación, se puede colocar cualquier Tipo de Antena ya que cuenta con una gran Base de Datos para esto y además configurar características de esta como la potencia y la frecuencia y finalmente se selecciona el área que se espera tenga cobertura de la antena colocada.

Para hacer esta simulación, se le solicitó a la Dirección de Servicios Generales de la Universidad Católica Andrés Bello que facilitarán el plano del Campus de la UCAB, sin embargo el plano que este Departamento tiene disponible está en formato 2D y para poder hacer la simulación de cobertura en Radio Plan se necesita el plano en formato 3D por lo que se tenía que modificar el archivo en

AutoCAD para poder darle altura a los Edificios del Plano pero esta actividad por ser muy engorrosa y no relacionada a los objetivos planteados en este Trabajo Especial de Grado no se realizó y se eligió como zona piloto para la simulación del Sistema NLOS de WiMAX el Edificio de Laboratorios, por lo cual se le solicitó a la Dirección de Servicios Generales solo el plano de este Edificio que también está disponible solo en formato 2D pero por tratarse de un plano mucho más pequeño si es factible transformarlo en un plano formato 3D con la ayuda de AutoCAD, aunque sigue siendo una actividad no relacionada a este TEG, se debe demostrar el sistema NLOS de WiMAX y esta es la única forma disponible de hacerlo en base a los recursos con los que se cuentan.

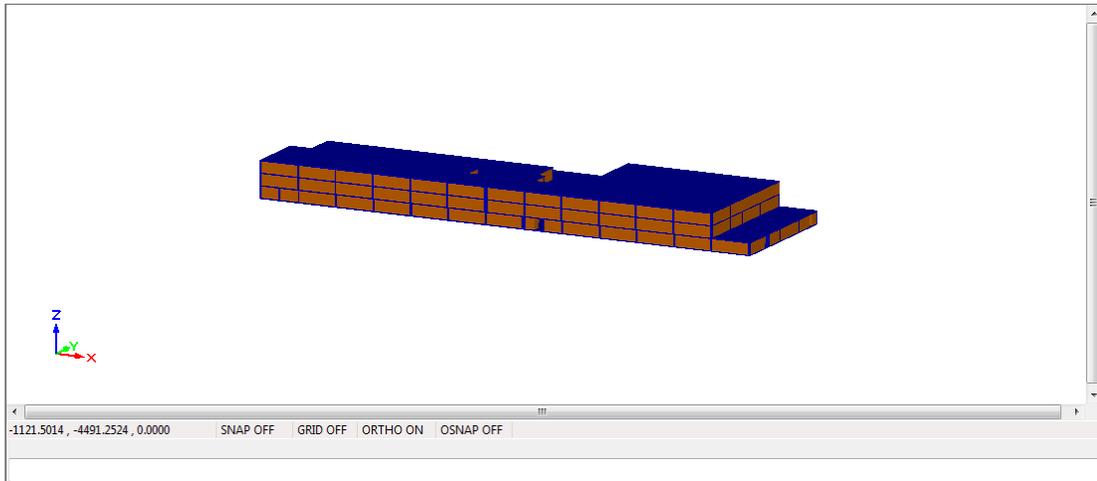
El Plano que facilitó la Dirección de Servicios Generales del Edificio de Laboratorios en formato 2D y que necesita ser transformado en un plano 3D se puede observar en la [figura 13](#).



**Figura 13: Plano del Edificio de Laboratorios sin levantamiento 3D**

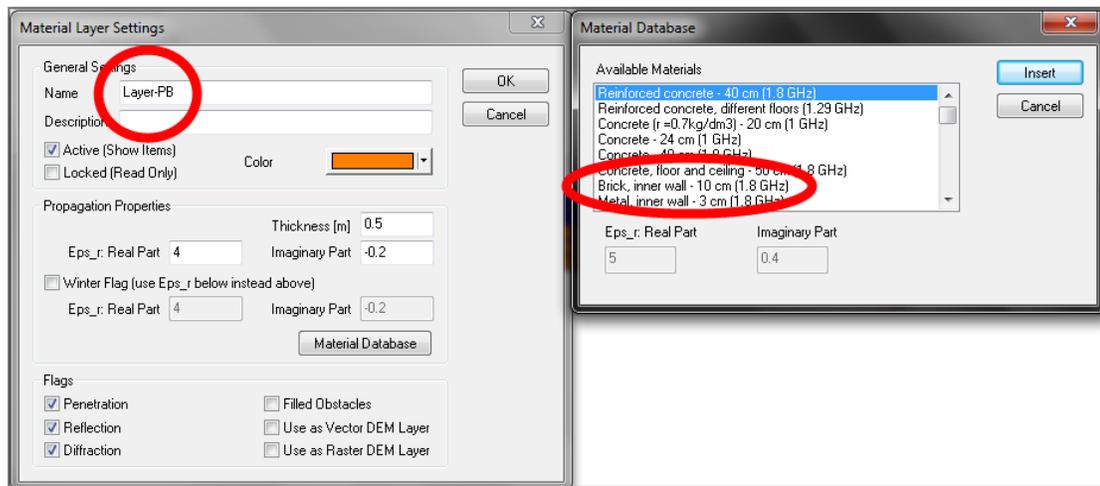
Fuente: Propia

Se procedió al levantamiento 3D del plano de la [figura 13](#) en AutoCad, resultando el plano que se observa en la [figura 14](#).



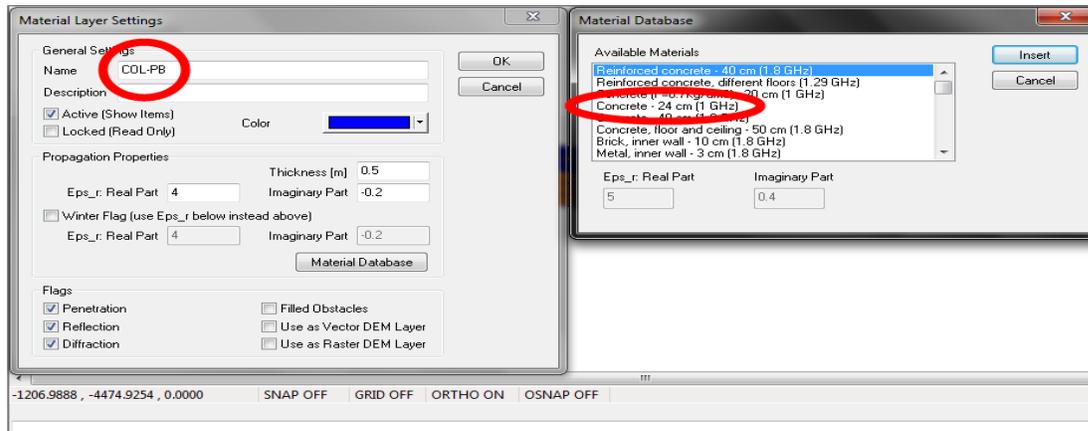
**Figura 14: Plano del Edificio de Laboratorios con levantamiento 3D**  
Fuente: Propia

Una vez que se obtuvo el plano observado en la [figura 14](#) se procedió a seleccionar el tipo de material de las paredes y columnas, siendo las paredes ladrillos de 10 cm (Servicios Generales) y las columnas son de concreto de 24 cm (Servicios Generales). En la [figura 15](#) se observa como se selecciona el ladrillo de 10 cm para la pared de Planta Baja (Layer-PB).



**Figura 15: Selección del material para las paredes del Edificio de Laboratorios**  
Fuente: Propia

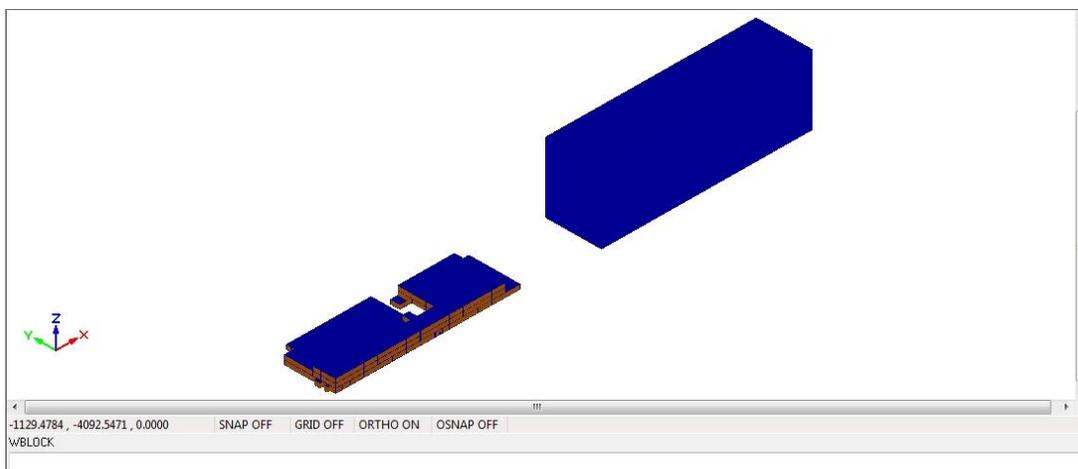
Este procedimiento se repitió con las paredes de los pisos 1 y 2 (Layer-1 y Layer-2 respectivamente). Luego se ha realizado el mismo procedimiento para las columnas de cada piso, en la [figura 16](#) se observa el proceso de selección de concreto de 24 cm para estas:



**Figura 16: Selección del material para las columnas del Edificio de Laboratorios**

Fuente: Propia

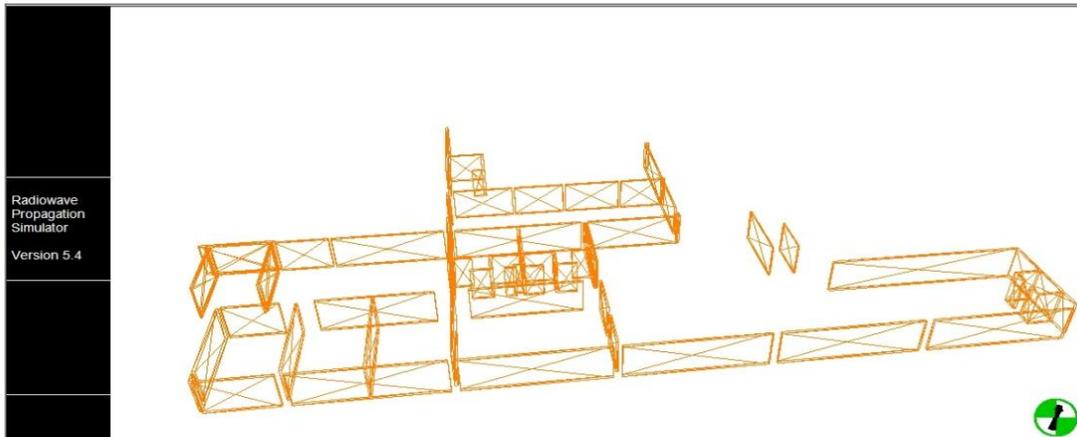
Como la estación base WiMAX no estaría colocada en el edificio de Laboratorios, se ha levantado una Edificación similar al Edificio de Módulos que es donde la Estación Base WiMAX va a estar colocada para así poder constatar que esta tendría cobertura hasta el edificio de Laboratorios. En la [figura 17](#) se puede observar el plano con el bosquejo del Edificio de Módulos.



**Figura 17: Plano de los Edificios de Laboratorios y Aulas en 3D**

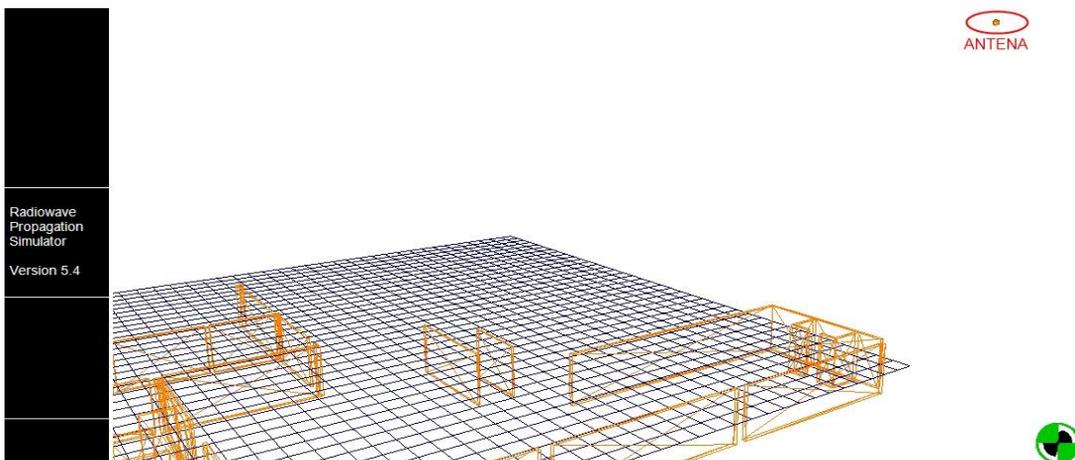
Fuente: Propia

Luego se procedió a ir al modo de propagación de ondas del *software*, pero por ser la versión para estudiantes se encontró con la limitación de que en este modo se soporta solo hasta 750 polígonos por lo que no se carga todo el plano en este modo, en la [figura 18](#) se observa el resultado.



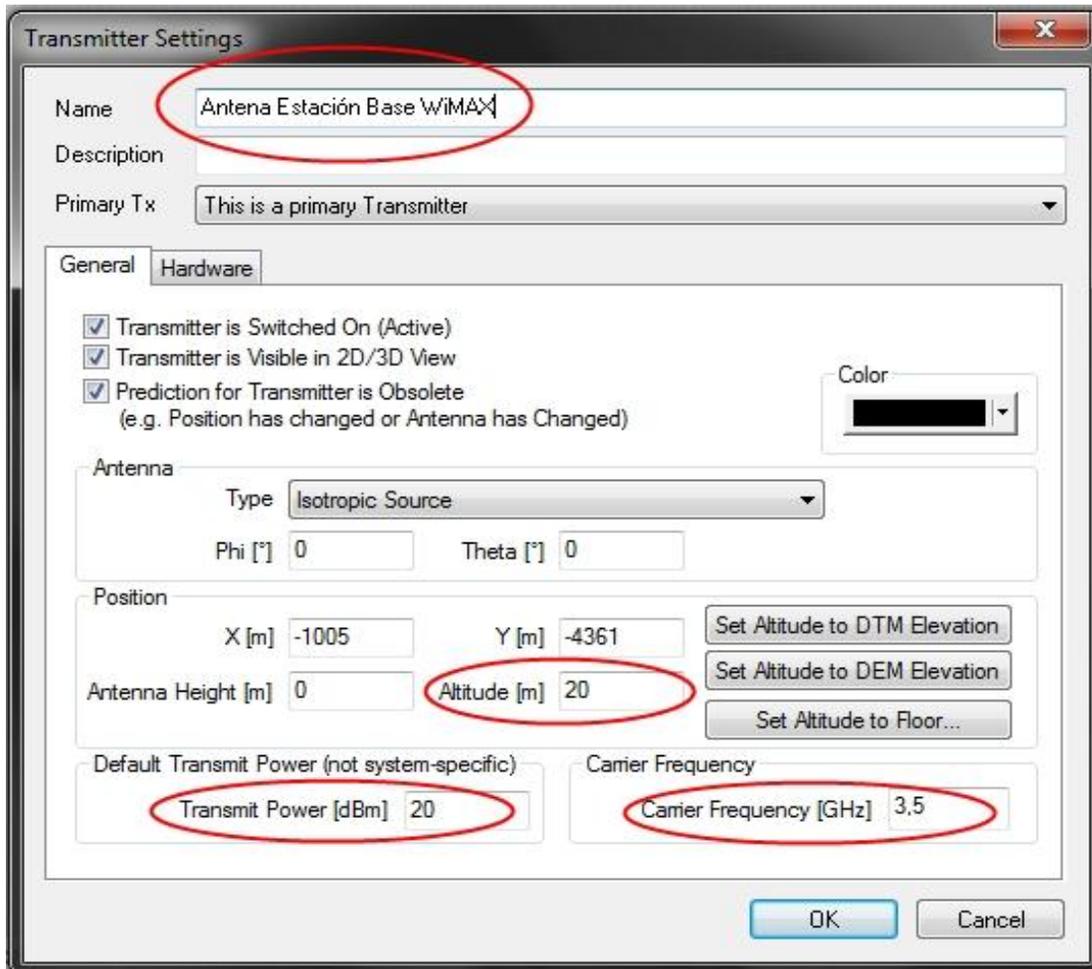
**Figura 18: Plano resultante en modo de propagación por el uso de la versión para estudiantes del software**  
Fuente: Propia

En la [figura 18](#) se observa lo que sería la entrada al edificio de Laboratorios por lo cual solo se podrá trabajar con esta zona. A pesar de que no aparece el edificio de módulos, se puede colocar la antena de la estación base WiMAX con la distancia y altura correspondientes al Edificio de Módulos (Servicios Generales). En la [figura 19](#) se puede observar la antena colocada.



**Figura 19: Posición de la antena de la Estación Base WiMAX**  
Fuente: Propia

Se colocó la antena de la estación base WiMAX con las características de potencia y frecuencia correspondientes al *datasheet* de la estación base WiMAX a usar. En la [figura 20](#) se puede observar la configuración del transmisor.

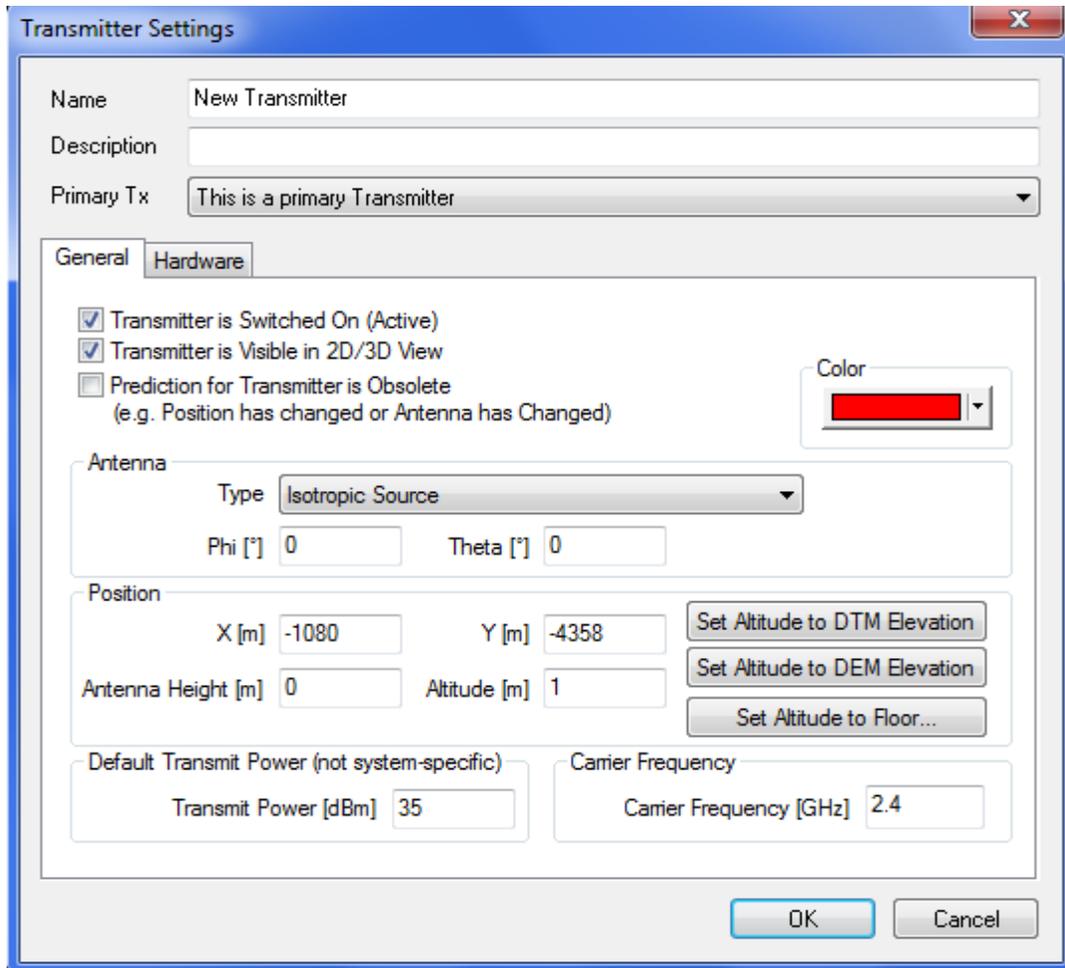


**Figura 20: Configuración del transmisor de la Estación Base WiMAX**  
Fuente: Propia

Finalmente se corrió el programa y se obtuvo la estimación de la cobertura de Red Inalámbrica con tecnología WiMAX que se podría obtener con la Estación Base WiMAX PacketMAX 3000 de Aperto Networks. Estos resultados se pueden observar en el apartado IV.4.1.1.

### III.4.1.2 Simulación de la cobertura de la red WiFi haciendo uso de Radio Mobile

Haciendo uso del mismo plano del punto anterior, se colocará otro transmisor que representará al transmisor WiFi el cual se configurara en base a la antena transmisora establecida en el diseño, la cual está conectada al punto de acceso.



**Figura 21: Configuración Transmisor WiFi**  
Fuente: Propia

En la [Figura 21](#), se observa que le frecuencia asignada es 2.4 GHz que es la frecuencia bajo la cual opera WiFi, el poder de transmisión es de 35 dBm ya que no el *software* no permite asignar ganancia a los transmisores, por lo tanto se sumo la

potencia de transmisión del *Access Point* que es de 20 dBm con la ganancia del transmisor que es 15 dBi, por lo cual el valor asignado es de 35 dBm.

Se colocó el transmisor en el área correspondiente el Auditorio de Ingeniería que es la locación presente en el plano disponible que más necesita cobertura WiFi, se corrió la simulación para determinar si en toda la zona habría cobertura WiFi, además de poder medir las nuevas potencias de recepción que se podrán obtener en caso de la implementación de este proyecto y poder compararlas con los valores obtenidos en la evaluación técnica. Los resultados de esta simulación se pueden observar en el apartado IV.5.2.

### **III.4.1.3 Simulación de la cobertura de la red haciendo uso de Radio Mobile**

Radio Mobile es un programa de simulación de radio propagación gratuito desarrollado por Roger Coudé para predecir el comportamiento de sistemas radio, simular radioenlaces y representar el área de cobertura de una red de radiocomunicaciones, entre otras funciones.

El software trabaja en el rango de frecuencias entre 20 MHz y 20 GHz y está basado en el modelo de propagación ITM (*Irregular Terrain Model*) o modelo *Longley-Rice*. Radio Mobile utiliza datos de elevación del terreno que se descargan gratuitamente de Internet para crear mapas virtuales del área de interés, vistas estereoscópicas, vistas en 3-D y animaciones de vuelo.

Los datos de elevación se pueden obtener de diversas fuentes, entre ellas del proyecto de la NASA *Shuttle Terrain Radar Mapping Misión* (SRTM) que provee datos de altitud con una precisión de 3 segundos de arco (100m). Los mapas con información de elevaciones pueden ser superpuestos a imágenes con mapas topográficos, mapas de carreteras o imágenes de satélite.

En <http://www.cplus.org/rmw/english1.html> se puede descargar gratuitamente el programa, consultar guías de utilización, acceder al grupo Yahoo de discusión de Radio Mobile y consultar las especificaciones o “*data sheet*” del programa.

Para realizar la simulación en este *software*, primero se procedió a bajar el mapa de la UCAB desde Radio Mobile haciendo uso de los mapas de la NASA. Una vez que el mapa estaba descargado y se compaginó con los datos de elevación se procedió a hacer la configuración de la Red en base a los *datasheets* de los equipos seleccionados.

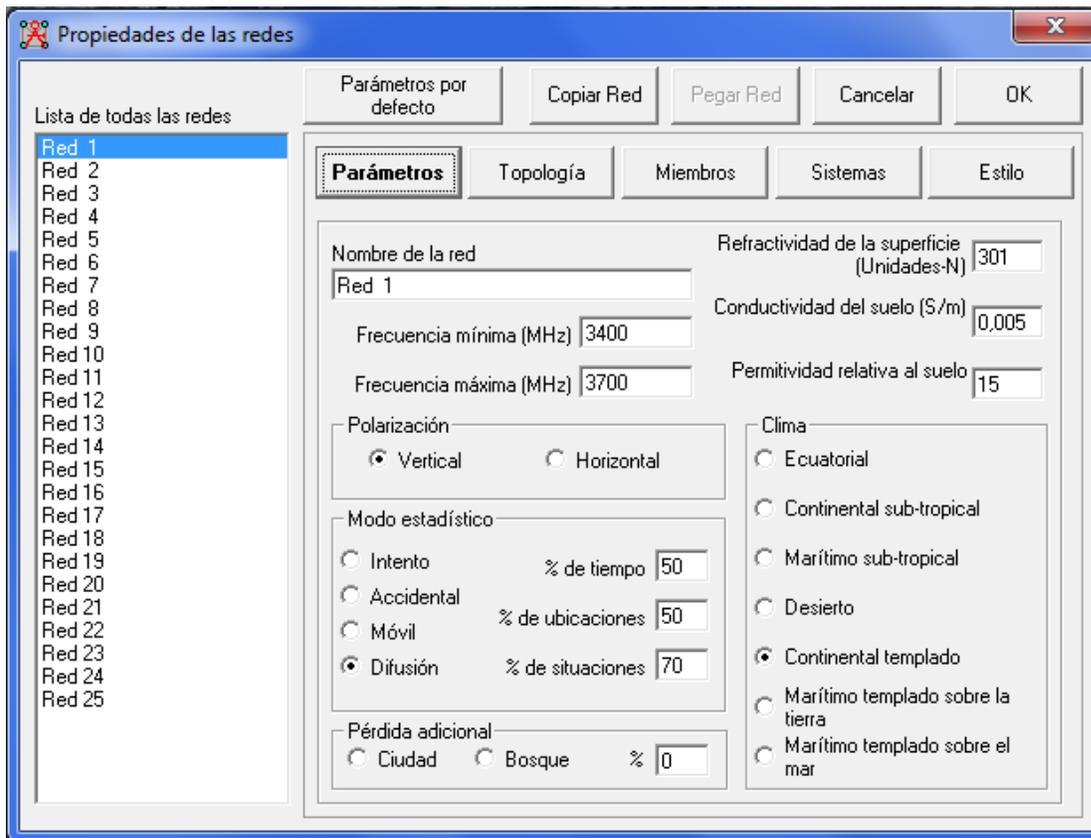
En la [figura 22](#) se puede observar la configuración de la frecuencia en la que la red va a trabajar que es entre 3,4 y 3,7 GHz además de las condiciones climáticas en la cual va a estar esta red que es continental templado. La polarización de la antena es vertical de acuerdo a las especificaciones de la antena de la estación base WiMAX (ver anexo 5). Los valores de refractividad de la superficie, la conductividad del suelo y la permitividad relativa al suelo son los valores por defecto del *software*, alterarlos a los valores de Caracas no afectaría los resultados de la simulación ya que los enlaces entre cada CPE y la Estación Base WiMAX tienen línea de vista directa y no hay obstáculos como terrenos y montañas entre estos. Para la selección del modelo estadístico se selecciono el modo de difusión ya que esta será la función principal de la red y se dejaron los valores por defecto del *software*.

En la [figura 23](#) se observa la configuración de la topología de la Red, utilizando una topología de Master/Esclavo, siendo el Master la Estación Base WiMAX y los esclavos los CPE.

En la [figura 24](#) se observa la configuración de los dispositivos de la Red, asignándole a cada uno la función de Master o de esclavo además de configurar la altura de cada uno de estos dispositivos en base a los datos suministrados por la Dirección de Servicios Generales de la UCAB.

En la [figura 25](#), se observa la configuración de la potencia de transmisión del transmisor, tipo de antena de la estación base WiMAX y la sensibilidad de estos. Dichos parámetros fueron configurados en base a los *datasheets* de los equipos (ver anexos 2 y 5), la antena seleccionada es omnidireccional 360°.

Finalmente se obtuvieron los resultados de esta simulación los cuáles están disponibles en el apartado [IV.5.1.2](#).



**Figura 22: Configuración de la frecuencia y condiciones climáticas de la Red**

Fuente: Propia

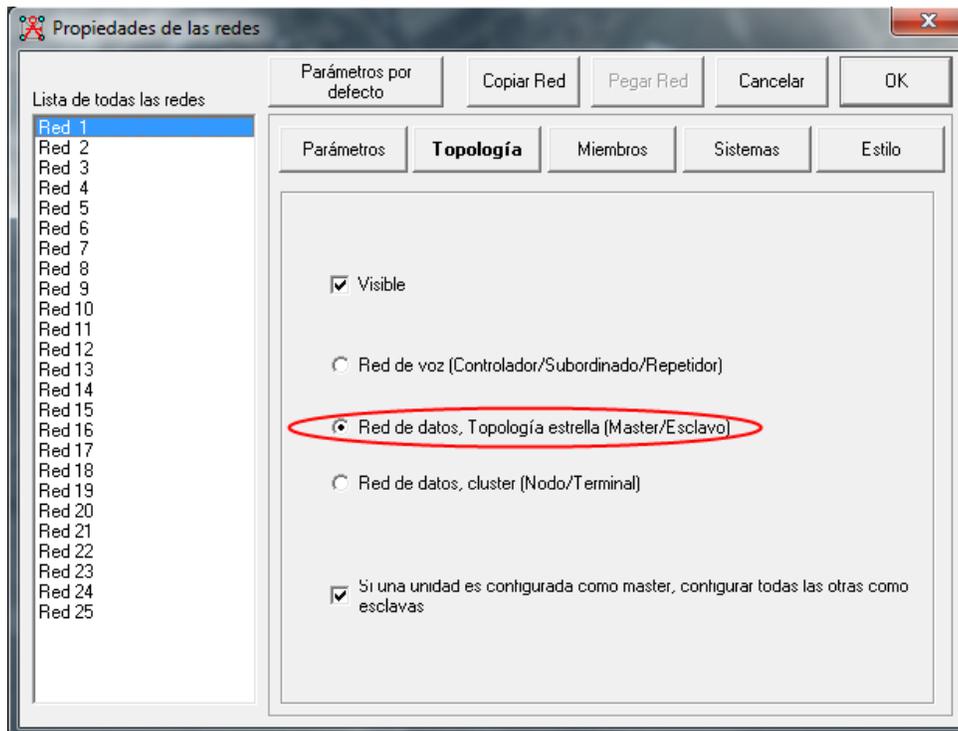


Figura 23: Configuración del tipo de Topología de la Red

Fuente: Propia

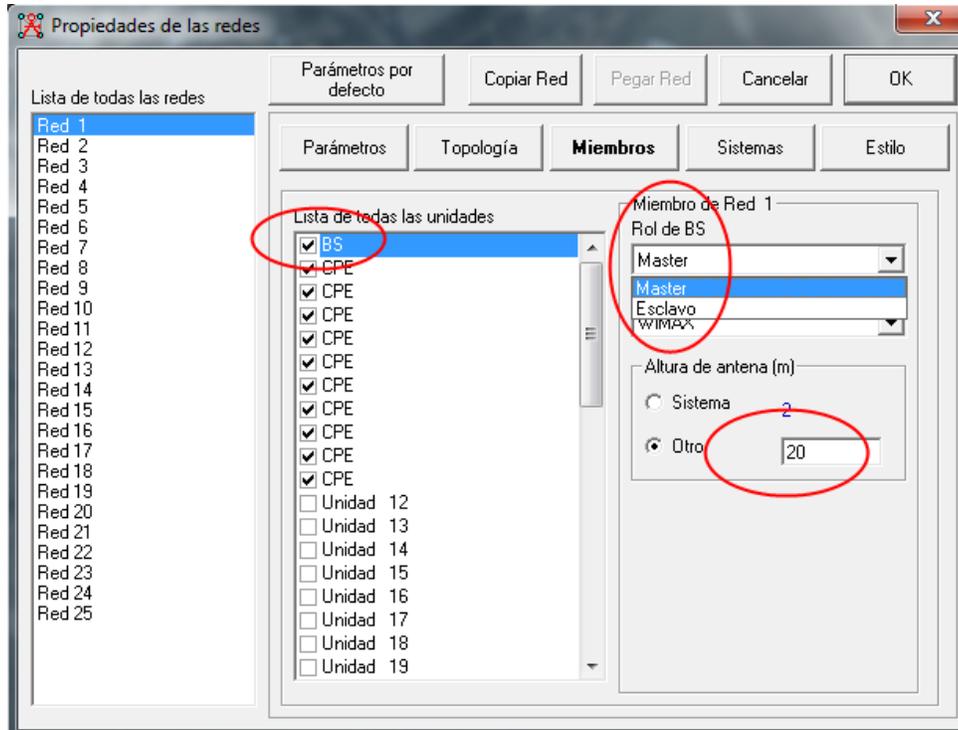


Figura 24: Configuración de función y altura de los dispositivos de la Red

Fuente: Propia

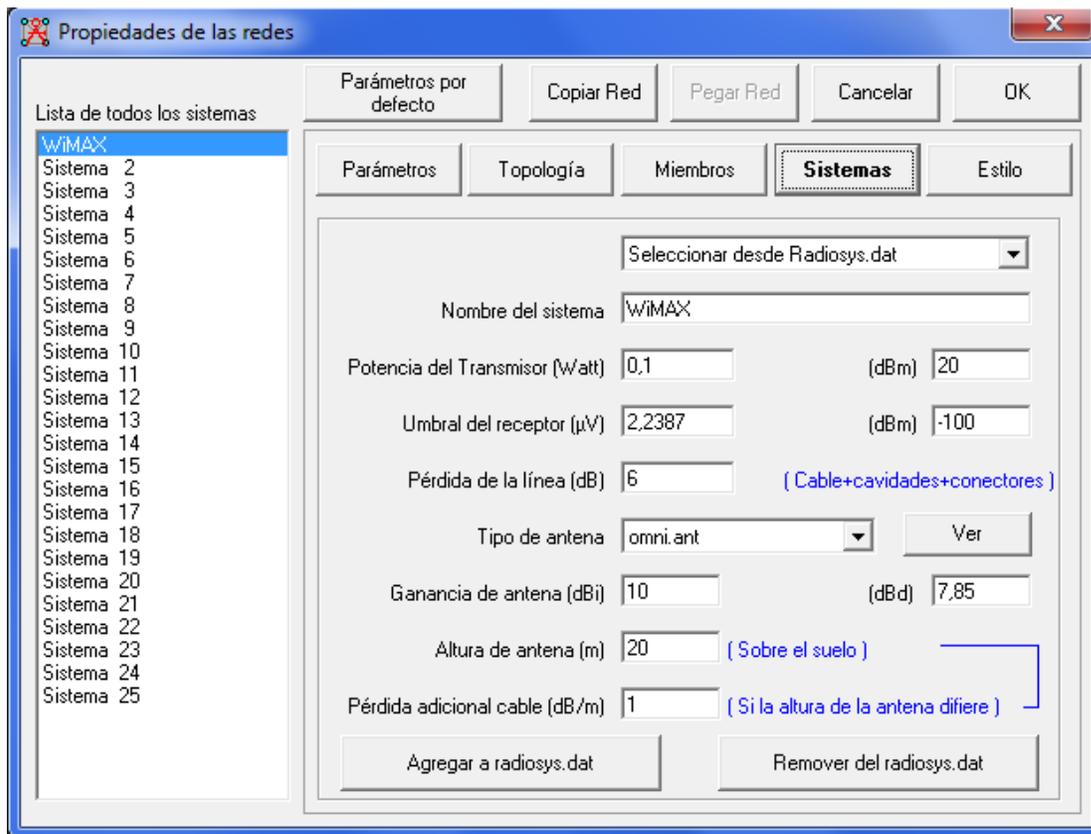


Figura 25: Configuración de la Estación Base WiMAX

Fuente: Propia

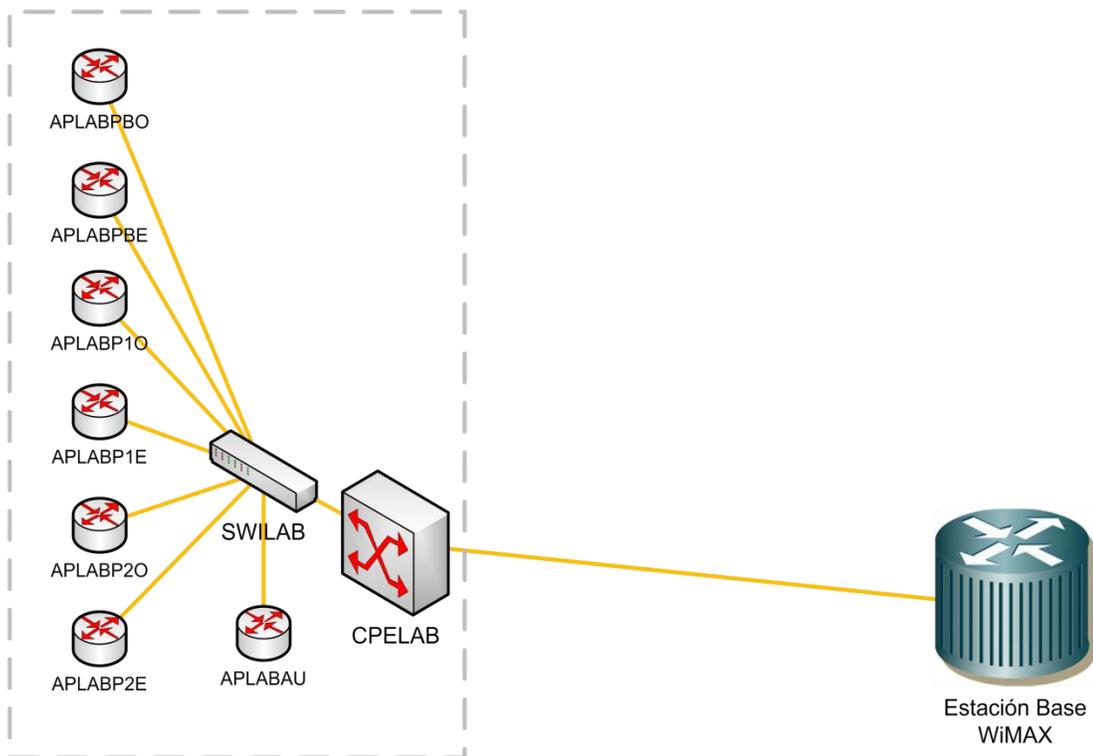
### III.4.2 Simulación de la Calidad de Servicio QoS de la red

Para la simulación del QoS ofrecido por WiMAX se ha utilizado el *software* OPNET IT GURU, disponible en [www.opnet.com](http://www.opnet.com), herramienta capaz de analizar el rendimiento de una red. OPNET IT GURU es la versión para estudiantes de OPNET MODELER y por ser una versión para estudiantes tiene menos funciones y modos que la versión completa y la limitante de este *software* que afecta más el desarrollo de este proyecto es que con IT GURU no hay disponibles dispositivos con tecnología WiMAX como es el caso de MODELER, sin embargo a efectos de simular la calidad de servicio, se utilizaron otros dispositivos inalámbricos y se configuraron

aplicaciones y servicios que emulaban las políticas de calidad de servicio de WiMAX.

Como ya se sabe, la red está diseñada con el fin de brindar dos aplicaciones para los usuarios, exploración web y servicio de VoIP. Cada una de estas aplicaciones tiene una política diferente de QoS, la exploración web cuenta con “*Best Effort*” (BE) y VoIP cuenta con “*Unsolicited Grant Service*” (UGS).

La red diseñada para esta simulación, es solo para ver el funcionamiento del QoS de WiMAX, ya que por ser un simulador con ciertas limitaciones, tiene un número limitado de eventos por lo que se si simula toda la red, con todos los dispositivos involucrados el programa no podrá ejecutarse. Para la simulación, se seleccionó como zona piloto el edificio de Laboratorios, su topología de red se puede ver de forma detallada en la [figura 26](#).



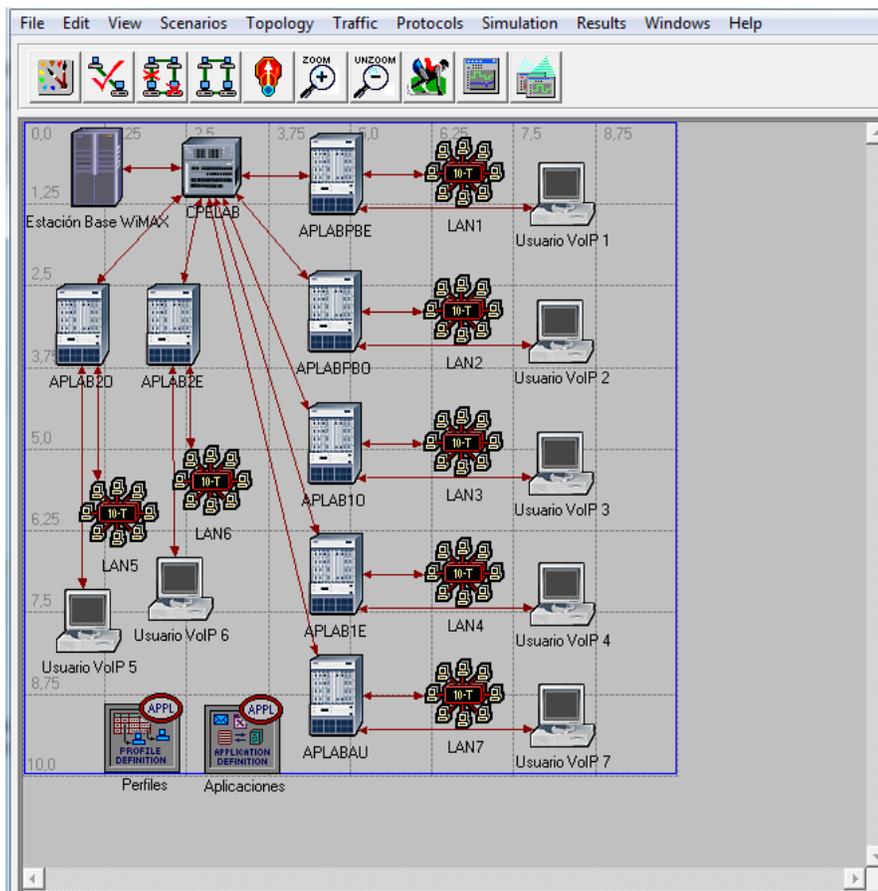
**Figura 26: Topología de Red en el Edificio de Laboratorios**

Fuente: Propia

En la [figura 27](#) se puede observar la topología de Red montada en el *software* de simulación OPNET IT GURU.

Se definieron dos tipos de usuarios, unos que se dedicara a exploración Web y los otros que fueran clientes de VoIP. Para asignar un tipo de servicio a cada usuario se debían asignar a un tipo de perfil. Estos perfiles fueron creados en base a las aplicaciones que cada uno iba a tener.

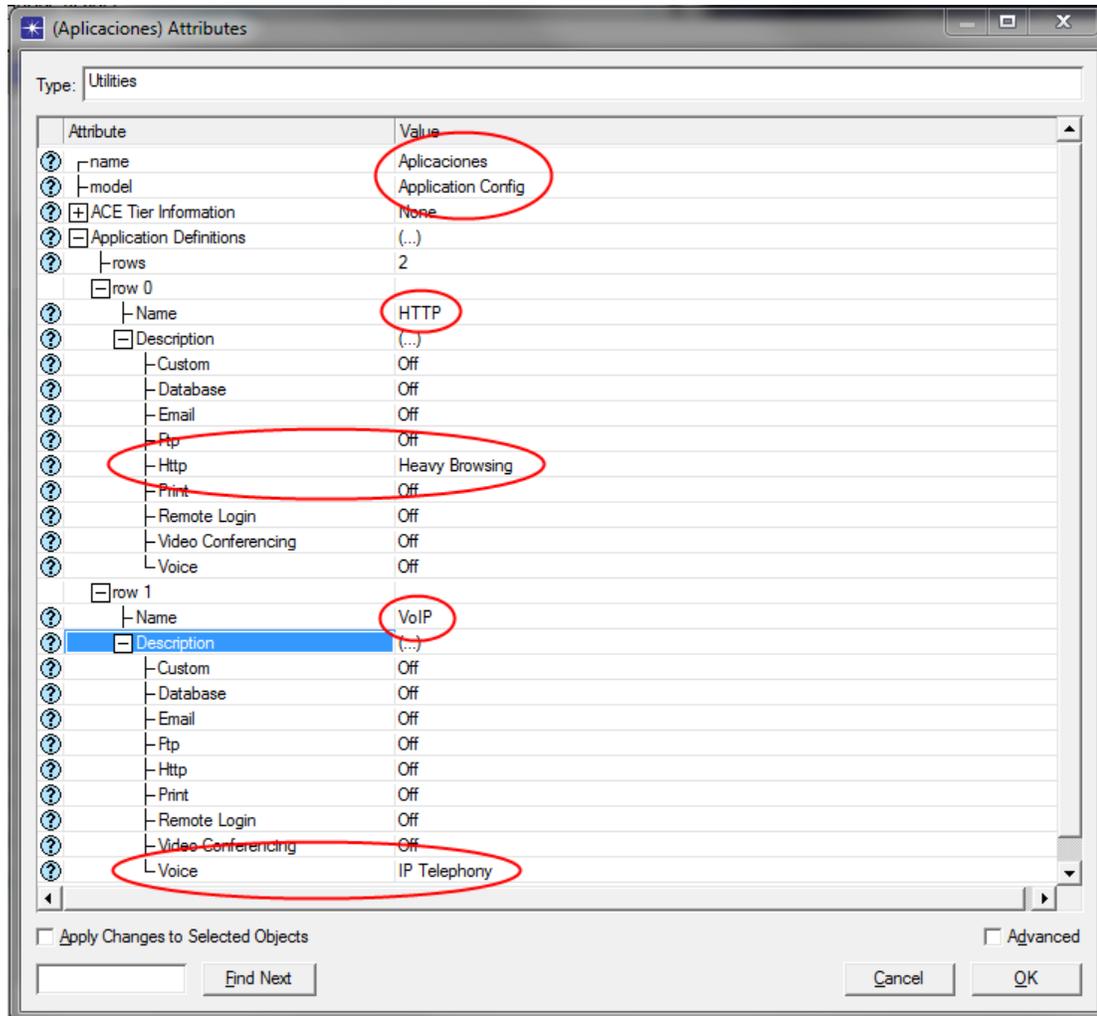
El primer paso a seguir entonces es crear o configurar las aplicaciones, esto se hace con el nodo “*Application config*”. En la [figura 28](#) se puede observar la configuración de estas aplicaciones.



**Figura 27: Modelo de Topología de Red usado para analizar el QoS de WiMAX**

Fuente: Propia

Luego, se definieron los perfiles en base a estas aplicaciones, un perfil sería el usuario que utiliza exploración web y se va a llamar HTTP y el otro perfil para el usuario que utilice el servicio de telefonía IP, este se va a llamar VoIP. En la [figura 29](#) se observa la definición de estos perfiles.



**Figura 28: Configuración de las aplicaciones HTTP y VoIP**

Fuente: Propia

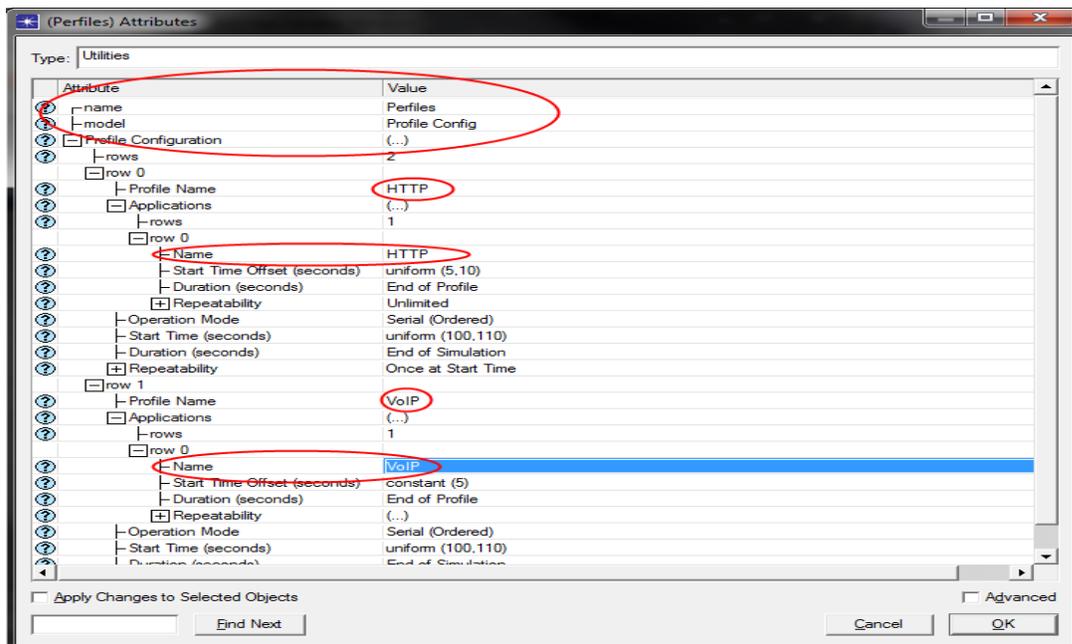


Figura 29: Configuración de los perfiles HTTP y VoIP

Fuente: Propia

Luego de configurar los perfiles, se procedió a definirlos para los usuarios, en la [figura 30](#) se observa la asignación del perfil HTTP al “LAN1” y en la [figura 31](#) se observa la asignación del perfil VoIP al “usuario VoIP 1”

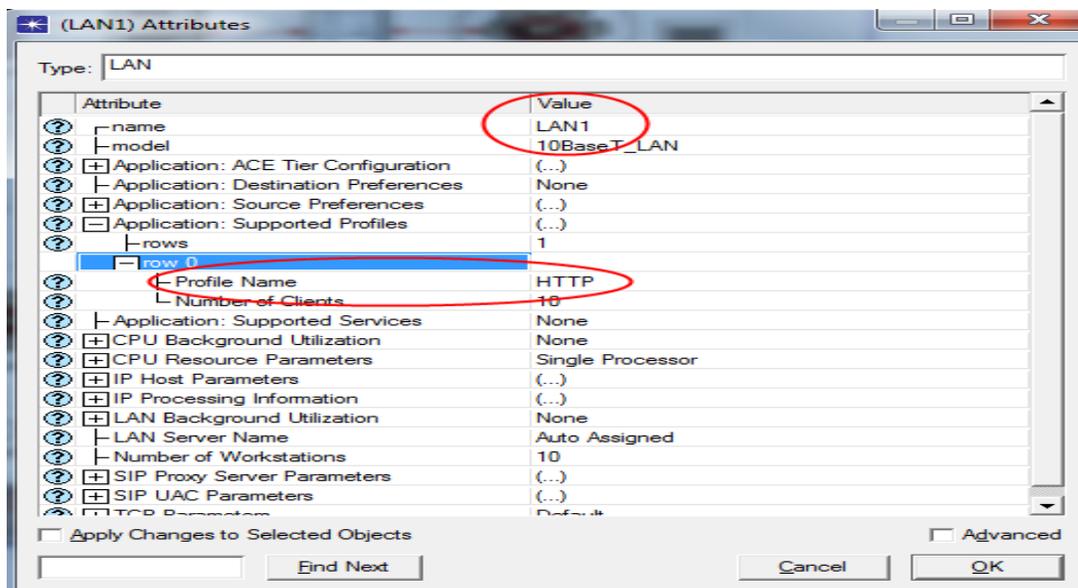
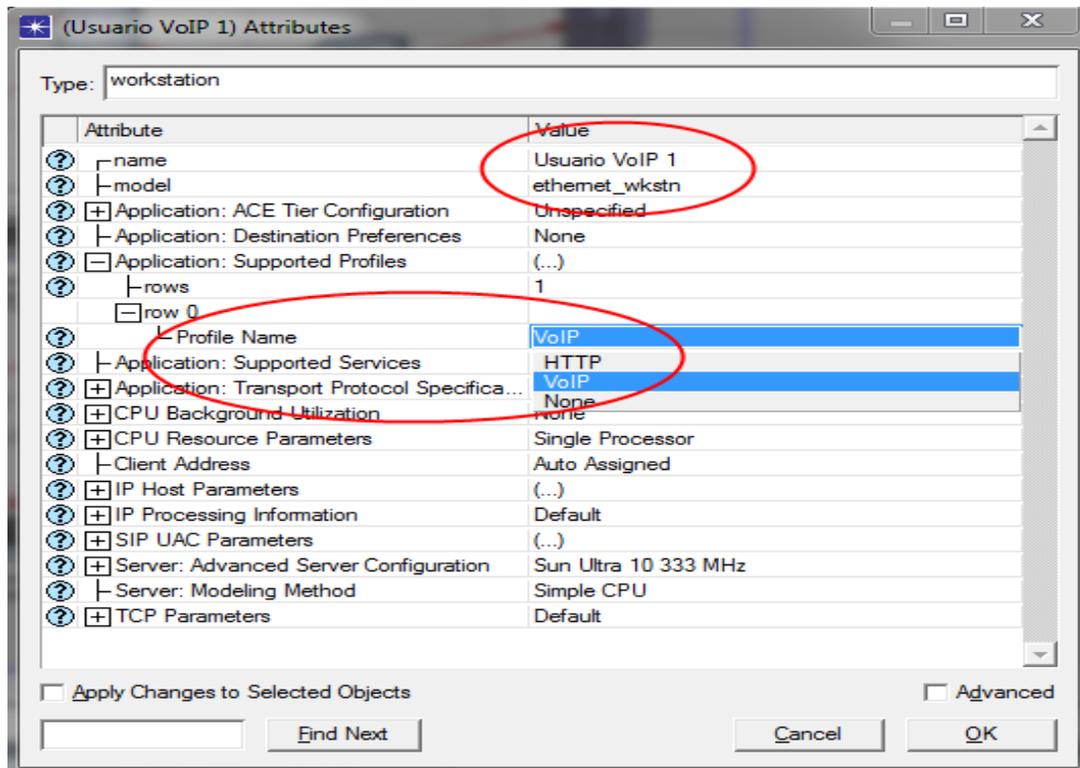


Figura 30: Definición de perfil HTTP a “LAN 1”

Fuente: Propia

El proceso de la [figura 30](#) se repitió con los nodos “LAN 2”, “LAN 3”, “LAN 4”, “LAN5”, “LAN 6” y “LAN 7”.



**Figura 31: Definición de perfil VoIP a “usuario VoIP 1”**

Fuente: Propia

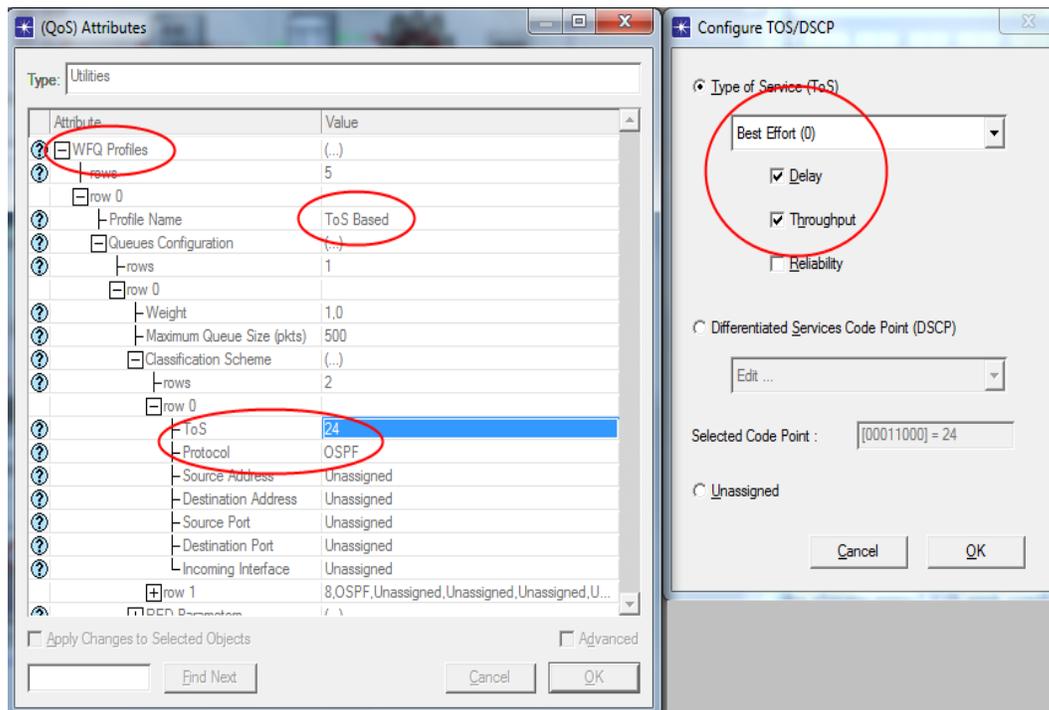
El proceso de la [figura 31](#) se repitió con los nodos “Usuario VoIP 2”, “Usuario VoIP 3”, “Usuario VoIP 4”, “Usuario VoIP 5”, “Usuario VoIP 6” y “Usuario VoIP 7”.

Hasta el momento, el QoS, característica más representativa de WiMAX y el punto de estudio de esta simulación no ha sido configurado. Antes de hacerlo se procedió a ejecutar la simulación de esta red sin QoS para poder así posteriormente establecer una comparación entre la red con y sin este. El resultado de esta simulación se puede observar en el apartado IV.4.2.

Luego se procedió a configurar el QoS de WiMAX, al hacer esta configuración ya estaríamos comenzando a tener una red ‘similar’ a una red con dispositivos WiMAX.

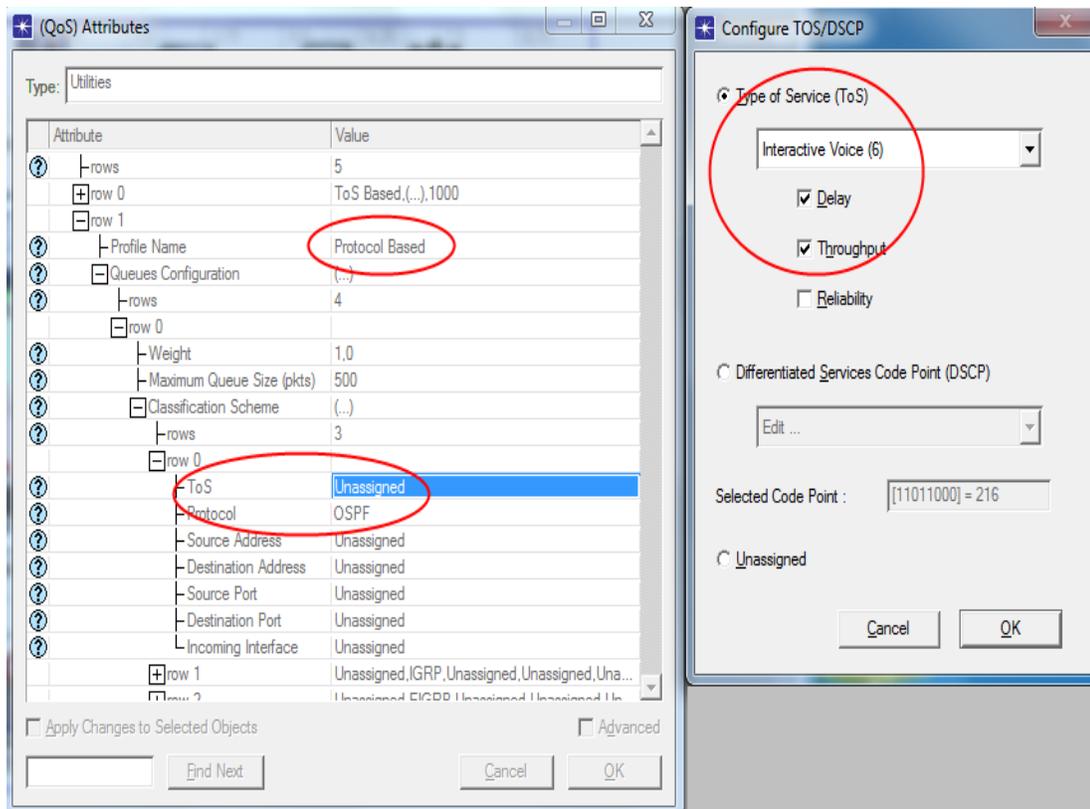
Primero se añadió el nodo de QoS donde se van a hacer las configuraciones pertinentes. Es importante recordar que la exploración Web utiliza como método de QoS “*Best Effort*” y que el servicio de VoIP utiliza como método de QoS “UGS”. Best Effort puede ser configurado sin problema alguno pero UGS será configurado de forma análoga con otra calidad de servicio disponible para los servicios de voz en el *software* de simulación llamado “*Interactive Voice*”, el cual actúa de igual forma que UGS ya que se reserva un ancho de banda para los usuarios de VoIP.

En la [figura 32](#) se puede observar la configuración del perfil *Best Effort* y en la [figura 33](#) se puede observa la configuración del perfil *Interactive Voice*



**Figura 32: Configuración del perfil “Best Effort”**

Fuente: Propia



**Figura 33: Configuración del perfil “Interactive Voice”**

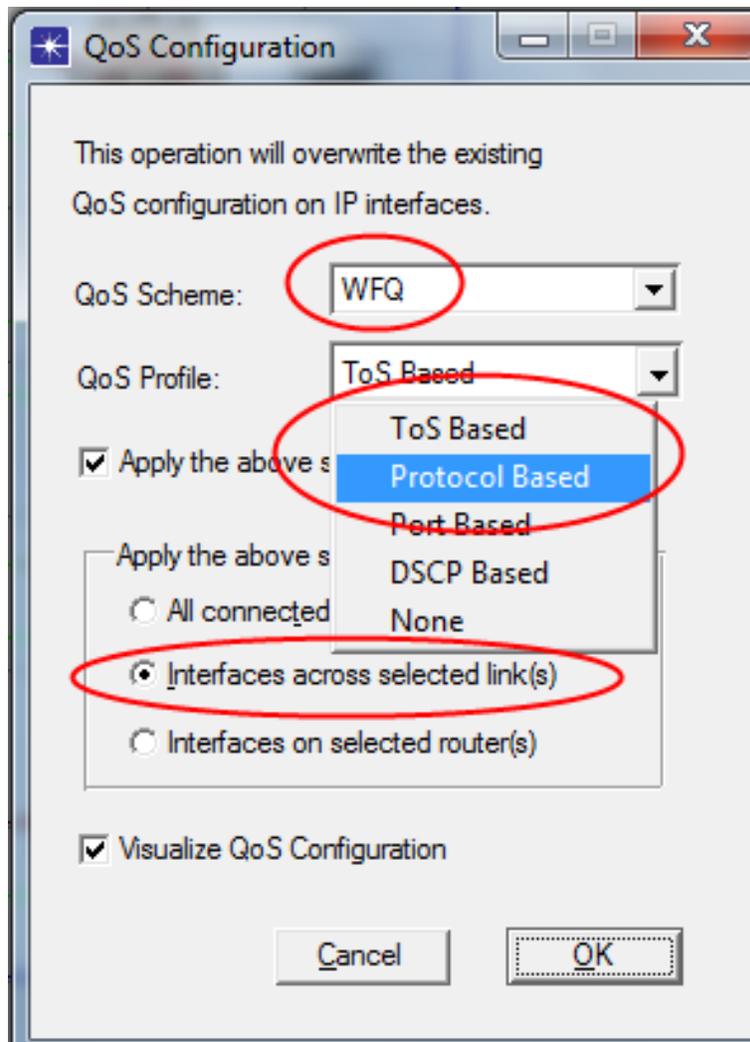
Fuente: Propia

Una vez que los perfiles de calidad de servicio están configurados, se le asignan cada perfil a los enlaces adecuados, es decir, a los enlaces entre las LAN y los AP se les asigna Best Effort y a los enlaces entre los usuarios VoIP y los AP se les asigna Interactive Voice. La metodología para esto es:

1. Seleccionar los enlaces
2. Hacer click en *protocols*
3. Abrir la pestaña IP, luego la pestaña QoS y luego la pestaña *Configure QoS*
4. Al abrirse la ventana se seleccionan los perfiles configurados previamente, seleccionando WFQ como *QoS Scheme* y el perfil que corresponda en

QoS Profile. *Protocol Base* para los enlaces de VoIP y *ToS Base* para los enlaces de exploración Web

En la [figura 34](#) se puede observar la configuración de estos enlaces y en la [figura 35](#) se puede observar que los enlaces cambian de color ya que ahora tienen el QoS configurado.



**Figura 34: Asignación de perfiles de QoS**  
Fuente: Propia

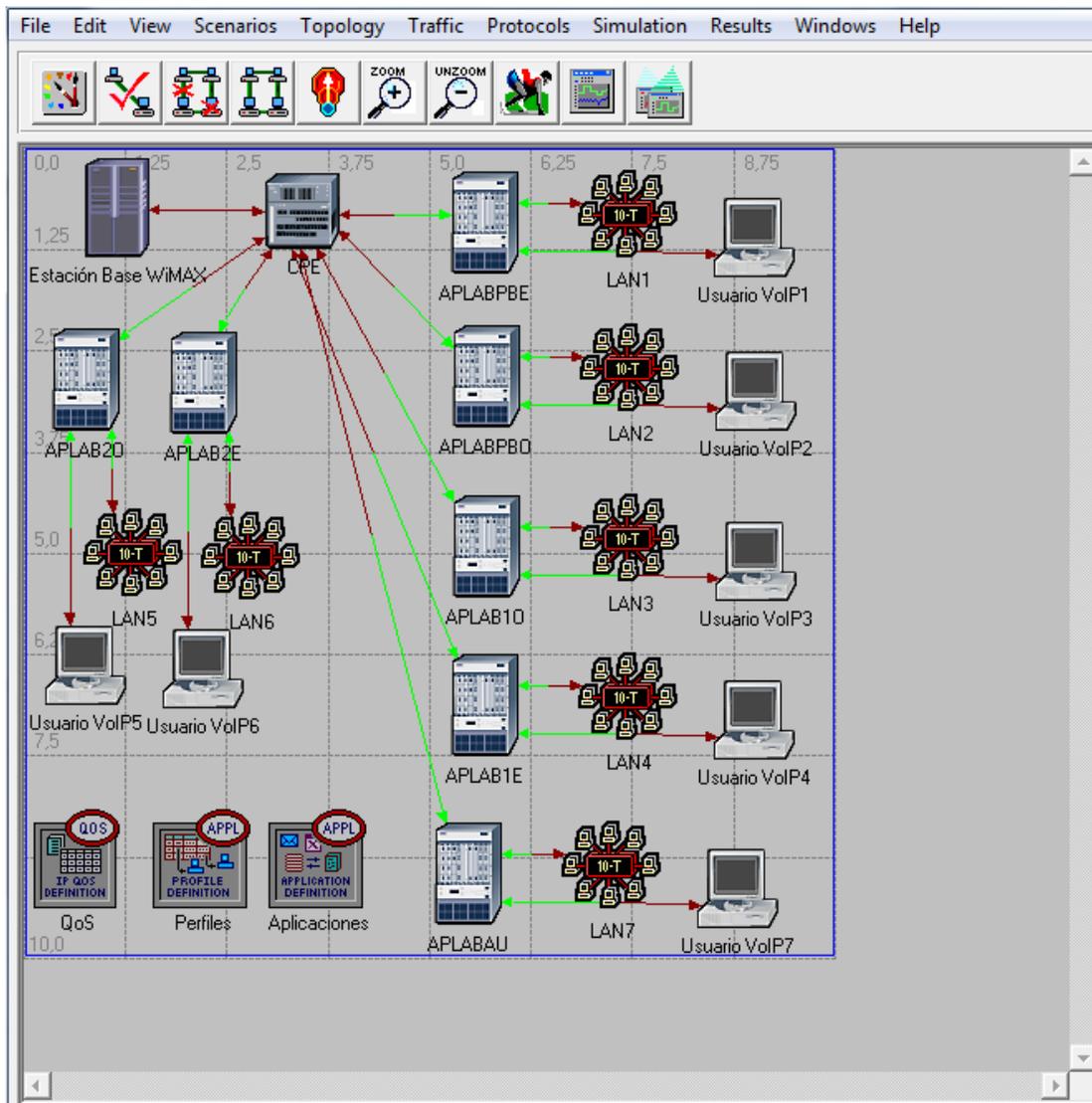


Figura 35: Modelo de Topología de Red Con QoS configurado

Fuente: Propia

Una vez que el QoS fue configurado en los enlaces correspondientes a cada CPE, se ejecutó la Simulación de la Red que aunque no está utilizando terminales WiMAX, se asemeja en cuanto a desempeño gracias a las políticas de QoS configuradas en esta topología. Los resultados obtenidos de esta simulación se pueden observar en el apartado IV.4.2.

## Capítulo IV Resultados

En este capítulo, se darán a conocer los resultados obtenidos en cada fase de este Trabajo Especial de Grado. A continuación se presenta un esquema de la organización de los resultados obtenidos para la realización de este proyecto. Estos resultados fueron obtenidos a través de investigación teórica y de antecedentes, cálculos, estimaciones, simulaciones y proyecciones de la Red Inalámbrica con tecnología WiMAX diseñada para la UCAB



**Figura 36: Esquema de Resultados**  
Fuente: Propia

#### IV.1 Parámetros a usar en el diseño de la nueva red

- Estándar WiMAX a usar: el estándar más adecuado para realizar el diseño es 802.16d ó WiMAX fijo ya que es el único que permite tener una red local propia, sin necesidad de proveedores de servicio de Internet lo que lo hace más económico y en comparación con 802.16e además de que tiene compatibilidad con 802.11g, estándar de los puntos de acceso actuales de la UCAB.
- Frecuencia: el valor adecuado es 3.5 GHz ya que esta frecuencia se encuentra en la banda libre, por lo cual no hay que sacar permisos con CONATEL, lo cual facilita la ejecución del proyecto y también lo hace más económico. Con esta frecuencia, WiMAX puede funcionar bajo condiciones sin línea de vista lo cual facilita el despliegue de la Red Inalámbrica WiMAX en cualquier locación de la Universidad Católica Andrés Bello y permite velocidades teóricas de hasta 70 Mbps.

También se han podido determinar características de la arquitectura interna de WiMAX en caso de ser implementada como:

- Interfaz aérea: va a utilizar *WirelessMAN-OFDM* ya que es la única con la capacidad de soportar el despliegue de accesos fijos, además de que su uso es obligatorio para las bandas no licenciadas. El uso de OFDM permitirá que la red pueda generar una alta tasa de transmisión al dividir el flujo de datos en muchos canales paralelos que se transmiten con portadora de banda estrecha.
- Modulación: dado que las diferentes distancias entre la Estación Base WiMAX y cada CPE ubicado en distintas zonas de la Universidad Católica Andrés Bella son relativamente cortas, la modulación utilizada por la interfaz aérea será 64QAM, la cual es la modulación más robusta de los sistemas WiMAX ya que permite mayores tasas de transferencia en comparación con otros mecanismos de modulación como por ejemplo PSK, PSK, o cualquier otro método de modulación que soporte WiMAX.

## IV.2 Evaluación Técnica de la Red WiFi de la UCAB

Zona de la Universidad		Cantidad de usuarios	Potencia de la Señal
Edificio Cincuentenario	PB	54	-59 dBm
	Mezzanina	57	-67 dBm
	Piso 1	/	-81 dBm
	Piso 2	/	-84 dBm
	Piso 3	/	-87 dBm
	Piso 4	/	-89 dBm
	Piso 5	/	-90 dBm
Edificio Postgrado	PB	/	-91 dBm
	Piso 1	36	-71 dBm
	Piso 2	13	-75 dBm
Edificio de Módulos	M6 PB	/	-91 dBm
	M6 Piso 3	/	-80 dBm
	M5 PB	/	-90 dBm
	M5 Piso 3	/	-73 dBm
	M4 PB	61	-57 dBm
	M4 Piso 3	/	-79 dBm
	M3 PB	72	-78 dBm
	M3 Piso 3	/	-78 dBm
	M2 PB	/	-84 dBm
	M2 Piso 3	/	-83 dBm
	M1 PB	69	-75 dBm
	M1 Piso 3	/	-90 dBm
	Biblioteca	PB	72
Piso 1		78	-60 dBm
Piso 2		96	-56 dBm
Piso 3		81	-59 dBm
Laboratorios	PB o	74	-64 dBm
	PB e	82	-66 dBm
	Piso 1 o	87	-67 dBm
	Piso 1 e	81	-70 dBm
	Piso 2 o	78	-69 dBm
	Piso 2 e	41	-72 dBm
Edificio Loyola	PB	12	-54 dBm
Áreas	Solarium	74	-74 dBm
	Feria	80	-73 dBm

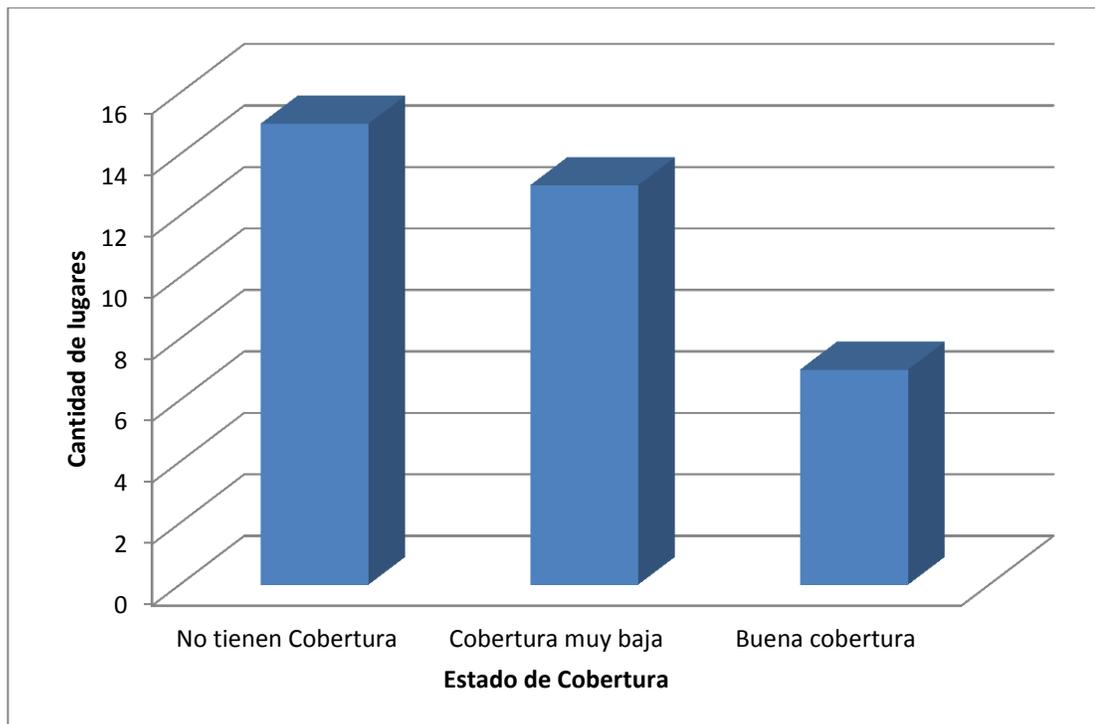
**Tabla 1: Evaluación Técnica Red Inalámbrica UCAB**

Fuente: Propia

Los datos de la [Tabla #1](#) fueron recolectados por última vez el 17 de enero de 2012 para así contar con las cifras más actualizadas posibles. Como se puede observar en dicha tabla, hay zonas del campus de la UCAB que no cuentan con suficiente potencia de señal WiFi para establecer una conexión inalámbrica estable entre los usuarios y los puntos de acceso, la potencia de señal más baja que se podría tener para establecer una buena conexión son -75dB.

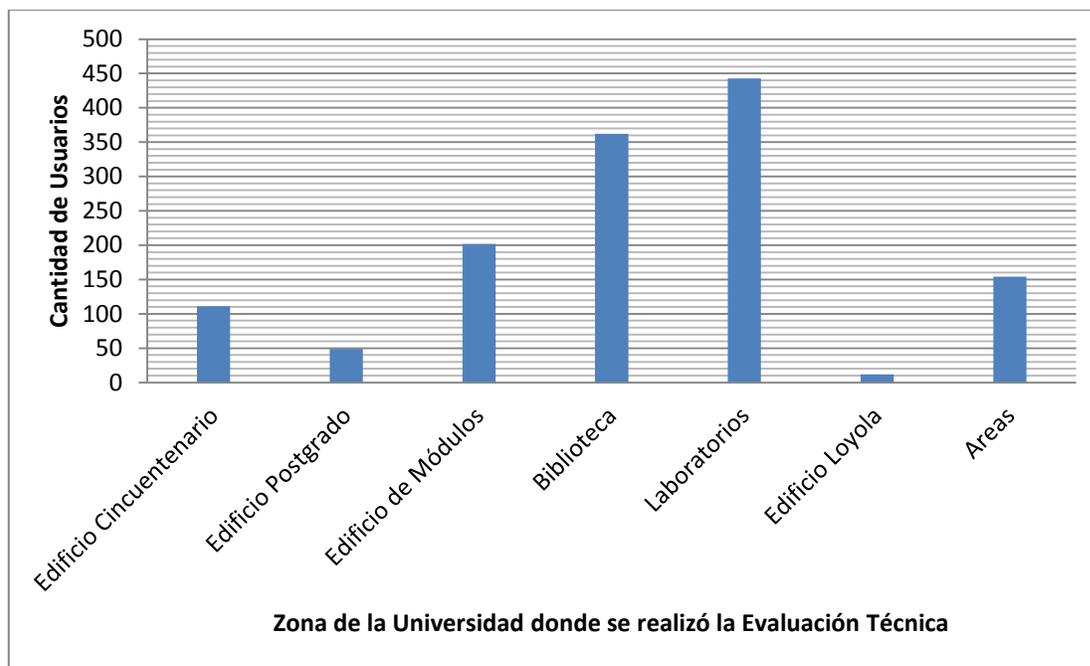
Según estos datos, la red WiFi de la universidad tiene aproximadamente 1300 usuarios, por lo cual la red a diseñar debe tener soporte para esta cantidad de usuarios o más.

En el [gráfico 1](#), se puede ver de forma generalizada cuantas zonas de la universidad tienen una cobertura óptima para establecer una conexión entre los Access Points y los dispositivos de los usuarios (laptops, tabletas, smartphones).



**Gráfico 1: Estado de Cobertura en las zonas estudiadas de la UCAB**  
Fuente: Propia

Como se puede observar, en el [gráfico 1](#), la mayoría de las zonas estudiadas no tienen cobertura suficiente para establecer una conexión entre los usuarios y los access points, mientras que otras tienen una cobertura baja donde la conexión no sería estable y solo un pequeño porcentaje de las zonas que se estudiaron presentan un buen nivel de cobertura. En el [gráfico 2](#), se puede observar la diferencia de densidad de usuarios en las distintas zonas de la Universidad.



**Gráfico 2: Cantidad de Usuarios en cada zona estudiada de la UCAB**  
Fuente: Propia

En el [gráfico 2](#), se puede observar que la mayor cantidad de usuarios se encuentran en la Biblioteca y en el Edificio de Laboratorios, zonas donde la cobertura de red es bastante óptima y se pueden establecer conexiones estables entre los dispositivos con tecnología WiFi y los puntos de acceso colocados en estas zonas.

La comunidad Ucabista ya tiene conocimiento que estos son los lugares que tienen mayor cobertura de Red WiFi por lo que acuden a estos lugares para hacer uso de la red, ya sea para investigaciones académicas, revisión de correo electrónico e incluso actividades de ocio. Tomando en cuenta que estos puntos de acceso no tienen

configurados ninguna política de QoS y su capacidad de Ancho de Banda es muy escasa, estos no pueden brindarle a tan alta cantidad de usuarios un servicio eficiente de Internet Inalámbrico.

Se estima que el Edificio de Módulos sería el Edificio con mayor demanda de usuarios ya que es donde se encuentra la mayor cantidad de Aulas en el campus de la UCAB, valor que no se pudo demostrar con la realización de la Evaluación Técnica dado que los niveles de cobertura de la Red Inalámbrica WiFi en este Edificio son muy bajos y muy pocos usuarios pueden establecer una conexión.

### **IV.3 Diseño y Dimensionado de la Red Inalámbrica con tecnología WiMAX**

En la [figura 37](#) se observa un bosquejo de la red inalámbrica con tecnología WiMAX diseñada para las instalaciones de la UCAB. El diseño de la figura 31 incluye:

- Una (1) Estación Base WiMAX 802.16d. ([ver anexo 1](#))
- Una (1) Antena omnidireccional de 3,5 GHz ([ver anexo 5](#))
- Diez (10) CPE's. ([ver anexo 2](#))
- Diez (10) *Switches* ([ver anexo 6](#))
- Cuarenta (46) Puntos de acceso ([ver anexo 7](#))
- Cuarenta y cuatro (44) Antenas omnidireccionales Indoor ([ver anexo 9](#))
- Dos (2) Antenas omnidireccionales Outdoor (ver [anexo 10](#))

La Estación Base seleccionada es la PacketMAX 3000 de Aperto Networks. Con la PacketMAX 3000, Aperto, presenta toda la tecnología WiMAX, en un equipo de un solo sector de dimensiones reducidas y apilable. Es un producto ideal para entrar en la tecnología sin gran despliegue, dejando la puerta abierta a crecer en el futuro sin complejidad, encajando también como elemento para ampliar zonas de cobertura. PacketMAX 3000, es un equipo completamente certificado por el WiMAX fórum, siendo una solución que permite, a un coste reducido, ofrecer servicios de voz y multimedia (Selesta Networks, 2012).

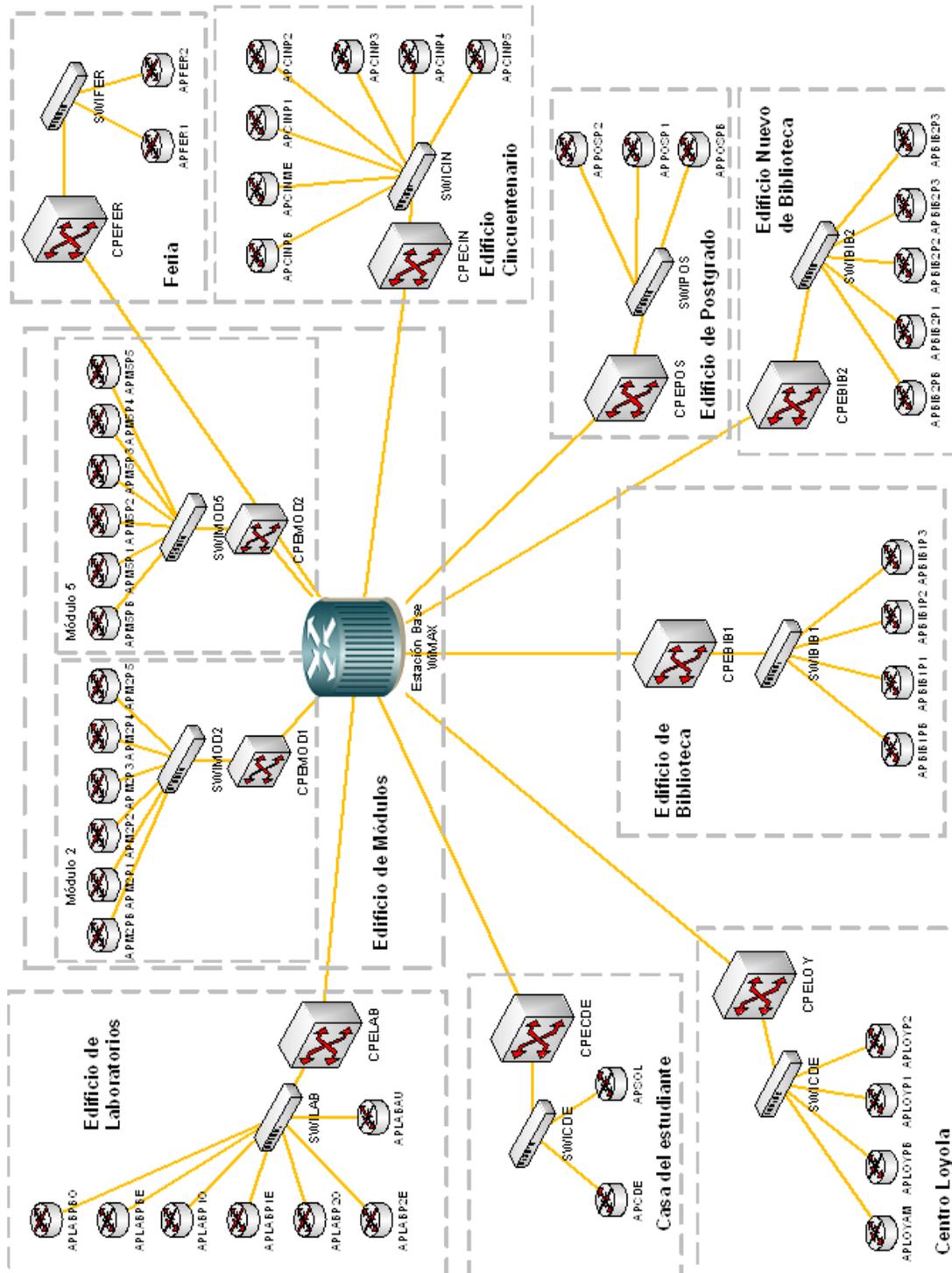


Figura 37: Diseño de Red Inalámbrica con tecnología WiMAX en el campus de la UCAB  
Fuente: Propia

Los CPE a utilizar son los PacketMax 320 de Aperto Networks. PacketMAX 320, se trata de la unidad de cliente exterior que cumple con el estándar WiMAX (802.16-2004) y actualizable vía software (802.16e-2005). El PacketMAX 320, permite ofrecer todo el rango de funcionalidades requeridas por este tipo de mercado, permitiendo conectividad a alta velocidad a un elevado número de aplicaciones y usuarios.

En cuanto a los *switches*, se pueden usar los que la UCAB tiene actualmente, en caso de que se necesiten más *switches* se recomienda utilizar los *Cisco Catalyst 2950 12 Switch*, estos dispositivos ofrecen 12 puertos y estarán conectados a cada CPE. Estos *switches* estarán conectados a los puntos de acceso por medio de un cable Ethernet.

Los puntos de acceso propuestos, son TP-LINK TL-WA5110G, estos terminales tienen una potencia de transmisión wireless de 20dBm y tiene la cualidad de que su antena de transmisión es desprendible y se puede colocar una con mayor ganancia para espacios grandes como es el caso de la UCAB. Se seleccionaron dos tipos de antena, una para ambientes externos como feria y solárium y otra para ambientes internos para el resto de la Universidad.

La cantidad de teléfonos VoIP no se incluirá en el diseño ya que esto dependería de cuantos clientes VoIP desea la UCAB tener, se propone que se utilicen los *Cisco Unified Wireless IP Phone 7925G*, ya que estos dispositivos no necesitan central telefónica y pueden ser conectados directamente de forma inalámbrica al punto de acceso WiFi más cercano, lo cual hace que su instalación sea muy sencilla una vez que se le den los permisos de conexión por el punto de acceso. Para el servicio de telefonía IP, la UCAB tiene dos opciones:

1. Contratar el servicio de un proveedor de telefonía IP, ya sea NET UNO o Inter, el proveedor se conectaría a la Estación Base WiMAX y la Red Inalámbrica de la UCAB, administraría los recursos de telefonía IP.

2. La UCAB puede tener su propio servidor de telefonía IP, comprando un bloque de números o de disponibilidad y luego hacer el diseño de esta solución, esta opción sería más económica a largo plazo.

Tomar la decisión de que opción utilizar para telefonía IP en la UCAB quedaría en manos de la Dirección de Tecnologías de Información de esta.

#### IV.4 Estimación de los parámetros de transmisión y propagación de ondas

Como se explicó en el apartado III.3.1, se estimaron parámetros de transmisión y de propagación de ondas.

##### IV.4.1 Estimación de parámetros de transmisión

Ya sabemos que por la corta distancia entre la Estación Base WiMAX y los CPE, la interfaz aérea estará siempre modulando la señal con 64 QAM, la cual va a permitir las más altas tasas de transferencias que se pueden obtener en 802.16d. En la [figura 38](#) se muestra la constelación del sistema 64 QAM bajo el cual funcionaría la Red Diseñada en caso de su implementación.

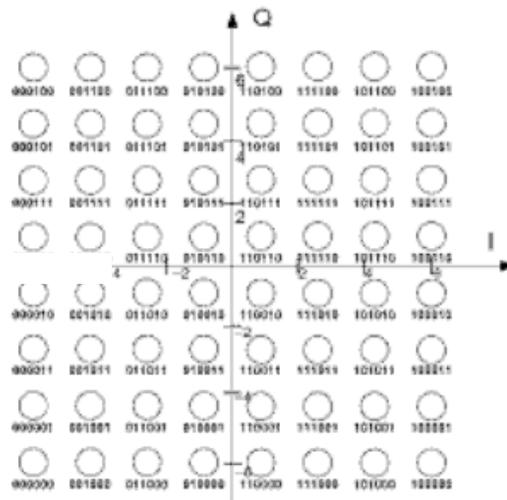


Figura 38: Constelación 64 QAM en 802.16d  
Fuente: (Korowajczuk, 2011)

#### IV.4.2 Estimación de parámetros de propagación

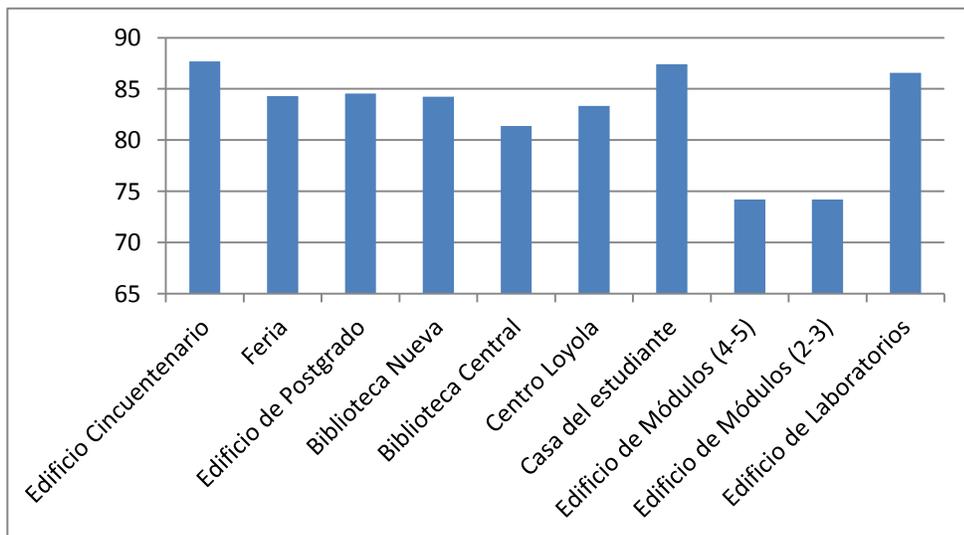
En base a la metodología seguida en el apartado [III.3.2](#), se consiguieron los siguientes resultados.

Locación de cada CPE	Distancia desde BS (Km)	FSL (dB)	Potencia de Rx (dBm)
Edificio Cincuentenario	0,165	87,68103977	-41,74103977
Feria	0,112	84,31572134	-38,37572134
Edificio de Postgrado	0,115	84,54531769	-38,60531769
Biblioteca Nueva	0,111	84,23782046	-38,29782046
Biblioteca Central	0,08	81,39316063	-35,45316063
Centro Loyola	0,1	83,33136089	-37,39136089
Casa del estudiante	0,16	87,41376054	-41,47376054
Edificio de Módulos (4-5)	0,035	74,21272177	-28,27272177
Edificio de Módulos (2-3)	0,035	74,21272177	-28,27272177
Edificio de Laboratorios	0,14531	86,57727094	-40,63727094

**Tabla 2: Estimación de Pérdidas y Potencia recibida en cada enlace**

Fuente: Propia

En la [Tabla 2](#), se puede observar la estimación de pérdidas en el espacio libre y la potencia recibida en cada enlace. El factor que define estos valores es principalmente la distancia entre la Estación Base WiMAX y cada CPE.

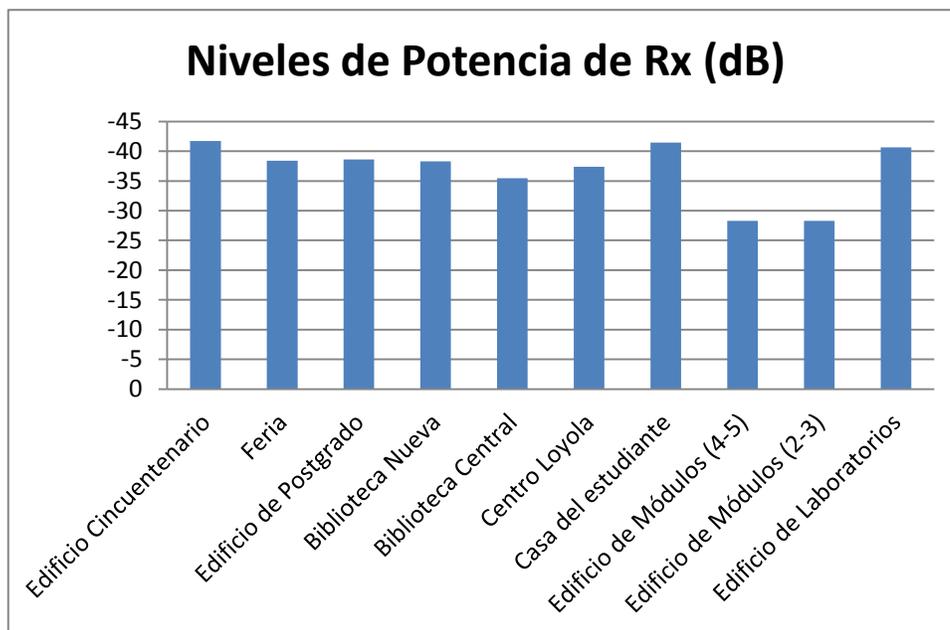


**Gráfico 3: Nivel de FSL en cada enlace**

Fuente: Propia

En el [gráfico 3](#), se puede observar que los niveles de FSL son muy diferentes en cada zona de la Universidad y que este valor dependerá de la distancia de cada CPE con la Estación Base WiMAX, mientras mayor sea la distancia entre estos dispositivos, mayor será el nivel de FSL.

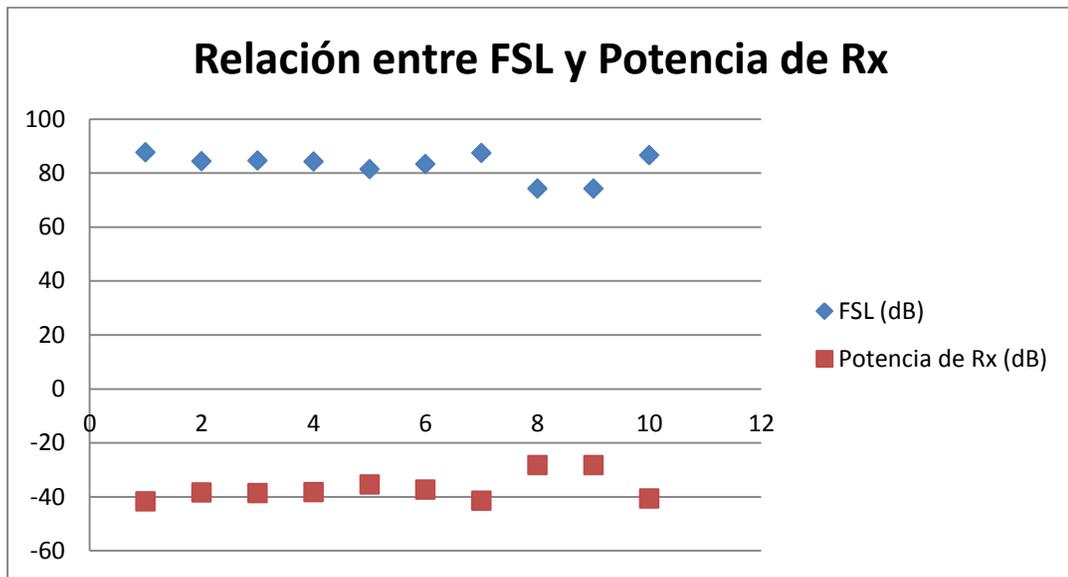
En el [gráfico 4](#), se observan los niveles estimados de Potencia de Rx en cada CPE, se puede observar que los mayores niveles están en el Edificio de Módulos ya que son los que están más cercanos a la Estación Base y acorde al [gráfico 3](#) son los que tienen menor nivel de FSL.



**Gráfico 4: Niveles de Potencia de Rx en cada CPE**

Fuente: Propia

En el [gráfico 5](#), se puede observar la relación entre la potencia de Rx y los niveles de FSL en cada receptor, donde se ve claramente que mientras mayor sean los niveles de pérdidas por propagación mayor será el nivel de potencia recibido en el receptor.



**Gráfico 5: Relación entre FSL y Potencia de Rx**  
Fuente: Propia

La sensibilidad de los CPE PacketMax 320, es de -100dB, valor mucho menor a las potencias de Rx en cada receptor, por lo cual la calidad del enlace será óptima y el funcionamiento de la interfaz aérea de la red WiMAX en cada enlace estará bajo altos niveles de calidad.

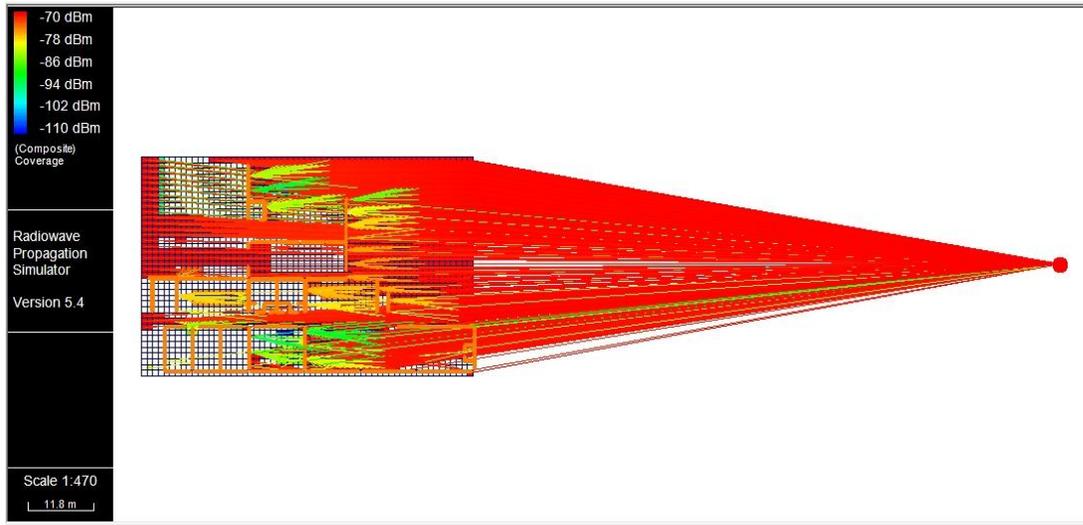
#### **IV.5 Simulación de la red inalámbrica con tecnología WiMAX**

La simulación de la red diseñada está dividida en dos partes:

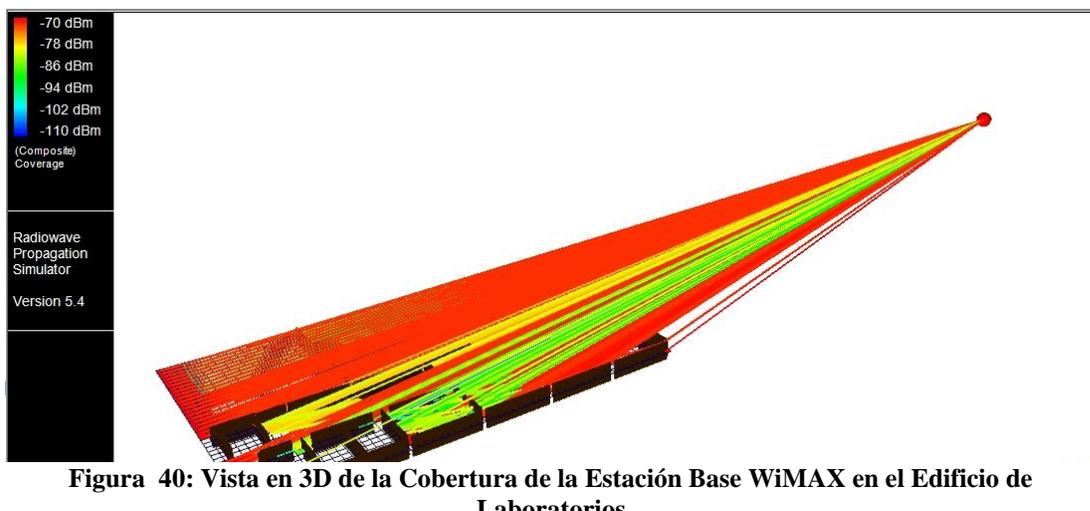
- Simulación de Cobertura.
- Simulación de Calidad de Servicio QoS.

##### **IV.5.1 Simulación de cobertura WiMAX haciendo uso de Radio Plan**

En las figura 39 y 40 se puede observar la cobertura de la Estación Base WiMAX en 2D y 3D respectivamente, en la entrada de la PB del Edificio de Laboratorios por las limitaciones del *software* mencionadas previamente.



**Figura 39: Vista en 2D de la Cobertura de la Estación Base WiMAX en el Edificio de Laboratorios**  
Fuente: Propia



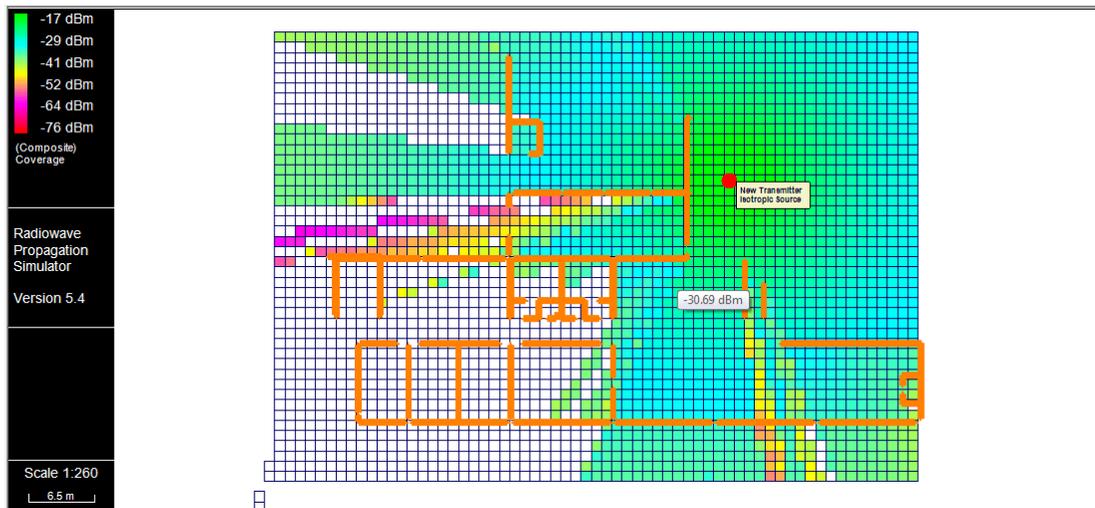
**Figura 40: Vista en 3D de la Cobertura de la Estación Base WiMAX en el Edificio de Laboratorios**  
Fuente: Propia

En las figuras [39](#) y [40](#), se puede observar que por la limitación del *software* Radio Plan de que no se carga el plano completo del Edificio de Laboratorios en el modo de propagación, la señal no sufre ningún tipo de interferencia y según la escala ubicada en la parte superior izquierda la potencia de la señal es casi optima en todo el edificio de Laboratorio. Por ser WiMAX una tecnología que tiene un gran alcance ya sea con o sin línea de vista podría esperarse un comportamiento similar al observado

en las figuras 39 y 40 pero en este caso no puede asumirse que este mapa de cobertura sería aproximado al verdadero en caso de la implementación del proyecto.

#### IV.5.2 Simulación de cobertura WiFi haciendo uso de Radio Plan

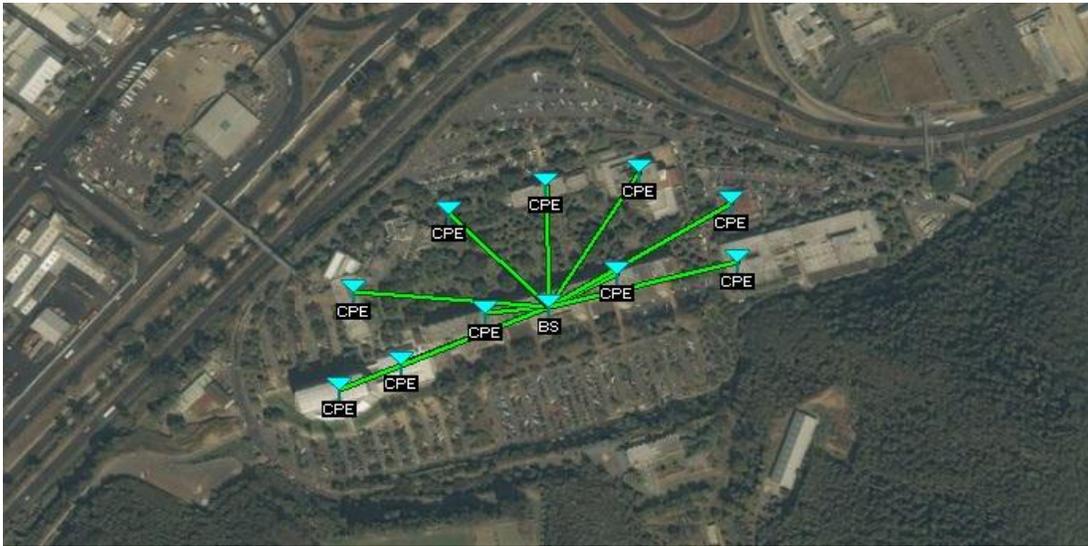
En las figura 41 se puede observar la cobertura del punto de acceso WiFi en 2D, en el plano del punto anterior.



Como se puede observar en la figura 41, el punto de acceso WiFi ubicado dentro del Auditorio de Ingeniería del Edificio de Laboratorios, tiene una óptima cobertura en la superficie donde se está realizando el estudio, la razón por la cual hay zonas en la que no se ve el nivel de señal es porque por limitaciones de *software* los rayos pueden atravesar solo dos obstáculos. Se puede observar que la potencia WiFi recibida en el punto donde se realizó la evaluación técnica es de 30,69dBm mientras que en la evaluación técnica se obtuvo una potencia de Rx de -64dBm.

#### IV.5.3 Simulación de cobertura haciendo uso de Radio Mobile

En la figura 42, se observa el enlace entre la Estación Base WiMAX y los CPE's ubicados en todo el campus de la UCAB.



**Figura 42: Enlaces entre la Estación Base WiMAX y los CPE de cada Edificio de la UCAB.**  
Fuente: Propia

En la [figura 42](#), se puede observar como los enlaces entre la Estación Base WiMAX y los CPE tienen una conexión óptima cumpliéndose lo esperado teóricamente, que la estación base WiMAX tendría cobertura en todo el campus de la UCAB. El único inconveniente que estos presentan es que en caso de que por algún motivo el enlace entre un CPE y la estación base se caiga, todo el edificio al que pertenece ese CPE no tendría servicio de Internet por lo cual es recomendable la constante monitorización de estos enlaces haciendo revisión periódica de los equipos, que estén alineados correctamente y que efectos como la brisa no los muevan de su posición. Parte de los resultados obtenidos en esta simulación es la verificación de la estimación de los parámetros de propagación por cada enlace.

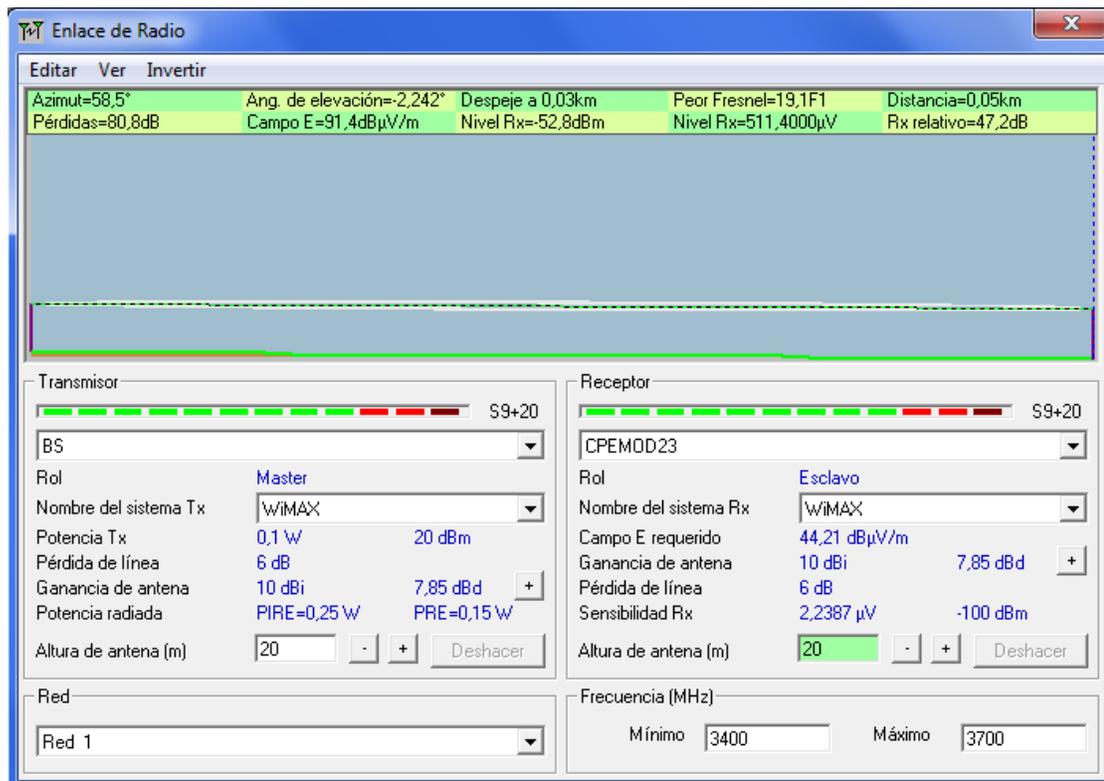
- *Enlace BS-CPEMOD1*

El CPEMOD1, es el CPE ubicado entre los módulos 2 y 3 del Edificio de Aulas de la UCAB. Donde los parámetros estimados fueron:

$$FSL=74,21\text{dB}$$

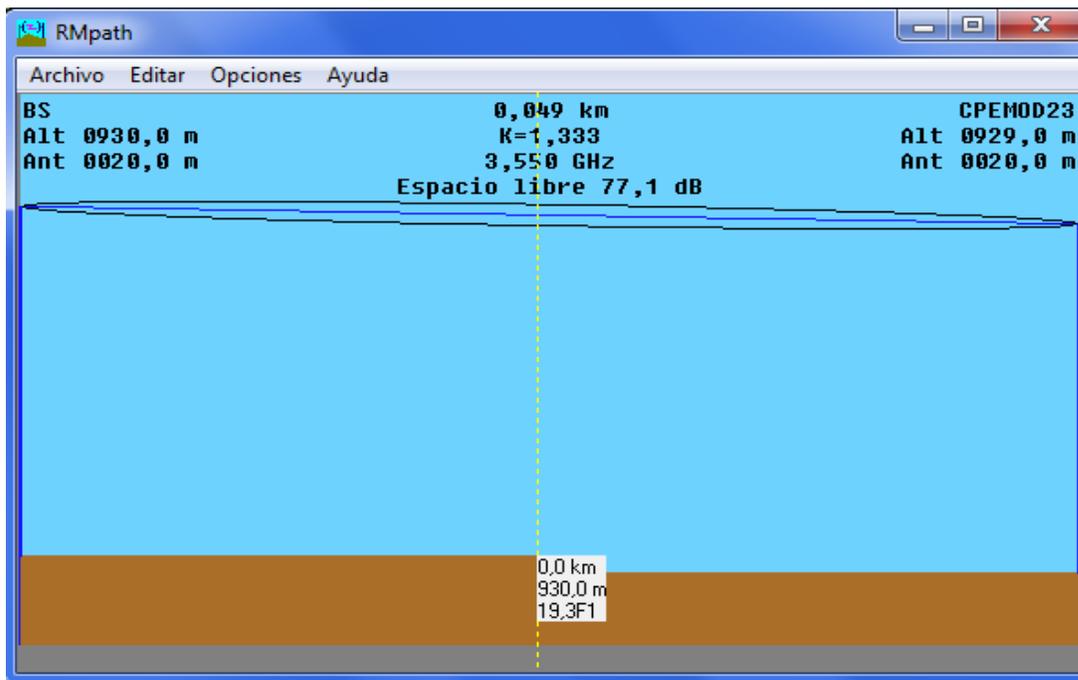
$$Prx= -38,27\text{dBm}$$

En la [figura 43](#), se pueden observar los parámetros de propagación del enlace BS-CPEMOD1 los cuáles son valores cercanos con respecto a los valores hallados teóricamente.



**Figura 43: Enlace de Radio con CPEMOD1**  
Fuente: Propia

En la [figura 44](#), se puede observar la Zona de Fresnel en este enlace.



**Figura 44: Zona de Fresnel con CPEMOD1**  
Fuente: Propia

Como se puede observar en la [figura 44](#), la zona de Fresnel la cual está caracterizada por ser la zona donde se transfiera más de la mitad de la potencia de transmisión entre un transmisor y un receptor no tiene ningún tipo de obstáculos, lo cual permitirá que la señal sea transmitida de forma eficiente.

- Enlace BS-CPEMOD2

El CPEMOD2, es el CPE ubicado entre los módulos 4 y 5 del Edificio de Aulas de la UCAB. Donde los parámetros estimados fueron:

$$FSL=74,21\text{dB}$$

$$Prx= -38,27\text{dBm}$$

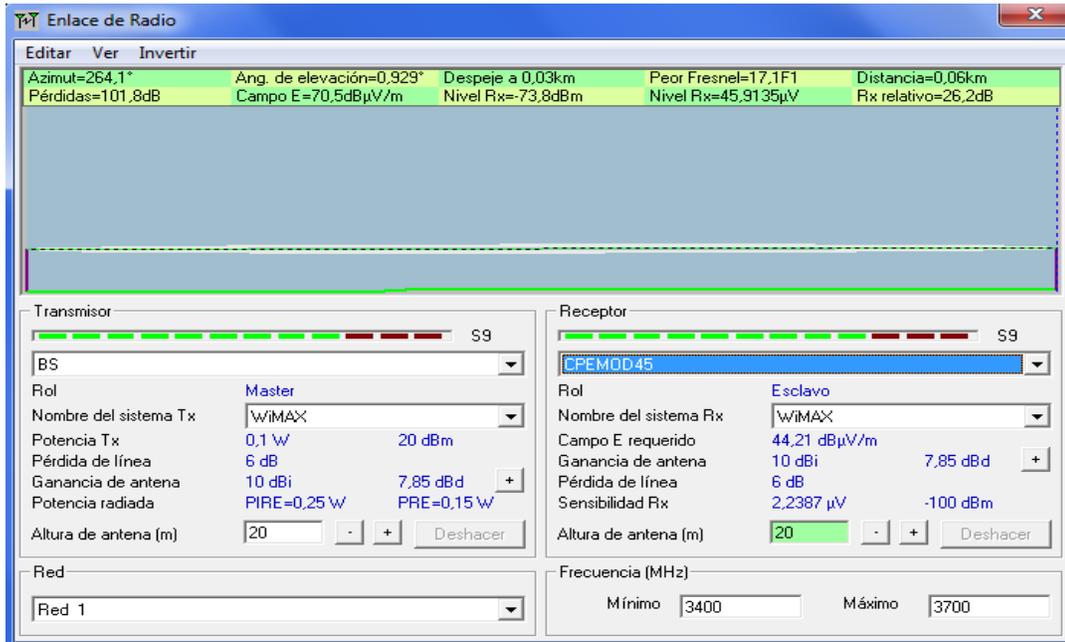


Figura 45: Enlace de Radio con CPEMOD2

Fuente: Propia

En la [figura 45](#), se pueden observar los parámetros de propagación del enlace BS-CPEMOD2 los cuáles son valores cercanos con respecto a los valores hallados teóricamente.

En la [figura 46](#), se puede observar la Zona de Fresnel en este enlace.

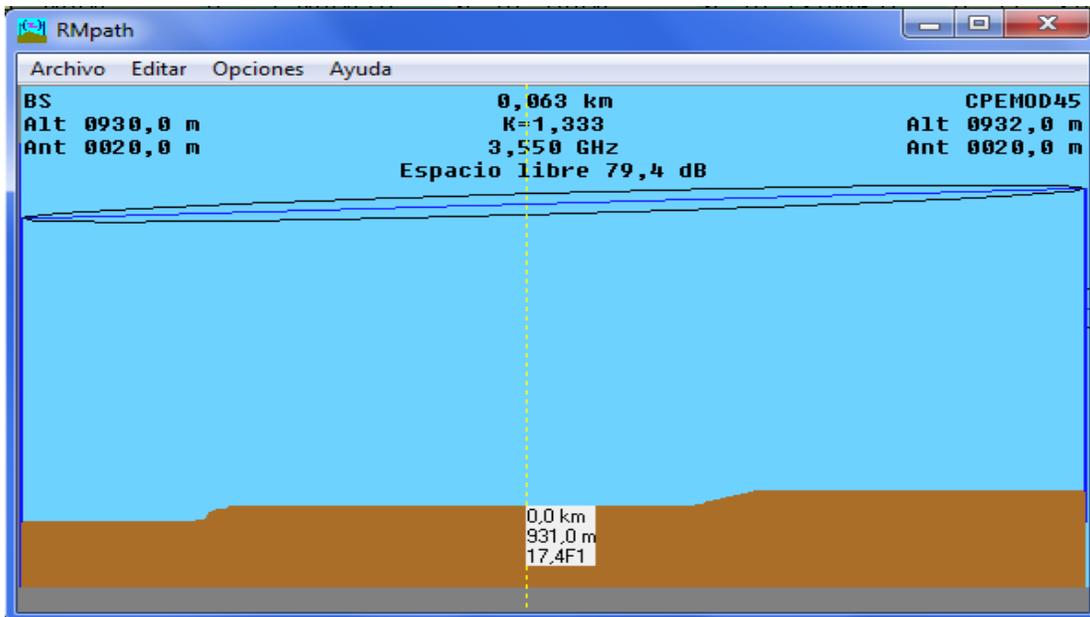


Figura 46: Zona de Fresnel con CPEMOD2

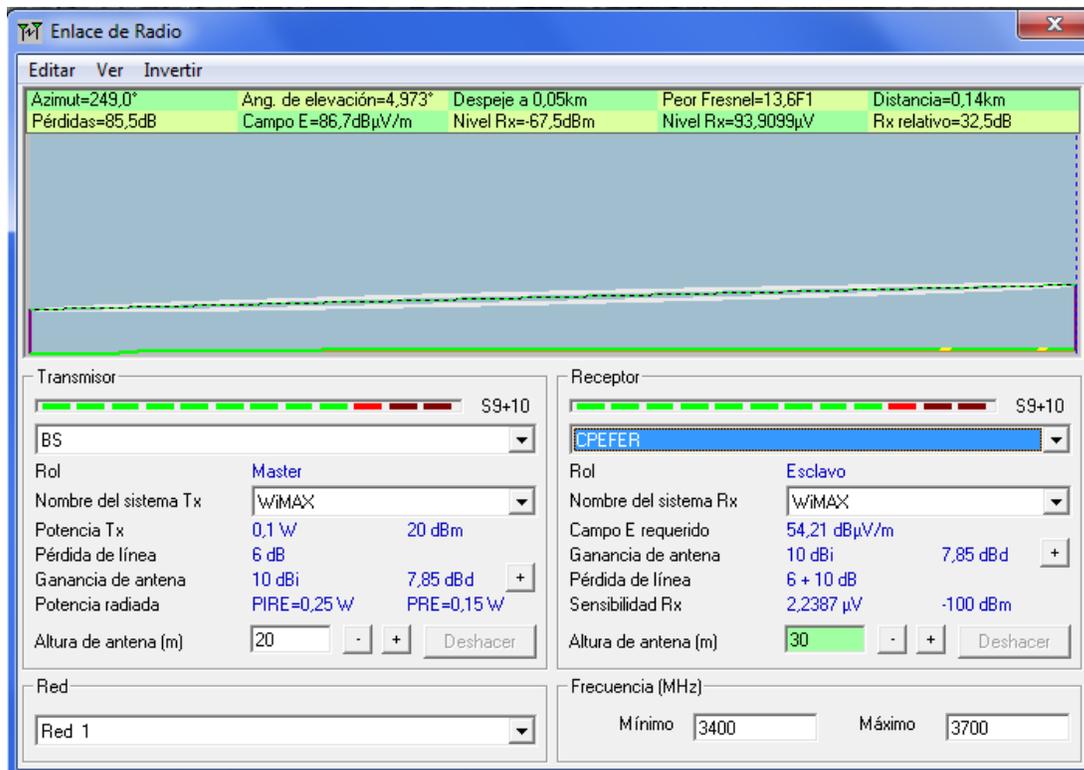
Fuente: Propia

El CPEFER, es el CPE ubicado en el techo de la Feria de la UCAB. Donde los parámetros estimados fueron:

$$FSL=84,31\text{dB}$$

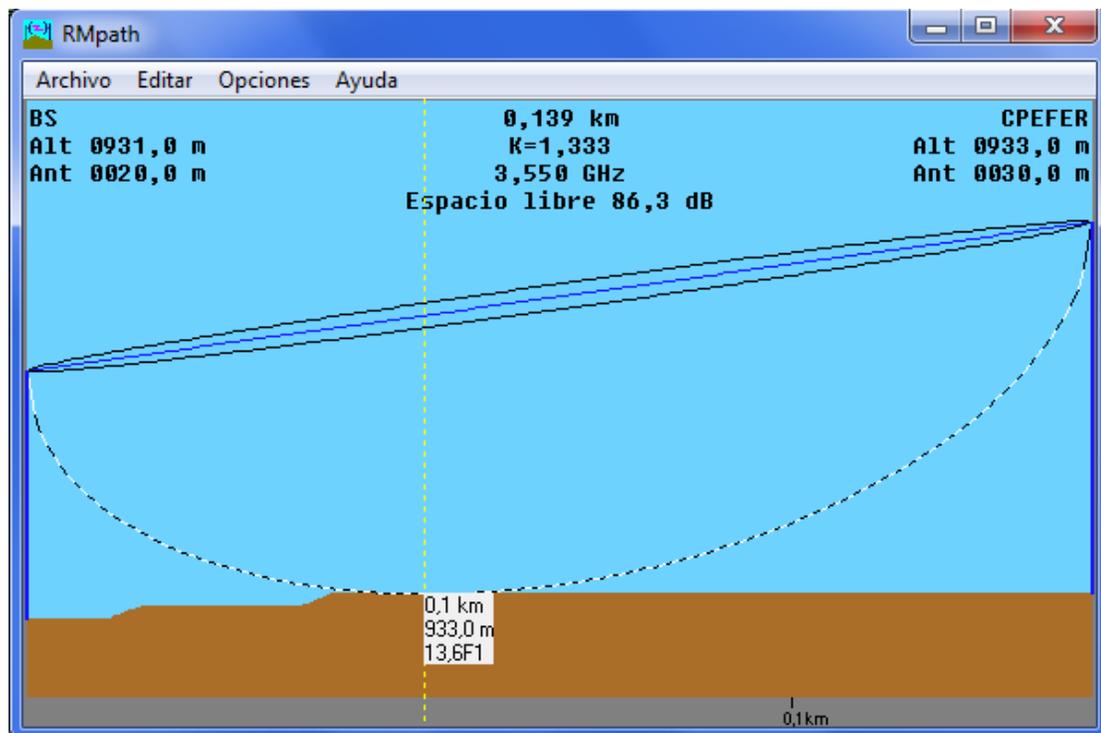
$$Prx= -48,37\text{dBm}$$

En la [figura 47](#), se pueden observar los parámetros de propagación del enlace BS-CPEFER los cuáles son valores cercanos con respecto a los valores hallados teóricamente.



**Figura 47: Enlace de Radio con CPEFER**  
Fuente: Propia

En la [figura 48](#), se puede observar la zona de Fresnel de este enlace.



**Figura 48: Zona de Fresnel con CPEFER**

Fuente: Propia

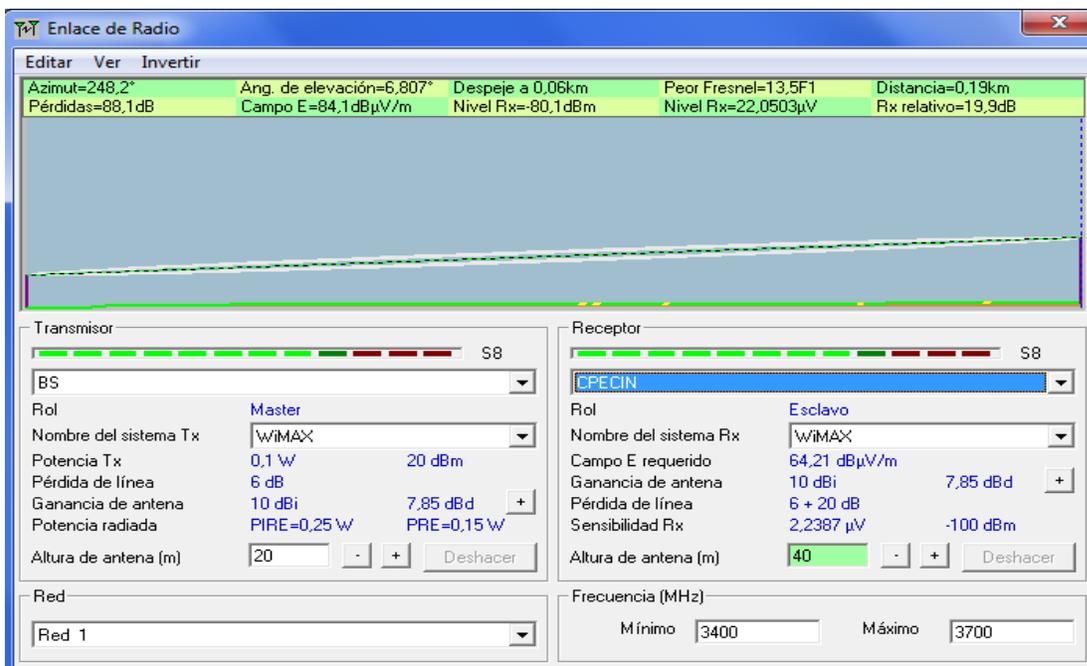
### Enlace BS-CPECIN

El CPECIN, es el CPE ubicado en el techo del Edificio Cincuentenario de la UCAB. Donde los parámetros estimados fueron:

$$FSL=87,68\text{dB}$$

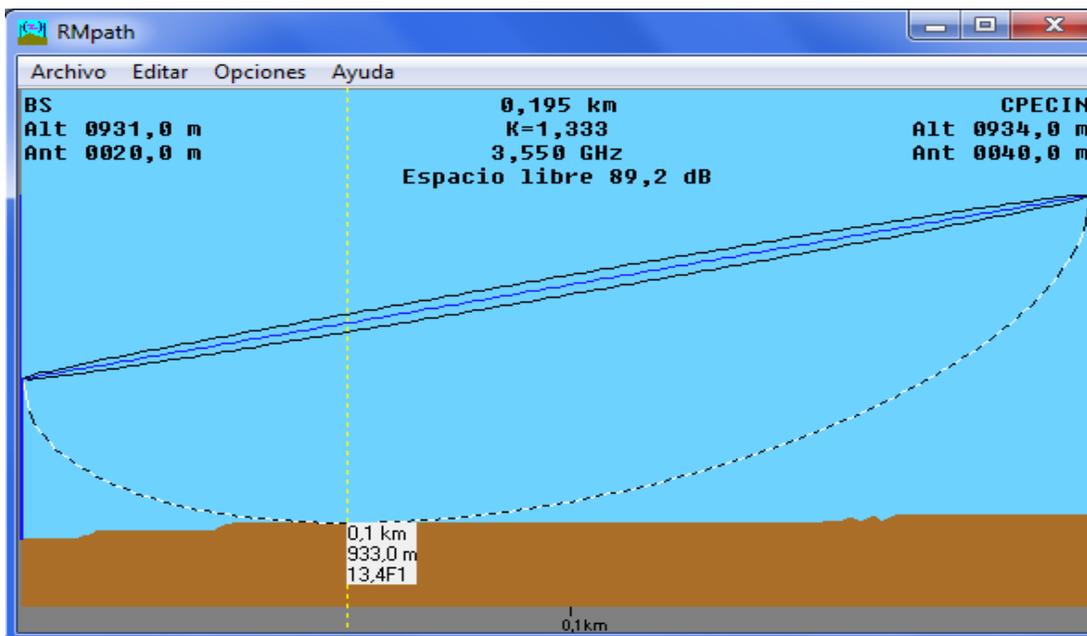
$$Prx= -51,74\text{dBm}$$

En la [figura 49](#), se pueden observar los parámetros de propagación del enlace BS-CPECIN los cuáles son valores cercanos con respecto a los valores hallados teóricamente.



**Figura 49: Enlace de Radio con CPECIN**  
Fuente: Propia

En la [figura 50](#), se puede observar la zona de Fresnel de este enlace.



**Figura 50: Zona de Fresnel con CPECIN**  
Fuente: Propia

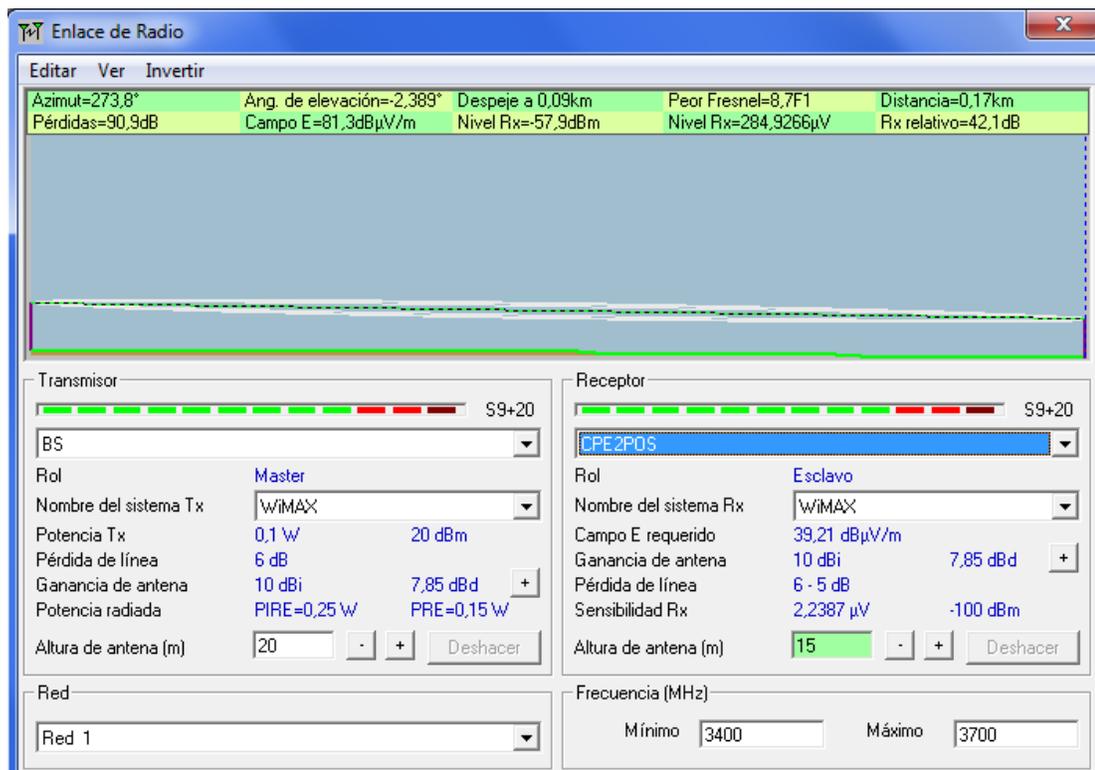
### Enlace BS-CPEPOS

El CPEPOS, es el CPE ubicado en el techo del Edificio de Postgrado de la UCAB. Donde los parámetros estimados fueron:

$$FSL=84,54\text{dB}$$

$$Prx= -48,60\text{dBm}$$

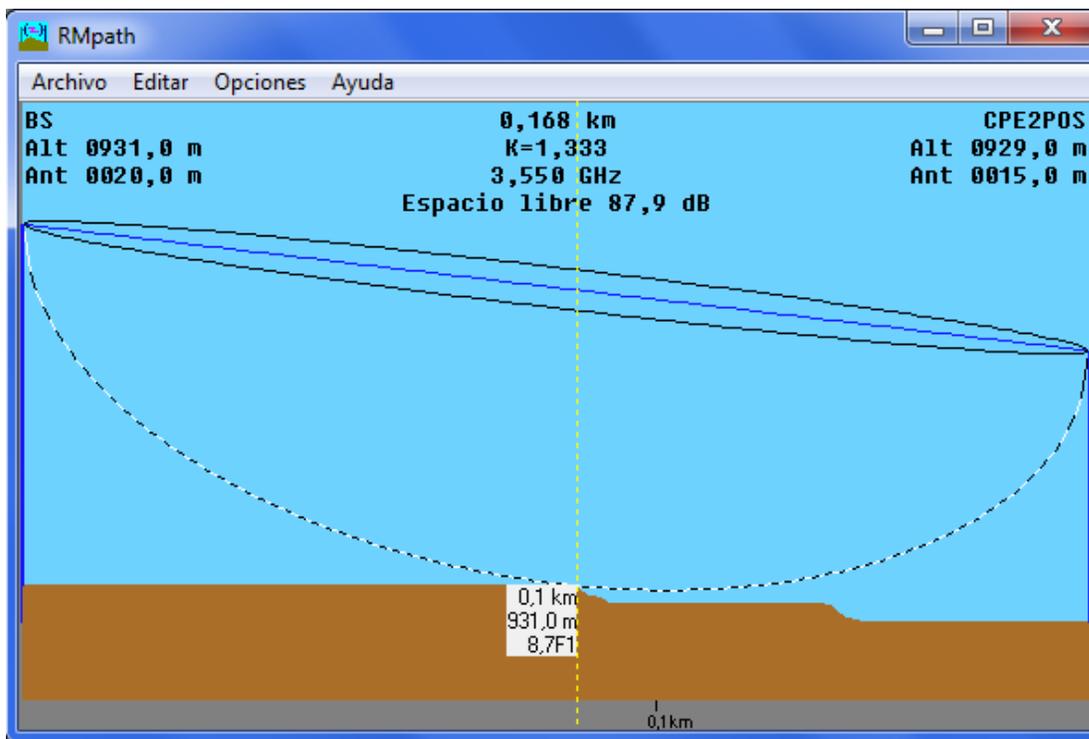
En la figura 51, se pueden observar los parámetros de propagación del enlace BS-CPEPOS los cuáles son valores cercanos con respecto a los valores hallados teóricamente.



**Figura 51: Enlace de Radio con CPEPOS**

Fuente: Propia

En la [figura 52](#), se puede observar la zona de Fresnel de este enlace.



**Figura 52: Zona de Fresnel con CPEPOS**  
Fuente: Propia

### Enlace BS-CPEBIB2

El CPEBIB2, es el CPE ubicado en el techo de la Biblioteca nueva de la UCAB. Donde los parámetros estimados fueron:

$$FSL=84,23\text{dB}$$

$$Prx= -48,29\text{dBm}$$

En la [figura 53](#), se pueden observar los parámetros de propagación del enlace BS-CPEBIB2 los cuáles son valores cercanos con respecto a los valores hallados teóricamente.

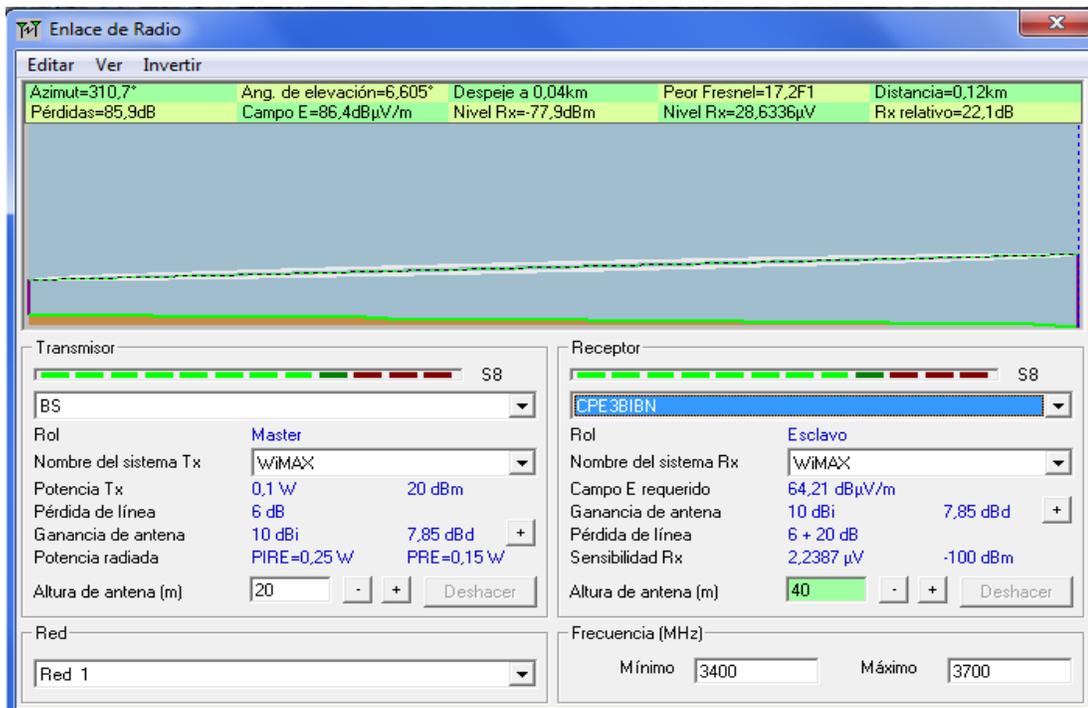


Figura 53: Enlace de Radio con CPEBIB2

Fuente: Propia

En la [figura 54](#), se puede observar la zona de Fresnel de este enlace.

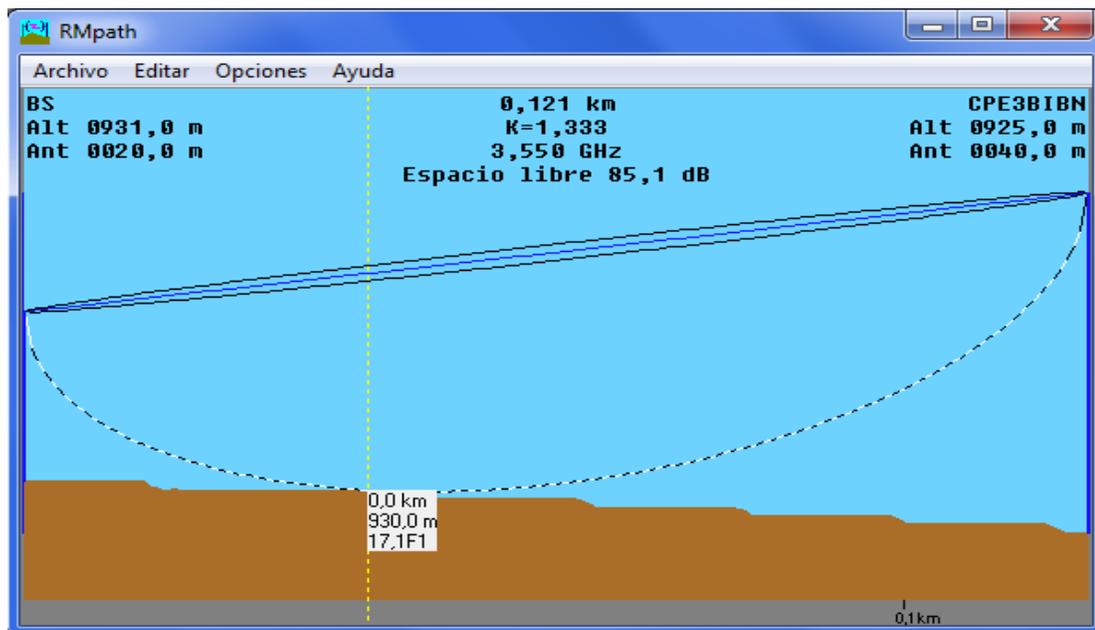


Figura 54: Zona de Fresnel con CPEBIB2

Fuente: Propia

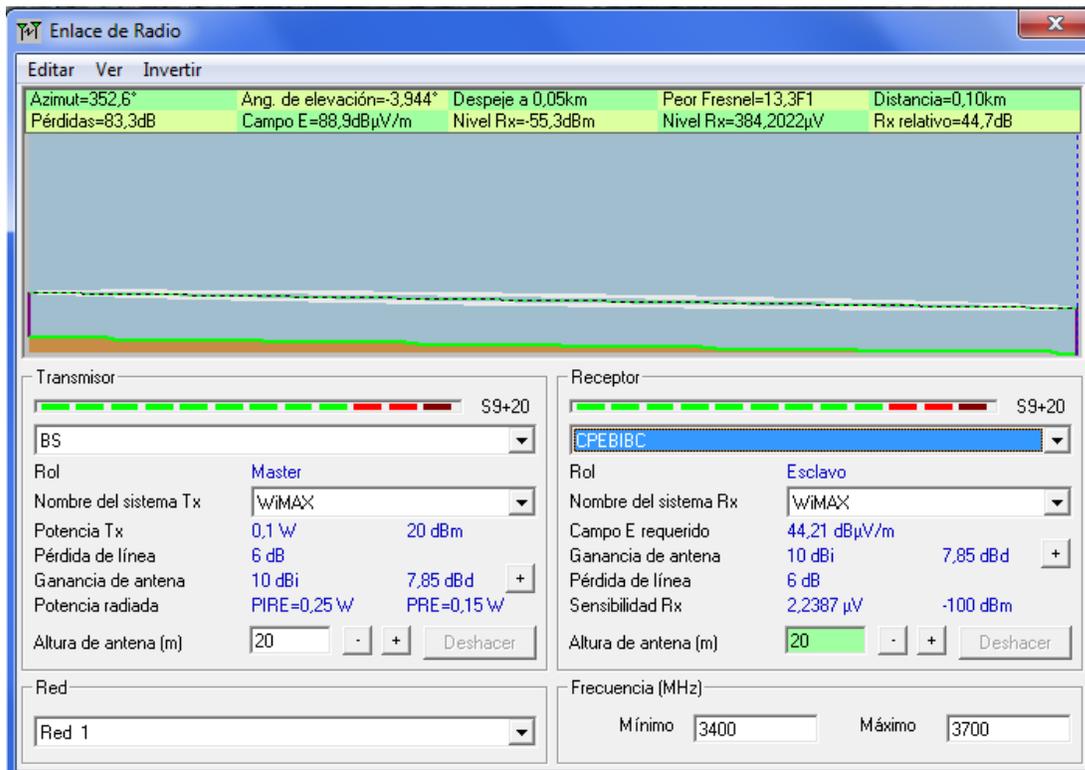
### Enlace BS-CPEBIB

El CPEBIB, es el CPE ubicado en el techo de la Biblioteca Central de la UCAB. Donde los parámetros estimados fueron:

$$FSL=81,39\text{dB}$$

$$Prx= -45,45\text{dBm}$$

En la [figura 55](#), se pueden observar los parámetros de propagación del enlace BS-CPEBIB los cuáles son valores cercanos con respecto a los valores hallados teóricamente.



**Figura 55: Enlace de Radio con CPEBIB**  
Fuente: Propia

En la [figura 56](#), se puede observar la zona de Fresnel de este enlace.

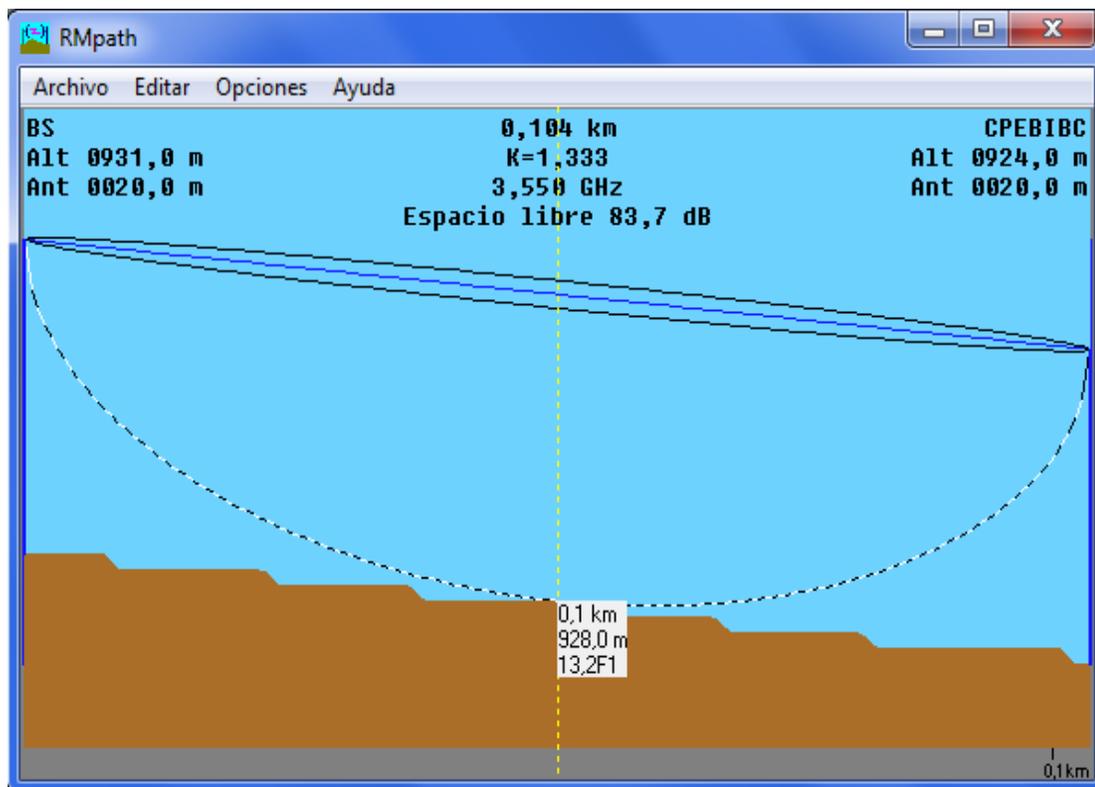


Figura 56: Zona de Fresnel con CPEBIB  
Fuente: Propia

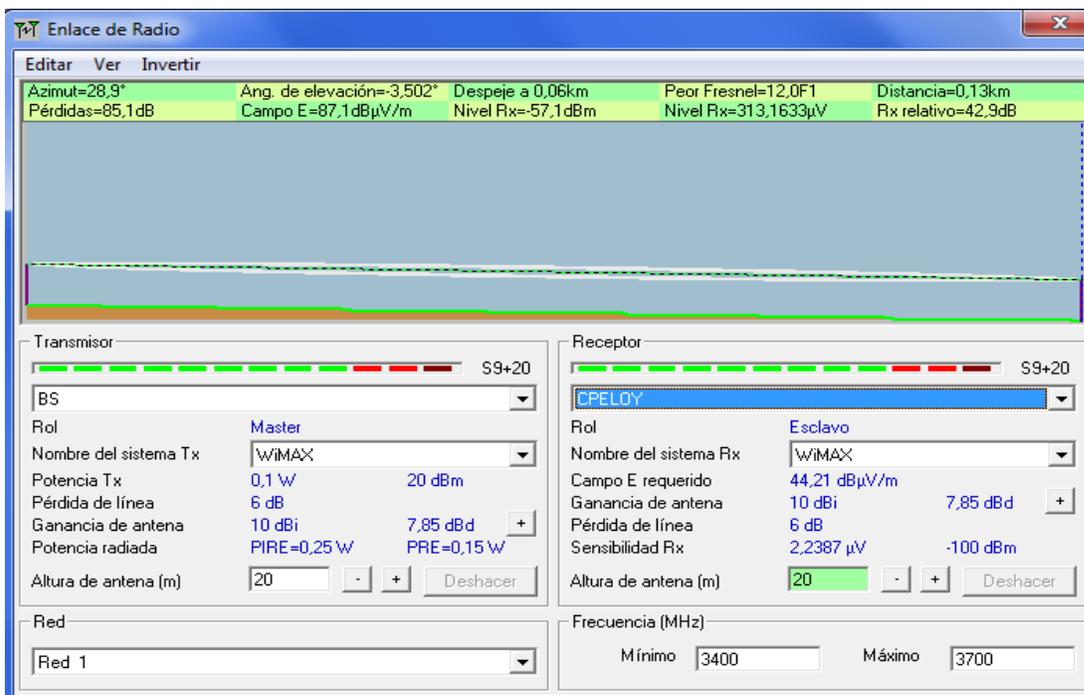
### Enlace BS-CPELOY

El CPELOY, es el CPE ubicado en el techo del Centro Loyola de la UCAB. Donde los parámetros estimados fueron:

$$FSL=83,33\text{dB}$$

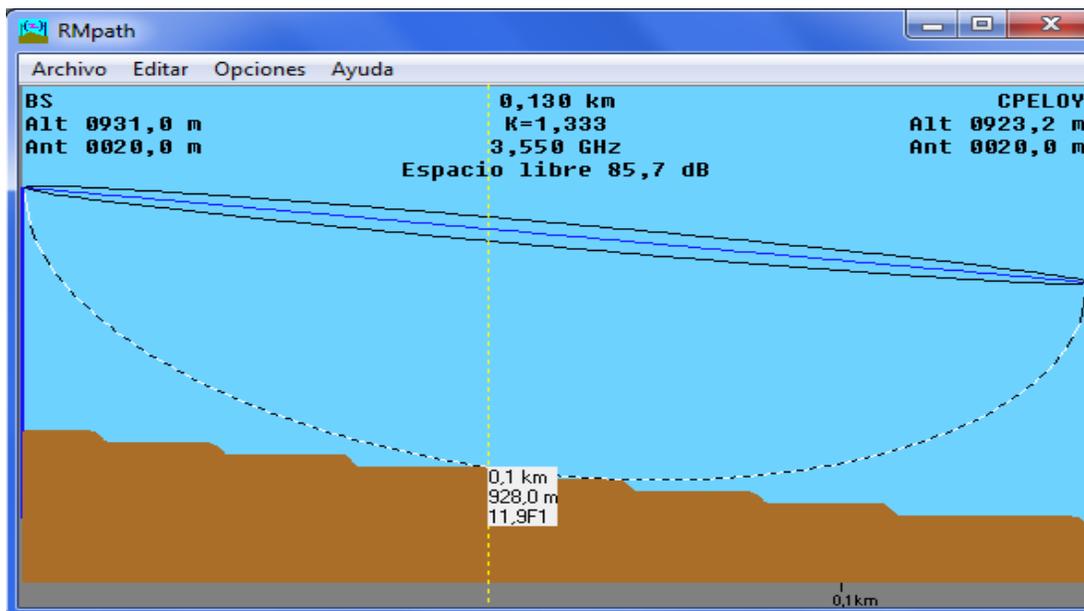
$$Prx= -47,39\text{dBm}$$

En la [figura 57](#), se pueden observar los parámetros de propagación del enlace BS-CPELOY los cuáles son valores cercanos con respecto a los valores hallados teóricamente.



**Figura 57: Enlace de Radio con CPELOY**  
Fuente: Propia

En la [figura 58](#), se puede observar la zona de Fresnel de este enlace.



**Figura 58: Zona de Fresnel con CPELOY**  
Fuente: Propia

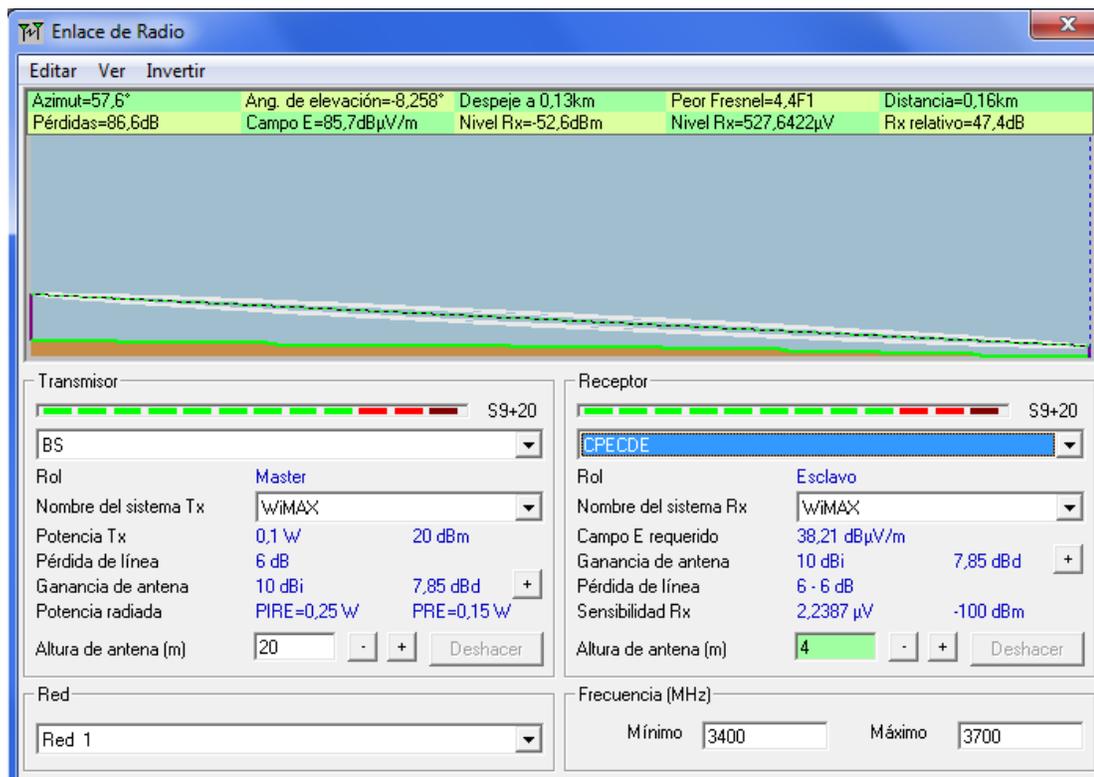
### Enlace BS-CPECDE

El CPECDE, es el CPE ubicado en el techo del Centro de Estudiantes de la UCAB. Donde los parámetros estimados fueron:

$$FSL=87,41\text{dB}$$

$$Prx= -51,47\text{dBm}$$

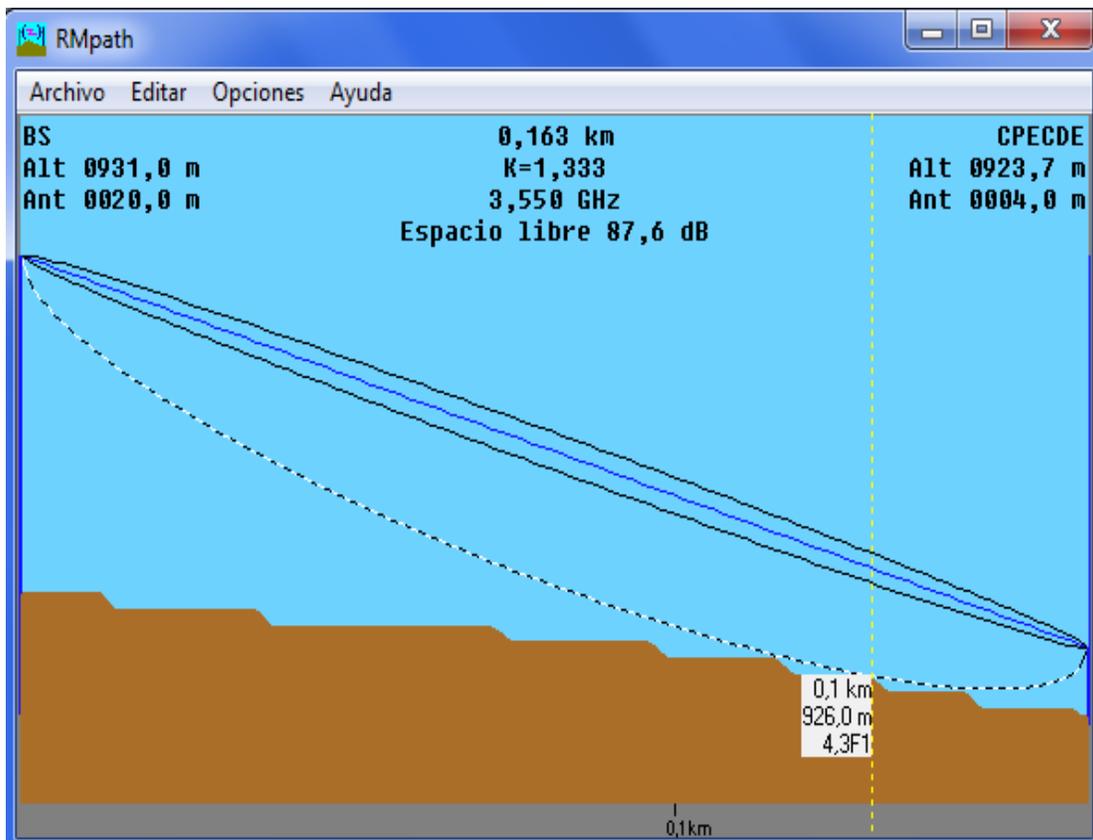
En la [figura 59](#), se pueden observar los parámetros de propagación del enlace BS-CPECDE los cuáles son valores cercanos con respecto a los valores hallados teóricamente.



**Figura 59: Enlace de Radio con CPECDE**

Fuente: Propia

En la figura 60, se puede observar la zona de Fresnel de este enlace.



**Figura 60: Zona de Fresnel con CPECDE**  
Fuente: Propia

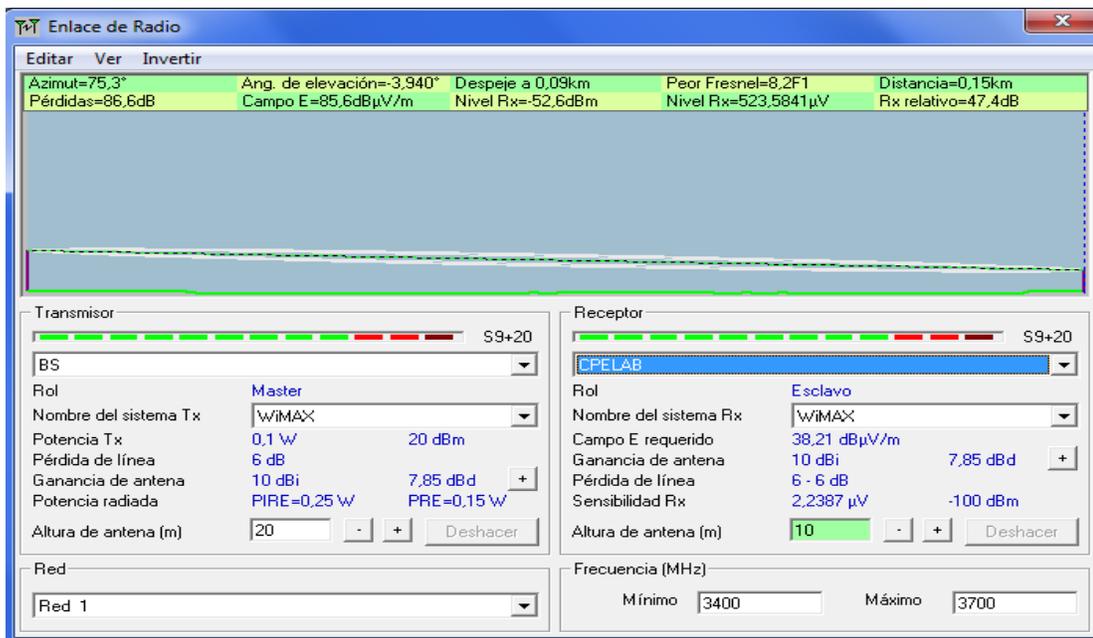
### Enlace BS-CPELAB

El CPELAB, es el CPE ubicado en el techo del Edificio de Laboratorios. Donde los parámetros estimados fueron:

$$\text{FSL}=86,57\text{dB}$$

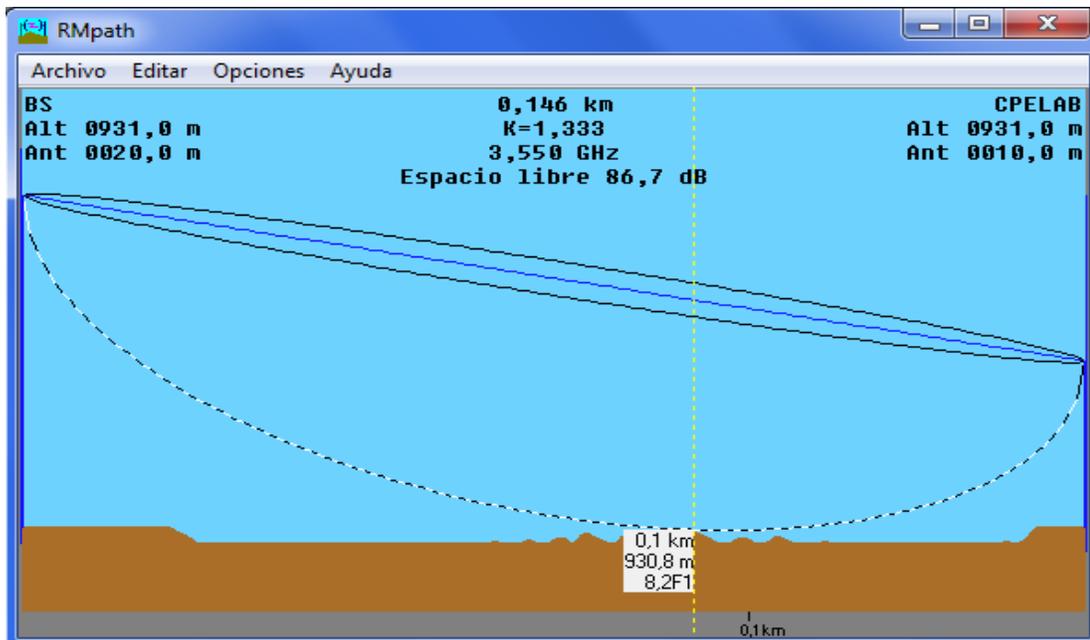
$$\text{Prx}= -40,63\text{dBm}$$

En la [figura 61](#), se pueden observar los parámetros de propagación del enlace BS-CPELAB los cuáles son valores cercanos con respecto a los valores hallados teóricamente.



**Figura 61: Enlace de Radio con CPELAB**  
Fuente: Propia

En la [figura 62](#), se puede observar la zona de Fresnel de este enlace.

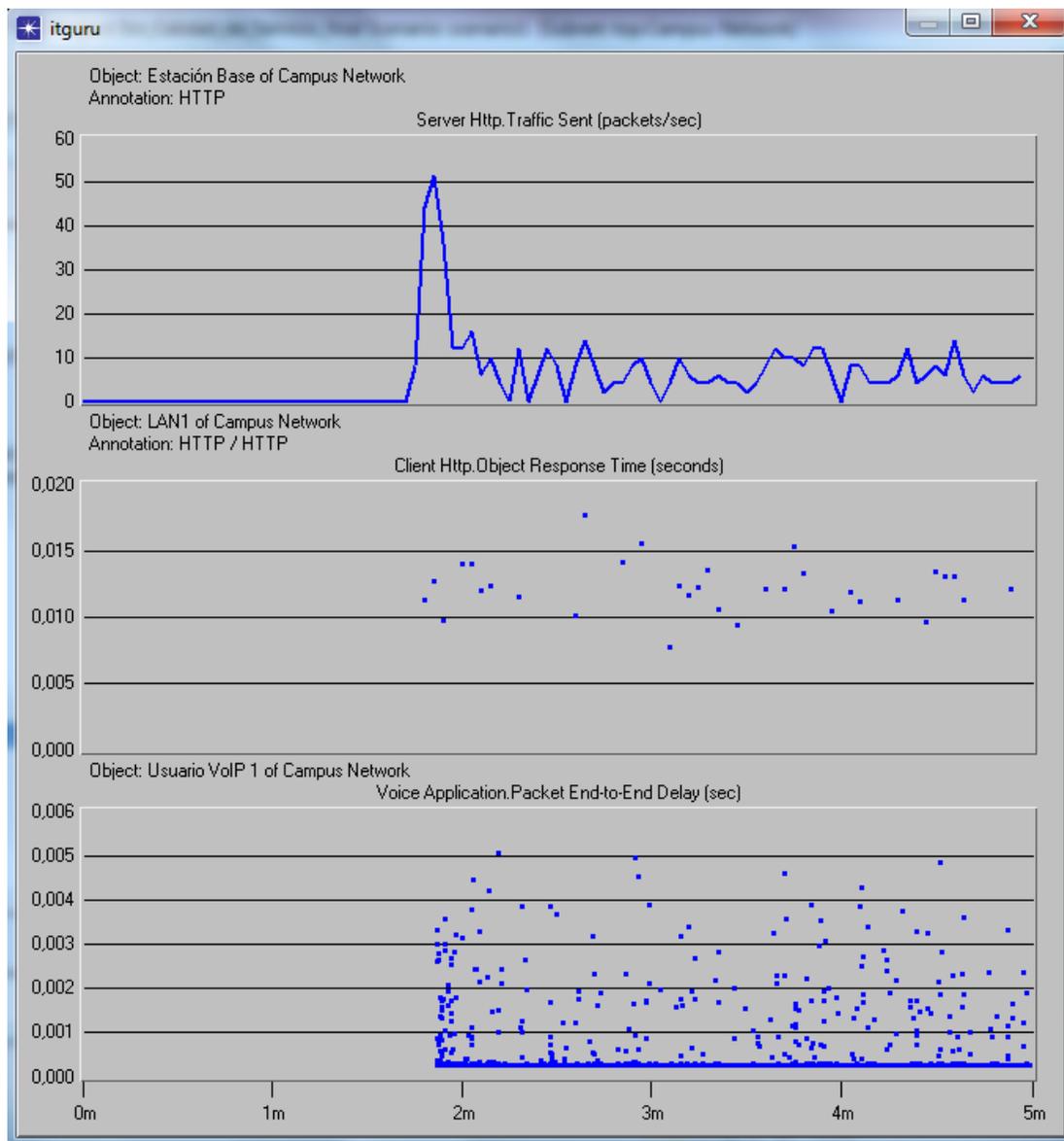


**Figura 62: Zona de Fresnel con CPELAB**  
Fuente: Propia

Se puede observar en todas las figuras de la Zona de Fresnel de cada enlace que no hay ningún obstáculo dentro de esta lo cual asegura la efectividad del enlace entre la Estación Base WiMAX y cada CPE ubicado en los distintos Edificios de la UCAB. A pesar de que Radio Mobile no reconoce la presencia de Edificios en el terreno, para este estudio no es necesario tomar en cuenta las pérdidas que pueden causar estos ya que para el diseño establecido, la Estación Base WiMAX cuenta con vista directa con todos los CPE de cada Edificio de la UCAB por esta razón ni edificios ni árboles tienen que ser tomados en cuenta para la propagación de las Ondas, lo cual le da una gran ventaja a la UCAB para poder establecer un diseño de este tipo ya que son muy pocos los escenarios en una zona metropolitana donde hay vista directa entre las antenas transmisores y receptoras.

#### **IV.5.4 Simulación de Calidad de Servicio haciendo uso de Opnet IT Guru**

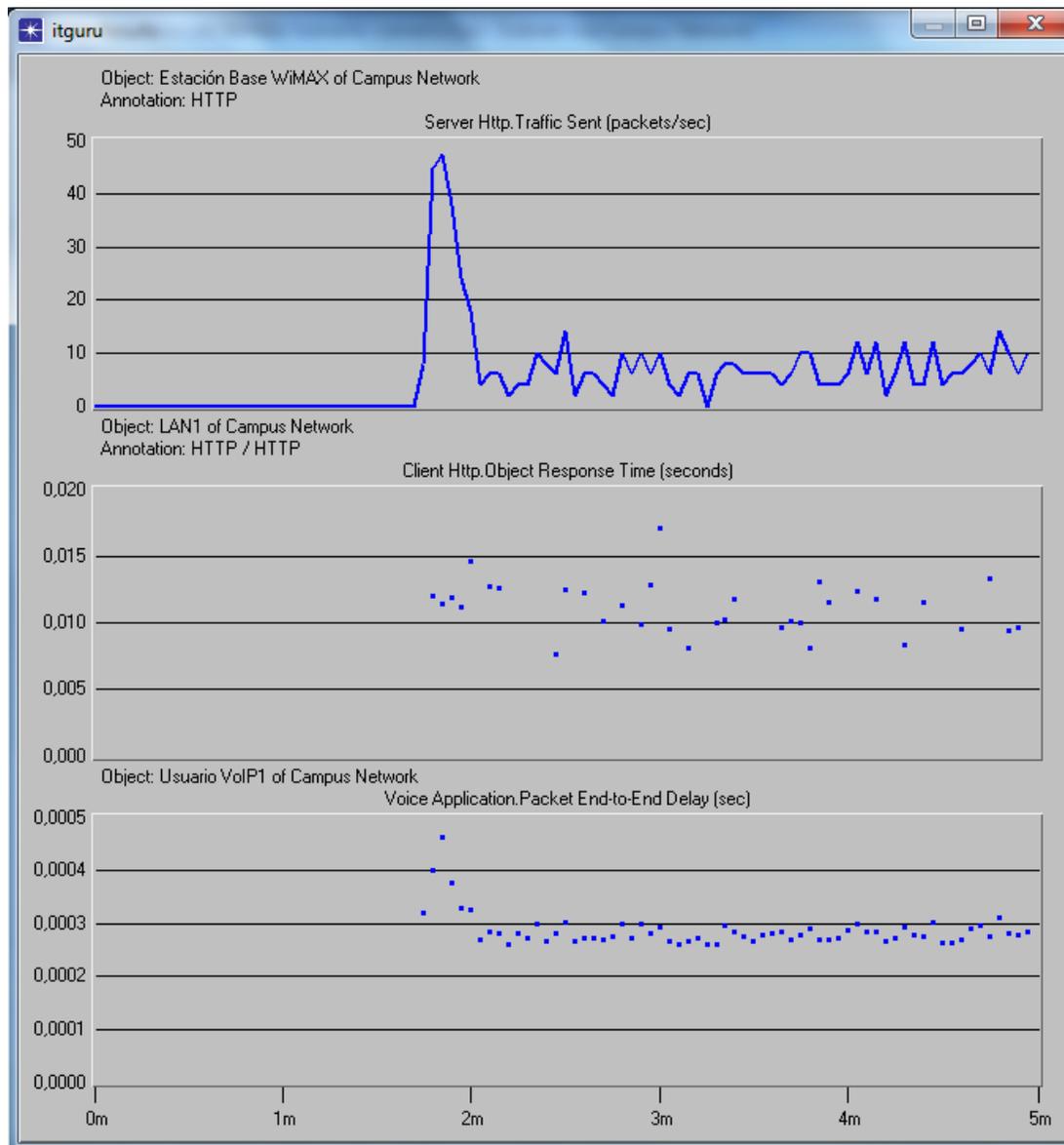
El estudio de estos resultados se hará analizando los paquetes enviados por la Estación Base WiMAX a cada CPE y a su vez estos a los usuarios que están suscritos a él para así poder determinar y analizar el tiempo de respuesta para los usuarios web y el retardo de los paquetes de telefonía IP. En la [figura 63](#), se observan los resultados de la simulación sin QoS y en la figura 64 se observan los resultados de la simulación con QoS para así poder establecer una comparación entre contar o no contar con las políticas de Calidad de Servicio de WiMAX en la Red Inalámbrica de la UCAB. Ambas simulaciones se realizaron por un período de 5 minutos ya que fue el máximo período que el software de simulación Opnet IT GURU permitió simular dadas sus limitaciones de licencia académica.



**Figura 63: Resultados de simulación de red sin QoS**

Fuente: Propia

En la [figura 63](#) se observa el tiempo de respuesta de los paquetes de los clientes HTTP y el retraso de los paquetes de los clientes VoIP, se puede observar que el retraso de los paquetes de voz varía mucho con respecto a los paquetes HTTP, esto puede causar que la conversación no sea lo suficientemente óptima ya que la voz es una aplicación en tiempo real y se necesita establecer entonces políticas de QoS que optimicen la transferencia de datos.



**Figura 64: Resultados de simulación de red con QoS**

Fuente: Propia

En la [figura 64](#), se puede observar que el retardo de los paquetes HTTP sigue siendo igual al caso donde no hay calidad de servicio, esto porque el perfil seleccionado para esta aplicación que es *Best Effort* es una política de calidad de servicio estándar y el comportamiento de los paquetes por naturaleza es por mejor esfuerzo, es decir, por orden de llegada, mientras que para el usuario de VoIP si se presenta un cambio en el retraso de los paquetes ya que se puede observar que la

variación del retardo de los paquetes de voz es casi nula, lo que puede ofrecerle al usuario una conversación más fluida y con menos pérdida de paquetes que en caso de que no haya QoS.

A pesar de que en esta simulación no se utilizaron dispositivos WiMAX, se pudo configurar la calidad que hace única a esta tecnología que es el QoS. Una vez con las políticas de QoS configuradas se pudo observar la diferencia que habría entre tener o no tener WiMAX para la Red Inalámbrica de la UCAB. Se observa que el comportamiento para los usuarios Web es el mismo, pero se debe tomar en cuenta que el usuario Web desea obtener es velocidad, parámetro que por limitaciones de *software* no se pudo determinar o estimar pero se asume que con los parámetros que debe contar WiMAX para su implementación en la UCAB, el desempeño de los *access points* será superior haciendo que los usuarios obtengan una mejor experiencia de navegación con mejores velocidades de descargas tanto para Exploración Web, revisión de correo electrónico o video streaming.

Otras políticas de QoS que se podrían configurar en la Red Inalámbrica es sobre los *access points* ya que se podrían clasificar servicios como correo electrónico, exploración web, video streaming o cualquier otra aplicación y determinar o fijar un ancho de banda para cada uno de estos de forma que los usuarios al momento de usar alguna de estas aplicaciones cuenten con el ancho de banda necesario para tener una buena experiencia de navegación. Esta configuración de QoS sobre los puntos de acceso no se pudo realizar en Opnet IT GURU, ya que necesita la versión con licencia profesional y la versión que se pudo utilizar para este Trabajo Especial de Grado tiene la licencia académica, la cual presenta muchas limitaciones.

#### **IV.6 Costo de la red diseñada**

En la [tabla #3](#), se observan los costos de los equipos que necesitan ser comprados para la implementación de la Red Inalámbrica con tecnología WiMAX diseñada para el campus de la UCAB. Los precios de los productos de Aperto (PacketMax3000 y PacketMax320) fueron obtenidos por solicitud online al

departamento de ventas de Aperto, quienes brindaron el costo unitario de cada producto expresado en dólares por lo cual es necesaria una gestión de compra con CADIVI (Comisión de Administración de Divisas) para poder comprar dichos productos. El costo de los productos Cisco (Cisco Catalyst 2950 12 Switch y Router Cisco Linksys E1000 Wireless) fueron consultados con un proveedor de Terminales Cisco ubicado en la Ciudad de Caracas lo cual permite hacer el pago directamente en Bs sin necesidad de transacciones de CADIVI.

Las cantidades de Switches y Routers son variables que dependen de los recursos con los que cuenta la Red Inalámbrica actual y al momento de la implementación del proyecto deben ser tomados en cuenta para así evitar comprar más equipos de los necesarios. Es importante recordar que el diseño de esta red se basa en integrar WiMAX a la Red Inalámbrica de la UCAB para optimizar los puntos de acceso existentes e instalar nuevos puntos de acceso en áreas donde sea necesario.

Producto	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo Unitario (Bs)	Costo Total (Bs)
<i>Aperto PacketMAX 3000</i>	1	5000	21500	21500
<i>Aperto PacketMax 320</i>	10	200	860	8600
<i>Cisco Catalyst 2950 12 Switch</i>	10	-	1000	10000
<i>Router TP-LINK TL-WA5110G</i>	46	-	419	19274
<i>TP-LINK 2.4GHz 8dBi Indoor Omni-directional Antenna</i>	44	-	60	2640
<i>TP-LINK 2.4GHz 15dBi Outdoor Omni-directional Antenna</i>	2	-	319	638
<i>Antena Omnidireccional Lambda</i>	1	160	688	688

Total	63340
-------	-------

Tabla 3: Costos de la Red WiMAX diseñada  
Fuente: Propia

#### IV.6.1 Otros costos

Otros costos importantes para el diseño de la red son el cableado y el gasto de importación de los equipos de Aperto Networks, en la [tabla #4](#) se observan estos costos.

Producto	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo Unitario (Bs)	Costo Total (Bs)
Cable UTP 350 m	2	-	470	940
Gastos de importación	1	500	4500	4500

Total	5490 Bs
-------	---------

Tabla 4: Otros costos a tomar en cuenta para la ejecución de la Red  
Fuente: Propia

Los gastos de importación fueron calculados en base a la información que brindó Aperto con respecto al envío de los productos. Aperto Networks se encarga de enviar los equipos a un buzón en Miami (este envío es sin recargo) y a este buzón cobraría aproximadamente 500 \$ para el envío de estos productos hasta Caracas pero el pago no sería con cambio oficial a través de CADIVI, sino al cambio del mercado negro que es 9 Bs por 1 \$, de forma que el envío se pueda pagar directamente en Bs. CADIVI, no aprueba el pago de envíos desde el extranjero a Venezuela, es por eso que el método de pago del envío es diferente al método de pago de los equipos PacketMax de Aperto Networks.

Un costo que también debe ser tomado en cuenta y es de gran importancia para la red es el de los teléfonos IP ya que si esta red se llega a implementar hay que aprovecharla al máximo. En la [tabla #4](#) se puede observar el costo de este equipo.

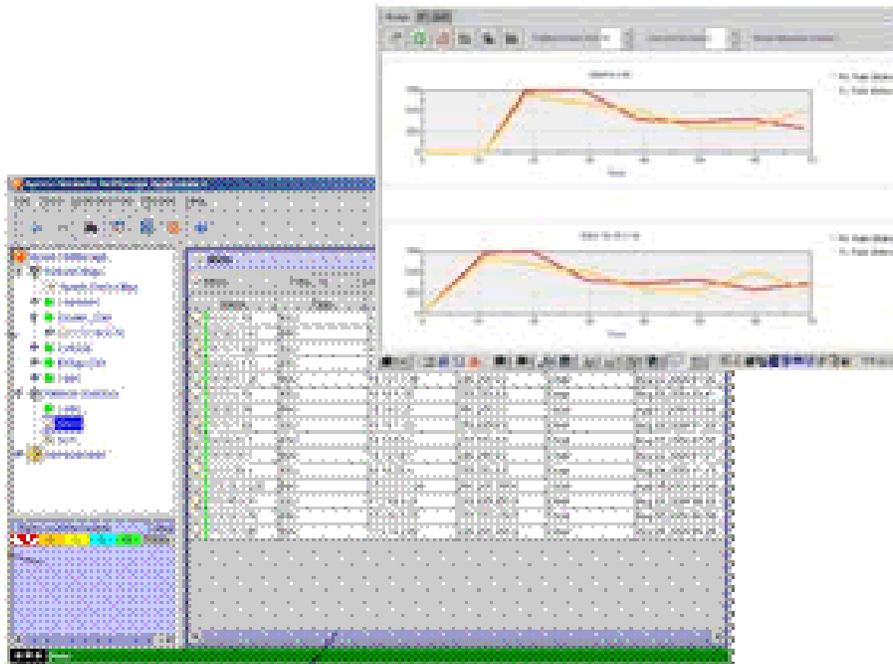
Producto	Costo Unitario (Bs)
Cisco Unified Wireless IP Phone 7925G	300

Tabla 5: Costo de los teléfonos IP inalámbricos  
Fuente: Propia

#### IV.7 Mantenimiento y monitorización de la Red

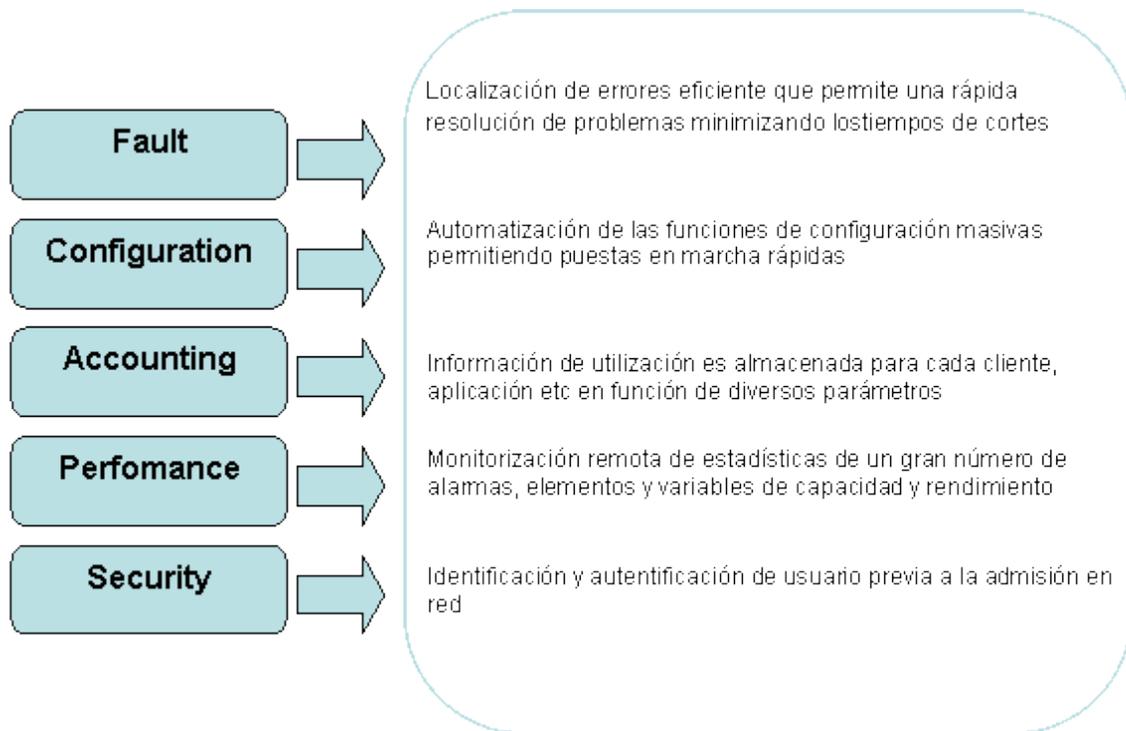
Por ser una red en su mayoría inalámbrica, hablar de mantenimiento para esta se basaría en la revisión de puertos de red principalmente, además de la revisión periódica de los equipos para asegurar que su instalación no haya sido afectada por algún factor externo. La monitorización de la red estaría a cargo del departamento de tecnología de la UCAB haciendo uso de Aperto WaveCenter EMS Pro.

El WaveCenter EMS Pro permite a cualquier red experimentar toda la potencia de PacketMax. Utilizando arquitectura cliente-servidor de gran escala, es idóneo para grandes redes y lo suficientemente intuitivas para las redes pequeñas que requieren funciones de gestión menos complejas. Los operadores de servicios fijos o móviles agradecen la simplicidad del aprovisionamiento de los elementos de la red y de su gestión (Selesta Networks).



**Figura 65: WaveCenter EMS Pro gestionando Red WiMAX**  
Fuente: Selesta Networks

WaveCenter EMS Pro provee una total gestión FCAPS para las redes PacketMax y una gestión basada en SNMP para los elementos. En la figura 63, se muestra un esquema que explica las funcionalidades de este software, demostrando la importancia de este en un proyecto de esta índole



**Figura 66: Funcionamiento de WaveCenter EMS.**

Fuente: Propia

El WaveCenter EMS Pro tiene simplicidad operacional por lo cual no es necesario un proceso de entrenamiento por parte del proveedor (Selesta Networks) lo cual hace al proyecto más económico ya que no se necesita pagar un curso de entrenamiento al equipo de redes de la Universidad Católica Andrés Bello.

## Capítulo V

### Conclusiones y Recomendaciones

En este trabajo especial de grado, se realizó de forma exitosa el diseño del sistema de Red Inalámbrico con tecnología WiMAX para las instalaciones de la UCAB.

Gracias a la investigación teórica realizada, se pudieron determinar las características o parámetros teóricos acordes a la necesidad y capacidades de la UCAB. Los conocimientos teóricos adquiridos ayudaron a dar una proyección de los resultados que se pueden obtener haciendo uso de WiMAX en cuanto a velocidad y frecuencia.

El análisis de la red de la UCAB, confirmó el planteamiento del problema, hay muchas zonas sin cobertura de red y en las zonas donde si se cuenta con cobertura la experiencia de navegación del usuario es muy mala a causa del poco ancho de banda disponible.

Acorde a la simulación de cobertura con Radio Mobile, haciendo uso de WiMAX se soluciona el problema de cobertura ya que la movilidad de los puntos de acceso WiFi es más sencilla, sobre todo en áreas verdes o remotas de la Universidad como por ejemplo los estacionamientos y en cuanto al ancho de banda, haciendo uso de WiMAX es posible o más sencillo que los puntos de acceso WiFi tengan el ancho de banda necesario para todos los usuarios conectados.

El ancho de banda que se requiere dada la cantidad de usuarios de Internet de la UCAB se puede obtener haciendo uso de otras tecnologías distintas a WiMAX, pero esta ofrece la mayor facilidad de despliegue gracias al hecho de ser una tecnología inalámbrica, económica y que sus características de propagación de ondas hacen de WiMAX una tecnología inalámbrica de las más robustas.

Al momento de diseñar una Red Inalámbrica de cualquier tipo de tecnología se deben tomar en cuenta las características de Radio Frecuencia, ya que si los

enlaces de la Red no tienen la estabilidad y robustez necesaria para obtener enlaces estables el desempeño telemático de la red será ineficiente. En este Trabajo Especial de Grado se realizó un estudio de propagación de ondas donde teóricamente se demostró que las potencias recibidas en los receptores es lo suficientemente alta como para que estos pudieran establecer una conexión estable con la Estación Base WiMAX dado que la sensibilidad de las antenas integradas de los CPE PacketMAX 320 tienen un alto nivel de recepción.

Los valores de propagación teóricos difieren un poco a los valores de propagación obtenidos en Radio Mobile, esto se puede deber a que Radio Mobile utiliza modelos de propagación de ondas los cuales cuentan con valores estadísticos que teóricamente no son tomados en cuenta, sin embargo los valores de pérdidas son muy similares entre sí, por lo cual se puede proyectar que el valor de las pérdidas de ondas en caso de implementación del proyecto será muy similar a los obtenidos teóricamente y en la simulación.

A pesar de que la simulación hecha en Radio Plan no reflejó todo el edificio de Laboratorios, se pudo demostrar que el transmisor de la Estación Base WiMAX tiene alcance con la misma calidad de potencia en enlaces sin línea de vista por lo cual se podría instalar un CPE dentro del Aula Magna para aplicaciones de video conferencia por ejemplo, contando así con el ancho de banda y QoS necesario sin necesidad de un costoso y engorroso cableado. Además se demostró que con el diseño de red propuesto en el Edificio de Laboratorios la cobertura de la señal WiFi

Se puede concluir que la mayor ventaja de instalar WiMAX en la UCAB es la capacidad de movilidad y despliegue que le puede brindar a los puntos de acceso. Es importante destacar que WiFi y WiMAX no son tecnologías comparables ya que a pesar de que ambas tienen un funcionamiento similar sus aplicaciones son muy diferentes; si en el mercado hubiera dispositivos finales que soporten 802.16d pudiera haber una competencia entre estas tecnologías, pero dado el éxito de 802.11 y sus futuras versiones que lo harán más eficiente, los fabricantes no se interesaron en migrar la tecnología de WiFi a WiMAX.

Los costos de la implementación de esta red tienen muchas variables, todo dependería de los requerimientos de la Dirección de Tecnología de la UCAB. La cantidad de *switches* y puntos de acceso variará dependiendo de los recursos que tenga la Dirección. Otro factor que puede variar en los costos de la red es la implementación de otras aplicaciones no incluidas en el diseño como por ejemplo cámaras de seguridad en las canchas y estacionamientos.

Se recomienda que la UCAB obtenga la licencia del *software* Opnet Modeler ya que es la herramienta perfecta para la planificación de esta red además de que sería un *software* de gran utilidad y de aprendizaje para los alumnos de la Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones en el área de redes dado que este cuenta con una base de datos de diferentes equipos y fabricantes que pueden darle al alumno un conocimiento más profundo, extenso y completo del diseño y planificación de redes de datos.

También se recomienda que en el caso de implementación de esta red, para la conexión entre los *switches* y los puntos de acceso se use el cableado interno de los edificios que lo tengan ya instalado ya que los costos disminuirían. Se recomienda que la instalación de los CPE además de en cada edificio se hagan en zonas remotas de la Universidad ya que es la mejor aplicación que se les puede dar a estos para la aplicación de otros servicios distintos a Internet como por ejemplo la instalación de cámaras IP para la vigilancia de los estacionamientos, preferiblemente en lugares donde haya un poste de luz para la alimentación de energía del CPE.

Es importante que la UCAB tenga un enlace dedicado con algún proveedor de Internet al menos 100 megas, 70 para la Estación Base WiMAX y el resto para la red Ethernet de la UCAB, de hecho antes de la implementación de este proyecto se debe contar con este ancho de banda para así poder usar la red WiMAX a su máxima capacidad. Actualmente la UCAB cuenta con un enlace de 12 megas, podría decirse que este es el problema raíz de la red de la Universidad.

A continuación se presenta un diagrama que explica las fases en las que se debe aplicar este proyecto.



**Figura 67: Fases para la Implementación del Proyecto**

Fuente: Propia

## Capítulo VI

### Lista de Referencias

1. Nuaymi, L. (2007). *WiMAX: technology for broadband wireless access*. (1). Chippingham, Inglaterra: Wiley editorial.
2. Signals Research Group, LLC. (2005) *WiMAX: Oportunidades y desafíos en un mundo inalámbrico*. Autor: Thelander, M.
3. Pareek, D. (2006). *WIMAX Taking Wireless to the MAX*.(1). Boca Ratón, Florida, Estados Unidos: Auerbach Publications.
4. Korowajczuk, Leonhard. *LTE, WiMAX and WLAN Network Design, Optimization and Performance Analysis*. Inglaterra: Wiley editorial
5. WIMAX, recuperado el 4 de agosto de 2011, de (<http://toip.uchile.cl/mediawiki/index.php/WiMAX>)
6. About the WiMAX Forum, recuperado el 1 de agosto de 2011, de <http://wimaxforum.org/about>
7. WiMAX y WiFi en Mijas, recuperado el 5 de agosto de 2011, de <http://bandaancha.eu/articulo/3583/wimax-wi-fi-mijas>
8. Sevilla tendrá una completa red wimax-wifi en los espacios públicos en junio, recuperado el 5 de agosto de 2011, de <http://sevilla.redperiodista.es/2011/03/22/sevilla-tendra-una-completa-red-wimax-wifi-en-los-espacios-publicos-en-junio/>
9. La Universidad de Cádiz comienza el despliegue de su red inalámbrica de largo alcance, recuperado el 5 de agosto de 2011, de <http://noticias.universia.es/ciencianntt/noticia/2007/08/01/591256/universidad-cadiz-comienza-despliegue-red-inalambrica-largo-alcance.html>
10. Red Inalámbrica, recuperado el 28 de julio de 2011, de [http://e-ciencia.com/recursos/enciclopedia/Red\\_inal%C3%A1mbrica\\_28/7/2011](http://e-ciencia.com/recursos/enciclopedia/Red_inal%C3%A1mbrica_28/7/2011)
11. Wifi, recuperado el 29 de julio de 2011, de <http://www.pdaexpertos.com>
12. *What is Wimax?*, recuperado el 2 de agosto de 2011, de [---

Página 108](http://atoz-</a></li></ol></div><div data-bbox=)

[networking.blogspot.com/2010/03/what-is-wimax.html](http://networking.blogspot.com/2010/03/what-is-wimax.html)

13. *How WiMAX Works? - Working of Wimax technology*, recuperado el 23 de julio de 2011, de <http://www.wifinotes.com/wimax/how-wimax-works.html>  
[23/7](#)
14. CommView, recuperado el 17 de Diciembre de 2011, de [http://www.ircfast.com/lv/group/view/kl63772/CommView for WiFi.htm](http://www.ircfast.com/lv/group/view/kl63772/CommView_for_WiFi.htm)
15. Escaneo de Redes con Inssider, recuperado el 17 de Diciembre de 2011 de <http://www.visualbeta.es/5885/windows/inssider-escaner-de-redes-wi-fi/>
16. Propagación de ondas, recuperado el 29 de junio de 2012 de, <http://montevideolibre.org/>

## **ANEXOS**

## Anexo1. Datasheet PacketMAX 3000



### PacketMAX 3000 Base Station

Product Brief

#### Micro WiMAX Base Station

The economical PacketMAX® 3000 lowers the barrier for service providers seeking entry into the explosive WiMAX market and allows rapid expansion of an existing network.

#### PacketMAX 3000

The WiMAX Forum Certified™ PacketMAX 3000 delivers Aperto's industry-leading WiMAX technology into a single-sector "stackable" form factor. For service providers seeking entry into the WiMAX market or those expanding coverage of an existing network, the PacketMAX 3000 is an economical and elegant solution. Its space-saving design allows operators a carrier-grade platform from which to launch premium voice, multimedia, and data services.

PacketMAX 3000 seamlessly operates within a heterogeneous network by synchronizing with other base stations in the same cell. The system offers a broad range of deployment options including operation as a single sector base station or operation within a multi-sector cell site configured through WaveCenter EMS Pro™ provisioning. Fully compliant with the IEEE 802.16-2004 standard, PacketMAX 3000 supports fixed and nomadic WiMAX applications.

PacketMAX 3000 operates in licensed and license-exempt bands under virtually all wireless conditions including LOS, OLOS, and NLOS, giving providers a versatile platform for maximizing WiMAX revenue opportunities. The PacketMAX 3000 is an effective wireless access point for hundreds of simultaneously active subscriber units serving both outdoor and indoor applications.

PacketMAX 3000 uses a split IDU/ODU design with the 1U rack mountable indoor unit performing IP networking, backhaul, and radio control functions. The outdoor unit consists of a spectrum-specific radio and antenna connecting to the indoor unit via coax cable carrying power, timing, and control signals.



PacketMAX 3000

#### KEY FEATURES

- WiMAX Forum Certified comprehensive 1U Indoor unit
- Split design compatible with all PacketMAX outdoor radios
- Per-subscriber link management
- Stackable design supporting pay-as-you-grow business model
- Seamless co-location with multi-sector base stations for expanded network coverage

#### Typical Applications

- Last-mile carrier deployments supporting small initial roll-outs, growing to support thousands of subscribers
- Converged fixed-mobile service offering including multi-user, multi-application, and multi-service simultaneously
- Scalable VoIP service with per-flow QoS and dynamic link adjustment
- Wireless applications desired by indoor consumers of WiMAX, including DSL bypass and extended WiFi coverage
- Fixed WiMAX service evolving to support mobile subscribers
- Bandwidth-hungry video and data applications requiring low latency and predictable performance



**A Decade of Wireless Broadband Leadership.**

## PacketMAX 3000 System Specifications

### Radio and System Specifications

Compliance	: WIMAX Forum Certified™ IEEE 802.16-2004 (3.5T1, 3.5T2), ETSI HiperMANit
Duplexing Mode	: TDD, CDMA, 256 FFT
Frequency	: 3.3-3.4 GHz; 3.4-3.6 GHz; 3.65 GHz; 5.15-5.35 GHz; 5.475-5.725 GHz; 5.725-5.925 GHz
Radio Output Power	: 20 dBm (3 GHz); 20 dBm (5 GHz)
Modulation	: QPSK, 16QAM, 64QAM
Channel Bandwidth	: 3.5 MHz, 5.0 MHz, 7.0 MHz
Slot Size	: 250 KHz (3 GHz); 500 KHz (5 GHz)
Receiver Sensitivity	: -96 dBm
Cyclic Prefix	: 1/16
Forward Error Correction	: Convolution coding 1/2, 2/3, 3/4, ARQv

### IP Networking Features/Options

IP Version	: IPv4 (RFC 791)
Bridging Mode	: IEEE 802.1d
VLANs	: IEEE 802.1 P/Q

### Security/Encryption

Authentication	: 509-based authentication
Encryption	: DES for data encryption; 3DES key encryption

### Multi-Service/Multi-User Support

Traffic Classification	: L2, L3, L4 parameters
Scheduling/CoS	: UGS, rTPS, BE
Max # Sectors	: Single (multiple BS can be synchronized to cover more sectors)
Active Connected Subscriber Units	: 256 per sector
Uni-Directional Service Flows	: Up to 7,168 per sector

### Interfaces

Backhaul	: 1 x 10/100 BT (RJ45)
Management	: Audio RS-232
External Clock, Synchronization	: 10 MHz clock (BNC) / 1 Hz sync (BNC)
Antenna Port	: Type N
Radio Interface	: F Port (Type-F)

### Management

Remote Management, Provisioning, & Monitoring	: Centralized using WaveCenter EMS Pro
Provisioning	: MIB II (RFC 1213), WIMAX (IEEE 802.16) MIB, Aperto Enterprise MIB, SNMP V2

### Mechanical

Indoor Unit Dimensions (h*w*weight)	: 27.0*4.2*42.0 (cm) / 12.0 lbs (5.5 Kg)
Outdoor Unit (h*w)	: 29.8*7.0*29.8 (cm) / 10 lbs (4.5 Kg)
IDU-ODU Distance	: up to 250 m

### Electrical

Input DC Voltage	: DC 40 - 60V
Input AC Voltage	: 85 VAC - 265 VAC
Max Power Consumption	: 70 W

### Environmental

Weather Protection	: no
Operation Temperature	: 0 - 40°
Humidity	: 10 - 90%, non-condensing
RoHS Compliance	: yes

### ■ ■ 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 | 598 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) | © 2010 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.

PN2000P003.10

## Anexo 2. Datasheet PacketMAX 320



### PacketMAX® 320 Subscriber Unit

Product Brief

#### Solution to Suit Any Subscriber Environment

The PacketMAX 300 series subscriber unit provides an intelligence and performance that meet the needs of large business and enterprises.



#### PacketMAX 320

PacketMAX 320, part of the PacketMAX 300 series subscriber units from Aperto, permits service providers to effectively serve the most demanding segment of the WiMAX user base, large businesses and enterprises. With the PacketMAX 320, performance meets intelligence – a single system can support over 1000 tiered-service subscribers for multi-megabit applications like VoIP, multimedia, and web downloads. Subscribers can enjoy individual service flows for differentiated high-speed services to thousands of simultaneously connected users.

PacketMAX 320 operates in licensed and license-exempt WiMAX bands: 2 GHz, 3 GHz and 5 GHz. In the “lightly-licensed” US 3.65 GHz band and 5 GHz band – “license free” in many countries – these units make the business case highly attractive. The IEEE 802.16-2004 standard compliant PacketMAX 320 leverages Aperto’s heritage as a WiMAX technology leader to go beyond the specifications to deliver superior link performance, unsurpassed quality of service, and the broadest range of networking features for an optimized WiMAX deployment. Intuitive to provision, install, and manage, the PacketMAX 320 is designed to help business subscribers reap the benefits of lower cost, broadband wireless access without the complication and expense of leased wire line service.

PacketMAX 320 provides wireless operators with the reliable performance needed to honor service level agreements required by the most demanding business customers and the capacity needed to support multidwelling residential customers. The choice of capabilities include: bridging, VLAN, Layer 2, 3, and 4 classification, centralized management and a host of features allowing scalable differentiated services for the large business and enterprise customer.

The PacketMAX 320 consists of an outdoor radio with integrated antenna, interfaced to an indoor unit that accepts AC power and interfaces to standard Ethernet switch. Ethernet cabling carries network signaling and system power between the indoor and outdoor units.

#### KEY FEATURES

- IEEE 802.16-2004 compliant
- Enterprise-grade performance and scalability
- Auto-Provisioning for large-scale, rapid deployments
- Service Level Agreement (SLA) enforcement over the air interface
- Advanced IP networking functions
- Dual flash for fail-safe, remote firmware upgrades
- License and license-exempt bands  
LOS, CLOS, NLOS operations
- Full remote-management capability with Aperto’s WaveCenter EMS Pro

#### Typical Applications

- High-end CPE serving both licensed and license-exempt frequencies
- MDU/MTU access for thousands of subscribers simultaneously
- Scalable, differentiated services with application-aware and subscriber-aware traffic classification and prioritization
- Cost-effective multi-megabit alternative to expensive leased line services
- Voice over IP services for large business, enterprise, and campuses



### A Decade of Wireless Broadband Leadership.

## PacketMAX 320 System Specifications

### Radio and System Specifications

Compliance	: IEEE 802.16-2004
Duplex Mod PHY	: TDD, OFDM 256 FFT
Frequency	: 2.3-2.7 GHz, 3.3-3.4 GHz, 3.4-3.7 GHz, 5.1-5.9 GHz
Channel Bandwidth	: 3.5 MHz, 7.0 MHz
Radio Output Power	: 20 dBm(2 GHz, 3 GHz, 5.8 GHz), 17 dBm (5.2 GHz, 5.6 GHz)
Modulation	: QPSK, 16QAM, 64QAM
Integrated Antenna Gain	: 2 GHz, 13 dBi 3 GHz, 17 dBi, 20 dBi 5 GHz, 20 dBi, 24dBi
Optional External Antenna	: Yes, Type-N antenna option, 50 Ohm
Forward Error Correction	: Convolution coding 1/2, 2/3, 3/4
Cyclic Prefix	: 1/16

### IP Networking Features/Options

Networking	: IPv4, DHCP Client
Bridging	: IEEE 802.1d
VLANs	: IEEE 802.1P/Q

### Security/Encryption

Authentication	: X.509 Certificates
Encryption	: DES for Data Encryption, 3DES Key Encryption

### Multi-Service/Multi-User Support

Traffic Classifier	: Layer 2, Layer 3, Layer 4 parameters
Scheduling/CoS	: BE, UGS
Active Connected Hosts	: 250 Max
Uni-directional Service Flows	: 13 Max

### Management

Remote Management, Provisioning, and Monitoring	: Centralized using WaveCenter EMS Pro
SNMP Support	: MIB II (RFC 1213) WIMAX (IEEE 802.16f), MIB, Aperto Enterprise MIB

### Mechanical

Outdoor Unit Dimensions (L x H x W)/Weight	: 13 dBi: 24.75 x 25.5 x 7 cm / 3 lbs
	: 17 dBi: 24.75 x 25.5 x 7 cm / 3 lbs
	: 20 dBi: 25.50 x 33.0 x 7 cm / 3.2 lbs
	: 24 dBi: 38.20 x 40.6 x 7 cm / 3.5 lbs
Indoor Unit Dimensions (L x H x W)/Weight	: 6 x 3.1 x 14.5 cm / 1 lbs
Antenna Alignment	: LED visual indicator, pole mount and wall mount
Interfaces	: Single RJ-45 LAN port

### Electrical

Input AC Voltage	: 110 – 120 VAC, 50-60 Hz, 0.4A
Max Input Current	: 1.1A @ 18V DC, 20W max

### Environmental

Operating Temperature	: -40 to +55 degrees Celsius
RoHS Compliance	: Yes

### ■ ■ 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 | 508 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) | © 2009 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.

PM320/41/1209

## Anexo 3. PacketMAX Base Station Specifications

Feature	PacketMAX 5000	PacketMAX 3000	PacketMAX 3000
<b>Interfaces PacketMAX 5000</b>			
Quad Wireless Controller (QWC) Wireless System Card (WSC) 1 IF Port per WSC Up to 4 WSC per QWC	(up to 3 per chassis)  F Connector, 75 Ohm (up to IF 12 ports per chassis)		
Main System Card (MSC)	(up to 2 per chassis) 100/1000		
Backhaul Management	Mbps Full Duplex 10/100 Base-T, RS-232		
Shelf Management	10 Base-T, RS-232		
External Clock Input	2 BNC		
Synchronization Ports	2 BNC		
<b>Interfaces PacketMAX 3000</b>			
IF Port		F Connector 75 ohm	
Backhaul		10/100 Mbps Full Duplex	10/100 Mbps Full Duplex
Synchronization Ports		2 BNC	
<b>Power Requirements</b>			
AC Option	85-265 VAC 47-63 Hz	85-265 VAC 47-63 Hz	85-265 VAC 47-63 Hz
DC Option	40-60 VDC	40-60 VDC	40-60 VDC
Power Consumption	380 watts maximum	40 watts maximum	40 watts maximum
<b>Dimensions</b>			
Width	439 mm (17.3")	420 mm (16.6")	
Height	222 mm (8.75") - 5U	44 mm (1.75") - 1U	
Depth	381 mm (15")	216 mm (15")	
Mounting	19" rack	19" rack	
Weight	18.1 kg (40 lbs)	2.2 kg (4.4 lbs)	
<b>Redundancy</b>			
Power	Redundant feeds		
Main System Board	2 cards per system (future)		
Wireless IF	IF port redundancy (future)		
<b>Environmental</b>			
Operating Temperature (Indoor Unit)	0° to 40° C (32° - 104°F)	0° to 40° C (32° - 104°F)	0° to 40° C (32° - 104°F)
Humidity (Outdoor Unit)	10-90% non condensing	10-90% non condensing	10-90% non condensing
Operating Temperature (Outdoor Unit)	-45° to 60°C (-49° to 140° F)	-45° to 60°C (-49° to 140° F)	-45° to 60°C (-49° to 140° F)
Humidity (Outdoor Unit)	0-100% non condensing	0-100% non condensing	0-100% non condensing

## Anexo 4. PacketMAX - Common Specifications

Feature	Specification
<b>Operation</b>	
PHY	OFDM 256 FFT
Frequency Bands Supported	3.3-3.6 GHz 3.6-3.8 GHz 2.5-2.7 GHz 5.425-5.725 GHz 5.725-5.925 GHz
Channel Bandwidths	
3.3-3.6 and 3.6-3.8 GHz	1.75, 3.5, 7, 14 MHz (future), 2-7 in 1 MHz steps
2.5-2.7 GHz	2-10 MHz in 1 MHz steps, 5.5 GHz
5.425-5.725 and 5.725-5.925 GHz	2-10 MHz in 1 MHz steps, 20 MHz
RF Power Output	Option 1: 20 dBm Option 2: 28 dBm (Q1 2006)
Receiver Sensitivity	-100 dBm
Modulation Rates	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
Duplexing Mode	TDD
Error Correction	Convolution coding 1/2, 2/3, 3/4
Automatic Frequency Selection (AFS)	Yes
Dynamic Frequency Selection(DFS)	Yes
<b>Networking</b>	
Protocols	IP Routing, OSPF, RIPv2, VLSM, CIDR DHCP (client and relay agent), VLAN, Bridging, and PPPoE
VLAN	16 management VLANs per network. Support for 4,096 VLAN's either tagged or double tagged.
<b>QoS</b>	
Service Classes	CG – Continuous Grant RT – Real Time NRT – Non Real Time BE – Best Effort
Flows per Base Station (Flows are Bi-directional)	16 flows per subscriber
<b>Security</b>	
Encryption	3DES AES CCM, 128 and 1024
<b>Management</b>	
Provisioning	Centralized using WaveCenter
Agent	Embedded WaveCenter agent supporting SNMP
SNMP	MIB II (RFC 1213), WiMAX MIB, Aperto Enterprise MIB
<b>Antenna Options</b>	
Full Frequency Reuse	90° and 60°
Other options	120° and 360° (omni)

## Anexo 5. Antena Omnidireccional para la Estación Base WiMAX



### Omni Directional Antenna

Product Number: BC 3500-10

#### Electrical Specifications:

Frequency Range	3400-3700MHz
Gain	10 dBi
VSWR	<1.3
Horizontal 3dB Beamwidth	360°
Vertical 3dB Beamwidth	9°
Electric Tilted Angle	0°
Polarization	Vertical
Impedance	50Ω
Maximum Input Power	20W
Connector	N-Female
Lightning Protection	Direct Ground

#### Mechanical Specifications:

Length	650mm
Weight	0.6kg
Diameter of Installation Pole	φ35mm-φ50mm
Radome Material	Fiberglass
Radome Color	White
Rated Wind Velocity	126Km/h

## Anexo 6. CISCO CATALYST 2950 SERIES SWITCHES

- **Cisco Catalyst 2950SX 48 Switch**—48 10/100 Mbps ports with two fixed 1000BASE-SX uplinks
- **Cisco Catalyst 2950T 48 Switch**—48 10/100 Mbps ports with two fixed 10/100/1000BASE-T uplinks
- **Cisco Catalyst 2950SX 24 Switch**—24 10/100 Mbps ports with two fixed 1000BASE-SX uplinks
- **Cisco Catalyst 2950 24 Switch**—24 10/100 Mbps ports
- **Cisco Catalyst 2950 12 Switch**—12 10/100 Mbps ports

### PRODUCT FEATURES AND BENEFITS

#### Feature Benefit

#### Availability

#### Superior

#### Redundancy for

#### Fault Backup

- IEEE 802.1D Spanning Tree Protocol support for redundant backbone connections and loop-free networks simplifies network configuration and improves fault tolerance.
- IEEE 802.1w Rapid Spanning- Tree Protocol (RSTP) provides rapid convergence of the spanning tree, independent of spanning-tree timers.
- Per VLAN Rapid Spanning Tree (PVRST+) allows rapid spanning-tree reconvergence on a per-VLAN spanning-tree basis, without requiring the implementation of spanning-tree instances.
- Support for Cisco Spanning Tree Protocol enhancements such as UplinkFast, BackboneFast, and PortFast technologies ensures quick failover recovery and enhances overall network stability and availability.
- Support for Cisco's optional RPS 675, 675-watt redundant AC power system, which provides a backup power source for one of six switches, for improved fault tolerance and network uptime.
- Unidirectional link detection (UDLD) and aggressive UDLD detect and disable unidirectional links on fiber-optic interfaces caused by incorrect fiber-optic wiring or port faults.

### PRODUCT SPECIFICATIONS

#### Feature Description

**Performance** • 13.6-Gbps switching fabric (Catalyst 2950T-48-SI and 2950SX-48-SI)

- 8.8-Gbps switching fabric (Catalyst 2950SX-24, 2950-24, 2950-12)
- Cisco Catalyst 2950-12: 2.4 Gbps maximum forwarding bandwidth
- Cisco Catalyst 2950-24: 4.8 Gbps maximum forwarding bandwidth
- Cisco Catalyst 2950SX-24: 8.8 Gbps maximum forwarding bandwidth
- Cisco Catalyst 2950T-48: 13.6 Gbps maximum forwarding bandwidth
- Cisco Catalyst 2950SX-48: 13.6 Gbps maximum forwarding bandwidth (Forwarding rates based on 64 byte packets)
- Cisco Catalyst 2950-12: 1.8 Mpps wire-speed forwarding rate
- Cisco Catalyst 2950-24: 3.6 Mpps wire-speed forwarding rate
- Cisco Catalyst 2950SX-24: 6.6 Mpps wire-speed forwarding rate
- Cisco Catalyst 2950T-48: 10.1 Mpps wire-speed forwarding rate
- Cisco Catalyst 2950SX-48: 10.1 Mpps wire-speed forwarding rate
- 8 MB packet buffer memory architecture shared by all ports
- 16 MB DRAM and 8 MB Flash memory
- Configurable up to 8000 MAC addresses

### FOR MORE INFORMATION

For more information about Cisco products, contact:

- United States and Canada: 800 553-NETS (6387)
- Europe: 32 2 778 4242
- Australia: 612 9935 4107
- Other: 408 526-7209
- World Wide Web: <http://www.cisco.com>

© 2004 Cisco Systems, Inc. All rights reserved.

Important notices, privacy statements, and trademarks of Cisco Systems, Inc. can be found on [cisco.com](http://www.cisco.com).

## Anexo 7. Datasheet Router TP-LINK TL-WAS5110G



### 54M High Power Wireless Access Point TL-WAS5110G



High Power and receive sensitivity design to boost your signal coverage and link speed	Optimized performance for Ultra-Long-Distance wireless transmission	Power over Ethernet for flexible deployment
		

**Description:**

The TL-WAS5110G 54M High Power Wireless Access Point is dedicated to Small Office/Home Office (SOHO) and long distance wireless network solutions. It integrates the functions of a Wireless Access Point, WISP Client, Firewall, and NAT-Router. It features high output power and high receive sensitivity can significantly extend the transmission range to reduce dead spots and to deliver a more stable wireless connection.

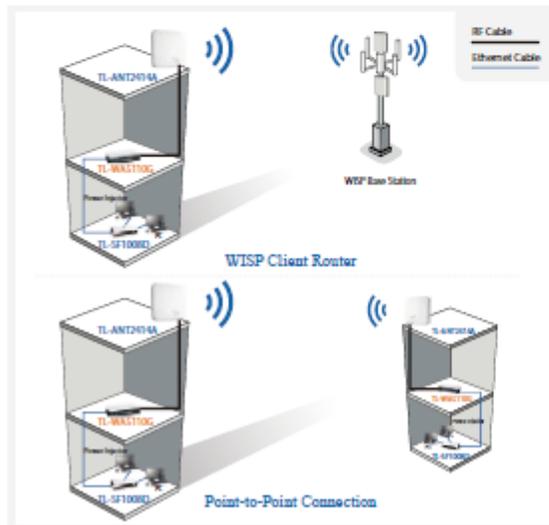
The TL-WAS5110G provides three operation modes for multiple users to access the Internet: AP client router, AP router and AP. In AP client router mode, it works as a WISP CPE. In AP router mode, it can access the Internet via an ADSL/Cable Modem. In AP mode it can work in various modes, such as Access Point/Client/WDS Bridge/Repeater.

[www.tp-link.com](http://www.tp-link.com)

### Specifications:

Standards	IEEE 802.11g IEEE 802.11b	
Interface	One 10/100M Auto-Sensing RJ45 Port (Auto MDI/MDIX), supporting Passive PoE	
Wireless Signal Rates With Automatic Fallback	11g:54/48/36/24/18/12/9/6Mbps (Dynamic) 11b:11/5.5/3/2/1Mbps (Dynamic)	
Frequency Range	2.4-2.4835GHz	
Wireless Transmit Power	20dBm(MAX EIRP) for countries using CE standards 27dBm(MAX EIRP) for countries using FCC standards	
Antenna	4dBi detachable Omni directional (RP-SMA)	
Modulation Type	IEEE 802.11b: DQPSK, DBPSK, DSSS, and CCK IEEE 802.11g: BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM, OFDM	
Receiver Sensitivity	802.11g	802.11b
	54M: -75dBm±1dB	11M: -91dBm±1dB
Power Supply Unit	9M: -92dBm±1dB	1M: -95dBm±1dB
	Input: localized to country of sale Output: 12VDC / 1A linear PSU	
Certifications	CE, FCC	
Operating Temperature	-10°C~40°C (14°F~104°F)	
Storage Temperature	-40°C~70°C (-40°F~158°F)	
Relative Humidity	10% ~ 90%, non-condensing	
Storage Humidity	5%~90% non-condensing	
Dimensions	6.5 x 4.2 x 1.1 in. (165 x 108 x 28mm)	

### Diagram:



### Features:

- Supports AP Client Router(WISP Mode), AP Router and AP operation mode.
- High output transmission power and reception sensitivity optimized.
- Supports Passive Power over Ethernet.
- Supports Wireless Distribution System (WDS).
- Distance Adjustment for long range transmission, up to 50km\*.
- Supports Antenna Alignment.
- Supports Layer 2 User Isolation.
- Provides throughput monitor.
- Supports Ping Watch Dog.
- Supports Link Speed Test.
- Supports Remote Management.
- Supports PPPoE, Dynamic IP, Static IP Internet Access.
- Built-in NAT and DHCP server Supports Address Reservation.
- Provides 64/128/152-bit WEP, WPA/WPA2, WPA-PSK/WPA2-PSK data security and TKIP/AES encryption, WLAN ACL (Access Control List).
- Supports configuration backup/restore and firmware upgrades.
- High gain directional antenna dependent

### Package Contents:

- 54M High Power Wireless Access Point TL-WA5110G
- Power Adapter
- RJ-45 Ethernet Cable
- Quick Installation Guide
- Power Injector
- Resource CD

### Related Products:

- 14dBi 2.4GHz Directional Antenna TL-ANT2414A
- 24dBi 2.4GHz Grid Parabolic Antenna TL-ANT2424B
- 8-port Unmanaged 10/100M Desktop Switch TL-SF1008D

Specifications are subject to change without notice. It is a registered trademark of TP-LINK Technologies Co., Ltd. Other brands and product names are trademarks or registered trademarks of their respective holders. No part of this specification may be reproduced in any form or by any means or used to make any derivative such as translation, transformation, or adaptation without permission from TP-LINK Technologies Co., Ltd.

## Anexo 8 Datasheet Cisco Unified Wireless IP Phone 7925G



### Features

The Cisco Unified Wireless IP Phone 7925G is designed for users in rigorous workspaces as well as general office environments. It supports a wide range of features for enhanced voice communications, quality of service (QoS), and security. Some of the main benefits and highlights are listed here:

- IEEE 802.11 a/b/g radio
- Two-inch color display
- Bluetooth 2.0 support with Enhanced Data Rate (EDR)
- IP54 rated for protection against dust and splashing water
- MIL-STD-810F standard for shock resistance
- Long battery life (up to 240 hours of standby time or 13 hours of talk time)
- Built-in speakerphone for hands-free operation
- Exceptional voice quality with support for wideband audio
- Support for a wide range of applications through XML

### Protocol

IEEE 802.11a, 802.11b, and 802.11g

## Anexo 9 Datasheet TP-LINK 2.4GHz 8dBi Indoor Omni-directional Antenna



### 2.4GHz 8dBi Indoor Omni-directional Antenna

#### TL-ANT2408CL

**Features:**

- Very easy to Install, no software required
- 8dBi Omni-directional operation boosts your signal to a higher range
- RP-SMA Male connector, works with most Indoor wireless AP/Router

**Description:**

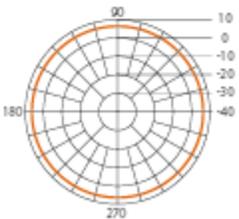
The TL-ANT2408CL 8dBi antenna is ideal for upgrading your wireless access points/routers. It is very easy to use, no configuration or software installation required.



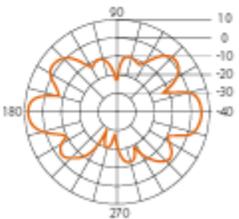
RP-SMA Male

**Radiation Patterns:**

H-Plane Co-Polarization Pattern



V-Plane Co-Polarization Pattern



[www.tp-link.com](http://www.tp-link.com)

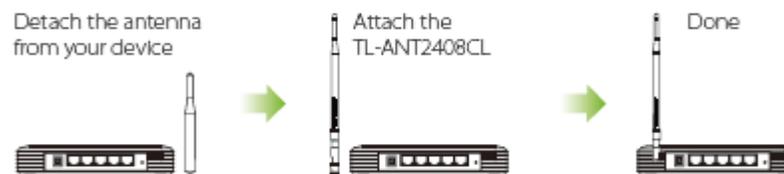
2.4GHz 8dBi Indoor Omni-directional Antenna

TL-ANT2408CL

⊙ Specifications:

Frequency Range	2.4~2.4835GHz
Gain (Exclude Cable Loss)	8dBi
VSWR	1.52:1
HPBW/H(°)	360
HPBW/V(°)	15
Impedance	50 Ohms
Admittad Power	1W
Interfaces	RP-SMA Male (Plug)
Polarization	Linear, Vertical
Operating Temperature	-10°C~60°C (14°F~140°F)
Storage Temperature	-40°C~80°C (-40°F~176°F)
Dimensions (W x L)	13 x 294 mm
Operating Humidity	10%~90% non-condensing
Storage Humidity	5%~90% non-condensing
Standards	RoHS, WEEE

⊙ Diagram:



⊙ Related Products:

- Wireless Router (with Detachable Antenna)
- Wireless Access Point (with Detachable Antenna)
- Wireless Adapter (with Detachable Antenna)

⊙ Optional Accessories:

-  3 Meters Antenna Extension Cable  
TL-ANT24EC3S
-  5 Meters Antenna Extension Cable  
TL-ANT24EC5S

Specifications are subject to change without notice. TP-LINK is a registered trademark of TP-LINK Technologies Co., Ltd. Other brands and product names are trademarks or registered trademarks of their respective holders. No part of this specification may be reproduced in any form or by any means electronic or mechanical, including photocopying, recording, or by any information storage and retrieval system, without permission in writing from TP-LINK Technologies Co., Ltd.

[www.tp-link.com](http://www.tp-link.com)

## Anexo 10 Datasheet TP-LINK 2.4GHz 15dBi Outdoor Omni-directional Antenna

**TP-LINK®**

### 2.4GHz 15dBi Outdoor Omni-directional Antenna TL-ANT2415D

#### ⦿ Features:

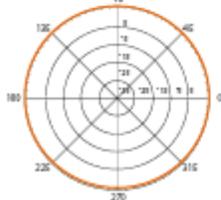
- 15dBi Omni-directional operation highly enlarges the wireless coverage
- N female connector, compatible with most of the wireless equipments
- Weather proof design, suitable for all weather condition
- Provided mounting kits enable easy installation for various environments

#### ⦿ Description:

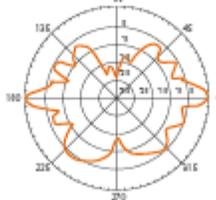
TL-ANT2415D operates in the 2.4-2.5 GHz band and provides 15dBi Omni-directional operation, which largely extends the wireless range and delivers much better wireless performance. The antenna offers the N female connector guaranteeing wider compatibility with most of the wireless equipments. Also, the weather proof design ensures that it can work normally for various demanding outdoor solutions.

#### ⦿ Radiation Patterns:

H-Plane Co-Polarization Pattern  
2450MHz



V-Plane Co-Polarization Pattern  
2450MHz



[www.tp-link.com](http://www.tp-link.com)

2.4GHz 15dBi Outdoor Omni-directional Antenna

TL-ANT2415D

© Specifications:

Frequency	2.4 ~ 2.5 GHz
SWR	<= 2.0
Antenna Gain	15 dBi
Polarization	Linear
Impedance	50 Ohms
HBBW @ H-Plane	360 Degree Omni-Directional
HPBW @ E-Plane	<= 9 Degree
Handle Power	20 Watt
Material of Radiator	Cu & Zn-Alloy
Material of Plastic Body	Glass Fiber
Cable Type	RG 316D
Connector Type	N Jack
Connector Pull Test	>= 8 Kg
Operation Temperature	- 40 °C ~ + 65 °C
Standards	RoHS, WEEE

© Diagram:



Package:

- 15dBi Outdoor Omni-directional Antenna
- Installation mounting kits
- User Guide

Related Products:

- 54Mbps High Power Wireless Access Point TL-WA5110G
- 150Mbps Wireless N Access Point TL-WA701ND

Specifications are subject to change without notice. TP-LINK is a registered trademark of TP-LINK Technology Co., Ltd. Other brands and product names are trademarks or registered trademarks of their respective holders. No part of this specification may be reproduced in any form or by any means or used to create any derivative work without prior written permission from TP-LINK Technology Co., Ltd.

[www.tp-link.com](http://www.tp-link.com)