



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
TELECOMUNICACIONES Y REDES

INVESTIGACIÓN Y DISEÑO DE LA ARQUITECTURA DE RED
CON TECNOLOGÍA 802.16 EN CONVERGENCIA CON 802.11
PARA MEJORAR LA QoS DE SISTEMAS DIGITALES
INALÁMBRICAS EN FASTNET CIA. LTDA.

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y
REDES.

AUTORES: WASHINGTON ANDRÉS GRANDA CASTILLO.
EDISON FERNANDO VILLEGAS LEÓN.
TUTOR: ING. OSWALDO MARTÍNEZ GUASHIMA.

Riobamba–Ecuador

2016

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERIA EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y
REDES.

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: “INVESTIGACIÓN Y DISEÑO DE LA ARQUITECTURA DE RED CON TECNOLOGÍA 802.16 EN CONVERGENCIA CON 802.11 PARA MEJORAR LA QoS DE SISTEMAS DIGITALES INALÁMBRICOS EN FASTNET CIA. LTDA.”, de responsabilidad de los señores Edison Fernando Villegas León y Washington Andrés Granda Castillo, ha sido minuciosamente revisada por los Miembros del Tribunal, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dr. Miguel Tasambay, Ph.D		
DECANO FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA	_____	_____
Ing. Franklin Moreno		
DIRECTOR DE ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES	_____	_____
Ing. Oswaldo Martínez		
DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	_____
Ing. Wilson Baldeón M.Sc		
MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	_____

NOTA _____

“Nosotros, Edison Fernando Villegas León y Washington Andrés Granda Castillo somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”

Edison Fernando Villegas León

Washington Andrés Granda Castillo

DEDICATORIA

Al finalizar una etapa más de mi vida, dedico el esfuerzo del presente proyecto a mis padres, pilares fundamentales en mi vida, quienes han velado por mi bienestar y educación. Su tenacidad y lucha ha hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y destacar, demostrándome que con amor, dedicación y perseverancia puedo alcanzar mis metas.

A mis hermanos: Adrián, Alexander y Josué que siempre han sido mi fuente de inspiración, por tantos momentos compartidos y que en base a mi ejemplo continúen con su formación académica.

Edison Fernando

El presente trabajo de investigación le dedico primero a DIOS, por acompañarme en cada momento del camino recorrido, por proporcionarme las fuerzas que he necesitado, cada paso, cada sueño, sin EL nada hubiera sido posible.

A mis padres Rafael Granda y Gladys Castillo por estar presentes apoyándome siempre, con sus consejos, con su paciencia, con su amor en cada momento; a mis hermanos quienes me han demostrado que con empeño, dedicación y valentía se pueden cumplir los sueños propuestos, sin ellos no hubiera sido posible ser un profesional, gracias de todo corazón.

Washington Andrés

AGRADECIMIENTO

Al concluir el presente trabajo de investigación expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a Dios por guiarnos y acompañarnos en todo el trayecto de nuestra carrera, por ser la fuerza en los momentos difíciles y por permitirnos adquirir experiencias y conocimientos duraderos que nos ayudaran a crecer como personas y profesionales. A nuestras queridas familias por el apoyo constante y pilar fundamental para seguir creciendo.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo quien abrió las puertas para nuestra formación profesional.

A la Empresa FASTNET CIA. LTDA. Donde nos brindaron el apoyo y los conocimientos necesarios para la investigación.

Al Ingeniero Oswaldo Martínez quien nos ha guiado durante todo el desarrollo del trabajo de titulación.

De corazón, muchas gracias por todo.

Washington y Edison

CONTENIDO

INDICE DE TABLAS	x
INDICE DE FIGURAS	xii
INDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	
MARCO REFERENCIAL	6
1. REDES INALÁMBRICAS	6
1.1 Introducción	6
1.2 Definición de redes inalámbricas	7
1.3 Tipos de redes inalámbricas	7
1.3.1 WPAN (Wireless Personal Area Network)	7
1.3.1.1 Estándar IEEE 802.15.1 (Bluetooth).....	8
1.3.1.2 Estándar IEEE 802.15.3a (UWB).....	8
1.3.1.3 Estándar IEEE 802.15.4 (ZigBee).....	8
1.3.2 WLAN (Wireless Local Area Network)	9
1.3.3 WMAN (Wireless Metropolitan Area Network)	9
1.3.4 WWAN (Wireless Wide Area Network)	9
1.3.4.1 GSM - 2G (Global System for Mobile).....	9
1.3.4.2 UMTS - 3G (Universal Mobile Telecommunications System).....	10
1.3.4.3 HSPA - 3.5G (High-Speed Packet Access).....	10
1.3.4.4 HSPA+ (High-Speed Packet Access Plus).....	10
1.3.4.5 LTE - 4G (Long Term Evolution-Fourth Generation).....	10
1.4 Características de redes inalámbricas	11
1.4.1 Ondas de Radio.....	11
1.4.2 Microondas Terrestres.....	12
1.4.3 Microondas por Satélite.....	12
1.5 Ventajas y desventajas de redes inalámbricas	13
1.5.1 Ventajas.....	13
1.5.2 Desventajas.....	13
1.6 Tecnología WiMAX	14
1.6.1 Introducción a la Tecnología WiMAX.....	14
1.6.2 WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access).....	14
1.6.3 Evolución de estándares de IEEE 802.16 (WiMAX).....	15
1.6.4 Tabla comparativa entre estándares de IEEE 802.16 (WiMAX).....	16
1.6.5 Estándar IEEE 802.16-2009.....	17

1.6.5.1	<i>Capas Físicas del Estándar 802.16-2009</i>	18
1.6.5.1.1	<i>Wireless MAN-SC</i>	18
1.6.5.1.2	<i>Fixed Wireless MAN-OFDM</i>	19
1.6.5.1.3	<i>Fixed Wireless MAN-OFDMA</i>	19
1.6.5.1.4	<i>Wireless HUMAN (High-speed Unlicensed Metropolitan Area Network)</i>	20
1.6.5.2	<i>Control de Acceso al Medio (MAC) del Estándar 802.16-2009</i>	21
1.6.5.3	<i>Componentes principales en un sistema WiMAX IEEE 802.16-2009</i>	23
1.6.5.4	<i>Entrada a Red del suscriptor y registro del CPE</i>	24
1.6.6	<i>Características Técnicas de WiMAX IEEE 802.16</i>	26
1.6.6.1	<i>Propagación</i>	26
1.6.6.2	<i>Bandas de Frecuencia</i>	28
1.6.6.2.1	<i>Bandas sin Licencia</i>	29
1.6.6.2.2	<i>Bandas con Licencia</i>	30
1.6.6.3	<i>Topologías de Red</i>	30
1.6.6.3.1	<i>Topología Punto a Punto</i>	31
1.6.6.3.2	<i>Topología Punto a Multipunto</i>	31
1.6.6.3.3	<i>Topología en Mallas (Meshing)</i>	32
1.6.6.4	<i>Calidad de Servicio QoS</i>	33
1.6.6.4.1	<i>Fases para la implementación de QoS</i>	34
1.6.6.4.2	<i>Flujos de Servicio QoS</i>	35
1.6.6.4.3	<i>Tipos de Servicio</i>	36
1.6.6.5	<i>Seguridad en Redes WiMAX (IEEE 802.16-2009)</i>	38
1.6.6.5.1	<i>Autenticación</i>	39
1.6.6.5.2	<i>Cifrado de datos</i>	40
1.6.7	<i>Aplicaciones de WiMAX IEEE 802.16</i>	40
1.6.7.1	<i>IPTV</i>	40
1.6.7.2	<i>Video vigilancia</i>	41
1.6.7.3	<i>Servicios a áreas rurales</i>	41
1.6.7.4	<i>Backhaul Inalámbrico</i>	42
1.7	<i>Tecnología Wi – Fi</i>	43
1.7.1	<i>Introducción a la Tecnología Wi-Fi</i>	43
1.7.2	<i>Evolución de los Estándares 802.11</i>	44
1.7.2.1	<i>Estándar 802.11 – 1997 (Legacy)</i>	44
1.7.2.2	<i>Estándar 802.11a</i>	44
1.7.2.3	<i>Estándar 802.11b</i>	45
1.7.2.4	<i>Estándar 802.11g</i>	46
1.7.2.7	<i>Estándar 802.11e</i>	47
1.7.2.8	<i>Estándar 802.11n</i>	47

1.7.2.9 Estándar 802.11w.....	48
1.7.2.10 Cuadro comparativo entre los estándares IEE 802.11	48
1.7.3 Generalidades IEE 802.11	49
1.7.3.1 Capa Física	49
1.7.3.2 Tipos de Modulación.....	49
1.7.3.3 Frecuencias de operación	51
1.7.3.4 Capa de enlace de datos.....	51
1.7.4 Arquitectura de redes Wi-Fi	52
1.7.4.1 Elementos de una red Wi-Fi	52
1.7.4.2 Topología de una red WiFi	53
1.7.5 Aplicaciones de WiFi	54
1.7.5.1 Redes Privadas	54
1.7.5.2 HotSpot.....	54
1.7.5.3 Servicios de valor añadido	54
1.7.5.4 Operadores WLAN	55
1.8 Coexistencia entre estándares IEEE 802.16 y IEEE 802.11	55

CAPÍTULO II

SITUACIÓN ACTUAL.....	57
2. ANALISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE FASTNET CÍA LTDA.....	57
2.1 FASTNET Cía. Ltda.	57
2.1.1 Misión FASTNET.....	57
2.1.2 Visión FASTNET.....	58
2.2 Estructura actual FASTNET Cía. Ltda.....	58
2.2.1 Infraestructura Física.....	58
2.2.2 Infraestructura en Software	59
2.2.2.1 Gestión de Red	59
2.2.2.2 Monitoreo de Red.....	60
2.2.2.3 Control de Red	61
2.3 Servicios ofertados y tipos de clientes.....	61
2.4 Estado actual de los servicios ofertados a clientes corporativos.....	62
2.4.1 Encuesta dirigida a clientes corporativos.	62
2.4.1.1 Tabulación y análisis de resultados	63
2.5 Ubicación geográfica y cobertura actual de FASTNET	69

CAPITULO III

COMPARACIÓN Y SELECCIÓN DE EQUIPOS.....	70
3. FABRICANTES.....	70
3.1 Descripción de fabricantes.....	70

3.1.1 Alvarion Technologies.	70
3.1.2 Airspan.	71
3.1.3 Alentia Systems.	71
3.1.4 Aperto Networks.	72
3.1.5 Mercury Networks.	72
3.1.6 Descripción de equipos.	73
3.1.7 Equipos ideales	79

CAPITULO IV

DISEÑO DE LA RED CONVERGENTE WIMAX/WIFI	81
4. INTRODUCCIÓN.	81
4.1 Proyección abonados corporativos.	81
4.2 Condiciones a tomar en cuenta para el diseño de la red.	82
4.2.1 Interferencia.	82
4.2.2 Rendimiento.	82
4.2.3 Escalabilidad.	82
4.2.4 Compatibilidad e interoperabilidad.	82
4.2.5 Frecuencia a utilizar.	82
4.2.5.1 Reglamentos de telecomunicaciones en Ecuador.	82
4.2.5.2 Canales operables.	83
4.2.5.3 Realidad al operar en banda libre.	83
4.2.6 Topología de red.	84
4.3 Coordenadas Geográficas BS y CPE's	85
4.3.1 Software de simulación.	86
4.3.1.1 Cambium LINKPlanner.	86
4.3.1.2 Simulación efectuada en LINKPlanner.	87
4.3.1.3 Simulación en Radio Mobile	103
4.3.2 Comparativa de las potencias y distancias de los radio enlaces.	105
4.4 Aspectos para el análisis de costos.	106
4.4.1 Costo de materiales para la red.	106
4.4.2 Costo de acceso al Backbone de internet.	107
4.4.3 Costo de licencia 3.5 GHz y permisos.	107
4.4.4 Total de inversión inicial.	109
4.4.5 Relación costo – beneficio.	109

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1	Bandas de frecuencias.....	10
Tabla 2-1	Características de las bandas que trabajan para microondas terrestres.....	11
Tabla 3-1	Descripción y evolución del estándar IEE 802.16.....	15
Tabla 4-1	Especificaciones técnicas de estándares IEEE 802.16.....	15
Tabla 5-1	Canalización de Capa Física Wireless HUMAN.....	18
Tabla 6-1	Comparación entre estándares 802.11.....	43
Tabla 1-2	Planes residenciales de FASTNET Cía. Ltda.....	56
Tabla 2-2	Planes corporativos de FASTNET Cía. Ltda.....	56
Tabla 3-2	Resultados obtenidos en la pregunta 1.....	57
Tabla 4-2	Resultados obtenidos en la pregunta 2.....	58
Tabla 5-2	Resultados obtenidos en la pregunta 3.....	58
Tabla 6-2	Resultados obtenidos en la pregunta 4.....	59
Tabla 7-2	Resultados obtenidos en la pregunta 5.....	60
Tabla 8-2	Resultados obtenidos en la pregunta 6.....	60
Tabla 9-2	Resultados obtenidos en la pregunta 7.....	61
Tabla 10-2	Resultados obtenidos en la pregunta 8.....	62
Tabla 11-2	Resultados obtenidos en la pregunta 9.....	62
Tabla 1-3	Descripción de equipos utilizables como CPE's.....	68
Tabla 2-3	Descripción de equipos utilizables como Estación Base.....	70
Tabla 1-4	Proyección de clientes corporativos a 5 años.....	75
Tabla 2-4	Coordenadas geográficas y altitud de BS y CPE's.....	79
Tabla 3-4	Throughput requerido para los servicios ofertados.....	80
Tabla 4-4	Requerimientos por cliente y detalles técnicos.....	81
Tabla 5-4	Datos obtenidos en CPE's ligados a BS - CERRO CACHA: 1.....	85
Tabla 6-4	Valores predictivos en los enlaces PtMP realizados en BS - CERRO CACHA: 1.....	85
Tabla 7-4	Datos obtenidos en CPE's ligados a BS - CERRO CACHA: 2.....	88
Tabla 8-4	Valores predictivos en los enlaces PtMP realizados en BS - CERRO CACHA: 2.....	88
Tabla 9-4	Datos obtenidos en CPE's ligados a BS - CERRO CACHA: 3.....	91
Tabla 10-4	Valores predictivos en los enlaces PtMP realizados en BS - CERRO CACHA: 3.....	91
Tabla 11-4	Datos obtenidos en CPE's ligados a BS - CERRO CACHA: 4.....	94

Tabla 12-4	Valores predictivos en los enlaces PtMP realizados en BS - CERRO CACHA: 4.....	95
Tabla 13-4	Comparativa entre potencias de recepción de los simuladores.....	99
Tabla 14-4	Costos de materiales.....	100
Tabla 15-4	Costo de acceso al Backbone de internet Telconet.....	101
Tabla 16-4	Costos de concesión y permisos.....	102
Tabla 17-4	Total de inversión inicial.....	102
Tabla 18-4	Precios de planes corporativos.....	103

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	Redes inalámbricas, según su cobertura.....	7
Figura 2-1	Alcance de una red inalámbrica hacia diferentes dispositivos.....	12
Figura 3-1	Logotipo Equipos Certificados.....	14
Figura 4-1	Esquema de canalización de 20 MHz.....	19
Figura 5-1	Pila de los Protocolos SDU, PDU y SAP.....	19
Figura 6-1	Modelo de referencia del estándar 802.16-2009.....	21
Figura 7-1	Procedimiento de entrada a la Red.....	24
Figura 8-1	Enlace LOS y primera zona de Fresnel libre de obstrucción.....	25
Figura 9-1	Enlace NLOS y diferencia en la ubicación del CPE.....	25
Figura 10-1	Atribución de frecuencias, Regiones y Zonas.....	26
Figura 11-1	Topología WiMAX enlace PtP.....	28
Figura 12-1	Topología WiMAX enlace PtMP.....	29
Figura 13-1	Topología WiMAX, red mesh.....	30
Figura 14-1	Fases para la Calidad de Servicio QoS.....	32
Figura 15-1	Transmisión de paquetes entre WiMAX y WiFi.....	33
Figura 16-1	Servicios diferenciados con QoS a través de enlaces inalámbricos.....	34
Figura 17-1	Servicios a áreas rurales, uso de un repetidor.....	38
Figura 18-1	Servicio de backhaul por parte de una WISP.....	39
Figura 19-1	Coexistencia WiMAX y Wi-Fi brindando conectividad a los usuarios.....	51
Figura 20-1	Coexistencia WiMAX/Wi-Fi, dispositivo conectado.....	51
Figura 1-2	Diagrama de interconexión de equipos FASTNET Cía. Ltda.....	53
Figura 2-2	Registro de las redes y clientes de la empresa Fastnet Cía. Ltda.....	54
Figura 3-2	Monitoreo de tráfico generado por un cliente de la empresa.....	55
Figura 4-2	Red FASTNET Cía. Ltda., mediante The Dude.....	55
Figura 5-2	Comparativa de las respuestas por parte de los clientes pregunta 1.....	57
Figura 6-2	Comparativa de las respuestas por parte de los clientes pregunta 2.....	58
Figura 7-2	Comparativa de las respuestas por parte de los clientes pregunta 3.....	59
Figura 8-2	Comparativa de las respuestas por parte de los clientes pregunta 4.....	59
Figura 9-2	Comparativa de las respuestas por parte de los clientes pregunta 5.....	60
Figura 10-2	Comparativa de las respuestas por parte de los clientes pregunta 6.....	61
Figura 11-2	Comparativa de las respuestas por parte de los clientes pregunta 7.....	61
Figura 12-2	Comparativa de las respuestas por parte de los clientes pregunta 8.....	62
Figura 13-2	Comparativa de las respuestas por parte de los clientes pregunta 9.....	63
Figura 14-2	Puntos principales Nodos y Puntos de acceso de FASTNET.....	63
Figura 15-2	Cobertura actual disponible en la ciudad de Riobamba.....	64

Figura 1-3	Logotipo de fabricante y equipo como Estación Base.....	73
Figura 1-4	Analizador de espectro MikroTik en la banda frecuencia 5 GHz.....	78
Figura 2-4	Ubicación geográfica de clientes corporativos.....	80
Figura 3-4	Enlaces PtMP desde BS-Cerro Cacha hasta CPE's distribuidos en Riobamba.....	83
Figura 4-4	Configuración de cobertura por cada sector de la Estación Base.....	84
Figura 5-4	Rendimiento AP BS-CERRO CACHA: 1, clientes corporativos de acceso a internet.....	86
Figura 6-4	Enlace BS-CPE01, Zona de Fresnel despejada.....	87
Figura 7-4	Rendimiento AP BS-CERRO CACHA: 2, clientes corporativos de acceso a internet.....	89
Figura 8-4	Enlace BS-CPE28, Zona de Fresnel despejada.....	90
Figura 9-4	Rendimiento AP BS-CERRO CACHA: 3, clientes corporativos de acceso a internet.....	92
Figura 10-4	Enlace BS-CPE09, Zona de Fresnel despejada.....	93
Figura 11-4	Rendimiento AP BS-CERRO CACHA: 4, clientes corporativos de video vigilancia.....	95
Figura 12-4	Enlace BS-CPE10, Zona de Fresnel despejada.....	96
Figura 13-4	Red diseñada en Radio Mobile.....	97
Figura 14-4	Enlace BS-CPE01, características radio Mobile.....	98
Figura 15-4	Cobertura y radio enlace exportados a google Earth.....	98

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A	Infraestructura de red disponible en Riobamba FastNet Cía. Ltda.
ANEXO B	Especificaciones técnicas de Equipos de Clientes requeridos.
ANEXO C	Especificaciones técnicas de Equipos Estación Base analizados.
ANEXO D	Realidad al operar en banda de frecuencia sin licencia 5 GHz
ANEXO E	Informe de la simulación elaborada en LINKPlanner.
ANEXO F	Simulación realizada en Software Radio Mobile.

RESUMEN

El presente trabajo de titulación consistió en la investigación y diseño de la arquitectura de red con Tecnología WiMAX en convergencia con Wi-Fi para mejorar la Calidad de Servicios digitales y ancho de banda en los clientes de FASTNET Cía. Ltda., ubicado en la ciudad de Riobamba, se efectuó una investigación científica con estas tecnologías, además se escogió diferentes equipos que contienen estas características inalámbricas permitiendo la implementación de servicios como Videovigilancia y acceso a internet, satisfaciendo la demanda de clientes. Se realizó una encuesta para conocer la situación actual del servicio de acceso a internet ofertado a clientes corporativos y demostrar la facilidad de la investigación. Se utilizó el Software de planificación LINKPlanner y Radio Mobile, permitiendo simular los enlaces de la red con topología Punto Multipunto a través de propagación LOS y NLOS, operando en frecuencia licenciada de 3.5 GHz y exportando las simulaciones a Google Earth que contiene mapas reales y topografía adecuada para la arquitectura de red. Para los clientes que requieren servicios de Videovigilancia la modulación aplicada en los CPE es 64 QAM-MIMO B, la cual brinda un Throughput de 61.65 Mbps de los cuales el 15% es destinado para Down Link, es decir 9.32 Mbps y para Up Link aproximadamente 52.32 Mbps. Para servicios de acceso a internet corporativo se tienen una modulación 16 QAM-MIMO B, la cual brindará un Throughput de 35.64 Mbps de los cuales el 85% es destinado para Down Link, es decir 29.49 Mbps y para Up Link aproximadamente 6.14 Mbps. Se concluye que WiMAX está dispuesto a soportar el tráfico producido por los servicios de Videovigilancia y acceso a internet, se recomienda a FASTNET considerar los costos que conlleva la implementación de este diseño.

PALABRAS CLAVES

<RED INALÁMBRICA>, <RED CONVERGENTE>, <TECNOLOGÍA [Wimax]>, <TECNOLOGÍA [Wifi]>, <CALIDAD DE SERVICIO [QoS]>, <LÍNEA DE VISTA [LOS]>, <SIN LÍNEA DE VISTA [NLOS]>

ABSTRACT

This work involved the network architecture with WiMAX technology on convergence with WI-FI research and design in order to improve the quality of digital services and bandwidth to FASTNET Cia. Ltda. Customers, located in Riobamba city, a scientific investigation with these technologies was carried out, and different equipment containing these wireless features was chosen allowing the implementation of services such as video surveillance and internet access to satisfy customer demand. A survey to find out the current situation of internet access service offered to corporate customers was performed and to demonstrate the research facility. LINKPlanner planning software and Mobile Radio were used, thus simulating the network links point to multipoint topology through LOS and NLOS programming, operating in licensed frequency of 3.5 Ghz. and exporting simulations to Google Earth containing actual maps and topography suitable for network architecture. For customers who require Video surveillance Services, the modulation applied to the CPE is 64 QAM-MIMO B, which provides a throughput of 61.65 Mbps of which 15 % is destined for Down Link, so that 9.32 Mbps and 52.32 Mbps to Up Link approximately. To corporate internet access services has a 16 QAM-MIMO B modulation, which will give a throughput of 35.64 Mbps of which 85% is destined for Down Link, so that 29.49 Mbps and 6.14 Mbps for Up Link approximately. We conclude that WiMAX is ready to support traffic services produced by Video surveillance services and Internet access, it is recommended to FASTNET consider costs involved in the implementation of this design.

KEYWORDS

<WIRELESS>, <CONVERGENT NETWORK>, < [Wimax] TECHNOLOGY>, < [Wifi] TECHNOLOGY>, < [QoS] QUALITY OF SERVICE>, < [LOS] LINE OF SIGHT>, < [NLOS] NON LINE OF SIGHT>

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES.

Desde el comienzo de las telecomunicaciones se ha tratado de mejorar la conectividad a los servicios que se ofrecen, pasando desde Comunicaciones Inalámbricas básicas como infrarrojo, bluetooth y Wi-Fi, hasta la tecnología WiMAX (802.16) que surge a la necesidad de poder acceder a servicios de banda ancha, debido a que sus predecesoras no cubren con las características necesarias para estos servicios.

WiMAX presenta un mejoramiento en cuanto a la seguridad, capacidad de transmisión, Calidad de Servicio (QoS), mayor robustez frente a interferencias y más importante que es compatible con otros estándares como Wi-Fi 802.11, Ethernet 802.3 ya que fue creada pensando en la interoperabilidad.

WiMAX se especializa por llegar a lugares suburbanos donde tecnologías como Cable de Cobre xDSL o Fibra Óptica no pueden desplegarse por la dificultad de acceso, además de los costos de inversión que conllevaría este acontecimiento.

La tecnología 802.16 se la puede poner en competencia con tecnologías como 3G o la misma LTE, cuya evolución va en progreso y si la comparamos como fue años atrás la tecnología 802.11 Wi-Fi, la cual revolucionó las WLANs, ahora está pasando lo mismo a un nivel de redes de área metropolitana.

En Ecuador existen pocas ciudades con esta tecnología, una de ellas viene siendo Guayaquil, pero la adquisición de equipos para los usuarios es demasiado costosa, es por ello que se trata de buscar formas para acceder de manera correcta sin tener que pagar tanto, como solución se puede aprovechar características específicas que permiten acceder a los beneficios de una red WiMAX a través de equipos especiales que converjan con la WLAN del usuario operando bajo el estándar IEEE 802.11.

El presente proyecto de tesis comprende una investigación de la Tecnología 802.16 también conocida como WiMAX y la Tecnología 802.11 o Wi-Fi como una alternativa para mejorar explícitamente la Calidad de Servicio (QoS) y prestaciones de los servicios tecnológicos de Telecomunicaciones ofertados por FASTNET Compañía Limitada en la Ciudad de Riobamba.

Se pretende ostentar un diseño innovador y benéfico para cliente y el Proveedor de Servicios de Internet, empleando una tecnología ampliamente difundida en empresas, negocios y hogares como es Wi-Fi, complementada por otra aún más potente como es WiMAX, con la convergencia de estas dos tecnologías inalámbricas se permite un ahorro económico significativo en el despliegue de la red de acceso e infraestructura además de tiempo requerido para ello en comparación a las tecnología xDSL y Fibra Óptica.

El diseño de la red servirá a FASTNET CIA. LTDA como guía para la implantación y luego poder extenderse por toda la provincia de Chimborazo. Ofreciendo los mismos servicios con la posibilidad de incluir adicionales como: Televisión Digital, Telefonía IP, capacidades avanzadas de multimedia, video streaming, conectividad P2P, debido a que WiMAX tiene banda ancha inalámbrica estable posibilitando una mayor disponibilidad de la red.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

Debido al imparable crecimiento tecnológico y la necesidad de enviar diferentes tipos de información por un mismo canal de transmisión con mayor ancho de banda y estabilidad, en la red surge la necesidad de satisfacer la demanda, para que los usuarios finales perciban una calidad de servicio a un costo beneficioso. La tecnología actual para alcanzar lugares remotos a la urbe son insuficientes además de costosos y la infraestructura para llegar a los usuarios con demandas elevadas de tráfico no cubren en su totalidad la calidad de servicio y disponibilidad que estos requieren, generando insatisfacción y molestias.

La investigación y vinculación a la colectividad se enfoca en dar solución a los inconvenientes generados por la utilización de tecnología costosa y con poco alcance especialmente en sectores rurales, se ha planteado la utilización de nuevas tecnologías que brinden mejores beneficios en base a la cobertura, velocidad de acceso e incremento del ancho de banda para optimizar los

recursos y aumentar los Servicios de Telecomunicaciones a precios asequibles en FASTNET CIA. LTDA.

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.

¿Cuáles son los factores negativos más relevantes que se presentan en la última milla respecto a la Calidad de los Servicios (QoS) recibidos por FASTNET CIA LTDA?

¿Los servicios ofertados a los usuarios son adecuados para cumplir de manera satisfactoria sus requerimientos y necesidades que demandan los avances tecnológicos?

¿Podría la tecnología 802.16-2009 WiMAX solucionar los problemas que intervienen al ofertar QoS y despliegue de la red en toda la ciudad de Riobamba por FASTNET Cía. Ltda.?

¿La convergencia de WiMAX y Wi-Fi podrán mejorar el ancho de banda para incluir nuevos servicios en la Red a costos relativamente bajos en beneficio del cliente?

JUSTIFICACION DEL TRABAJO DE GRADO.

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.

En la actualidad la mejor opción de comunicación con las personas es a través del sistema inalámbrico o móvil, la cual es muy importante porque permite enviar y compartir información de manera satisfactoria. Esta investigación dará más conocimiento con respecto a las presentes tecnologías inalámbricas, las cuales puedan brindar diferentes servicios como son telefonía móvil, datos, IPTV, VoIP, entre otras.

En el Ecuador, se estableció un plan nacional de frecuencias, el cual nos indica las diferentes frecuencias que se puede utilizar por medio de la técnica de modulación digital y se puede observar que dentro de este plan no se ha tomado en cuenta las bandas de frecuencias en las que operan diferentes tecnologías de 802.16, y sería necesario investigar el hecho de que no las incluyan. La comunicación mediante 802.16 es una de las tecnologías actuales más usadas por la factibilidad de dar acceso a servicios digitales hasta zonas donde no se puede acceder con cable, fibra o Wi-Fi, dando de esta forma a la ciudadanía una comodidad total.

Con los nuevos tipos de dispositivos inteligentes móviles como Tablet, Smartphone, tv, etc., están considerados como equipos que necesitan de mejor QoS y ancho de banda para poder trabajar con mayor desempeño y por lo cual abren en el mercado una potencial fuente de empleo para ingenieros en telecomunicaciones.

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

La investigación a realizar recopila información acerca de la tecnología 802.16 y 802.11, la cual permita conocer los diferentes funcionamientos de cada una y así poder obtener resultado los cuales nos sirvan para una convergencia entre las dos tecnologías, esto daría una solución a la empresa FASTNET CIA. LTDA en cuanto al ofrecimiento de los servicios digitales hacia sus usuarios.

La empresa no dispone de un modelo de red que tenga convergencia entre WiMAX y Wi-Fi, es por esta razón que el proyecto se enfoca a una investigación y diseño de una red que satisfaga este problema. El diseño en si consiste en poner una estación base que cuente con los dispositivos para soportar la tecnología 802.16 y así transmitir hacia sus receptores cercanos en el rango de espacio que ocupa esta red, para ello los receptores deben poseer dispositivos que además trabajen con Wi-Fi para poder hacer la transferencia de una tecnología a otra y que los usuarios que se encuentren cerca se puedan conectar a esta zona de cobertura facilitando la transferencia de los servicios digitales establecidos.

Para la cobertura que tendrá la estación base, utilizaremos software y simuladores los cuales permitan mostrar el rango posible a alcanzar y la cantidad de receptores que pueden conectarse, así mismo en la parte de los receptores se considera el tipo de conexión ya sea NLOS o LOS, y las pérdidas que se obtendrían al momento de prestar los servicios. Se realizará un presupuesto para saber el costo de implementación de esta red, para así dar a conocer a la empresa la cantidad de dinero que debería invertir para obtener este servicio.

OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL.

- ✚ Investigar y diseñar una red inalámbrica con Tecnología WiMAX (802.16) en convergencia con Wi-Fi (802.11) para mejorar la Calidad de Servicios digitales y ancho de banda en los usuarios de FASTNET CIA LTDA.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- ✚ Instituir los fundamentos técnicos que soportan las tecnologías WiMAX y WiFi, además de los principios de compatibilidad entre estas dos tecnologías para el marco teórico que apoyen la realización del proyecto.
- ✚ Realizar un estudio del estado actual de la empresa FASTNET CIA. LTDA con respeto a los servicios ofertados a sus clientes.
- ✚ Elaborar una arquitectura y el análisis sistemático de los requerimientos técnicos para diseñar la topología de red inalámbrica WiMAX-WiFi como solución de banda ancha y Calidad de servicio (QoS).
- ✚ Respalidar el proyecto mediante una simulación de cobertura y alcances mediante software de planificación predictivo basado en el diseño de la red inalámbrica presentado.
- ✚ Desarrollar un esquema de costos beneficio y de rendimiento al comparar los equipos adecuados que conllevarían la implementación del diseño y configuración de la red elaborada para determinar si es factible y viable el proyecto.

CAPITULO I

MARCO REFERENCIAL.

1. REDES INALÁMBRICAS.

1.1 Introducción.

La tecnología inalámbrica actualmente se ha integrado en nuestro diario vivir con nuevas formas de comunicación y mejores prestaciones en cuanto a movilidad y comodidad, teniendo una gran aceptación por los usuarios a nivel mundial que demandan mayor Ancha de Banda, para poder acceder a Internet u otros servicios de Telecomunicaciones en cualquier lugar sea este urbano o suburbano.

Las redes inalámbricas constituyen un aspecto importante en un WISP (Wireless Internet Service Provider), que requiere expandir la infraestructura, para alcanzar mayor cobertura y brindar conectividad a los clientes potenciales, que se encuentran en lugares alejados de la ciudad y limitados a acceder a los servicios tecnológicos, de esta forma se permite de manera fácil la incorporación de nuevos usuarios a la red a menor costo en comparación de los sistemas cableados.

Esta tecnología adquirió abundante popularidad por la fácil implementación y expansión de la red en áreas de acceso complicado, hasta imposible de realizar con tecnología alámbricas, presentando soluciones integradas, sobre los parámetros de calidad suficientes para satisfacer los requerimientos de clientes exigentes.

Sin duda las redes inalámbricas han revolucionados las telecomunicaciones y formas de acceder a los servicios brindados por la red, dejando a un lado las limitaciones por los cables conectados al computador de la oficina o casa, dando lugar a dispositivos como Tabletas, Celulares, Laptops, etc..., con mejores funciones, sin necesidad de tener cables conectados a la interfaz de red, esto, junto con la conectividad personal se definirá un futuro sin cables.

1.2 Definición de redes inalámbricas.

Las redes inalámbricas permiten la interconexión entre dos o más puntos, nodos o estaciones, por medio de ondas electromagnéticas que viajan a través del espacio, logrando el intercambio de información entre el emisor y el receptor. (CLANAR, 2012, <http://clanar-internacional.com.pe/>)

1.3 Tipos de redes inalámbricas.

Existen distintos tipos de comunicación inalámbrica, dependiendo del alcance definido por cada estándar se clasifican en la siguiente forma:

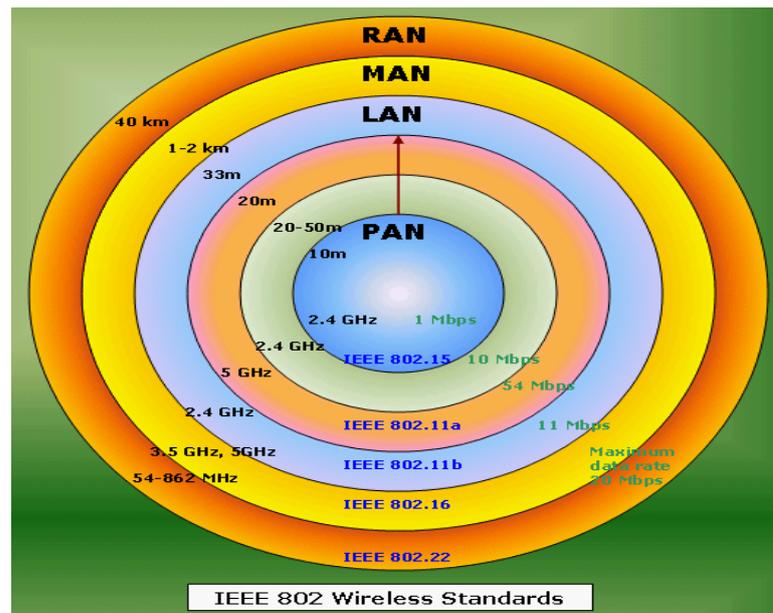


Figura 1-1: Redes inalámbricas, según su cobertura.

Fuente: IEEE 802 Wireless Standards.

1.3.1 WPAN (Wireless Personal Area Network)

WPAN significa Red de Área Personal Inalámbrica, son redes con el objetivo de alcanzar una fácil compartición de información entre todos los tipos de dispositivos inalámbricos entre estos portátiles, PDAs, teléfonos inteligentes o impresoras. (CLANAR, 2012, <http://clanar-internacional.com.pe/>)

Las WPAN emplean tecnologías de comunicación inalámbricas de corto alcance, típicamente un área de 10 metros, una variedad de soluciones PAN son ofrecidas, usando tecnologías de radio existentes tales como:

1.3.1.1 Estándar IEEE 802.15.1 (Bluetooth)

Ofrece conexiones inalámbricas económicas para transmisión de voz y datos entre dispositivos finales, mediante un enlace de radiofrecuencia de bajo potencial, optimizado para conexiones seguras de corto alcance y operando en frecuencia de 2.4 GHz.

Una característica clave para minimizar las múltiples interferencias que se puedan producir y aumentar la seguridad de la conexión Bluetooth utiliza FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum). (CLANAR, 2012, <http://clanar-internacional.com.pe/>)

1.3.1.2 Estándar IEEE 802.15.3a (UWB)

Esta tecnología tiende a revolucionar las redes caseras, opera en un espectro libre de 3.1 GHz a 10.6 GHz, proporciona altas velocidades de transmisión en distancias menores a 10 metros con baja potencia de radiación, es decir los dispositivos que trabajen con las UWB (Ultra Wide Band), no causan interferencia destructiva a servicios licitados como telefonía celular, frecuencias satelitales y canales de radio terrestre.

1.3.1.3 Estándar IEEE 802.15.4 (ZigBee)

Desarrolla soluciones para comunicaciones de baja transmisión de datos, entre 20 Kbps y 250 Kbps, flexibilidad, bajo costo y consumo de energía. Cubre distancias de hasta 75 metros en las bandas de 2.4 GHz y 819-915 MHz.

1.3.2 WLAN (Wireless Local Area Network)

Las Redes de Área Local Inalámbricas permiten conectarse a la red de un edificio corporativo, campus empresarial o espacios públicos, con mayor movilidad y disminuyen las conexiones cableadas.

La IEEE aprobó el estándar 802.11 que especifica velocidades de transmisión desde 11 Mbps hasta 54 Mbps, en las bandas de 2.4 y 5 GHz, dependiendo del protocolo que se utilice. Más adelante se hará énfasis sobre estos estándares.

1.3.3 WMAN (Wireless Metropolitan Area Network)

Las Redes de Área Metropolitana Inalámbrica permiten a los usuarios establecer conexiones entre varias ubicaciones geográficas muy extensas, en una cobertura de 50 Km, sin el alto costo que supone una implementación con cables de cobre o fibra óptica y el alquiler de las líneas. Las tecnologías más conocidas son: WiBro, LMSD, HiperMAN y WiMAX, esta última es la parte medular del proyecto de titulación que se desarrolla más adelante.

1.3.4 WWAN (Wireless Wide Area Network)

Las Redes de Área Extensa Inalámbrica, representan una cobertura superior a todas las redes inalámbricas existentes, cubriendo amplias áreas geográficas regionales e incluso a nivel nacional, mediante el uso de sistemas satelitales o antenas ubicadas estratégicamente para garantizar la cobertura del servicio. (Caldera, 2014, <http://tesis.ipn.mx>)

1.3.4.1 GSM - 2G (Global System for Mobile)

El Sistema Global para Comunicaciones Móviles, es la tecnología celular de segunda generación, ofrece transmisión de datos a 9.6 Kbps usando canales dedicados, permite tener acceso a internet, realizar llamadas y envío de mensajes de texto, a través de la red de telefonía móvil.

1.3.4.2 UMTS - 3G (Universal Mobile Telecommunications System)

Es la tercera generación de la red celular, sucesora de GSM con mejores prestaciones, ofreciendo servicios de voz, fax, mensajes multimedia, video llamadas y conexión a internet a mayor velocidad llegando hasta 2 Mbps en cobertura local para cada usuario.

1.3.4.3 HSPA - 3.5G (High-Speed Packet Access)

Es una tecnología de acceso inalámbrica pensada para aumentar la capacidad de conectividad a Internet desde terminales móviles 3G, la implantación sobre UMTS con la misma portadora e infraestructura de red, con una la ventaja que HSPA optimiza el espectro radioeléctrico. El estándar que describe esta evolución tecnológica es 3GPP (3rd Generation Partnership Project (3GPP) es un acuerdo de colaboración en tecnología de telefonía móvil, que fue establecido en diciembre de 1998.

1.3.4.4 HSPA+ (High-Speed Packet Access Plus)

Es una tecnología inalámbrica de tercera generación 3G (transmisión de voz y datos a través de telefonía móvil), puede ofrecer en teoría velocidades hasta de 56 Mbps de bajada y 22 Mbps de subida, aumenta la velocidad modulando los datos con 64QAM si la señal es suficientemente buena.

La modulación 64 QAM transporta más información con los mismos recursos radioeléctricos.HSPA+ también introduce una arquitectura IP opcional para las redes cuyas estaciones base estén conectadas directamente a un Backhaul IP y en seguida al enrutador del ISP.

1.3.4.5 LTE - 4G (Long Term Evolution-Fourth Generation)

LTE es una tecnología estandarizada por el 3GPP (Third Generation Partnership Project) el cual define un nuevo acceso de radio de alta velocidad, LTE se encuentra especificado en el 3GPP Release 8.

Se presenta como la evolución de la tecnología celular UMTS conocida como EUTRA (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access) y E-UTRAN (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network). LTE es parte de un camino de tecnologías de alta velocidad y baja latencia que comprende GSM, GPRS, EDGE, WCDMA y HSPA. (Analuisa, 2014, <http://repositorio.uta.edu.ec>)

1.4 Características de redes inalámbricas.

Las características de las redes inalámbricas dependerán según la frecuencia a la cual trabajen para poder transmitir, sean estas por medio de ondas de radio, microondas de forma terrestre o mediante satélite, inclusive el infrarrojo.

1.4.1 Ondas de Radio

Las ondas de radio o mejor conocidas como ondas electromagnéticas son usadas para transmitir información de un lugar a otro a través del espacio. En las comunicaciones la manera más eficiente de referirnos a ellas son como ondas de radio frecuencias o RF.

La propagación de las ondas de RF va por el aire desde una antena transmisora hasta ser recibida por otra antena la cual será de recepción que percibe las variaciones que contiene la información enviada. Las ondas de radio frecuencias se dividen de la siguiente forma:

Tabla 1-1: Bandas de Frecuencias.

Nombre de la Frecuencia	Rango de la Frecuencia	Longitud de Onda
ELF (Extremely Low Frequency)	3 – 30 Hz	100000-10000 km
SLF (Super Low Frequency)	30 – 300 Hz	10000-1000 km
ULF (Ultra Low Frequency)	300 – 3000 Hz	1000-100 km
VLF (Very Low Frequency)	3 – 30 KHz	100-10 km
LF (Low Frequency)	30 – 300 KHz	10-1 km
MF (Medium Frequency)	300 – 3000 KHz	1 km – 100 m
HF (High Frequency)	3 – 30 MHz	100 – 10 m
VHF (Very High Frequency)	30 – 300 MHz	10 – 1 m
UHF (Ultra High Frequency)	300 – 3000 MHz	1m – 100 mm

SHF (Super High Frequency)	3 – 30 GHz	100 – 10 mm
EHF (Extremely High Frequency)	30 – 300 GHz	10 – 1 mm

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015

1.4.2 Microondas Terrestres

La transmisión a través de microondas terrestres es por medio de antenas parabólicas que constan con diámetro aproximado de unos 3 metros. La antena se coloca de manera fija cuyo haz estrecho debe estar perfectamente enfocado hacia la antena receptora. Estas antenas deben estar colocadas a una altura apreciable sobre el nivel del suelo para abarcar un mayor rango de cobertura e incluso evitar obstáculos en la transmisión.

Los enlaces que se realizan con las microondas terrestres son de topología punto a punto en distancias cortas y trabajan en las frecuencias de 1 – 300 GHz.

Tabla 2-1: Características de las bandas que trabajan para microondas terrestres.

Nombre de la Frecuencia	Rango de la Frecuencia	Ancho de Banda	Velocidad de Transmisión	Aplicación
UHF (Ultra High Frequency)	300 – 3000 MHz	Para 20 MHz	Para 10 Mbps	Televisión, microondas terrestres
SHF (Super High Frequency)	3 – 30 GHz	Para 500 MHz	Para 100 Mbps	Microondas terrestres, microondas por satélite
EHF (Extremely High Frequency)	30 – 300 GHz	Para 1 GHz	Para 750 Mbps	Enlaces punto a punto (experimentales)

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

1.4.3 Microondas por Satélite

Implica la comunicación entre 2 o más estaciones terrestres o también se los conoce como estaciones base a través de un satélite de comunicaciones. Dicho satélite recepta la señal de una estación base en una cierta banda de frecuencia para después amplificarla o repetirla y posteriormente la retransmite en diferente banda de frecuencia.

Para que un satélite funcione con eficacia, se exige que se mantenga una órbita geoestacionaria. Si no fuera el caso, no estarían constantemente alineado con las estaciones base. La distancia

correcta para que un satélite se mantenga geostacionario es de 38.784 Km., puesto que debe cumplir un periodo de rotación igual al de la tierra. (Vélez Arango, Karen, 2012, <http://redesinalambricas28.blogspot.com/>)

1.5 Ventajas y desventajas de redes inalámbricas.

1.5.1 Ventajas

Lo más importante de las redes inalámbricas es su libertad de movimiento, su sencilla reubicación de terminales y la rapidez con la que se puede instalar. Una red inalámbrica soluciona la llegada a ciertos lugares donde el cableado resulta difícil de realizar, por ejemplo en sectores rurales o edificios históricos o en grandes naves industriales, donde colocar canaletas para pasar el cable podría complicar el paso de transeúntes o automóviles, o la necesidad de disponer de vías alternativas por motivos de seguridad.

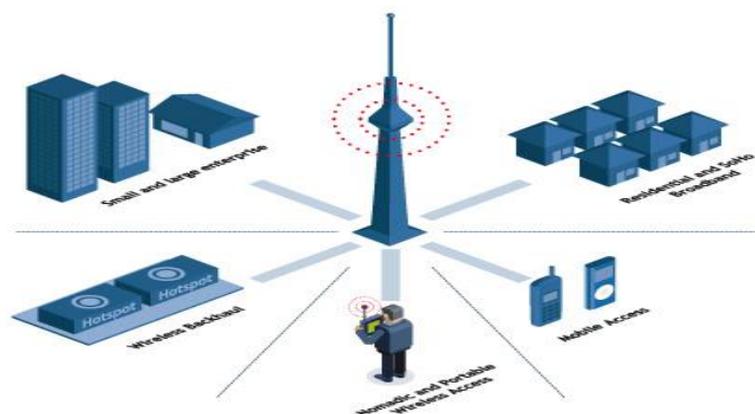


Figura 2-1: Alcance de una red inalámbrica hacia diferentes dispositivos.

Fuente: http://www.icesi.edu.co/blogs_estudiantes/jpcanizalesmercadeo/files/2012/01/wifi-salud1.jpg

En cuestión a los precios, resulta ser más barato lo inalámbrico que lo alámbrico como puede ser la fibra u otro tipo de medio. Una red inalámbrica permite una gran movilidad dentro del alcance de la red. (Ramírez Jesús, Díaz José, 2015, p. 87-88)

1.5.2 Desventajas

Claro está que no todo son ventajas para las redes inalámbricas frente a las cableadas: hay diferentes parámetros en que las cableadas ofrecen una mayor cantidad de prestaciones. Otra desventaja es la velocidad de transmisión siendo los límites máximos de 54Mbps en una WLAN compartidos entre varios usuarios.

Son así mismo más inmunes a interferencias, más inseguras y requieren un mayor mantenimiento, Estas desventajas pueden ser realmente importantes o casi insignificantes dependiendo de la calidad de la implantación. (Ramírez Jesús, Díaz José, 2015, p. 88-89)

1.6 Tecnología WiMAX

1.6.1 Introducción a la Tecnología WiMAX.

El incremento de usuarios que requieren acceder a las redes informáticas y nuevos servicios que demandan una alta velocidad de transmisión de datos, crea la necesidad de cambiar infraestructuras de cableado por métodos más versátiles como medios inalámbricos. WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) fue diseñado como solución de última milla que ofrece un desempeño igual a los servicios entregados por tecnologías que utilizan cables T1, E1 o ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line), con la particularidad de que WiMax podrá ingresar a ofrecer sus servicios en áreas de difícil acceso.

Satisfacer la creciente demanda de Acceso de Banda Ancha Inalámbrica (BWA) en áreas suburbanas, difíciles de alcanzar por las limitaciones de la tradicional infraestructura cableada xDSL o Fibra Óptica y sus costos de implementación, es un reto continuo para los WISP (Proveedores de Servicios de Internet Inalámbrico).

1.6.2 WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access).

WiMAX significa Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas. La tecnología estandarizada por el IEEE bajo el apelativo 802.16, comúnmente conocida como WiMAX, abarca las tecnologías inalámbricas basadas en Wireless-MAN. La certificación WiMAX trata la interoperabilidad y compatibilidad de productos de diferentes fabricantes basados en 802.16, provee conectividad a usuarios fijos, portátiles y móviles, sin necesidad de vista directa entre estaciones base, formidable ventaja entre las tecnologías inalámbricas existentes.

WiMAX incluye alcances de cobertura de hasta 48 Km con LOS (Line Of Sight), se reduce la cobertura a 8Km en condiciones NLOS (Non Line Of Sight), el rendimiento de la transmisión de datos depende de las condiciones climáticas, interferencia, ruido, entre otros factores. Teóricamente se plantea velocidades de transmisión de 75 Mbps sin línea de vista entre estaciones base y hasta 124Mbps con línea de vista.

Los radioenlaces con WiMAX son topologías PtP (Punto a Punto) o PMP (Punto-Multipunto), se presentan como una alternativa flexible y más barata. El estándar incluye mecanismos de seguridad y Calidad de Servicio (QoS), requisitos obligatorios para un servicio de categoría comercial. [2] Los equipos certificados por el Foro WiMAX pueden llevar este logotipo. (Escobar Zapata & González Endara, 2011)



Figura 3-1: Logotipo Equipos Certificados.

Fuente: WiMAX Fórum.

1.6.3 Evolución de estándares de IEEE 802.16 (WiMAX).

Tabla 3-1: Descripción y evolución del estándar IEEE 802.16.

ESTÁNDAR IEEE	DESCRIPCIÓN
802.16	Conocido también como Wireless MAN-SC, referido para enlaces fijos de radio con Línea de Vista (LOS) directa entre el transmisor y receptor, en un rango de frecuencia entre 10 y 66GHz, con una cobertura máxima de 5 Kilómetros, actualmente esta tecnología entro en estado de obsoleta.
802.16a	Debido a que es complejo la operación de dispositivos a frecuencias mayores a 11 GHz el grupo empezó a trabajar en frecuencias de 2 a 11 GHz y que además no era necesario tener línea de vista libre y variaron también el control de acceso al medio y la capa física logrando una distancia de 40 a 70 Kilómetros esto se estandarizo como 802.16a en el año 2003, válido para topologías PMP Punto Multipunto y redes en malla, teóricamente alcanzar velocidades de hasta 75 Mbps.
802.16b	Se empieza a trabajar con calidad de servicio con esto dando prioridad a ciertos tráfico con lo que ya se puede hablar de voz y video así como también incrementa el espectro utilizando las bandas de frecuencia de 5 a 6 GHz, esto para la Interoperabilidad y especificación de certificados.
802.16c	Se desarrolla el concepto de perfiles con lo que se puede limitar las características obligatorias y las opcionales de 802.16 y con esto los fabricantes tendrían un conocimiento mayor para fabricar sus dispositivos para la interoperabilidad. Para el estándar 802.16c se definieron tres <i>modulaciones modulación con una sola portadora, modulación con OFDM de 256</i>

	<i>portadoras y de 2048 portadoras, pero el elegido es OFDM de 256 portadoras por la menor complejidad respecto al esquema de 2048 portadoras.</i>
802.16-2004d	Básicamente es una revisión que integra las normas 802.16, 802.16a y 802.16b. Este estándar final soporta numerosos elementos obligatorios y opcionales. Teóricamente podría transmitir de 70 Mbps a 100Mbps con canales de 20MHz en condiciones ideales. Descrito en un Rango de Frecuencia de entre 2 GHz y 11 GHz, funciona con Línea de vista (LOS) y sin línea de vista (NLOS) y un alcance de 5 a 10 kilómetros de cobertura. Actualmente es la que ha entregado mejores resultados y con posibilidades de posicionarse en el mercado a nivel mundial.
802.16f	Es desarrollada por el Grupo de Tarea de Administración de Red, describe la base de información de Administración MIB (Management Information Base), para la interfaz aire de sistemas Banda ancha fijos.
802.16e	Es una mejora del estándar 802.16-2004 como solución inalámbrica que permite la convergencia de redes de banda ancha fija y móvil. La interfaz aire de WiMAX móvil adopta Acceso Múltiple por División Ortogonal de Frecuencia (OFDMA) y SOFDMA para reducir la interferencia multitrayecto en entornos sin visión directa entre antenas (NLOS). Descrito en un Rango de Frecuencia de entre 2 GHz y 6 GHz, alcanzando una velocidad de 15Mbps con canales de 5MHz y un alcance de 2 a 5 kilómetros de cobertura.
802.16g	Describe servicios y procedimientos del Plano de Administración para sistemas de banda ancha fijos.
802.16h	Este proyecto especifica mecanismos mejorados, políticas y fortalece el Control de Acceso al Medio (MAC), de esta forma facilita la coexistencia entre sistemas sin licencia y los que requieran licencia para operar a ciertas frecuencias.
802.16-2009	Aprobado en 2009, corresponde a la enmienda IEEE 802.16 más estable, es una revisión de IEEE 802.16-2004, IEEE 802.16e™ -2005, IEEE 802.16-2004 / Cor1-2005, IEEE 802.16f™ -2005, e IEEE 802.16g™ -2007, junto con elementos adicionales de mantenimiento y mejoras en las especificaciones de base de información de gestión. Esta revisión sustituye y deja obsoleta IEEE Estándar 802.16-2004 y todas sus posteriores modificaciones y correcciones. Brinda libertad de decisión al operador al trabajar en bandas libres o licenciadas según sea las necesidades, debido a que permite el uso de frecuencias de 2 a 66GHz, con velocidades de transmisión de hasta 120Mbps de hasta 8Km de cobertura.
802.16m	Estándar inalámbrico en el que trabaja la IEEE, en modo nómada (movilidad restringida) o en modo de alta eficiencia/señal fuerte se espera que pueda trabajar a velocidades de transmisión de 1Gbps y 100Mbps en modo de alta movilidad a [100-350] Km/h. La enmienda IEEE 802.16m con la especificación IEEE 802.16 WirelessMAN-OFDMA posee compatibilidad hacia atrás, es decir, WiMAX System Release 2 proporciona una ruta de migración para los operadores WiMAX de hoy para mejorar aún más el rendimiento actual de la red.

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

1.6.4 Tabla comparativa entre estándares de IEEE 802.16 (WiMAX).

La siguiente tabla recopila información de los estándares más relevantes definidos por la IEEE y las enmiendas de 802.16 WiMAX.

Tabla 4-1: Especificaciones técnicas de estándares IEEE 802.16.

	802.16	802.16-2004	802.16-2005	802.16-2009
Banda de Frecuencias	10 GHz – 66GHz	2 GHz – 11GHz	Fijo→ 2 GHz – 11GHz Móvil→ 2 GHz – 6 GHz	Hasta 66 GHz
Condiciones de propagación	LOS	LOS y NLOS	NLOS	LOS y NLOS
Arquitectura MAC	PtP, PtMP, Malla	PtP, PtMP, Malla	PtP, PtMP, Malla	PtP, PtMP, Malla
Esquema de Transmisión	Una sola portadora.	256 subportadoras OFDM	OFDM escalable (OFDMA) con 128, 256, 512, 1024 o 2048 subportadoras	OFDMA con 128, 256, 512, 1024 o 2048 subportadoras
Modulación	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM

Multiplexación	Burst TDM, TDMA.	Burst TDM, TDMA, OFDM, OFDMA	Burst TDM, TDMA, OFDM, OFDMA	TDM, TDMA, DAMA, OFDM, OFDMA
Designación de Interfaz Aérea	Wireless MAN-SC	Wireless MAN-Sca, Wireless MAN-OFDM, Wireless MAN-OFDMA, Wireless MAN-HUMAN	Wireless MAN-Sca, Wireless MAN-OFDM, Wireless MAN-OFDMA, Wireless MAN-HUMAN	Wireless MAN-SC, Fixed Wireless MAN-Sca, Fixed Wireless MAN-OFDM, Wireless MAN-OFDMA, Wireless MAN-HUMAN
Duplexación	TDD y FDD	TDD y FDD	TDD y FDD	TDD y FDD
Velocidad de transmisión	32 Mbps – 134 Mbps	75 Mbps con canales de 10MHz	15 Mbps con canales de 5 MHz	96 Mbps con canales de 20 MHz
		100 Mbps con canales de 20 MHz	75 Mbps con canales de 20 MHz	134 Mbps con canales de 28 MHz
Ancho de Banda	20MHz, 25 MHz, 28 MHz	1.75MHz, 3.5MHz, 7MHz, 14MHz, 1.25MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz, 8.75MHz	1.75MHz, 3.5MHz, 7MHz, 14MHz, 1.25MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz, 8.75MHz	1.25 MHz, 3.5 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 20 MHz, 25 MHz, 28 MHz
Movilidad	Fijo	Fijo y Portable	Móvil	Fijo, Portable, Nómada y Móvil
Rango de celda	2 Km – 5 Km	5 a 8 Km. Hasta 50 Km según altura de torre, ganancia de antena y potencia de transmisión	2 Km – 5 Km	8 Km

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

1.6.5 Estándar IEEE 802.16-2009.

Estándar aprobado en Mayo de 2009, es una enmienda que mejora a sus versiones anteriores revisadas en el cuadro 1-1, este estándar es considerado el más estable hasta la fecha debido a las características adicionales en la Capa de Acceso al Medio o **MAC**, diseñada especialmente para implementación de topología Punto a Multipunto (**PtMP**), con el uso de una Estación Base (**BS**) el mismo que se encarga de gestionar a varias estaciones de abonados (**SS**).

En cuanto a la Capa Física (**PHY**), permite la operación **LOS** (Line of Sight) y **NLOS** (Non Line of Sight) en un amplio espectro de frecuencias electromagnéticas, bajo los 11 GHz en bandas licenciadas y no licenciadas, y de 11 GHz hasta 66 GHz.

Esta versión sustituye y deja obsoleto al Estándar IEEE 802.16-2004 y todas sus posteriores modificaciones y correcciones.

Los modelos de referencia para la interfaz aire son: Wireless MAN-SC, Fixed Wireless MAN-SCa, Fixed Wireless MAN-OFDM, Wireless MAN-OFDMA, Wireless MAN-HUMAN. (Ieee, Std, Standard, Division, & Access, 2012, <http://www.wimaxforum.org>)

1.6.5.1 Capas Físicas del Estándar 802.16-2009

Se definen varias capas físicas o interfaces de aire que determinan el funcionamiento del estándar 802.16-2009 en el nivel más bajo del modelo OSI. En cada implementación se deberá elegir sólo un modelo de PHY, de manera que la subcapa CPS puede interactuar con varias subcapas de convergencia pero sólo con una Capa PHY. (Ieee, Std, Standard, Division, & Access, 2012, <http://www.wimaxforum.org>)

1.6.5.1.1 Wireless MAN-SC.

Es la interfaz específica para operar en bandas de frecuencia entre 10 GHz y 66 GHz con Línea de vista (**LOS**), generalmente utiliza canales de 20, 25 y 28 MHz de ancho de banda con Duplexación por División de Frecuencia (**FDD**) y Duplexación por División de Tiempo (**TDD**), la interfaz aire es capaz de manejar una transmisión *half dúplex* **FDD** hacia el **SS**, pudiendo reducir costos ya que no transmite y recibe simultáneamente.

El acceso al canal ascendente (**UL PHY**) es realizado por una combinación de **TDMA** (Acceso Múltiple por División de Tiempo) y **DAMA** (Acceso Múltiple por Asignación de Demanda), basado en la transmisión de ráfagas diseñadas para llevar **MAC PDU** de longitud variable, codificado con **FEC** (Forward Error Correction) y mapeado con modulaciones QPSK, 16-QAM o 64-QAM según sea el caso.

La comunicación de canal descendente es empleada usando Multiplexación por División de Tiempo (**TDM**), y también especifica aleatoriedad, corrección de error en transmisión (**FEC**), modulación y esquemas de codificación. (Ieee, Std, Standard, Division, & Access, 2012, <http://www.wimaxforum.org>)

1.6.5.1.2 Fixed Wireless MAN-OFDM

Capa física adoptada para el Acceso Inalámbrico de Banda Ancha (**BWA**), basada en Multiplexación por División Ortogonal de Frecuencia (**OFDM**) con 256 subportadoras para **FTT** (Transformada Rápida de Fourier), para el acceso utiliza TDMA. Soportar múltiples **SS** que pueden operar en bandas de frecuencia desde 2 GHz hasta 11 GHz

Específicamente en 2.5 GHz, 3.5 GHz bandas con licencia, utilizando canales de 1.75 MHz, 3 MHz, 3.5 MHz, 5 MHz, 5.5 MHz y 7 MHz. En el caso de 5 GHz bandas sin licencias se utiliza canales de 10 MHz, la propagación es sin línea de vista **NLOS**. (Ieee, Std, Standard, Division, & Access, 2012, <http://www.wimaxforum.org>)

1.6.5.1.3 Fixed Wireless MAN-OFDMA

Esta interfaz aire utiliza Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal (**OFDMA**), una mejora de OFDM y modulaciones QPSK, 16-QAM o 64-QAM, usa uno de los tamaños para FTT con subportadoras de 128, 515, 1024 o 2048 por lo que se puede tener anchos de banda variables en cada canal, para proveer combinadamente acceso Fijo y Móvil BWA.

Características importantes de esta PHY, es que fue diseñada para ambientes NLOS, proveer servicios de banda ancha a varios usuarios simultáneamente y limitada en frecuencias bajo los 11 GHz en bandas que requieren una licencia.

1.6.5.1.4 Wireless HUMAN (High-speed Unlicensed Metropolitan Area Network).

Significa Redes Inalámbricas de Área Metropolitana de alta Velocidad no Licenciadas, adapta todas las PHY mencionadas anteriormente, permite utilizar TDD método de duplexación que incluye la opciones del Sistema de Antenas Adaptivas (**AAS**), protocolos para el control de errores como Repetición Automática de Solicitud (**ARQ**) y mecanismo para realizar la diversidad de tipo espacial en la transmisión (**STC**), para bandas sin licencia en frecuencias inferiores a 11 GHz.

Puede emplear tanto OFDM como OFDMA, para poder estandarizar los canales usados en esta interfaz aire se propuso un esquema de modulación con el objetivo de minimizar la interferencia en los Sistemas Wi-Fi IEEE 802.11a, a pesar de que esto se traduce en el uso menos eficiente del espectro. (Ieee, Std, Standard, Division, & Access, 2012, <http://www.wimaxforum.org>)

Tabla 5-1: Canalización de Capa Física Wireless HUMAN.

Dominio de Regulación.	Banda de frecuencia [GHz]	Canalización.	
		10 MHz	20 MHz
Estados Unidos.	U-NII media	55, 57, 59, 61, 63, 65, 67	56, 60, 64
	5.25-5.35		
	U-NII superior	148, 150, 152, 154, 156, 158, 160, 162, 164, 166	149, 153, 157, 161, 165
	5.47-5.735		
Europa.	CEPT banda B	99, 101, 103, 105, 107, 109, 111, 113, 115, 117, 119, 121, 123, 125, 127, 129, 131, 133, 135, 137	100, 104, 108, 112, 116, 120, 124, 128, 132, 136
	5.47-5.725		
	CEPT banda C	147, 149, 151, 153, 155, 157, 159, 161, 163, 165, 167, 169	148, 152, 156, 160, 164, 168
	5.725-5.875		

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

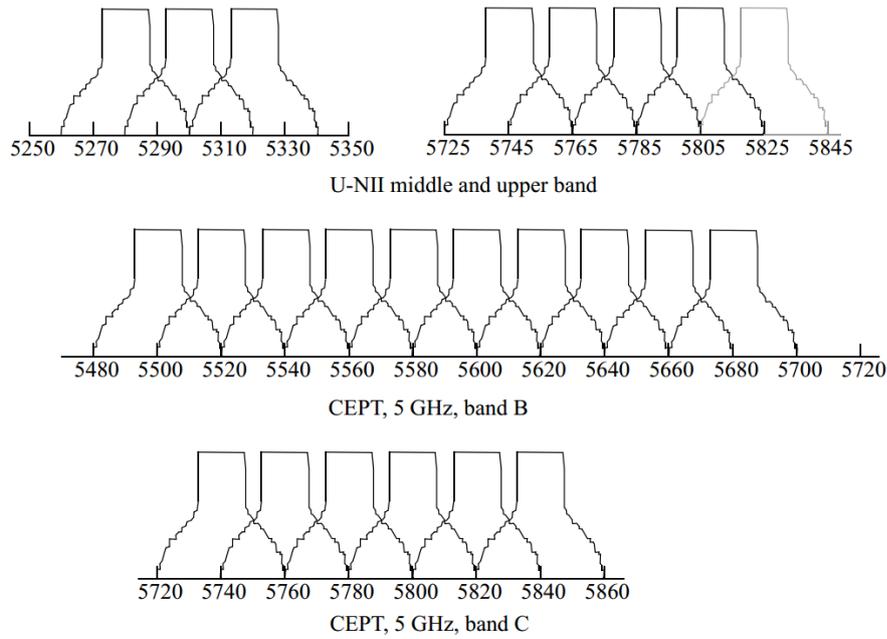


Figura 4-1: Esquema de canalización de 20 MHz
Fuente: IEEE Estándar for Local and Metropolitan área Network, página 1125.

1.6.5.2 Control de Acceso al Medio (MAC) del Estándar 802.16-2009

El *Control de Acceso al Medio* proporciona un interfaz entre las capas superiores y la PHY, se tiene un modelo de referencia basado en tres subcapas que son: Subcapa de Convergencia (CS), Subcapa de Parte Común (CPS) y Subcapa de Seguridad (SS). Se destaca la implantación de Service Access Point (SAP) para intercambiar información entre capas y para la comunicación entre entidades Transmisora y Receptora se implementa la Unidad de Datos de Protocolo (PDU), se muestra a continuación en la *Figura 5-1*.

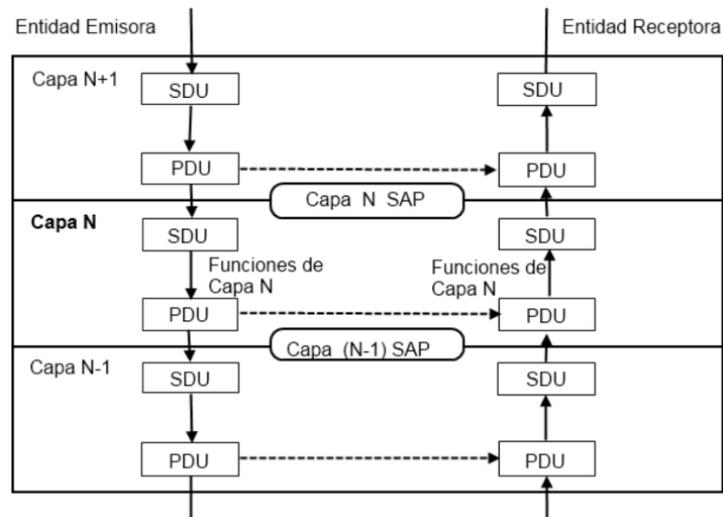


Figura 5-1: Pila de los Protocolos SDU, PDU y SAP.
Fuente: IEEE Estándar for Local and Metropolitan Area Network.

Unidad de Datos de Protocolo (PDU): La información solamente se intercambia entre entidades pares de la misma capa del protocolo, mismos que en dirección descendente, es la unidad de datos generada por la siguiente capa inferior. En dirección ascendente, es la unidad de datos recibida desde la capa inferior previa.

Punto de Acceso al Servicio (SAP): Los SDU son entregados a este punto, cada flujo SDU es clasificado y es asociado con un Identificador de Flujo SFID (Service Flow Identifier) y un Identificador de Conexión CID (Connection Identifier).

❖ **Subcapa de Convergencia (SC):** Permite el mapeo de datos provenientes de las redes externas, por medio del Punto de Acceso al Servicio (SAP), las principales funciones de esta subcapa son:

- ❖ Aceptar PDUs desde capas más altas.
- ❖ Mejorar la clasificación PDUs superiores.
- ❖ Entregar CS PDU al apropiado MAC SAP.
- ❖ Recibir CS PDU desde la entidad par.

❖ **Subcapa de Parte Común (CPS):** Subcapa considerada el núcleo de la Capa MAC, porque a través de esta capa es posible utilizar topología Punto Multipunto (PtMP) concentra las funcionalidades de acceso al sistema o método de acceso al medio, administración de ancho de banda, provee funciones de Duplexación y canalización para acceso a la Red, establecimiento y mantenimiento de la conexión, para programación de transmisión se ejecutan decisiones de QoS.

❖ **Subcapa de Seguridad (SS):** Provee mecanismos de encriptación y des-encriptación durante la transferencia de datos desde y hacia la Capa PHY mediante el uso de autenticación, intercambio de llaves y cifrado.

En la siguiente figura se encuentra el Modelo de referencia para el estándar 802.16-2009.

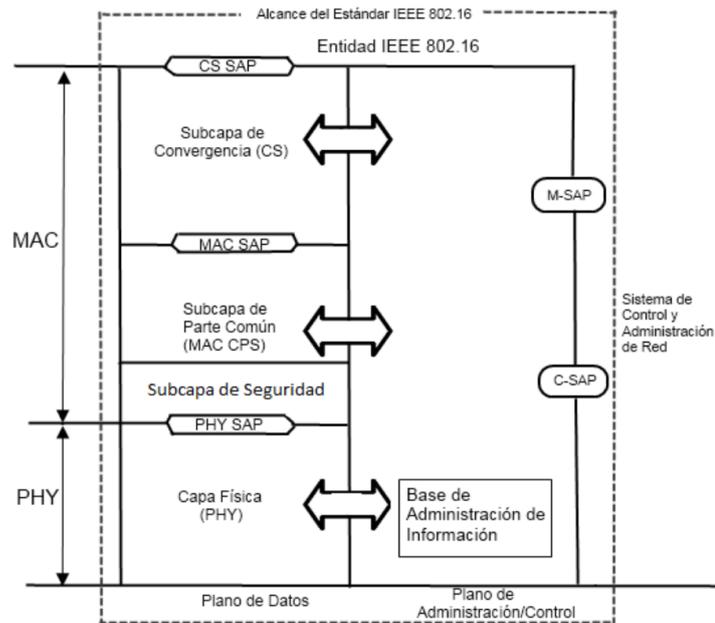


Figura 6-1: Modelo de referencia del estándar 802.16-2009.
Fuente: IEEE Estándar for Local and Metropolitan Area Network.

1.6.5.3 Componentes principales en un sistema WiMAX IEEE 802.16-2009.

Estación Base (BS), es un nodo lógico típicamente un nodo fijo, que proporciona conectividad a las Estaciones de Abonado (SS) con el operador. Provee mecanismos de control y administración de las SS, en un rango de celdas aproximado de 50 Km dependiendo de la frecuencia y en las condiciones que se presenten en un ambiente real. Una BS consiste de infraestructura y elementos necesarios para habilitar la comunicación inalámbrica; antenas, Transceiver y equipos de transmisión de ondas electromagnéticas.

Estación Suscriptora (SS): Es un nodo inalámbrico fijo que puede usarse en interiores como en exteriores, conocidos como Equipo Local del Cliente o CPE (Customer Premises Equipment).

Suscriptor Móvil (MS): Nodo inalámbrico que representa la parte final del esquema de la red, consiste en un equipo que permite al usuario conectarse a una o varias estación base a través de un CPE. Trabaja a grandes velocidades, es capaz de soportar modos mejorados de administración de energía y operación; estos dispositivos pueden ser: laptops, celulares, entre otros equipos portables.

1.6.5.4 Entrada a Red del suscriptor y registro del CPE.

Es un procedimiento esencial en un sistema inalámbrico, en la siguiente **Figura 5-1** se presenta el proceso de Entrada de Red Inicial que se lleva a cabo en una **SS** para operar en WiMAX IEEE 802.16-2009. (Ieee, Std, Standard, Division, & Access, 2012, <http://www.wimaxforum.org>)

- 1. Sincronizando la BS:** Al encender la SS trata de detectar un canal descendente (**DL**), con el fin de que las transmisiones de la SS estén alineadas al inicio de un mini slot. Seguidamente explora frecuencias y enlista preámbulos de tramas de DL, cuando detecta un DL-MAP, la SS realiza sincronismo de frecuencia y tiempo. La SS decodifica los mensajes DL-MAP para descubrir información del Proveedor de Acceso de Red (**NAP**) y Proveedor de Servicio de Red (**NSP**).
- 2. Obtener parámetros de DL y UL:** Básicamente escucha mensajes de control DL-MAP y UL-MAP receptando información en el canal. La SS decide si el canal está apto para la transmisión, si mantiene el enlace o explora otros canales.
- 3. Alcance inicial:** Si se usa PHY OFDM o PHY MC, la SS comienza el alcance inicial transmitiendo un Requerimiento de Alcance (**RNG-REQ**) a la BS.
Si se usa OFDMA, primero se envía un código de alcance CDMA en el primer slot de alcance por la SS antes que RGN-REQ.
- 4. Negociación de Capacidades Físicas:** Luego la SS envía un mensaje SBC-REQ para obtener información de capacidades básicas desde la BS. El mensaje incluye consultas relacionadas con las Capas MAC y PHY para requerimiento de ancho de banda, propuestas de asignación y número de canales HARQ.
- 5. Autorización e intercambio de llave:** Para que este paso se presente debe estar habilitado el Protocolo de Administración de llave y Privacidad (**PKM**), la cual se realiza vía mensaje

PKM-REQ y PKM-RSP. La política de autorización PKMv2 es usada y contiene autorización basado en RSA o EAP en la utilización de certificado X.509 digital.

- 6. Registro:** El requerimiento de registro (REG-REQ) inicia el proceso de registro durante la cual la conexión secundaria de administración es creada. Una pieza importante de información es llevado por el REG-REQ, es la duración del temporizador Indicador de Disponibilidad de Handover. Si un Handover ocurre y la BS servidora transmite un mensaje MOB-BSHO-RSP/REQ, iniciará este temporizador.

Luego de la culminación del temporizador la BS puede enviar una no solicitada concesión de UL a la SS para un mensaje de MOB-HO-IND, así la SS omitirá el requerimiento de ancho de banda y el proceso de Handover es acelerado.
- 7. Establecer conectividad IP:** Las estaciones fija y móvil pueden usar diferentes métodos para obtener direccionamiento de red. Puede usarse Protocolo de Configuración Dinámica de Host (DHCP o DHCPv6) o Autoconfiguración de Dirección Sin Estado con IPv6.
- 8. Establecimiento de hora del día:** Para marcar el tiempo de eventos realizados requeridos por la SSs y BSs se define en IETF RCF 868. UDP es usado para adquirir la información de la hora del día.
- 9. Parámetros de transferencia operacional:** Obtenida la dirección de red la SS descarga un archivo de configuración que contiene la dirección IP del software servidor y las especificaciones de configuración del proveedor.
- 10. Configurar conexiones Provisionales:** Los mensajes DSA-REQ, DSA-RSP y DSA-ACK son transmitidos entre la BS y la SS que provee a las entidades la suficiente información para crear las conexiones de transporte. Una transacción DSA se realiza para cada conexión, durante el intercambio de mensajes la BS verifica desde el núcleo de la red (AAA server en la CSN y adjunta la Autorización de Flujo de Servicio (SFA) al ASN-GW), sin importar que un nuevo flujo de servicio pueda ser creado por el usuario, la BS crea un SFID el cual es usado para muestrear el flujo de servicio de la conexión.

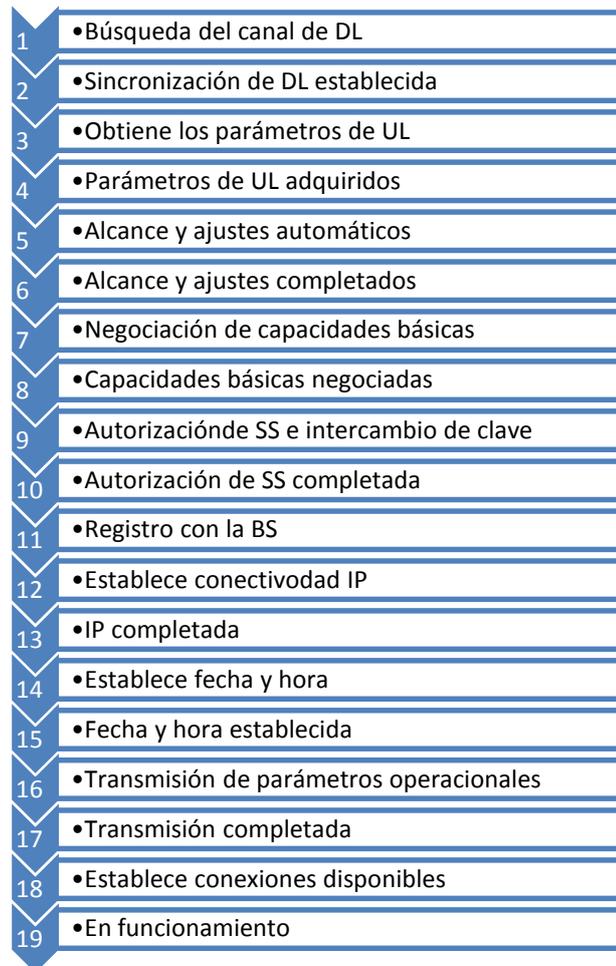


Figura 7-1: Procedimiento de entrada a la Red.
 Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

1.6.6 Características Técnicas de WiMAX IEEE 802.16

WiMAX es una solución de banda ancha inalámbrica que ofrece una gran cantidad de características con bastante flexibilidad en términos de opciones de despliegue y de servicios a ofrecer. Algunos de estos puntos principales que son destacables se van a enumerar a continuación. (Ieee 802.16, 2005, <http://www.eslared.org.ve>)

1.6.6.1 Propagación.

Para un sistema de comunicación inalámbrico el medio de propagación es el espectro radioeléctrico, la señal sufre muchas alteraciones que la degradan y atenúan. WiMAX ha dado

enormes esfuerzos para mitigar los efectos producidos por el ruido y propone dos tipos de enlaces conocidos como LOS y NLOS. (Calvillo, 2013, pp. 22-23)

- ❖ **LOS (Line of Sight):** La señal viaja por un camino directo libre de obstrucciones entre el transmisor y receptor, se considera que la primera zona de Fresnel debe estar libre para que no exista reducción en la intensidad de la señal. La zona de despeje de Fresnel requerida depende de la frecuencia en operación y la distancia del enlace.

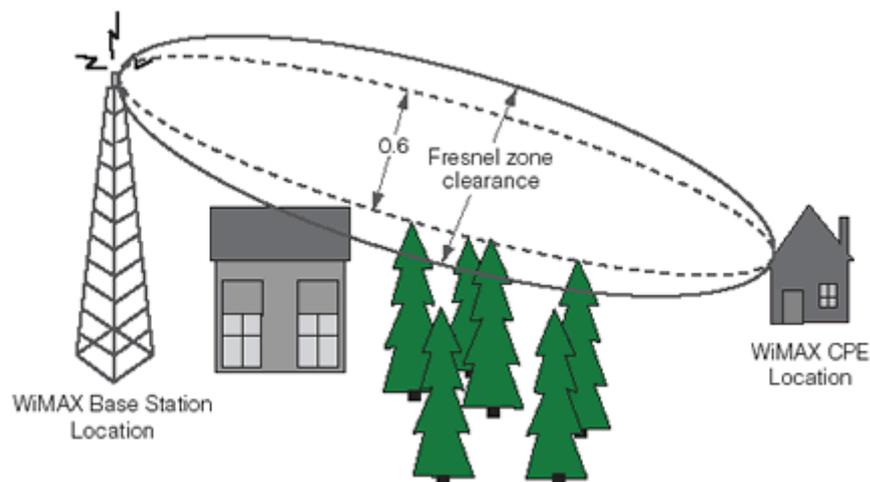


Figura 8-1: Enlace LOS y primera zona de Fresnel libre de obstrucción.

Fuente: http://www.rtc magazine.com/archive_images/rtc0503_tc_2_1.gif

- ❖ **NLOS (Non Line of Sight):** La señal llega al receptor por medio de reflexiones, difracciones y dispersiones. Esto implica retardos y atenuaciones en la señal aunque la utilidad de este tipo de enlaces son muy atractivos por ejemplo en ambientes donde exista restricción de altura por lo que no podría colocarse antenas de tipo LOS, la altura de las antenas receptoras implican un gasto relevante en los abonados al momento de la instalación.

Los enlaces NLOS permiten el uso de equipos de abonado (CPE) en interiores mejorado por un conjunto de técnicas y tecnologías de WiMAX como: Modulación OFDM y OFDMA mediante subcanalización, antenas inteligentes, Modulación adaptiva y Control de Potencia.

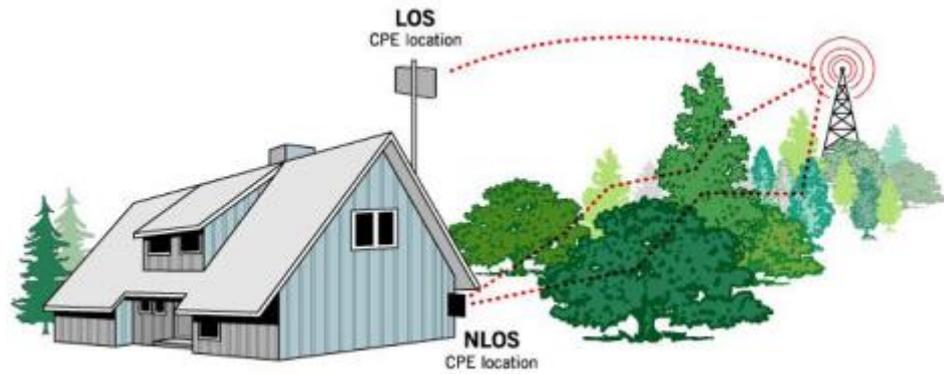


Figura 9-1: Enlace NLOS y diferencia en la ubicación del CPE.

Fuente: <http://www.radioenlaces.es/wp-content/uploads/2011/05/los-nlos.png>

1.6.6.2 Bandas de Frecuencia.

Actualmente existe una normativa creada por la comisión del mercado de las telecomunicaciones (CMT), en lo referente al uso del espectro de frecuencias. Para ello han creado el cuadro nacional de atribución de frecuencias (CNAF), en donde se definen, qué bandas de frecuencia se emplean, y qué uso se les da. Esta distribución de frecuencias y usos, se ha consensado a nivel mundial, dividiendo al mundo en tres regiones. Ecuador pertenece a la **Región 2**. (Quitiaquez, 2014, pp. 20)

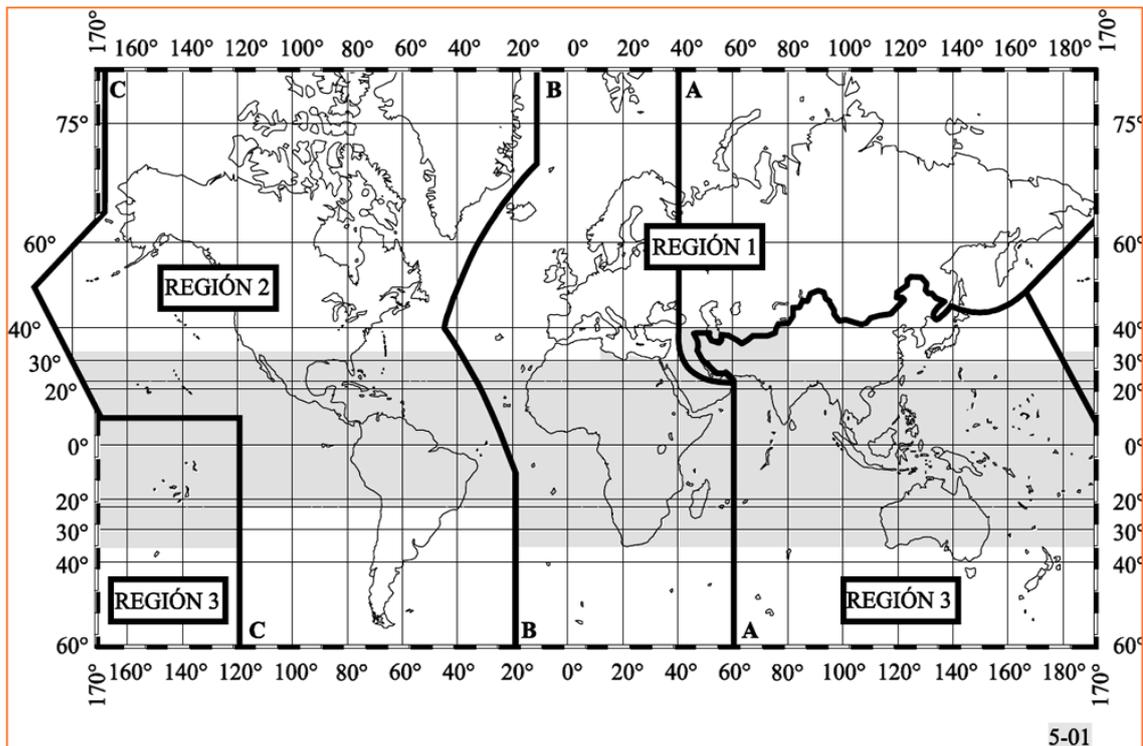


Figura 10-1: Enlace NLOS y diferencia en la ubicación del CPE.

Fuente: <http://www.ane.gov.co/cnabf/index.php/atribucion-frecuencias>

WiMAX opera en un amplio rango de frecuencias que van desde 2 GHz hasta 66 GHz, aunque el espectro más probable está disponible en 2.3 GHz, 2.4 GHz, 2.5 GHz, 3.5 GHz y 5.8 GHz, estas bandas deberían ser soportadas por los equipos WiMAX para asegurar la interoperabilidad mundial, en bandas que requieren de una licencia de operación y en las que no se requiere de una licencia de operación.

1.6.6.2.1 Bandas sin Licencia.

Debido a que el espectro no requiere licencia, la barrera para ingresar es baja, por lo que hace más fácil que un posible operador comience a ofrecer servicios empleando el espectro. En algunos casos, esto puede ser ventajoso por razones obvias. Generalmente se emplea para WiMAX las bandas de 2.4 GHz y 5.8 GHz.

2.4 GHz que en cierto modo está saturado por exceso de dispositivos trabajando con esa frecuencia. Actualmente los WISP optan por implementar sistemas que operan en 5.8 GHz un espectro más “limpio”. (Albentia Systems, 2009, <http://standards.ieee.org/>)

Las desventajas de utilizar bandas de frecuencia que no requieren licencias son:

- ❖ **Interferencia:** al ser un espectro que no requiere licencia se pueden implementar diferentes sistemas de RF, debido al extenso despliegue de la tecnología y servicios de telecomunicaciones, ofertado por distintos proveedores que pueden incluir las redes rivales de WiMAX o los puntos de acceso de Wi-Fi, teléfonos inalámbricos y Bluetooth (sólo 2.4GHz) también usan este espectro. WiMAX y Wi-Fi emplean la Selección Dinámica de Frecuencia (**DFS**), que permite que se utilice un nuevo canal cuando se detectan interferencias, DFS aumenta la latencia y afecta directamente a las aplicaciones en tiempo real.
- ❖ **Mayor competencia:** En el mercado de las telecomunicaciones es importante reducir los costos de despliegue de una red, en el caso de utilizar una banda de frecuencia sin licencia implica asumir el riesgo de tener mayor competitividad con distintos operadores que pueden introducirse en el mercado.

- ❖ **Potencia limitada:** El hecho de ser una banda sin licencia no quiere decir que no tiene regulación y control, los entes reguladores por lo general limitan la cantidad de potencia que puede transmitirse. En 5.8 GHz es importante transmitir a mayor potencia debido a que podría compensar la pérdida de propagación relacionada con el espectro en frecuencias más altas. El uso dentro del área urbana podría estar limitado a pruebas debido a los riesgos de interferencias que podrían perjudicar los compromisos de calidad de servicio, cuando varios operadores concurren simultáneamente en la misma banda y localización.

1.6.6.2 Bandas con Licencia.

El espectro que requiere licencia tiene un precio elevado, las bandas licenciadas de 2,5 y 3,5 GHz son las más comunes para las aplicaciones WiMax, el licenciatario tiene uso exclusivo del espectro, está protegido de la interferencia externa, mientras que sus competidores sólo pueden ingresar en el mercado si también poseen o tienen un leasing del espectro. Tener uso exclusivo del espectro en las frecuencias de operación de WiMAX mitiga totalmente las desventajas de usar una banda sin licencia.

La banda de frecuencia adecuada depende totalmente del proveedor de servicios, el análisis para la elección adecuada en el diseño de la red se debe tomar en cuenta otros parámetros como el precio, rendimiento, disponibilidad y seguridad, entre otros y se realizará más adelante. (Quitiaquez, 2014, pp. 21)

1.6.6.3 Topologías de Red.

WiMAX contempla infraestructuras Punto a Punto (PtP) para backhails o radioenlaces con altas tasas de transmisión, Punto Multipunto PtMP para acceso a usuarios de última milla y la topología en malla.

1.6.6.3.1 Topología Punto a Punto.

Es el modelo más simple de una red inalámbrica, se puede identificar dos elementos la comunicación se realiza solo entre esos puntos, transmisor y receptor. Se tiene un enlace de larga distancia hasta 50 Km con gran capacidad de transmisión. Este tipo de enlace se utiliza habitualmente en conexiones dedicadas de alto rendimiento y capacidad.

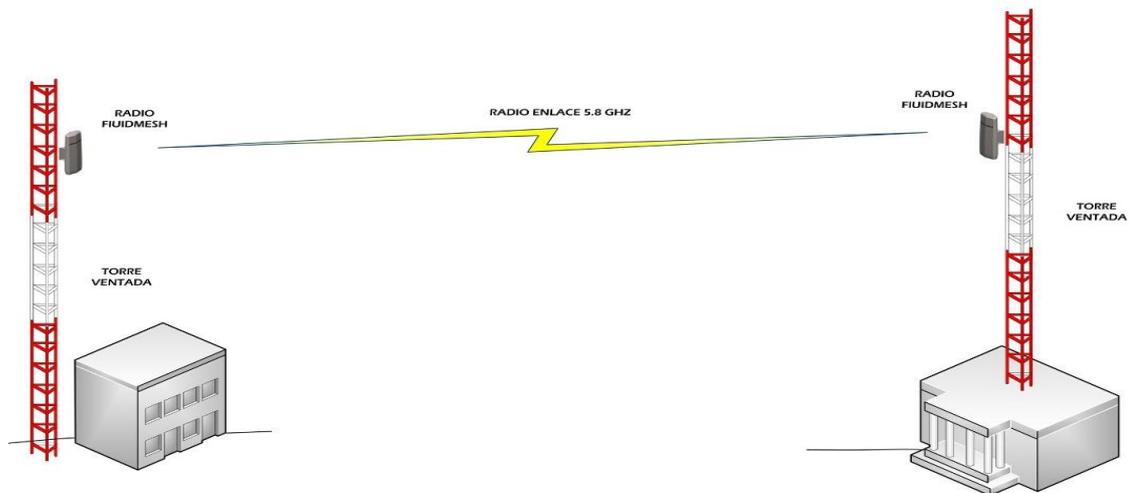


Figura 11-1: Topología WiMAX enlace PtP.

Fuente: http://mpe-s1-p.mlstatic.com/antenas-ubiquiti-58-ghz-24-ghz-enlaces-ntp-wifi-wimax-20184-MPE20185302368_102014-E.jpg

1.6.6.3.2 Topología Punto a Multipunto.

Está formado por la Estación Base (**BS**), incluida una antena sectorizada capaz de manejar varias zonas simultáneamente dentro de un canal de frecuencia dado, la BS es el único transmisor funcionando en Down-Link de manera que transmite sin necesidad de coordinar con las Estaciones Suscriptoras (**SS**).

La transmisiones en Down-link es de tipo broadcast, de forma que todas las SS reciben toda la información y escogen la que sea dirigida para ellos; el Up-link se maneja bajo demanda dependiendo de la clase de servicio.

Cada sitio remoto debe encontrarse dentro del radio de cobertura de la BS, además, será posible utilizar esta topología para backhaul de la red de operadores, o para clientes que no deseen disponer de capacidad dedicada, al compartir los recursos con todos los terminales. El problema

de este tipo de topología es que el diseño direccional de las antenas de los usuarios hace que no pueda conectar con otras redes (meshing).

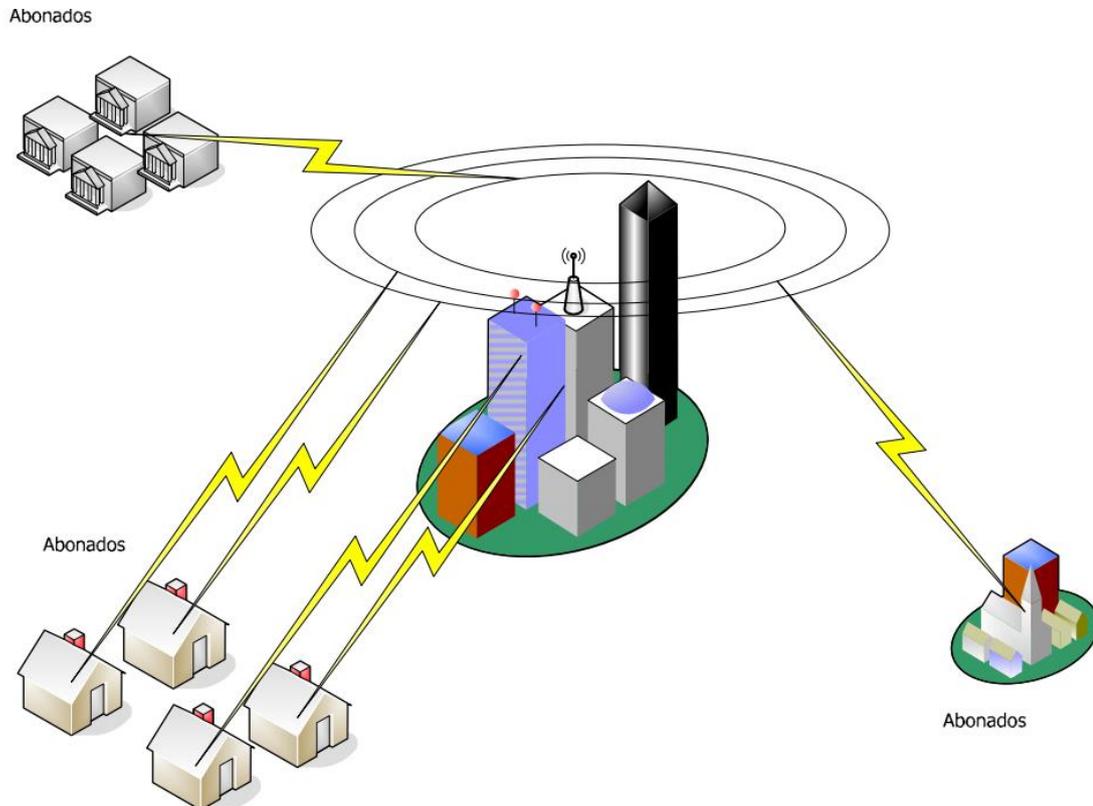


Figura 12-1: Topología WiMAX enlace PtMP.
Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

1.6.6.3.3 Topología en Mallas (Meshing)

Consiste en que una SS se puede conectar a una o más SS, actúan como bases intermediarias hasta alcanzar la Estación Base (**BS**). Esta técnica de multi-salto representa la posibilidad de extender el área de cobertura de la red, sin la implementación de nuevas BS's, lo que genera una reducción de costos en el despliegue de redes inalámbricas.

Para este tipo de redes, se pueden realizar los dos tipos de operaciones, distribuida ó centralizada:

- ❖ **Distribuida:** todos los nodos deben coordinar con los demás la manera de transmitir para evitar colisiones con los datos y realizar el control de tráfico, y además deben enviar por

difusión broadcast su respectivo estado recursos disponibles, peticiones y concesiones a todos sus vecinos.

- ❖ **Centralizada:** los recursos se asignan de una manera más concentrada, ya que la estación base mesh, recopila varias peticiones de un determinado sector y otorga los respectivos recursos para cada enlace, tanto para el Down-link como para el Up-link, al mismo tiempo que comunica estas decisiones a las demás estaciones del sector.

Cada nodo de una red mesh puede tener varios vecinos, creando múltiple rutas para la comunicación entre dos dispositivos. Es por ello que las redes mesh son tolerantes a fallas, es decir; si falla un nodo de la red o si una interferencia ocurre entre una comunicación, la red continúa operando. Simplemente los datos son enviados a lo largo de una ruta alterna.

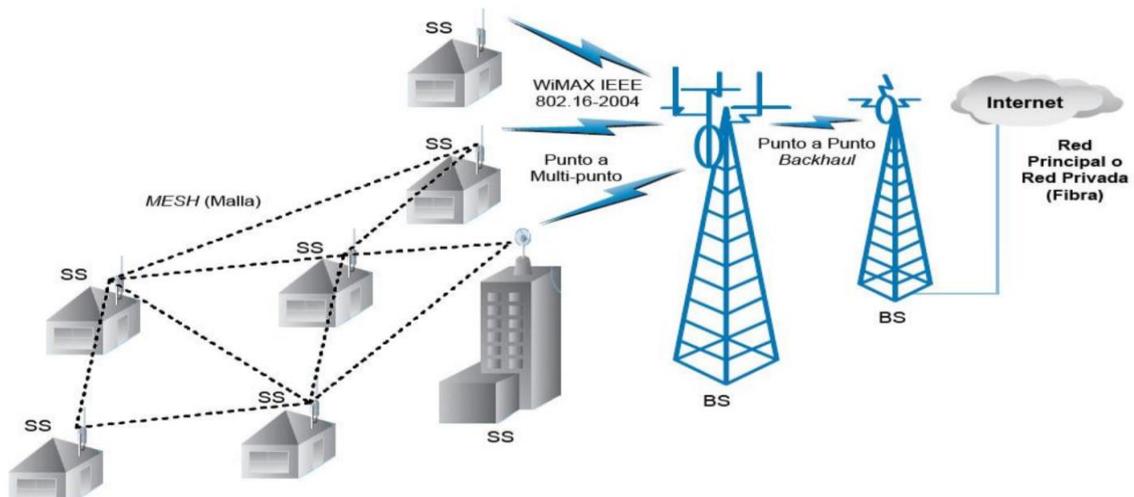


Figura 13-1: Topología WiMAX, red mesh.

Fuente: <https://sx-de-tx.wikispaces.com/file/view/REDES16.JPG/100312707/REDES16.JPG>

1.6.6.4 Calidad de Servicio QoS.

El estándar IEEE 802.16- 2009 soporta niveles de QoS hasta nivel 2. Esto es posible gracias a su capa de Control de Acceso al Medio (MAC), la esencia de la tecnología WiMAX, la cual permite cumplir con los requerimientos de Calidad de Servicio (**QoS**), por tanto tiene la capacidad de brindar soporte a varias aplicaciones que requieren transmisión en tiempo real a través de la red como: servicios de voz y multimedia.

Ventajosamente WiMAX ha sido diseñada para soportar un gran número de usuarios, con múltiples conexiones por terminal y cada conexión con diversos requerimientos de QoS, es decir soporta QoS diferenciada por usuario/terminal y flujo de servicios por usuario/terminal. (Albentia Systems, 2009)

Mediante Acuerdos de Niveles de Servicio (**SLA**) se establece entre operador y cliente los parámetros mínimos de servicio, disponibilidad, rendimiento, tarificación, etc..., la idea importante de la QoS es que existen unos parámetros que se pueden medir y por los que el cliente va a pagar y el proveedor querría y debería poder dárselos y garantizárselos. (Bacuilima, 2010, pp. 70-74)

1.6.6.4.1 Fases para la implementación de QoS.

La implementación de Calidad de Servicio (**QoS**) básicamente tiene dos fases fundamentales, que se describen a continuación y en la **Figura 14-1** las representan:

- 1. Clasificación:** En un nodo de red con QoS, habrá momentos en que tenga más tráfico a la entrada del que pueda liberar por su salida, debe decidir a qué paquetes dará mayor prioridad. Puede encaminar en primer lugar los paquetes más importantes, retrasando o incluso descartando aquellos que no lo sean tanto.
- 2. Asignación de recursos:** luego de la clasificación de tráfico y teniendo claro los parámetros de QoS a cumplirse, se debe permitir que los paquetes se transmitan al medio (el aire o un cable) en un orden de transmisión adecuado. La parte encargada de la Asignación se le suele conocer como el *Scheduler*, un componente fundamental en cualquier arquitectura de QoS, responsable de realizar la reserva de ancho de banda para todos los diferentes flujos de servicio activos.

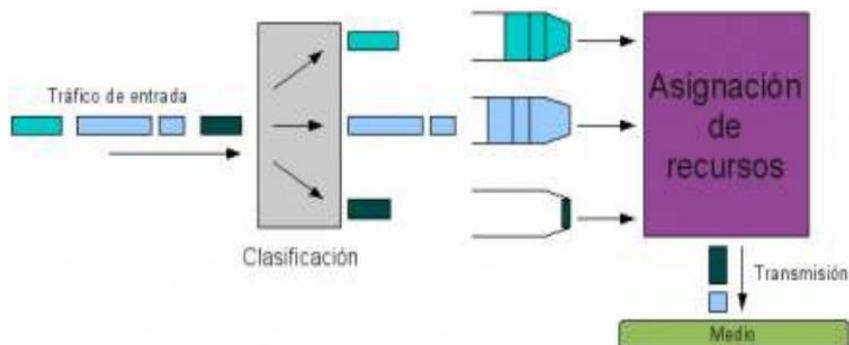


Figura 14-1: Fases para la Calidad de Servicio QoS.

Fuente: Implementación de QoS en redes WiMAX (IEEE 802.16-2009), Alentia Systems, Abril 2010.

Para que la QoS tenga sentido en un interfaz se tiene que dar alguna de las siguientes circunstancias. Cuantas más se den, más importante es la garantía de la QoS:

- ❖ Que la capacidad neta máxima de la interfaz sea menor que la capacidad de conexión a la red.
- ❖ Que sobre la interfaz se sirvan múltiples usuarios (interfaz Punto a Multipunto—PtMP).
- ❖ Que sobre la interfaz se transporten múltiples servicios con distintas necesidades.

1.6.6.4.2 Flujos de Servicio QoS.

WiMAX basa la transmisión de datos en el concepto de Flujos de Servicio (service-flows o flows), que son conexiones de datos unidireccionales e individuales creadas en el aire y son el soporte para la transmisión de paquetes de datos que se pueden establecer entre la BS y cada CPE, **Figura 15-1**. La BS asigna los flujos de servicio especificados en la Base de Datos de provisiones para cada usuario, Cada uno de estos servicios llevará asociado las siguientes propiedades:

- ❖ **Contrato de QoS:** define las características de cada flujo, y se guarda en la Base de Datos de la BS. Son parámetros como la tasa binaria máxima sostenible, tasa mínima garantizada, tipo de servicio (BE, UGS,...), retardo máximo...En resumen, parámetros que recogen las características de cada filtro.
- ❖ **Política de filtrado:** una serie de reglas que permitirán determinar qué paquetes de datos se van a cursar por cada servicio. Se encargan de cumplir la fase de Clasificación de paquetes presente en todo proceso de QoS, como ya se explicó en puntos anteriores.

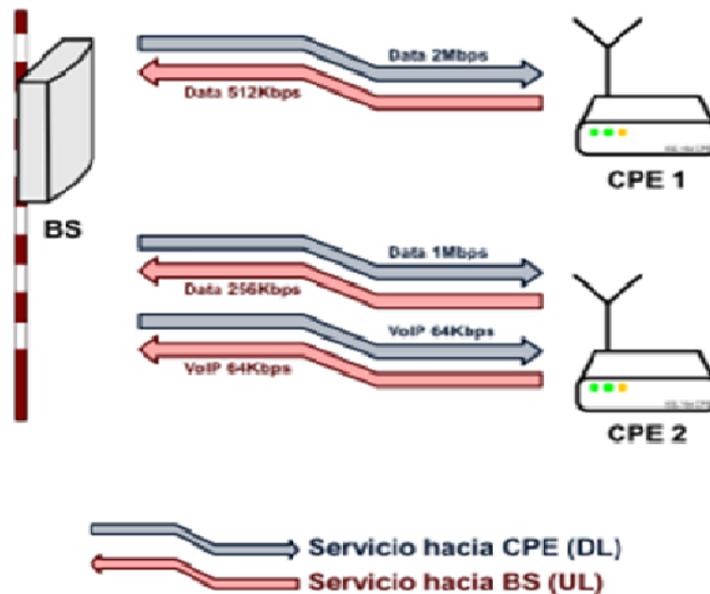


Figura 15-1: Transmisión de paquetes entre WiMAX y WiFi.

Fuente: Implementación de QoS en redes WiMAX (IEEE 802.16-2009), Abril 2010.

1.6.6.4.3 Tipos de Servicio.

WiMAX puede ser dinámicamente optimizado para el tipo de tráfico que se esté transportando. Los tipos de servicios soportados son:

Servicio al mejor esfuerzo (BE, "Better Effort"): está diseñado para soportar flujos de datos que no suelen requerir niveles mínimos de servicio. Estos servicios son atendidos en función de la disponibilidad de la celda y cuando todos los servicios con una prioridad superior hayan sido ya atendidos. (Bacuilima, 2010, pp. 70-74)

xRTPS: engloban 3 tipos de servicios de similares prestaciones, se diferencian entre ellos por las latencias que entregan al usuario final, y están orientados a aplicaciones con requerimientos de capacidad mínima garantizada. (Bacuilima, 2010, pp. 70-74)

❖ **RTPS (Real Time Polling Service),** soporta flujos de datos en tiempo real constituidos de paquetes de datos de un tamaño variable que son emitidos en intervalos periódicos, como el formato de video MPEG.

- ❖ **NRTPS (Non Real Time Polling Service)**, soporta flujos de datos tolerantes al retardo constituidos de paquetes de datos de un tamaño variable donde se requieren mantener una velocidad mínima, como en FTP

- ❖ **eRTPS (Extended Real Time Polling Service)**, desarrollado para soportar VoIP junto con la supresión de silencio. No hay transmisión de tráfico durante el tiempo de silencio. Los parámetros de QoS son los mismos que tipo de UGS.

Servicio Garantizado No Solicitado (UGS, "Unsolicited Grant Service"): Está diseñado para aplicaciones de tráfico constante e ininterrumpido con paquetes de datos de tamaño fijo emitido en intervalos periódicos.

Si un **CPE** tiene asignado este tipo de servicio debe utilizar los time slots que tiene reservados, sin necesidad de solicitar permisos a la **BS** para transmitir, es entonces que la **BS** garantiza siempre un tiempo de transmisión en la trama, independientemente de que exista tráfico o no.

WiMAX permite ofrecer al operador una mejora del uso de la capacidad radio, al evitar abusos y reducir sobre provisiones, haciendo posible el aumento del número de usuarios por celda, además de ofrecer nuevos servicios, VoIP, servicios multimedia y multiconferencia de audio y video.

Es decir, un modelo de datos equivalente al de acceso cableado de última milla (QoS en voz, video y datos por separado), con las ventajas del acceso radio (inmediatez, reducción de costes, escalabilidad), como se puede apreciar en la **Figura 16-1**.

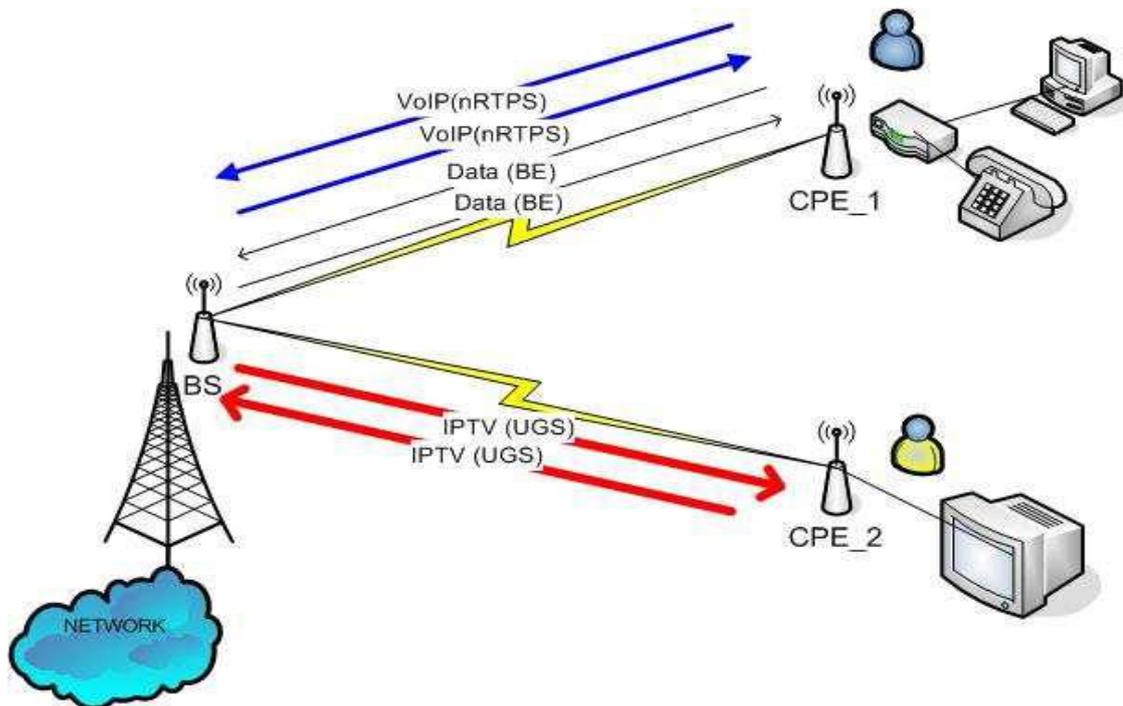


Figura 16-1: Servicios diferenciados con QoS a través de enlaces inalámbricos.
Fuente: Implementación de QoS en redes WiMAX (IEEE 802.16-2009), Alentia Systems, Abril 2010.

1.6.6.5 Seguridad en Redes WiMAX (IEEE 802.16-2009).

La seguridad es un concepto siempre importante en redes de datos, pero cobra especial importancia en redes inalámbricas, concretamente en escenarios enfocados por WiMAX, que es una tecnología diseñada para entornos exteriores, con áreas de cobertura extensa, con lo que está potencialmente expuesta a un acceso no autorizado; amenazas inmensas si se enfatiza en un despliegue corporativo, gubernamental o incluso militar.

WiMAX define en su pila de protocolos una subcapa de seguridad dedicada específicamente a proporcionar privacidad, confidencialidad y autenticidad a los usuarios que quieran utilizar la red. El sistema de seguridad se basa en los principios de *Autenticación* y *Cifrado*. (Alentia Systems, 2011)

1.6.6.5.1 Autenticación.

Es la comprobación de una identidad, garantiza el acceso seguro, evitando que usuarios no autorizados hagan uso de la conexión inalámbrica. Las filosofías empleadas por el estándar IEEE 802.16-2009 son:

- ❖ **OSA (Open System Authentication):** el cliente realiza una solicitud de autenticación asociada a su dirección MAC, la Estación Base (**BS**) responde la petición con la aceptación o denegación.

- ❖ **SKA (Shared Key Authentication):** se utilizan en el proceso claves compartidas que ambos extremos deberán conocer para garantizar una autenticación más segura.

El proceso de Autenticación entre **BS** y **SS** se puede describir de forma simple de la siguiente forma:

1. Una **SS** envía un mensaje **PKM** (Privacy Key Management) solicitando autenticación a la **BS** e incluyendo el certificado digital X.509. Este certificado es único por equipo e infalsificable, con lo que le define de forma unívoca y evita los ataques por suplantación de MAC.

2. La **BS** procede a autenticar y a verificar el certificado comprobando la firma digital del fabricante incluida en el certificado.

3. Si el certificado X.509 es aceptado, la **BS** genera la clave de autenticación (**AK**) y la cifra mediante la clave pública de 1024 bits contenida en el propio certificado X.509.

Certificado digital X 509 (IETF RFC 22459): El certificado contiene habitualmente el nombre de la entidad certificada, número de serie, fecha de expiración, una copia de la clave pública del titular del certificado (utilizada para la verificación de su firma digital) y la firma digital de la autoridad emisora del certificado, de forma que el receptor pueda verificar que ésta última ha establecido realmente la asociación. (Quitiaquez, 2014, pp. 23)

1.6.6.5.2 Cifrado de datos.

WiMAX usa mecanismos de cifrado para velar por la confidencialidad e integridad de los datos. SS envía a la BS una solicitud de claves de cifrado llamadas TEKs (Traffic Encryption Keys), que son enviadas por la BS en un mensaje de respuesta. El algoritmo empleado para el cifrado de las TEKs puede ser de tipo 3DES (Triple Data Encryption Standard), AES (Advanced Encryption Standard), o RSA.

Una vez conocidas las TEKs, diversas técnicas pueden ser utilizadas para cifrar los datos: CBC (DES), CBC (AES), CTR (AES), CCM (AES). Esto no significa que sean superiores tecnológicamente a otros (como los de Wi-Fi), sino que se usan correctamente, es decir, con claves dinámicas que expiran al cabo de un tiempo, se renuevan automáticamente, sin repetir vectores de inicialización, cifrando independientemente por flujo de datos de cada SS. (Escobar & Gonzales, 2011, pp. 33-36)

1.6.7 Aplicaciones de WiMAX IEEE 802.16

Las características esenciales de la tecnología WiMAX en el estándar 802.16-2009 destacan una extensa cobertura, la robustez de los enlaces que reducen interferencias tanto PtP como PtMP, el ancho de banda diferenciado y elevada capacidad de transmisión permiten ejecutar múltiples aplicaciones descritas a continuación:

1.6.7.1 IPTV.

IPTV es la transmisión de TV Digital sobre redes de datos. Los servicios de IPTV incluyen multicast y servicio de vídeo bajo demanda (VoD), dependiendo del formato de compresión que se utilice cada canal ocupará aproximadamente entre 1.5 Mbps o 4.5 Mbps.

Mediante la licencia LIC-IPTV, aplicable en la estación base, la red inalámbrica es capaz de funcionar en modo multicast, habilitando la transmisión de TV en calidad estándar, SDTV o en alta definición HDTV. (Túquerrez, 2014, pp. 66-75)

1.6.7.2 Video vigilancia.

WiMAX permite la creación de redes económicamente eficientes, este tipo de soluciones son las más óptimas del mercado permitiendo desplegar redes robustas sin coste considerable de instalación o mantenimiento y con posibilidad de fácil expansión sin perder funcionalidad de la red.

La arquitectura de los sistemas de video vigilancia se basan en la tecnología IP por ende requieren de una red IP desplegada en infraestructuras públicas y privadas como: carreteras, aeropuertos, hospitales, Municipios, centros comerciales, estacionamientos, parques de diversión, entre otros.

Los escenarios de Video-Vigilancia se caracterizan típicamente por la necesidad de transmitir ininterrumpidamente flujos de video de calidad constante con tasas elevadas de tráfico, y provenientes de multitud de videocámaras dispersas. (Túquerrez, 2014, pp. 66-75)

Una red desplegada con tecnología WiMAX es capaz de ofrecer:

- ❖ Un flujo de videos Determinista y de Alta Capacidad
- ❖ Un Tráfico Constante de Vídeo e Imágenes con calidad garantizada
- ❖ Capacidad para Múltiples Usuarios simultáneos y concurrentes.

1.6.7.3 Servicios a áreas rurales.

Resulta una opción viable ofrecer servicios de banda ancha en sectores sub urbanos con densidad de población relativamente baja. La reducción de costos es significativa en relativa con tecnología ya conocidas como Fibra Óptica y cable de cobre.

Debido a soluciones bien pensadas como los enlaces NLOS soportados por equipos que operan con WiMAX permiten llegar a usuarios que requieren un servicio de acceso a internet o datos, lógicamente el cliente está expuesto a diversas dificultades que se presenten en la red, realmente factores incontrolables por el operador. (Albentia Systems, 2010, pp. 4-10)

Existen soluciones aplicables para extender la cobertura de una **BS** proporcionando mayores beneficios a los usuarios, es el caso del Repetidor WiMAX, este equipo tiene dos radios y dos conectores de antena: uno de ellos se apuntará a la BS Principal, y al otro se conectará una antena sectorial que dé cobertura a los usuarios de la zona inalcanzable por la **BS**. La Figura 17-1 ilustra el ejemplo expuesto.

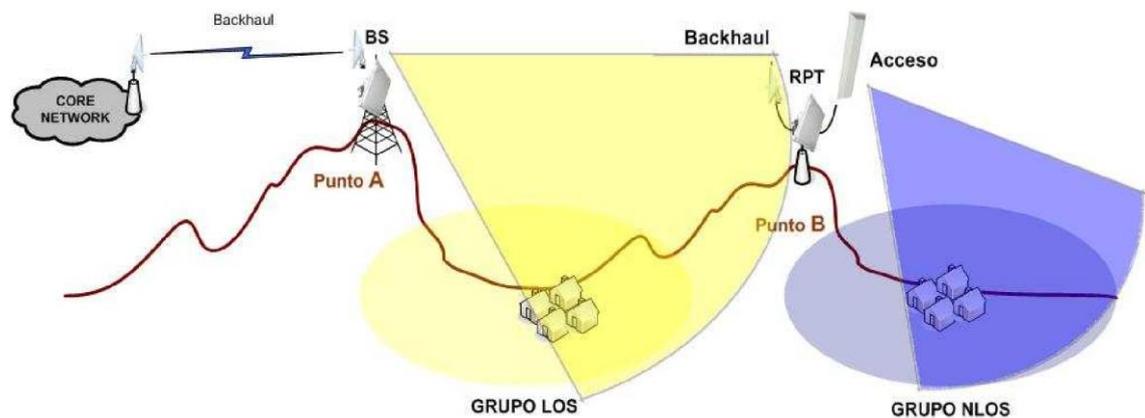


Figura 17-1: Servicios a áreas rurales, uso de un repetidor.

Fuente: Escenarios de Aplicación para Repetidores WiMAX, Albentia Systems, Abril 2010.

1.6.7.4 Backhaul Inalámbrico.

Es una solución para redes troncales de operadores, consta de conexiones PtP entre dos puntos usando enlaces LOS para maximizar la efectividad de la conexión, el Backhaul inalámbrico constituye los WISP, los cuales proporcionan el acceso de Banda Ancha de última milla brindando una solución de bajo costos a usuarios de Internet. Existen varias ventajas sobre esta aplicación:

- ❖ Capacidad para transmitir gran cantidad de datos a una fracción del costo tradicional de servicios cableados.
- ❖ Puede proporcionar respaldo adicional para redes existentes.



Figura 18-1: Servicio de backhaul por parte de una WISP.

Fuente: <http://ciudadwisp.blogspot.com/2014/03/enlace-punto-a-punto-ubiquiti-rocket-m5.html>

1.7 Tecnología Wi – Fi

1.7.1 Introducción a la Tecnología Wi-Fi.

En los últimos años, el avance de las telecomunicaciones ha ido en aumento de una forma exponencial debido en parte por la evolución de las comunicaciones vía radio. Las Diferentes tecnologías como GSM, UMTS han generado grandes expectativas de nuevos servicios entre la población. La tecnología inalámbrica que se describirá a continuación es WiFi.

En la actualidad WiFi (Wireless Fidelity) ofrece una mayor cantidad de beneficios al costo más bajo entre las diferentes tecnologías ya existentes. Una de las ventajas es que es económica y puede trabajar con equipos de diferentes fabricantes y pueden ser extendidas para ofrecer funcionalidades mucho más avanzadas que las previstas por las empresas.

Esto sucede ya que WiFi utiliza estándares abiertos, es decir que los enrutadores, Tablet, laptops y teléfonos WiFi pueden comunicarse porque todos trabajan en el estándar 802.11. La expansión de esta tecnología es mundialmente porque permite el acceso móvil de banda ancha al internet. (Castro, Edgar, 2008, <http://boards5.melodysoft.com/>)

1.7.2 Evolución de los Estándares 802.11

Los estándares que comprende 802.11 o también conocido como Wi-Fi (Wireless-Fidelity) han ido evolucionando con el pasar de los tiempos y cada vez son más números iniciando desde el 802.11a hasta lo más reciente 802.11w, para ello describiremos las funciones que realizan cada estándar y llegar a comparar todos en una cuadro. (Lukor, 2008, <http://www.lukor.com/>)

1.7.2.1 Estándar 802.11 – 1997 (Legacy)

Legacy es la versión original del estándar 802.11 la cual fue publicada en 1997 y en ella especifica 2 velocidades de transmisión de manera teórica como son de 1 y 2 Mbit/s que se transmitirían por señales infrarrojas (IR) en la banda de los 2,4 GHz. A pesar de que los infrarrojos siguen siendo parte del estándar, no hay implementaciones disponibles. En el estándar definen como protocolo CSMA/CA (Múltiple acceso por detección de portadora evitando colisiones) como método de acceso.

CSMA/CA es un protocolo de control de redes utilizado para evitar colisiones entre los paquetes de datos, una parte importante de la velocidad de transmisión teórica se utiliza en las necesidades de esta codificación para mejorar la calidad de la transmisión bajo condiciones ambientales diversas, lo cual viene siendo dificultades en la parte de interoperabilidad entre dispositivos de diferente marcas.

Más adelante estas fueron corregidas como en el estándar 802.11b que fue el primero de estos estándares en alcanzar una aceptación entre sus consumidores. (International Centre for Theoretical Physics, 2015, p. 5-6)

1.7.2.2 Estándar 802.11a

El estándar 802.11a se establece tras la revisión del estándar original en 1999. Este estándar utiliza los mismos protocolos de base que el estándar original, opera en la banda de 5GHz y utiliza 52

subportadoras a través de OFDM (Ortogonal Frequency-Division Multiplexing) con una velocidad máxima de 54 Mbit/s, lo que hace un estándar práctico para las redes inalámbricas con velocidades reales de un máximo de 20 Mbit/s.

La velocidad de transferencia de datos se disminuye a 48, 36, 24, 18, 12, 9 o 6 Mbit/s en caso necesario. Este estándar tiene 12 canales no solapados, siendo 8 para red inalámbrica y 4 para conexiones punto a punto. Una desventaja de este estándar es que no puede operar con equipos de estándar 802.11b, excepto si los dispositivos se componen de ambos estándares.

El estándar trabaja en la banda de 5GHz lo cual es una ventaja para el estándar, puesto que se presentan menos interferencias. Sin embargo, las desventajas de 802.11b restringe el uso de equipos con este estándar a únicamente utilizarlos en puntos con línea de vista, con lo que se hace necesario la instalación de un mayor número de puntos de acceso.

Esto significa que los equipos que trabajan con este estándar no pueden penetrar tan lejos como los del estándar 802.11b dado que sus ondas son absorbidas con facilidad. La transmisión a nivel de exteriores puede llegar a un máximo de 30 metros con 54Mbps y un valor mínimo de 300 metros con 6Mbps, si se trata de interiores su valor máximo es de 12 metros con 54Mbps y un valor mínimo a 90 metros con 6 Mbps. (Las Tecnologías WIFI y WIMAX, 2015, [http:// www.dip-badajoz.es](http://www.dip-badajoz.es))

1.7.2.3 Estándar 802.11b

El estándar 802.11b fue ratificado en 1999 la cual lleva algunas características del estándar original. 802.11b tiene una velocidad máxima de transmisión de 11 Mbit/s y utiliza el método de acceso CSMA/CA, este estándar trabaja en la banda de 2.4 GHz. Debido al espacio que ocupa la codificación del protocolo CSMA/CA, en la práctica, la velocidad máxima de transmisión llega a ser de 5.9 Mbit/s sobre el TCP y 7.1 Mbit/s sobre UDP.

Los productos con este estándar aparecieron en el mercado muy rápido debido a que 802.11b es una extensión directa de la técnica de modulación DSSS (Modulación en espectro ensanchado para transmisión de señales digitales sobre ondas radiofónicas), por lo tanto los productos fueron

fácilmente actualizados para soportar las mejoras que traería este estándar. El incremento en el uso del 802.11b junto con las reducciones de precios causo una rápida aceptación del 802.11b y se catalogó como Wireless LAN definitiva.

La velocidad de transmisión que soportan los dispositivos de 802.11b puede llegar a 11 Mbit/s pero puede reducirse hasta 5.5, 2 o 1 Mbit/s en el caso de que la calidad de la señal sea problemática. Debido a que las tasas de transferencia de información usan algoritmos menos complejos y más redundantes para proteger los datos son menos susceptible a la corrupción debido a la atenuación o interferencia de la señal. (Las Tecnologías WIFI y WIMAX, 2015, [http:// www.dip-badajoz.es](http://www.dip-badajoz.es))

1.7.2.4 Estándar 802.11g

El estándar se ratificó en junio del 2003 y es el tercer estándar de modulación. Este estándar trabaja en la banda de 2,4 GHz al igual que 802.11b, pero opera a una velocidad de teoría máxima de 54 Mbit/s, cerca de 24.7 Mbit/s de velocidad real de transferencia.

Este estándar es compatible con 802.11b y dicho proceso de compatibilidad tomo una mayor parte y tiempo en el diseño del estándar. El mayor rango de los dispositivos 802.11g es ligeramente mayor que en los del 802.11b pero el rango que el cliente puede alcanzar es mucho más corto que en el caso del estándar b.

Los dispositivos que operan bajo este estándar llegaron al mercado rápidamente, esto se debió en parte a que construir estos equipos que soporten 802.11g se podían adaptar a los ya diseñados para el estándar b. A pesar de su mayor aceptación este estándar sufre de la misma interferencia de 802.11b en el rango ya saturado de 2.4 GHz. (Las Tecnologías WIFI y WIMAX, 2015, [http:// www.dip-badajoz.es](http://www.dip-badajoz.es))

1.7.2.5 Estándar 802.11h

Este estándar se hizo pública en octubre de 2003 y trata de solucionar problemas derivados de la coexistencia de las redes 802.11a con sistemas de radares y satélite. Se utilizan en diversos países pero fue originalmente desarrollada para incorporar directrices europeas que pretendan minimizar

el impacto que conlleva abrir la banda de 5 GHz. Las directrices que conlleva este estándar imponen la capacidad de gestionar dinámicamente tanto la frecuencia como la potencia de transmisión mediante DFS (Dynamic Frequency Selection) y TPC (Transmitter Power Control).

1.7.2.6 Estándar 802.11i

El estándar 802.11i fue ratificado en el 2004 y está dirigido a mejorar la seguridad. Este estándar abarca los protocolos 802.1x, TKIP, conocido inicialmente como WEP2 y posteriormente como WPA AES la versión definitiva del estándar. (Escudero Pascual, Alberto, 2015, p. 14)

1.7.2.7 Estándar 802.11e

El estándar 802.11e fue aprobado en 2005, y aporta mejoras en el sistema de control y servicios de 802.11. El objetivo es soportar tráfico en tiempo real con garantías de calidad de servicio (QoS). Para ello introduce clases de tráfico y un nuevo sistema de coordinación llamado HCF.

El estándar incorpora otras mejoras como APSD (Automatic Power Save Delivery), BA (Block Acknowledgments), QoSAck/QoSNoAck y DLS (Direct Link Setup). (Escudero Pascual, Alberto, 2015, p. 14)

1.7.2.8 Estándar 802.11n

En el 2004, la IEEE anuncio la formación de un grupo de trabajo 802.11 para desarrollar una nueva revisión del estándar y definir una velocidad real de transmisión que podría llegar a los 500 Mbps y debería ser hasta 10 veces más rápida que una red bajo los estándares 802.11a y 802.11g, y ser 40 veces más rápida que una red bajo el estándar 802.11b.

Previsto para finales de 2009, este estándar debería ser capaz de trabajar tanto en la banda de 2.4 GHz como en la banda de 5GHz, siendo compatible con todos los demás estándares y el alcance

de operación de las redes sean mayor gracias a la tecnología MIMO, que permita utilizar varios canales a la vez para enviar y recibir datos gracias a la incorporación de varias antenas. (Las Tecnologías WIFI y WIMAX, 2015, [http:// www.dip-badajoz.es](http://www.dip-badajoz.es))

1.7.2.9 Estándar 802.11w

El estándar 802.11w todavía no está concluido. TGw está trabajando en mejorar la capa del control de acceso al medio de IEE 802.11 para aumentar la seguridad de los protocolos de autenticación y codificación. Se intenta extender la protección que aporta 802.11i en los datos a las tramas de gestión.

1.7.2.10 Cuadro comparativo entre los estándares IEE 802.11

Tabla 6-1: Comparación entre estándares 802.11.

Protocolo	Publicación	Datos	Banda	Velocidad
802.11-1997	1997	Legacy	2.4GHz - IR	1 o 2 Mb/s
802.11a	1999	Banda 5 GHz	5 GHz	54 Mb/s
802.11b	1999	Mayor aceptación comercial	2.4GHz	11 Mb/s
802.11g	2003	Revisión de b	2.4GHz	54 Mb/s
802.11h	2003	Revisión de a para Europa	5 GHz	54 Mb/s
802.11i	2004	Mejoras en la seguridad (WPA, WPA2)		
802.11e	2005	Mejoras QoS		
802.11n	2009	MIMO	2.4 – 5 GHz	>600 Mb/s
802.11w	2008-2009	Seguridad en tramas de gestión		

Elaborado por: Edison Villegas y Washington Granda.

1.7.3 Generalidades IEE 802.11

1.7.3.1 Capa Física

En la capa física se realiza la labor de transportar correctamente la señal que corresponde a 0 y 1 de los datos que el transmisor desea enviar al receptor. En concreto esta capa se encarga principalmente de la modulación y codificación de los datos. (Aguirre, Jose Eduardo, 2007, <http://www.monografias.com/>)

1.7.3.2 Tipos de Modulación

Para la transferencia de datos se debe elegir una correcta técnica de modulación. A medida que los datos se codifican más eficientemente, se logran tasas o flujos de bits mayores dentro del mismo ancho de banda, pero se necesitan dispositivos más sofisticados para manejar la modulación y la demodulación de los datos. (Noticias de Redes Inalámbricas y Seguridad WiFi, 2008)

FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)

FHSS consiste en transmitir una parte de la señal sobre una frecuencia durante un intervalo de tiempo (dwell time), los datos se transmiten saltando de una frecuencia a otra, en un orden determinado según una secuencia pseudoaleatoria almacenada en unas tablas, que deben conocer tanto la emisora como el receptor.

El transmisor envía al receptor señales de sincronización que contiene la secuencia y la duración de los hops (saltos). Después que se termina esta duración se cambia la frecuencia de emisión se sigue transmitiendo a otra frecuencia. En el estándar IEEE 802.11 se utiliza la banda de frecuencia que está entre los 2400 a 24835 GHz, la cual se divide en 79 canales de 1 MHz y el salto se realiza cada 300 a 400 ms.

La modulación FHSS ofrece ventajas fundamentales como son: altamente resistentes al ruido y a las interferencias, son difíciles de ser interceptadas es decir que cuando se intercepta una

transmisión de este tipo suena como un ruido de corta duración, y pueden compartir una banda de frecuencias con diferentes transmisores convencionales con casi nula interferencias.

DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)

Esta técnica de modulación ha sido común desde el año 1999 al 2005. El DSSS funciona mezclando los datos ordenadamente con ruido, los cuales se transmiten primero en una frecuencia A, luego en frecuencia B y en una tercera C. la cantidad de frecuencias que se emplean son determinadas por un algoritmo específico. Los receptores que tengan el código de mezcla previamente pueden deshacer la mezcla y entender los datos.

El estándar 802.11 define una secuencia de 11 bits (10110111000) para representar un 1 y su complemento (01001000111) para representar un 0. DSSS en vez de esparcir los datos en diferentes frecuencias, cada bit se codifica en una secuencia de impulsos más cortos llamados chips, de esta forma los 11 chips en que se ha dividido cada bit original ocupan el mismo intervalo de tiempo.

OFDM (Orthogonal Frequency- Division Multiplexing)

La modulación por división ortogonal de frecuencia o también llamada modulación por multitono discreta (DMT), consiste en enviar la información modulando en QAM o PSK un conjunto de portadoras de diferente frecuencia. OFDM surge para compensar las tablas que introducen los medios dispersivos procurando evitar el aumento de la complejidad del sistema en el aspecto hardware.

En OFDM un transmisor transmite en muchas frecuencias ortogonales, el termino ortogonal se refiere al establecimiento de una relación de fase específica entre las diferentes frecuencias para minimizar la interferencia entre ellas. Esta técnica de modulación es la más común a partir del 2005. (Estudio de un sistema CDMA-OFDM, 2015, p. 26-29)

1.7.3.3 Frecuencias de operación

La frecuencia definida por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es 2.4 GHz cuyos estándares que trabajan en esa banda es el 802.11b y 802.11g. Definiendo un rango más específico y tomando en cuenta los países el intervalo más comúnmente aceptado es de 2400 a 2483.5 MHz.

Como se especificó anteriormente el estándar 802.11a trabaja en la banda de 5GHz cuyo rango para trabajar va de 5.15 – 5.35 GHz y 5.725 – 5.825 GHz. Cabe mencionar que en otros países la banda permitida varía, aunque la UIT ha establecido en todos los países la utilización de todas estas gamas de frecuencias para redes inalámbricas.

La banda de los 2.4 GHz está actualmente siendo la más utilizada debido a la alta penetración de las redes Wireless y otros dispositivos que utilizan el mismo rango de frecuencia. Si comparamos con la banda de 5GHz, esta tiene una ventaja de tener menos interferencias, pero a la vez presenta problemas debido a su naturaleza.

Las ondas de alta frecuencia son más sensibles a la absorción que las ondas de baja frecuencia. Esto quiere decir que el rango de los 5GHz es más sensibles a la absorción por parte de edificios. Esto significa que una red 802.11a para su implementación debe tener una línea de vista y mayor cantidad de puntos de acceso para cubrir un sector con relación al estándar 802.11b.

1.7.3.4 Capa de enlace de datos

La capa de enlace de datos se compone de 2 partes, el control lógico del enlace (LLC) y el control de acceso al medio (MAC).

❖ LLC (control lógico del enlace)

Es una subcapa idéntica a la de 802.2 permitiendo una compatibilidad con cualquier otra red de 802, las entidades de enlace se comunican entre sí mediante las unidades de datos del nivel de enlace denominadas tramas.

❖ *MAC (Control de Acceso al Medio)*

La función principal es la de optimizar el uso del canal sea canales punto a punto o canales de difusión. Dependiente de la tecnología usada determina cuando y quien puede transmitir. La subcapa MAC es común para varios de los estándares 802.11 y sustituye al estándar 802.3, con funcionalidades como fragmentación, control de error, las retransmisiones de tramas y acuse de recibo, que en las redes cableadas son responsabilidad de las capas superiores.

1.7.4 *Arquitectura de redes Wi-Fi*

Al comienzo, la implementación de redes sin cables fue dada para la implementación dentro de un área local (empresa, hogares), puesto que la arquitectura es bastante sencilla. Con el pasar de los años su uso ha ido evolucionando para redes de área extendida como son áreas urbanas. Eso es debido al hecho de que la arquitectura, a pesar de ser sencilla, es muy escalable.

1.7.4.1 *Elementos de una red Wi-Fi*

Los elementos para conformar una red WiFi son los siguientes:

- ❖ ***Access Point o Punto de Acceso (AP):*** Los AP son el enlace entre las redes cableadas y las inalámbricas, es decir, un AP normalmente se conecta de forma directa a una conexión Ethernet cableada, y este a su vez proporciona conexiones inalámbricas usando enlaces de radiofrecuencia a otros dispositivos. La mayoría de los Access Point están diseñados para soportar la conexión de múltiples dispositivos inalámbricos.

- ❖ ***Antena:*** Las antenas son los elementos que envían al aire señales en ondas electromagnéticas que contienen la información dirigida a los dispositivos de destino, y de manera viceversa, reciben las señales de las cuales se extraerá la información que llega de otro dispositivo. Existen diferentes tipos de antenas las cuales constan de propiedades geométricas que hacen dirigir la energía electromagnética en distintas direcciones del espacio. Por ejemplo, las antenas omnidireccionales emiten en todas direcciones, en tanto que las antenas sectoriales u otros como las antenas parabólicas, reducen progresivamente el sector angular hacia el cual transmiten o reciben. Al concentrar la energía enviada se obtiene comunicaciones con otras antenas a una mayor distancia, mientras que una antena omnidireccional, en cambio, ofrece

una superficie de cobertura más extendida. Para saber el tipo y cantidad de antenas a utilizar para dar cobertura a un área, se necesita llevar a cabo estudios que indiquen la morfología del territorio o ciudad, de la frecuencia que está permitida para transmitir, entre otras cosas.

- ❖ **Dispositivo externo Wi-Fi:** El principal dispositivo es la tarjeta WI-FI, cuya tarjeta de red de área local cumple con la certificación WI-FI y permite por lo tanto la conexión de un terminal de usuario en una red con estándar 802.11. En la actualidad existen diferentes tarjetas para cada tipo de estándar 802.11, pero también hay dispositivos mixtos. Las diferencias entre este tipo de tarjetas y una tarjeta Ethernet convencional son el cifrado de datos, ESSID, el canal en el que trabaja y la velocidad de transmisión.
- ❖ **Antena de usuario y conector pigtail:** La antena de usuario permite la conexión necesaria a un usuario para el acceso a la red WI-FI. Los conectores pigtails, son cables que conecta y adapta la tarjeta WiFi y la antena del usuario. El pigtail no es un elemento estándar, todo dependerá del fabricante de la tarjeta. En algunos dispositivos la tarjeta de WiFi ya viene integrada como es el caso de portátiles, PDA, etc.

1.7.4.2 Topología de una red WiFi

Existen dos tipos de topología de red Wi-Fi, los cuales se describirán a continuación:

- ❖ **Redes Sin Infraestructura:** Estas redes sin infraestructura son redes que no han tenido un importante éxito a nivel comercial. Las redes Ad hoc son un claro ejemplo de esto, no requieren un punto de acceso. En este modo de funcionamiento los dispositivos interactúan unos con otros, permitiéndose una comunicación directa entre dispositivos. Los terminales de esta red Wi-Fi que quieran comunicarse entre sí tienen que utilizar el mismo canal de radio y configurar un identificador específico de Wi-Fi.
- ❖ **Red en modo infraestructura:** Esta topología trabaja utilizando diferentes puntos de acceso. Presenta una clara eficiencia con relación a la red ad hoc, ya que este modo gestiona y transporta cada paquete de información en su destino, mejorando la velocidad del conjunto. En una red en modo infraestructura, los puntos de acceso pueden trabajar como interconexión entre dos redes. En esta topología se encuentran dos posibilidades: la primera consiste en que el Access Point actúe como interconexión entre la red WiFi y otra red sobre cables como

ADSL. La segunda posibilidad consiste que el punto de acceso actúe como interconexión entre dos puntos de acceso que dan acceso Wi-Fi a usuarios ubicados en zonas diferentes.

1.7.5 Aplicaciones de WiFi

Wi-Fi ofrece servicios dentro de la categoría de WLAN, las aplicaciones más comunes que puede ofrecer son la de navegación web, mensajería, juegos en red, servicios de VoIP, etc. Todas estas aplicaciones se alinean dentro de cuatro modelos de negocio los cuales son: Redes Privadas, HotSpot, servicios de valor añadido y operadores WLAN. (Quitiaquez Hugo, De La Torre Juan, 2014, p. 14)

1.7.5.1 Redes Privadas

Es un modelo simple que consiste en permitir la extensión inalámbrica a redes locales (privadas) ya existentes, las cuales pueden ser redes privadas profesionales, es decir, redes corporativas, redes de universidades, redes ligadas a la ciencia, etc., o simplemente redes de uso personal. En este modelo el retorno económico se da a través del auto prestación de servicios. (Quitiaquez Hugo, De La Torre Juan, 2014, p. 15)

1.7.5.2 HotSpot

En este modelo se define la creación de redes inalámbricas para dar un servicio sea este internet, mensajería, juegos en red, etc., en sectores específicos, donde existan clientes potenciales que puedan acceder a los mismos, estos lugares pueden ser terminales de buses, aeropuertos, Malls, etc. En este modelo la prestación de servicio es cobrado directamente al cliente. (Wikipedia, la enciclopedia libre, 2015, <http://es.wikipedia.org/>)

1.7.5.3 Servicios de valor añadido

Este modelo es lo mismo que el de HotSpots con la diferencia que la prestación de servicios no es cobrada, sino ofrecida como un valor complementario a usuarios muy importantes. (Quitiaquez Hugo, De La Torre Juan, 2014, p. 15)

1.7.5.4 Operadores WLAN

En este modelo se aplica para operadores cuya actividad sea la explotación de redes públicas de telecomunicaciones para cubrir zonas geográficas con el uso de esta tecnología (Wireless LAN). (Quitiaquez Hugo, De La Torre Juan, 2014, p. 16)

1.8 Coexistencia entre estándares IEEE 802.16 y IEEE 802.11

Las primeras versiones de WiMAX estaban ideadas para comunicaciones PtP o PtMP, típicas de radioenlaces por microondas de alta velocidad, permitiendo el acceso inalámbrico de banda ancha en zonas de cobertura de área metropolitana. La tecnología inalámbrica WiMAX, pueden coexistir con redes de cable, redes WI-FI y redes Celulares lo que permite optimar, simplificar y abaratar el acceso a internet u otros servicios de valor agregado.

Actualmente existen dispositivos competitivos que incorporan WiFi/WiMAX, capaces de realizar una conexión con el exterior utilizando WiMAX sin necesidad de antena externa, trabajan sin línea de visión directa (**NLOS**). El dispositivo actúa como punto de acceso Wi-Fi para los dispositivos cercanos dentro del hogar u oficina.

Esto es factible por costos de instalación, debido a que en Ecuador las comunicaciones inalámbricas mediante WiMAX son poco difundidas, de hecho los dispositivos aún no se producen de forma masiva por lo que son muy costosos para los usuarios y la empresa proveedora, por el contrario Wi-Fi tiene dispositivos al alcance de cualquier usuario y a precios asequibles.

En ocasiones en las que el usuario se encuentre lejos de la estación base, se requiere la instalación de una antena exterior auto instalable que mejore la calidad de la comunicación. De esta forma se considera a WiMAX como el Backhaul de la red lo que posibilita conectividad de banda ancha de alta velocidad a empresas y hogares, por consiguiente Wi-Fi facilitaría la conectividad en el interior de la red local.

La **Figura 19-1** representa la tecnología WiMAX en el Backhaul, brinda cobertura en un área extensa. Es posible el desarrollo de Hot-Spots lo que incrementaría más el rango de cobertura de la celda WiMAX.

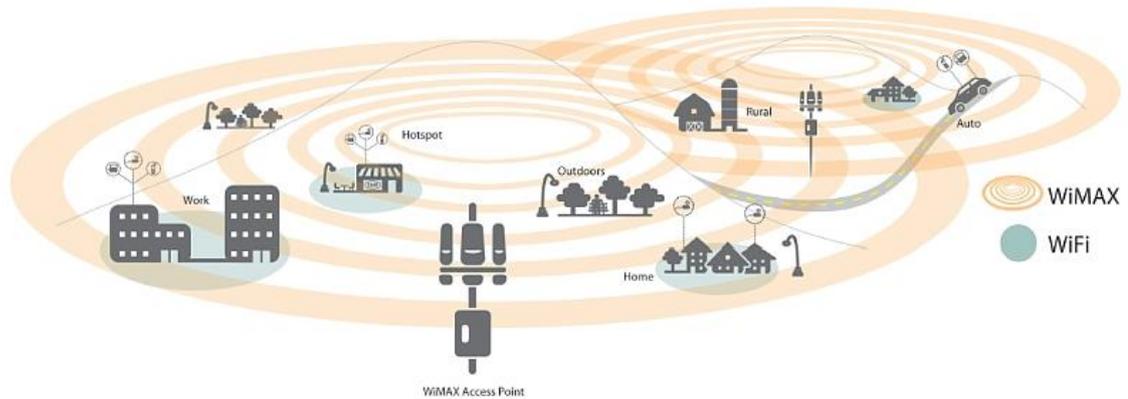


Figura 19-1: Coexistencia WiMAX y Wi-Fi brindando conectividad a los usuarios.

Fuente: <http://digitalhouston.ning.com/Coverage/wireless-broadband-services>

La **Figura 20-1** representa la conexión de uno o más dispositivo finales Wi-Fi/WiMAX con “Citywide Wi-Fi”, encargado de generar la zona caliente (Hot-Spot) además de estar interconectado a la red WiMAX para proporcionar acceso a la red y servicios agregados.

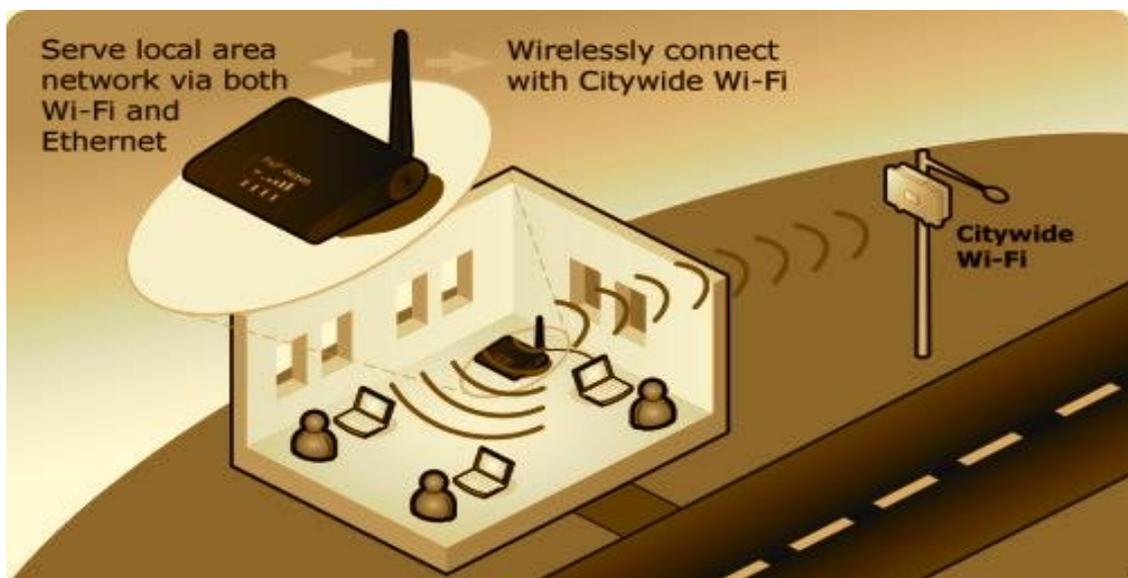


Figura 20-1: Coexistencia WiMAX/Wi-Fi, dispositivo conectado.

Fuente: <http://digitalhouston.ning.com/Coverage/wireless-broadband-services>

CAPÍTULO II

SITUACIÓN ACTUAL.

2. ANALISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE FASTNET CÍA LTDA.

2.1 FASTNET Cía. Ltda.

Actualmente la Compañía Limitada FASTNET es una empresa de Telecomunicaciones y Proveedor de Servicios de Internet Inalámbrico (WISP), dedicada a la conectividad de internet en la provincia de Chimborazo, en sus inicios trabajó con un despliegue de cable de cobre, cubriendo gran parte de la ciudad de Riobamba.

Esta tecnología presentaba varias desventajas en el aspecto de mantenimiento, costos de implementación, escalabilidad y control, debido a que la conexión se realizaba directamente desde la central hacia el cliente, lo que causó un enorme amenaza de seguridad, recibiendo de tal forma ataques a los servidores y enrutadores principales.

Esta realidad cambia a partir del año 2009, con la implementación de una nueva tecnología inalámbrica dedicada a ISP, una nueva generación de dispositivos y equipos más robustos se pudieron instalar principalmente en la provincia de Chimborazo, actualmente la marca utilizada por FASTNET es UBIQUITI y MikroTik, que son una combinación para ofrecer soluciones completas al acceso a la red.

2.1.1 Misión FASTNET.

Brindar servicios tecnológicos de alta calidad para que nuestros clientes se sientan respaldados logrando el desarrollo personal y de sus negocios por medio de nuestros productos y servicios como son Internet, correo electrónico y, desarrollo de páginas web, etc.

2.1.2 *Visión FASTNET.*

Llegar a ser el mejor proveedor de servicios de Internet del país usando tecnología de punta con recursos técnicos, económicos, eco-ambientales, financieros y humanos calificados.

2.2 *Estructura actual FASTNET Cía. Ltda.*

Actualmente la empresa FASTNET Cía. Ltda., cuenta con equipos modernos y estables para el enrutamiento en la salida a internet de los clientes. A continuación se detalla la infraestructura que poseen.

2.2.1 *Infraestructura Física.*

FASTNET cuenta con dos importantes proveedores para Transitar hacia al Backbone de Internet, TELCONET y CNT EP, estos se conectan a los Nodos centrales mediante fibra óptica con el objetivo de tener mayor rendimiento y menos pérdidas en la transmisión de la información.

En los nodos principales se tiene instalado el Transceiver o conversor que permiten establecer conexiones de equipos UTP Ethernet de cobre a través de un enlace de fibra óptica para aprovechar las ventajas de la fibra.

El equipamiento interconectado constituye Enrutadores MikroTik para el direccionamiento IP y enrutamiento hacia la nube de internet y antenas UBIQUITI para el despliegue de la red y brindar mayor cobertura mediante enlaces PTP y PtMP.

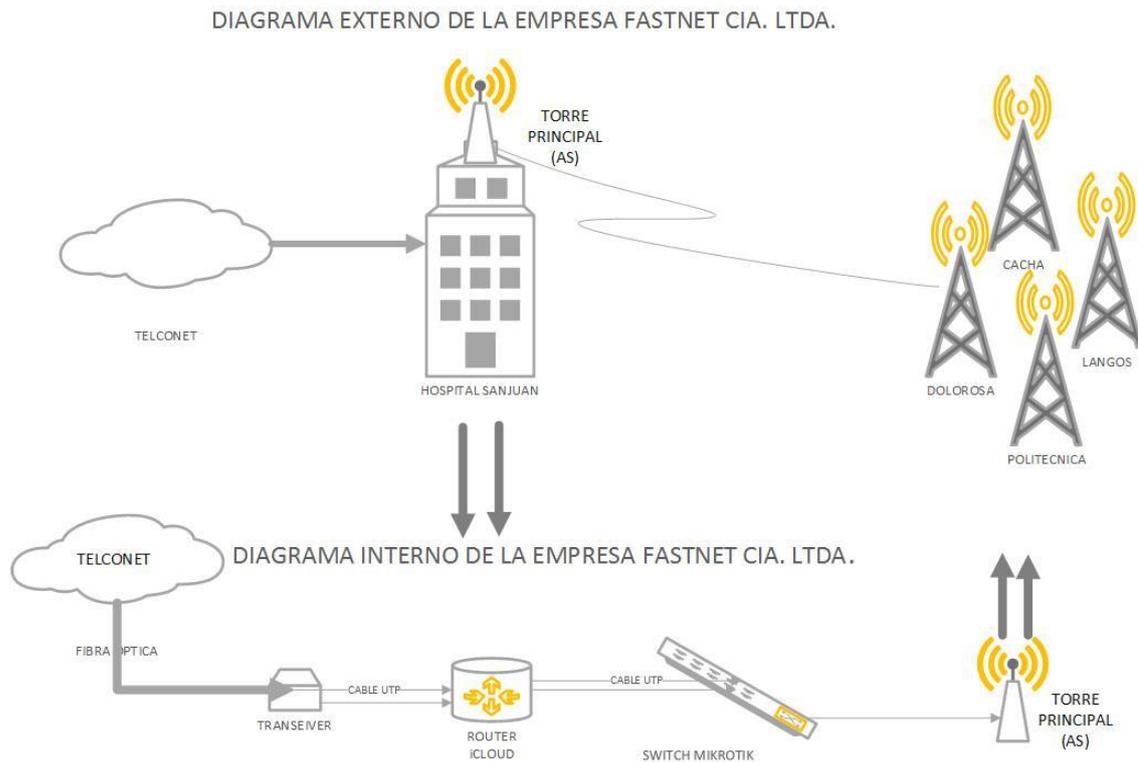


Figura 1-2: Diagrama de interconexión de equipos FASTNET Cía. Ltda.

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

2.2.2 Infraestructura en Software

En cuestión a software la empresa trabaja con un gestor, monitor y control de red, los cuales se especificaran a continuación.

2.2.2.1 Gestión de Red

Para gestionar la red se utiliza un servidor basado en Linux, el cual almacena los registros de los clientes tanto actuales como los futuros usuarios que requieran el servicio de internet. La interfaz de este servidor cuenta con opciones muy exactas como para buscar los clientes que se encuentren activos o por el momento suspendido el servicio, también se puede encontrar la IP asignada a los clientes, las contraseñas para ingresar al equipo y el nodo al cual se encuentra conectado.

network	BM *	description	site	category	comment	sync	vlan
10.0.100.0	24	IPS RUTEOS	IPRUTEOS	PRIVADAS	SUBREDES PARA RUTEOS		
10.6.66.0	24	IPS RADIOS	FastRo	PRIVADAS	IPS RADIOS / SUBREDES		
10.254.254.0	24	IPS PARA RADIOS	FastRo	PRIVADAS	SUBREDES PARA RADIOS RADIOS Y APS		
172.16.4.0	25	RED2 NODO POLI-IGLESIA	POLITECNICA	PRIVADAS	APs : BSFASTg,BSFAST- AIRIGLESIANORTE, BSFASTcorona, BSFASTSREN		
172.16.5.0	25	RED1 NODO POLI	POLITECNICA	PRIVADAS	APs: Marposones 2, BSFAST- AIRMAX-MOP, BSFAST-AIRMAX- CORPOLI		
172.16.5.128	25	RED1 NODO POLI-IGLESIA	POLITECNICA	PRIVADAS	APs: BSFAST-AIRIGLESIANORTE, BSFASTlg, BSFASTcorona, BSFASTSREN		
172.16.8.0	25	RED1 ODISEA	HOSPESAJ	PRIVADAS	APs : ODISEA		
172.16.11.0	25	RED1 BSFAST-AS Y NODO MIRIAM	HOSPESAJ	PRIVADAS	AP Tx : BSFAST-AS, BSFASTpaibon, BSFASTtramanda, BSFASTInterparroquia, BSFASTDgotes - BSFAST-POLI, BSFAST Luna, BSFASTlgande		
172.16.12.0	25	RED1 NODO PANADERIA Y AIRMAX-H1700	HOSPESAJ	PRIVADAS	APs: BSFAST-AIRMAX-H1700 BSFAST-AIRMAX-PRIMAVERA PRIMAVERA, BSFASTsmIVERANILLO, BSFASTcGALAPAGOS, BSFASTORIENTAL		
172.16.12.128	25	RED1 NODO AIRMAX-ODISEA	HOSPESAJ	PRIVADAS	APs : BSFAST-AIRMAX-ODISEA		
172.16.13.0	25	RED1 BSFAST-H1700	HOSPESAJ	PRIVADAS	APs:BSFAST-H1700		
172.16.33.0	25	RED1 BSFAST-CCC	HOSPESAJ	PRIVADAS	APs:BSFAST-CCC		
172.16.66.0	25	NODO LIGUNDE	FastRo	PRIVADAS	BSFASTpaqubugs, BSFASTcochaba, BSFASTsandres, BSFASTbatzacou		

Figura 2-2: Registro de las redes y clientes de la empresa FastNet Cía. Ltda.

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

2.2.2.2 Monitoreo de Red

Al tratarse de una empresa de prestación de servicios de internet se necesita monitorearla, esto implica utilizar un software el cual me sustente esta necesidad para ello se utiliza el programa CACTI. Con Cacti podremos monitorizar cualquier equipo de red que soporte el protocolo SNMP, ya sea un switch, un router o un servidor Linux.

Siempre que tengan activado el protocolo SNMP y conozcamos los distintos OIDs (identificadores de objeto) que podemos monitorizar y visualizar, podremos programar la colección de gráficas con las que queramos realizar el seguimiento. El entorno de este software está formado por Apache más PHP más MySQL, por lo tanto ofrece una visualización y control a través de un navegador web.

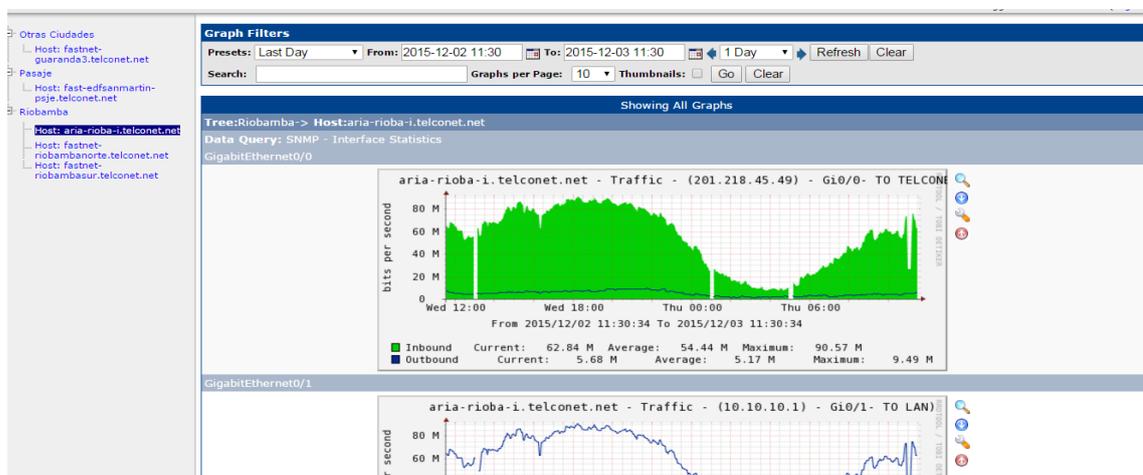


Figura 3-2: Monitoreo de tráfico generado por un cliente de la empresa.

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

2.2.2.3 Control de Red

The Dude es un software que permite hacer un seguimiento organizado y centralizado de la red, en la red inalámbrica **Figura 4-2**, el control es basado en un ámbito SNMP, donde puede obtenerse datos de los dispositivos a través de este protocolo. El **Anexo A** detalla la infraestructura de FASTNET actualmente disponible la ciudad de Riobamba.

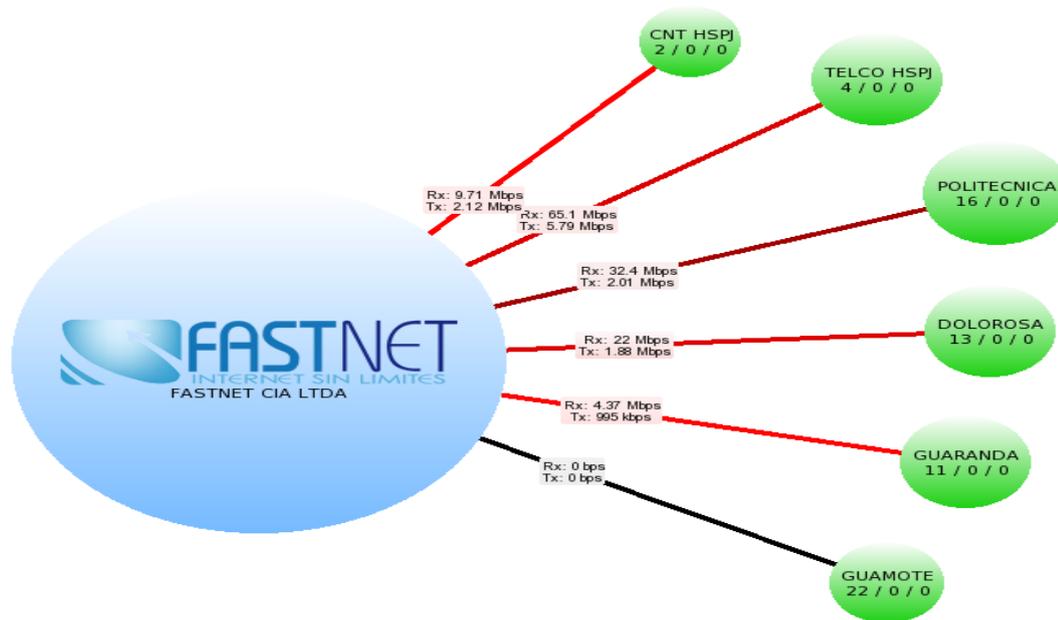


Figura 4-2: Red FASTNET Cía. Ltda., mediante The Dude.
Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

2.3 Servicios ofertados y tipos de clientes.

Los servicios de acceso de banda ancha ofertados por la empresa se encuentran estructurados dependiendo al tipo de cliente que lo solicite, los cuales son clientes residenciales y clientes corporativos.

Clientes Residenciales: Comprenden aquellos clientes que no demandan elevado tráfico en la red, por razones obvias no exigen de aplicaciones avanzadas que requieran un acceso a internet rápido. El ancho de banda entregado al usuario es compartido. A continuación se detalla los precios ofertados por la empresa FASTNET CIA. LTDA.

Tabla 1-2: Planes residenciales de FASTNET Cía. Ltda.

Tipo de plan	Ancho de banda	Compartición	Precio
Plan Home Básico	1 Mbps	8 a 1	28,28
Plan Premium	2 Mbps	6 a 1	41,40

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

Clientes Corporativos: Incluyen clientes que necesitan el servicio de acceso a internet con canales dedicados como micro y medianas empresas: cyber café, oficinas, grupos de farmacias, entidades financieras y privadas, entre otros. A continuación se detalla los precios ofertados por la empresa FASTNET CIA. LTDA.

Tabla 2-2: Planes corporativos de FASTNET Cía. Ltda.

Tipo de plan	Ancho de banda	Compartición	Precio
Platinum	800x300 Kbps	2 a 1	79,20
Silver	1024x512 Kbps	2 a 1	113,15
Gold	1536x512 Kbps	2 a 1	164,00
FAST1	2048x512 Kbps	2 a 1	215,00
FAST2	2560x1024 Kbps	2 a 1	266,00
ESPECIAL1	1 Mbps	1 a 1	168,00
ESPECIAL2	2 Mbps	1 a 1	280,00
ESPECIAL3	3 Mbps	1 a 1	392,00

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

2.4 Estado actual de los servicios ofertados a clientes corporativos.

FASTNET es una empresa que lleva años de experiencia en el mercado de las telecomunicaciones, por ende nos otorgaron acceso a clientes sumamente importantes, los cuales demanda elevado de tráfico debido a la utilización de diferentes aplicaciones en los negocios, residencias o empresas.

Es importante efectuar una encuesta a dichos clientes para determinar la factibilidad del proyecto en cuestión. Debido a que la empresa tiene cobertura en toda la provincia de Chimborazo, se enfoca la encuesta a treinta clientes corporativos distribuidos toda la ciudad de Riobamba.

2.4.1 Encuesta dirigida a clientes corporativos.

La aplicación de la encuesta es la factibilidad del proyecto presentado, las preguntas formuladas se basan en calidad de servicio, disponibilidad, preferencia y utilización del servicio.

2.4.1.1 Tabulación y análisis de resultados

Pregunta 1. Los servicios ofertados por FASTNET, considera Ud. ¿Que son sumamente importantes para su negocio o empresa?

Tabla 3-2: Resultados obtenidos en la pregunta 1.

Ítem	Cantidad	Porcentaje %
SI	30	100
NO	0	0
Total	30	100

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

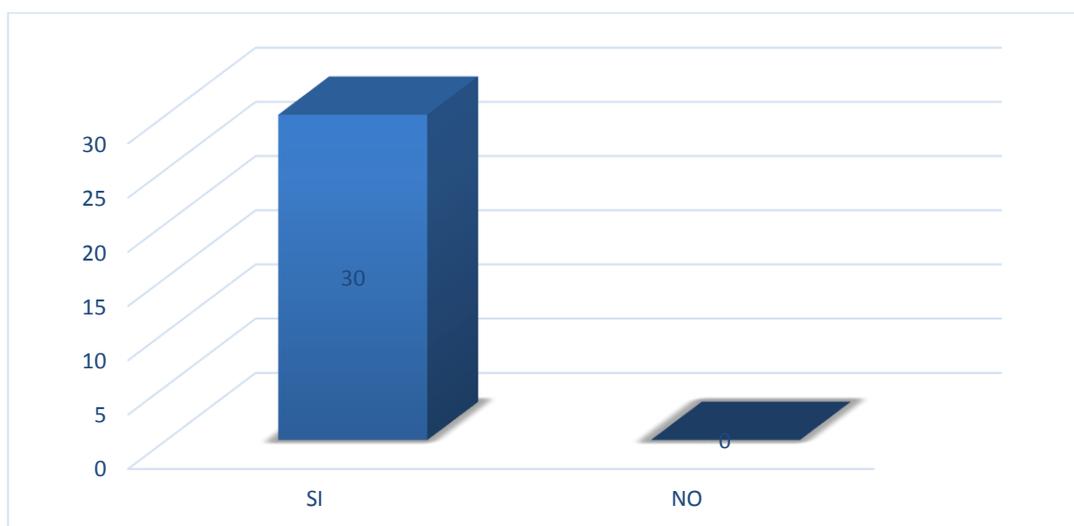


Figura 5-2: Comparativa de las respuestas por parte de los clientes pregunta 1.

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

Notablemente al ser clientes corporativos, todos respondieron SI, debido a que dependen de los servicios de acceso a internet.

Pregunta 2. Al no disponer de línea telefónica, ¿Cree que es beneficioso para Ud. la forma en que FASTNET llega a su negocio o empresa para brindarle los servicios?

Tabla 4-2: Resultados obtenidos en la pregunta 2.

Ítem	Cantidad	Porcentaje %
SI	22	73
NO	8	27
Total	30	100

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

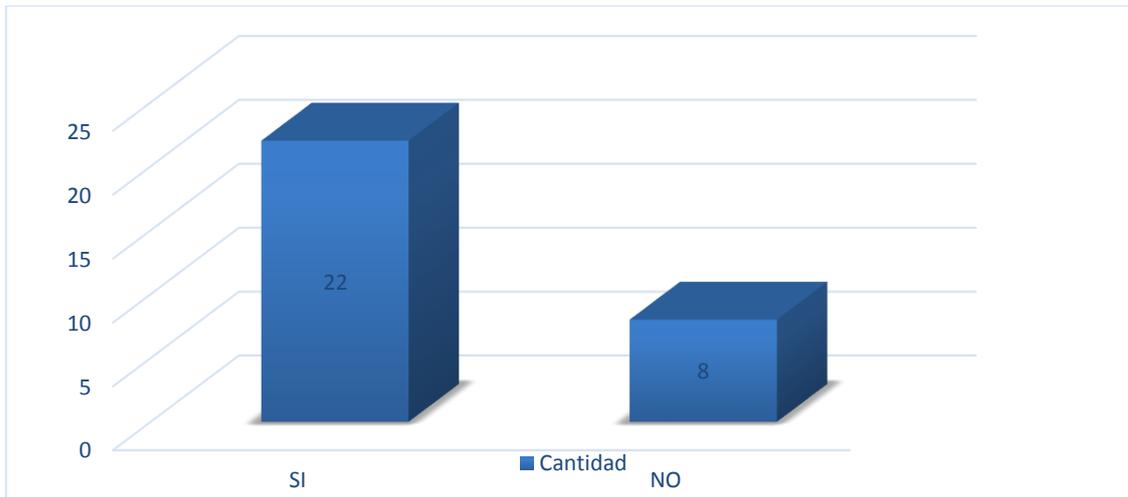


Figura 6-2: Comparativa de las respuestas por parte de los clientes pregunta 2.

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

Una pequeña cantidad de usuarios no están de acuerdo en la forma de instalación de los equipos en su empresa, debido a que destruyen la fachada de su lugar de trabajo.

Pregunta 3. ¿Cómo califica en aspectos de disponibilidad el servicio de internet en su negocio o empresa?

Tabla 5-2: Resultados obtenidos en la pregunta 3.

Ítem	Cantidad	Porcentaje %
Pésimo	11	37
Malo	17	57
Bueno	2	7
Total	30	100

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

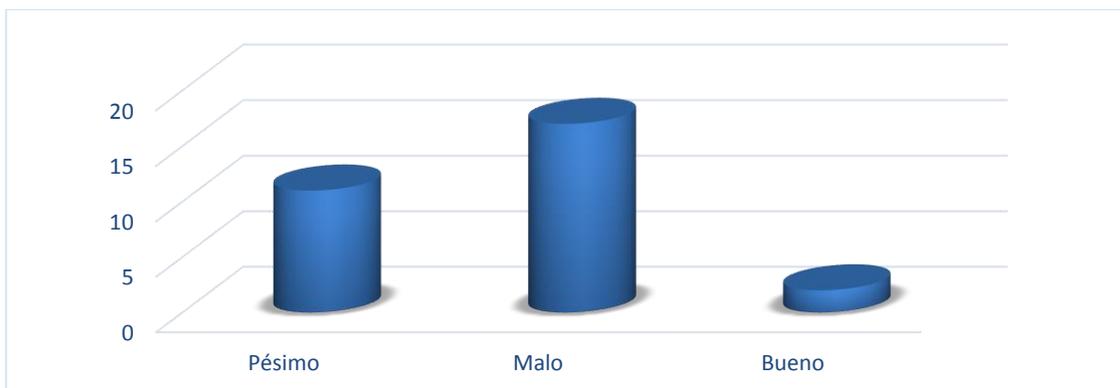


Figura 7-2: Comparativa de las respuestas por parte de los clientes pregunta 3.

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

Se nota un elevado porcentaje en que las personas están en desacuerdo con el servicio recibido, debido a que deben llamar frecuentemente a la empresa informando del mal servicio. Existen 2

corporativos donde el rendimiento es bueno y no han solicitado un soporte técnico, además que estos negocios se encuentran cerca del Nodo Dolorosa.

Pregunta 4. ¿Cree que el servicio brindado por FASTNET es totalmente seguro y confiable al momento de tener acceso a internet?

Tabla 6-2: Resultados obtenidos en la pregunta 4.

Ítem	Cantidad	Porcentaje %
Si	11	37
No	19	63
Total	30	100%

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

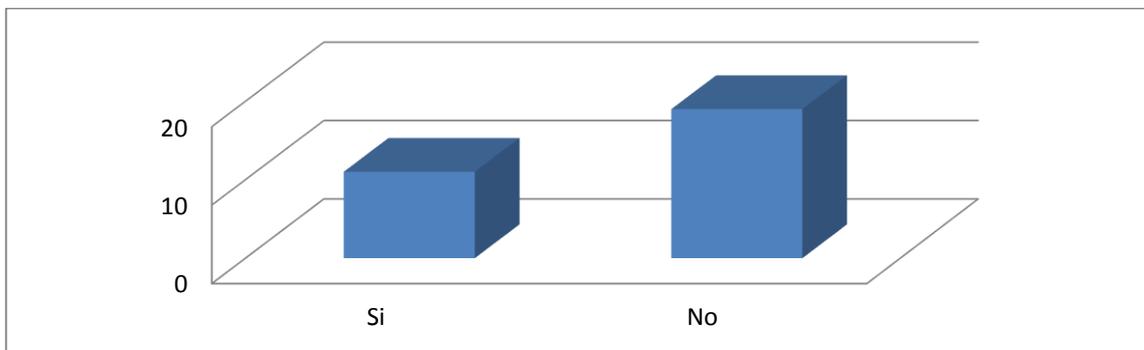


Figura 8-2: Comparativa de las respuestas por parte de los clientes pregunta 4.

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

Estos datos revelan que el servicio no es garantizado en aspectos de seguridad, debido que algunos clientes han puesto en auditoria su red y se han percatado de muchas vulnerabilidades.

Pregunta 5. ¿El Ancho de Banda contratado con FASTNET es exactamente el que dispone para trabajar con su negocio o empresa?

Tabla 7-2: Resultados obtenidos en la pregunta 5.

Ítem	Cantidad	Porcentaje %
Si	9	30
No	21	70
Total	30	100

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.



Figura 9-2: Comparativa de las respuestas por parte de los clientes pregunta 5.

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

La mayoría de usuarios han comprobado mediante TEST de velocidad que el ancho de banda no cubre sus expectativas por las cuales demuestran inconformidad, hasta el punto que están pensando cancelar el contrato.

Pregunta 6. ¿Qué tipo de servicios requiere en su empresa o negocio?

Tabla 8-2: Resultados obtenidos en la pregunta 6.

Tipo de Servicio	Cantidad	Porcentaje %
Videovigilancia	16	53
Acceso a Internet	11	37
Otros	3	10
Total	30	100

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

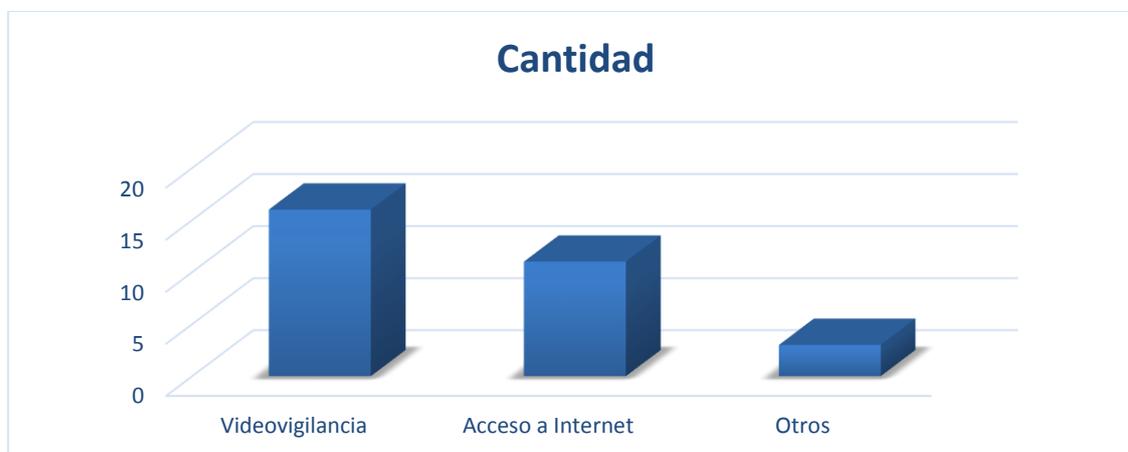


Figura 10-2: Comparativa de las respuestas por parte de los clientes pregunta 6.

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

Más del 50% de clientes demandan un servicio de video vigilancia para la seguridad de su negocio al momento de estar presentes poder vigilarlo remotamente. Este factor implica mayor rendimiento y estabilidad en la red, lo cual no cuenta FASTNET con la tecnología actual.

Pregunta 7. ¿Es importante disponer de una red inalámbrica WIFI en su negocio, residencia o empresa?

Tabla 9-2: Resultados obtenidos en la pregunta 7.

Ítem	Cantidad	Porcentaje %
Si	28	93
No	2	7
Total	30	100

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

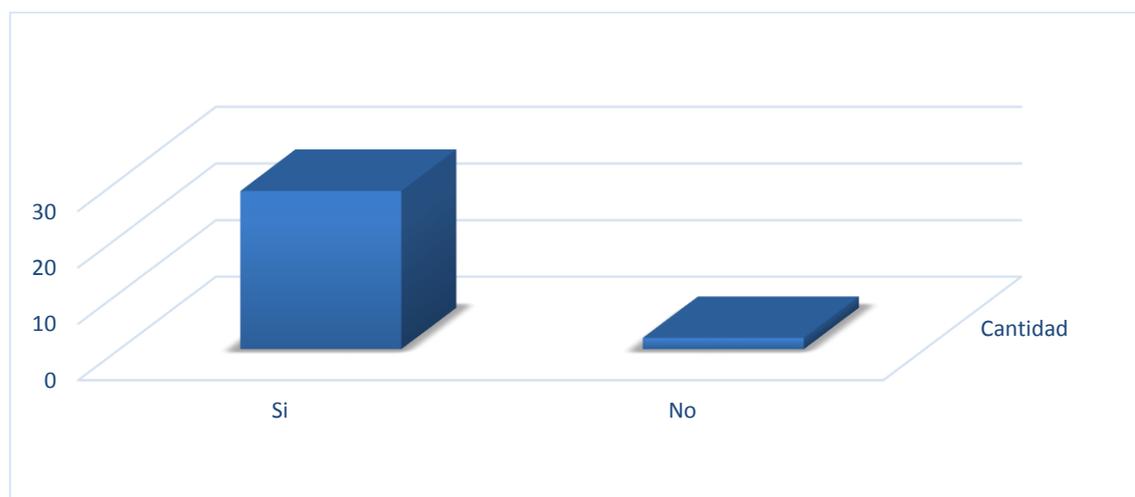


Figura 11-2: Comparativa de las respuestas por parte de los clientes pregunta 7.

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

Dos usuarios creen que no es conveniente tener Wi-Fi en el Cyber café, puesto que las computadoras no disponen de tarjetas de red inalámbricas. Para el 93% de corporativos es indispensable tener una red inalámbrica evitando los molestos cables en su empresa.

Pregunta 8. ¿Cuántos dispositivos inalámbricos (laptops, celulares, cámaras de vigilancia, Smart tv) necesita cubrir en su residencia, empresa o negocio?

Tabla 10-2: Resultados obtenidos en la pregunta 8.

Ítem	Cantidad	Porcentaje %
5 dispositivos	6	20
10 dispositivos	6	20
15 dispositivos	14	47
Mas dispositivos	4	13
Total	30	100

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

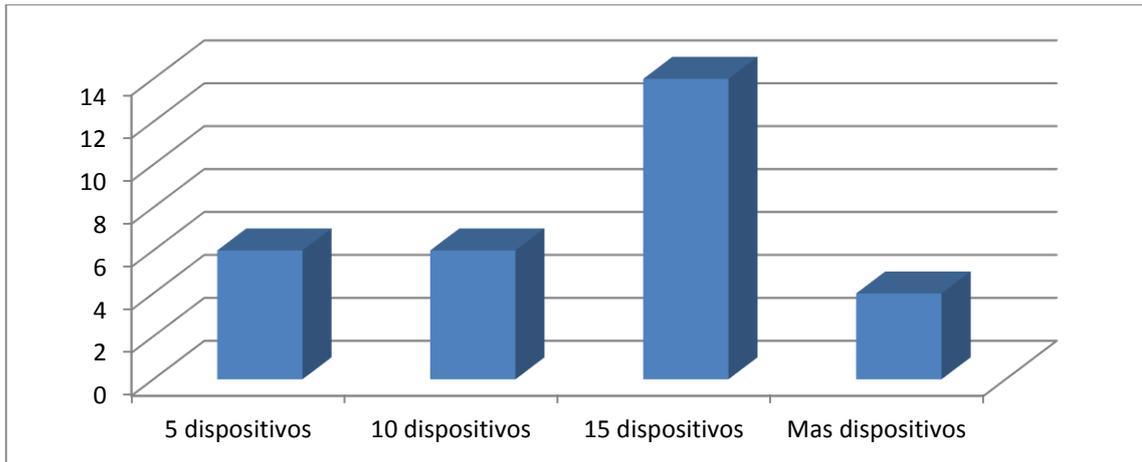


Figura 12-2: Comparativa de las respuestas por parte de los clientes pregunta 8.

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

Los clientes en su mayoría necesitan cobertura Wi-Fi puesto que requieren desplegar la red para video vigilancia y brindad conectividad a sus clientes.

Pregunta 9. ¿Estaría dispuesto a cambiar el contrato con la empresa por un valor más elevado para mejorar la calidad servicio y cubrir totalmente sus demandas?

Tabla 11-2: Resultados obtenidos en la pregunta 9.

Ítem	Cantidad	Porcentaje %
Si	21	70
No	9	30
Total	30	100

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

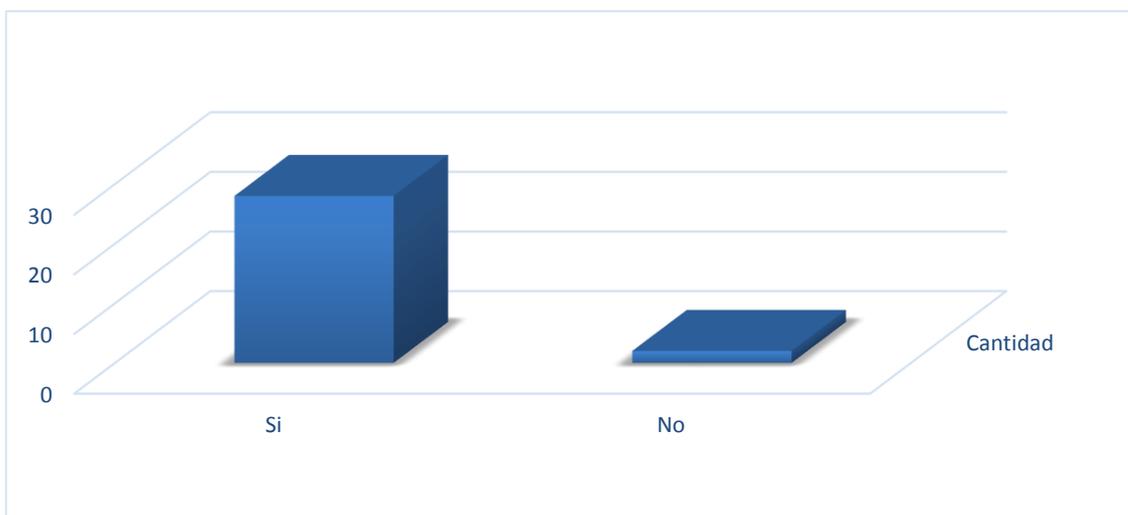


Figura 13-2: Comparativa de las respuestas por parte de los clientes pregunta 9.

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

Al tener un 70% de encuestados optando dar más dinero para obtener mejores y mayores servicios con seguridad, disponibilidad y QoS. La elaboración del proyecto es factible.

2.5 Ubicación geográfica y cobertura actual de FASTNET

FASTNET Cía. Ltda., está ubicado en la zona norte de la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo, Hospital San Juan XXI. Los principales nodos y puntos de acceso se presentan en la **Figura 14-2**.

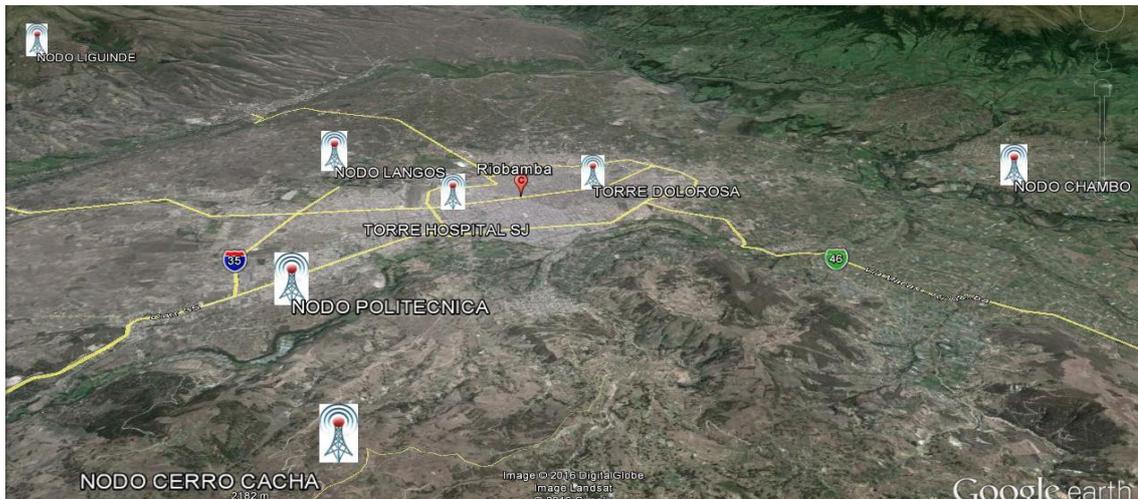


Figura 14-2: Puntos principales Nodos y Puntos de acceso de FASTNET.

Fuente: Google Earth.

La cobertura actualmente disponible en la ciudad de Riobamba se presenta en la **Figura 15-2**, cabe mencionar que la cobertura real no es exacta debido a que esta información no está disponible en la empresa.

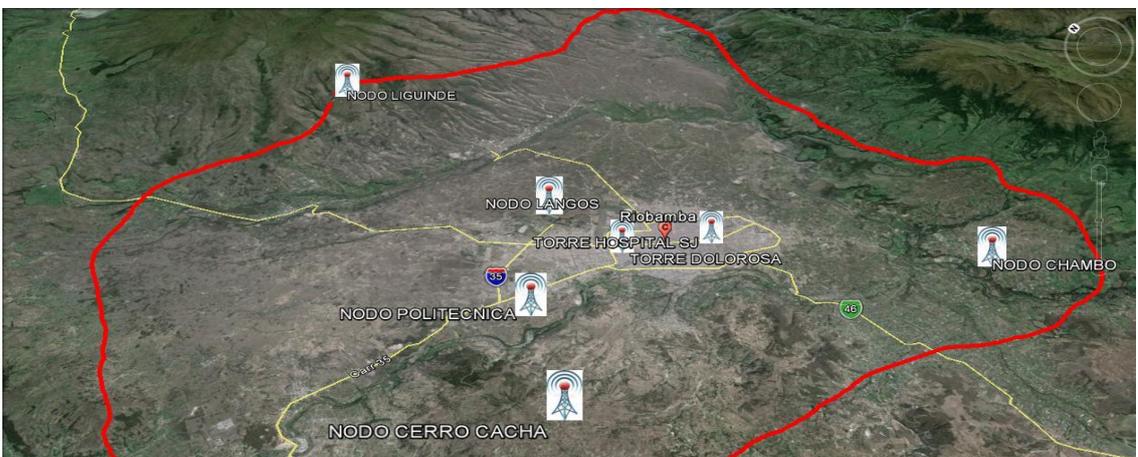


Figura 15-2: Cobertura actual disponible en la ciudad de Riobamba.

Fuente: Google Earth.

CAPITULO III

COMPARACIÓN Y SELECCIÓN DE EQUIPOS

3. FABRICANTES.

3.1 Descripción de fabricantes.

La comparación de los componentes principales de la red inalámbrica deben cumplir las condiciones descritas en el **Tópico 4.2**. Para la selección de equipos tanto para la Estación Base como para los CPE's se consideran aquellos que permitan transmitir y recibir señales de radio funcionando con el estándar IEEE 802.16 y brindar conectividad a internet por medio del estándar IEEE 802.11.

Durante la investigación se considera diferentes empresas que pueden proveer del equipamiento necesario, cuyas características se ajustan al diseño de red propuesto en esta investigación. Las empresas Alvarion, Siemens, Airspan y Albentia desarrollan diferentes equipos, los cuales se describirán a continuación.

3.1.1 Alvarion Technologies.

Es una compañía a nivel mundial cuyas soluciones de banda ancha inalámbrica abarcan los diferentes parámetros de conectividad, cobertura y la capacidad de las redes públicas y privadas. Alvarion Technologies crea y fabrica una gran cantidad de equipos para sustentar los diferentes topologías de redes sean punto a punto, punto a multipunto.

La empresa consta de una excelente reputación en más de 95 países debido a su fiabilidad y rendimiento de sus equipos, es por ello que tiene un reconocimiento de su marca en el mercado de telecomunicaciones.

3.1.2 *Airspan.*

Airspan es una empresa fundada en 1992, y hasta la fecha consta con más de 500 clientes a nivel mundial, esta compañía ofrece una gran variedad de productos para las necesidades de sus clientes los cuales son proveedores de servicios de internet ya sean de banda ancha inalámbrica o alámbrica.

La empresa ha estado a la evolución de la creación de nuevas tecnologías de comunicación. Como en la actualidad existe 4G, LTE, WiMAX, WiFi y VoIP, Airspan provee productos innovadores que cubran esta necesidad para los clientes y a su vez se beneficien de estos productos.

Los productos que se toman en cuenta para el diseño de red se describirán más adelante en conjunto con los demás equipos de las otras empresas a tratar.

3.1.3 *Albentia Systems.*

La empresa se estableció en el 2004 con sede en Madrid, España. Es el principal proveedor de servicios inalámbricos en el mercado español, esta compañía desarrolla diferentes medidas innovadoras con tecnología WiMAX para las aplicaciones que se requieran ya sean móviles o fijas.

Dispone de un equipo de ingenieros con una contrastada experiencia en los mejores laboratorios de investigación del mundo y de un equipo dinámico que, de manera

proactiva, acompaña a nuestros clientes en el despliegue de los sistemas de comunicaciones más avanzados de la industria.

3.1.4 Aperto Networks.

La empresa se fundó en 1999, y en su momento se posicionó como líder de WiMAX con la introducción de PacketWave, los primeros equipos en soportar estándares 802.16 y en la actualidad se ha convertido en la poderosa PacketMAX. La compañía se presenta con una certificación de parte de WIMAX fórum, puesto que sus servicios tienen la capacidad de ser altamente escalable y con cobertura a la necesidad del cliente.

Aperto ha liderado la industria WiMAX en el desarrollo de estándares de la industria para soluciones de banda ancha inalámbrica. Aperto da soporte tanto para frecuencias licenciadas como no licenciadas y es fundador y colaborador principal para IEEE 802.16. Hoy en día, Aperto continúa liderando la industria.

3.1.5 Mercury Networks.

La empresa con sede en la ciudad de Oklahoma, tiene un rápido crecimiento y está compuesto por personas conocedoras y talentosas en su trabajo, el grupo de trabajo es muy unido y hace que Mercury Networks sea altamente rentable.

Su presencia se encuentra entre 20.000 entregas de evaluaciones al día, al igual siempre está en contacto con sus clientes, Mercury se centra en la solución de conexión de software a sus clientes.

3.1.6 Descripción de equipos.

Se detalla a continuación razones puntuales de la elaboración de productos WiMAX por distintos fabricantes que compiten fuertemente en el amplio mundo de las redes de comunicación inalámbrica. Cada producto tiene ventajas y desventajas frente al proyecto de investigación propuesto, es muy importante tener los conocimientos específicos que permitan desarrollar sin inconvenientes el Diseño de una Arquitectura Híbrida para clientes corporativos.

En la **Tabla 1-3** y **2-3**, se mencionan los posibles equipos que se seleccionará más adelante, los cuales cumplen los requerimientos de esta red y adicionalmente beneficios para cliente y operador.

Tabla 2-3: Descripción de equipos utilizables como CPE's.

EQUIPO LOCAL DE CLIENTE (CPE)		
Fabricante	Producto	Descripción del Producto
Airspan	EasyST-2/EasyWiFi	Es una solución estándar en la que ambos dispositivos se interconectan para poder brindar conectividad al usuario, EasyST-2 puede ser utilizado únicamente para infraestructuras cableadas adicionando un Switch y opera en frecuencias de 700 MHz a 5.95 GHz Full indoor sin Línea de Vista (NLOS), se complementa con EasyWiFi para brindar un punto de acceso omnidireccional mediante IEEE 802.11b/g.
	ProST	Funciona como antena exterior sin Línea de Vista, comprende una arquitectura de dos partes, la Unidad Exterior (ODU), para la recepción de la señal WiMAX en la banda de frecuencia establecida por el operador y un Adaptador de Datos del Suscriptor (SDA) que entrega cobertura WiFi 802.11b/g. Para VoIP se requiere de equipos adicionales como SDA-MSG o SDA-WiFi.
	ProST-WiFi	Contiene unidades de acceso híbrido, es compatible con IEEE 802.11b/g para crear un punto de acceso inalámbrico WiFi al aire libre y WiMAX de Backhaul, dependiendo de las concesiones entre usuario y operador. Es un excelente instrumento para el despliegue de Hot-Zones WiFi.
Alentia System	AXS-CPE130-RS AXS-CPE130-N AXS-CPE130-16 AXS-CPE130-20	Opera en la banda de 3.3-3.9 GHz, CPE de uso residencial de bajo costo, funcionalidades avanzadas Home-Gateway para conexiones de fibra óptica, totalmente interoperable con equipos de otros fabricantes. Se puede realizar enlaces mayores a 20 Km. QoS garantizada al tener ilimitados número de servicios con colas independientes por servicio en cinco niveles, esto definido entre usuario-operador. Posee un conector N para la conexión de una antena externa si se requiere expandir la cobertura o el despliegue de la red.
Aperto Networks	PacketMAX 320	Este CPE tiene un sistema que soporta más de 1.000 abonados y para diferentes aplicaciones sean como descargas, VoIP, multimedia y web. El equipo está diseñado para los clientes empresariales que puedan tener beneficios a menor costo, acceso inalámbrico de banda ancha sin la complicación y el gasto de servicio de la línea telefónica. Me permite establecer VLAN's a nivel de capa 1,2, 3 y 4. Para el uso como WiFi se tendría que colocar un modem el cual se conecte el cable Ethernet que baja del PacketMAX 320 y así distribuir a todo un sector.

Alvarion	BreezeMAX® PRO 2000	Son unidades de acceso híbridos que permiten una alta cobertura y rendimiento de datos. Las características que ofrece es una alta sensibilidad de recepción, gestión de calidad de servicio, configuración WiFi, gestión de fallos y VoIP. La frecuencia de operación se encuentra entre 2.3, 2.5 y 3.5 GHz.
	BreezeMAX® Si 2000	Al igual que el modelo 1000 puede trabajar sin línea de vista y a su vez es un equipo indoor, consta de varios puertos y viene incluida una tarjeta WiFi pero solo operable en la banda de 3.5GHz. La ventaja es que se puede colocar una tarjeta de red inalámbrica para operar en bandas de 2.4 GHz. La VoIP puede tener el protocolo SIP v2, consta de transferencia de llamadas, llamadas en espera, bloqueo y desvío de llamadas.
Mercury	QTS-ODU X4G CPE	Dispositivo de usuario final de alto rendimiento y capacidad, utiliza antenas inteligentes con patrón de radiación dinámico evitando al operador buscar las frecuencias con mayor disponibilidad. Contiene un puerto de datos con firewall integrado que proporciona una efectiva solución de seguridad para los usuarios.
Green Packet	WiMAX Indoor IAD Modem	<p>Dedicado a usuarios residenciales y SOHO (Small Office-Home Office), es un compacto producto que brinda la solución híbrida inalámbrica entre WiMAX/Wi-Fi, recibe señales inalámbricas WiMAX a 3.5 GHz y transmite bajo el estándar 802.11 b/g/n a 2.4 GHz posibilitando la conexión de varios dispositivos en una amplia cobertura, la modulación adaptiva permite tener varias tasas de transmisión dependiendo de diversos factores.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 6 - 9 Mbps para QPSK • 12 - 18Mbps para 16QAM • Sobre los 20 Mbps para 64QAM <p>El modelo CPE adaptable para el diseño de red es IDU DX 350, características convenientes e inmejorables para el acceso a Internet, QoS y VoIP.</p>

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

Las especificaciones técnicas de los CPE's se hallan en el **ANEXO B**.

Tabla 1-3: Descripción de equipos utilizables como Estación Base.

ESTACION BASE (BS)		
Fabricante	Producto	Descripción
Airspan	HiperMAX	Equipo de gran capacidad y robusto en el mercado de las comunicaciones inalámbricas, tiene configuraciones como: BS full outdoor, BS full indoor y BS mixta operando a varias frecuencias del espectro 700 MHz, 2.3 GHz, 2.5 GHz, 3.3 GHz, 3.5 GHz, 3.7 GHz, 4.9 GHz, la BS promete QoS por cada CPE por las funciones de gestión de recursos incorporada, tiene una opción muy poco habitual en equipos WiMAX la cual consta de puertos de fibra óptica que funciona a una velocidad de hasta 3.1 Gbps conectados a cables de fibra óptica con capacidad para transportar hasta 10 Gbps para una futura expansión, condición para evitar un enlace PtP Backhaul reduciendo los costos que este enlace conlleva.
	MicroMAX	Este modelo de Estación Base brinda soluciones a clientes corporativos que requieren únicamente infraestructuras cableadas, descartando interconexiones inalámbricas a 2.4 GHz como Wi-Fi, esta aplicación se da en Bancos públicos y privados, Farmacias, entre otros. La configuración principal de la BS es fija, full outdoor, es decir para exteriores. Al ser una BS básica realmente no soporta altas densidades de tráfico, ideal para el acceso de banda ancha rural, funciona en bandas con licencia (700 MHz, 1.4 GHz, 1.5 GHz, 1.9 GHz, 2.3 GHz, 2.5 GHz, 2.8 GHz, 3.3-3.8 GHz TDD and FDD, 4.9 and 5.9 GHz) y bandas no licenciada (5.1, 5.4 and 5.8 GHz), dando al operador opciones de implementación.
Albentia System	AXS-BS-130-N	Equipo sofisticado conocida como Pico-Estación Base para dar cobertura en redes de acceso, con diversas aplicaciones espléndidas: Internet, IPTV, telefonía VoIP y Videoconferencia mediante canales dedicados o compartido para clientes corporativos, ofrece QoS por CPE. Opera en banda licenciada 3.5 GHz por lo que posibilita transmitir a elevadas potencias y capacidades máximas a nivel físico de: <ul style="list-style-type: none"> • 13.1 Mbps (Ráfaga 64QAM-3/4) aplicando canales de 3.5 MHz • 35 Mbps (Ráfaga 64QAM-3/4) empleando canales de 10 MHz
	AXS-BS-430-N	Actualmente el mejor equipo para WISP, contiene cuatro canales radio independientes de 140 Mbps cada uno, brinda QoS por CPE en cinco niveles (BE, nRTPS, eRTPS, RTPS, UGS) manteniendo colas independientes por cada servicio. Minimiza el uso espectral y proporciona la mejor protección ante interferencias por el uso de canales muy estrechos, ARQ y TBIM. <p>Totalmente interoperable con equipos de otros fabricantes al cumplir con el estándar IEEE802.16 y la frecuencia de 3.5 GHz. La ventaja de disponer de GPS integrado para los operadores con redes ampliamente desplegadas es el rápido y fácil acceso de la ubicación exacta del equipo.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 140 Mbps (Ráfaga 64QAM-3/4) aplicando canales de 10 MHz

Alvarion	BreezeMAX® Extreme 3600	<p>El equipo trabaja en la banda de 3.6 – 3.8 GHz, puede ser interoperable y tiene certificación de WiMAX fórum. Está diseñado para un alto uso de acceso a internet así también como para video vigilancia y servicios en tiempo real. La máxima potencia de transmisión es de 17 a 30 dBm.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Técnicas avanzadas para antenas MIMO A/B y MRRC con un ancho de canal máximo de 2x10MHz. • Diseñado con las técnicas OFDMA y corrección de errores de codificación. • Consta de un analizador de espectro integrado y es el mejor en cuanto el tipo de enlace NLOS.
	BreezeMAX® Extreme 3650	<p>Consta de una antena integrada, puerta de enlace ASN y un receptor GPS. Esta creada para reducción de costos, tiene una configuración fácil y es auto sostenido de los ecosistemas, útil para empresas de prestación de servicios. Soporta modulaciones QAM 16/64.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Antena outdoor y fácil de instalar, soporta una antena MIMO A/B para el incremento de la cobertura. • La seguridad en cuanto a la conectividad es eficiente debido a los mecanismos cifrados. • Los servicios que prestan son móviles, portables y fijos.
Aperto Networks	PacketMAX5000	<p>Es un equipo que trabaja bajo frecuencias licenciadas y no licenciadas, es compatible con bandas de 3.3GHz, 3.5GHz, 3.65GHz y 5.6GHz, además tiene para alojar 12 sectores inalámbricos, consta de una sensibilidad de -96dBm.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de administración remota completa con software especializado por consola. • Tiene alta redundancia, y puede establecerse en varios sectores. • Video y datos de aplicaciones de ancho de banda que requieren baja latencia y performance predecibles.
	PacketMAX3000	<p>Es un equipo que conviene para incrementar una red, puesto que se puede tratar servicios de voz, datos y multimedia, al igual que el PacketMAX 5000 opera en diferentes bandas y trabaja con línea de vista o sin línea de vista. El PacketMAX3000 es un punto de acceso inalámbrico eficaz para cientos de unidades de abonados activos simultáneamente sirven tanto para aplicaciones interiores y exteriores.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Consta de una unidad indoor que realizar funciones de red IP, red de retorno, y de control de radio. • Y una unidad outdoor que tiene un espectro de radio específico y una antena que se conecta a la unidad indoor a través de cable coaxial.
Mercury Networks	Mercury Quantum 6600	<p>Solución completa para entregar cobertura en 360°, cuenta con tres antenas de 2x2 posibilitando el despliegue más flexible disponible en el mercado, la configuración de estas antenas depende de los requerimientos del operador teniendo en cuenta que solo puede ocupar el canal de 10 MHz, se puede optar entre 180° o 270°, esto crea una superposición de antenas para aumentar el radio celular por ende mejora</p>

considerablemente la cobertura en condiciones NLOS y perfecciona el balance de los enlaces. Como conclusión se reduce significativamente la cantidad de Estaciones Base necesarias para servir a una propuesta área.

El enfoque de Quantum 6600 es para formidables despliegues móviles 4G, ventajosamente en las diversas configuraciones aplicables en esta BS propone un modelo más simple para operadores que inicialmente prefieren dar servicios nómadas a clientes dentro del rango de cobertura, sin dejar de lado la QoS a cada usuario.

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

Las especificaciones técnicas de Estaciones Base se hallan en el **ANEXO C**.

3.1.7 Equipos ideales

Para el diseño de la red se toma en cuenta los equipos que trabajen con los requerimientos de la misma, después de una minuciosa comparación de cada una de las características de los equipos de los distintos fabricantes se opta por la siguiente marca y equipo:

Estación Base Mercury Quantum 6635



Figura 1-3: Logotipo de fabricante y equipo como Estación Base.

Fuente: Mercury Networks.

Equipo local del Cliente (CPE)

Se establece los siguientes productos para usuarios finales dependiendo de las exigencias y necesidades de cada cliente, se implementará con el CPE adecuado.

- ▣ **Green Packet WiMAX DX 350**, adecuado para pequeñas y medianas empresas que requieren acceso a Internet o aplicativo para video vigilancia mediante cámaras inalámbricas. Brinda la solución híbrida inalámbrica entre WiMAX/Wi-Fi, recibe señales inalámbricas WiMAX a 3.5 GHz y transmite bajo el estándar 802.11 b/g/n a 2.4 GHz posibilitando la conexión de varios dispositivos en una amplia cobertura.

- ▣ **BreezeMAX® PRO 2000**, adecuado para medianas y grandes empresas debido a su gran cobertura inalámbrica, en entornos amplios para video vigilancia mediante WiFi, se reducen grandes costos de implementación y se evita lógicamente los molestos cables.

- ▣ **ProST-WiFi**, se puede brindar servicios de acceso a Internet, VoIP o video vigilancia en amplios espacios como industrias o fábricas y lugares públicos que pueden darse mediante convenios con el GADM Riobamba, generando rentabilidad al proyecto.

Todo acerca de estas soluciones inalámbricas se las puede encontrar en las especificaciones mencionadas en la **Tabla 1-3** y **2-3**.

CAPITULO IV

DISEÑO DE LA RED CONVERGENTE WIMAX/WIFI

4. INTRODUCCIÓN.

En la investigación a realizar se toma en cuenta solo a los clientes corporativos a petición del Gerente, Ingeniero Fernando Audelo. Ostenta tener en cuenta la relación costo/beneficio, debido a que la implementación de WiMAX es costosa y para sustentar estos gastos se requieren de ingresos moderadamente amplios para recuperar la inversión en poco tiempo. Más adelante en la investigación se da a conocer los precios que costaría la implementación de dicha red.

En el Capítulo II, se realizó encuestas dedicadas a los clientes corporativos dando un resultado positivo para la factibilidad del proyecto.

4.1 Proyección abonados corporativos.

El Diseño de una Arquitectura de Red WiMAX/Wi-Fi debe dar solución a la saturación en la red actual que posee FASTNET, además de cubrir la demanda futura manteniendo QoS, seguridad y disponibilidad a distintos usuarios especiales y exigentes.

Se realizó un seguimiento de la cantidad de clientes corporativos de los últimos tres años en la empresa FASNET, estos datos apoyan la proyección de los clientes futuros que tendrá la empresa, y analizar si la infraestructura propuesta soportará la demanda de tráfico, que crecerá paulatinamente a través de los años con relación a los 30 clientes iniciales.

Tabla 1-4: Proyección de clientes corporativos a 5 años.

Tipo de plan	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Platinum	23	24	28	30	33	35	37	39
Silver	28	32	36	40	44	48	52	56
Gold	7	12	14	18	22	25	29	33
FAST1	2	5	8	11	14	17	20	23
ESPECIAL1	3	5	6	8	9	11	12	14
Cantidad de Abonados	63	78	92	107	121	136	150	165
Cantidad de abonados para el proyecto	-	-	30	35	40	45	50	55

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

4.2 Condiciones a tomar en cuenta para el diseño de la red.

4.2.1 Interferencia.

Actualmente en la ciudad de Riobamba existe desplegados múltiples proveedores de servicio que brindan el acceso a internet con tecnología inalámbrica, las cuales generan en las frecuencias que trabajan un alto grado de interferencia entre sí, para ello se debe considerar este un factor elemental para diseñar la red y no recaer en pérdidas de datos y/o calidad de servicio.

4.2.2 Rendimiento.

El rendimiento depende de la potencia, sensibilidad, distancia de los enlaces, frecuencia, entre otros que tienen los equipos, para esto debemos tener en cuenta la gran diferencia entre las especificaciones de las hojas técnicas de los equipos y la implementación física de los mismos. Puesto que al implementar es notable el declive del rendimiento de la red.

4.2.3 Escalabilidad.

Esta red debe ser pensada para el incremento progresivo de los clientes y la integración de nuevos nodos o puntos de acceso a internet de esta forma simplificar los estudios, reduciendo costos y optimizando los recursos de la empresa que conllevan el incremento de la red.

4.2.4 Compatibilidad e interoperabilidad.

La compatibilidad se toma en cuenta al momento de utilizar otros estándares que permitan comunicarse entre distintos tipos de redes, mientras que la interoperabilidad se basaría en la comunicación de diferentes modelos o marcas de equipos dentro de la misma red.

4.2.5 Frecuencia a utilizar.

La frecuencia de operación para esta investigación se encuentra en la banda de 3.5 GHz. puesto que se puede transmitir a altas potencias sin limitarse pero, para la cual se necesita una licencia otorgada por la ARCOTEL, dicha institución especifica los requerimientos necesarios para ocupar la banda en sus reglamentos publicados, a continuación se dará a conocer algunos puntos esenciales.

4.2.5.1 Reglamentos de telecomunicaciones en Ecuador.

Se detalla la razón técnica por la que se escoge la frecuencia 3.5 GHz, Modificaciones al texto del Plan Nacional de Frecuencias. (ARCOTEL, 2014, <http://www.arcotel.gob.ec>)

Se puede operar mediante la concesión de una licencia en la banda de frecuencia de 3.5 GHz sin generar daños a otros Sistemas de comunicaciones, como por ejemplo señales satelitales. Plan nacional de frecuencias Ecuador 2012 cuadro de atribución de frecuencias. (CONATEL & SENATEL, 2014, <http://www.arcotel.gob.ec>)

Mediante el documento publicado la Ley N° 184 LEY ESPECIAL DE TELECOMUNICACIONES REFORMADA, se describe normas que se deben considerar al momento de implementar Radio Bases FWA, se describe el sistema tarifario, ente otros aspectos sumamente importantes. (ARCOTEL, 2014, <http://www.arcotel.gob.ec>)

La Resolución No. 017-02-CONATEL-2002 se constituye de normas para regular la prestación de los servicios de telecomunicaciones. (CONATEL, 2002, pp 1-4, <http://www.arcotel.gob.ec>)

La resolución del CONATEL 560 Registro Oficial 305 de 21-oct-2010 para la implementación y operación de sistemas de modulación digital de banda ancha, las características principales mencionadas son: Homologación de equipos, emisión del certificado de operación para equipos no homologados, eficiencia espectral, la utilización de la misma banda de frecuencia por distintos usuarios, regulación de la potencia de transmisión para evitar el deterioro de otros sistemas de telecomunicaciones. (CONATEL, 2010, pp 1-10, <http://www.arcotel.gob.ec>)

4.2.5.2 Canales operables.

Los equipos que trabajan con la tecnología 802.16 están en la capacidad de ser configurada para operar en canales que van desde 1.7 MHz, pero el canal a tomar en cuenta en el diseño es de 10 MHz ya que permite un mayor rendimiento y se puede entregar servicios diferenciados que requieren elevado ancho de banda.

4.2.5.3 Realidad al operar en banda libre.

FASTNET tiene diversos inconvenientes al utilizar una banda sin licencia de operación, se analizó las interferencias y la ocupación de esta banda en cada nodo principal como se puede observar en la **Figura 1-4**. Todo el análisis es emitido por los autores de este trabajo. Los detalles se adjuntan en el **ANEXO D**.

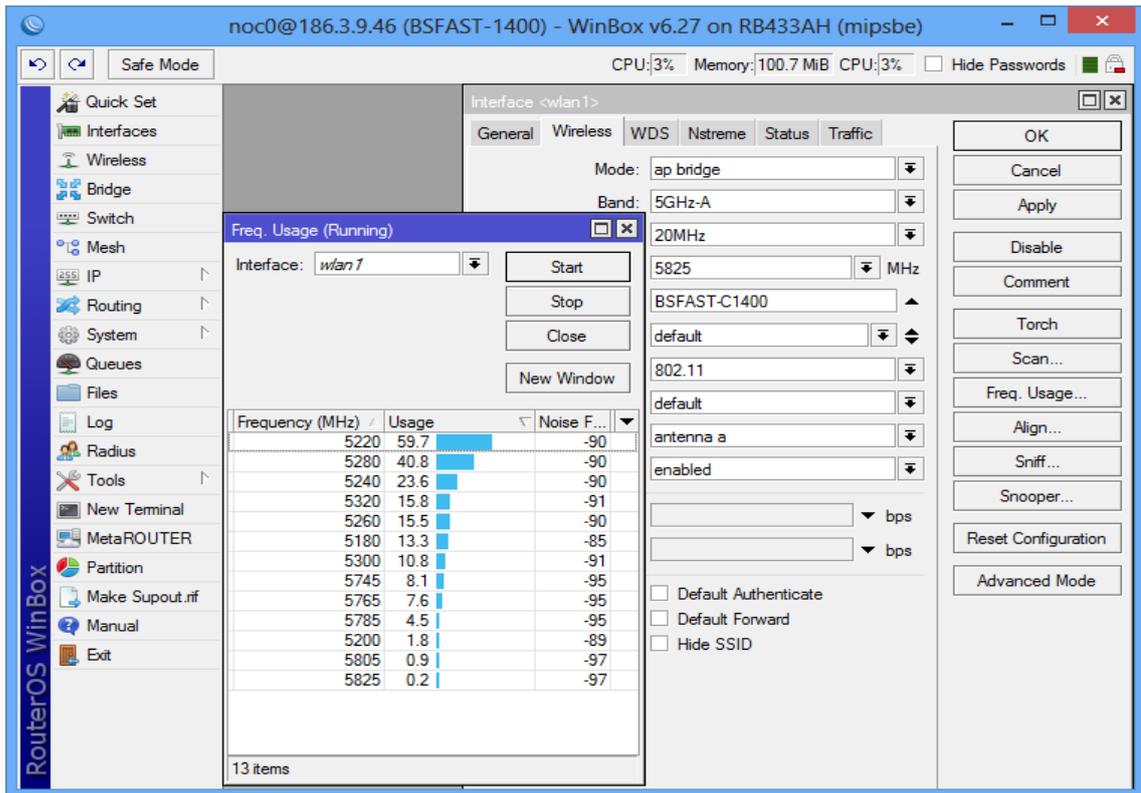


Figura 1-4: Analizador de espectro MikroTik en la banda frecuencia 5 GHz.
 Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

4.2.6 Topología de red.

Considerando la forma en la que se va a repartir la señal hacia sus clientes corporativos se opta por la topología de red Punto a Multipunto (**PtMP**), tomando el punto de cerro cachea como referencia donde se implementara la Estación Base (**BS**), el cual transmitirá la información mediante WiMAX hacia los diferentes nodos para la conversión de 802.16 a 802.11.

Para llegar a los usuarios se emplea enlaces con línea de vista (LOS) desde la estación base hacia el CPE, este realiza la convergencia de WiMAX a Wi-Fi, efectúa el cambio de frecuencia de operación, pasando de 3.5 GHz del enlace externo a 2.4 GHz en el interior del hogar, oficina o negocio, es así que el equipo permite al usuario conectarse mediante un enlace sin línea de vista (NLOS).

El motivo de trabajar con WiMAX es porque se puede transferir a un mayor ancho de banda, mantener los enlaces estables por la robustez frente a interferencias y poder establecer QoS en distintos servicios como VoIP, tráfico de video, flujo constante de datos, video vigilancia, entre otras prestaciones.

4.3 Coordenadas Geográficas BS y CPE's

Para las coordenadas se utilizó un GPS Garmin Etrex 10, dirigiéndose a cada lugar y trabajando con Datum WGS-84, para no tener inconvenientes al momento de exportar a Google Earth.

Tabla 2-4: Coordenadas geográficas y altitud de BS y CPE's.

	ALTITUD (msnm)	LATITUD	LONGITUD
ESTACION BASE (BS)	3388	01:39:44.6S	078:40:25.8W
CPE01	2803	01:39:57.4S	078:39:57.6W
CPE02	2786	01:41:10.5S	078:38:54.5W
CPE03	2749	01:40:17.5S	078:39:00.7W
CPE04	2779	01:40:58.7S	078:38:35.1W
CPE05	2748	01:41:24.4S	078:37:50.6W
CPE06	2732	01:40:24.7S	078:38:46.9W
CPE07	2758	01:40:28.9S	078:38:56.8W
CPE08	2758	01:40:28.5S	078:38:18.0W
CPE09	2745	01:40:29.1S	078:38:40.2W
CPE10	2755	01:39:55.4S	078:38:39.4W
CPE11	2765	01:40:00.7S	078:38:41.8W
CPE12	2763	01:40:06.6S	078:39:07.6W
CPE13	2768	01:40:05.1S	078:38:59.8W
CPE14	2765	01:40:14.7S	078:39:06.6W
CPE15	2764	01:40:16.5S	078:39:11.0W
CPE16	2763	01:40:16.2S	078:39:11.2W
CPE17	2763	01:40:17.4S	078:39:10.0W
CPE18	2763	01:40:12.6S	078:39:13.8W
CPE19	2764	01:40:14.5S	078:39:17.5W
CPE20	2764	01:40:05.4S	078:39:18.3W
CPE21	2768	01:40:02.0S	078:39:22.1W
CPE22	2771	01:39:45.6S	078:39:35.8W
CPE23	2779	01:39:44.2S	078:39:49.3W
CPE24	2784	01:39:20.0S	078:39:55.8W
CPE25	2811	01:39:34.6S	078:40:59.4W
CPE26	2816	01:39:41.2S	078:40:51.1W
CPE27	2809	01:39:42.7S	078:40:42.9W
CPE28	2806	01:40:24.9S	078:39:32.2W
CPE29	2766	01:40:10.9S	078:39:50.4W
CPE30	2776	01:39:44.6S	078:40:25.8W

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

Obtenido los datos exactos de las coordenadas y elevación donde se ubicará cada cliente corporativo, se utilizó Google Earth para etiquetar dichos puntos geográficos, de manera que se podrá obtener más datos importantes para los cálculos posteriores que se debe realizar a cada radioenlace entre BS-CPE.

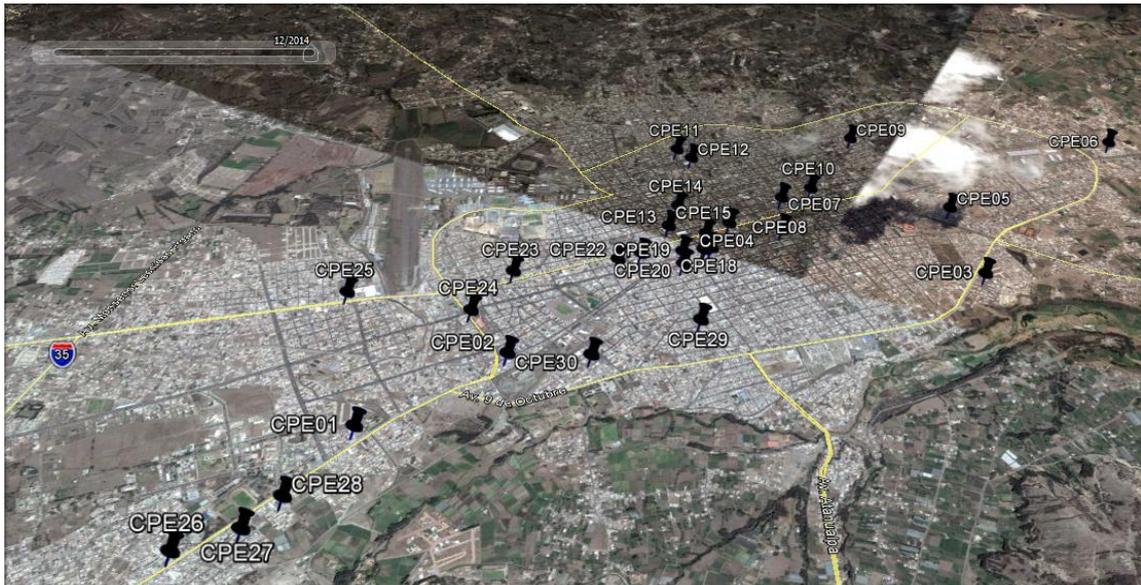


Figura 2-4: Ubicación geográfica de clientes corporativos.

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

En la **Figura 2-4** se muestra 30 CPE's distribuidos en la ciudad de Riobamba, que necesitan servicios de valor agregado con elevada prioridad y QoS, el diseño de red pretende cubrir las demandas de tráfico que se generan por Video-vigilancia y acceso a Internet. La **Tabla 3-4** presenta la cantidad de usuarios por servicio y el throughput (Mbps) necesario por usuario.

Tabla 3-4: Throughput requerido para los servicios ofertados.

Servicio	Ancho de banda/servicio	Usuarios por servicio	Throughput
Navegación por Internet	512-1024+ Kbps	19	9.72-19.5 +Mbps
Video-vigilancia remota	1.5-2.5+ Mbps	11	16.5-+27.5 Mbps

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

4.3.1 Software de simulación.

Teniendo en cuenta los valores de la **Tabla 3-4** se puede realizar la simulación respectiva, el software empleado es LINKPlanner y Radio Mobile, que son programas de libre distribución para predecir el estado futuro de los enlaces Punto a Punto o Punto a Multipunto, ambos tienen funciones muy ventajosas al momento de extraer los datos necesarios para la validación de proyectos que se basen en tecnologías inalámbricas.

4.3.1.1 Cambium LINKPlanner.

Software de libre distribución, es una herramienta de planificación para redes inalámbricas, brindada por el fabricante, a disposición de todos los usuarios interesados en equipos Motorola, se puede evaluar qué equipo es el mejor según las condiciones como: línea de vista, zona de Fresnel, tipo de aplicación, distancia, altura, frecuencias, etc... De esta forma, los usuarios pueden determinar cuál es el mejor equipo para su proyecto.

Los cálculos se efectúan con las recomendaciones ITU6 ITU-R7 P.526-10 (propagación por difracción) y ITU-R P.530-12 (Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrenales con visibilidad directa) para poder visualizar los diferentes enlaces en cualquier parte del mundo.

4.3.1.2 Simulación efectuada en LINKPlanner.

Se creó una Estación Base con las especificaciones técnicas ya detalladas anteriormente, debido a que LINKPlanner es propiedad de Cambium Network solo existen equipos de la marca Motorola, se logró adecuar cada CPE, editando cada parámetro de los dispositivos a utilizar.

El rendimiento de cada AP se describe con detalle, lógicamente se analiza aleatoriamente algunos clientes. El programa de planificación LINKPlanner tiene una opción muy válida al terminar la simulación se puede generar un informe completo de los enlaces PtMP, **ANEXO E**.

Es importante conocer detalladamente los requerimientos de los clientes para optimizar los recursos, la configuración de los equipos influye dramáticamente en el rendimiento de los mismos.

Tabla 4-4: Requerimientos por cliente y detalles técnicos.

Nombre	Antena ideal	Aplicación requerida	Downlink (%)	Nivel de recepción	Modulación requerida
CPE01	Alvarion 360° BreezeMAX PRO 2000	Residencial estudiantil Acceso a internet	85	-63.1	x4 (16QAM MIMO-B)
CPE02	Airspan 360° ProST Wi-Fi	GASOLINERA Acceso Internet	85	-61.4	x2 (QPSK MIMO-B)
CPE03	Green Packet 360° DX 350	EMPRESA Acceso Internet	85	-65.9	x4 (16QAM MIMO-B)
CPE04	Airspan 360° ProST Wi-Fi	COLEGIO Acceso Internet	85	-63.2	x2 (QPSK MIMO-B)
CPE05	Green Packet 360° DX 350	FARMACIA Acceso Internet, VoIP	85	-66.4	x2 (QPSK MIMO-B)
CPE06	Airspan 360° ProST Wi-Fi	TUBASEC Acceso Internet	85	-66.5	x2 (QPSK MIMO-B)
CPE07	Airspan 360° ProST Wi-Fi	COLEGIO Acceso Internet	85	-63.7	x2 (QPSK MIMO-B)
CPE08	Airspan 360° ProST Wi-Fi	COLEGIO Acceso Internet	85	-63.3	x2 (QPSK MIMO-B)
CPE13	Green Packet 360° DX 350	JUEGOS Acceso Internet	85	-64.9	x2 (QPSK MIMO-B)
CPE14	Green Packet 360° DX 350	COMERCIAL MORENO E HIJOS Acceso Internet	85	-65.2	x2 (QPSK MIMO-B)
CPE15	Airspan 360° ProST Wi-Fi	COLEGIO Acceso Internet	85	-62.8	x4 (16QAM MIMO-B)
CPE19	Green Packet 360° DX 350	CENTRO DE INTELIGENCIA Acceso Internet	85	-64.6	x1 (QPSK MIMO-A)
CPE21	Green Packet 360° DX 350	FARMACIA Acceso Internet, VoIP	85	-64.5	x1 (QPSK MIMO-A)
CPE24	Green Packet 360° DX 350	FARMACIA Acceso Internet, VoIP	85	-64.2	x1 (QPSK MIMO-A)
CPE28	Alvarion 360° BreezeMAX PRO 2000	HOTEL RESIDENCIAL Acceso Internet	85	-63.7	x4 (16QAM MIMO-B)
CPE09	Airspan 360° ProST Wi-Fi	OFICINAS Acceso Internet	85	-64.6	x2 (QPSK MIMO-B)
CPE12	Airspan 360° ProST Wi-Fi	OFICINAS Acceso Internet	85	-64.2	x2 (QPSK MIMO-B)
CPE29	Green Packet 360° DX 350	CYBER Acceso Internet	85	-63.9	x4 (16QAM MIMO-B)

CPE30	Green Packet 360° DX 350	CYBER Acceso Internet	85	-63.7	x4 (16QAM MIMO-B)
CPE10	Alvarion 360° BreezeMAX PRO 2000	EMBUTIDOS Videovigilancia	15	-66.7	x4 (16QAM MIMO-B)
CPE11	Alvarion 360° BreezeMAX PRO 2000	COOPERATIVA Videovigilancia	15	-66.6	x4 (16QAM MIMO-B)
CPE16	Alvarion 360° BreezeMAX PRO 2000	HOTEL Videovigilancia	15	-65.2	x4 (16QAM MIMO-B)
CPE17	Alvarion 360° BreezeMAX PRO 2000	HOTEL Videovigilancia	15	-65.2	x4 (16QAM MIMO-B)
CPE18	Alvarion 360° BreezeMAX PRO 2000	HOTEL Videovigilancia	15	-65.3	x4 (16QAM MIMO-B)
CPE20	Alvarion 360° BreezeMAX PRO 2000	HOTEL Videovigilancia	15	-64.9	x4 (16QAM MIMO-B)
CPE22	Alvarion 360° BreezeMAX PRO 2000	HOTEL Videovigilancia	15	-64.7	x4 (16QAM MIMO-B)
CPE23	Alvarion 360° BreezeMAX PRO 2000	HOTEL Videovigilancia	15	-64.3	x4 (16QAM MIMO-B)
CPE25	Alvarion 360° BreezeMAX PRO 2000	HOTEL Videovigilancia	15	-64.2	x4 (16QAM MIMO-B)
CPE26	Alvarion 360° BreezeMAX PRO 2000	FERRETERIA Videovigilancia	15	-62.2	x4 (16QAM MIMO-B)
CPE27	Alvarion 360° BreezeMAX PRO 2000	HOTEL Videovigilancia	15	-62	x4 (16QAM MIMO-B)

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

Existen diversos factores por los cuales el rendimiento de la red puede variar, el nivel de recepción, la ganancia del sistema de Tx y Rx, interferencias, la distancia entre el CPE y BS y por ende las limitaciones por reglamentos internos de telecomunicaciones en la potencia usada en la Estación Base con tecnología WiMAX.

Pese a todos estos inconvenientes, se puede apreciar en los datos exportados de la simulación un nivel de recepción excelente con el cual se puede trabajar eficientemente.

Los enlaces PtMP se realizaron satisfactoriamente en LINKPlanner, la topografía en Riobamba no obstruye en la trayectoria de los enlaces, y teniendo en cuenta que la distancia máxima a utilizarse es 8 Km, aun sabiendo que el equipo propuesto puede brindar cobertura desde 17 Km hasta 24 Km en propagación NLOS y LOS respectivamente.

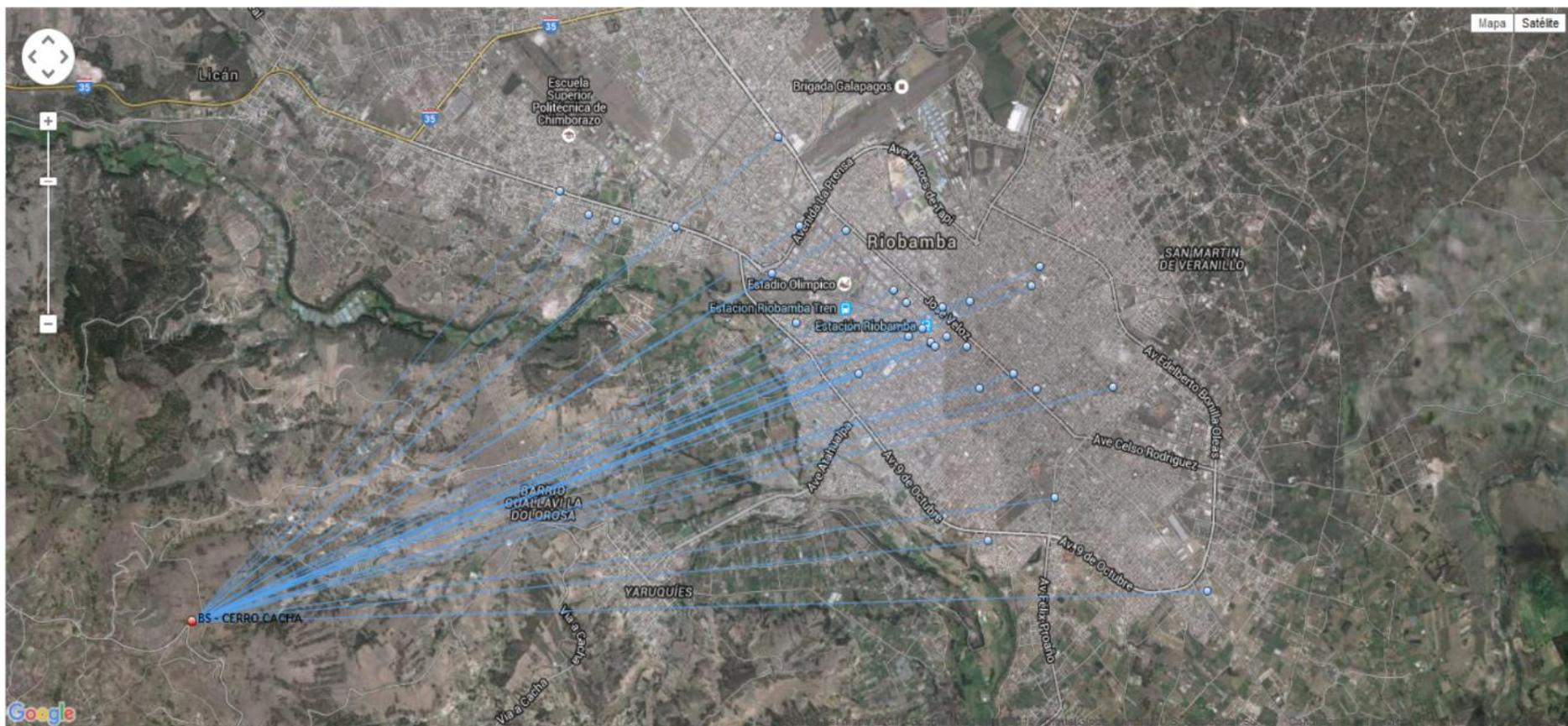


Figura 3-4: Enlaces PtMP desde BS-Cerro Cacha hasta CPE's distribuidos en Riobamba.

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

De la misma forma se puede exportar una imagen con la cobertura brindada por la BS, esto depende de la configuración dada por el operador, en el proyecto se estima máximo una distancia de cobertura de 17.5 Km.

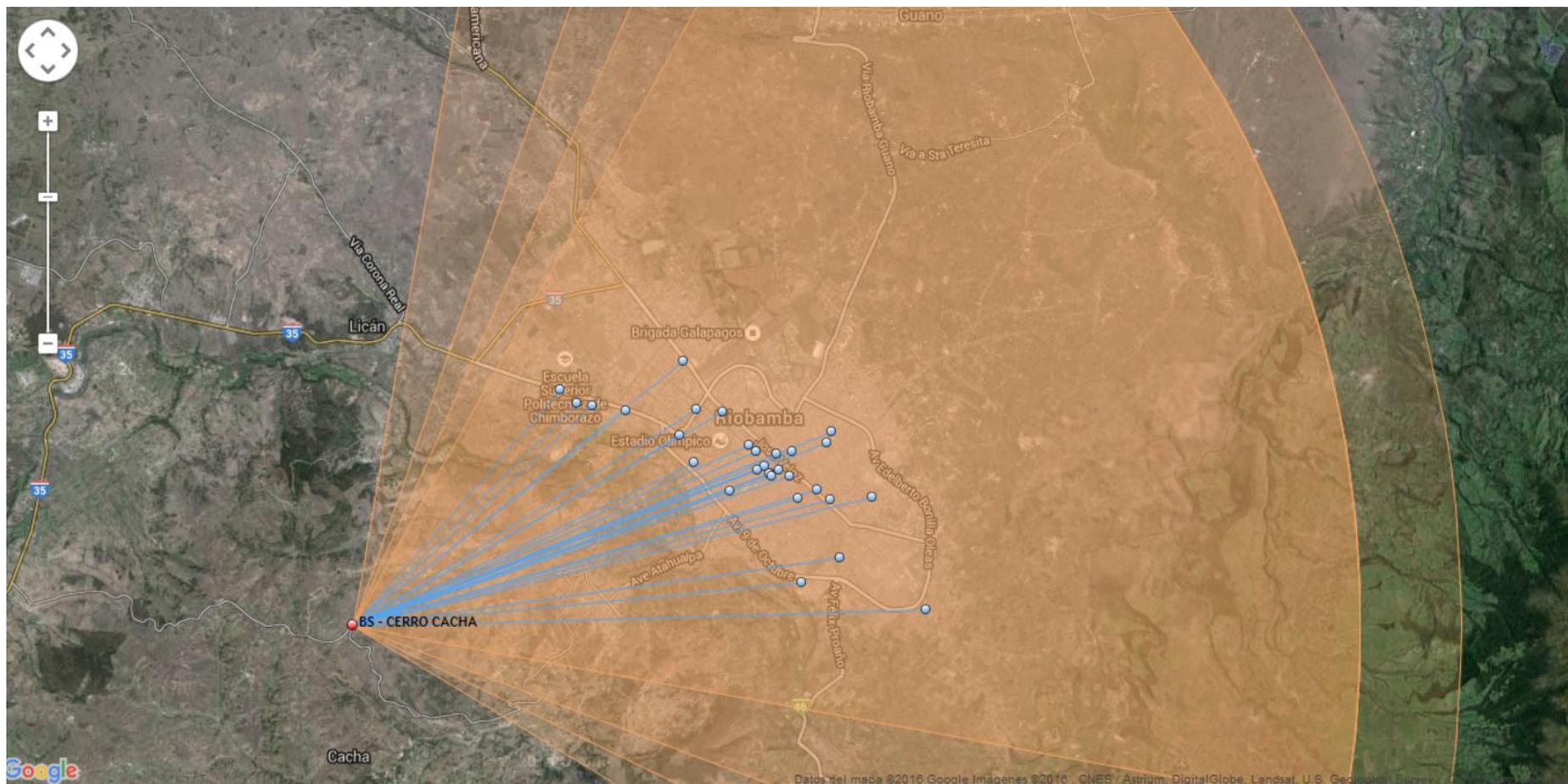


Figura 4-4: Configuración de cobertura por cada sector de la Estación Base.

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

Los datos más relevantes API Estación Base ubicada en el Cerro Cacha, suponiendo la implementación y la realización de los enlaces tendremos.

Tabla 5-4: Datos obtenidos en CPE's ligados a BS - CERRO CACHA: 1.

CPE	Band (GHz)	Bandwidth (MHz)	Capacity	Downlink Data (%)	Power (dBm)	EIRP (dBm)	Gain (dBi)	Receive Level (dB)	Mod Mode Required	CPE Predicted Availability %
CPE01	3.5	10	4 Mbps	85	23	38	15	-63.1	x4 (16QAM MIMO-B)	99.9995
CPE02	3.5	10	4 Mbps	85	23	40	17	-61.4	x2 (QPSK MIMO-B)	100
CPE03	3.5	10	4 Mbps	85	23	38	15	-65.9	x4 (16QAM MIMO-B)	99.9995
CPE04	3.5	10	4 Mbps	85	23	40	17	-63.2	x2 (QPSK MIMO-B)	100
CPE05	3.5	10	4 Mbps	85	23	38	15	-66.4	x2 (QPSK MIMO-B)	100
CPE06	3.5	10	4 Mbps	85	23	40	17	-66.5	x2 (QPSK MIMO-B)	100
CPE07	3.5	10	4 Mbps	85	23	40	17	-63.7	x2 (QPSK MIMO-B)	100
CPE08	3.5	10	4 Mbps	85	23	40	17	-63.3	x2 (QPSK MIMO-B)	100

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

Se configura en 85% Downlink debido a que estos clientes requieren un ancho de banda alto en descarga, para aplicaciones avanzadas en la nube, descargas rápidas de archivos, videostream, televisión por internet, entre otras.

Tabla 6-4: Valores predictivos en los enlaces PtMP realizados en BS - CERRO CACHA: 1.

Link Name	Range (km)	Profile Type	Link Loss (dB)	Receive Level (dB)	Rx Max Usable Mode	Mod Mode Required
BS - CERRO CACHA : 1 to CPE01	5.473	Line-of-Sight	118.1	-63.1	x6 (64QAM MIMO-B)	x4 (16QAM MIMO-B)
BS - CERRO CACHA : 1 to CPE02	5.987	Line-of-Sight	118.9	-61.4	x6 (64QAM MIMO-B)	x2 (QPSK MIMO-B)
BS - CERRO CACHA : 1 to CPE03	7.204	Line-of-Sight	120.5	-65.9	x6 (64QAM MIMO-B)	x4 (16QAM MIMO-B)
BS - CERRO CACHA : 1 to CPE04	7.352	Line-of-Sight	120.7	-63.2	x6 (64QAM MIMO-B)	x2 (QPSK MIMO-B)
BS - CERRO CACHA : 1 to CPE05	7.843	Line-of-Sight	121.3	-66.4	x6 (64QAM MIMO-B)	x2 (QPSK MIMO-B)
BS - CERRO CACHA : 1 to CPE06	9.151	Line-of-Sight	122.6	-66.5	x6 (64QAM MIMO-B)	x2 (QPSK MIMO-B)

BS - CERRO CACHA : 1 to CPE07	7.696	Line-of-Sight	121.1	-63.7	x6 (64QAM MIMO-B)	x2 (QPSK MIMO-B)
BS - CERRO CACHA : 1 to CPE08	7.366	Line-of-Sight	120.7	-63.3	x6 (64QAM MIMO-B)	x2 (QPSK MIMO-B)

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015

Se observa que en el AP BS-Cerro Cacha: 1 se interconecta ocho clientes simultáneamente, la máxima modulación que tendrán será x6(64QAM MIMO B), la cual brindará un Throughput de 35.64 Mbps de los cuales el 85% es destinado para Down Link, es decir 29.49 Mbps y para Up Link aproximadamente 6.14 Mbps. Las demandas de tráfico serán atendidas satisfactoriamente. Cada cliente está destinado con un CPE diferente debido que en algunos casos son clientes con mayor demanda de tráfico por lo que se requiere de antenas más robustas y con mejores prestaciones.

SMs per DL modulation				SMs per UL modulation				Total Mean Predicted Throughput	
x8 (256QAM MIMO-B)	0	0.0%	0.00 Mbps	x8 (256QAM MIMO-B)	0	0.0%	0.00 Mbps	x8 (256QAM MIMO-B)	0.00 Mbps
x6 (64QAM MIMO-B)	8	100.0%	29.49 Mbps	x6 (64QAM MIMO-B)	8	100.0%	6.14 Mbps	x6 (64QAM MIMO-B)	35.64 Mbps
x4 (16QAM MIMO-B)	0	0.0%	0.00 Mbps	x4 (16QAM MIMO-B)	0	0.0%	0.00 Mbps	x4 (16QAM MIMO-B)	0.00 Mbps
x2 (QPSK MIMO-B)	0	0.0%	0.00 Mbps	x2 (QPSK MIMO-B)	0	0.0%	0.00 Mbps	x2 (QPSK MIMO-B)	0.00 Mbps
x4 (256QAM MIMO-A)	0	0.0%	0.00 Mbps	x4 (256QAM MIMO-A)	0	0.0%	0.00 Mbps	x4 (256QAM MIMO-A)	0.00 Mbps
x3 (64QAM MIMO-A)	0	0.0%	0.00 Mbps	x3 (64QAM MIMO-A)	0	0.0%	0.00 Mbps	x3 (64QAM MIMO-A)	0.00 Mbps
x2 (16QAM MIMO-A)	0	0.0%	0.00 Mbps	x2 (16QAM MIMO-A)	0	0.0%	0.00 Mbps	x2 (16QAM MIMO-A)	0.00 Mbps
x1 (QPSK MIMO-A)	0	0.0%	0.00 Mbps	x1 (QPSK MIMO-A)	0	0.0%	0.00 Mbps	x1 (QPSK MIMO-A)	0.00 Mbps
Total	8	100.0%	29.49 Mbps	Total	8	100.0%	6.14 Mbps	Total	35.64 Mbps

Figura 5-4: Rendimiento AP BS-CERRO CACHA: 1, clientes corporativos de acceso a internet.

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

El cliente CPE01 esta interconectado con el AP BS-CERRO CACHA: 1, se puede observar que el enlace es factible y puede realizarse. Aunque este factor no es relevante debido a que la arquitectura de red está diseñada para que pueda haber comunicación incluso Sin Línea de Vista.

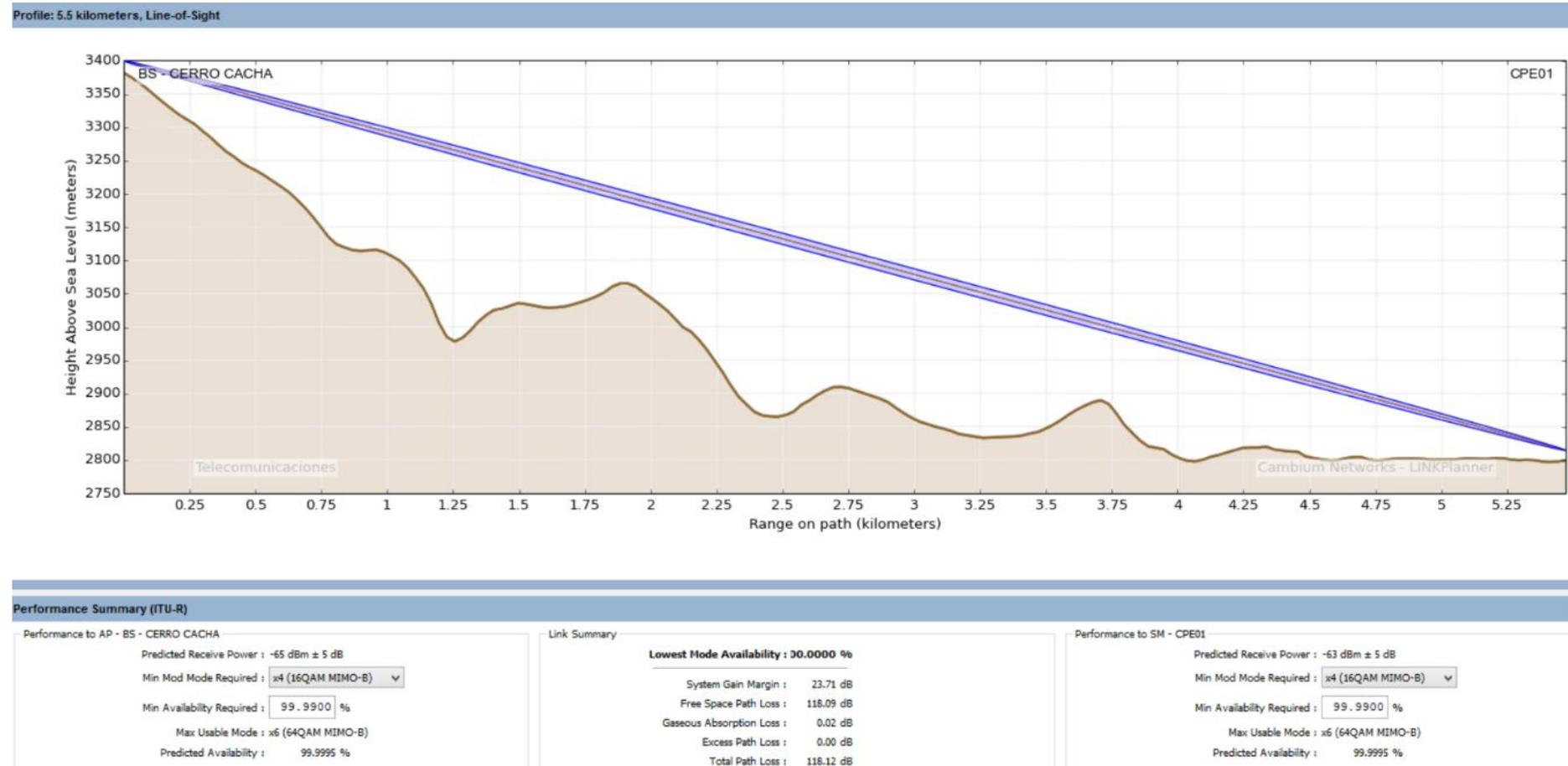


Figura 6-4: Enlace BS-CPE01, Zona de Fresnel despejada.

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

Los datos más relevantes AP2 Estación Base ubicada en el Cerro Cacha, suponiendo la implementación y la realización de los enlaces tendremos.

Tabla 7-4: Datos obtenidos en CPE's ligados a BS - CERRO CACHA: 2.

CPE	Band (GHz)	Bandwidth (MHz)	Capacity	Downlink Data (%)	Power (dBm)	EIRP (dBm)	Gain (dBi)	Receive Level (dB)	Mod Mode Required	CPE Predicted Availability %
CPE13	3.5	10	4 Mbps	85	23	38	15	-64.9	x2 (QPSK MIMO-B)	100
CPE14	3.5	10	4 Mbps	85	23	38	15	-65.2	x2 (QPSK MIMO-B)	100
CPE15	3.5	10	4 Mbps	85	23	40	17	-62.8	x4 (16QAM MIMO-B)	99.9995
CPE19	3.5	10	4 Mbps	85	23	38	15	-64.6	x1 (QPSK MIMO-A)	100
CPE21	3.5	10	4 Mbps	85	23	38	15	-64.5	x1 (QPSK MIMO-A)	100
CPE24	3.5	10	4 Mbps	85	23	38	15	-64.2	x1 (QPSK MIMO-A)	100
CPE28	3.5	10	4 Mbps	85	23	38	15	-63.7	x4 (16QAM MIMO-B)	99.9995

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

Se configura en 85% Downlink debido a que estos clientes requieren un ancho de banda alto en descarga, para aplicaciones avanzadas en la nube, descargas rápidas de archivos, videostream, televisión por internet, entre otras.

Tabla 8-4: Valores predictivos en los enlaces PtMP realizados en BS - CERRO CACHA: 2.

Link Name	Range (km)	Profile Type	Link Loss (dB)	Receive Level (dB)	Rx Max Usable Mode	Mod Mode Required
BS - CERRO CACHA : 2 to CPE13	7.265	Line-of-Sight	120.6	-64.9	x6 (64QAM MIMO-B)	x2 (QPSK MIMO-B)
BS - CERRO CACHA : 2 to CPE14	7.509	Line-of-Sight	120.9	-65.2	x4 (16QAM MIMO-B)	x2 (QPSK MIMO-B)
BS - CERRO CACHA : 2 to CPE15	7.21	Line-of-Sight	120.5	-62.8	x6 (64QAM MIMO-B)	x4 (16QAM MIMO-B)
BS - CERRO CACHA : 2 to CPE19	7.022	Line-of-Sight	120.3	-64.6	x6 (64QAM MIMO-B)	x1 (QPSK MIMO-A)
BS - CERRO CACHA : 2 to CPE21	6.973	Line-of-Sight	120.2	-64.5	x6 (64QAM MIMO-B)	x1 (QPSK MIMO-A)
BS - CERRO CACHA : 2 to CPE24	6.412	Line-of-Sight	119.5	-64.2	x6 (64QAM MIMO-B)	x1 (QPSK MIMO-A)
BS - CERRO CACHA : 2 to CPE28	5.1	Line-of-Sight	117.5	-63.7	x6 (64QAM MIMO-B)	x4 (16QAM MIMO-B)

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

Análisis del enlace *BS - CERRO CACHA: 2 to CPE14*, se nota que la Modulación máxima que permite configura es *x4 (16QAM MIMO-B)*, esto se debe a la distancia, perdidas en el enlace que conllevan a disminuir la potencia de recepción, estos factores no impiden brindar QoS al cliente.

Se observa que en el AP BS-Cerro Cacha: 2 se interconecta siete clientes simultáneamente, la máxima modulación que tendrán será x6(64QAM MIMO B), la cual brindará un Throughput de 35.64 Mbps de los cuales el 85% es destinado para Down Link, es decir 29.49 Mbps y para Up Link aproximadamente 6.14 Mbps. Las demandas de tráfico serán atendidas satisfactoriamente. Cada cliente está destinado con un CPE diferente debido que en algunos casos son clientes con mayor demanda de tráfico por lo que se requiere de antenas más robustas y con mejores prestaciones.

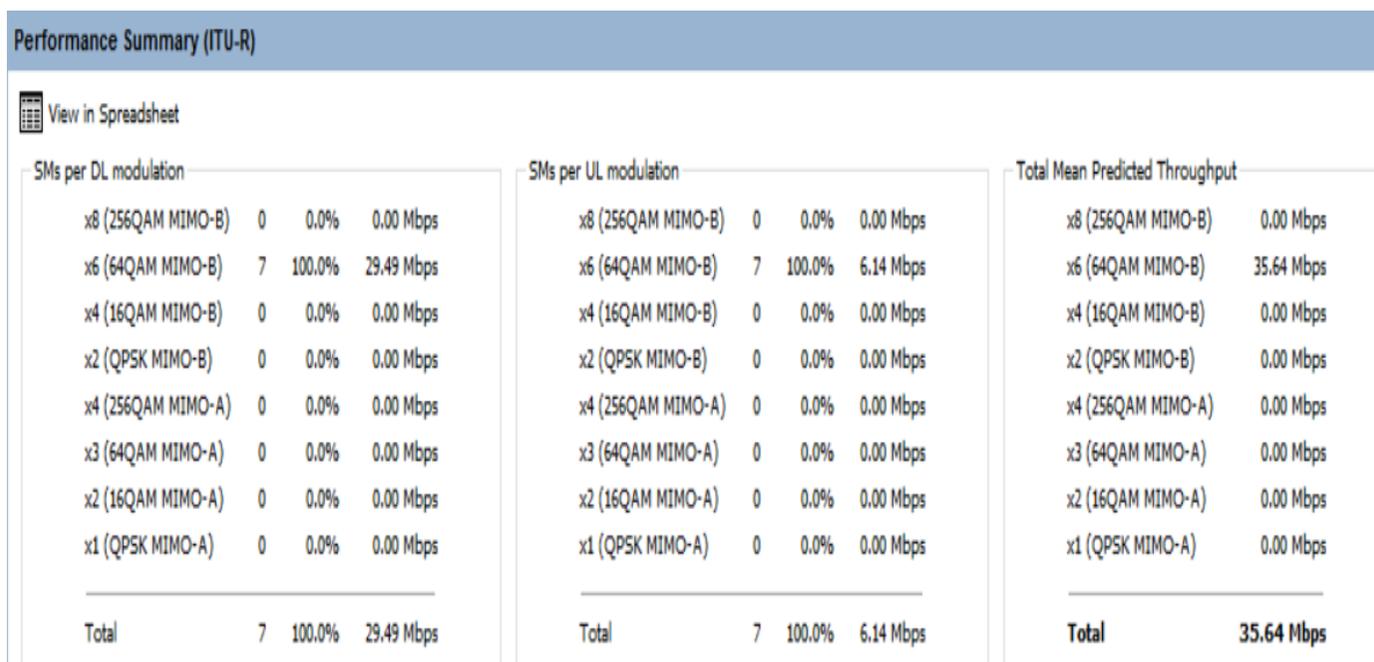
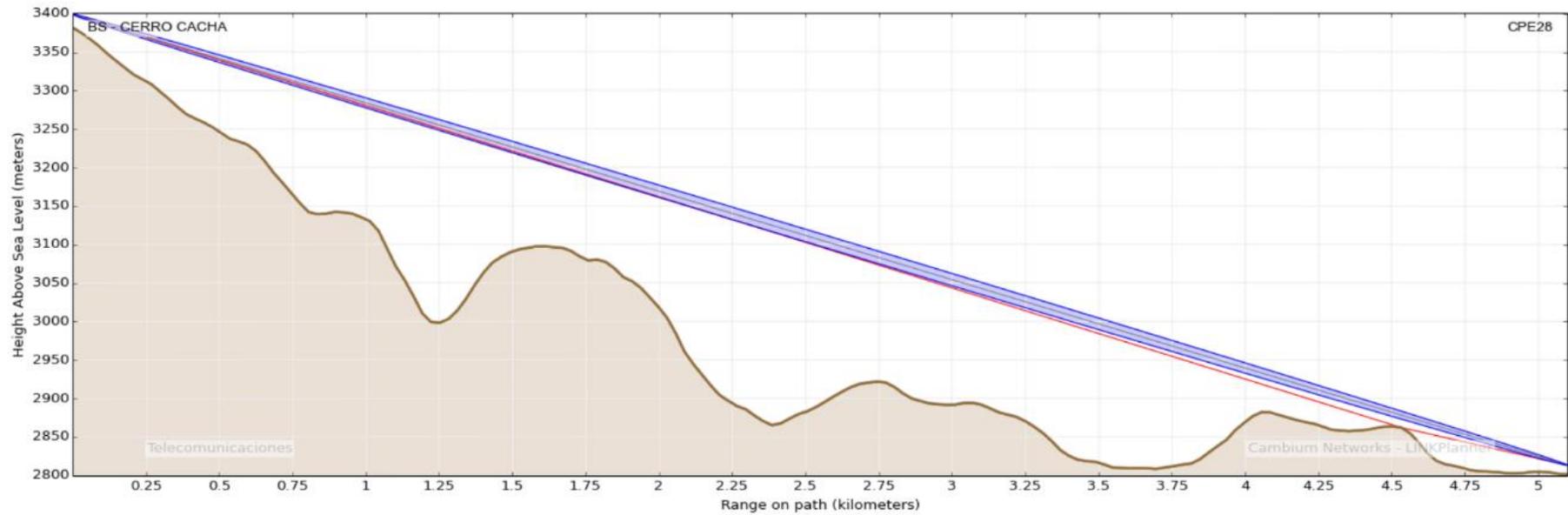


Figura 7-4: Rendimiento AP BS-CERRO CACHA: 2, clientes corporativos de acceso a internet.

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

El cliente CPE28 esta interconectado con el AP BS-CERRO CACHA: 2, se puede observar que el enlace es factible y puede realizarse. Aunque este factor no es relevante debido a que la arquitectura de red está diseñada para que pueda haber comunicación incluso Sin Línea de Vista.



Performance Summary (ITU-R)

Performance to AP - BS - CERRO CACHA	Link Summary	Performance to SM - CPE28
Predicted Receive Power : -66 dBm ± 5 dB Min Mod Mode Required : x4 (16QAM MIMO-B) Min Availability Required : 99.9900 % Max Usable Mode : x6 (64QAM MIMO-B) Predicted Availability : 99.9995 %	Lowest Mode Availability : 00.0000 % System Gain Margin : 23.13 dB Free Space Path Loss : 117.48 dB Gaseous Absorption Loss : 0.02 dB Excess Path Loss : 0.00 dB Total Path Loss : 117.50 dB	Predicted Receive Power : -64 dBm ± 5 dB Min Mod Mode Required : x4 (16QAM MIMO-B) Min Availability Required : 99.9900 % Max Usable Mode : x6 (64QAM MIMO-B) Predicted Availability : 99.9995 %

Figura 8-4: Enlace BS-CPE28, Zona de Fresnel despejada.

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

Los datos más relevantes AP3 Estación Base ubicada en el Cerro Cacha, suponiendo la implementación y la realización de los enlaces tendremos.

Tabla 9-4: Datos obtenidos en CPE's ligados a BS - CERRO CACHA: 3.

CPE	Band (GHz)	Bandwidth (MHz)	Capacity	Downlink Data (%)	Power (dBm)	EIRP (dBm)	Gain (dBi)	Receive Level (dB)	Mod Mode Required	CPE Predicted Availability %
CPE09	3.5	10	4 Mbps	85	23	38	15	-66.6	x2 (QPSK MIMO-B)	100
CPE12	3.5	10	4 Mbps	85	23	38	15	-66.2	x2 (QPSK MIMO-B)	100
CPE29	3.5	10	4 Mbps	85	23	38	15	-63.9	x4 (16QAM MIMO-B)	99.9995
CPE30	3.5	10	4 Mbps	85	23	38	15	-63.7	x4 (16QAM MIMO-B)	99.9995

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

Se configura en 85% Downlink debido a que estos clientes requieren un ancho de banda alto en descarga, para aplicaciones avanzadas en la nube, descargas rápidas de archivos, videostream, televisión por internet, entre otras.

Tabla 10-4: Valores predictivos en los enlaces PtMP realizados en BS - CERRO CACHA: 3.

Link Name	Range (km)	Profile Type	Link Loss (dB)	Receive Level (dB)	Rx Max Usable Mode	Mod Mode Required
BS - CERRO CACHA : 3 to CPE09	8.531	Line-of-Sight	122	-66.6	x6 (64QAM MIMO-B)	x2 (QPSK MIMO-B)
BS - CERRO CACHA : 3 to CPE12	8.076	Line-of-Sight	121.5	-66.2	x6 (64QAM MIMO-B)	x2 (QPSK MIMO-B)
BS - CERRO CACHA : 3 to CPE29	6.36	Line-of-Sight	119.4	-63.9	x6 (64QAM MIMO-B)	x4 (16QAM MIMO-B)
BS - CERRO CACHA : 3 to CPE30	5.997	Line-of-Sight	118.9	-63.7	x6 (64QAM MIMO-B)	x4 (16QAM MIMO-B)

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

Análisis **Tabla 10-4:** Se tiene enlaces mucho más distantes que en la **Tabla 8-4**, esto se debe a la cantidad de clientes corporativos conectados al AP3, es decir, se puede tener mayor modulación y a la vez mayor throughput si se tiene menos clientes enlazados al AP en cuestión.

Se observa que en el AP BS-Cerro Cacha: 3 se interconecta cuatro clientes simultáneamente, la máxima modulación que tendrán será x6(64QAM MIMO B), la cual brindará un Throughput de 34.41 Mbps de los cuales el 85% es destinado para Down Link, es decir 29.49 Mbps y para Up Link aproximadamente 4.92 Mbps. Las demandas de tráfico serán atendidas satisfactoriamente. Cada cliente está destinado con un CPE diferente debido que en algunos casos son clientes con mayor demanda de tráfico por lo que se requiere de antenas más robustas y con mejores prestaciones.

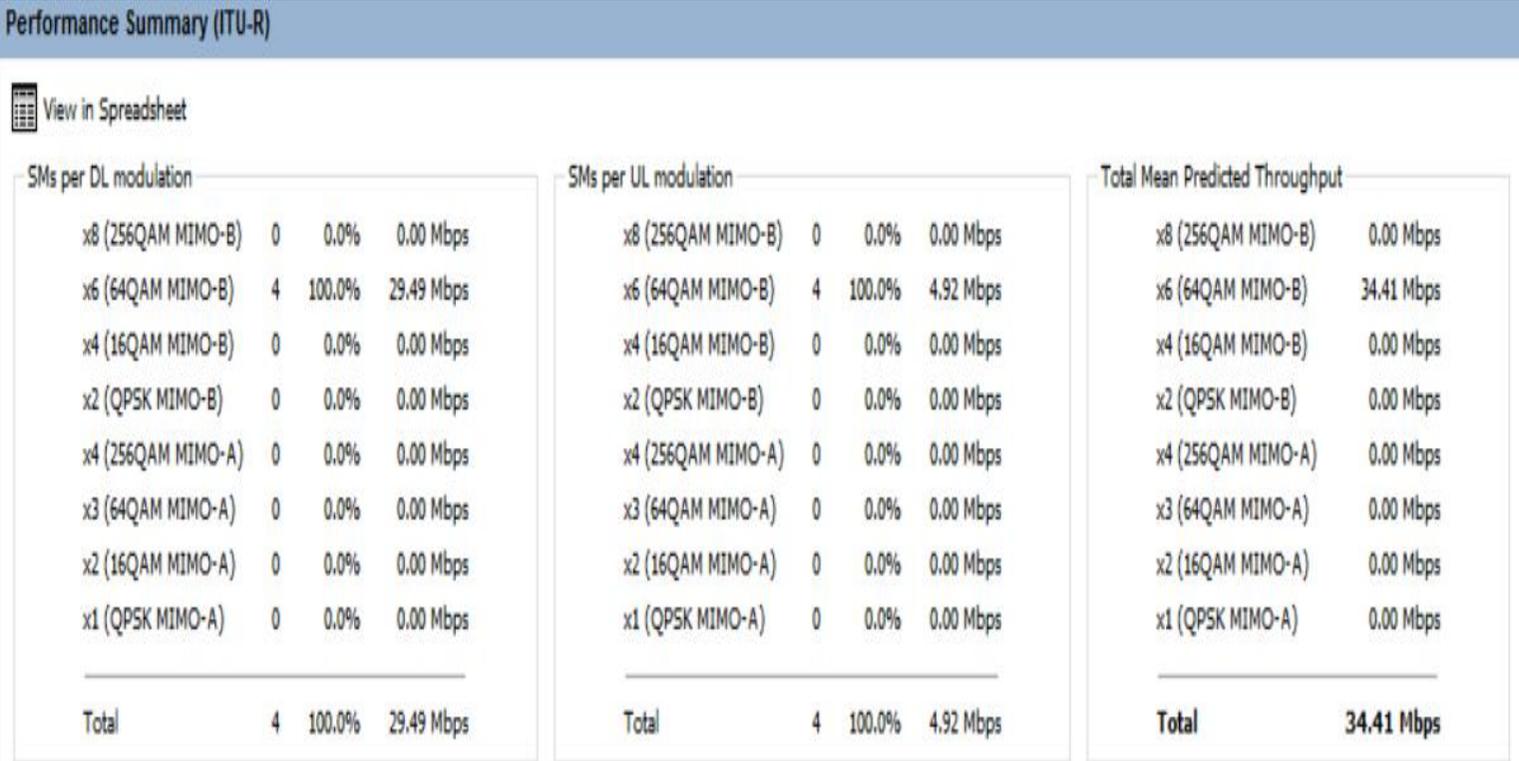


Figura 9-4: Rendimiento AP BS-CERRO CACHA: 3, clientes corporativos de acceso a internet.

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

El cliente CPE09 esta interconectado con el AP BS-CERRO CACHA: 3, se puede observar que el enlace es factible y puede realizarse. Aunque este factor no es relevante debido a que la arquitectura de red está diseñada para que pueda haber comunicación incluso Sin Línea de Vista.

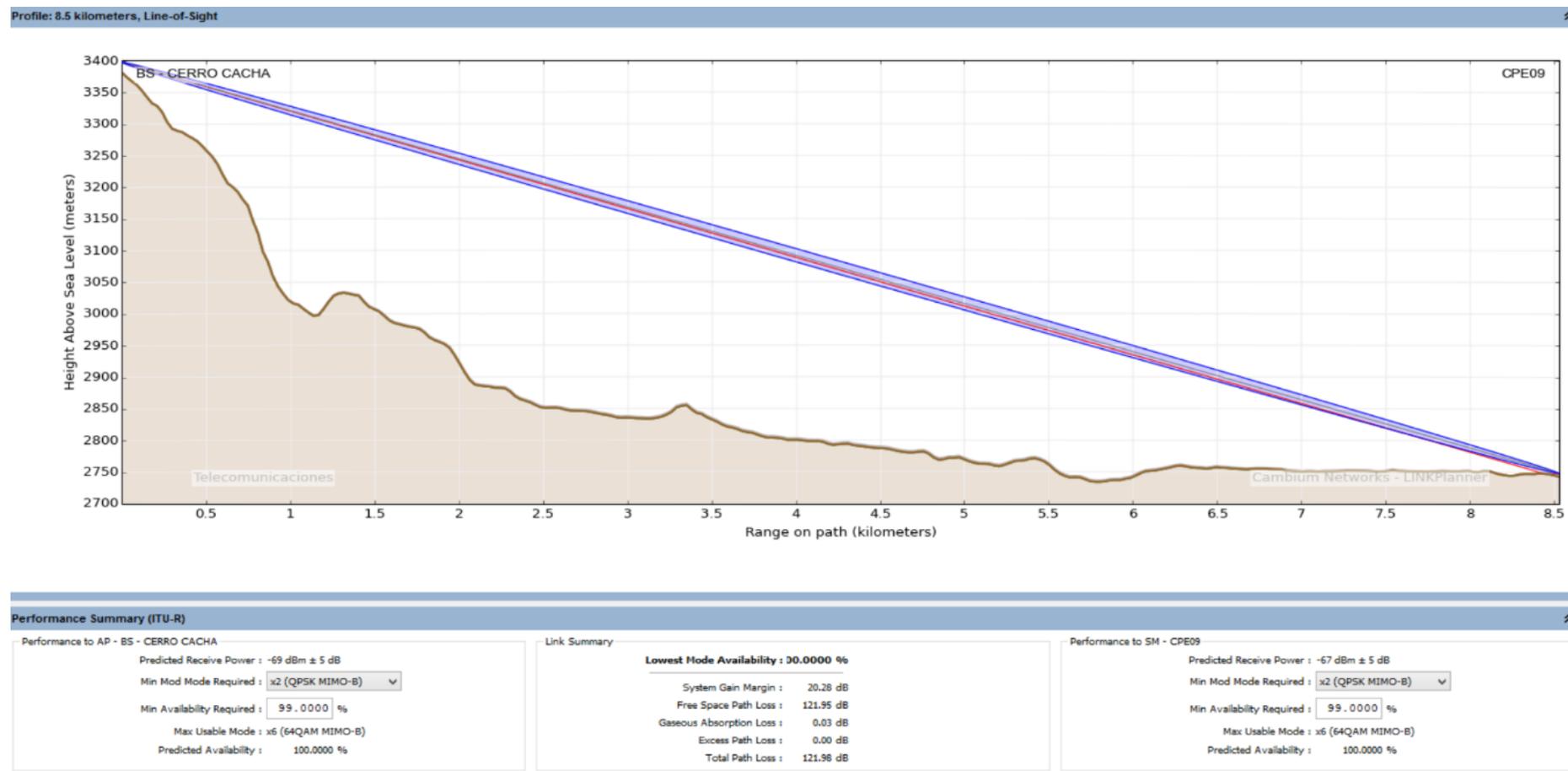


Figura 10-4: Enlace BS-CPE09, Zona de Fresnel despejada.

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

Los datos más relevantes del AP4 Estación Base ubicada en el Cerro Cacha, suponiendo la implementación y la realización de los enlaces tendremos.

Tabla 11-4: Datos obtenidos en CPE's ligados a BS - CERRO CACHA: 4.

CPE	Band (GHz)	Bandwidth (MHz)	Capacity	Downlink Data (%)	Power (dBm)	EIRP (dBm)	Gain (dBi)	Receive Level (dB)	Mod Mode Required	CPE Predicted Availability %
CPE10	3.5	20	4 Mbps	15	23	38	15	-66.7	x4 (16QAM MIMO-B)	99.9988
CPE11	3.5	20	4 Mbps	15	23	38	15	-66.6	x4 (16QAM MIMO-B)	99.9989
CPE16	3.5	20	4 Mbps	15	23	38	15	-65.2	x4 (16QAM MIMO-B)	99.9993
CPE17	3.5	20	4 Mbps	15	23	38	15	-65.2	x4 (16QAM MIMO-B)	99.9993
CPE18	3.5	20	4 Mbps	15	23	38	15	-65.3	x4 (16QAM MIMO-B)	99.9993
CPE20	3.5	20	4 Mbps	15	23	38	15	-64.9	x4 (16QAM MIMO-B)	99.9994
CPE22	3.5	20	4 Mbps	15	23	38	15	-64.7	x4 (16QAM MIMO-B)	99.9994
CPE23	3.5	20	4 Mbps	15	23	38	15	-64.3	x4 (16QAM MIMO-B)	99.9994
CPE25	3.5	20	4 Mbps	15	23	38	15	-64.2	x4 (16QAM MIMO-B)	99.9994
CPE26	3.5	20	4 Mbps	15	23	38	15	-62.2	x4 (16QAM MIMO-B)	99.9995
CPE27	3.5	20	4 Mbps	15	23	38	15	-62	x4 (16QAM MIMO-B)	99.9995

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

Se configura en 15% Downlink debido a que estos clientes requieren un ancho de banda alto en subida, para aplicaciones avanzadas de Videovigilancia, se requiere subir fotos y videos a un sistema de almacenamiento, de esta forma los clientes puedan acceder remotamente a estos recursos y puedan monitorear su negocio o empresa.

Tabla 12-4: Valores predictivos en los enlaces PtMP realizados en BS - CERRO CACHA: 4.

Link Name	Range (km)	Profile Type	Link Loss (dB)	Receive Level (dB)	Rx Max Usable Mode	Mod Mode Required
BS - CERRO CACHA : 4 to CPE10	7.862	Line-of-Sight	121.3	-66.7	x4 (16QAM MIMO-B)	x4 (16QAM MIMO-B)
BS - CERRO CACHA : 4 to CPE11	8.202	Line-of-Sight	121.6	-66.6	x4 (16QAM MIMO-B)	x4 (16QAM MIMO-B)
BS - CERRO CACHA : 4 to CPE16	7.061	Line-of-Sight	120.3	-65.2	x4 (16QAM MIMO-B)	x4 (16QAM MIMO-B)
BS - CERRO CACHA : 4 to CPE17	7.059	Line-of-Sight	120.3	-65.2	x4 (16QAM MIMO-B)	x4 (16QAM MIMO-B)
BS - CERRO CACHA : 4 to CPE18	7.082	Line-of-Sight	120.4	-65.3	x4 (16QAM MIMO-B)	x4 (16QAM MIMO-B)
BS - CERRO CACHA : 4 to CPE20	6.893	Line-of-Sight	120.1	-64.9	x4 (16QAM MIMO-B)	x4 (16QAM MIMO-B)

BS - CERRO CACHA : 4 to CPE22	6.907	Line-of-Sight	120.1	-64.7	x4 (16QAM MIMO-B)	x4 (16QAM MIMO-B)
BS - CERRO CACHA : 4 to CPE23	6.752	Line-of-Sight	119.9	-64.3	x6 (64QAM MIMO-B)	x4 (16QAM MIMO-B)
BS - CERRO CACHA : 4 to CPE25	6.668	Line-of-Sight	119.8	-64.2	x6 (64QAM MIMO-B)	x4 (16QAM MIMO-B)
BS - CERRO CACHA : 4 to CPE26	4.912	Line-of-Sight	117.2	-62.2	x6 (64QAM MIMO-B)	x4 (16QAM MIMO-B)
BS - CERRO CACHA : 4 to CPE27	4.945	Line-of-Sight	117.2	-62	x6 (64QAM MIMO-B)	x4 (16QAM MIMO-B)

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

Se observa que en el AP BS-Cerro Cacha: 4 se interconecta once clientes corporativos simultáneamente, la máxima modulación que tendrán será x4(64QAM MIMO B), la cual brindará un Throughput de 61.65 Mbps de los cuales el 15% es destinado para Down Link, es decir 9.32 Mbps y para Up Link aproximadamente 52.32 Mbps. Las demandas de tráfico serán atendidas satisfactoriamente. En este caso es un servicio de video vigilancia remota en la cual se necesita ancho de banda máximo en Up Link, los CPE para esta aplicación es Alvarion BreezeMAX PRO 2000 por los beneficios que este equipo brinda en el despliegue de cámaras inalámbricas para el sistema de video vigilancia.

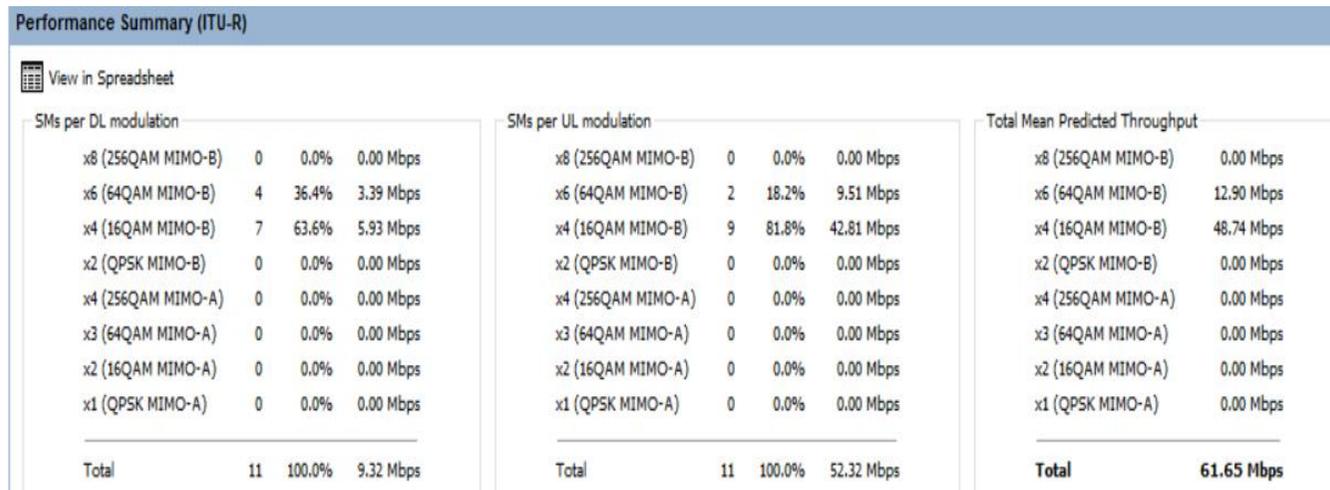


Figura 11-4: Rendimiento AP BS-CERRO CACHA: 4, clientes corporativos de video vigilancia.

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

El cliente CPE10 esta interconectado con el AP BS-CERRO CACHA: 4, se puede observar que el enlace es factible y puede realizarse. Aunque este factor no es relevante debido a que la arquitectura de red está diseñada para que pueda haber comunicación incluso Sin Línea de Vista.

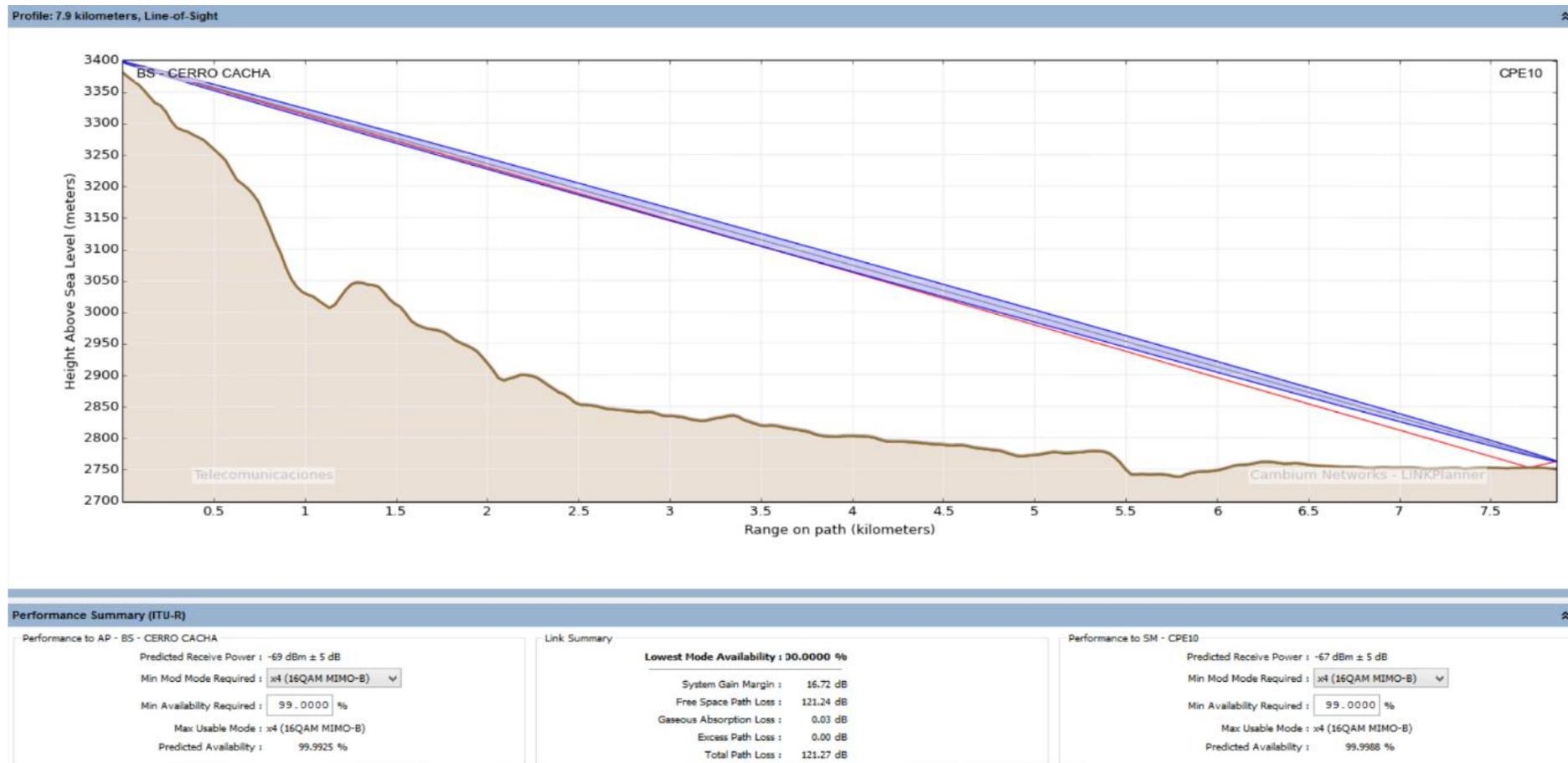


Figura 12-4: Enlace BS-CPE10, Zona de Fresnel despejada.

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

4.3.1.3 Simulación en Radio Mobile

El simulador de radio enlaces RADIO MOBILE permite especificar diferentes parámetros al igual que LINKPlanner para compararlos y verificar si la red tiene un correcto funcionamiento, para ello se toma las coordenadas al igual que las alturas tanto de la estación base como de los CPE y se procede a ingresar en radio Mobile.

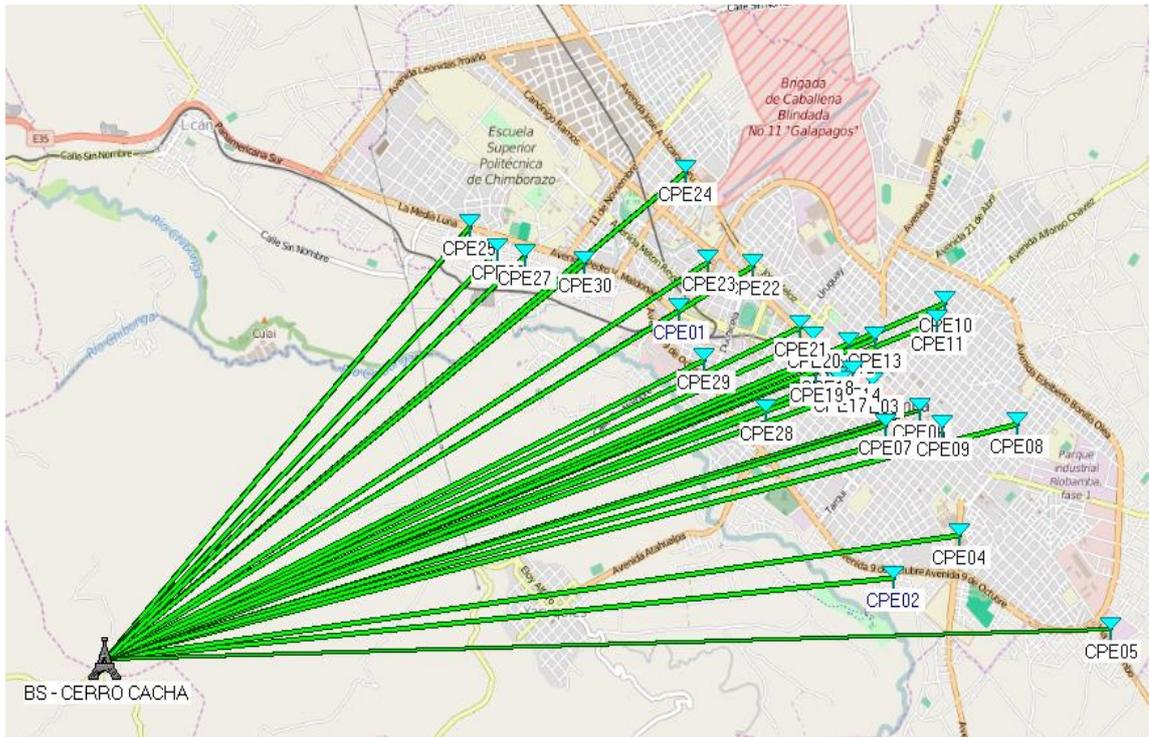


Figura 13-4: Red diseñada en Radio Mobile.

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

El simulador a diferencia de LINKPlanner no crea un informe adicional con el cual podamos guiarnos al contrario debemos ir mostrando cada radio enlace que se realiza e ir indicando las características de los mismos, se tomara en cuenta algunos enlaces importantes mientras que todas las simulaciones se adjuntan en un documento presentado en el **ANEXO F**.

El radio enlace entre la BS-CERRO CACHA: 1 y el CPE01 presenta las pérdidas en el espacio libre de 118.9 dB, al igual que el ángulo de elevación de -5.735° y un azimut de 60.60° , con estos valores se puede obtener la potencia de recepción entre otros valores importantes para una implementación.

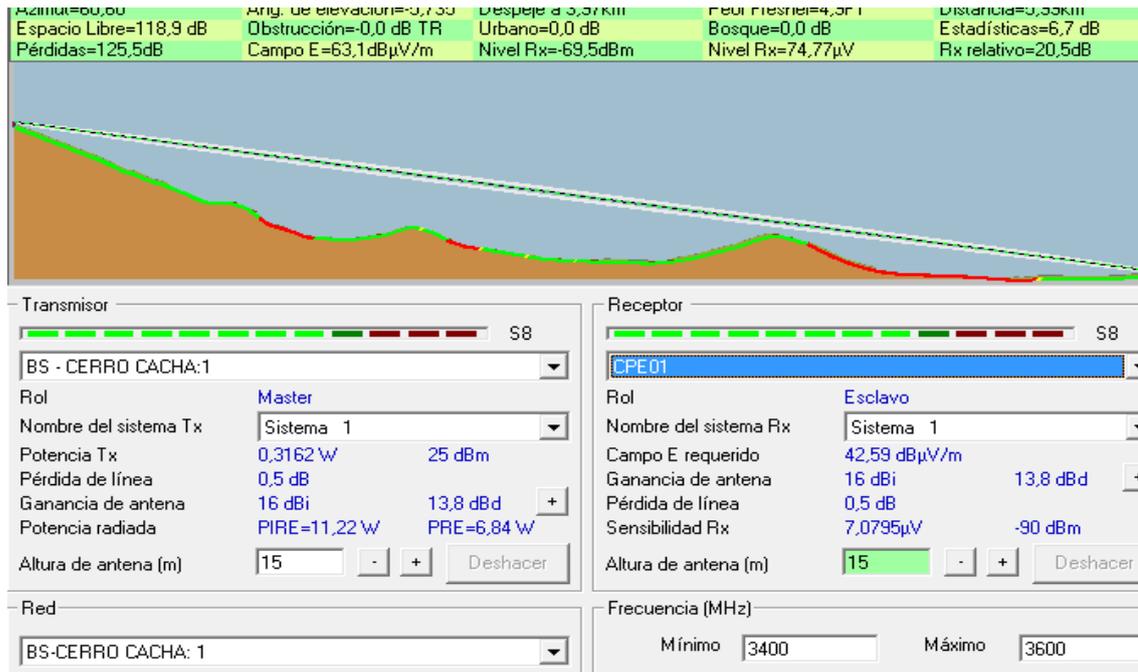


Figura 14-4: Enlace BS-CPE01, características radio Mobile.
 Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

Radio Mobile presenta una opción muy buena al momento de un radio enlace, y es el que se puede ver la cobertura que tiene la antena y esta a su vez exportarla a google Earth para una mayor precisión. **Figura 15-4.**



Figura 15-4: Cobertura y radio enlace exportados a google Earth.
 Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

Como se puede observar el enlace está correctamente realizado y verificamos que la cobertura es total para los demás radio enlaces puesto que la zona de color verde es la señal que va a abarcar la antena y la parte de color rojo indica que no se podrá dar el servicio de una manera correcta.

Los valores importantes que se pueden comparar entre los dos simuladores es la potencia de transmisión y recepción, los cuales se indicaran en el siguiente punto.

4.3.2 Comparativa de las potencias y distancias de los radio enlaces.

En la tabla 13-4, se describe los valores arrojados de la simulación tanto en radio Mobile como en LINKPlanner:

Tabla 13-4: Comparativa entre potencias de recepción de los simuladores.

ENLACE	DISTANCIA	VALORES RADIO MOBILE		VALORES LINKPlanner		
		TX	RX	TX	RX	
BS-CERRO CACHA:1	CPE01	5.99 km	25dBm	-69.5 dBm	25dBm	-63 dBm ± 5 dB
	CPE02	7.19 km	25dBm	-68.6 dBm	25dBm	-61 dBm ± 5 dB
	CPE03	7.35 km	25dBm	-66.5 dBm	25dBm	-66 dBm ± 5 dB
	CPE04	7.83 km	25dBm	-72.6 dBm	25dBm	-63 dBm ± 5 dB
	CPE05	9.14 km	25dBm	-74.6 dBm	25dBm	-66 dBm ± 5 dB
	CPE06	7.69 km	25dBm	-68.6 dBm	25dBm	-67 dBm ± 5 dB
	CPE07	7.36 km	25dBm	-68.4 dBm	25dBm	-64 dBm ± 5 dB
	CPE08	8.52 km	25dBm	-70.0 dBm	25dBm	-63 dBm ± 5 dB
BS-CERRO CACHA:2	CPE13	7.50 km	25dBm	-66.2 dBm	25dBm	-65 dBm ± 5 dB
	CPE14	7.20 km	25dBm	-66.4 dBm	25dBm	-65 dBm ± 5 dB
	CPE15	7.05 km	25dBm	-66.7 dBm	25dBm	-63 dBm ± 5 dB
	CPE19	6.89 km	25dBm	-65.1 dBm	25dBm	-65 dBm ± 5 dB
	CPE21	6.90 km	25dBm	-71.2 dBm	25dBm	-65 dBm ± 5 dB
	CPE24	6.67 km	25dBm	-66.7 dBm	25dBm	-64 dBm ± 5 dB
	CPE28	6.35 km	25dBm	-64.9 dBm	25dBm	-64 dBm ± 5 dB
BS-CERRO CACHA:3	CPE09	7.85 km	25dBm	-67.3 dBm	25dBm	-65 dBm ± 5 dB
	CPE12	7.26 km	25dBm	-65.3 dBm	25dBm	-64 dBm ± 5 dB
	CPE29	5.99 km	25dBm	-74.3 dBm	25dBm	-64 dBm ± 5 dB
	CPE30	5.48 km	25dBm	-75.2 dBm	25dBm	-64 dBm ± 5 dB
BS-CERRO CACHA:4	CPE10	8.20 km	25dBm	-67.2 dBm	25dBm	-67 dBm ± 5 dB
	CPE11	8.07 km	25dBm	-69.7 dBm	25dBm	-67 dBm ± 5 dB
	CPE16	7.05 km	25dBm	-65.2 dBm	25dBm	-65 dBm ± 5 dB
	CPE17	7.07 km	25dBm	-75.5 dBm	25dBm	-65 dBm ± 5 dB
	CPE18	7.01 km	25dBm	-69.5 dBm	25dBm	-65 dBm ± 5 dB
	CPE20	6.97 km	25dBm	-65.7 dBm	25dBm	-65 dBm ± 5 dB
	CPE22	6.75 km	25dBm	-71.8 dBm	25dBm	-65 dBm ± 5 dB
	CPE23	6.41 km	25dBm	-71.1 dBm	25dBm	-64 dBm ± 5 dB
	CPE25	4.92 km	25dBm	-69.3 dBm	25dBm	-64 dBm ± 5 dB
	CPE26	4.95 km	25dBm	-67.4 dBm	25dBm	-62 dBm ± 5 dB
CPE27	5.11 km	25dBm	-70.2 dBm	25dBm	-62 dBm ± 5 dB	

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

Se puede observar que en los dos simuladores los valores de transmisión y recepción son parecidos e incluso iguales en algunos casos, podemos asegurar un correcto funcionamiento si se desea implementar esta red con dichas características solo se tomaría en cuenta la parte física que conlleva una implementación.

4.4 Aspectos para el análisis de costos.

La valoración económica del proyecto es imprescindible para saber la inversión que se necesita durante la implementación de la Red híbrida WiMAX-WiFi, para ello se requiere los valores de los equipos electrónicos como Estación Base, CPE's, enrutador y elementos del sistema eléctrico. Así como un estudio de ingeniería, licencias y permisos de operación de la red inalámbrica, contratos con un ISP internacional para la red de acceso.

4.4.1 Costo de materiales para la red.

Para este análisis de costos se toman en cuenta todos los equipos a utilizar en la red como son la estación base (BS) y los 30 CPE's, a su vez, un enrutador como MikroTik para soportar el tráfico que se genera.

Se toma en consideración una batería para un respaldo al momento de que se produjera un corte de luz y un inversor de voltaje. Los precios obtenidos de los equipos electrónicos son valores que en la actualidad cuestan al momento de adquirirlos y varían dependiendo del fabricante, en la tabla siguiente se establecerán los precios de cada uno de estos:

Tabla 14-4: Costos de materiales.

CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
1	Estación Base Mercury Quantum 6635	7,845.96	7,845.96
9	Green Packet WiMAX DX 350	195.00	1,755.00
13	BreezeMAX® PRO 2000	250.00	3,250.00
8	ProST-WiFi	300.00	2,400.00
1	MikroTik RouterBoard modelo CCR1009-8G-1S-1S +	495.00	495.00

1	Inversor de voltaje	60.00	60.00
1	Batería	60.00	60.00
1	Varios (Cables, conectores)	100.00	100.00
1	Caseta de telecomunicaciones e instalación	200.00	200.00
PRECIO TOTAL (USD)			16,165.96

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

4.4.2 Costo de acceso al Backbone de internet.

El ancho de banda (Mbps) necesario para empezar el proyecto depende exclusivamente de los abonados lo que soliciten a FASTNET. Para el caso tendremos que contratar el servicio de Tránsito al Backbone de Internet de TELCONET.

Tabla 15-4: Costo de acceso al Backbone de internet Telconet.

CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
1	Instalación Fibra óptica en Cerro Cacha	100.00	100.00
1	Internet dedicado hasta 47000 Kbps	2,154.95	2,154.95
30	IP Públicas	1.25	37.50
PRECIO TOTAL (USD)			2,292.45

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

4.4.3 Costo de licencia 3.5 GHz y permisos.

En Ecuador la banda 3.5 GHz está disponible bajo una concesión. El proceso legal se debe realizar con la ARCOTEL, tener en consideración el Reglamento Derechos Concesión Y Tarifas Espectro Radioeléctrico presentado en la **RESOLUCION N° 485 - 20 - CONATEL – 2003**.

El cálculo de la tarifa por uso de frecuencias para los enlaces punto-multipunto para el Servicio Fijo y para los Servicios Móviles que hacen uso de Multiacceso, se hará en base de dos componentes:

a) Tarifa A: Por cada centro de Multiacceso, esto es, por cada Estación de Base del Servicio Móvil (Multiacceso) o por cada Estación Central del Servicio Fijo enlaces punto multipunto (Multiacceso) y sistemas FWA, por la anchura de banda en transmisión y recepción en el área de concesión y su radio de cobertura. (CONATEL, 2003, pp. 7-9, 12, <http://www.arcotel.gob.ec>)

$$T (US\$) = K a * \alpha 4 * \beta 4 * A * (D)^2$$

$$T (US\$) = 1 * 0.0781436 * 1 * 10 * (18)^2$$

$$T (US\$) = 253.1852$$

b) Tarifa C: Por el número total de Estaciones Radioeléctricas de Abonado Fijas y Móviles activadas en el sistema Multiacceso. (CONATEL, 2003, pp. 7-9, 12, <http://www.arcotel.gob.ec>)

$$T (US \$) = Ka * a 5 * Fd$$

$$T (US \$) = 1 * 1 * 64$$

$$T (US \$) = 64$$

Del Capítulo II, **RESOLUCION N° 485 - 20 - CONATEL – 2003**, mediante el Artículo 31 se calcula los valores por derechos de concesión.

$$Dc = T (US\$) * Tc * Fcf$$

$$Dc = (253.1852 + 64) * 60 * 0.0477714$$

$$Dc = 909.1428$$

De esta manera se calcula los costos para la concesión de operación, se adjunta los valores de homologación en la siguiente tabla.

Tabla 16-4: Costos de concesión y permisos.

CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
1	Tarifa concesión licencia 3.5 GHz	909.14	909.14
30	Homologación CPE's	2.33	70.00
1	Homologación Estación Base WiMAX	39.00	39.00
PRECIO TOTAL (USD)			1,018.14

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

4.4.4 Total de inversión inicial.

Tabla 17-4: Total de inversión inicial.

DESCRIPCION	VALOR TOTAL
Costos de materiales para la red.	16,165.96
Costo de acceso al Backbone de internet	2,292.45
Costo de licencia 3.5 GHz y permisos	1,018.14
TOTAL INVERSION	19,476.55

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

4.4.5 Relación costo – beneficio.

Teniendo en cuenta el total de inversión que se necesitaría para implementar la red establecida en la tabla 17-4, se necesitaría establecer los precios que se requieran cobrar a sus clientes para recuperar la inversión, a continuación se establecen los planes corporativos:

Tabla 18-4: Precios de planes corporativos.

Tipo de plan	Ancho de banda	Compartición	Precio
Corporativo Level 1	870 x 154 Kbps	1 a 1	120.00
Corporativo Level 2	1306 x 230 Kbps	1 a 1	144.00
Vigilancia IP 1	308 x 1740 Kbps	1 a 1	170.00
Vigilancia IP 2	384 x 2176 Kbps	1 a 1	220.00
ESPECIAL	2 Mbps	1 a 1	260.00

Elaborado por: Villegas E. y Granda W. 2015.

CONCLUSIONES

- Si bien es cierto que las Redes WiMAX en Ecuador no han tenido una acogida favorable, esta realidad no describe la eficiencia que presenta WiMAX, en aspectos importantes como la seguridad, capacidad de transmisión, mayor robustez frente a interferencias, compatibilidad e interoperabilidad, características únicas que se traducen en beneficios para la empresa y el cliente.
- WiMAX favorece al despliegue de la red cubriendo extensas áreas a bajos costos, brindando servicios de valor agregado a lugares suburbanos donde tecnologías como Cable de Cobre xDSL o Fibra Óptica no pueden alcanzar por la dificultad de acceso. Wi-Fi tiene menos cobertura pero permite tener acceso móvil de banda ancha hacia el internet y es interoperable con cualquier fabricante.
- WiMAX basado en el estándar IEEE 802.16, se aplican en redes metropolitanas (MAN), describe en su Capa Física la implementación de topología de red Punto a Multipunto (PtMP) entre la Estación Base y los CPE's. Sabiendo que el medio de propagación es el espectro radioeléctrico la señal se atenúa y existen pérdidas, con WiMAX se mitiga estos factores permitiendo propagar señales de forma directa (LOS) e indirectamente (NLOS), debido a la eficiencia espectral 90% en comparación a Wi-Fi 50%, utilizando modulación OFDM en el nivel físico, admitiendo modulación de subportadoras de 64 QAM $\frac{3}{4}$ capaz de proporcionar un mayor throughput con menor Relación Señal a Ruido (SNR), es decir, a mayor distancia que otro sistema poco eficiente.
- La coexistencia entre WiMAX/Wi-Fi permite optimizar recursos para el acceso a internet u otros servicios, puesto que existen dispositivos CPE's que trabajan con ambas tecnologías. Estos dispositivos tienen dos partes fundamentales, el enlace externo (outdoor) con WiMAX, y la conexión interna (indoor) del cliente mediante Wi-Fi.
- FASTNET dispone de un despliegue inalámbrico con Wi-Fi Large Range el cual presenta dificultades de soporte de tráfico, sensible a interferencias, mecanismos débiles de seguridad y operan en banda de frecuencia libre. Al realizar una encuesta a los treinta clientes corporativos de la empresa, se demostró una insatisfacción por el servicio recibido, por tal motivo la empresa contribuyó para el desarrollo del proyecto investigativo.

- Existen distintos tipos de fabricantes de equipos híbridos entre WiMAX y Wi-Fi, del estudio realizado, se compararon las especificaciones técnicas de los componentes principales para la red. El equipo ideal considerado para la Estación Base (BS) es del fabricante Mercury Networks y los diferentes CPE's provienen de las empresas Airspan, Alvarion y Green Packet, cuyas características se adaptan a los requerimientos de la red propuesta. Estos dispositivos tienen interoperabilidad entre distintos fabricantes lo que facilita trabajar con la Estación Base.
- Al tener clientes corporativos establecidos por la empresa para el proyecto se establece la cobertura para la ciudad de Riobamba, los cuales requieren QoS en Videovigilancia y acceso a internet, aplicaciones que demandan un ancho de banda elevado. De acuerdo a throughput generado por los treinta usuarios la red debe soportar un tráfico de 47 Mbps y un estimado para cinco años de 92.5 Mbps. Lo cual es sostenido por la estación base ya que en sus especificaciones puede trabajar hasta 180 Mbps.
- En la simulación se utiliza una Estación Base con tres antenas sectoriales de 120° cada una, lo cual permite dar cobertura a zonas urbanas y adicionalmente a zonas de baja densidad poblacional. Esta Estación Base se ubicó en el Cerro Cacha donde la empresa dispone de una torre de telecomunicaciones. Los treinta CPE's cuyas coordenadas fueron conseguidas con un GPS, están dispersos por la ciudad de Riobamba. La configuración de la estación base y CPE's se estableció un ancho de canal de 10MHz. Para clientes de Videovigilancia se utiliza una modulación 64QAM de Matriz B, debido a que tiene mayor robustez e incrementa la tasa de transferencia para no tener pérdidas de paquetes de voz y video. Para clientes que necesitan acceso a internet la modulación establecida es 16QAM de Matriz A, ya que en este servicio se utiliza datos.
- Se analizó el Sistema inalámbrico que posee FASTNET en toda la banda de 5 GHz, los resultados no son favorables para implementar la red WiMAX/Wi-Fi puesto que en esta banda existe mucho ruido e interferencias producidas por otros sistemas. Se optó operar en banda de frecuencia de 3.5 GHz la cual requiere de permisos, pero con la ventaja de poder transmitir a potencias altas lo que beneficia a los enlaces dedicados para los corporativos, de esta manera se puede brindar QoS en todos los niveles.
- La inversión para iniciar el proyecto y cubrir todos los costos de materiales, acceso al Backbone de internet, licencias, entre otros se estima \$19,476.55, tomando en cuenta la

proyección realizada este valor se reembolsa en dos años, generando ganancias en los años posteriores.

- Se optó diseñar una arquitectura de red inalámbrica de banda ancha para los clientes corporativos del Proveedor de Servicios de Internet Inalámbrico FASTNET, debido a la elevada demanda de tráfico que estos clientes generan en la ciudad de Riobamba y no es totalmente soportada por los equipos y enlaces radioeléctricos actualmente instalados. Se encuentra una solución óptima para los recursos de la empresa y los clientes, explotando los avances tecnológicos se puede crear una Red que permita el funcionamiento de dos estándares diferentes combinando las características de WiMAX y Wi-Fi, complementarias entre si impulsando un servicio de calidad.

RECOMENDACIONES

- ✓ En el Ecuador se debería realizar investigaciones que apoyen la utilización de frecuencias en la banda de 3.5 GHz, a su vez permitir la homologación de equipos con los cuales se puede trabajar en esta frecuencia. Con WiMAX se toma en cuenta las especificaciones de los equipos que trabajan con ella, puesto que no siempre lo que dicen en las hojas técnicas es la verdad al momento de implementar y utilizar los dispositivos.
- ✓ En el caso de efectuarse la implementación de la red, la empresa FASTNET debería buscar convenios con las empresas proveedoras de estas tecnologías, para así disminuir los precios y tener ventajas al momento de adquirir sus productos. FASTNET por su parte le correspondería facilitar la información obtenida en esta investigación a los estudiantes de un futuro, los cuales necesiten realizar sus trabajos de titulación con referente a la empresa. Si desean mejorar la seguridad de la red se tomaría en cuenta contratar un administrador de red para que constantemente este analizando y de ser necesario incluir otros equipos como firewall, NAT, servidores, para evitar pérdidas de información.
- ✓ Durante el crecimiento de la red se considera aumentar el ancho de banda solicitado a Telconet de forma paulatina, puesto que durante la duración del proyecto el consumo del ancho de banda se ocupara por parte de los nuevos clientes y de no ser el caso la red llegaría a congestionarse y tener inconvenientes.
- ✓ La red no necesariamente requiere de una repetidora ya que abarca toda la ciudad e incluso se puede modificar los AP de la estación base para llegar a otros lugares, por ello no se crearían más gastos para la empresa.
- ✓ Se recomienda tomar en cuenta los valores utilizados en las simulaciones, ya que son datos tomados como máximos y en la vida real no siempre se llega a ocuparlos, como por ejemplo tener una potencia de transmisión de 25dBm y el ancho de canal de 10MHz. Estos valores varían dependiendo a la distancia y los requerimientos del cliente.

BIBLIOGRAFIA

ANALUISA MUSO, Jaime Daniel. Diseño de una red 4g *long term evolution* (lte) en redes móviles. (Tesis). Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial. Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones. Ambato-Ecuador. 2014. Pp. 7-17.

http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/7796/1/Tesis_t905ec.pdf

Consulta: 2015-10-10

BUCALIMA Z. Santiago. Estudio y diseño de una red WiMAX para la ciudad de cuenca. (Tesis). Universidad de Cuenca. Facultad de Ingeniería. Maestría en Telemática. Cuenca-Ecuador. 2010. Pp. 46-74

<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2555/1/tm4320.pdf>

Consulta: 2015-10-12

CALDERA CHACÓN, Víctor Manuel. Análisis experimental de teléfonos inteligentes para la transmisión de voz y datos en la evolución de GSM-WCDMA. (Tesis). Instituto Politécnico Nacional. Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica. México, 2013. Pp. 2-43

<http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/12977/1/TESIS.pdf>

Consulta: 2015-10-10

CALVILLO TERIBIA, Ainhoa. Estudio y diseño de una red WiMAX para dar cobertura de banda ancha en un entorno rural. (Tesis). Universidad Politécnica de Valencia. Escuela de Ingeniería en Sistemas de Telecomunicaciones, Sonido e Imagen. Gandia-España. 2013. Pp. 12-45

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/34530/Memoria.pdf?sequence=1>

Consulta: 2015-12-10

ESCOBAR ZAPATA, F. A., & GONZÁLEZ ENDARA, C. J. Diseño de una red inalámbrica de datos para las unidades fijas y móviles de la policía nacional en el distrito metropolitano de quito usando la tecnología wimax. (Tesis). Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20111/CD-5562.pdf>

Consulta: 2015-10-11

IEEE 802.16 Working Group. IEEE 802.16 e-2005 IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands [S].

standards.ieee.org/getieee802/download/802.16e-2005.pdf

Consulta: 2015-11-05

POMA ORDÓÑEZ, Guido Alejandro. Análisis del estándar IEEE 802.16m (Wimax 2) y su factibilidad de implementación en el Ecuador. (Tesis). Universidad Nacional de Loja. Área de la Energía, Las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables. Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones. Loja-Ecuador. 2014. Pp. 20-26, 50-59

<http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/7739/1/Poma%20Ord%C3%B3%C3%B1ez%2c%20Guido%20Alejandro.pdf>

Consulta: 2015-10-15

Quitiaquez Hugo, De La Torre Juan. Aplicaciones WiFi. Análisis y diseño de una red WiFi y wimax para el centro de investigación científica en telecomunicaciones. Tecnologías de la información y las comunicaciones. (Tesis). Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería de Sistemas. Ingeniería Informática. Quito-Ecuador. 2014. P. 1-112.

<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23.pdf>

Consulta: 2015-09-15

TÚQUERREZ IPIALES, Edwin Geovanny. Diseño de la red de telecomunicaciones a Beneficio del gobierno parroquial de Caranqui. (Tesis). Universidad Técnica del Norte. Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas. Carrera De Ingeniería En Electrónica Y Redes De Comunicación. Ibarra-Ecuador. 2014. Pp. 52-75

<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/3772/1/04%20RED%20035%20TESIS.pdf>

ECUADOR, CONSEJO NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (CONATEL); & SECRETARÍA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (SENATEL). *Plan nacional de frecuencias.* Quito-Ecuador. 2012.

http://www.arcotel.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2013/07/plan_nacional_frecuencias_2012.pdf

Consulta: 2015-12-12

ECUADOR, AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE LAS TELECOMUNICACIONES (ARCOTEL). *Ley Especial de Telecomunicaciones reformada.* Quito-Ecuador. 2004

http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/ley_telecomunicaciones_reformada.pdf

Consulta: 20015-12-13

ECUADOR, CONSEJO NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (CONATEL). *Resolución 017-02- CONATEL- 2002, Reglamento para el otorgamiento de títulos habilitantes para la operación de redes privadas.* Quito-Ecuador. 2002

<http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/11/titulos-habilitantes-para-operacion-de-redes-privadas.pdf>

Consulta: 20015-12-20

ECUADOR, CONSEJO NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (CONATEL). *Norma para la implementación y operación de sistemas de modulación digital de banda ancha.* Quito-Ecuador. 2010

http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/2005_a417_15.pdf

Consulta: 20015-12-15

ECUADOR, CONSEJO NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (CONATEL). *Reglamento de derechos por concesión y tarifas por uso de frecuencias del espectro radioeléctrico.* Quito-Ecuador. 2003

http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/reglamento_derechos_concesion_y_tarifas_espectro_radioelect6.pdf

Consulta: 20015-12-18

ECUADOR, CONSEJO NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (CONATEL). *Reglamento para homologación de equipos de telecomunicaciones.* Quito-Ecuador. 2007

http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/452_29_conatel_2007.pdf

Consulta: 20015-12-18

ECUADOR, AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE LAS TELECOMUNICACIONES (ARCOTEL). *Modificaciones al texto del Plan Nacional de Frecuencias.* Quito-Ecuador. 2014

<http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/09/Modificaciones-al-texto-del-Plan-Nacional-de-Frecuencias-2014.pdf>

Consulta: 2015-11-21

Escudero Pascual, Alberto. 2009. Estándares en tecnologías Inalámbricas.

URL:http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/02_es_estandares-inalambricos_guia_v02.pdf

2015-09-17

Estudio de un Sistema CDMA-OFDM. 2011. Modulación OFDM.

URL:http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11244/fichero/Volumen+1%252F5_MODULACION_OFDM.pdf

2015-09-17

Ieee, T., Std, I., Standard, A. I., Division, S. F., & Access, M. WiMAX and the IEEE 802.16m Air Interface Standard. *Forum American Bar Association*, (April 2010), 1–8.

http://www.wimaxforum.org/sites/wimaxforum.org/files/document_library/wimax_802.16m.pdf

2015-09-30

International Centre for Theoretical Physics. 2010. Introducción a las redes WiFi.

URL:http://www.eslared.org.ve/walc2012/material/track1/05-Introduccion_a_las_redes_WiFi-es-v2.3-notes.pdf

2015-09-17

Las Tecnologías WiFi y WiMAX. 2012.

URL: www.dip-badajoz.es/agenda/.../jornadaWIFI/.../tecnologias_wifi_wmax.pdf

2015-09-15

Ramírez Jesús, Díaz José. 2011. Las redes Inalámbricas, más ventajas que desventajas.

URL: www.uv.mx/iiesca/files/2012/12/redes2008-2.pdf

2015-09-15

Aguirre, Jose Eduardo. 2007. Principios Básicos en Capas de Red.

URL: <http://www.monografias.com/trabajos/redesinalam/redesinalam>

2015-09-16

Castro, Edgar. 2008. Redes Inalámbricas.

URL: http://boards5.melodysoft.com/app?ID=S4_01&msg=41&DOC=121

2015-09-16

Lukor. 2008. Redes WiFi.

URL: <http://www.lukor.com/>

2015-09-16

Noticias de Redes Inalámbricas y Seguridad WiFi. 2008. Tipos de estandares en redes WiFi.

URL: <http://www.virusprot.com/Nt200641>

2015-09-16

PLANAR. Internet y redes inalámbricas. Arequipa-Perú. Arias 510, 2012. Pp. 6-13

clanar-internacional.com.pe/

Consulta: 2015-10-10

Vélez Arango, Karen. 2012. Redes Inalámbricas Tipos y Características.

URL: <http://redesinalambricas28.blogspot.com/>

2015-09-14

.

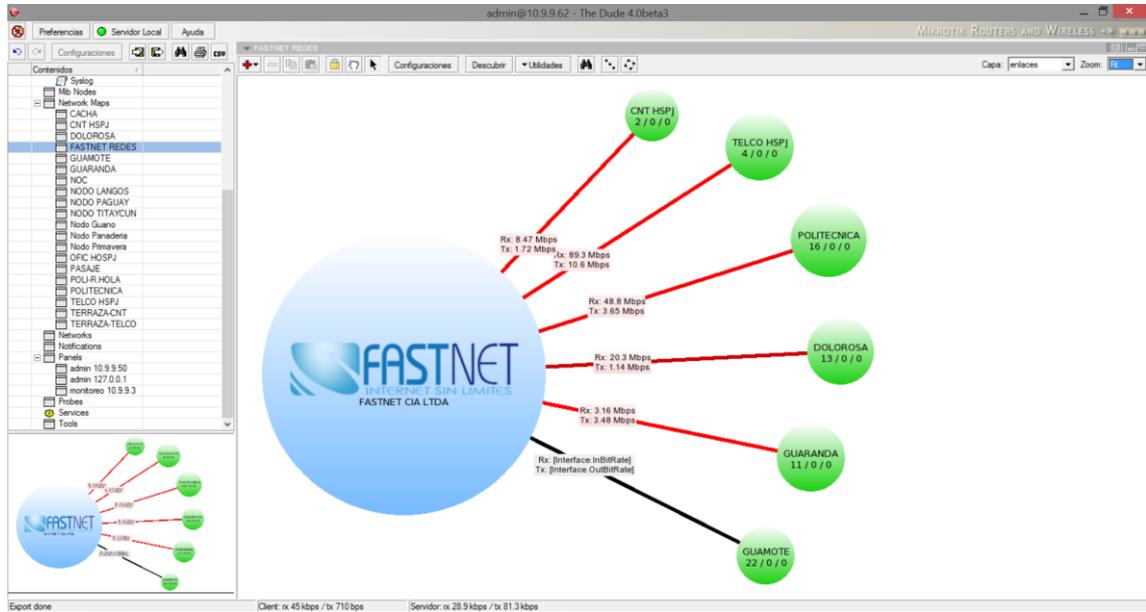
Wikipedia, la enciclopedia libre. 2015. Hostpot.

URL: <http://es.wikipedia.org/org/wiki/Hotspot>

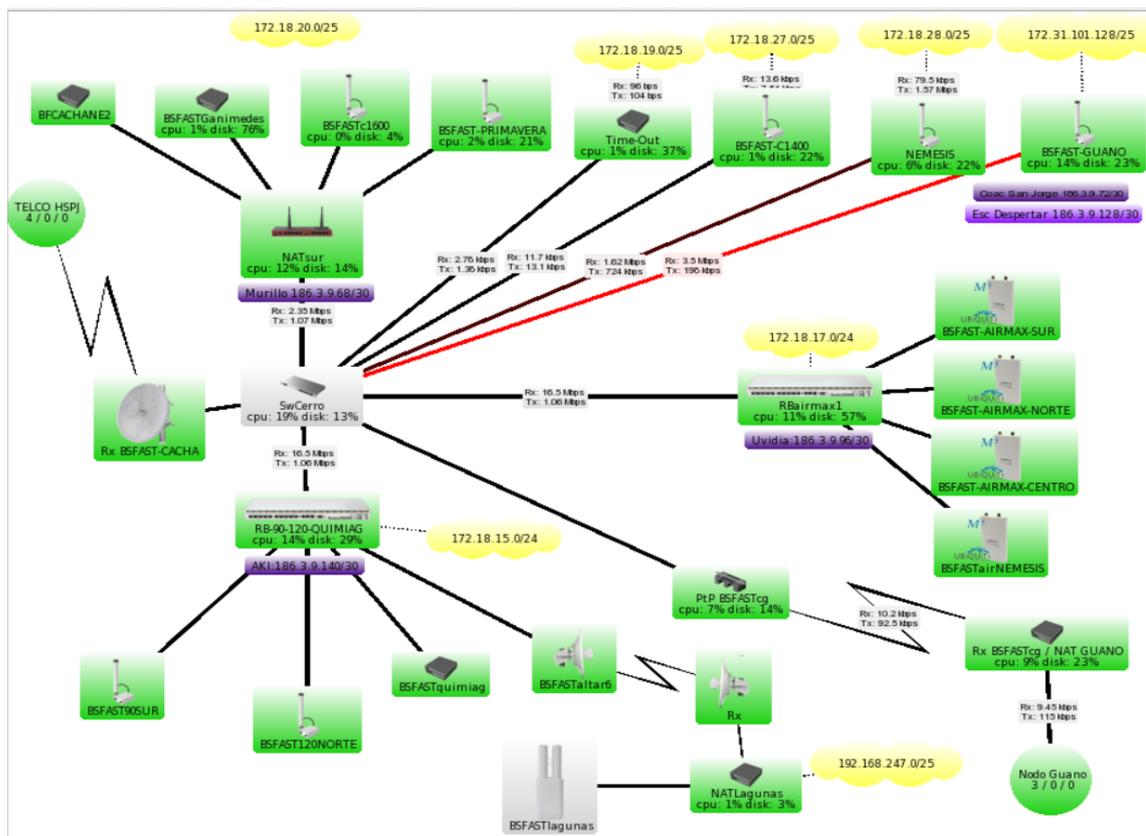
2015-09-16

ANEXOS

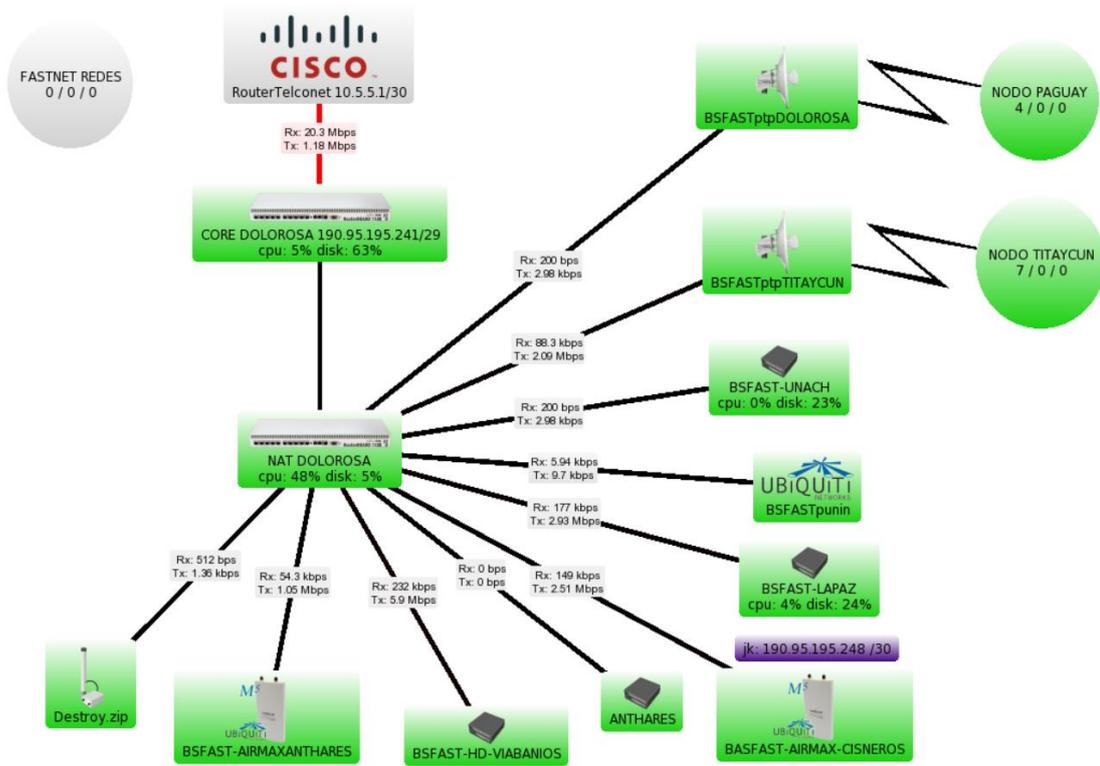
Anexo A: Infraestructura de red disponible en Riobamba FastNet Cía. Ltda.



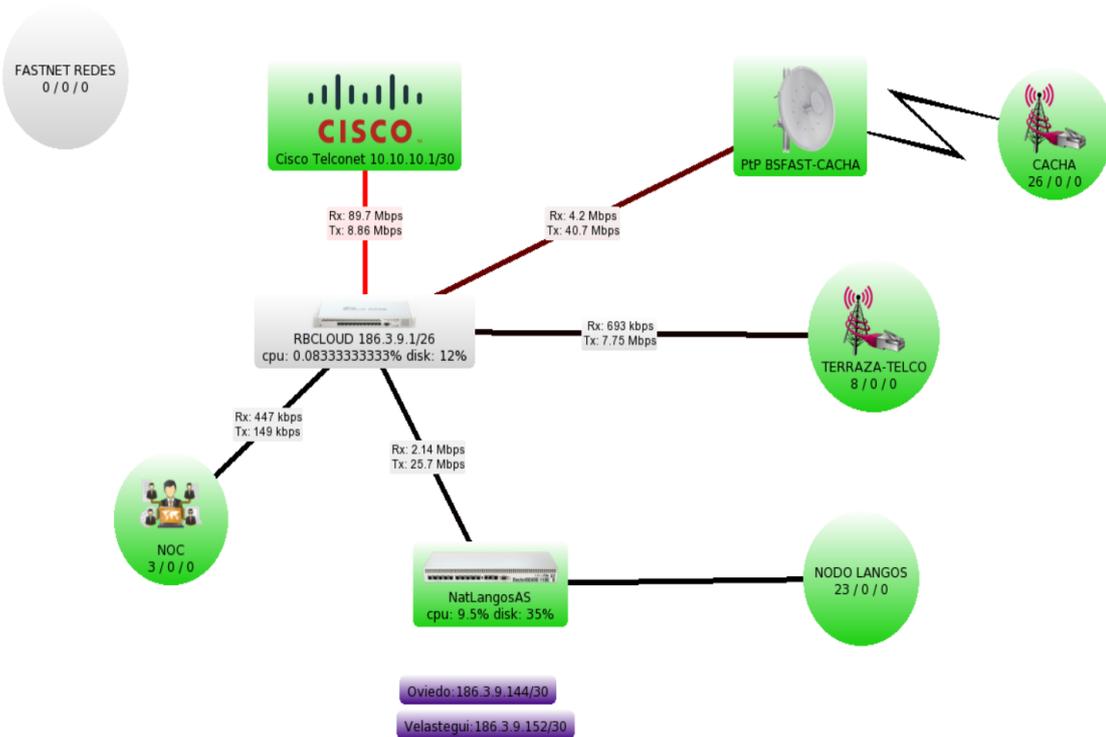
✓ *Nodo Cerro Cacha*



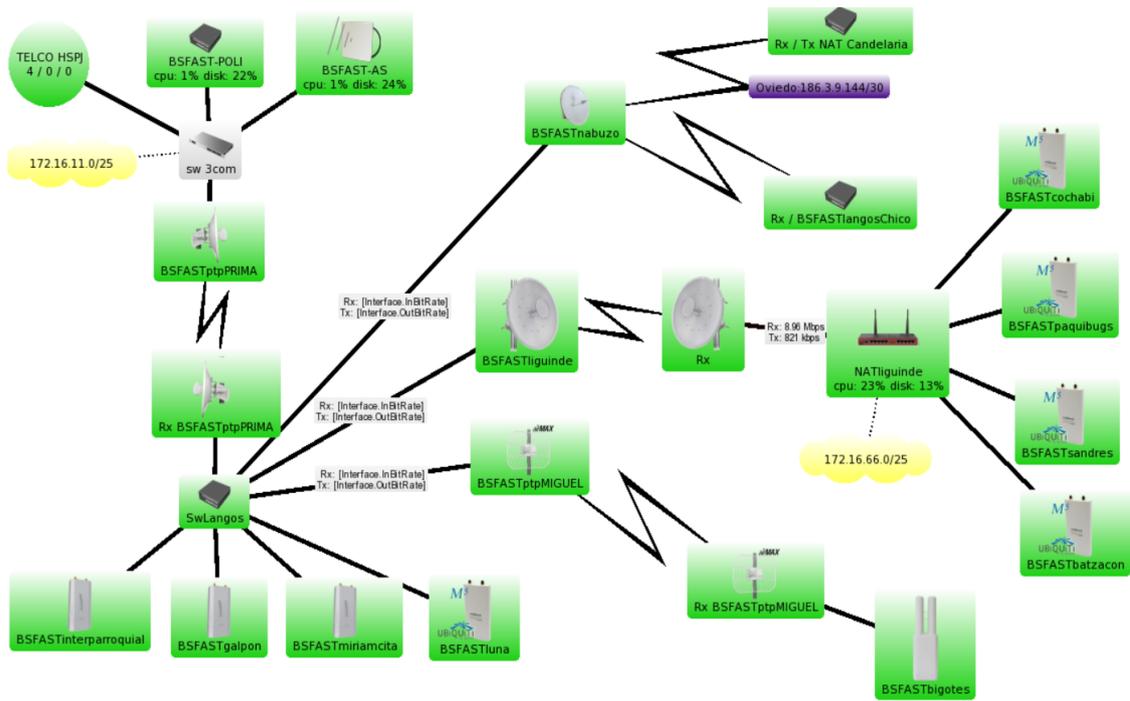
✓ *Nodo Dolorosa, Sur Riobamba*



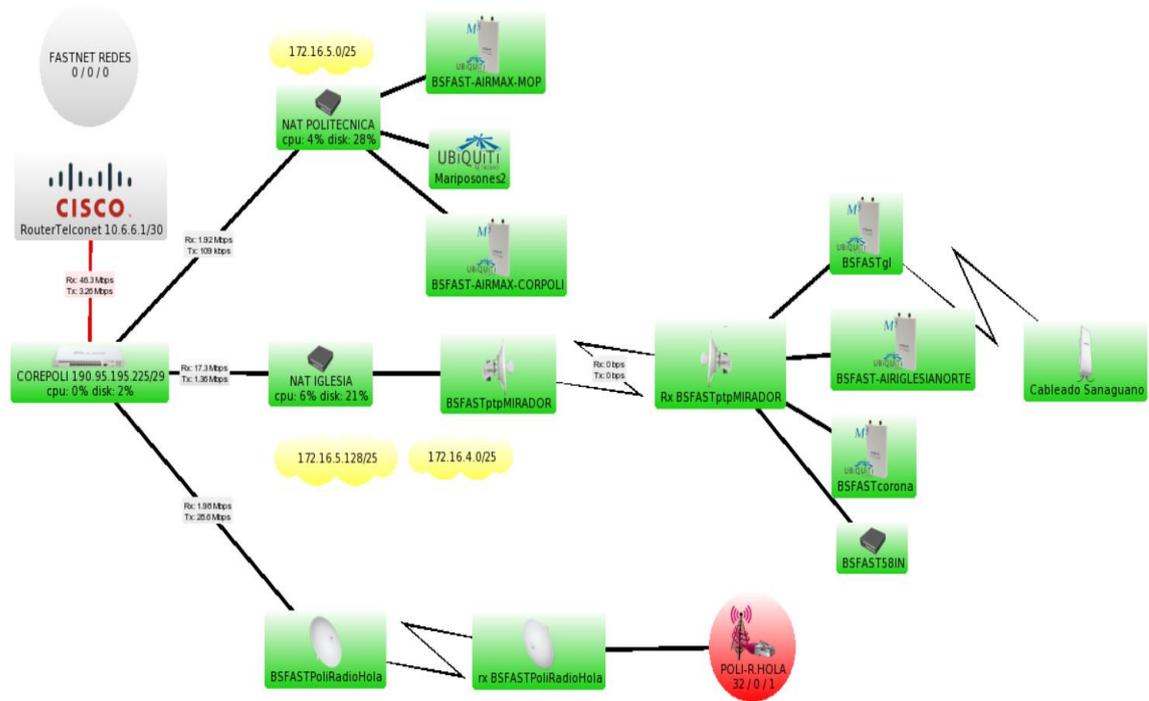
✓ *Terraza Hospital San Juan, Conexiones principales mediante ISP TELCONET*



✓ Enlaces PtMP Nodo Langos.



✓ Nodo Politécnica, Norte Riobamba



Anexo B: Especificaciones técnicas de Equipos de Clientes requeridos.

ProST-WiFi

	MIMAX USB	EasyST and ProST	MIMAX Easy and MIMAX Pro
Mobile WiMAX	Yes	No	Yes
Fixed WiMAX	No	Yes	No
Standards Compliance	IEEE802.16e-2005	IEEE802.16-2004	IEEE802.16e-2005
Form Factor	USB 2.0	EasyST - Indoor Self-Install ProST - Outdoor	MIMAX Easy - Indoor Self-Install MIMAX Pro - Outdoor
Frequency Bands	Multi-Band Device 2.3-2.4GHz, 2.496-2.69GHz, 3.3-3.8GHz Single band variants also available	700 MHz, 1.4 GHz 1.9GHz , 1.9GHz, 2.3, 2.5, 2.7 GHz, 3.3-3.8 GHz TDD/FDD variants, 4.9GHz-5.95 GHz variants	2.3 GHz, 2.5 GHz, 3.3-3.8 GHz
Channel Size	10MHz, 8.75MHz, 7MHz, 5MHz	10MHz, 5MHz, 3.5MHz, 3MHz, 2.75 MHz, 2.5 MHz 1.75MHz, 1.5 MHz	10MHz, 7MHz, 5MHz, 3.5MHz
FFT	512, 1024	256	1024, 512
Duplex Method	TDD	TDD, FDD	TDD
Tx Power (Frequency band dependant)	Up to 22dBm	Up to +24dBm in most bands	Up to 27dBm
Rx Sensitivity	-100dBm @5MHz (QPSK) compliant with MRCT 1.0	-103dBm	-101dBm
STC	Yes	Yes	Yes
MIMO	2x2	N/A	Yes
MIMO Matrix Type	Matrix A, Matrix B	N/A	Matrix A, Matrix B
CSM	Yes	N/A	Yes
Uplink Sub-Channelization	Yes	N/A	Yes
PUSC	Yes	N/A	Yes
Fractional Frequency Reuse	Yes	N/A	Yes
Ethernet CS	Yes	Yes	Yes
IP CS	Yes	N/A	Yes
IP version support	IPv6, IPv4	IPv4	IPv6, IPv4
User Interface	USB 2.0	10/100bT Ethernet, WiFi, POTS from an integrated RGW	10/100bT Ethernet
End to End VLAN (802.1q)	Yes	Yes	Yes

Specifications

Physical Interface

LAN	Up to 4 x 10/100 Base-T ports
VoIP	Up to 2 SIP FXS ports
WiFi	802.11b/g

WiMAX Features

Standard Compliance	IEEE 802.16e-2005
Duplex Mode	TDD
Frequency Bands	
2.x GHz	2300-2400 MHz 2495-2695 MHz
3.x GHz	3400 - 3600 MHz
Channel Bandwidth	5, 7 (3.5 GHz only), 10 MHz
Modulation	QPSK, 16QAM, 64QAM
Transmit Power	24dBm
Antenna Type	2 x Embedded Directional Antenna
Antenna Gain	12 dBi @ 2.3/2.5 GHz 15 dBi @ 3.5 GHz
Authentication	EAP-TTLS, EAP-TLS (optional)
QoS	BE, RT, NRT, ERT, UGS

VoIP Features

Standard Compliance	SIP v2 RFC 3261
Voice Codecs	G.711 (a-law and u-law), G.726, G.729ab, G.723,
Call Features	Call transfer, call waiting, 3-way conference call, call blocking, call forwarding

WiFi Features

Standard Compliance	802.11b/g
WiFi Security	WEP encryption 64, 128 bit

Networking Features

Device Management	Web, TR-069
Firewall	NAT firewall with SPI mode
WAN	DHCP, PPPoE and PPTP client
NAT	NAT, Virtual Server, Special Application DMZ Host
VPN	L2TP pass through

Mechanical Features

Dimensions (HxWxD)	230x230x63 mm
Weight	2 kg
Power Source	100-240 VAC, 50-60 Hz

Standards and Regulations

EMC	FCC Part 15B Class B ETSI EN 301 489-1/4 EN 55022 Class B
Radio	FCC Part 27 ETSI EN 302 544-2 EN 302 326-1, EN 302 326-2
Safety	UL 60950-1 EN 60950-1 / IEC 60950-1
Operating Temperature	-40 to 55 C (-40 to 131 F)
Humidity	5% to 95% non condensing, weather protected (ODU)

GREENPACKET DX 350

INTEGRATED ACCESS DEVICE

DX, known simply as the Tower, is part of Greenpacket's portfolio of next generation Wave 2 compliant WiMAX Modems for residential and small- and medium-sized businesses (SMEs). It is a WiMAX Integrated Access Device (IAD) that features a blend of aesthetics, data and voice access ports and high gain omni directional antenna to offer best-in-class performance.

DX is packaged with a high-speed wireless LAN access point that enables multiple Wi-Fi-enabled devices to enjoy a stable wireless WiMAX connectivity anytime within indoor perimeters.



KEY FEATURES

IEEE 802.16e WiMAX Wave 2
WiMAX Forum compliant.



5dBi Omni Antenna Gain
Flexible 360° antenna array boost.



Wi-Fi - 802.11 b/g/N
Amplify with Wi-Fi-N for ultimate indoor experience.



Advanced Security
IP Router with 128-bit security.



MIMO Matrix A & B
Increased cell throughput with advanced algorithm.



QoS Prioritization
Ultimate service creation and guaranteed experience.



Dual Tx*
Combined 28dBm with intelligent diversity technology.
* DX230 & DX350



TR0-69, OMA-DM*
Standard based device management.
* Optional



2 RJ-45 + 2 RJ-11
Multiport for maximum networking convenience.



OTA Provisioning
Ease of remote management.



Anexo C: Especificaciones técnicas de Equipos Estación Base analizados.



SUPERIOR RANGE

The 6 antenna system significantly improves uplink and downlink performance.

EASY DEPLOYMENT

Field Deployable by a single technician in well under two hours.

ASN-GW OPTIONAL

Can operate in stand-alone mode, without an ASN-GW, making even small deployments affordable.

GREATER CAPACITY

Improved link performance increases at any range.

FLEXIBLE MOUNTING

Can be deployed on towers, utility poles, walls, rooftops, etc., without the need for remote RF heads.

COMPLETELY WEATHER PROOF

No Shelter Required.

SOFTWARE DEFINED RADIO

Supports remote field upgrades of new functionalities and standards.

POWERFUL MANAGEMENT OPTIONS

Fully supported by Ceres Management Solution.

Radio

Frequency Bands 2.3-2.4GHz, 2.48-2.70GHz, 3.3-3.4GHz, 3.4-3.6GHz, 3.45-3.70GHz (1C), 3.65-3.70GHz (US)	Duplex Method TDD	Smart Antenna Capabilities Beamforming, MIMO Matrix A, MIMO Matrix B, Cyclic Delay Diversity, MRC, UL SDMA*, UL Collaborative Spatial Multiplexing*
Channel Size 3.5, 5, 7, 10MHz	Number of Tx/Rx Antennas 6x6	Air Link Optimization HARQ, CTC
	Tx Power per Antenna 33dBm ** (RMS data power at maximum MCS level)	

Capacity

Active Users Up to 200	Service Flows per User 10	Peak Throughput/Sector Aggregate: Up to 50Mbps UL: Up to 10Mbps
	Idle-Mode Users 2048	

General

Standards Compliance IEEE 802.16e-2005	Modulation QPSK, 16QAM, 64QAM	VoIP MOS Up to 4.3
Backhaul Interface Options 2x Gig-ERJ-4S, 2x Multi-Mode Optical Fiber, or 2x Single-Mode Optical Fiber, all with inter-sector daisy chain support	QoS BE, UGS, rTPS, ErTPS, nrTPS	Security AES-128, EAP-TLS, EAP-TTLS, PKMv2
Inter-BS Synchronization Integrated GPS	Convergence Sublayer IP-CS, Eth-CS, PHS*, IPv4, IPv6*, IPv6 Pass-Through	Management PureView EMS/NMS, Remote CLI, Web Interface, SNMP v2c & v3

Mechanical, Electrical, and Environmental

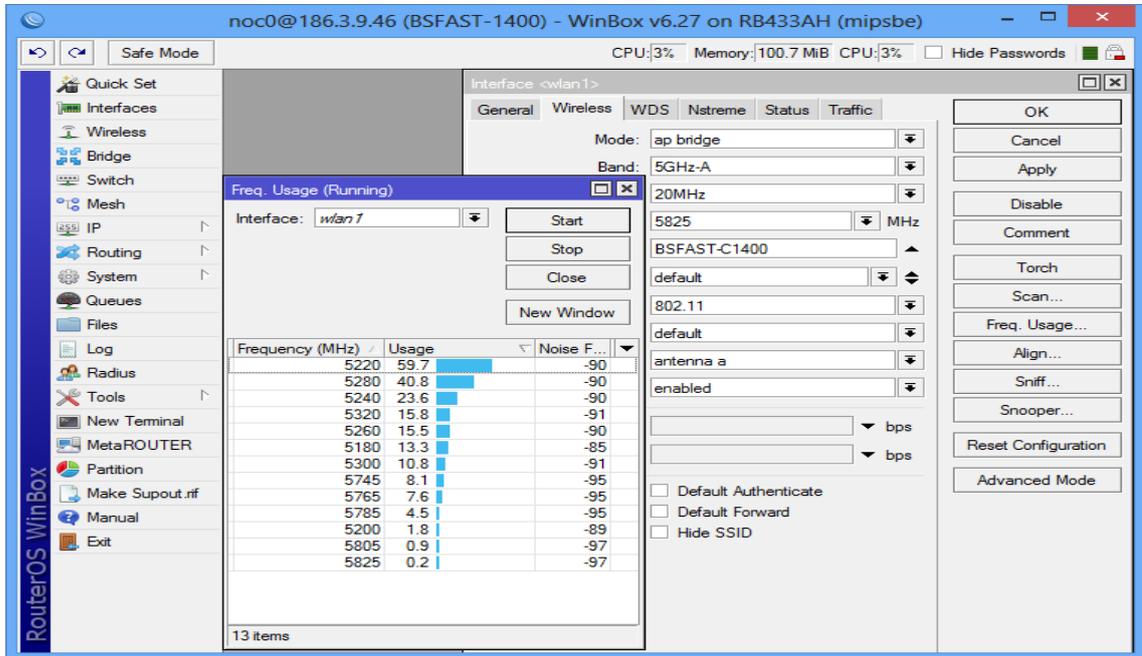
Dimensions 17.5" x 16.7" x 5.3" (44cm x 42cm x 13cm)	Humidity 5-100%	Wind Loading 160km/hr operation, 200km/hr survival
Weight 32lbs (14.5kg)	Altitude To 10,000 feet above sea level	Surge Protection UL497B
Power -48 VDC or 110/220 VAC, 180 Watts Max	Weatherproofing IEC IP67	Lightning Protection Min 10kA IEC 6100-4-5
Temperature -40C to +55C per ETSI EN 300 019-1.4 Class 4.1E	Vibration and Dust Meets ETSI EN 300 019-1-4 requirements for Class 4.1E	Safety and IEC IP EN 300 019-2-2, GR487, IEC 60529

Connectors

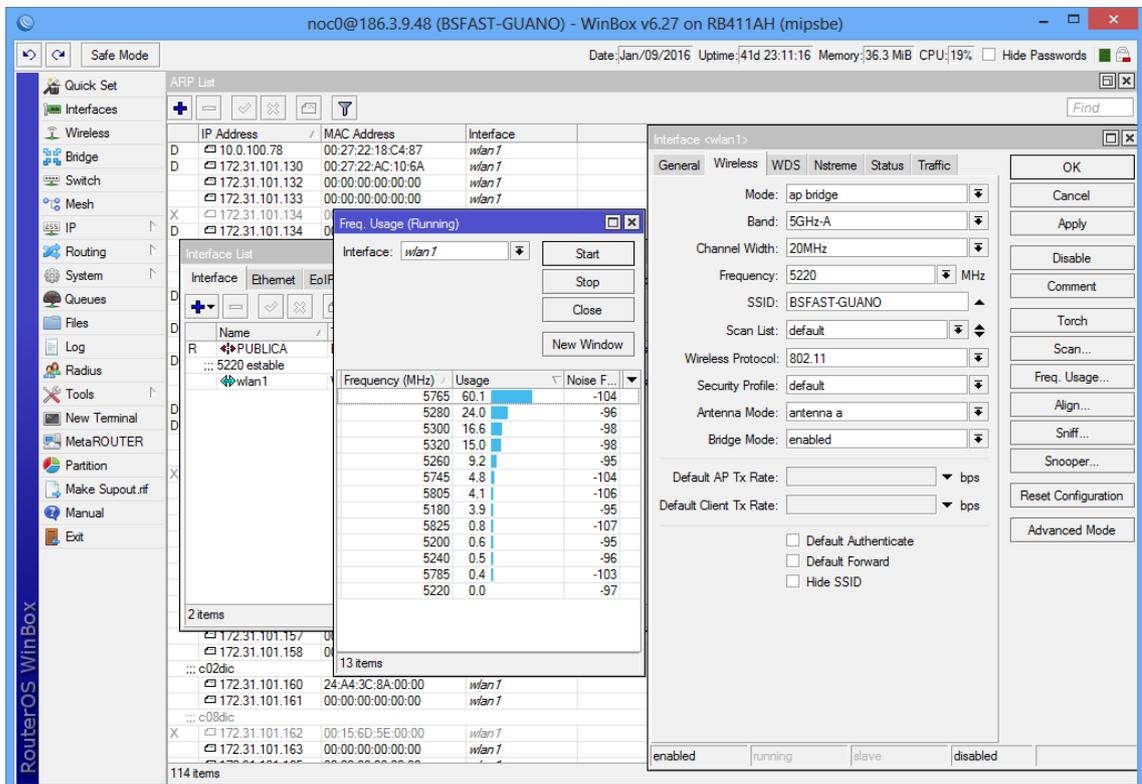
DC Power Weatherproof circular connector LTW BB-04RMFS-LC7001	Cat-5 Backhaul Port 2x RJ-4S, Weatherproof LTW RJ5-SEPPFJ-SC7002	R5-232 Maintenance Port RJ-4S, Weatherproof LTW RJ5-SEPPFJ-SC7002
AC Power Circular plastic multi-pin connector	Optical Fiber Backhaul Port 2xx Harting PushPull/Han 3 A 2 x LC duplex	GPS N-type
Grounding M5 ground stud to chassis		Antenna 6x N-type

Anexo D: Realidad al operar en banda de frecuencia sin licencia 5 GHz

✓ *Análisis en los equipos ubicados en el Cerro Cacha, AP 1400*



✓ *Análisis en los equipos ubicados en el Cerro Cacha, Enlace a Guano*



✓ *Análisis en los equipos ubicados en el Cerro Cacha, AP Nemesis*

Interface <wlan1>

Mode: ap bridge
Band: 5GHz-A
Channel Width: 20MHz
Frequency: 5280 MHz
SSID: Nemesis
Radio Name: 00156D63BABB
Scan List: default
Wireless Protocol: any
Security Profile: default
Frequency Mode: manual-bpower
Country: no_country_set
Antenna Mode: antenna a
Antenna Gain: 0 dBi
DFS Mode: none
Legacy Extensions: post-2.9.25
WMM Support: disabled
Bridge Mode: enabled
VLAN Mode: no tag

Interface: wlan1

Frequency (MHz)	Usage	Noise F...
5765	34.9	-102
5240	29.2	-95
5280	22.8	-96
5320	19.7	-98
5260	17.4	-95
5180	10.2	-96
5300	7.9	-96
5745	6.6	-103
5825	2.4	-105
5785	2.1	-98
5805	1.3	-104
5200	1.0	-95
5220	0.6	-99

✓ *Análisis en los equipos ubicados en el Cerro Cacha, AP Lagunas*

Interface <wlan1>

Mode: ap bridge
Band: 5GHz-A/N
Channel Width: 20MHz
Frequency: 5825 MHz
SSID: BSFASTlagunas
Scan List: default
Wireless Protocol: any
Security Profile: CLAVE
Bridge Mode: enabled
Default AP Tx Rate: bps
Default Client Tx Rate: bps
 Default Authenticate
 Default Forward
 Hide SSID

Interface: wlan1

Frequency (MHz)	Usage	Noise F...
5220	50.3	-119
5200	35.2	-120
5805	28.6	-118
5765	25.1	-117
5825	11.6	-117
5180	8.1	-120
5320	5.1	-119
5240	0.2	-119
5300	0.2	-119
5260	0.0	-120
5280	0.0	-119
5745	0.0	-117
5785	0.0	-117

✓ *Análisis en los equipos ubicados en el Sur de Riobamba, AP La Paz*

mastering@10.6.65.22 (BSFAST-LAPAZ) - WinBox v6.29.1 on RB433AH (mipsbe)

Safe Mode Date: Jan/09/2016 Hide Passwords

Wireless Tables

Interfaces: Nstreme Dual Access List Registration Conn

Wireless Tables

Frequency (MHz)	Usage	Noise F...
5320	44.7	-112
5220	30.7	-113
5200	30.2	-113
5180	19.3	-113
5300	11.2	-113
5745	10.5	-106
5785	8.0	-102
5240	5.1	-113
5280	4.4	-102
5765	3.2	-102
5260	1.3	-102
5825	0.4	-102
5805	0.0	-102

13 items

1 item out of 5 (1 selected)

Interface <wlan1>

General Wireless Data Rates Advanced HT ...

Mode: ap bridge

Band: 5GHz-A/N

Channel Width: 20MHz

Frequency: 5805 MHz

SSID: BSFAST-LAPAZ

Radio Name: BSFAST-LAPAZ

Scan List: default

Wireless Protocol: any

Security Profile: default

Frequency Mode: manual-tpower

Country: no_country_set

Antenna Gain: 0 dBi

DFS Mode: none

Proprietary Extensions: post-2.9.25

WMM Support: disabled

Bridge Mode: enabled

VLAN Mode: no tag

VLAN ID: 1

Default AP Tx Rate: bps

Default Client Tx Rate: bps

Buttons: OK, Cancel, Apply, Disable, Comment, Torch, Scan..., Freq. Usage..., Align..., Sniff..., Snooper..., Reset Configuration, Simple Mode

✓ *Análisis en los equipos ubicados en el Sur de Riobamba, AP UNACH*

mastering@10.6.65.2 (Enlace-unach) - WinBox v6.28 on RB711A-5Hn-MMCX (mipsbe)

Safe Mode Hide Passwords

Wireless Tables

Wireless Tables

Frequency (MHz)	Usage	Noise F...
5220	65.3	-117
5200	46.1	-117
5765	41.6	-114
5320	32.7	-117
5180	23.7	-115
5785	19.8	-114
5805	12.1	-114
5280	8.1	-117
5300	3.0	-117
5260	2.8	-115
5745	2.2	-113
5825	0.6	-115
5240	0.0	-115

13 items (1 selected)

Interface <wlan1>

General Wireless Data Rates Advanced HT ...

Mode: ap bridge

Band: 5GHz-A/N

Channel Width: 20MHz

Frequency: 5745 MHz

SSID: BSFAST-UNACH

Radio Name: BSFAST-UNACH

Scan List: default

Wireless Protocol: any

Security Profile: CLAVE2

Frequency Mode: manual-tpower

Country: no_country_set

Antenna Gain: 0 dBi

DFS Mode: none

Proprietary Extensions: post-2.9.25

WMM Support: disabled

Bridge Mode: enabled

Default AP Tx Rate: bps

Default Client Tx Rate: bps

Buttons: OK, Cancel, Apply, Disable, Comment, Torch, Scan..., Freq. Usage..., Align..., Sniff..., Snooper..., Reset Configuration, Simple Mode

✓ *Análisis en los equipos ubicados en el Norte de Riobamba, AP Quimiag.*

mastering@172.18.15.252 (AP_QUIMIAG) - WinBox v6.29.1 on RB433AH (mipsbe)

Interface <wlan1>

Data Rates | Advanced | WDS | Nstreme | NV2 | Tx Power | Current Tx Power | Status | Traffic | ...

Last Link Down Time: Jan/09/2016 14:10:16
 Last Link Up Time: Jan/07/2016 17:58:39
 Link Downs: 30

Channel:
 Registered Clients:
 Authenticated Clients:
 Overall Tx CCQ:
 Distance:
 Noise Floor:

Freq. Usage (Running)

Interface: wlan1

Frequency (MHz)	Usage	Noise F...
5220	67.2	-87
5765	38.8	-84
5300	14.3	-89
5320	12.7	-88
5785	9.9	-86
5280	4.8	-89
5260	4.4	-88
5745	3.9	-88
5180	3.2	-85
5200	2.6	-86
5825	0.6	-93
5805	0.3	-95
5240	0.2	-87

13 items

OK | Cancel | Apply | Disable | Comment | Torch | Scan... | Freq. Usage... | Align... | Sniff... | Snooper... | Reset Configuration | Simple Mode

✓ *Análisis en los equipos ubicados en el Norte de Riobamba, AP.*

noc0@10.6.66.2 (RBPOLITECNICA) - WinBox v6.27 on RB411AH (mipsbe)

CPU:3% Memory:40.2 MB Hide Passwords

ARP List

Wireless Tables

Interfaces | Nstreme Dual | Access List | Registration | Connect List | Security Profiles | Channels

Scanner | Freq. Usage | Alignment | Wireless Sniffer | Wireless

Name | Type

S wlan1 Wireless (Atheros AR5

Freq. Usage (Running)

Interface: wlan7

Frequency (MHz)	Usage	Noise F...
5765	40.2	-96
5280	32.1	-94
5785	26.0	-96
5260	16.3	-93
5320	16.3	-93
5825	12.2	-104
5805	9.0	-100
5240	1.8	-94
5200	1.4	-93
5220	1.4	-92
5745	0.2	-98
5180	0.0	-91
5300	0.1	-94

13 items

1 item out of 3 (1 selected)

1 item

Interface <wlan1>

Data Rates | Advanced | WDS | Nstreme | Tx Power | Current Tx Power | Status | Traffic | ...

Tx/Rx Rate: 0 bps / 0 bps
 Tx/Rx Packet Rate: 0 p/s / 0 p/s
 Tx/Rx Bytes: 89.7 GiB / 15.0 GiB
 Tx/Rx Packets: 87 647 432 / 64 879 298
 Tx/Rx Drops: 0 / 0
 Tx/Rx Errors: 0 / 0

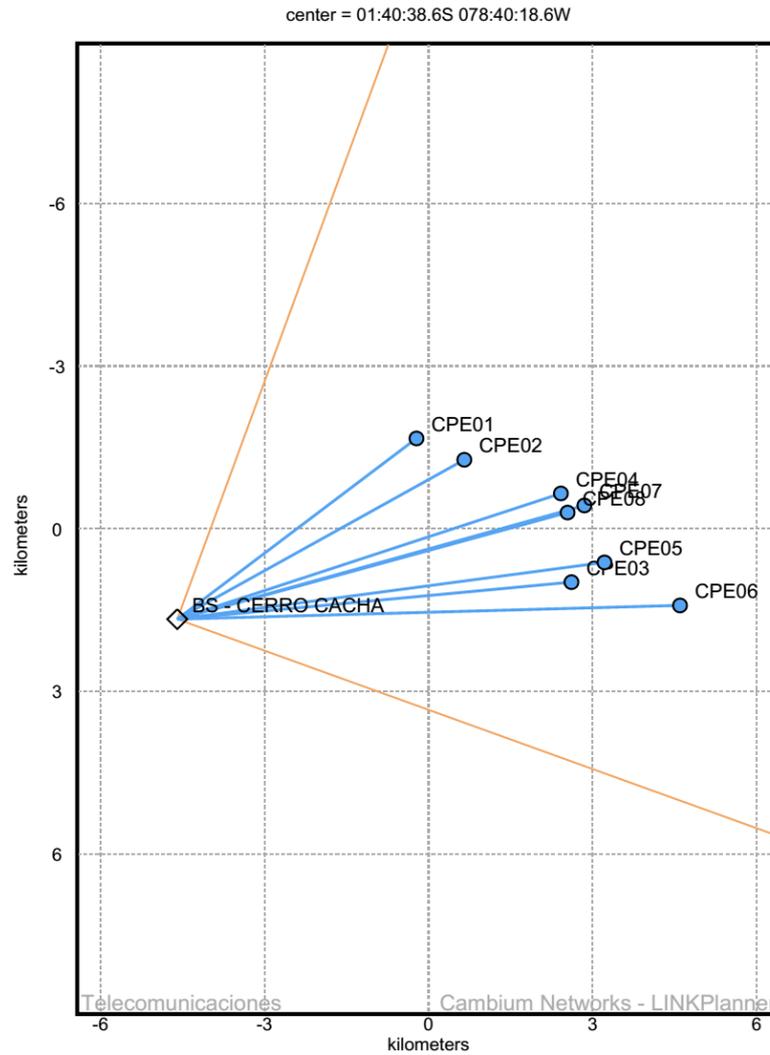
Tx: 0 bps
 Rx: 0 bps

Tx Packet: 0 p/s
 Rx Packet: 0 p/s

OK | Cancel | Apply | Disable | Comment | Torch | Scan... | Freq. Usage... | Align... | Sniff... | Snooper... | Reset Configuration | Simple Mode

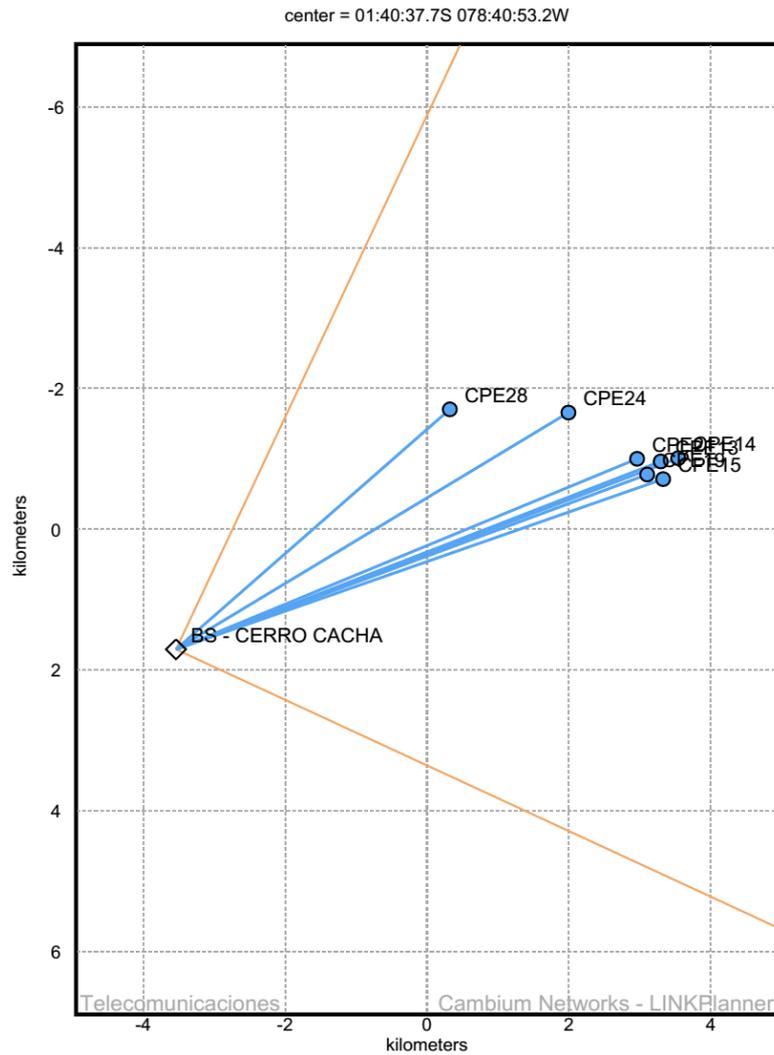
Anexo E: Informe de la simulación elaborada en LINKPlanner.

✓ Punto de acceso, antena sectorial 90°, servicio corporativo acceso a internet



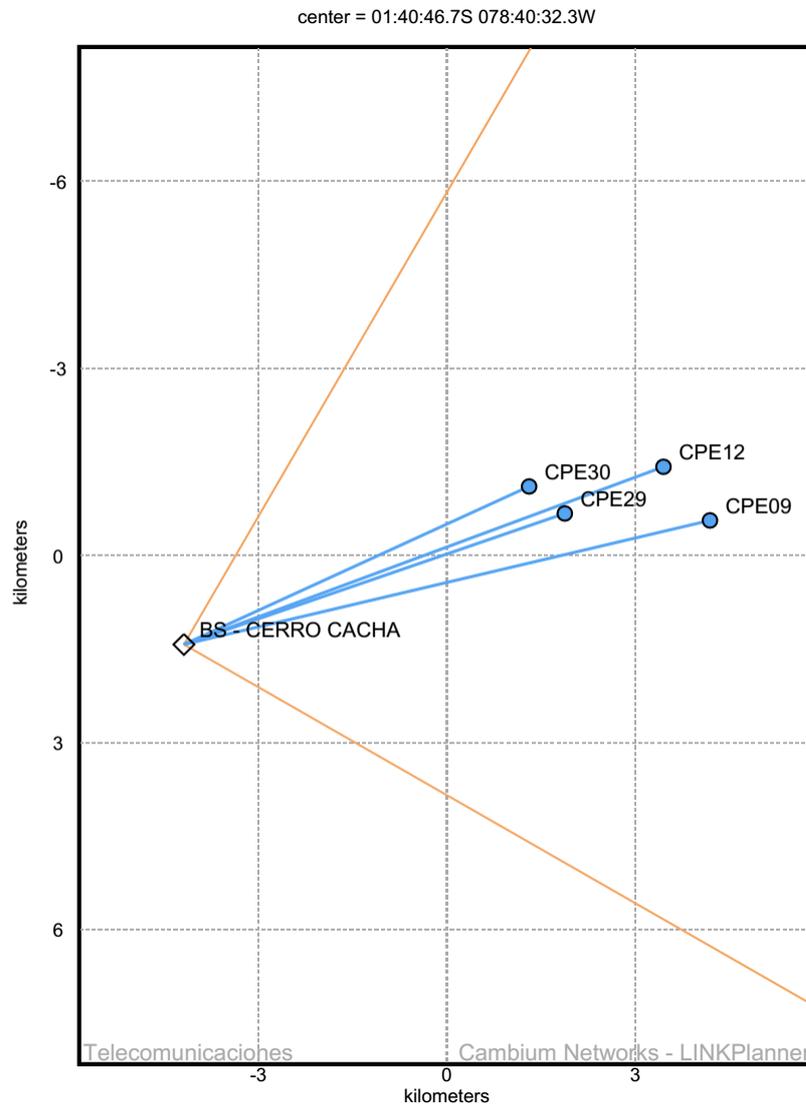
Summary	
AP Name	BS - CERRO CACHA : 1
Equipment Type	PMP450 (running Release 14.1.1)
Antenna Type	Cambium Networks 90° 3 GHz Sector Antenna
Antenna Azimuth	65.00° from True North 67.75° from Magnetic North
Antenna Tilt	-5.0° (downtilt)
Total Subscribers	8
Max Range	10 miles
RF Channel Bandwidth	10 MHz
Total Predicted DL Throughput	29.49 Mbps
Total Predicted UL Throughput	6.14 Mbps
Total Predicted Throughput	35.64 Mbps
Downlink Data	85 %

✓ Punto de acceso, antena sectorial 90°, servicio corporativo acceso a internet



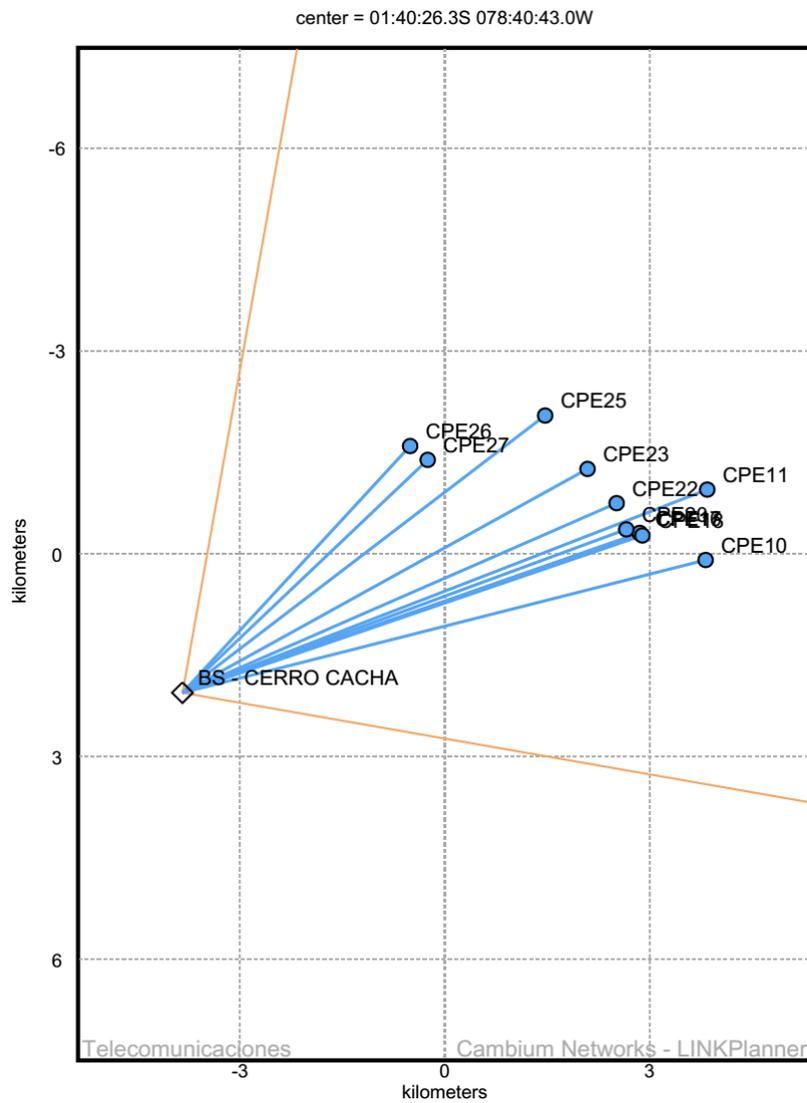
Summary	
AP Name	BS - CERRO CACHA : 2
Equipment Type	PMP450 (running Release 14.1.1)
Antenna Type	Cambium Networks 90° 3 GHz Sector Antenna
Antenna Azimuth	70.00° from True North 72.75° from Magnetic North
Antenna Tilt	-5.0° (downtilt)
Total Subscribers	7
Max Range	10 miles
RF Channel Bandwidth	10 MHz
Total Predicted DL Throughput	27.53 Mbps
Total Predicted UL Throughput	5.38 Mbps
Total Predicted Throughput	32.90 Mbps
Downlink Data	85 %

✓ Punto de acceso, antena sectorial 90°, servicio corporativo acceso a internet



Summary	
AP Name	BS - CERRO CACHA : 3
Equipment Type	PMP450 (running Release 14.1.1)
Antenna Type	Cambium Networks 90° 3 GHz Sector Antenna
Antenna Azimuth	75.00° from True North 77.75° from Magnetic North
Antenna Tilt	-5.0° (downtilt)
Total Subscribers	4
Max Range	11 miles
RF Channel Bandwidth	10 MHz
Total Predicted DL Throughput	29.49 Mbps
Total Predicted UL Throughput	6.14 Mbps
Total Predicted Throughput	35.64 Mbps
Downlink Data	85 %

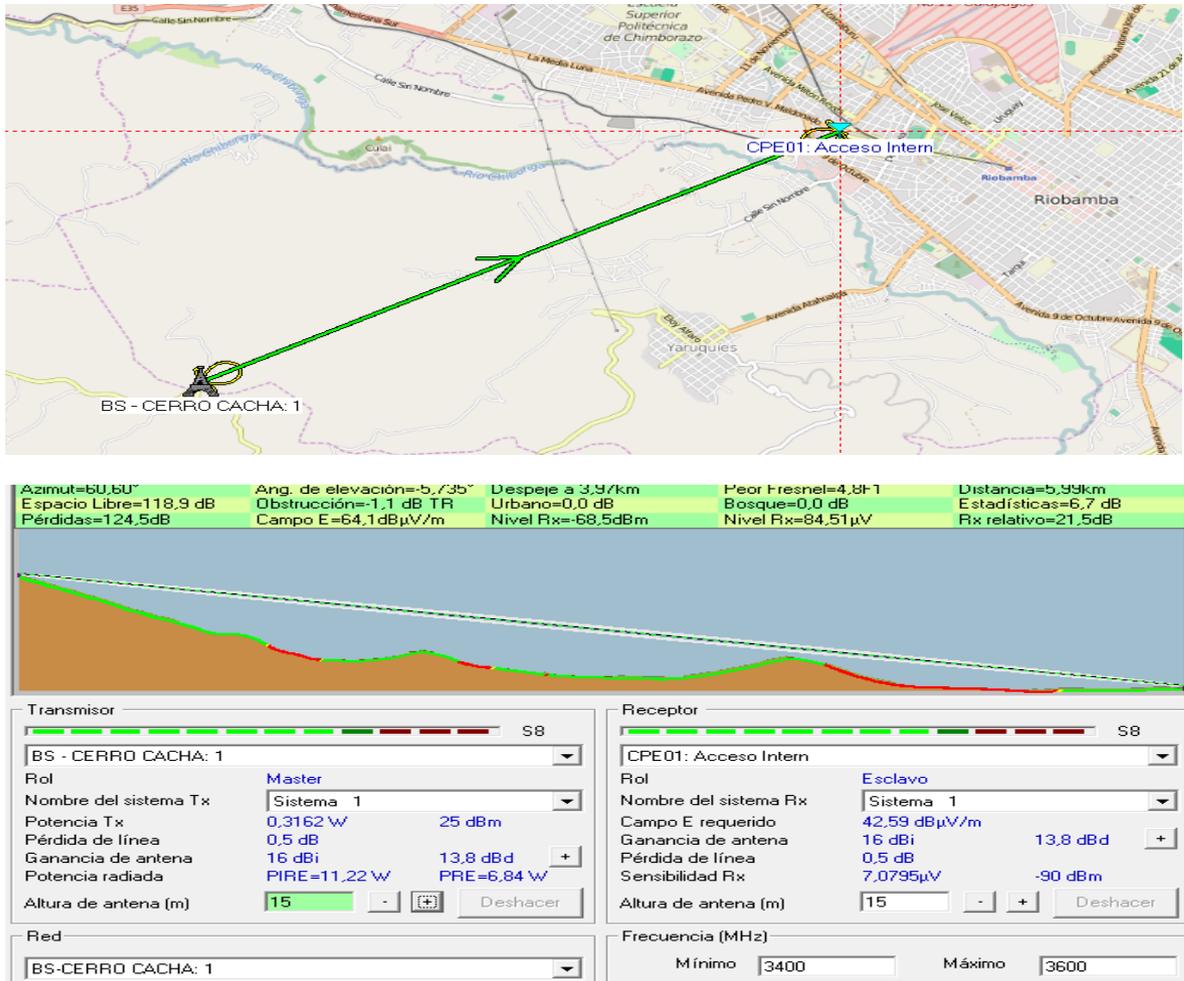
✓ Punto de acceso, antena sectorial 90°, servicio corporativo Videovigilancia



Summary	
AP Name	BS - CERRO CACHA : 4
Equipment Type	PMP450 (running Release 14.1.1)
Antenna Type	Cambium Networks 90° 3 GHz Sector Antenna
Antenna Azimuth	55.00° from True North 57.75° from Magnetic North
Antenna Tilt	-5.2° (downtilt)
Total Subscribers	11
Max Range	10 miles
RF Channel Bandwidth	20 MHz
Total Predicted DL Throughput	9.32 Mbps
Total Predicted UL Throughput	52.32 Mbps
Total Predicted Throughput	61.65 Mbps
Downlink Data	15 %

Anexo F: Simulación realizada en Software Radio Mobile.

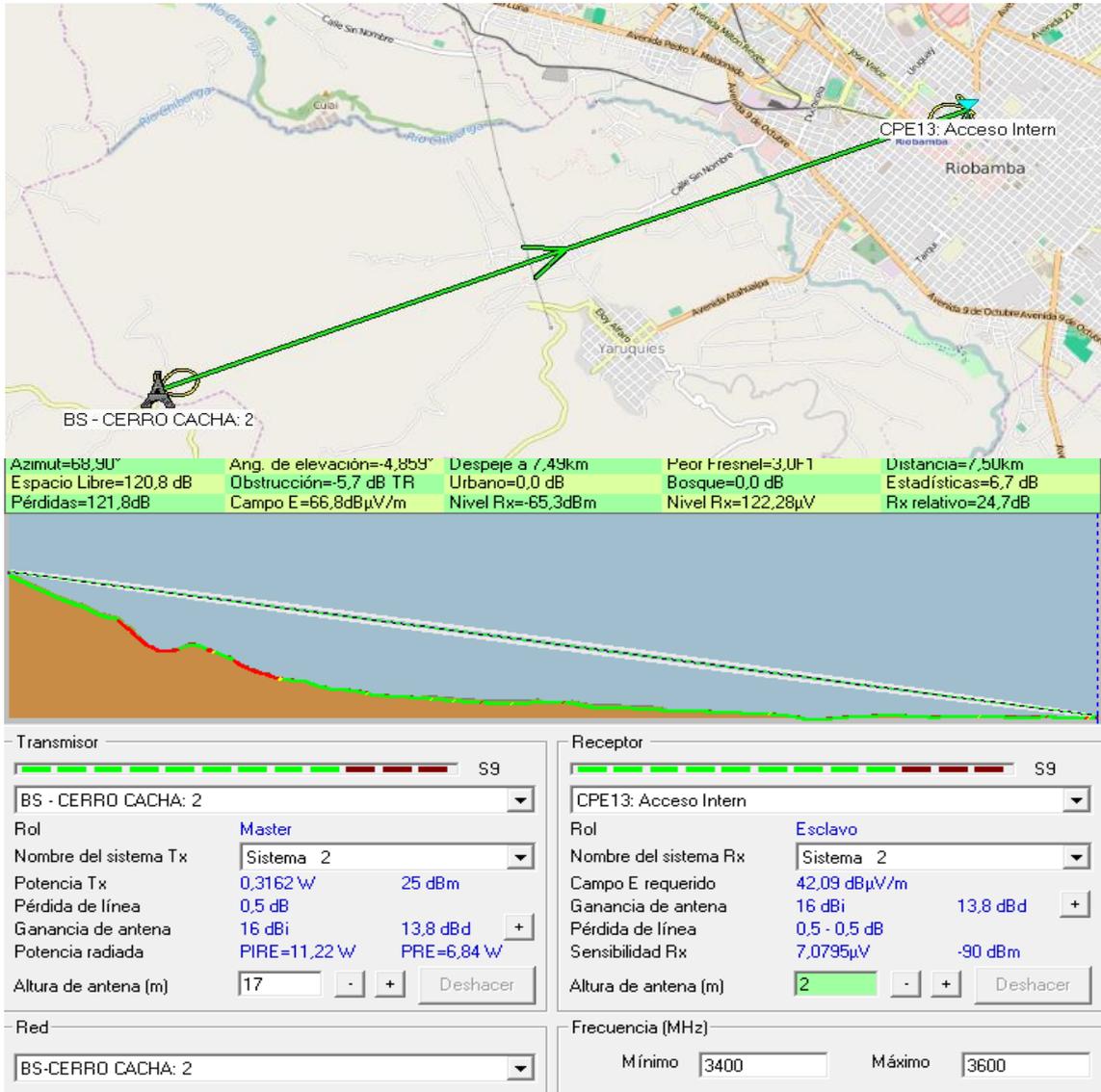
✓ *Radio enlace establecido de BS-CERRO CACHA: 1 to CPE01*



✓ *Radio enlace exportado a Google Earth*



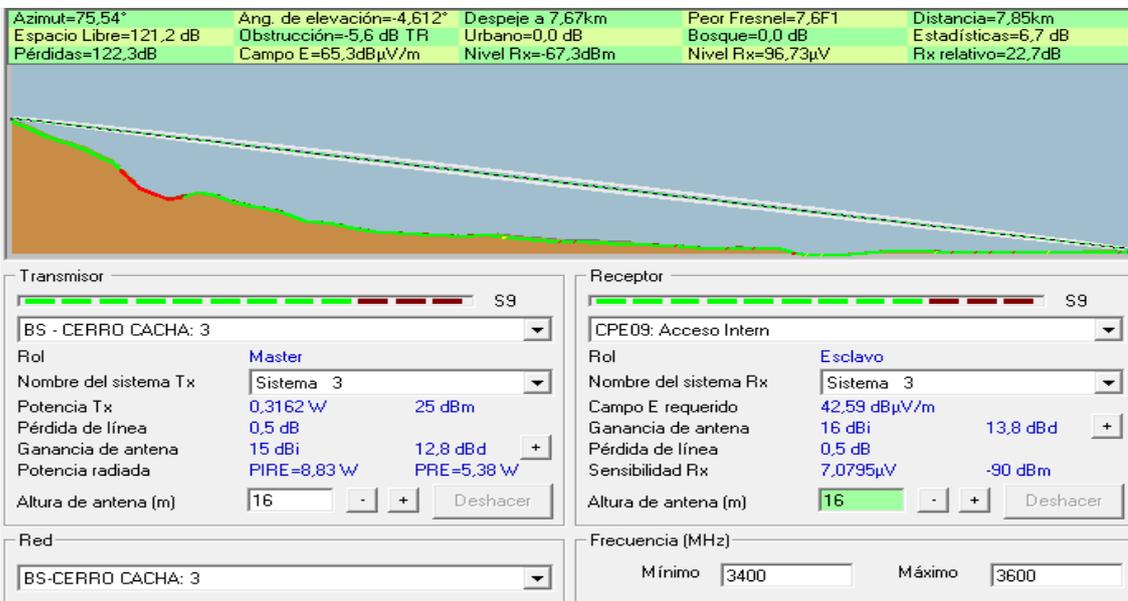
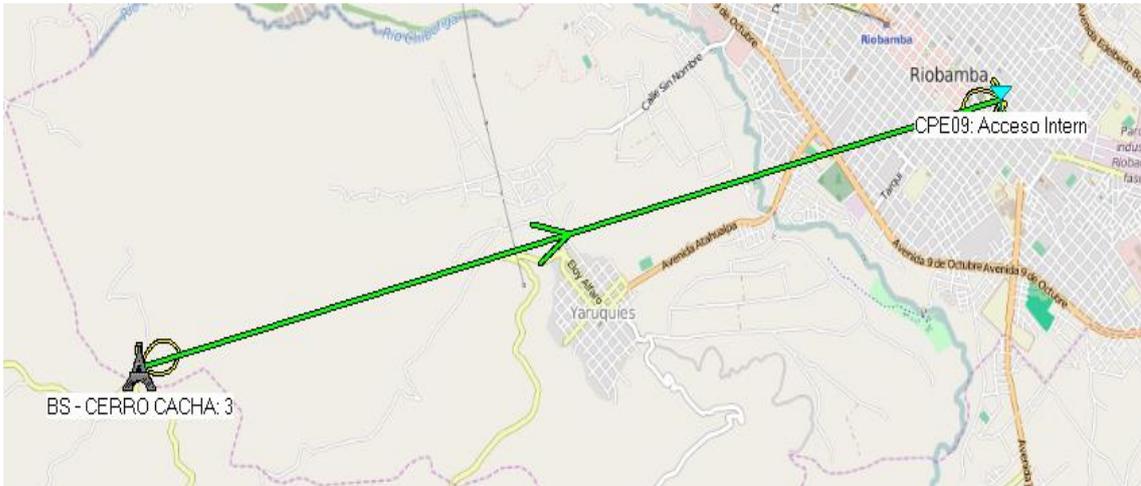
✓ Radio enlaces establecido de BS-CERRO CACHA: 2 to CPE13



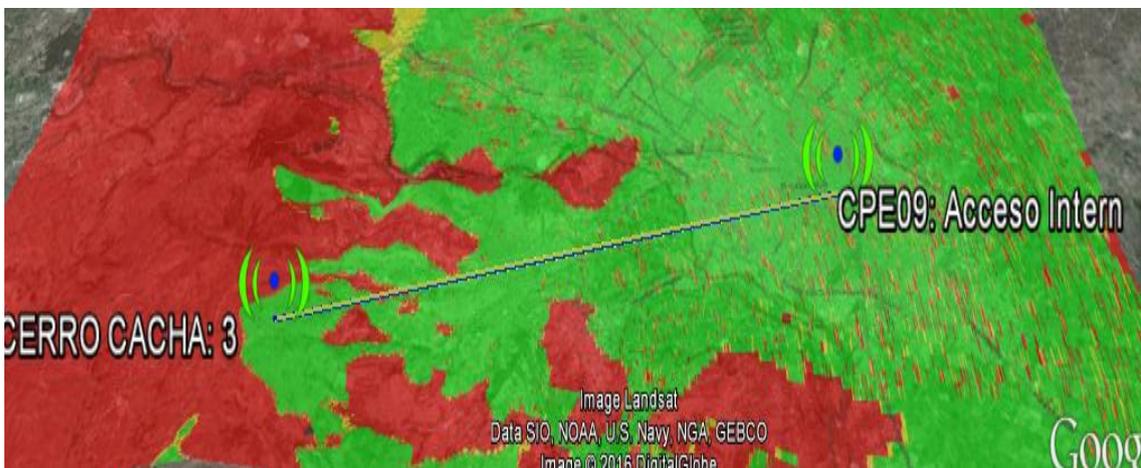
✓ Radio enlace exportado a Google Earth



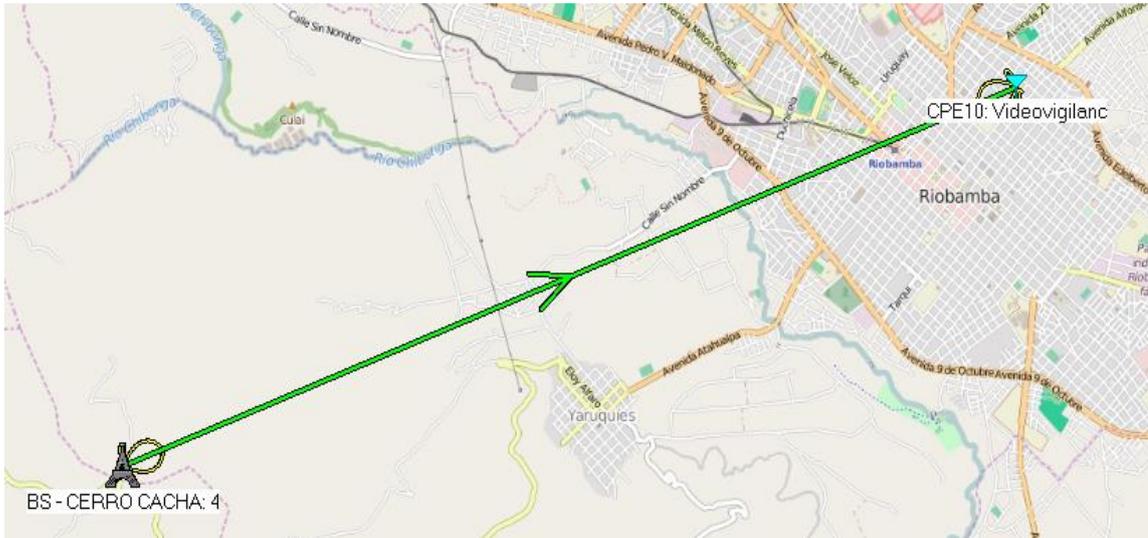
✓ Radio enlaces establecido de BS-CERRO CACHA: 3 to CPE09



✓ Radio enlace exportado a Google Earth



✓ Radio enlaces establecido de BS-CERRO CACHA: 4 to CPE10



Azimut=68,53°	Ang. de elevación=4,404°	Despeje a 7,85km	Peor Fresnel=7,5F1	Distancia=8,20km
Espacio Libre=121,6 dB	Obstrucción=4,3 dB TR	Urbano=0,0 dB	Bosque=0,0 dB	Estadísticas=6,7 dB
Pérdidas=123,9dB	Campo E=64,7dBμV/m	Nivel Rx=-67,4dBm	Nivel Rx=95,52μV	Rx relativo=22,6dB

Profile view of the radio link showing terrain and signal path. The signal path is shown as a dashed line above the terrain profile.

Transmisor		Receptor	
BS - CERRO CACHA: 4		CPE10: Videovigilanc	
Rol	Master	Rol	Esclavo
Nombre del sistema Tx	Sistema 4	Nombre del sistema Rx	Sistema 4
Potencia Tx	0,3162 W 25 dBm	Campo E requerido	42,09 dBμV/m
Pérdida de línea	0,5 dB	Ganancia de antena	16 dBi 13,8 dBd
Ganancia de antena	16 dBi	Pérdida de línea	0,5 - 0,5 dB
Potencia radiada	PIRE=11,22 W PRE=6,84 W	Sensibilidad Rx	7,0795μV -90 dBm
Altura de antena (m)	19	Altura de antena (m)	10
Red		Frecuencia (MHz)	
BS-CERRO CACHA: 4		Mínimo	Máximo
		3400	3600

✓ Radio enlace exportado a Google Earth

