



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

PLANIFICACIÓN DE UNA RED WIMAX PARA DAR SERVIO DE INTERNET EN UNA ZONA RURAL

Alumno: Luis Martín Ela Eneme Ayecaba

Tutor: Juan Pedro Roa Gómez

Depto.: Teoría de la Señal y Comunicación

Febrero, 2016

AGRADECIMIENTOS

En esta página me gustaría mostrar mi agradecimiento a esas personas que me han acompañado en este largo y tedioso camino, cada una me ha apoyado de una u otra manera. Son muchas y no me gustaría dejarme a ninguna, por lo que prefiero no hacer una lista. Simplemente daros las gracias a todos que habéis estado allí siempre. Sin embargo, sí quisiera destacar a familia, la cual ha sido mi sustento anímico y moral durante todos estos años.

INDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCION.....	1
1.1. REDES INALAMBRICAS DE BANDA ANCHA.....	1
1.2. ACCESO DE BANDA ANCHA	1
1.3. OBJETIVO DEL PROYECTO	2
1.4. METODOLOGÍA.....	4
 2. ESTADO DEL	
ARTE.....	5
2.1. TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS.....	5
2.1.1.INTRODUCCION.....	5
2.1.2.REDES DE ACCESO INALÁMBRICO.....	6
2.1.3.RED CENTRA	6
2.1.4.DEFINICIONES Y TOPOLOGIAS.....	7
2.2. TECNOLOGÍA WLAN.....	9
2.2.1.UNA BREVE HISTORIA Y EVOLUCION DEL ESTANDAR IEEE 802.11.....	9
2.2.2.RANGO Y FLUJO DE DATOS.....	11
2.2.3.ARQUITECTURA WLAN.....	11
2.3. TECNOLOGÍA WIMAX.....	14
2.3.1.VISION GENERAL DE WIMAX.....	14
2.3.2.DESCRIPCION DE LA TECNOLOGIA.....	14
2.3.3.EL FORO WIMAX.....	16
2.3.4.ARQUITECTURA WIMAX.....	16
2.3.5.CARACTERISTICAS WIMAX.....	17
2.3.6.APLICACIONES WIMAX.....	20
2.3.6.1. SISTEMAS PUNTO-MULTIPUNTO.....	21
2.3.6.2. SISTEMA MESH.....	22
2.3.6.3. SISTEMAS MOVILES.....	23
2.3.7.CAPA FÍSICA DE WIMAX.....	24
2.3.7.1. PARAMETROS OFDM EN WIMAX.....	25
2.3.7.2. SUBCANALES EN OFDMA.....	27
2.3.7.3. MODULACION Y CODIFICACION.....	28
2.3.8.CAPA MAC DE WIMAX.....	29
2.3.8.1. INTRODUCCION.....	29
2.3.8.2. CARACTERISTICAS DE LA CAPA MAC.....	30
2.3.8.3. MECANISMO DE ACCESO AL MEDIO.....	31
2.3.8.4. CALIDAD DE SERVICIO.....	32
2.3.8.4.1. FLUJO DE SERVICIO.....	32
2.3.8.4.2. CLASES DE SERVICIO.....	33
2.3.8.4.3. SEGURIDAD.....	35
2.3.9.UTILIZACION DEL ESPECTRO.....	35
2.3.9.1. BANDA LIBRE Y BANDA LICENCIADA.....	36
 3. SITUACION DE LA POBLACION.....	39
3.1. DATOS GENERALES Y GEOGRAFICOS DE BIOKO.....	39
3.2. CENTRALIZACION DE LA GESTION.....	42

3.3. EL SECTOR DE LAS TELECOMUNICACIONES EN GUINEA ECUATORIAL.....	43
3.3.1.PRESENTACION DEL SECTOR.....	43
3.3.2.SERVICIOS DE INTERNET.....	44
3.3.3.AGENTES DEL SECTOR.....	44
3.3.4.MARCO LEGAL.....	45
3.3.4.1. OFICINA REGULADORA DE TELECOMNICACIONES, ORTEL.....	45
3.3.5.RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	46
4. SOFTWARE DE APOYO.....	48
4.1. LIGO LINK CALCULATOR.....	48
4.2. RADIO MOBILE.....	49
4.3. LINK PLANNER.....	51
5. DISEÑO DE LA RED.....	52
5.1. DESCRIPCION DEL PROYECTO.....	52
5.2. ELECCION DE LA BANDA DE FRECUENCIA.....	53
5.3. WIMAX LUBA.....	53
5.3.1.ESPECIFICACIONES DE LA RED.....	53
5.3.1.1. RED TRONCAL PRIMARIA.....	53
5.3.1.1.1. REQUERIMIENTOS.....	53
5.3.1.1.2. LOCALIZACION DE LOS EMPLAZAMIENTOS.....	55
5.3.1.2. RED TRONCAL SECUNDARIA.....	58
5.3.1.2.1. REQUERIMIENTOS.....	58
5.3.1.2.2. LOCALIZACION DE LOS EMPLAZAMIENTOS.....	58
5.3.1.3. RED DE ACCESO.....	59
5.3.2.EQUIPOS UTILIZADOS.....	60
5.3.2.1. RED TRONCAL PRIMARIA.....	60
5.3.2.2. RED TRONCAL SECUNDARIA.....	61
5.3.2.3. RED DE ACCESO.....	62
5.3.2.4. CABLEADO NECESARIO.....	63
5.3.3.PLANIFICACION RADIOELECTRICA.....	64
5.3.3.1. RED TRONCAL PRIMARIA.....	64
5.3.3.2. RED TRONCAL SECUNDARIA.....	70
5.3.4.REVICION DE CUMPLIMIENTO DE REQUISITOS.....	74
5.3.4.1. RED TRONCAL PRIMARIA Y SECUNDARIA.....	74
5.3.4.2. RED DE ACCESO.....	76
5.3.5.PLANIFICACION DE LAS CELDAS DE ACCESO INALAMBRICO.....	77
5.4. WIMAX MALABO.....	80
5.4.1.RED TRONCAL PRIMARIA.....	80
5.4.2.RED TRONCAL SECUNDARIA.....	80
5.4.3.REVISION DE CUMPLIMIENTOS Y REQUISITOS.....	91
5.4.4.RED DE ACCESO.....	92
6. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y DESGLOSE ECONOMICO.....	93
6.1. CONCLUSIONES.....	93
6.1.1.ASPECTOS TECNOLOGICOS.....	93

6.1.2.ASPECTOS TECNICOS.....	94
6.2. RECOMENDACIONES.....	94
6.3. DESGLOSE ECONOMICO.....	95
7. BIBLIOGRAFIA PRINCIPAL.....	96
8. ANEXO.....	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Planificación de la red.....	3
Figura 2: Diagrama de Gantt del desarrollo del proyecto.....	3
Figura 3: red de comunicación inalámbrica.....	6
Figura 4: IBSS, Ad-hoc.....	12
Figura 5: interconexión de infraestructura BSS.....	12
Figura 6: Capas WIFI.....	13
Figura 7: estructura de una red WIMAX basada en IP.....	16
Figura 8: aplicaciones WIMAX.....	21
Figura 9: arquitectura sistemas punto-multipunto.....	22
Figura 10: arquitectura servicios <i>mesh</i>	23
Figura 11: arquitectura sistemas móviles.....	24
Figura 12: portadora OFDM.....	25
Figura 13: Efectos de subcanalización.....	27
Figura 14: modulación adaptativa la SNR.....	28
Figura 15: distribución mundial de banda de frecuencia.....	36
Figura 16: visión de la ciudad de LUBA.....	39
Figura 17: visión de la ciudad de MALABO.....	40
Figura 18: localización de los núcleos a ofrecer el servicio.....	42
Figura 19: Organigrama de ORTEL.....	46
Figura 20: parámetros de simulación del ejemplo.....	48
Figura 21: resultados de la simulación del ejemplo.....	49
Figura 22: resultados de tráfico del ejemplo.....	49
Figura 23: Mapa mundial creado por Radio Mobile utilizando datos de elevación SRTM.....	50

Figura 24: ciudad de MALABO. Superposición de mapas de elevación y mapas topográficos.....	50
Figura 25: central de telecomunicación de la compañía GETESA.....	53
Figura 26: red troncal primaria (PARTE 1).....	54
Figura 27: localización de la central de Telecomunicación.....	56
Figura 28: visión más detallada de la central de telecomunicación.....	56
Figura 29: localización del repetidor (WIMAX LUBA).....	57
Figura 30: localización de la estación AP_Luba.....	57
Figura 31: Esquema de la red de distribución de LUBA.....	59
Figura 32: LNK-LU-350-23	60
Figura 33: REPETIDOR.....	61
Figura 34: estación base AP_Luba.....	62
Figura 35: equipo de la estación suscriptora (CPE).....	62
Figura 36: punto de acceso.....	63
Figura 37: Cableado de la red de acceso.....	63
Figura 38: resultados de simulación. Enlace Central_Tel → REPETIDOR	67
Figura 39: resultado de simulación del enlace REPETIDOR → AP_Luba	69
Figura 40: esquema general de la red troncal primaria.....	70
Figura 41: resultados de simulación del enlace AP_Luba → Parroquia	71
Figura 42: resultados de simulación del radioenlace AP_Luba → CPE1	72
Figura 43: resultados de simulación del radioenlace AP_Luba → CPE2	74
Figura 44: arquitectura de la red en el cliente.....	76
Figura 45: Parámetros importantes de una celda.....	77
Figura 46: Celda de acceso radio.....	77
Figura 47: Capacidad máxima de los clientes.....	78
Figura 48: visión de las zonas a cubrir (WIMAX MALABO).....	80

Figura 49: localización de la estación base AP_Malabo.....	81
Figura 50: propagación de la señal para la ciudad de MALABO y localidades cercanas.....	81
Figura 51: esquema de la solución de una estación base adicional.....	82
Figura 52: esquema equipo transmisor.....	83
Figura 53: propuesta Reley Station.....	83
Figura 54: propuesta de uso de un repetidor.....	84
Figura 55: diagrama de radiación del repetidor.....	86
Figura 56: Red auxiliar de la ciudad de Malabo.....	86
Figura 57: resultados de simulación del enlace AP_Malabo → REPETIDOR1	87
Figura 58: resultados de simulación del enlace AP_Malabo → Rebola	89
Figura 59: resultados de simulación del enlace REPETIDOR1 → Basupú	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: comparativa entre tecnologías inalámbricas.....	8
Tabla 2: banda ISM de acuerdo con la ITU (MHz).....	10
Tabla 3: bandas I-NII (MHz).....	10
Tabla 4: ancho de banda y velocidad de los estándares físicos.....	11
Tabla 5: parámetros para las capas físicas.....	26
Tabla 6: modulación y codificación en WIMAX.....	29
Tabla 7: Población de las localidades.....	40
Tabla 8: coordenadas de los puntos de la red troncal primaria (WIMAX LUBA).....	55
Tabla 9: coordenadas de los emplazamientos (WIMAX LUBA).....	58
Tabla 10: Datos de estaciones del enlace Central_Tel – REPETIDOR.....	67
Tabla 11: resultados teóricos del enlace Central_Tel – REPETIDOR.....	68
Tabla 12: datos de las estaciones del enlace REPETIDOR – AP_LUBA.....	68
Tabla 13: resultados teóricos del enlace REPETIDOR – AP_LUBA.....	69
Tabla 14: datos de las estaciones del enlace AP_LUBA – Parroquia.....	71
Tabla 15: resultados teóricos del enlace AP_LUBA – Parroquia.....	72
Tabla 16: datos de las estaciones del enlace AP_LUBA – CPE1.....	72
Tabla 17: resultados teóricos del enlace AP_LUBA – CPE1.....	73
Tabla 18: datos de las estaciones del enlace AP_LUBA – CPE2.....	73
Tabla 19: resultados teóricos del enlace AP_LUBA – CPE2.....	74
Tabla 20: comparativa de los resultados (WIMAX LUBA).....	75
Tabla 21: margen de los enlaces (WIMAX LUBA).....	75
Tabla 22: capacidad de los equipos.....	76
Tabla 23: prestaciones de la celda.....	79
Tabla 24: coordenadas de la estación AP_Malabo.....	80

Tabla 25: coordenadas de la estación REPETIDOR1.....	85
Tabla 26: datos de la estación REPETIDOR1.....	85
Tabla 27: datos de las estaciones del enlace AP_Malabo – REPETIDOR1.....	87
Tabla 28: resultados teóricos del enlace AP_Malabo – REPETIDOR1.....	88
Tabla 29: datos de las estaciones del enlace AP_Malabo – Rebola.....	88
Tabla 30: resultados teóricos del enlace AP_Malabo – Rebola.....	89
Tabla 31: datos de las estaciones del enlace REPETIDOR – Basupú.....	89
Tabla 32: resultados teóricos del enlace REPETIDOR - Basupú.....	89
Tabla 33: comparativa de resultados (WIMAX MALABO).....	89
Tabla 34: márgenes de cada uno de los enlaces (WIMAX MALABO).....	89
Tabla 35: presupuesto económico.....	95

1 INTRODUCCIÓN

1.1 REDES INALÁMBRICAS DE BANDA ANCHA

El término banda ancha inalámbrica (*Wireless broadband*) se refiere generalmente a las altas velocidades de transmisión de datos que ocurre entre dos o más puntos fijos, dentro de una red.

Existen varias propuestas de ese tipo de tecnología, entre las más notables están: el protocolo europeo ETSI BRAN (*European Telecommunications Standards Broadband Radio Access Network*), el cual pretende estandarizar tecnologías que alcancen velocidad de 25 a 54 Mbps y el protocolo propuesto para la organización IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) cuyo nombre es IEEE 802.16 (conocido comercialmente con el nombre de WIMAX). Este último cuenta con un gran soporte de compañías líderes en el mercado a través del foro WIMAX. Este foro en la actualidad está formada por más de 68 miembros dedicadas a diseñar los perfiles de operación de esta tecnología, también se dedica a estudiar, analizar y probar los desarrollos implementados, lo cual le da una considerable ventaja con respecto a su homólogo europeo. Además de ser compatible con otros estándares como ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) e IEEE 802.11 (*Wireless Fidelity-WIFI*), provee un gran ancho de banda, con el cual se puede alcanzar para transferencia de información de hasta 134 Mbps.

1.2 ACCESO DE BANDA ANCHA

La tecnología se encuentra presente en nuestras vidas, la podemos ver en los teléfonos móviles, televisores, ordenadores o cualquier otro dispositivo. La mayoría de estos tiene en común que emplean algún tipo de canal para recibir o enviar información.

De igual manera el mundo de las telecomunicaciones ha estado continuamente evolucionando, las redes son cada vez más rápidas, seguras y eficientes; las tenemos de corto y largo alcance; y tenemos redes cableadas e inalámbricas y todas ellas transmiten a diferentes velocidades. Pero la tecnología no llega a todos los lugares por igual como tampoco lo hacen las redes de telecomunicación. Las empresas de telecomunicación no llevan a cabo infraestructuras para ofrecer sus servicios a zonas rurales, donde la densidad de la población es baja y dispersa; ya que no les compensa económicamente. En estas zonas de difícil acceso es donde las redes inalámbricas cobran una gran importancia. Para este caso existen muchas tecnologías de redes inalámbricas a implementar; sin embargo, la tecnología WIMAX es una de las más utilizadas. Destaca WIMAX por su capacidad como tecnología portadora, sobre la que se puede transportar IP, TPD, T1/E1, ATM, Frame Relay y voz, lo que la hace perfectamente adecuada para entornos de grandes redes comparativas de voz y datos, así como operadoras de telecomunicación.

Proporcionar acceso de alta capacidad es algo muy importante, ya que internet constituye una de las innovaciones más importantes en nuestra época, por los sustanciales beneficios

que aporta a la economía y a las sociedades. La posibilidad de comunicar información a alta velocidad y a través de distintas plataformas es algo esencial para el desarrollo de nuevos bienes y servicios. La posibilidad de servicio de banda ancha constituye un elemento que permite a las colectividades locales dar soporte a una importante gama de servicios.

Los servicios de banda ancha se prestan utilizando distintas combinaciones de tecnologías de redes de telecomunicación. Las tecnologías se apoyan en infraestructuras de transmisión fija o radioeléctrica y pueden sustituirse o combinarse mutuamente en función del caso. Cada tecnología cuenta con características distintas.

La elección de la tecnología depende del entorno en el que se pretende habilitar la red, del tipo de uso que se le quiere dar y sobre todo del coste. Las redes cableadas proporcionan una mayor fiabilidad y flexibilidad de adaptación de las instalaciones a la evolución de la tecnología, en el sentido en que proporciona un ancho de banda y unos retardos capaces de soportar nuevos tipos de servicios, sin embargo, su instalación es costosa y lenta. Las redes inalámbricas, por el contrario, permiten hacer despliegues muy rápidos y una mayor facilidad de ajuste económico de la instalación; además tiene un entorno ideal de aplicación en orografías complicadas, como las que se pueden dar en entornos rurales. Las desventajas respecto a las redes cableadas son el menor ancho de banda proporcionado, el uso de un medio físico inestable, el problema de la inseguridad de las comunicaciones y el hecho de que hay que gestionar el espectro radioeléctrico.

1.3 OBJETIVO DEL PROYECTO

El presente trabajo fin de grado se ocupa del desarrollo de las facetas o partes a seguir para el diseño de una red inalámbrica que proporcionará acceso a internet en un entorno rural. La localidad elegida para el diseño se llama LUBA, una pequeña ciudad localizada al norte de la isla de BOKO, Guinea Ecuatorial. El punto principal se encuentra en la ciudad de MALABO, donde se encuentra el centro de procesamiento de datos y el punto de interconexión a internet. Adicionalmente, se diseñará una red auxiliar para ofrecer acceso en la propia ciudad de Malabo y localidades cercanas para aquellos clientes a los que se presenta un difícil acceso a la conexión por ADSL. Para la planificación y desarrollo de ésta red inalámbrica se utilizará tecnología WIMAX teniendo en cuenta los requisitos de funcionamiento, seguridad y fiabilidad en el entorno elegido.

		Nombre	Duración	Inicio	Terminado	Predecesores
1		☐ TFG: Planificación de un Sistema Wimax	77 days?	3/12/15 8:00	18/03/16 17:00	
2		☐ Estado del arte	19 days?	3/12/15 8:00	29/12/15 17:00	
3		☐ Estudio de la tecnología inalámbrica	19 days?	3/12/15 8:00	29/12/15 17:00	
4		Estándares inalámbricos	6 days?	3/12/15 8:00	10/12/15 17:00	
5		Tecnología Wifi IEEE 803.11	6 days?	14/12/15 8:00	21/12/15 17:00	4
6		Tecnología Wimax IEEE 803.15	6 days?	22/12/15 8:00	29/12/15 17:00	4;5
7		Estudio de los aspectos legales	6 days?	3/12/15 8:00	10/12/15 17:00	
8		☐ Estudio de la situación actual de la población	7 days?	3/12/15 8:00	11/12/15 17:00	
9		Estudio de la orografía del terreno	7 days?	3/12/15 8:00	11/12/15 17:00	
10		Análisis del sector de las telecomunicaciones de la localidad	7 days?	3/12/15 8:00	11/12/15 17:00	
11		☐ Diseño y simulación	38 days?	3/12/15 8:00	25/01/16 17:00	
12		Estudio de los software de apoyo	2 days?	3/12/15 8:00	4/12/15 17:00	
13		☐ Descripción de la red	9 days?	30/12/15 8:00	11/01/16 17:00	
14		Determinación del esquema de la red	5 days?	30/12/15 8:00	5/01/16 17:00	3;8
15		Elección de los parametros del diseño	1 day?	6/01/16 8:00	6/01/16 17:00	14
16		simulación del esquema de la red	3 days?	7/01/16 8:00	11/01/16 17:00	12;14;15
17		Elección de los equipos necesarios	6 days?	12/01/16 8:00	19/01/16 17:00	13
18		Verificar el cumplimiento de objetivos y presupuesto	4 days?	20/01/16 8:00	25/01/16 17:00	17
19		☐ Implementación de la infraestructura	32 days?	26/01/16 8:00	9/03/16 17:00	
20		Encargar los equipos de transmisión y recepción	26 days?	26/01/16 8:00	1/03/16 17:00	11;18
21		Encargar las torres y elementos de sujeción necesarios	6 days?	26/01/16 8:00	2/02/16 17:00	11;18
22		Levantar las torres	8 days?	3/02/16 8:00	12/02/16 17:00	21
23		Instalación de los equipos de transmisión y recepción	6 days?	2/03/16 8:00	9/03/16 17:00	20
24		☐ Puesta en marcha	7 days?	10/03/16 8:00	18/03/16 17:00	
25		Verificación de funcionamiento del sistema	3 days?	10/03/16 8:00	14/03/16 17:00	19;22;23
26		Corrección de errores si los hay	4 days?	15/03/16 8:00	18/03/16 17:00	19;22;23;25

Figura 1: planificación del trabajo

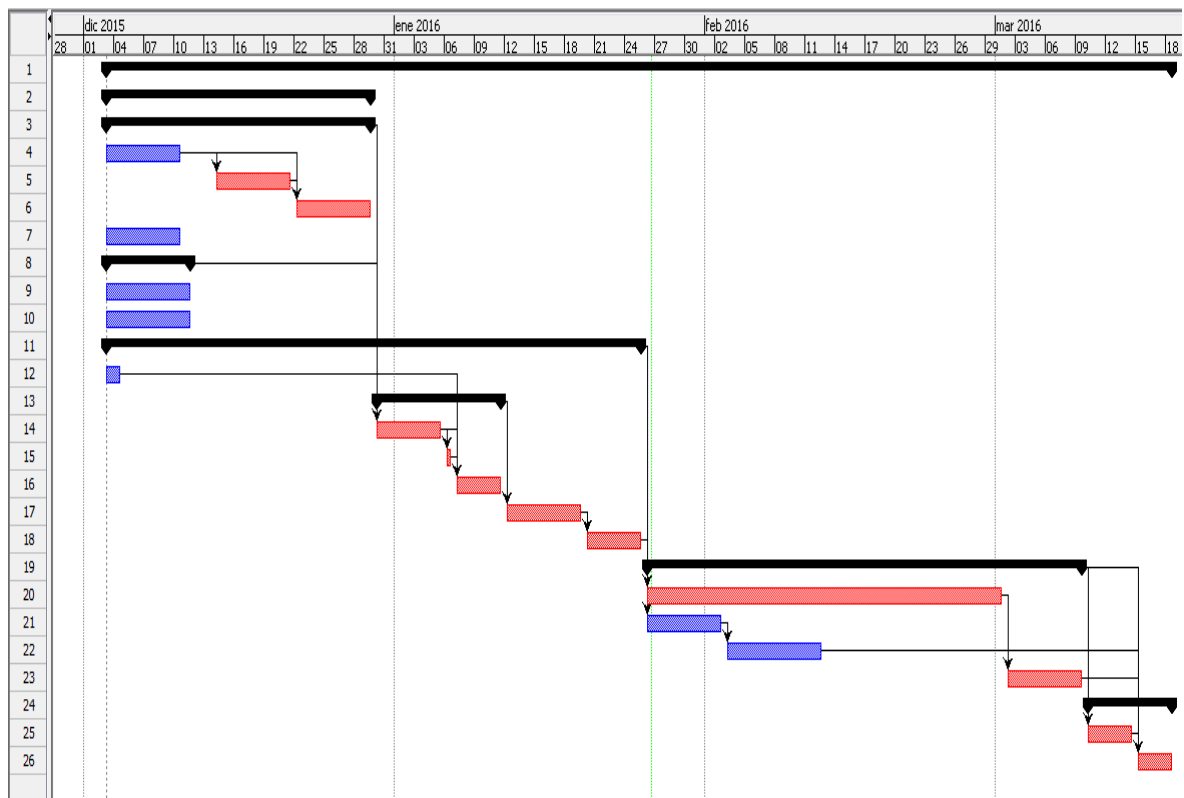


Figura 2: diagrama de Gantt del desarrollo del proyecto

1.4 METODOLOGÍA

El Trabajo Fin de Grado en cuestión va a desarrollar los siguientes aspectos:

1. **Estado el arte:** en donde se realizará un estudio de lo que son las redes inalámbricas, así como de los estándares que se emplean en la implementación de las mismas, tratando con más énfasis el estándar que nos abarca en este trabajo. Se dedicarán dos apartados en los cuales se hablará de las dos tecnologías inalámbricas más utilizadas en la actualidad: WIFI y WIMAX.
2. **Situación actual de la población guineana:** en este apartado ofrecemos una descripción del sector de las telecomunicaciones del lugar; así como los datos necesarios de las localidades o núcleos a los que vamos a ofrecer el servicio.
3. **Software de apoyo:** en este apartado se hará una breve descripción de algunos de los programas más relevantes que tenemos a nuestra disposición para poder llevar a cabo este proyecto.
4. **Diseño de la red:** fase en la que se determinarán los elementos a instalar, así como la disposición de los mismos. Se presentará un esquema general de la red y un estudio de cobertura para asegurarnos de que a los receptores les llega un nivel de señal adecuado, así como una planificación de las celdas para conocer el número de clientes que puede soportar la celda de acuerdo al ancho demandado por cada uno.
5. **Conclusiones y recomendaciones:** expondremos unas conclusiones y recomendaciones, y realizaremos una valoración económica de toda la infraestructura desarrollada.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS

2.1.1 INTRODUCCIÓN

La introducción de dispositivos móviles, internet y conectividad inalámbrica ofrece una oportunidad extraordinaria para que las organizaciones puedan extender su información y servicios hasta los profesionales y clientes móviles, la correcta planificación, considerando la combinación de estos tres factores, puede aumentar la productividad, reducir los costes operativos e incrementar la satisfacción de los clientes.

Gran parte de los nuevos dispositivos están preparados para la conectividad inalámbrica en redes de áreas personales, locales y extensas. Son muchas las organizaciones que, a partir de estándares abiertos, proporcionan hardware, software y controladores complementarios para adecuar los métodos de conectividad inalámbrica.

Hoy en día hay mucha variedad de técnicas inalámbricas que se utilizan para una variedad de aplicaciones. Las comunicaciones de radio inalámbrica se basan en la transmisión de ondas de radio a través del aire. Las ondas de radio entre 30 MHz y 20 GHz se utilizan para comunicaciones de datos. El rango inferior a 30 MHz podría apoyar la comunicación de datos; sin embargo, se suele utilizar para la modulación de frecuencia (FM) y la modulación de amplitud (AM) para radiodifusión porque estas ondas se reflejan en la ionosfera de la tierra para extender la comunicación. Las ondas de radio de más de 20 GHz pueden ser absorbidas por el vapor de agua, por lo tanto, no son adecuadas para la comunicación a larga distancia.

Un sistema de transmisión de radio consiste en un transmisor y un receptor, los principales elementos de un transmisor de radio son un transductor, un oscilador, un modulador y una antena. Un transductor convierte la información de transmisión en una señal eléctrica; un oscilador genera una frecuencia fiable que se utiliza para llevar la señal; un modulador incrusta la señal de voz o datos en la frecuencia de la portadora; la antena se utiliza para irradiar la señal eléctrica en el espacio en forma de ondas electromagnéticas. Un receptor de radio consiste en una antena, un oscilador, un demodulador y un amplificador. La antena capta ondas de radio y las convierte en señales eléctricas; el oscilador genera señales eléctricas a la frecuencia de portado que se utiliza como onda de referencia para extraer la señal; el demodulador detecta y restaura las señales moduladas; el amplificador, en cambio, amplifica la señal recibida que es típicamente muy débil.

Una red de comunicación inalámbrica tiene que integrarse con otras redes, principalmente internet y PSTN (Public Switched Telephone Network). Esta red puede dividirse en dos partes: la red de acceso inalámbrico y la red central. La figura 3 muestra un diagrama con los principales componentes de una red de acceso inalámbrico.

2.1.2 RED DE ACCESO INALÁMBRICO

El acceso inalámbrico es realizado por las estaciones de abonados fijos, nómadas o móviles (SS) y estaciones base de radio (RBS). Estos dos elementos concentran todo el acceso a la capa 2 y se especifican por IEEE para WLAN (802.11), WIMAX (802.16) y por el 3GPP para LTE. Contrariamente a la creencia común, el acceso inalámbrico no implementa el control de tráfico, ya que la información se envía siempre al máximo rendimiento posible para cada conexión, de esta manera los recursos limitados de RF se utilizan a su máxima capacidad. El control de tráfico, caracterizado por limitar el uso de los usuarios a su plan de suscripción, se realiza en la red central.

2.1.3 RED CENTRAL

Esta parte de la red gestiona las comunicaciones inalámbricas y las interconexiones con otras redes. Se especifica libremente por las entidades, tales como el Foro WIMAX y 3GPP. El hardware de la red central se compone de servidores y routers que ejecutan el software correspondiente. Las funciones específicas se pueden realizar por varios servidores para proporcionar la capacidad de procesamiento requerida. Lo que implica que el control de la carga de procesamiento y el equilibrio deben ser implementadas.

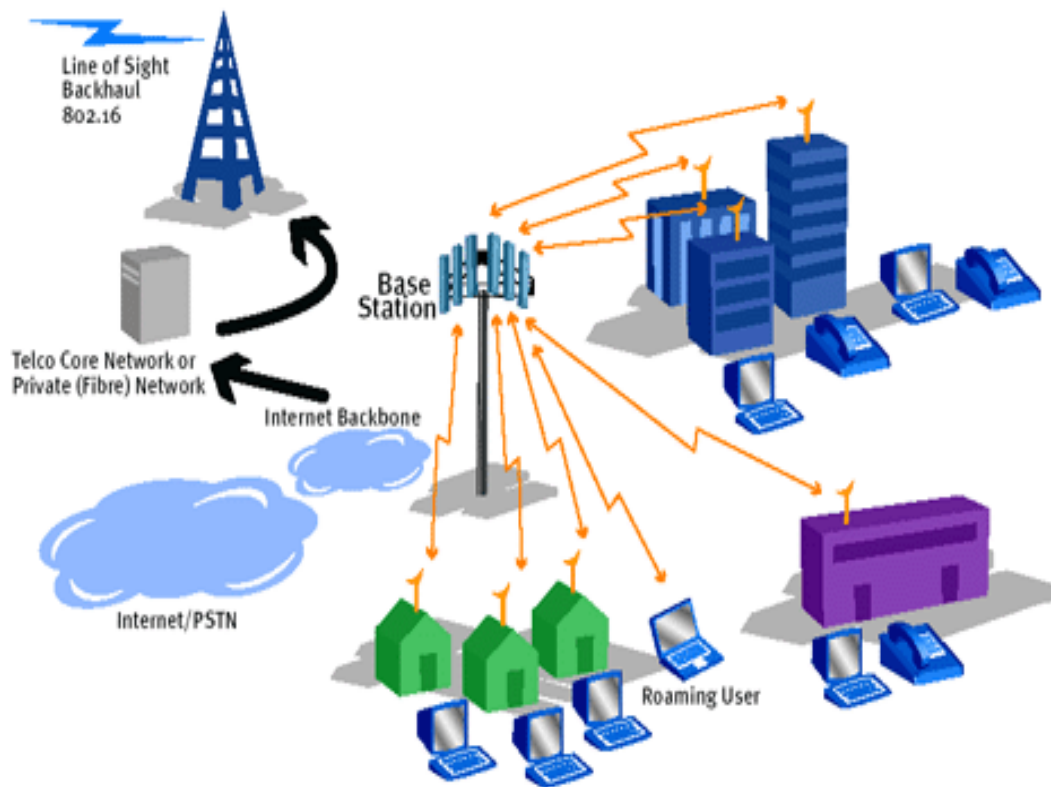


Figura 3: red de comunicación inalámbrica

2.1.4 DEFINICIONES Y TOPOLOGÍAS

Las tecnologías inalámbricas son aquellas que dependen para su funcionamiento de ondas de radio, de microondas y pulsos de luz infrarrojo para transportar las comunicaciones digitales sin cables entre los dispositivos de comunicación. En cuanto a su alcance se pueden distinguir los siguientes tipos de redes:

WPAN (Wireless Personal Área Network, Red Inalámbrica de Área Personal o Red de Área Personal): es una red para la comunicación entre distintos dispositivos (tanto ordenadores, punto de acceso a internet, teléfonos móviles, PDA's, dispositivos de audio, impresoras, etc.) cercanos al punto de acceso. Estas redes normalmente son de unos pocos metros y para uso personal. Entre las diferentes tecnologías de WPAN destacan Bluetooth y Zigbee.

WLAN (Wireless Local Área Network): es un sistema de comunicación de datos inalámbrico flexible muy utilizado como alternativa a las redes LAN cableadas o como interconexión de éstas. Utiliza tecnología de radiofrecuencia que permite mayor movilidad a los usuarios al minimizar las conexiones cableadas. A la tecnología asociada a esta forma de red se la denomina WIFI.

WMAN (Wireless Metropolitan Área Network o Red Inalámbrica de Área Metropolitana): es una red de alta velocidad que, dando cobertura a un área geográfica extensa, proporciona capacidad de integración de múltiples servicios mediante la transmisión de datos, voz y vídeo sobre medios de transmisión inalámbricos. La tecnología destacada asociada a esta red se llama WIMAX.

WWAN (Wireless Wide Área Network): son típicamente redes celulares para telefonía móvil y transmisión de datos. Destacadas tecnologías asociadas son GSM (Telefonía móvil 2G) y UMTS (Telefonía móvil 3G).

Algunas de las ventajas que presentan las redes inalámbricas son las siguientes:

- **Movilidad:** Los usuarios de la red inalámbrica pueden moverse dentro del alcance de cobertura de los elementos que proporcionan el acceso a la red.
- **Flexibilidad:** Son flexibles ya que nos permiten interconectar ubicaciones compatibles y además se pueden ajustar de manera sencilla a los requerimientos impuestos.
- **Escalabilidad:** Esta característica se refiere a la posibilidad de adaptar y de ampliar rápidamente las cualidades de una red en lo que a cobertura y ancho de banda se refiere.
- **Rapidez de despliegue:** El despliegue de una red inalámbrica suele ser por lo general bastante rápido, sobre todo si existe ya un equipamiento o una infraestructura previa que puedan aprovechar para llevar a cabo dicha instalación.

- **Costes reducidos:** Dependerá del caso, pero en general resulta menos costoso el despliegue de una red inalámbrica que una cableada, sobre todo si se da de nuevo las condiciones citadas en el apartado anterior de que existan unas infraestructuras previas que se puedan aprovechar.
- **Servidor web para una administración más fácil:** Un usuario simplificará la administración de su red inalámbrica si selecciona un punto de acceso con un servidor y una web incorporados. Esto le permitirá acceder y definir parámetros de configuración, monitorear el rendimiento y hacer diagnósticos desde un navegador web.

Tipo de red	WWAN (Wireless Wide Area Network)	WMAN (Wireless Metropolitan Area Network)	WLAN (Wireless Local Area Network)	WPAN (Wireless Personal Area Network)
Estándar	GSM/GPRS/UMTS	IEEE 802.16	IEEE 802.11	IEEE 802.15
Denominación/ Certificación	2G/3G	WIMAX	WIFI	BLUETOOTH, ZIGBEE
Velocidad	9.6/170/2000 Kbps	15-134 Mbps	1-2-11-54 Mbps	721 Kbps
Frecuencia	0.9/1.8/2.1 GHz	2-66 GHz	2.4 y 5 GHz infrarrojos	2.4 GHz
Rango	Limitado por células (máximo 35Km por célula)	1.6-50 Km	30-150 m	10 m
Técnica Radio	Varias	Varias	FHSS,DSSS, OFDM	FHSS
Itinerancia (roaming)	SÍ	SÍ(802.16e)	SÍ	NO
Equivalencia	Conexión. Teléf. (módem)	ADSL,CATV	LAN	CABLES DE CONEXIÓN

Tabla 1: comparativa entre tecnologías inalámbricas

2.2 TECNOLOGÍA WLAN (WIFI)

2.2.1 UNA BREVE HISTORIA Y EVOLUCIÓN DEL ESTÁNDAR IEEE 802.11

La aparición repentina de 802.11 se llevó a cabo como resultado de una decisión tomada en 1985 por la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) de liberar varias bandas del espectro inalámbrico para la utilización sin licencia del gobierno. También llamadas bandas basura donde actualmente se encuentran alojados los equipos tales como hornos de microondas. Para operar en estas bandas, los dispositivos requiere el uso de la tecnología *Spread Spectrum*. Esta tecnología esparce una señal de radio hacia un rango amplio de frecuencias, haciendo que la señal sea menos susceptible a la interferencia y difícil de interceptar.

La popularización de las computadoras en el hogar creó la necesidad de interconectar varios dispositivos, tales como escritorios, interruptores, laptops, impresoras, módems de cable, y así sucesivamente. WLAN se convierte en atractivo ya que no requiere cables y dio movilidad a los ordenadores portátiles. Pero, para ser implementado requiere el espectro de RF (Radiofrecuencia).

El espectro de RF está regulado por las agencias del gobierno, lo que obliga a los usuarios requerir licencia para utilizarlo. A las industrias, universidad y radio-aficionados les asignaron bandas sin licencia para uso en laboratorios y comunicaciones de corto alcance, como es el caso de ISM y las bandas U-NII. Con el tiempo las regulaciones admitieron que estas bandas pueden ser utilizadas para comunicaciones de bandas ancha de corto alcance. Dichas bandas se enumeran en las tablas 2 y 3.

Los protocolos de comunicación disponibles a principios de 1980 se orientaron hacia la voz y no son apropiados para redes LAN inalámbrica de datos de banda ancha. Los esfuerzos para especificar un nuevo protocolo empezaron a finales de 1980 y se llevaron a cabo por el IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) en EEUU y ETSI (Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones) en Europa. Estas especificaciones se centraron en la transmisión de datos en interiores y se orienta hacia paquetes de datos.

La primera especificación hecha para una LAN inalámbrica fue puesta en libertad por el ETSI en 1996 (HIPERLAN/1) utiliza una sola portadora FSK/GMSK de una capa especial para canal de acceso y control (CAC). Fue capaz de alcanzar velocidad de 10 Mbps en aire para un intervalo de 50 m.

La primera especificación de IEEE fue lanzada en 1997 y se especifica el uso de CCK con DSSS o frecuencia Hopping (FHSS) con CSMA/CA como el método de acceso al medio. La velocidad de transmisión de datos era de 1 o 2 Mbps y se especificó para la banda de 2.4 GHz. Dicha velocidad incluye el código de corrección de errores pero no incluye señales de referencia, señales de control y de acceso al canal de arriba, lo que puede reducir el rendimiento de los datos eficaces hasta un 20% de la velocidad inicial.

Dentro de la IEEE varios grupos fueron creados para examinar cuestiones específicas relacionadas con la implementación de la WLAN, cada grupo identificado con el estándar 802.11 seguido de una letra (por ejemplo a, b, c d, e,...). Algunos grupos lanzaron sus especificaciones por delante de los demás, por lo que el orden de libertad no coincide con la secuencia de letras. En 1999 se lanzó una especificación mejorada (802.11b) con una tasa de transmisión de hasta 11 Mbps.

Desde	Hasta	Ancho de banda
6,765	6,795	0,030
13,553	13,560	0,007
26,957	27,283	0,326
40,66	40,70	0,04
433,05	433,92	0,87
902	928	26
2400	2500	100
5725	5875	150
24000	24250	250
61000	61500	500
122000	123000	1000
244000	246000	2000

Tabla 2: banda ISM de acuerdo con la ITU (MHz)

Desde	Hasta	Ancho de banda		Potencia (W)	DFS
5150	5250	100		0,05	No
52050	5350	100		0,25	Sí
5470	5725	255		0,25	Sí
5725	5825	100		1,00	No

Tabla 3: bandas I-NII (MHz)

Estaba claro que resultaba casi imposible aumentar aún más el rendimiento utilizando una única portadora; razón por la cual se incluyeron una nueva modificación; una nueva tecnología (802.11a) que utiliza OFDM para aumentar la velocidad de transmisión a 54 Mbps. Esta tecnología se ha utilizado para su uso en la banda de 5 GHz.

En 2000 la ETSI emitió una nueva especificación (HIPERLAN/2) muy similar a la 802.11a. En junio de 2003, la tecnología OFDM especificada por 802.11a se extendió a la banda de 2,4 GHz y se hizo conocido como 802.11g. En 2007 el IEEE publicó una especificación integral llamada IEEE std 802.11-2007, que incluía las enmiendas de los grupos a, b, d, e, g, h, i y j.

La última especificación IEEE emitida es 802.11n, titulado “Fortalecimiento de mayor rendimiento”. Se añaden varias características para aumentar el rendimiento. Incluso las especificaciones más detalladas no son suficientes para garantizar la interoperabilidad entre diferentes fabricantes. Una asociación mundial WEA (WIFI Alliance) fue formada para promover el crecimiento de WLAN y asegurar la interoperabilidad a través de un programa de certificación. Este grupo comercial estableció la marca WIFI para 802.11.

2.2.2 RANGO Y FLUJO DE DATOS

Los estándares 802.11a, 802.11b, 802.11g y el 802.11n, llamados estándares físicos, son modificaciones del estándar 802.11 y operan en modos diferentes, lo que les permite alcanzar distintas velocidades en la transmisión de datos según sus rangos.

Norma	Banda	Velocidad
802.11a	5GHz	54Mbps
802.11b	2,4GHz	11Mbps
802.11g	2,4 GHz	54Mbps
802.11n	5GHz y 2,4 GHz	200Mbps

Tabla 4: ancho de banda y velocidad de los estándares físicos

2.2.3 ARQUITECTURA WLAN

En una red WIFI, cada componente, ya sean estaciones o puntos de acceso (AP), requieren un radiotransmisor y una antena. Las estaciones pueden ser incorporadas a una tarjeta LAN instalada en un PC de escritorio, un adaptador USB, una PCMCIA o puede ser integrada a un dispositivo PDA. Los AP forman un puente entre redes alámbricas e inalámbricas. Nos podemos encontrar con dos implementaciones posibles de una WLAN (Red de Área Local) previstas:

- **IBSS** (*Independent Basic Service Set*): se trata de una aplicación ad-hoc (*aplicación en la que los equipos inalámbricos se comunican entre sí para formar una red punto a punto, es decir, una red en la que cada equipo actúe como cliente y como punto de acceso simultáneamente*), en la que todos los elementos tienen la misma jerarquía y funcionalidad. La STA (estación) puede establecer comunicación directa entre los mismo, y también utiliza DS (servicios de distribución) retransmitiendo información a otras emisoras. La estructura de un IBSS se ilustra en la figura 4.

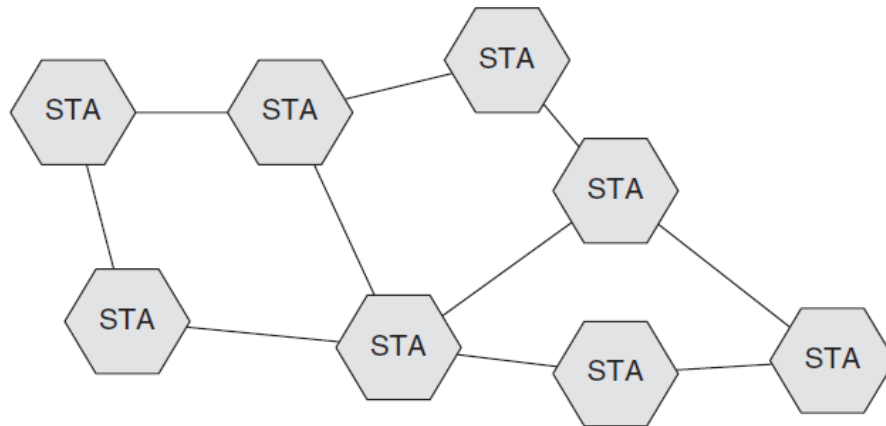


Figura 4: IBSS, Ad-hoc

- BSS (Basic Service set):** es el modo que se utiliza normalmente. Este modo también se denomina modo infraestructura. Esta implementación requiere un elemento de infraestructura que concentra todas las comunicaciones y realiza DS a las STA y portales. Este elemento de infraestructura se llama AP (Punto de Acceso) y en él se acumulan las funciones de un STA y un DS. La función de DS también se pueden utilizar para interconectar diferentes BSS's formando un ESS (Extended Service Set). Esta configuración permite el crecimiento de WLAN sin restricciones.

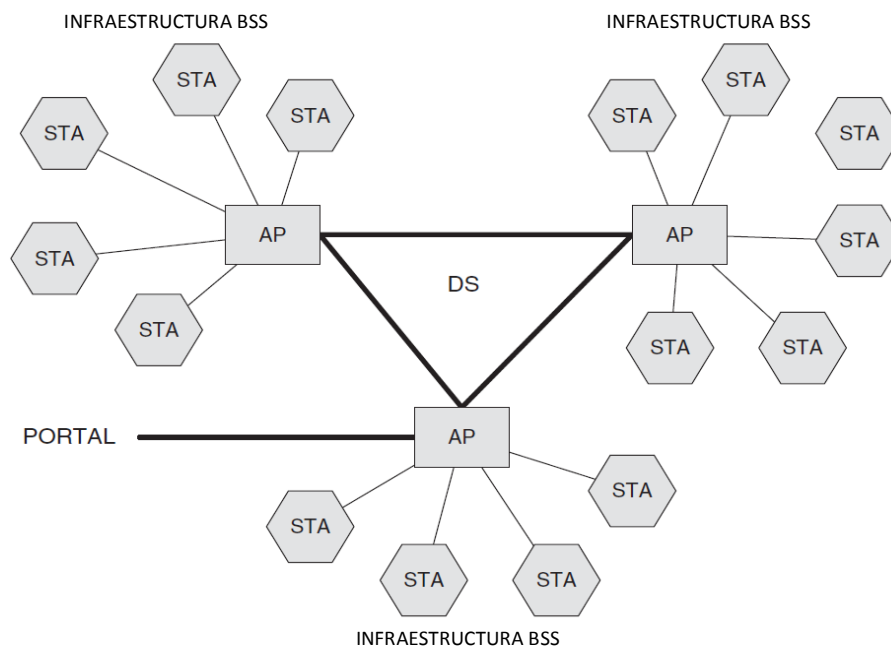


Figura 5: interconexión de infraestructuras BSS

Las interconexiones inalámbricas se realizan mediante canales de RF y protocolos (estándares). Estas definiciones abarcan básicamente las capas 1 y 2 de OSI.

La capa física (PHY) establece cómo debe ser modulado el canal RF, así la señal puede ser recuperada para proporcionar el canal de datos deseado.

La capa de acceso al medio (MAC) establece como se empaquetan los datos y los procedimientos de acceso del canal. También define la gestión del enlace y control del mismo.

La capa física define la modulación de las ondas de radio y las características de señalización para la transmisión de datos, mientras que la capa de enlace de datos define la interfaz entre el bus del equipo y la capa física, en particular un método de acceso parecido al estándar Ethernet para la comunicación entre las estaciones de la red.

Capa de enlace de datos (MAC)	802.2		
	802.11		
Capa física (PHY)	DSSS	FHSS	Infrarrojo

Figura 6: Capas WIFI

Resumiendo:

- Una BTS que tenga una capa física y una capa MAC compatible con el estándar 802.11.
- Un AP es una entidad que tiene la funcionalidad de la estación y ofrecer acceso a los servicios de distribución a través del medio inalámbrico.
- El BSS es un conjunto de estaciones miembros que pueden comunicarse entre sí.

El conjunto completo de los servicios de arquitectura proporcionado por el estándar 802.11 es:

- Autenticación/De-autenticación.
- Asociación/Disociación/Re-asociación.
- Distribución/Integración.
- Privacidad
- MSDU (Unidad de Datos de Servicio MAC)

2.3 TECNOLOGÍA WIMAX

2.3.1 VISIÓN GENERAL DE WIMAX

WIMAX es una tecnología inalámbrica basada en estándares, capaz de proporcionar conectividad de banda ancha a hogares, empresas y usuarios móviles. WIMAX es similar a WIFI, pero puede ofrecer un ancho de banda mucho más grande, encriptación más fuerte, mayor capacidad de usuarios y mejor rendimiento en largas distancias (por encima de los 30 km), gracias a la conexión con la estación base que no necesariamente se encuentra en línea de visión directa con el receptor. WIMAX emplea la tecnología OFDMA, la cual tiene una baja tasa de consumo de potencia y puede ser usada para varias aplicaciones, incluyendo conexiones de banda ancha de última milla, *hostpot*, *backhaul* celular y conectividad de alta velocidad para empresas de negocios de banda ancha tales como video y VoIP.

WIMAX está diseñado para operar tanto en los espectros de banda con licencia como en los espectros de banda sin licencia, mismos en los que opera WIFI, pero a diferencia de este último WIMAX no está limitado a una docena de usuario por punto de acceso. WIMAX puede entregar acceso a internet ultra rápido a varios kilómetros de distancia.

También se espera que WIMAX resuelva los problemas de conectividad rural, ya que es adecuado para lugares remotos que no disponen de una infraestructura establecida de redes cableada o líneas telefónicas. WIMAX tiene el potencial de proporcionar acceso a internet generalizado que puede ser empleado para un crecimiento económico, mejor educación, salud, y mejorar los servicios de entretenimiento. En general, WIMAX se puede describir como la revolución de la banda ancha inalámbrica, en vez de una simple implementación de tecnología inalámbrica.

2.3.2 DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

La palabra procede de las siglas de **Worldwide Interoperability for Microwave Access** (Interoperabilidad mundial para acceso por microondas). WIMAX es una norma de transmisión de datos utilizando ondas de radio. Es una tecnología dentro de las tecnologías conocidas como tecnologías de última milla, también conocida como bucle local, permite la recepción de datos por microondas y retransmisión por ondas de radio. Como ya se mencionó, una de sus ventajas es dar servicios de banda ancha en zonas donde el despliegue de cable o fibra presta unos costes por usuario muy elevados o zonas de difícil acceso. Se dio como una mejora de la tecnología WIFI para poder ofrecer mayor ancho de banda y soportar QoS (calidad de servicio).

A pesar de contar con muchos estándares, actualmente el sistema WIMAX se basa principalmente en dos especificaciones, el estándar IEEE 802.16d y el estándar IEEE 802.16e:

- **Acceso fijo** (802.16d), en el que se establece un enlace radio entre la estación base y un equipo final situado en el domicilio del usuario. Para el entorno fijo, las velocidades máximas teóricas que se pueden obtener son de 70 Mbps con un ancho de banda de 20 MHz. Sin embargo, en entornos reales se han conseguidos velocidades de 20 Mbps con radio de células de hasta 6 Km. El ancho de banda es compartido por todos los usuarios de la célula.
- **Movilidad completa** (802.16e), que permite el desplazamiento del usuario de un modo similar al que se puede dar en GSM/UMTS. El móvil aún no se encuentra desarrollado y actualmente compite con las tecnologías **LTE**. Por ser la alternativa de los operadores de telecomunicaciones que apuestan por los servicios en movilidad, este estándar, en su variante no licenciada, compite con el WIFI 802.11n, ya que la mayoría de los portátiles y dispositivos móviles empiezan a estar dotados de este tipo de conectividad (principalmente de la firma Intel).

El diseño de una red inalámbrica WIMAX requiere un amplio conocimiento de la tecnología, una representación detallada del mercado y de red y herramientas de gran alcance para el diseño de la red y ofrecer soluciones optimizadas. WIMAX es la primera solución concebida para apoyar datos IP de manera eficiente y ser capaz de proporcionar datos de alta velocidad inalámbrica a amplias áreas; supone una mejora de la eficiencia del espectro sobre tecnologías anteriores.

Dentro de las MAN, WIMAX se considera una WMAN que a diferencia de LMTS puede operar con LOS (Línea de visión directa) y NLOS (Sin línea de visión directa), y trabajando a frecuencias menores pudiendo trabajar en bandas licenciadas y libres.

El estándar bajo el cual se desarrolla WIMAX es el IEEE 802.16. La última versión de dicho estándar es el IEEE Std802.16TM -2009 y cuenta con una corrección reciente, la IEEE 802.16mTM -2011. El alcance del estándar se basa en la capa física (PHY) y la capa MAC del modelo OSI.

Los estándares IEEE definen solo la capa física y la capa de acceso al medio; sin embargo, esto no es suficiente para asegurar la interoperabilidad de la red, suceso que dio lugar a WIMAX FORUM, que viene a ser el único organismo autorizado para certificar el cumplimiento del estándar y la interoperabilidad entre equipamientos de distintos fabricantes. Todo equipamiento que no cuente con su certificación no puede garantizar su interoperabilidad con otros productos.

Podríamos decir que estamos ante una solución de banda ancha inalámbrica que permite el despliegue de infraestructuras a un precio razonable y ofreciendo una buena calidad de servicio. Este hecho hace que la banda ancha llegue a zonas que hasta el momento no podían disponer de ellas.

2.3.3 EL FORO WIMAX (WIMAX FORUM)

El foro WIMAX fue creado en 2001 con el objetivo de certificar y promover la compatibilidad e interoperabilidad entre los productos inalámbricos de banda ancha en los estándares IEEE 802.16. La meta de este foro es acelerar la introducción de estos sistemas en el mercado. El foro WIMAX certifica productos que son completamente interoperables y soportan servicios de banda ancha fija, móvil y portátil. A lo largo de estas líneas, este foro trabaja muy de cerca con los proveedores y reguladores de este servicio, para garantizar que los sistemas satisfagan a los clientes y los requerimientos gubernamentales.

WIMAX FORUM tomó la responsabilidad de crear las directrices de una arquitectura de red WIMAX de extremo a extremo que cubre la Itinerancia y la integración con otras redes (WLAN, 3G). Estas directrices se basan en IETF RFC, estándar IEEE, DOCSIS, protocolos de seguridad y el IMS 3GPP fijo y el protocolo de convergencia móvil.

2.3.4 ARQUITECTURA WIMAX

Este modelo de red prevé una arquitectura de red unificada basada en un modelo de servicio IP. La red global puede ser modelada en tres partes:

- Estaciones móviles (MS): utilizadas por el usuario final para acceder a la red
- La red de servicio de acceso (ASN) que comprende una o más estaciones base y una o más puertas de enlace ASN que forma la red de acceso radio en el borde.
- Red de servicio de conectividad (CSN), que proporciona conectividad IP y todas las funciones de la red de núcleo IP.

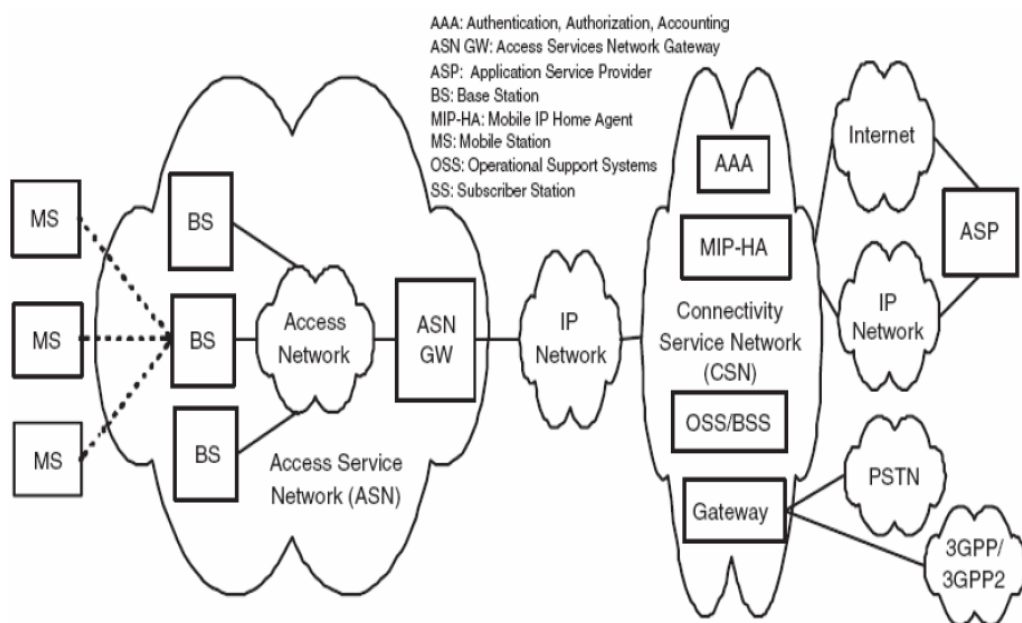


Figura 7: estructura de una red WIMAX basada en IP

El modelo de red desarrollado por el WIMAX FORUM permite un número de entidades funcionales e interfaces entre las entidades, a continuación se describen algunas de las entidades funcionales más importantes:

- **Estación base (BS):** la estación base es la responsable de proporcionar la interfaz de aire a la MS. En la estación base se pueden realizar funciones adicionales de gestión de movilidad, de gestión de recursos de radio, de aplicación de la política de calidad de servicio, de clasificación de tráfico, DHCP.
- **DHCP (Dinamic Host Control Protocol) de proxy:** gestión de claves, gestión de sesiones y la gestión de recursos multicast.
- **Red de servicio de conectividad (CSN):** es el núcleo de la red WIMAX proporciona conectividad a internet, ASP, otras redes públicas y redes corporativas. El CSN incluye el router, registro de localización, agente de hogar y AAA (authentication, authorization, and accounting). El router conecta el CSN con otros módulos. El CSN proporciona al usuario la gestión de políticas de seguridad y calidad de servicio, el CSN también es responsable de la gestión de direcciones IP, el apoyo a la Itinerancia entre diferentes NSP, gestión de ubicación entre ASN, y la movilidad y el roaming entre ASN.
- **Pasarela de acceso al servicios (ASN-GW):** se encarga de los siguientes aspectos de la red:
 - Compartir la carga de tráfico entre las estaciones base. El ASN-GW puede ayudar en el reparto de carga de una estación base sirviendo con otras estaciones base adjuntas y asegurar nuevos suscriptores con QoS garantizado.
 - Mejora de la movilidad en ASN y el nivel de CSN para el uso eficiente del espectro radioeléctrico y los recursos de la red. El traspaso puede recurrir en diferentes tramos espectrales de ASN o CSN. En ambos casos el papel de control de ASN-GW y el plano portador es crucial para la conectividad de red eficaz y suave.
 - Contabilidad y facturación de la red WIMAX: ASN-GW puede participar efectivamente en contabilidad y facturación en ASN, así como en el nivel de CSN.

2.3.5 CARACTERÍSTICAS WIMAX

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 enumeran a continuación:

- **Capa física basada en OFDM:** la modulación OFDM presenta muchos beneficios que no se presentan en otras modulaciones previas a esta y permite que las redes inalámbricas transmitan eficientemente en pequeños anchos de banda, un esquema que ofrece buena resistencia a las multitrayectorias e interferencias. Esta modulación se caracteriza en dividir la señal de banda ancha en un número de señales de banda reducida. La modulación OFDM es un caso especial de modulación multiportadora, en donde múltiples datos son transmitidos en forma paralela utilizando diferentes subportadoras con bandas de frecuencias solapadas ortogonalmente. Una característica de OFDM es el superar los problemas de propagación que presenta el NLOS. Las señales OFDM tienen la característica de ser capaces de operar con retardos de propagación en los NLOS y de ser un esquema muy robusto frente al multitrayecto, atenuaciones e interferencias. Además de tener la capacidad de poder operar con un retardo de ensanchamiento más grande en el ambiente NLOS. Una ventaja muy importante es que es más sencillo modular señales portadoras individuales OFDM que modular una simple portadora ensanchada.
- **Altas tasas de datos:** WIMAX es capaz de soportar altas tasas de datos. De hecho, las velocidades que puede alcanzar la capa física (PHY) llega a ser de 74 Mbps cuando opera con un espectro de frecuencia de 20 MHz de ancho de banda de canal. Comúnmente, cuando se usa un espectro de 10 MHz de ancho de canal con un esquema de tres a uno en el canal de bajada y el de subida respectivamente, las velocidades que se alcanzan son de 25 Mbps para el alcance de bajada y 6,5 Mbps para el de subida. Estas velocidades de pico de datos son alcanzadas cuando se usa una codificación 64QAM con un índice de corrección de errores de 5/6. Para condiciones buenas de la señal se podrán alcanzar velocidades mayores, así como usando múltiples antenas y multiplexación espacial.
- **Escalabilidad en el ancho de banda y la tasa de datos soportada:** WIMAX tiene una arquitectura de capa física escalable, lo que permite que la tasa de datos sea escalable con la disponibilidad del ancho de banda en los canales. Esta escalabilidad se soporta en el modo OFDM, donde el tamaño de la transformada rápida de Fourier debe estar basado en el ancho de banda disponible en el canal. Esta escalabilidad debe hacerse dinámicamente para soportar el roaming de usuarios a través de las diferentes redes que podrán tener anchos de banda diferentes.
- **Modulación y codificación adaptativa (AMC):** WIMAX soporta un número de esquemas de modulación y de mecanismos de corrección de errores (FEC) y permite que el esquema sea cambiado por el usuario y por una estructura básica basada en condiciones de canal (SNR). Es un mecanismo efectivo para maximizar el caudal de un canal variable en el tiempo.
- **Retransmisiones en la capa de enlace:** para las conexiones que requieren una alta fiabilidad, WIMAX soporta solicitud automática de retransmisiones en la capa de enlace (ARQ), protocolo utilizado para el control de errores en la transmisión de datos, garantizando la integridad de los mismos en la capa de enlace. Este protocolo requiere

que los paquetes transmitidos sean asentidos por el receptor mediante un acuse de recibo (ACK), los paquetes que no son asentidos se consideran perdidos y se retransmiten.

- **Soporta multiplexaciones en tiempo (TDD) y en frecuencia (FDD):** en los estándares IEEE 802.16d y 802.16e se soporta tanto Time División Dúplex (TDD) como Frequency División Dúplex (FDD), y permite un modo Half Dúplex FDD (HD-FDD), lo que permite una implementación de bajo coste del sistema. En la mayoría de las implementaciones se utiliza TDD debido a sus ventajas:
 - Flexibilidad al elegir la razón entre las velocidades de subida y las de bajada.
 - Habilidad para explotar la reciprocidad del canal.
 - Habilidad para implementarse en un esquema no pareado.
 - Diseño del transductor menos complejo.
 - Todos los perfiles WIMAX están basados en TDD, exceptos los dos fijados en 3,5 GHz.
- **Acceso múltiple por división en frecuencia ortogonal (OFDMA):** el estándar del 802.16e (WIMAX móvil) usa OFDMA, el cual es similar a OFDM puesto que divide la señal en múltiples subportadoras. Sin embargo, OFDMA va un paso más allá agrupando subportadoras en subcanales. Una sola estación cliente del suscriptor podría usar todos los subcanales dentro del periodo de transición o los múltiples clientes podrían transmitir simultáneamente usando cada uno una porción del número total del subcanales.
- **Soporta técnicas avanzadas de antenas:** WIMAX permite el uso de técnicas de basadas en múltiples antenas como Beamforming, codificación, espacio-tiempo y multiplexación. Estos esquemas pueden ser utilizados para mejorar la capacidad total del sistema y su eficiencia espectral mediante el uso de múltiples antenas en el transmisor y/o receptor.
- **Soporta calidad de servicio (QoS):** la capa MAC de WIMAX se orienta a conexión, diseñada para admitir una variedad de aplicaciones, incluyendo servicios multimedia y de voz. El sistema soporta tasas de bit constantes y tasas de bit variables, soporta flujo de datos en tiempo real, así como lo que no lo son. WIMAX está diseñado para soportar un gran número de usuarios con múltiples conexiones por terminales, cada uno con sus propios requisitos de calidad de servicio.
- **Seguridad robusta:** WIMAX admite una gran encriptación usando AES, que es un esquema de cifrado por bloques y tiene un protocolo robusto de privacidad y de gestión de claves. Además el sistema ofrece una arquitectura flexible de autenticación basada en el protocolo EPA, el cual permite una gran variedad de credenciales de usuarios,

incluyendo el esquema de usuarios/password, certificados digitales y tarjetas inteligentes.

- **Soporta movilidad:** la variación WIMAX móvil tiene un mecanismo para soportar trasposos seguros y ahorro de energía para alargar la duración de la batería de los dispositivos portátiles. También se añaden mejoras en el nivel físico, como una estimación más frecuente del canal, subcanalización del enlace de subida, y de control de energía.
- **Arquitectura basada en IP:** el WIMAX fórum a definido una arquitectura de red basadas en plataformas IP como se pudo apreciar en la figura 7, en la que todos los servicios punto a punto son integrados sobre una arquitectura IP, dependiendo de los protocolos basados en IP para el transporte punto a punto, QoS, administración de la sesión, seguridad y movilidad. Esto facilita la convergencia con otras redes y explota el rico ecosistema para el desarrollo de aplicaciones basadas en IP.

2.3.6 APLICACIONES DE WIMAX

Las aplicaciones que utilizan una solución inalámbrica WIMAX pueden ser clasificadas como punto multipunto-punto, mesh y móviles. Las conexiones punto multipunto incluyen por ejemplo:

- Conectividad entre edificios empleando un backhaul.
- Banda ancha para zonas residenciales y pequeñas oficinas u oficinas en el hogar (SOHO)
- Servicios TI simétrico para empresas de negocios.
- Servicios TI fraccionados para pequeñas o medianas empresas.
- Backhaul inalámbrico para hotspot WIFI.

En los sistemas inteligentes de transporte (ITS), caracterizados por largas distancias y múltiples saltos en la comunicación, las redes mesh son buenas candidatas para soportar varios tipos de aplicaciones ITS. Las aplicaciones móviles que se pueden considerar son por ejemplo:

- Conectividad para usuarios en autobuses a través de un hotspot.
- Conexión en automóviles, para brindar servicios de localización y mantenimiento a distancia.
- Servicio de conectividad en trenes, etc.

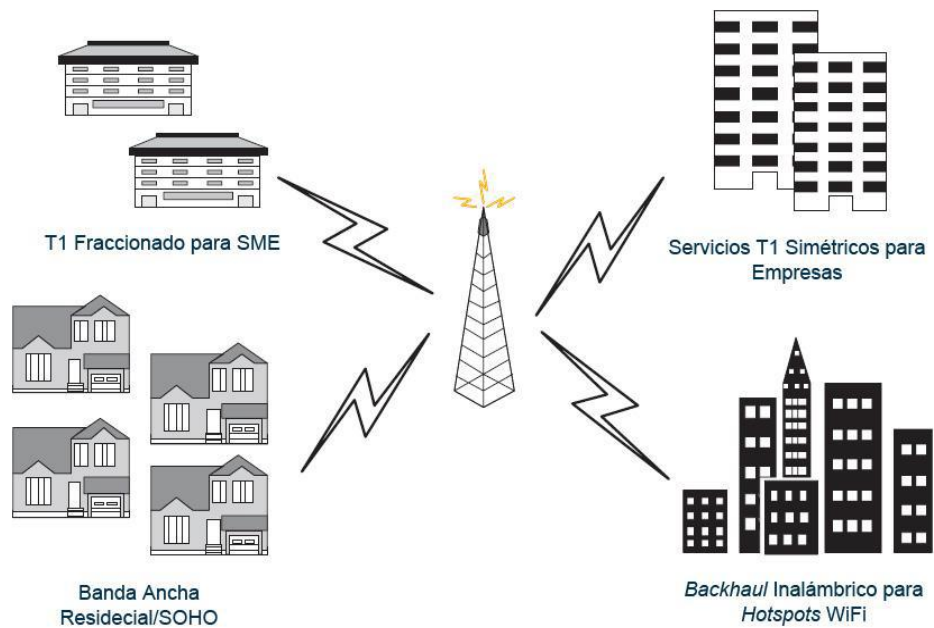


Figura 8: aplicaciones WIMAX

2.3.6.1 SISTEMAS PUNTO-MULTIPUNTO

Supone una de las más grandes aplicaciones WIMAX, probablemente es el acceso de banda ancha en zonas residenciales, SOHO y mercados. Los servicios de banda ancha de WIMAX fijo pueden incluir acceso a internet de alta velocidad, servicios de telefonía mediante VoIP y un sin número de otras aplicaciones basadas en internet. Estas ventajas incluyen menor conste, el rápido y fácil despliegue, reutilización, la habilidad de reconstruir la red de acuerdo a las necesidades, menores costes de operación, administración y mantenimiento de la red.

Desde la perspectiva de un CPE (*Costumer Premier Equipment*), dos tipos de despliegue de modelos pueden ser implementados para los servicios de banda ancha inalámbrica fija. Un modelo requiere la instalación de una antena exterior del lado del cliente; el otro utiliza un radio módem con la antena incluida, que el cliente puede instalar en el interior, como instalación tradicional de DSL o Cable módem.

Utilizando antenas exteriores se mejora el alcance de radio, y por lo tanto el rendimiento del sistema. Este modelo permite coberturas de áreas más grandes por parte de la BS. Sin embargo, una antena exterior implica costes más grandes del lado de la SS. Por otro lado, una instalación interior del lado del cliente, permitirá también un modelo de negocios que puede explotar la venta por mayoría y distribución del canal, y ofrecer a los clientes una variedad de opciones.

Una gran oportunidad para WIMAX fijo en los mercados desarrollados, es como una solución competitiva para servicios T1/E1, servicios T1/E1 fraccionados, o servicios de mayor velocidad para el mercado empresarial. Dado que solo una pequeña proporción de edificios comerciales en el mundo tiene acceso a redes de fibra óptica. En el mercado de los negocios hay una demanda de servicios T1/E1 simétricos, que tanto DSL y Cable Módem

no han podido satisfacer hasta ahora, debido principalmente a los requerimientos técnicos. Las soluciones de banda ancha fija utilizando WIMAX, pueden competir potencialmente en este mercado y pueden ser mejores opciones sobre las soluciones de línea terrestre, en términos de comercialización, precio y abastecimiento dinámico de ancho de banda.

Otra oportunidad interesante para WIMAX en el mundo desarrollado es el potencial que tiene para servir como conexiones backhaul inalámbrica, en el floreciente mercado de los hotspot WIFI.

También, en aquellos países que cuentan con una buena infraestructura cableada, la banda ancha inalámbrica fija es más probable que se utilice en áreas rurales sin servicio, ya que las instalaciones de cable tradicionales son más costosas. La alternativa es utilizar la banda ancha inalámbrica fija, como backhaul inalámbrico para hotspot WIFI y así poder satisfacer las necesidades de comunicación de dichas áreas.

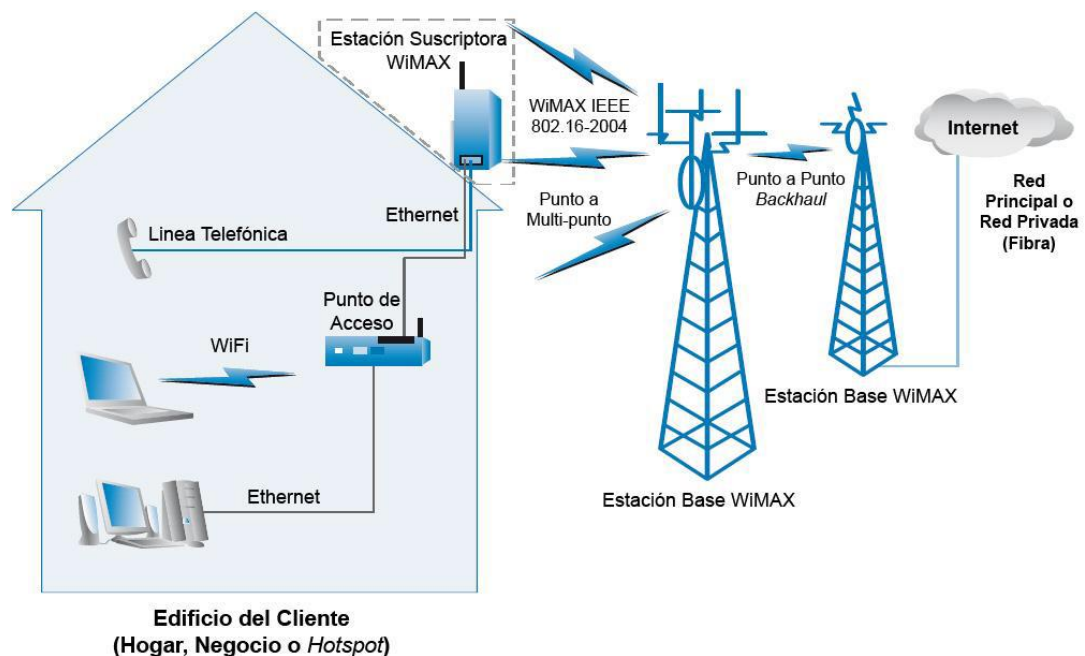


Figura 9: arquitectura sistemas punto-multipunto

2.3.6.2 SISTEMAS MESH

Otra oportunidad para las redes WIMAX fijo son las redes mesh (figura 10). Las aplicaciones PMP son una topología centralizada, donde la BS es el centro del sistema. Por el contrario, en una red mesh esto no es así. Los elementos que componen una red mesh son llamados nodos; por ejemplo, una SS en una red mesh es un nodo.

En una red mesh cada nodo puede crear su propia comunicación con otro nodo vecino de la red. Así, en una red mesh cada nodo puede actuar como un Router simple. Esto no restringe la comunicación de las SS's solamente con la BS. De este modo, la mayor ventaja de las

redes mesh, es que el alcance de un BS puede ser mucho mayor dependiendo del número de saltos hasta la SS más distante. Esto trae la habilidad de poder rodear grandes obstáculos como montañas la cual puede bloquear una SS del alcance de un BS.

Cada nodo de una red mesh puede tener varios vecinos, creando múltiples rutas para la comunicación entre dos dispositivos. Es por ello que las redes mesh son tolerantes a fallas, es decir, que si falla un nodo de la red o si una interferencia ocurre entre una conmutación, la red continua operando. Simplemente los dos son enviado a lo largo de una ruta alterna. Por otro lado el empleo de una red mesh trae consigo el estudio de otro tema de investigación. El enrutamiento de las redes ad-hoc.

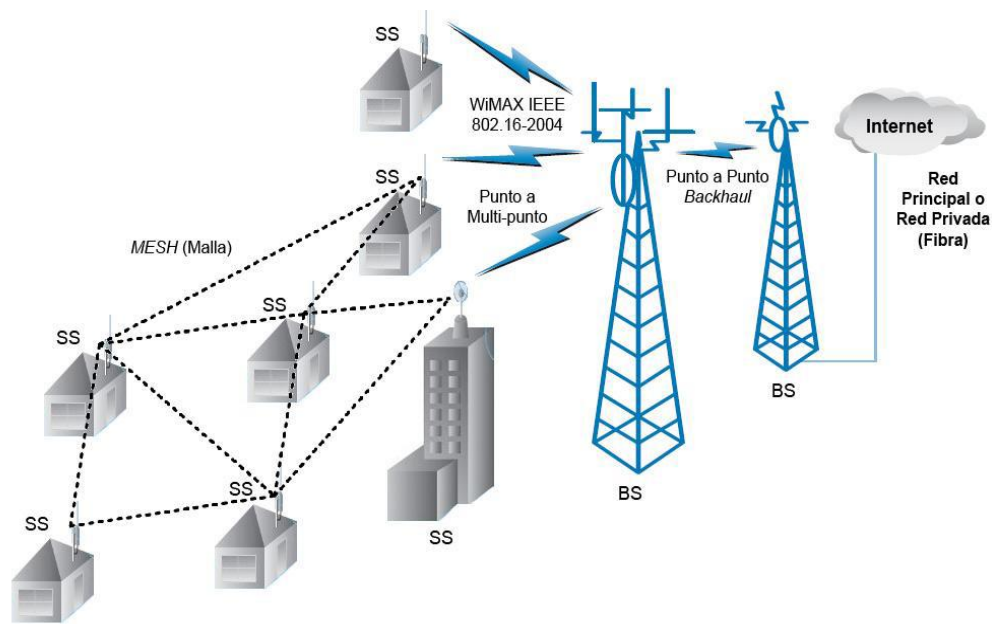


Figura 10: arquitectura servicios *mesh*

2.3.6.3 SISTEMAS MÓVILES

Aunque los despliegues iniciales de WIMAX son probablemente para aplicaciones fijas, el potencial completo de WIMAX será realizado sólo cuando se use innovadoras aplicaciones de banda ancha móvil, como se muestra en la figura 11. Como los usuarios finales están acostumbrados a la banda ancha de alta velocidad en el hogar y en el trabajo, demandarán servicios similares en el contexto móvil y muchos proveedores de servicios podrán utilizar WIMAX para satisfacer esta demanda.

Proveyendo servicios WIMAX a los dispositivos portátiles, se permite a los usuarios disfrutar de la experiencia de la banda ancha no solo en el hogar o en el trabajo, sino también en otras ubicaciones. Los usuarios podrán llevar su conexión de banda ancha con ellos, al mismo tiempo que se mueve de un lugar a otro.

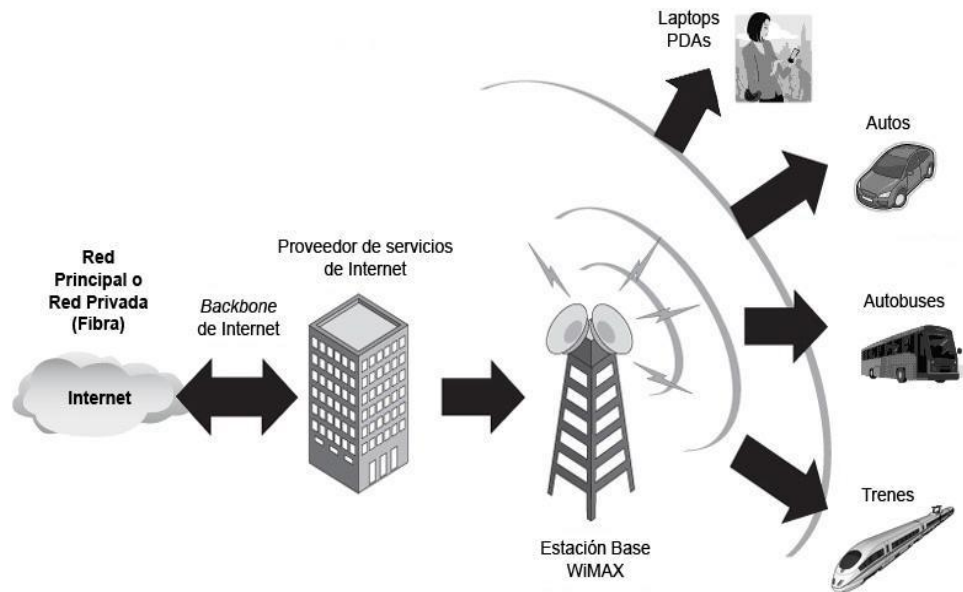


Figura 11: arquitectura sistemas móviles

2.3.7 CAPA FÍSICA DE WIMAX

La capa física es la responsable de todas las características físicas de transmisión (por ejemplo: procesamiento de bits y modulación). En WIMAX la capa física está basada en Multiplexado por división Ortogonal en Frecuencia (OFDM), lo que permite que WIMAX opere en el modo NLOS, además de ofrecer buena resistencia a múltiples trayectorias. El OFDM es un esquema de transmisión que permite la transferencia de datos, vídeos y multimedia a alta velocidad y es utilizado en sistemas de banda ancha como lo son DSL, WIFI, etc. Es un esquema eficiente para una tasa de transmisión de datos muy alto en un ambiente NLOS o un radio de múltiples trayectorias.

FDM es una técnica de transmisión en la que numerosas señales se transmiten simultáneamente en una sola línea de comunicación a través de múltiples frecuencias. A cada señal se le asigna un rango de frecuencias diferentes dentro del canal principal (subportadora); se coloca una separación entre las subportadoras para evitar la superposición de señales. Esta banda de protección se denomina banda de guarda y suele ser más grande que el canal de información.

Existe interferencia debido a que la frecuencia central de un canal se ve afectada por las bandas laterales de los canales adyacentes. Las tecnologías ortogonales tratan de mitigar este problema mediante el aumento de la distancia entre las frecuencias de canal y mediante el uso de filtros para aislar los canales adyacentes.

Las tecnologías ortogonales resuelven este problema acercando aún más las frecuencias de los canales. Este enfoque aparentemente contradictorio explota el hecho de que la

modulación de una sola frecuencia presenta en su espectro de señales digitales picos y ceros con frecuencias definidas. La colocación de los picos de los canales en los ceros de los canales adyacentes evita la interferencia entre frecuencias, proporcionando así una mayor capacidad y mayor eficiencia de espectro. Debido a este concepto de trabajo, la distancia entre las frecuencias ortogonales debe ser un múltiplo entero de la frecuencia base.

OFDM es básicamente una tecnología FDM (Multiplexado por División en Frecuencia) en el que se aplica el concepto de ortogonalidad para definir la distancia entre portadoras adyacentes. Una portadora OFDM utiliza frecuencias subportadoras que son múltiplos enteros de la separación entre ocurrencias de nivel cero, que son inversamente proporcional a la duración del símbolo transmitido.

Las tecnologías tradicionales 2G y 3G utilizan un ancho de banda de canal fijo único mientras que WIMAX permite el uso de múltiples ancho de banda de canal, variando de 1,25 MHz a 20 MHz, permitiendo que la configuración de la red sea ajustable de acuerdo a los servicios proporcionados y a la disponibilidad del espectro.

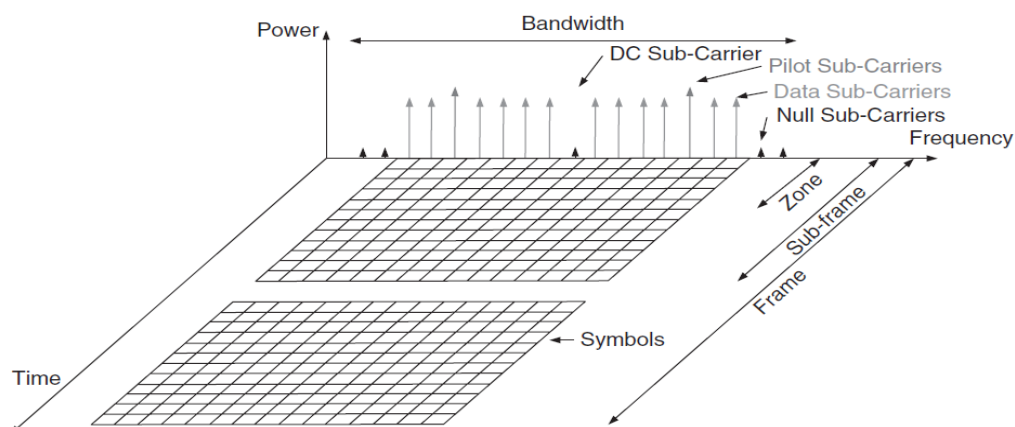


Figura 12: portadora OFDM

2.3.7.1 PARÁMETROS OFDM EN WIMAX

Las versiones fijas y móviles en WIMAX tienen diversas implementaciones de OFDM en la capa física. Para WIMAX fijo basado en la norma IEEE 802.16-2004 se usa una capa física basada en OFDM con una FFT de 256 subportadoras de tamaño. Para WIMAX móvil, basada en la norma IEEE 802.16-2005, se usa una capa física basada en OFDM variable. En el caso de WIMAX móvil el tamaño de la FFT puede variar entre 128 hasta 2048 subportadoras.

Capa física WIMAX fijo (OFDM-PHY): para esta versión el tamaño de la transformada de Fourier está basada en 256 subportadoras, de las cuales 192 son subportadoras para transportar datos, 8 son usadas como subportadoras piloto para propósitos relacionados con

la estimación y la sincronización de canal, y el resto son usadas como subportadoras de la banda de guarda. Puesto que el tamaño de la FFT es fijo, el espacio entre subportadoras varía con el ancho de banda del canal. Cuando se utiliza grandes anchos de banda el espacio entre subportadoras aumenta y el tiempo de estimación disminuye. Que el tiempo de estimación disminuya significa que será necesario asignar una mayor fracción de tiempo de guarda con el propósito de superar la difusión de retardos. WIMAX permite una gran variedad de tiempo de guarda, lo que permite a los diseñadores de los sistemas realizar intercambios entre la eficiencia espectral y la robustez frente a la difusión por retardo. Para alcanzar la máxima robustez frente a la difusión de retardo se puede usar el 25% de la banda de guarda.

Capa física WIMAX móvil (OFDMA-PHY): el tamaño de la FFT puede variar entre 128 y 2048 subportadoras. En este caso cuando el ancho de banda aumenta el tamaño de la FFT también va en aumento para mantener constante el espacio entre subportadoras (10,94 KHz); esto mantiene la duración el símbolo OFDM fijo y por tanto las capas superiores no se tendrás que preocupar de eso. El espacio 10,94 KHz fue elegido como un buen equilibrio para satisfacer el retardo de propagación y el efecto Doppler así como operar en entornos mixtos (móviles y fijos). Este espacio entre subportadoras puede soportar un retardo de hasta 20 μ s y una movilidad de hasta 125 km/h cuando opera en 3,5 GHz. El espacio entre subportadoras de 10,94 KHz implica que se usen FFT de 128, 512, 1024 y 2048 bits cuando el ancho de banda del canal es de 1,25 MHz, 5 MHz, 10 MHz y 20 MHz respectivamente. Sin embargo, WIMAX puede incluir otros perfiles de ancho de banda adicionales.

Parámetros	WIMAX fijo	WIMAX móvil			
Tamaño FFT	256	128	512	1024	2048
Numero de subportadoras de datos	192	72	360	720	1440
Numero de subportadoras piloto	8	12	60	120	240
Numero de subportadoras de guarda	56	44	92	184	368
Periodo de guarda	1/32, 1/16, 1/8, 1/4				
Tasa de muestreo	Dependiente del ancho de banda: 7/6 para 256 OFDM, 8/7 para múltiplos de 1,75MHz, y 28/25 para múltiplos de 1,25MHz, 1.5MHz, 2MHz o 2,75MHz				
Ancho de banda de canal(MHz)	3,5	1,25	5	10	20
Espacio subportadoras(KHz)	15,625	10,94			
Tiempo útil de símbolo	64	91,4			
Tiempo de guarda	8	11,4			
Duración del símbolo OFDM	72	102,9			
Numero de símbolos OFDM en tramas de 5 ms	69	48			

Tabla 5: parámetros para las capas físicas

2.3.7.2 SUBCANALES EN OFDMA

En OFDMA se pueden dividir las subportadoras divisibles en varios grupos denominados subcanales. WIMAX fijo basado en una capa física OFDM solamente permite una forma limitada de supercanalización en el enlace ascendente. El estándar define 16 subcanales donde se pueden asignar 1, 2, 4, 8, o todos los conjuntos a una estación de abonados en el enlace ascendente.

La subcanalización del enlace ascendente de WIMAX fijo permite a las estaciones de abonados transmitir utilizando únicamente una fracción del ancho de banda que le asigna la estación base, lo que proporciona mejoras económicas en el enlace que se puede utilizar para aumentar el rendimiento y/o mejorar la duración de las baterías de las estaciones de abonado. Un factor de subcanalización de 1/16 proporciona una mejora de 12 dB en el enlace.

Sin embargo, la versión móvil de WIMAX, cuya capa física está basada en OFDMA, permite subcanalizar tanto en el enlace ascendente como en el enlace descendente, y aquí los canales forman la unidad mínima de recursos de frecuencia asignados por la estación base. Por lo tanto se puede asignar subcanales diferentes a usuarios diferentes como un mecanismo de acceso múltiple. Este mecanismo de acceso se llama acceso múltiple por división en frecuencia ortogonal (OFDMA) que da nombre a la capa física de WIMAX móvil. Se puede construir subcanales utilizando subportadoras contiguas o subportadoras distribuidas pseudo-aleatoriamente en el espectro de frecuencia. Los subcanales formados utilizando subportadoras distribuidas proporcionan más diversidad frecuencial, lo que resulta especialmente útil para aplicaciones móviles.

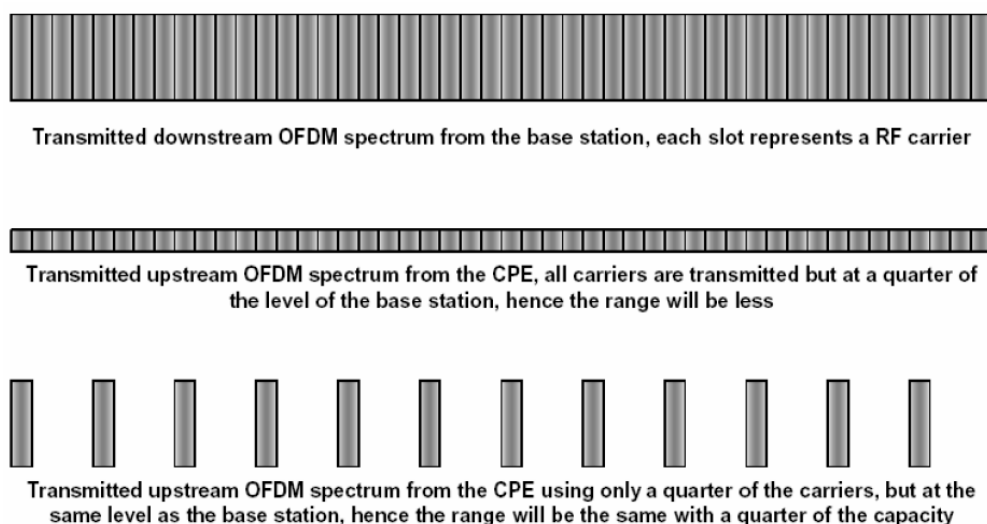


Figura 13: Efectos de subcanalización

El esquema de subcanalización WIMAX basado en subportadoras contiguas se llama banda adaptativa de modulación y codificación (AMC). Aunque se pierde la diversidad frecuencial, la banda AMC permite diseñar el sistema con el fin de explotar la diversidad

de usuarios, asignando los subcanales a los usuarios basándose en su respuesta frecuencial. La diversidad de multiusuarios puede proporcionar una ganancia significativa en toda la capacidad del sistema, si el sistema procura proporcionar a cada usuario un subcanal que maximice su relación de señal a ruido más interferencia (SINR). En general, la subcanalización basada en subportadoras contiguas es más apropiada para aplicaciones fijas o con poca movilidad.

2.3.7.3 MODULACIÓN Y CODIFICACIÓN

WIMAX soporta una variedad de modulación y codificación que permite que el esquema cambie de cada ráfaga básica, dependiendo de las condiciones del canal. La estación base puede medir la calidad del enlace ascendente y descendente de cada usuario y así asignarle una modulación y una codificación que maximice la tasa de transferencia para la proporción señal ruido disponible.

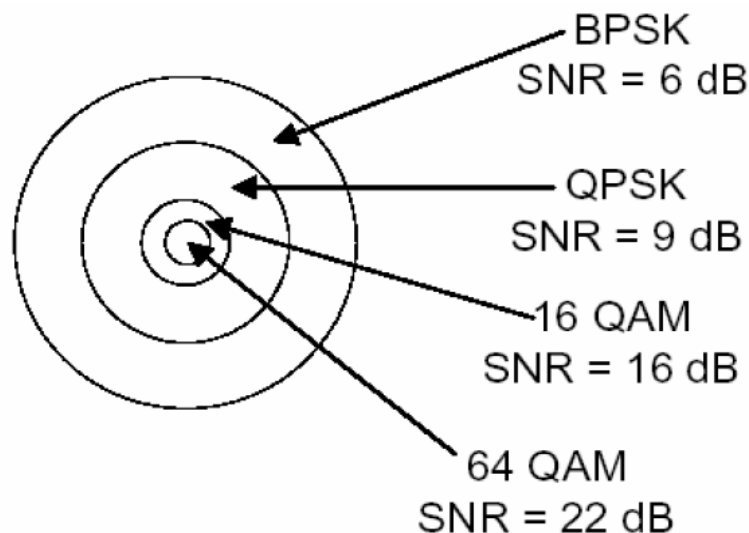


Figura 14: modulación adaptativa la SNR

Por tanto la modulación adaptativa incrementa significativamente la capacidad de todo el sistema, y permite la compensación en tiempo real entre la tasa de transferencia y la robustez de cada enlace. En la siguiente tabla se muestra una lista de varios modelos de modulación y codificación en WIMAX. En el enlace descendente las modulaciones QPSK, 16QAM y 64QAM son obligatorias para WIMAX fijo y móvil, mientras que en el enlace ascendente la modulación 64QAM es opcional. La codificación FEC es obligatoria si usamos códigos convolucionales. Un total de 52 combinaciones de esquema de modulación y codificación están definidas en WIMAX.

	Down link		Up link	
Modulación	Obligatorios	Opcionales	Obligatorios	Opcional
	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	BPSK para OFDMA-PHY	BPSK, QPSK, 16QAM	64QAM
Codificación	Códigos convolucionales de tasas: 1/2, 2/3, 3/4, 5/6	• Códigos convolucionales de tasas: 1/2, 2/3, 3/4, 5/6. • Códigos de repetición de tasas: 1/2, 1/3 y 1/6. • LDPC, código RS para OFDM-PHY	Códigos convolucionales de tasas: 1/2, 2/3, 3/4, 5/6.	• Códigos convolucionales de tasas: 1/2, 2/3, 3/4, 5/6. • Códigos de repetición de tasas: 1/2, 1/3 • LDPC

Tabla 6: modulación y codificación en WIMAX

2.3.8 CAPA MAC DE WIMAX

2.3.8.1 INTRODUCCIÓN

La definición de los servicios y características soportadas por la tecnología de acceso inalámbrico de banda ancha está contemplada en el protocolo IEEE 802.16 mediante las especificaciones correspondientes a las capas de control de acceso al medio (MAC) y física (PHY). Esta es una tecnología, cuya arquitectura punto-multipunto a través de un canal compartido, requiere de un mecanismo eficiente de acceso al medio capaz de soportar distintos niveles de servicio para el transporte de la información con retrasos mínimos y un máximo desempeño de distribución de ancho de banda para cada una de las estaciones transmisoras. Esto requiere de técnicas que permitan ofrecer distintas propiedades para cada una de las conexiones establecidas, pero que sea capaz de garantizar, a todas ellas, oportunidades de transmisión exitosas.

El protocolo IEEE 802.16 atiende a estas necesidades mediante la descripción del funcionamiento de la capa MAC. El esquema presentado consiste en el envío periódico de mensajes de control desde la estación base (BS, Base Station) que determina el tipo de transmisión que podría realizarse durante un intervalo futuro. Este método se lleva a cabo mediante la combinación de TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo) y DAMA (Acceso Múltiple por División de Demanda). La combinación de ambos mecanismo permite alcanzar tasas de transferencia máxima que fluctúan entre 32 y 130 Mbps dependiendo del

ancho de banda del canal y de la técnica de modulación. Para obtener la tasa de transmisión de un canal SC (*Single Carrie*) se utiliza la siguiente expresión:

$$R = \frac{m * BW}{1 + factor\ roll_of}$$

Donde m es el número de bits por símbolo de acuerdo a la modulación empleada (1 para BPSK, 2 para QPSK, 4 para 16QAM y 6 para 64QAM), BW es el ancho de banda del canal y el $factor\ roll_off = 0,5$ es un parámetro de exceso de ancho de banda para redes inalámbricas.

2.3.8.2 CARACTERÍSTICAS DE LA CAPA MAC

Esta es la otra capa característica del protocolo IEEE 802.16, fue diseñada para accesos a las aplicaciones PMP (Punto a Multipunto) de banda ancha de muy alta tasa de datos y con una variedad de requisitos de calidad de servicios (QoS), por lo que podemos afirmar que está orientada a conexión.

La principal función de la capa MAC de WIMAX es proporcionar un interfaz entre la capa de transporte y la capa física. La capa MAC toma los paquetes de la capa inmediatamente superior, estos paquetes se llaman MAC Service Data Units (MSDUS's) y los organiza dentro de los paquetes denominados MAC Protocol Data Units (MPDU's) para transmitirlos por el aire. Para la recepción la capa MAC hace lo mismo pero en sentido contrario.

Permite que el mismo terminal sea compartido por múltiples usuarios. Lo que hace flexible a este sistema es el uso de algoritmos que permiten que cientos de usuarios finales puedan tener distintos requisitos de ancho de banda y de retado.

Esta capa también se encarga de manejar las necesidades de tener una tasa de bits alta, como para el enlace descendente como para el enlace ascendente.

El sistema ha sido diseñado para incluir multiplexación por división del tiempo de voz y datos, protocolo de internet, y voz sobre IP (VoIP).

El protocolo IEEE 802.16 debe soportar los variables requisitos de conectividad, como el modo de transferencia asíncrona (ATM) y protocolo basado en paquetes.

La capa MAC, que es la encargada de coordinar el acceso al medio, está compuesto por tres subcapas:

- Subcapa MAC de convergencia (CS): es la encargada de adaptar las unidades de datos de protocolos de alto nivel al formato MAC SDU y viceversa. Es decir que se encarga de transformar los datos de las redes externas y pasarlas a la subcapa MAC común convertidos en unidades de datos del servicio o SDU (Service Data Units), que son las unidades de datos que se refieren entre capas adyacentes. Se encuentra sobre la subcapa

MAC común y utiliza los servicios proveídos por esta. También se encarga de clasificar las SDU's de la capa MAC entrantes a las conexiones a las que pertenecen.

- Subcapa MAC común (MAC CPS): es el núcleo de toda la paca MAC, provee los servicios de acceso al sistema, asignación de ancho de banda, establecimiento y mantenimiento de la conexión y se establece las unidades de protocolo o PDU (Protocol Data Units). También se encarga de hacer el intercambio de la unidad de servicios de datos de la capa MAC (SDU) con la capa de convergencia. En esta subcapa se prestan los servicios de planificación que representan los mecanismo de manipulación de datos soportados por el planificador de la MAC para el transporte de datos en una conexión, cada una de las cuales está asociada a un solo servicio de datos el cual a su vez, está asociado a unos parámetros de calidad de servicio (QoS) que son quienes determinar su comportamiento. Existen cuatro tipo de servicio:
 - Conexión no solicitada (UGS)
 - Polling en tiempo real (rtPS)
 - Polling no en tiempo real (nrtPS)
 - Mejor esfuerzo (BE)
- Capa MAC de seguridad: presta los servicios de autenticación, intercambio seguro de claves y cifrado. Permite proveer a los usuario un servicio de banda ancha seguro a través de su conexión fija mediante el cifrado de las conexiones, y al operador protegerse contra las conexiones no autorizadas forzando el cifrado. La subcapa de seguridad es la encargada de autenticación, establecimiento de claves y encriptación. Es en él en donde se realiza el intercambio de los PDU's de la MAC con la capa física.

2.3.8.3 MECANISMO DE ACCESO AL MEDIO

En WIMAX, la capa MAC es la responsable de asignar un ancho de banda a todos los usuarios tanto en el enlace ascendente como en el enlace descendente. La única vez en la que la estación móvil tiene algún control de la asignación de ancho de banda es cuando tiene sesiones o conexiones múltiples con la estación base. En esta caso, la estación base asigna un ancho de banda a la estación móvil en conjunto, y depende de esta última al repartirlo entre las conexiones múltiples que tiene. La estación base hace toda la demás planificación en el enlace ascendente y descendente. Para el enlace descendente, la estación base puede asignar un ancho de banda a la estación móvil, basada en las necesidades del tráfico entrante, sin implicar a la estación móvil. Sin embargo, para el enlace ascendente las asignaciones deben estar basadas en peticiones de la estación móvil.

El estándar WIMAX contiene varios mecanismos por lo que una estación móvil puede solicitar y obtener ancho de banda en el enlace ascendente. Según los parámetros de calidad

de servicio y tráficos particulares asociados con un servicio, la estación móvil puede utilizar uno o más de estos mecanismos. La estación base asigna recursos dedicados o compartidos periódicamente a cada estación móvil, que puede utilizar para solicitar un ancho de banda. A este proceso se le llama Polling o sondeo. Se puede realizar sondeo tanto individualmente (unicast) como en grupo (multicast). Se hace sondeo multicast cuando hay ancho de banda suficiente para sondear a cada estación móvil individualmente. Cuando se haga sondeo multicast, la ranura asignada para hacer peticiones de ancho de banda es una ranura compartida, la cual cada estación móvil sondeada intenta usar. Por ello WIMAX define un acceso por contienda y un mecanismo de resolución para cuando más de una estación móvil pretenden utilizar la ranura compartida. Si ya tiene una asignación para el tráfico a enviar, la estación móvil no se sondea. En su lugar se permite que solicite más ancho de banda mediante tres métodos: el primero es transmitiendo una petición de ancho de banda autónoma MPDU; el segundo método es enviando una petición de ancho de banda por el canal de extensión; y por último, mediante la utilización de forma fraudulenta de un ancho de banda solicitado el paquete MAC genérico.

2.3.8.4 CALIDAD DE SERVICIO

Uno de los factores más importantes en el diseño de la capa MAC es la calidad de servicio QoS. Algunas de las ideas para el diseño de las técnicas de QoS se sacan del estándar del cable módem DOCSIS, consiguiendo un fuerte control de la QoS utilizando una arquitectura MAC orientada a conexión en la que la estación base controla todas las conexiones de los enlaces ascendente y descendente.

Cuando se establece una conexión se negocian los parámetros de calidad de servicio (QoS) y de esta forma se pueden prever las necesidades de velocidad para ofrecer un mejor servicio.

Antes de que ocurra cualquier transmisión de datos la estación base y la móvil establecen un enlace lógico unidireccional entre las dos capas MAC, a dicho enlace se le denomina conexión.

2.3.8.4.1 FLUJO DE SERVICIO

Un flujo de servicio es un transporte unidireccional de paquetes en capa MAC, ya sea en el canal *uplink* o en el canal *downlink*. También puede existir sin estar activado para transportar tráfico. Los flujos de servicios están caracterizados por un conjunto de parámetros de QoS, tales como la latencia, *jitter* y *throughput* garantizado. Con el propósito de estandarizar la operación entre la SS y la BS, estos atributos incluyen detalles de cómo las SS's solicitan asignación de ancho de banda en el canal *uplink* el comportamiento esperado de *scheduler* en la BS.

Una característica importante de un flujo de servicio, es que tiene un identificador de 32bits (SFID) que es asignado a cada flujo de datos existente. SFID sirve como el principal

identificado para los flujos de servicios en la red. Un flujo de servicios tiene por lo menos un SFID, una dirección asociada (*uplink o downlink*). Los flujos de servicios también están caracterizados por estar mapeado con una conexión, es decir, tiene asociados un CID de 16bits, sólo cuando el flujo de servicio fue admitido por el mecanismo de Control de Acceso (CA) y está activo.

Los flujos de servicio tienen básicamente tres estados:

- **Provisional:** en este estado, el flujo de servicio es conocido como el establecimiento; es decir, existe pero todavía no es admitido por el mecanismo de CA y por lo tanto no está activo.
- **Admitido:** el flujo de servicio tiene recursos de transmisión reservados por la BS, es decir, ya fue admitido por el CA pero todavía no está activo.
- **Activo:** en este estado, el flujo de servicio tiene recursos de transmisión comprometidos con la BS. Por ejemplo, se envían continuamente mapas conteniendo asignación no solicitado de ancho de banda. En este estado el flujo de servicio proporciona el transporte de datos a través de la capa MAC.

2.3.8.4.2 CLASES DE SERVICIO

Las clases de servicio tiene el propósito de permitir a los operadores de la red (si así lo desean) mover la configuración de los flujos de servicio desde el servidor que los provee, hacia la BS. Los operadores proveen a las SS's con el nombre de la clave de servicio. Esto permite a los operadores de la red modificar la implementación de un servicio dado, en base a las circunstancias locales sin cambiar la configuración de las SS's. También las claves de servicio permiten a los protocolos de capa superior crear un flujo de servicio en base al nombre de una clase de servicio.

Se consideran cinco tipos de servicios básicos:

- **Servicio garantizado no solicitado o UGS:** diseñado para soportar flujos de servicio en tiempo real, que transportan paquetes de datos de tamaño fijo en periodos constantes. Este servicio ofrece asignación de tamaño fijo en tiempo real y en periodos constantes, eliminando la necesidad de realizar solicitudes de ancho de banda por parte de la SS, garantizando que la reserva estará disponible durante el tiempo de vida del flujo de servicio. La BS provee estas reservas en base a la máxima tasa de tráfico sometida del flujo de servicio. El tamaño asignado debe ser suficiente para soportar la longitud del tamaño de los paquetes de datos. Con el propósito de que este servicio funcione correctamente, las SS's tienen prohibido usar los periodos de contención para realizar solicitudes de ancho de banda. Los parámetros necesarios de este servicio son: la máxima tasa de tráfico sostenida, la latencia máxima, el jitter tolerado, una política de solicitud/transmisión. Si está presente el parámetro de la mínima tasa de tráfico

reservada, debe tener el mismo valor que el parámetro de la máxima tasa de tráfico sostenida.

- **Servicio de consulta en tiempo real o rtPS:** este servicio está orientado al tráfico en tiempo real con tasa de transmisión variable. El servicio ofrece oportunidades periódicas de solicitar reservas de ancho de banda, conociendo la necesidad de los flujos de servicio en tiempo real y permite a la SS especificar el tamaño de las reservar deseadas. Este servicio requiere que la SS realice continuamente reservas de ancho de banda, provocando más gastos de recursos en las solicitudes y encabezados, pero soporta tamaños variables para un óptimo y eficiente transporte de datos. La BS proporciona periódicamente oportunidades *unicast* para transmitir las solicitudes de ancho de banda. Con el propósito de que este servicio funcione correctamente, la política de solicitud/transmisión debe ser tal que la SS tiene prohibido usar cualquier periodo de contención para realizar solicitudes de ancho de banda para su conexión. Los parámetros de flujo de servicio que aquí se definen son: la tasa mínima de tráfico de reserva, la máxima tasa de tráfico sostenible, la máxima tolerancia permitida, y la política de solicitud/trasmisión.
- **Servicio de consulta definido o nrtPS:** servicio diseñado para soportar flujos de datos tolerantes a retardos y de tamaño variable, pero con un ancho de banda mínimo requerido, tal como FTP. Los parámetros obligatorios del flujo de servicio que define son: la tasa mínima de tráfico reservado, la tasa máxima de tráfico sostenible, la prioridad de tráfico y la política de petición de transmisión.
- **Servicio de mejor esfuerzo o BE (Best Effort):** aquí no se garantiza un nivel mínimo de servicio, ni de retardo, ni de caudal. Este servicio está diseñado para aplicaciones sin requisitos mínimos de ancho de banda, las estaciones suscriptoras envían las peticiones cuando puedan. Los parámetros de flujo de servicio definidos son: la tasa máxima de tráfico sostenible, la prioridad de tráfico y la política de solicitud/transmisión.
- **Servicio extendido en tiempo real y tasa variable o ERT VR:** se diseña este servicio para aplicaciones como VoIP con supresión de silencio; es decir, con detección de actividad ya que tiene tasa de datos variables, pero necesita una tasa de datos y un retardo garantizado. Este servicio únicamente está definido en el estándar IEEE 802.16e. Los parámetros obligatorios que se definen en este servicio son: tasa de mínima de reserva, la máxima latencia soportada, el jitter tolerable, la prioridad de tráfico y la máxima tasa de datos sostenible.

2.3.8.5 SEGURIDAD

En WIMAX se emplean diferentes métodos para garantizar la seguridad:

- **Asociación de seguridad o SA:** Se trata de una asociación entre la estación base y una o más estaciones suscriptoras, que ofrece una comunicación segura. Es tarea de la estación base comprobar que las estaciones suscriptoras están ligadas a la SA autorizada.
- **Protocolo de autenticación:** Se utiliza en protocolo PKM para obtener las claves de autenticación y cifrado. PKM utiliza certificados digitales X.509, que es un algoritmo de encriptado RSA de clave pública y algoritmos simétricos. La metodología empleada es la siguiente:
 - Cada estación suscriptora tiene un certificado X.509 que contiene la clave pública y la MAC. Cuando la estación quiere una clave de autorización envía su certificado a la estación base y esta realiza la autenticación.
 - Para ello la estación base utiliza la clave pública de la estación suscriptora para cifrar la clave de autorización y la envía.
 - Por último la estación base vincula la estación suscriptora autorizada como un cliente que tiene ciertos servicios autorizados.

Cifrado

El cifrado de datos se aplica únicamente al payload de la PDU MAC. Están disponibles los siguientes métodos:

- DES en modo CBC
- AES en modo CTR, CCM, y CBC

2.3.9 UTILIZACIÓN DEL ESPECTRO

WIMAX FORUM mantiene que las bandas de frecuencia deben ser colocadas de manera que los operadores con licencia puedan prestar los servicios y utilizar las tecnologías más adecuadas para su entorno.

Dependiendo del país WIMAX emplea unas u otras bandas de frecuencia, tanto libres como de licencia. En la siguiente figura podemos ver la distribución mundial del espectro de frecuencia para la tecnología WIMAX.

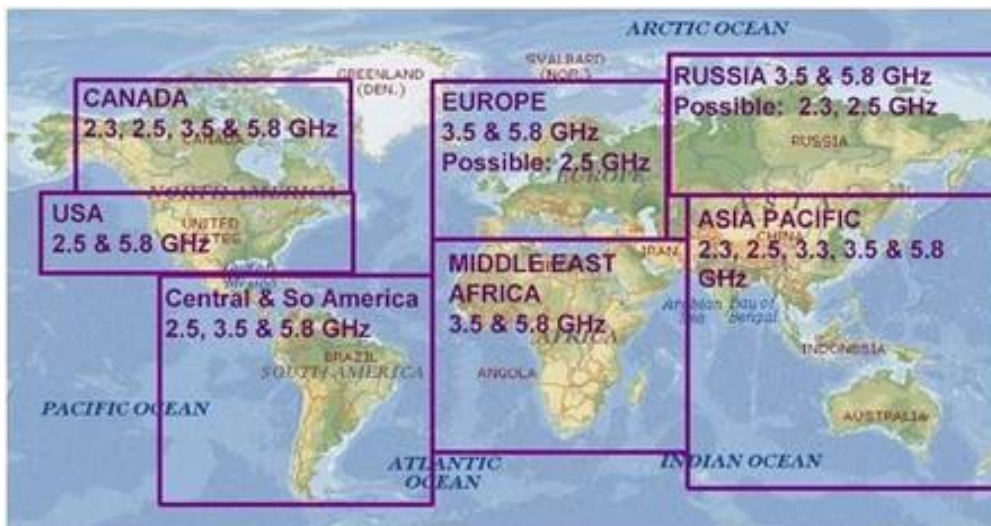


Figura 15: distribución mundial de banda de frecuencia.

WIMAX FORUM cree que se pueden lograr un nivel razonable de armonización en las bandas de frecuencia. Las bandas de frecuencias se agrupan en bandas libres y bandas licenciadas cuyas características se determinan a continuación.

2.3.9.1 BANDA LIBRE Y BANDA LICENCIADA

Por norma general las bandas licenciadas ofrecen la posibilidad de altas potencias de transmisión al carecer esta banda de limitación de potencia. Esta mayor potencia de transmisión se consigue a cambio de un importante incremento en el coste del equipamiento debido a la etapa de potencia y el sistema de alimentación y disipación del equipo. Mayores anchos de banda no son viables debido a la escasez de espectro y a la densidad de reutilización de frecuencias. Las estaciones base pueden operar en modo *full-dúplex*, lo que teóricamente duplica la capacidad, a cambio de un importante aumento de coste debido al uso de duplexores.

Las bandas libres por su parte ofrecen un despliegue más rápido, con menos coste, mayor escalabilidad e interoperabilidad, principalmente debido a que no deben adquirir espectro, por lo que no están sujetas a trámites burocráticos de las bandas licenciadas. La potencia de transmisión suele ser baja, ya que está limitada por aspectos regulatorios. La gran disponibilidad del espectro permite el uso de anchos de bandas mayores, siendo 10 MHz el ancho de banda más empleado, lo que permite una capacidad máxima de 37,7 Mbps.

La elección de una u otra banda depende del proveedor y de la calidad de servicio que se desea ofrecer.

Las bandas de frecuencia que se dividen en banda libre y licenciada se detallan como vienen a continuación:

- **Banda de 2,5GHz:** Las bandas entre 2,5 y 2,69 GHz (*Multichannel Multipoint Distribution Service*) han sido reservadas por Estados Unidos, México, Brasil y algunos países de Asia, donde han sido poco utilizadas para su utilidad original, relacionada con la transmisión de televisión. El WIMAX FORUM realiza esfuerzos globales con el objetivo de aumentar la disponibilidad de estas bandas para aplicaciones de banda ancha tanto fija como móvil. Esta banda usa tanto TDD como FDD, con ancho de banda de los canales de 5 MHz, con 6 MHz en caso de Estados Unidos (que cuenta con 31 canales).
- **Banda de 3,5GHz:** Se trata de la primera banda utilizada para operadores de banda ancha con licencia, que generalmente se localiza entre los 3.4 y 3.6 GHz, aunque hay nuevas posibilidades en el rango de 3,3 y 3,4 GHz (china e india) y en el 3,6 y 3,8 GHz (Francia, Reino Unido, resto de Europa y Estados Unidos). En estas bandas el enfoque del foro WIMAX será de minimizar los requisitos técnicos y reglamentarios no necesarios que pueden inhibir el desarrollo de WIMAX para esta clase de operadores. En ella se opera tanto en TDD como en FDD, existiendo por lo general canales de 3,5 y MHz. Las características de la banda la orientan hacia aplicaciones fijas quedando fuera el objetivo para aplicaciones móviles del IEEE 802.16e.
- **Banda de 5GHz:** El rango de frecuencias de interés incluye las bandas entre 5,25 y 5,85 GHz. La banda entre 5,15 y 5,25 GHz es la más utilizada para aplicaciones interiores de baja potencia, por lo que queda fuera de interés de las aplicaciones WIMAX. Se caracteriza por disponer de baja potencia en las frecuencias bajas. Para el caso de las frecuencias inferiores a 5,47 GHz la potencia máxima es de 250mW EIRP. Ya que en la mayoría de los países se trata de una banda libre, a excepción de algunos países donde hay licencias de uso, para tener constancia de las operaciones. Esta banda es estratégica para permitir cubrir mercados remotos o rurales con una baja tasa de población, que pueden quedar fuera del interés de los operadores tradicionales. Las especificaciones de uso de estas frecuencias las encontramos en las notas UN-128 y UN-143 del CNAF:
 - **Frecuencias entre 5250-5350 MHz:** especificada en la UN-128. Utilizadas exclusivamente para el interior de recintos. Permite una PIRE de 200mW sin sobre pasar los 10mW/MHz en cualquier banda de 1 MHz. Para esta banda de frecuencias se deben emplear técnicas de control de potencia que permitan un factor de reducción de potencia transmitida de 3 dB. En caso de no emplear estas técnicas, la PIRE permitida será de 100mW. Debido a la orientación y potencia este rango de frecuencia no interesa dentro de WIMAX.
 - **Frecuencias entre 5475 y 5725 MHz:** especificada en la UN-128. Se utilizan tanto para interior y exterior de recintos. Permite una PIRE de hasta 1W. En este caso también se deben emplear técnicas de control de potencia y si no se emplean, la PIRE quedará reducida a una máxima de 500mW. Este rango de frecuencias puede resultar útil para WIMAX, ya que permite una potencia mayor de uso y por tanto se pueden cubrir mayores distancias.

- **Frecuencias entre 5725 y 5875 MHz:** sus especificaciones de uso se encuentran en la nota UN-143. Se trata de la banda superior libre WIMAX. Tiene ciertas ventajas sobre las banda anteriores ya que no tiene invasión de tecnología WIFI y puede tener una PIRE de hasta 4W, lo que hace de esta banda muy útil para aplicaciones de larga distancia. Esta banda debe usar por obligación la duplexación TDD y canales de 10 o 20 MHz. También debe usar técnicas de control de potencia y selección dinámica de frecuencias.

Conclusión

Tras la comparativa realizada anteriormente y según los estudios realizados se comprobó que la distancia de rendimiento equivalente de ambos sistemas se sitúa entre 15 y 25 km, distancia más que suficiente para el despliegue de escenarios rurales. Si los usuarios se sitúan distancias inferiores a 25 km, el rendimiento de banda libre es superior. Para distancias superiores el sistema de banda licenciada presenta un mejor rendimiento.

3 SITUACIÓN ACTUAL DE LA POBLACIÓN DE BIOKO

3.1 DATOS GENERALES Y GEOGRÁFICOS

La zona en la que vamos a ofrecer el servicio corresponde a la población ecuatoguineana residente en la isla de BIOKO, concretamente en las ciudades de LUBA y MALABO; correspondiente a la región insular de GUINEA ECUATORIAL.

BIOKO es una isla situada en el golfo de guinea, en ella se encuentra la capital del país, MALABO, está a 32 km de la coste de Camerún y tiene un área de 2017 km².

Dicha zona cuenta con un paisaje de valles profundos y relieves escarpados, lo que puede dificultar la implementación de la red; para el diseño de la red se debe tener en cuenta que es una zona bastante lluviosa, lo que puede atenuar la señal, por lo que el diseño de la red se ha de realizar contando con un margen de seguridad para dichos casos.

Como se ha mencionado anteriormente, el trabajo consiste en el desarrollo de la tecnología WIMAX para ofrecer servicio a internet en la ciudad de LUBA, dicho servicio irá dirigido a las instituciones del gobierno, hospitales, colegios u oficinas de empresas que lo deseen; y de manera adicional, el diseño de una auxiliar WIMAX para la ciudad de MALABO. Ambas localidades suponen las ciudades más pobladas de la isla

LUBA: Es la segunda ciudad más grande de la isla de BIOKO en guinea Ecuatorial situada a 52 Km de la ciudad de Malabo, ciudad costera, soleada y acogedora. La ciudad de LUBA se encuentra en la costa oeste, debajo de picos volcánicos, y es su puerto para la industria de la tala de árboles y desde 2002 de la industria petrolera. Para dicha ciudad veremos que las zonas que delimitan dicha localidad es mucho más elevada que la del centro. Lo cual supone una cualidad favorable, puesto que permite una buena visibilidad desde los entornos hacia el centro, algo favorable para el tipo de red que se desea diseñar.



Figura 16: visión de la ciudad de LUBA

MALABO: Capital y principal ciudad de la Guinea Ecuatorial, está localizada en la costa norte de la isla de BOKO, en las coordenadas 03° 45' 7,43" N y 8° 46' 25,32" E. presenta una población de 187.302 habitantes según el censo realizado en 2012. A pesar de su ubicación en el ecuador, MALABO tiene un clima húmedo y tropical. La ciudad tiene un promedio de 1900 mm de lluvias al año.



Figura 17: visión de la ciudad de MALABO

Localización	Población
MALABO	187302 habitantes
LUBA	7739 habitantes

Tabla 7: Población de las localidades

Finalmente para poder dotar de conectividad y servicio a los clientes basta con instalar un CPE en cada cliente orientado a la estación base.

Debido a la complejidad de la geografía del entorno de dichas localidades, llevar redes de comunicación cableadas a estos núcleos resulta altamente complicado y costoso, siendo la realidad que algunos de ellos no cuentan con accesos adecuados a la sociedad de la información. Es por esto que se han elegido esta localidad como base sobre el cual se diseña esta red inalámbrica de banda ancha, que permita llevar acceso a Internet a dichos núcleos.

En el caso particular de la capital MALABO; se ha incluido dicha ciudad en el despliegue de esta red porque la ciudad no dispone todavía de una infraestructura de cable consolidada por toda la ciudad.

Con ayuda del programa radio Mobile hemos podremos mostrar los puntos o zonas a las que deseamos ofrecer el servicio; dichas zonas aparecen señaladas con un círculo rojo en la siguiente imagen.

Cabe destacar que el servicio a ofrecer va dirigido en gran medida a empresas, organismos internacionales y gubernamentales, los cuales, unidos a los particulares interesados, suponen no más del 1% de la población de LUBA. De la tabla 7 sabemos que la población de LUBA es de 7739 habitantes, que aplicándole el 1% resulta 77.39, por lo que, en dicha localidad tendremos una media de **78 CPE's**. Para la población de Malabo no hace falta calcular el número de CPE's que se demanda, puesto que se trata de una estación base Wimax auxiliar.



Figura 18: localización de los núcleos a los que se pretende ofrecer el servicio

3.2 CENTRALIZACION DE LA GESTIÓN

La ubicación de la estación base y la instalación de la infraestructura tiene que darse en un punto que mantenga una cobertura visual con los terminales de usuarios finales. Podría hacerse aprovechando alguna que otra estación base ya implementada con anterioridad, ya que dichas zonas disponen en la actualidad de servicio de telefonía; siempre y cuando que se cuente con el consentimiento de la proveedora responsable de dicha estación.

Con el fin de poder ver el espacio en el que deseamos implantar la estructura y conseguir los mapas cartográficos adecuados vamos a ayudarnos del programa Radio Mobile, el cual produce mapas de elevaciones que pueden ser superpuestos a imágenes con imágenes fotográficas, fotografías aéreas o imágenes de satélite.

3.3 EL SECTOR DE LAS TELECOMUNICACIONES EN GUINEA ECUATORIAL

Este apartado presenta un estudio centrado en el sector de las telecomunicaciones en Guinea Ecuatorial, cuyo objetivo es presentar la evolución y el estado actual del sector de las telecomunicaciones, haciendo particular hincapié en el servicio de internet, rama en la que todavía existe un gran potencial de crecimiento.

Es importante mencionar que Guinea Ecuatorial es un país emergente, donde el sector de las telecomunicaciones se caracteriza por la presencia de una compañía participada por el estado, GETESA, antiguo monopolio y actual operador dominante, que ha marcado el ritmo de inversión de infraestructuras y red de cobre.

3.3.1 PRESENTACION DEL SECTOR

La evolución macroeconómica de Guinea Ecuatorial viene marcado por el comienzo de la explotación petrolífera. Este crecimiento económico se ha visto reflejado en muchos sectores. En Guinea Ecuatorial las TIC han crecido fuertemente en los últimos años, a pesar de las dificultades derivadas de la división del terreno entre el área continental e insular. El aumento del poder adquisitivo de los hogares impulsa el nivel de penetración de la telefonía móvil y el uso de internet, aunque en el caso de los equipos TIC Guinea Ecuatorial es superado por otros países vecinos como Camerún y Gabón. El mercado de la Telecomunicaciones está creciendo rápidamente, sobre todo en telefonía. El desarrollo de Internet, sin embargo, viene marcado por el establecimiento de empresas extranjeras en el país, que concentran un gran porcentaje del mercado en dicho subsector. De este modo buenas partes de los sistemas de Internet están enfocadas a proveer de conexiones a empresas e instituciones.

El sector de las telecomunicaciones aun presenta mucho potencial de desarrollo, ya que, por un lado hay muy pocas empresas operando, y por otro, los servicios todavía llegan a un parte reducida de la población total.

Empresas de telecomunicaciones en Guinea Ecuatorial:

- GETESA Orange
- Hits Telecom Guinea Ecuatorial
- IPX International
- Guineaset

3.3.2 SERVICIOS DE INTERNET

En Guinea Ecuatorial Internet es un recurso no accesible a la mayoría de la población. La brecha tecnológica es inmensa. La mayoría de la población no puede asumir los gastos que supone una conexión a internet sencilla, cuya cuota mensual supera los 60 Euros al mes.

El mercado de internet lo constituyen en su gran mayoría empresas, instituciones gubernamentales y organizaciones internacionales. De este mercado en concreto, le empresa IPX tiene el 60% de la cuota.

GETESA ofrece conexiones ADSL y GPRS. Los clientes de GETESA son principalmente particulares, empresas e instituciones del gobierno.

IPX y Guineaset ofrece servicios de internet vía satélite y se ocupa de las instalaciones de las antenas, receptores y equipamiento. La primera se centra en dar servicios de internet y soluciones a empresas del sector del petróleo y del gas.

Hits por su parte está en fase de prueba del sistema de internet por móvil 3G.

3.3.3 AGENTES DEL SECTOR

Estos son los actores del sector de las telecomunicaciones en Guinea Ecuatorial:

- **Órgano regulador:** ORTEL.
- **Proveedores de infraestructura:** Normalmente hay empresas que se encargan de este trabajo, independientemente de lo operadores; sin embargo, en el caso de Guinea Ecuatorial son las propias operadoras las que se encargan de casi toda la infraestructura ya sea de planta externa: obra civil, eléctrica y de telecomunicaciones, fibra óptica; como de construcción de sitios. De todas formas también es posible encontrar contratistas que se dedican a proveer estas infraestructuras.
- **Proveedores de equipos:** en guinea Ecuatorial los operadores de telefonía y empresas de internet, actúan también como proveedores y hacen el mantenimiento y seguridad de la red y los equipos. Ofrecen, entre otras, centrales telefónicas, gestión de datos y voz sobre IP, etc. En ciertas ocasiones estas empresas también son proveedoras de infraestructuras para la red interna.
- **Empresas u operadores:** son las empresas que ofrecen los servicios de telefonía e internet.
- **Cliente final:** se distinguen dos tipos fundamentales de usuarios de telecomunicaciones:
 - **Cliente corporativo:** empresas que utilizan las telecomunicaciones como una herramienta de trabajo.

- **Cliente privado:** persona física que utiliza las telecomunicaciones.

3.3.4 MARCO LEGAL

La liberación del sector de las telecomunicaciones comenzó en 2005 con la adaptación de la ley 7/2007 que fomentó la competencia, permitiendo la entrada de nuevos operadores y nuevos servicios de telecomunicaciones. La ley establece el marco de actuación de las empresas del sector

Uno de los puntos más importantes es creación de un órgano regulador de las telecomunicaciones, al que se le asigna la función de control de todos los operadores de telecomunicaciones.

Las concesiones y autorizaciones las otorga el Ministerio de Transporte, Tecnologías, Correos y Telecomunicaciones, por procedimiento directo o por licitación pública, previo informe del ORTEL.

- Licencia anual: 2 millones de Francos CFA (3000 €)
- Licencia mensual: 600000 Francos CFA (900 €)

El estado siempre se reserva el derecho de asociarse con la iniciativa privada.

3.3.4.1 OFICINA REGULADORA DE TELECOMUNICACIONES, ORTEL

la oficina reguladora de telecomunicaciones, ORTEL, tiene como objetivo asesorar para la coherencia legislativa y reglamentaria en materia de Telecomunicaciones, gestionar y administrar los recursos como el espectro de frecuencia radioeléctrica y los recursos de numeración, ejercer la supervisión y control de las entidades que exploten los servicios o desempeñen actividades de telecomunicaciones y de velar por el cumplimiento de las normas en dicha materia y proponer reformas institucionales para la defensa de la competencia en materia de Telecomunicaciones.

La ORTEL tiene plena capacidad jurídica, tanto pública como privada para el desempeño de sus funciones que están previstas en la Ley General de Telecomunicaciones. Aunque existe la libre competencia en todos los sectores de las Telecomunicaciones, la Ley faculta a ORTEL para intervenir en el mercado. Según el artículo 6 del Reglamento y Funcional de la oficina reguladora de telecomunicaciones; *“la ORTEL ejercerá las potestades de interpretación, vigilancia y de modificación de contratos de acceso e interpretación entre operadores en los términos contemplados en la Ley General de Telecomunicaciones, el Reglamento de acceso e interconexión y otras de desarrollo, con el objetivo de salvaguardar las condiciones de competencia e igualdad de trato entre operadores y el funcionamiento integral del sistema de telecomunicaciones.”*

Las principales misiones de ORTEL son las siguientes:

- Tramitar las autorizaciones para el ejercicio de las actividades de telecomunicaciones
- Gestionar los recursos escasos, especialmente el espectro de frecuencias radioeléctricas.

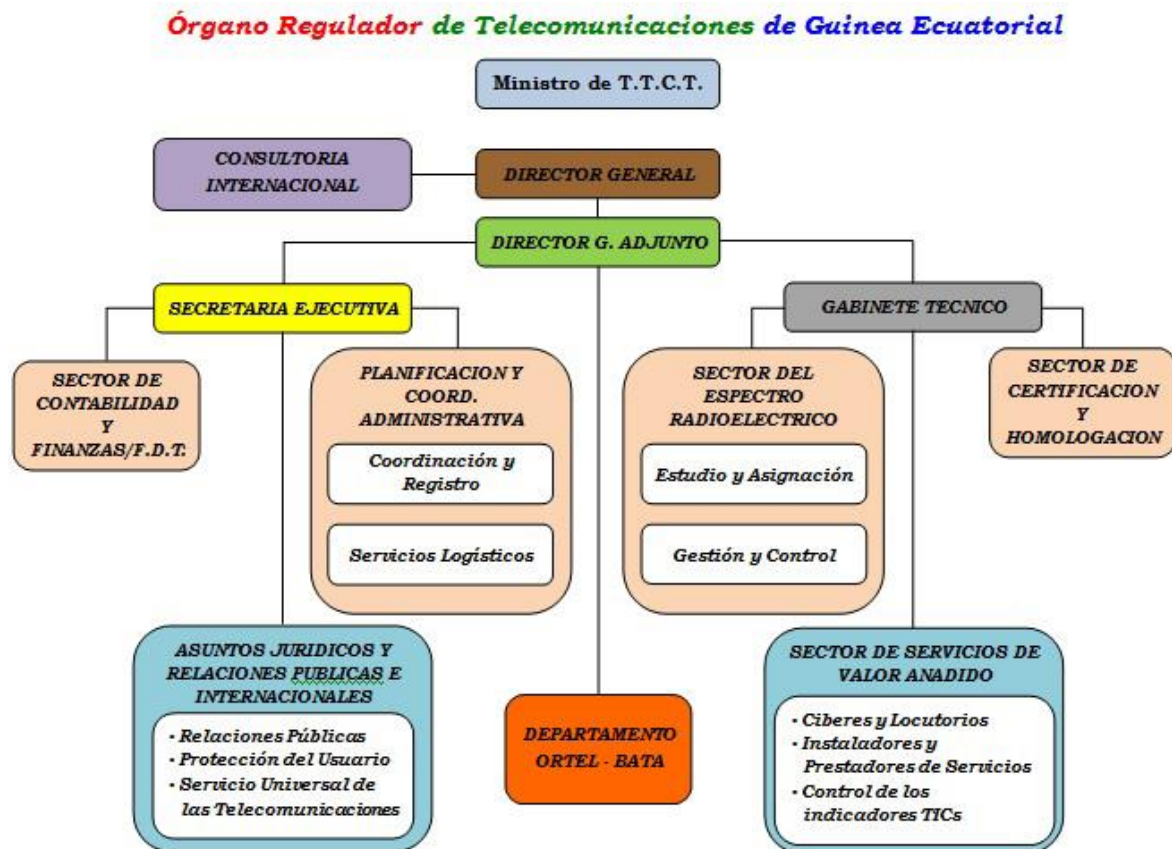


Figura 19: organigrama de ORTEL

3.3.5 RESUMEN Y CONCLUSIONES

El sector de las telecomunicaciones ha experimentado un fuerte crecimiento en los últimos años; tendencia que, con la entrada de un nuevo operador de telefonía, ha mejorado notablemente.

La evolución más significativa se ha producido en la telefonía móvil con la atribución de la segunda licencia al grupo Saudí-Kuwaití Hits-Telecom. Hasta 2008 GETESA detentaba el monopolio de los servicios de telefonía e internet.

Con la telefonía móvil se han resultado las necesidades mínimas de comunicaciones y los dos operadores existentes en el mercado compiten con dar la mayor cobertura a todo el país. La llegada del nuevo operador ha supuesto un aumento de la demanda y ha hecho que el número de usuarios a finales de 2009 se eleve por encima de los 360.000 según las cifras de mayo de 2010 de GETESA. Se espera que el crecimiento siga la tendencia marcada hasta ahora.

La penetración de la telefonía fija sigue siendo insuficiente para la población. Esto conlleva la limitación del desarrollo de acceso a internet, debido a la falta de conexiones de banda ancha de calidad.

En cuanto a **Internet**, a pesar de que el número total de clientes se ha triplicado desde 2006, existe una gran brecha tecnológica y una demanda potencial no cubierta debido a la falta de infraestructuras de la red.

La demanda se centra principalmente en los núcleos urbanos más importantes del país: MALABO, BATA, MONGOMO, NIEFANG, EBEBIYING y EVINAYONG.

Hay un número muy reducido de empresas que gestionan la telefonía y los servicios de internet, en primer lugar debido al reducido tamaño del país y en segundo lugar por las barreras de entrada.

En cuanto a los costes, los servicios de internet tienen por el momento precios extremadamente caros. Las razones son varias, entre las más importantes destacan, la ausencia de fibra óptica, el nivel de desarrollo del país, que hace que los costes de establecimiento de una empresa de telecomunicaciones sean muy altos y los elevados impuestos y cánones que se pagan al gobierno.

El aumento de la demanda, la situación de desarrollo que está viviendo el sector y el proyecto de implementación de fibra óptica que unirá Europa con África son elementos que generarán importantes oportunidades de negocio para el desarrollo de los planes de modernización y extensiones de redes que las empresas establecidas pretenden llevar a cabo.

4 SOFTWARE DE APOYO

4.1 LIGO LINK CALCULATOR (LinkCalc)

Programa creado por el fabricante y desarrollado de soluciones inalámbricas de alto desempeño para proveedores de servicios y compañías de telecomunicaciones a nivel mundial denominada LigoWave.

La herramienta LinkCalc de LigoWave está disponible en línea para realizar simulaciones de radio. La herramienta permite el desempeño de un enlace tomando en consideración la información del sitio, distancia, ganancia de antena, altura de instalación, potencia de transmisión y otros factores adecuados para elegir el producto adecuado de LigoWave. Adicionalmente se pueden personalizar los cálculos para usar las herramientas de otros equipos convirtiéndola en una perfecta herramienta de diseño. La herramienta es libre de coste y únicamente se requiere registrarse para obtener acceso. Cada usuario puede crear una base de datos de sus enlaces, descargar un reporte en PDF y crear enlaces en línea para compartir sus estudios durante la fase de evaluación.

Ejemplo de una simulación de un enlace punto a punto:

The screenshot displays the LigoWave Link Calculator web interface. At the top, there's a header with the LigoWave logo and navigation links: "NEW! View PtMP Mode", "View Saved Links", and "Logout". Below the header, a "Welcome Back, Ivan" message is visible. The main interface is divided into three tabs: "Parameters", "Map", and "Results", with "Parameters" currently selected. A message states: "Enter information about your link below. You may also select/change coordinates by clicking on the map." The form is organized into several sections:

- TX SITE:** Includes fields for Name (RB Alpacom), Radio Type (LigoPTP 5-23 PRO), Latitude (16 31 45.0000 S), Longitude (68 8 46.5600 W), Antenna Info (Height: 30.00 feet (AGL), Gain: 23 dBi), and TX Power (28 dBm).
- RX SITE:** Includes fields for Name (RB Achocalla), Radio Type (LigoPTP 5-23 PRO), Latitude (16 34 31.5700 S), Longitude (68 7 36.7700 W), Antenna Info (Height: 10.00 feet (AGL), Gain: 23 dBi), and RX Threshold (-94 dBm).
- OTHER PARAMETERS:** Includes Frequency (5735 MHz), Polarization (Horizontal/Vertical), Misc. Loss (0 dBm optional), Foliage Depth (0 feet optional), Site Climate (Continental Temperate), Units (English System/Metric System), and ITU Rain Rate (0 mm/hr optional) with a "Lookup" button.

A "Switch Site Data" link is located between the TX and RX site sections. At the bottom of the form is a green "Calculate Link" button.

Figura 20: parámetros de simulación del ejemplo

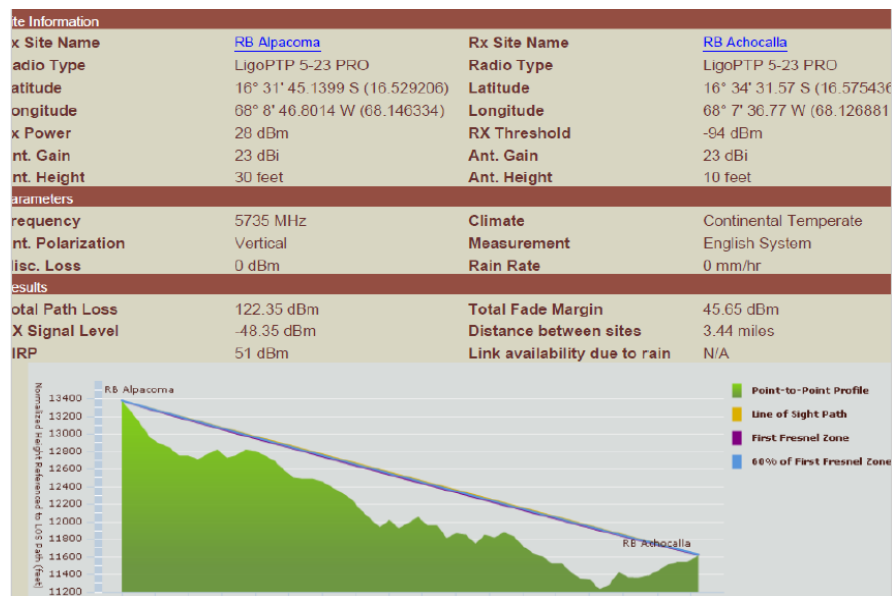


Figura 21: resultados de la simulación del ejemplo

20MHz CHANNEL					
MODULATION	RX LEVEL	FADE MARGIN	AVAILABILITY	TX/RX	MAX THROUGHPUT
BPSK 1/2	-51.35 dBm	41.65 dBm	N/A%	1X1	6 Mbps
QPSK 1/2	-51.35 dBm	38.65 dBm	N/A%	1X1	12 Mbps
QPSK 3/4	-52.35 dBm	35.65 dBm	N/A%	1X1	18 Mbps
16-QAM 1/2	-52.35 dBm	32.65 dBm	N/A%	1X1	22 Mbps
16-QAM 3/4	-53.35 dBm	29.65 dBm	N/A%	1X1	38 Mbps
64-QAM 2/3	-53.35 dBm	23.65 dBm	N/A%	1X1	44 Mbps
64-QAM 3/4	-54.35 dBm	19.65 dBm	N/A%	1X1	50 Mbps
64-QAM 5/6	-55.35 dBm	16.65 dBm	N/A%	1X1	55 Mbps
BPSK 1/2	-51.35 dBm	41.65 dBm	N/A%	2X2	12 Mbps
QPSK 1/2	-51.35 dBm	38.65 dBm	N/A%	2X2	24 Mbps
QPSK 3/4	-52.35 dBm	35.65 dBm	N/A%	2X2	36 Mbps
16-QAM 1/2	-52.35 dBm	32.65 dBm	N/A%	2X2	44 Mbps
16-QAM 3/4	-53.35 dBm	29.65 dBm	N/A%	2X2	76 Mbps
64-QAM 2/3	-53.35 dBm	23.65 dBm	N/A%	2X2	95 Mbps
64-QAM 3/4	-54.35 dBm	19.65 dBm	N/A%	2X2	105 Mbps
64-QAM 5/6	-55.35 dBm	16.65 dBm	N/A%	2X2	115 Mbps

40MHz CHANNEL					
MODULATION	RX LEVEL	FADE MARGIN	AVAILABILITY	TX/RX	MAX THROUGHPUT
BPSK 1/2	-51.35 dBm	37.65 dBm	N/A%	1X1	12 Mbps
QPSK 1/2	-51.35 dBm	35.65 dBm	N/A%	1X1	24 Mbps
QPSK 3/4	-52.35 dBm	31.65 dBm	N/A%	1X1	36 Mbps
16-QAM 1/2	-52.35 dBm	29.65 dBm	N/A%	1X1	44 Mbps
16-QAM 3/4	-53.35 dBm	22.65 dBm	N/A%	1X1	76 Mbps
64-QAM 2/3	-53.35 dBm	18.65 dBm	N/A%	1X1	95 Mbps
64-QAM 3/4	-54.35 dBm	15.65 dBm	N/A%	1X1	105 Mbps
64-QAM 5/6	-55.35 dBm	12.65 dBm	N/A%	1X1	115 Mbps
BPSK 1/2	-51.35 dBm	37.65 dBm	N/A%	2X2	24 Mbps
QPSK 1/2	-51.35 dBm	35.65 dBm	N/A%	2X2	48 Mbps
QPSK 3/4	-52.35 dBm	31.65 dBm	N/A%	2X2	72 Mbps
16-QAM 1/2	-52.35 dBm	29.65 dBm	N/A%	2X2	96 Mbps
16-QAM 3/4	-53.35 dBm	22.65 dBm	N/A%	2X2	140 Mbps
64-QAM 2/3	-53.35 dBm	18.65 dBm	N/A%	2X2	175 Mbps
64-QAM 3/4	-54.35 dBm	15.65 dBm	N/A%	2X2	200 Mbps
64-QAM 5/6	-55.35 dBm	12.65 dBm	N/A%	2X2	220 Mbps

Figura 22: resultados de tráfico del ejemplo

4.2 RADIO MOBILE

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

El programa utiliza perfiles morfológicos combinados con la información de los equipos que desees simular.

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

Los datos de elevación se pueden obtener de diversas fuentes, entre ellas el proyecto de la NASA *Shuttle Terrain Radar Mapping Misión* (SRTM) que provee datos de altitud con una precisión de 3 segundos de arco (100m).

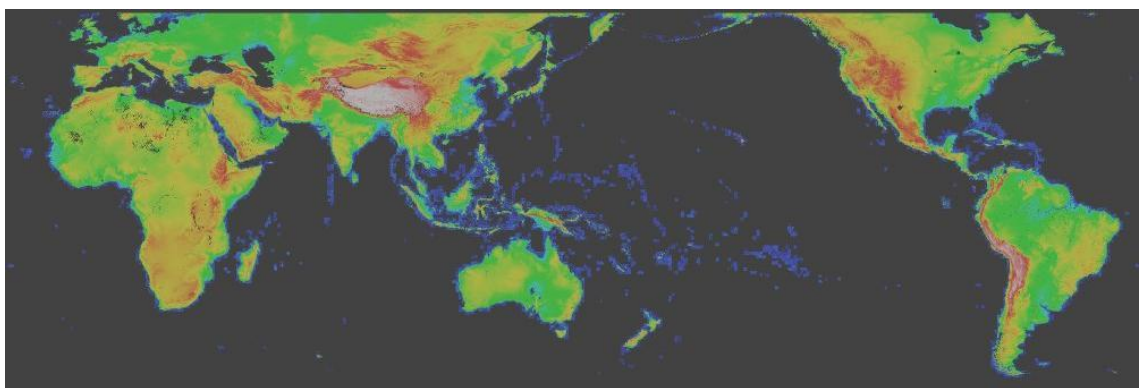


Figura 23: Mapa mundial creado por Radio Mobile utilizando datos de elevación SRTM

Los mapas de información de elevación se pueden superponer a imágenes con mapas topográficos, mapas de carreteras o imágenes satelitales.

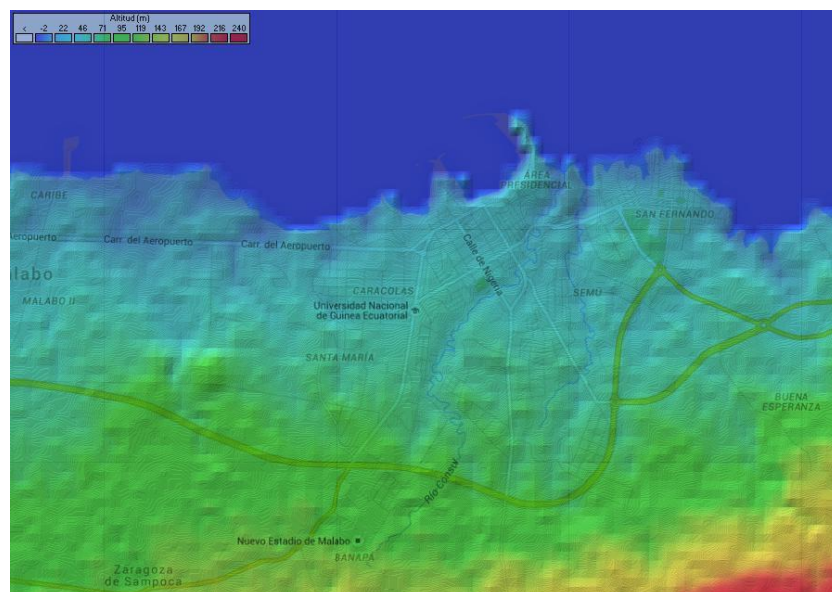


Figura 24: ciudad de MALABO. Superposición de mapas de elevación y mapas topográficos.

En la página oficial de Radio Mobile puede descargar gratuitamente el programa, consultar guía de utilización, acceder al grupo de Yahoo de discusión de Radio Mobile y consultar las especificaciones o "data sheet" del programa.

Para conseguir la información necesaria en cuanto a cómo obtener datos de elevación y crear mapas, así como sobre la creación de redes y ejecución de las simulaciones, consultar el manual del programa que se puede encontrar en la página oficial de la misma.

4.3 LINK PLANNER (MOTOROLA)

Motorola ha lanzado su herramienta LinkPlanner, la cual permite eliminar todo tipo de suposiciones durante el proceso de diseño de enlace y provee la información que usted necesita para estar seguro de que el rendimiento del enlace será el apropiado antes de adquirirlo.

PTP LinkPlanner es una herramienta personalizada gratuita y de fácil manejo, utilizada para diseñar y configurar enlaces punto a punto y enlaces punto a multipunto. Una aplicación que se ejecuta en Windows o Macintosh. Realiza los cálculos de las recomendaciones de ITU-R P.526 y ITU-RP.530-12 para predecir trayectorias NLOS y LOS de cualquier parte del mundo. LinkPlanner permite realizar simulaciones basadas en la geografía, distancia, altura de antena, la potencia de transmisión y otros factores para optimizar el rendimiento del sistema.

Link planner genera automáticamente lista de materiales, informe de propuestas e informe de instalación simplificando el proceso de instalación. Este programa pone a disposición únicamente equipos del fabricante Motorola, lo que supone una limitación en cuando a diseño de redes.

5 DISEÑO DE LA RED

5.1 DESCRIPCION DEL PROYECTO

El proyecto se basará en la interconexión mediante radioenlaces entre cada uno de los clientes que quieran solicitar conexión a internet en el núcleo urbano de la población de LUBA. El punto principal se encuentra en la ciudad de MALABO, ya que en él se encuentra el centro de procesamiento de datos y el punto de interconexión con internet (Central de telecomunicación de la compañía GETESA, cuya edificación se puede apreciar en la figura 25); por esta razón se establecerá un radio enlace punto a punto que conecte el centro de procesamiento de datos situado en la ciudad de MALABO con la estación base de la localidad de LUBA. Adicionalmente se proporcionará acceso a internet a los ciudadanos de la ciudad de MALABO y demás localidades colindantes donde no haya disponible otro servicio de banda ancha bajo la misma tecnología.

El proyecto principal se divide en dos partes. Por una parte, está el diseño de la red de acceso a internet mediante tecnología WIMAX fijo para la ciudad de LUBA. Esta parte de trabajo estará formado por una red troncal primaria y una red troncal secundaria, así como de una red de acceso WIFI.

- **Red troncal primaria:** esta red servirá de interconexión entre el centro de procesamiento de datos y el punto de distribución o estación base de la ciudad de LUBA, a partir de donde empezará una red troncal secundaria. Esta interconexión se llevará a cabo utilizando equipos punto a punto de gama industrial de tecnología WIMAX.
- **Red troncal secundaria:** la red secundaria también llamada red de distribución, será aquella que interconecte la estación base con todos y cada uno de los suscriptores (CPE) situado en la vivienda del cliente. Dicha interconexión se hará posible utilizando equipos punto multipunto de tecnología WIMAX.
- **Red de acceso:** red de acceso mediante tecnología WIFI para los usuarios cercanos a los puntos previamente establecidos. La red está formado por puntos de acceso WIFI según el estándar IEEE803.11 que se conectará directamente a la red troncal secundaria. Estos puntos de acceso estarán además configurados para ofrecer encriptación avanzada con clave dinámica por sesión y usuario. Los puntos de acceso se instalarán en el interior de las viviendas y serán conectados a antenas de exteriores.



Figura 25: central de telecomunicación de la compañía GETESA

Por otra parte tenemos el diseño de la red WIMAX fijo para para ofertar servicios a internet en la ciudad de MALABO y localidades cercanas para aquellos que no dispongan de otro servicio de banda ancha. La estación base (CPD) se situará en un punto en el que se tenga acceso a internet por cable.

5.2 ELECCIÓN DE LA BANDA DE FRECUENCIA

Atendiendo a las ventajas e inconvenientes comentadas con anterioridad sobre las dos bandas de propagación (banda licenciada y banda libre), hemos optado por transmitir en la banda no licenciada en el rango de frecuencias de 5725MHz a 5875 MHz y con ancho de banda de canal de 10MHz. De acuerdo a sus características es la más adecuada para entornos rurales.

5.3 WIMAX LUBA

5.3.1 ESPECIFICACIONES DE LA RED

5.3.1.1 RED TRONCAL PRIMARIA

5.3.1.1.1 REQUERIMIENTOS

Se tiene que implementar una red troncal inalámbrica de banda ancha entre el centro de procesamiento de datos y el punto de distribución. A partir del cual se desplegará la red troncal secundaria. Los puntos que forman parte de esta red troncal son: la central de

telecomunicaciones (**Central_Tel**) y la estación base que situado en el núcleo de la ciudad la LUBA (**AP_LUBA**).

La central de telecomunicaciones supone el punto en el que tiene que fluir todas las comunicaciones, se encuentra ubicada en la ciudad de MALABO. Dicha estación, aparte de no tener conexión directa con la zona de interés, se encuentra bastante lejos de dicha localidad para ofrecer el servicio satisfactoriamente. Por estas razones, para interconectar esta estación con la estación base final se necesita un repetidor que se situará en el pico BASILÉ.

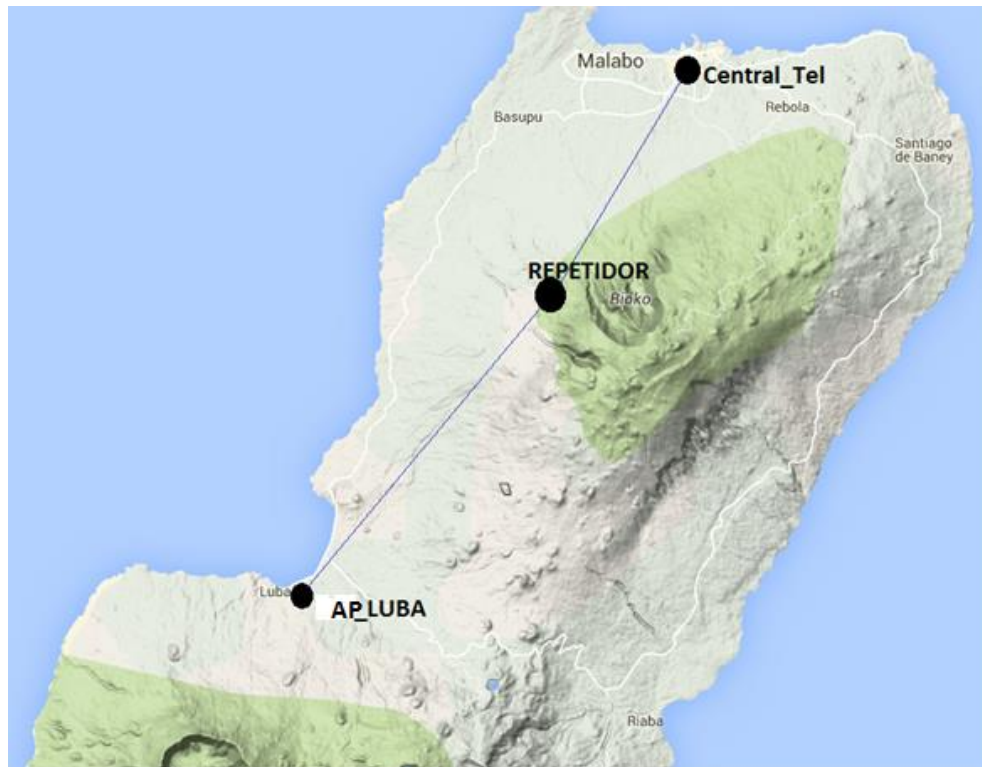


Figura 26: red troncal primaria (**PARTE 1**)

Pico BASILÉ: es la montaña más alta de la isla y también la más alta de Guinea Ecuatorial. Localizada en la isla de BIOKO, 19 km hacia sur de la ciudad de MALABO, con una altitud de 3011 metros. Este pico se encuentra a 28 km de la ciudad de LUBA.

El equipamiento de la red troncal primaria tiene que reunir las siguientes características mínimas:

- Los equipos inalámbricos tienen que emitir en la banda libre según la normativa de la comisión del mercado de Telecomunicaciones (CMT) y el centro de atribución de frecuencias locales (ORTEL).

- Los equipos deseados deben soportar los anchos de banda requeridos para proporcionar el servicio deseado. Los requerimiento de cada enlace de la red troncal vendrán impuestos por el ancho de banda requeridos por los usuarios de la red de acceso WIFI.
- Los equipos tiene que disponer de un puerto Ethernet 10/100 Base T que permita conectarse a otra electrónica de red o a otros equipos de radio directamente.
- Gestionar mediante el protocolo SNMP. Esto permitirá que la red completa esté monitorizada desde el CPD utilizando las herramientas de software adecuados.
- Los equipos deben cumplir con la normativa vigente para instalación en exteriores, incluyendo protección contra los rayos. Todos los conectores deben estar debidamente sellados.

5.3.1.1.2 LOCALIZACION DE LOS EMPLAZAMIENTOS

Con ayuda del GPS (*Global Positioning system*) conseguimos sacar los datos de la situación geográfica de los puntos a interconectar. Los cuales podemos ver en la tabla 8.

ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD(m)
CENTRAL_TEL	03° 45' 18"N	008°46'49.8"E	30
REPETIDOR	03°35'33.5"N	008°44'41.3"E	3011
AP_LUBA	03°27'35.8"N	008°33'27.4"E	37,8

Tabla 8: coordenadas de los puntos de la red troncal primaria (WIMAX LUBA)

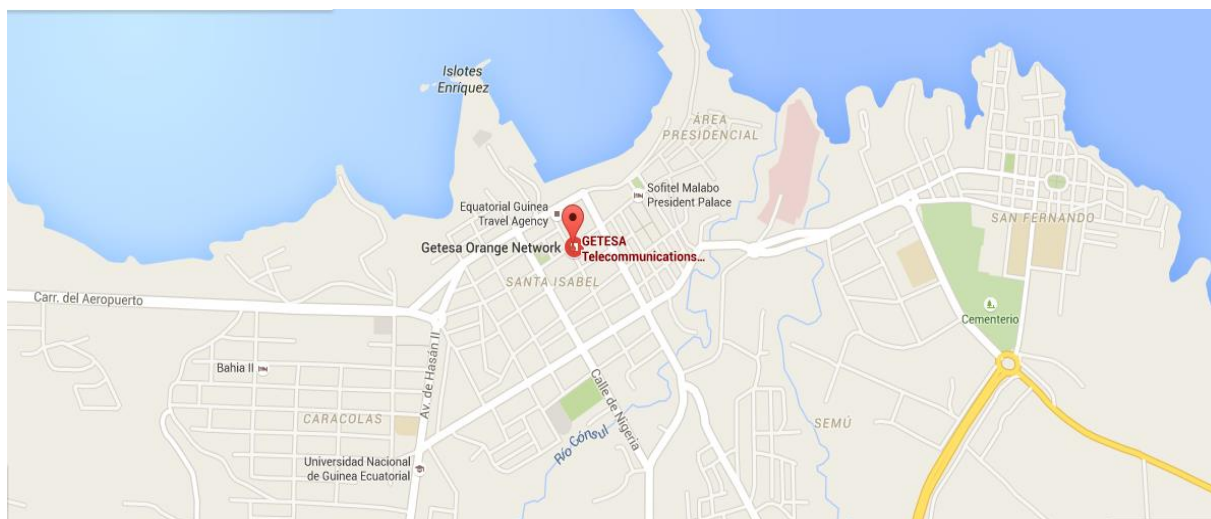


Figura 27: localización de la central de Telecomunicación

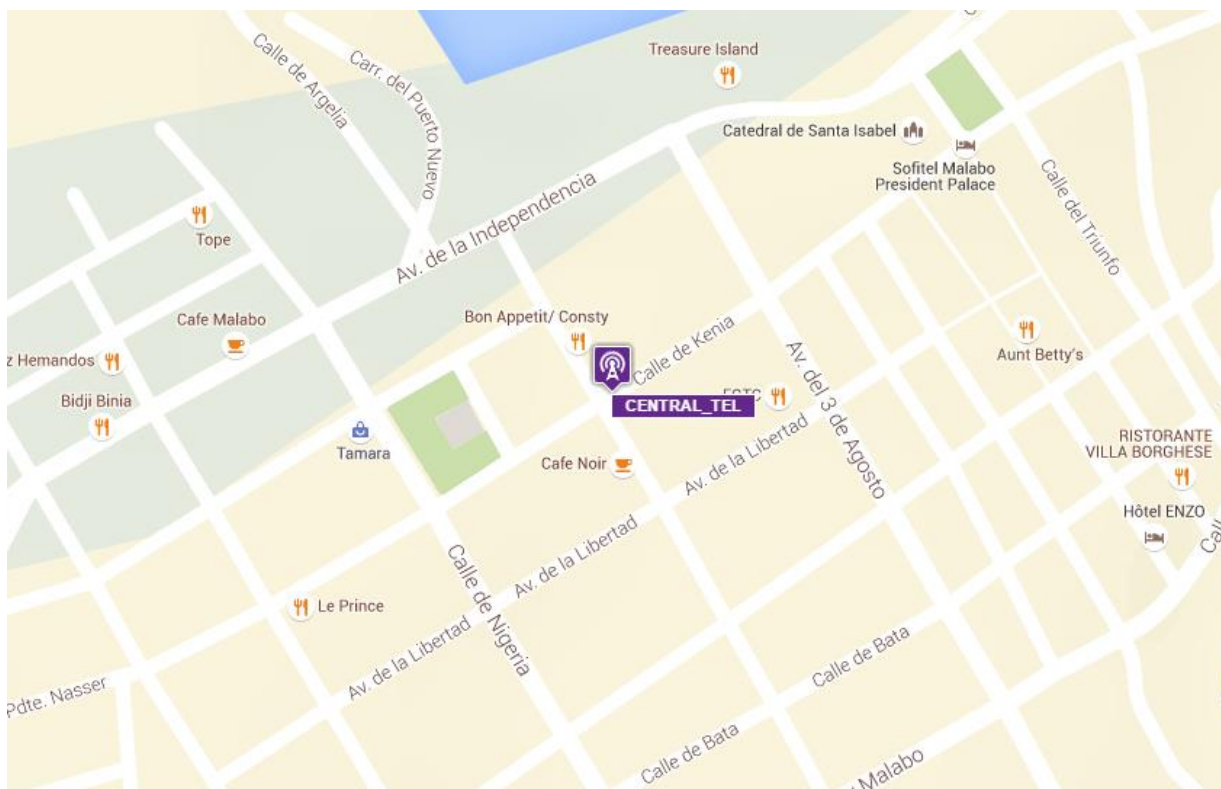


Figura 28: visión más detallada de la central de telecomunicación

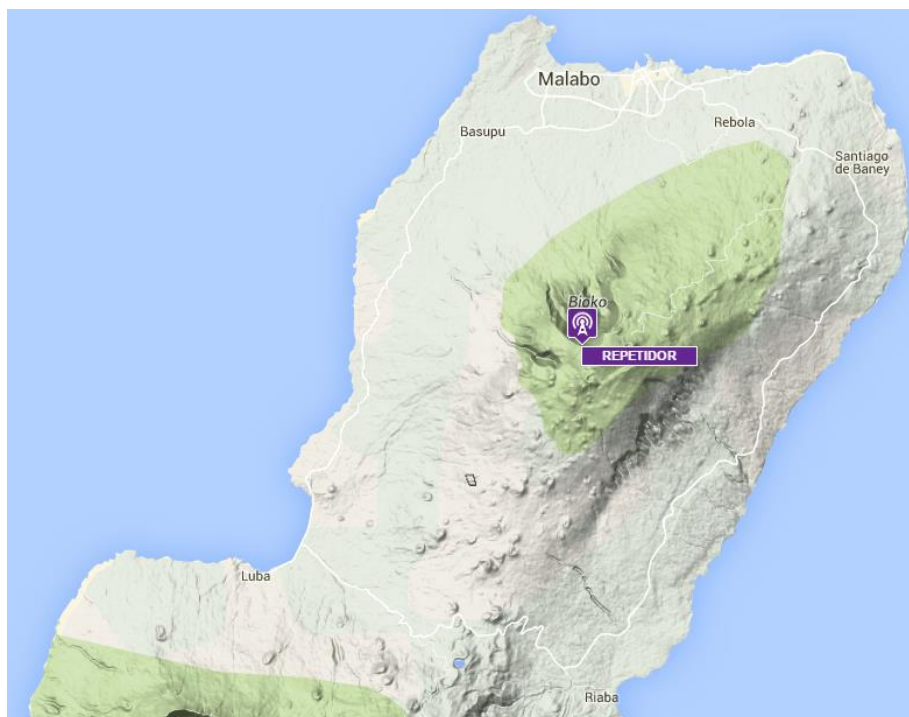


Figura 29: localización del repetidor (WIMAX LUBA)

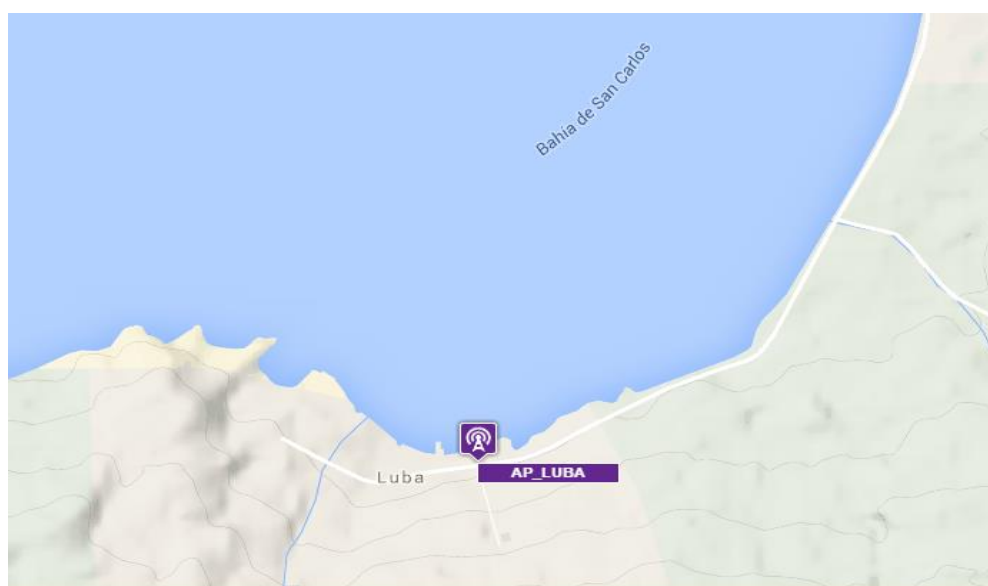


Figura 30: localización de la estación AP_LUBA

5.3.1.2 RED TRONCAL SECUNDARIA

5.3.1.2.1 REQUERIMIENTOS

La red troncal secundaria estará formada por los equipos que interconectan la estación base (AP_LUBA) con todos y cada una de las de los terminales de usuario (CPE) a través de un enlace punto multipunto. El ancho de banda de cada enlace será menos que el soportado por la red troncal primaria, pero estará dimensionada para soportar el tráfico generado por los usuarios que llegan mediante la red de acceso a WIFI.

Los puntos que se interconectan en esta red troncal secundaria son: el AP_LUBA, que es la estación base a las que accederán cada uno de los clientes que desean hacerse con el servicio; y CPE, que es la estación suscriptora que se instala en el edificio de cada cliente.

El equipamiento de la red troncal secundaria debe cumplir con estos requisitos mínimos:

- Los equipos inalámbricos deben emitir en canales de banda libre según la comisión del mercado de Telecomunicación (CMT) y el cuadro nacional de atribución de frecuencias (ORTEL).
- Los equipos utilizados deben los anchos de banda requeridos para proporcionar el servicio deseado.
- Los equipos tiene que disponer de una toma Ethernet que les permita conectarse a otra electrónica de red o a otros equipos de radio directamente.
- Los equipos deben soportar encriptación para así disponer de una comunicación segura.
- Los equipos deben implementar el protocolo SNMP, con el fin de que puedan ser monitorizados remotamente utilizando las herramientas de software adecuadas.
- Los equipos deben poder ser configurables y actualizados utilizando el interfaz aire, para así poder llevar a cabo estas acciones de manera remota.
- Los equipos deben cumplir con la normativa vigente para las instalaciones en exteriores, incluyendo protección contra los rayos. Todos los conectores deberán estar debidamente sellados.

5.3.1.2.2 LOCALIZACION DE LOS EMPLAZAMIENTOS

Puesto que se desconoce el número exacto de clientes finales, únicamente pondremos unas cuántas estaciones terminales (CPE) por la zona como referencia. Una de ellas se instalará en la parroquial de nuestra señora de Montserrat y los demás se instalarán en los extremos del pueblo para verificar que la estación base cubre toda la ciudad.

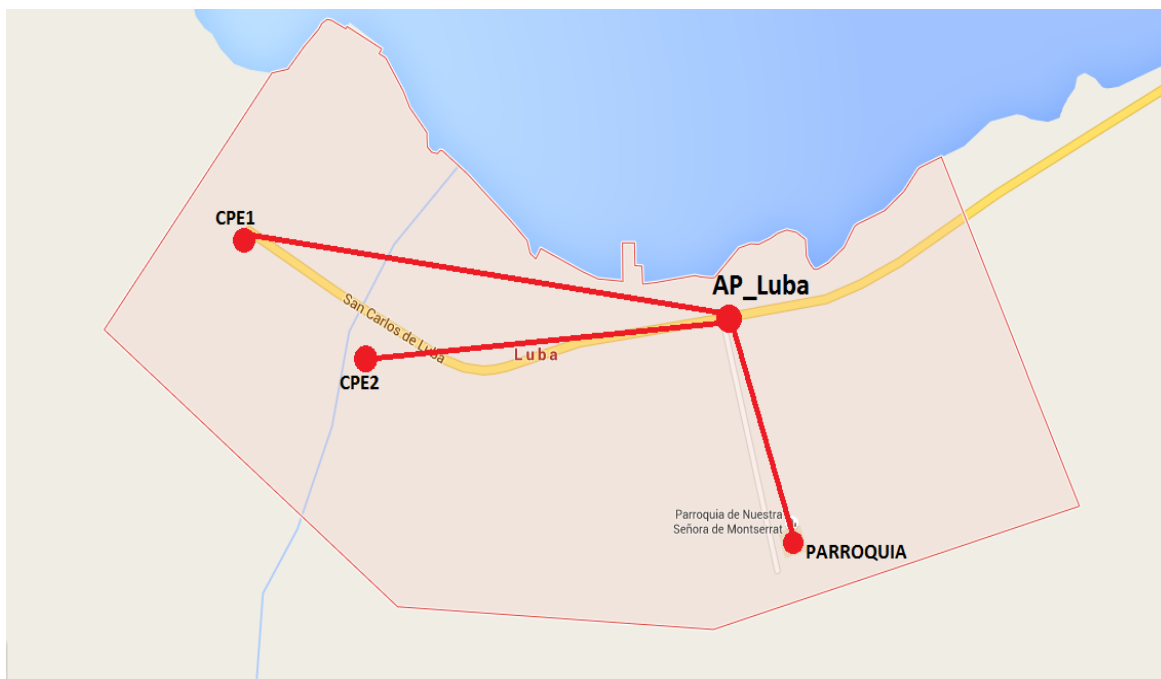


Figura 31: esquema de la red de distribución de LUBA

EMPLAZAMIENTO	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD (m)
AP_LUBA	03°27'35.8"	008°33'27.4"	37.8
Parroquia	03°27'18.8"	008°33'33.0"	94.8
CPE1	03°27'42.1"	008°32'44.1"	44.7
CPE2	03°27'21.4"	008°32'58.1"	50.4

Tabla 9: coordenadas de los emplazamientos (WIMAX LUBA)

5.3.1.3 RED DE ACCESO

La red de acceso puede considerarse el final del trayecto, es la red que proporciona cobertura inalámbrica WIFI. Esta red está formada por equipos que interconectar el punto de acceso y el CPE.

Las características mínimas exigidas para el equipamiento de la red de acceso WIFI en cada una de las viviendas son las siguientes:

- Los equipos deben soportar el estándar IEEE802.11

- Los equipos deben ser gestionados mediante SNMP, lo que permitirá la monitorización y gestión remota de estos.
- Deben soportar seguridad WEP y WAP
- El equipamiento debe disponer de un puerto Ethernet 10/100 Base T que permite conectarlo con otro equipo de la red.

Se deben incluir los equipos necesarios para la interconexión de los puntos de acceso WIFI a la red troncal.

5.3.2 EQUIPOS A UTILIZADOS

5.3.2.1 RED TRONCAL PRIMARIA

La elección de los equipos de uno u otro proveedor depende de factores como el tiempo para la adquisición de los equipos, balance entre precio y presupuesto disponible o de las relaciones existentes entre el cliente y el fabricante. Sin embargo, se han elegido equipos del fabricante Alentia Systems, el cual cuenta con las siguientes ventajas:

- Equipamiento estándar e interoperable
- Disponibilidad de repetidores
- Robustez y calidad
- Altas prestaciones

Central_Tel: el equipo empleado para esta estación es **LNK-LU-350-23**. Es el radio enlace punto a punto de gama profesional de Alentia Systems en la banda libre de 5Ghz. El equipo ofrece alta capacidad permitiendo un mayor aprovechamiento del espectro y reutilización de frecuencias. El equipo dispone de control automático de potencia (ATPC) que permite un despliegue óptico de la red, la reutilización de frecuencias próximas y evitar interferencias. Incluye así mismo autenticación ARQ, cifrado AES 128 y una robusta modulación adaptativa. Lleva integrada una antena de 23dB.



Figura 32: **LNK-LU-350-23**

REPETIDOR: empleamos para este repetidor el equipo **RTP-58**. No lleva antenas integradas, en su lugar incorporar dos conectores tipo N para las antenas que utilizemos. Las dos antenas que se utilizará para esta estación pertenecen al modelo **UBIQUITO NB-5G25** de 25dB de la proveedora Ubiquiti Networks. Algunas de las características importantes que presenta el repetidor son:

- Compatible con cualquier equipo IEEE802.16
- Repetidores por salto en frecuencia no regenerativos.
- Excepcional etapa de filtrado para mejorar la respuesta frente a interferencias.
- Control de ganancia automática en ambos sentidos de la transmisión.
- Adecuadas para alimentación mediante energía solar.
- Forma compacta y bajo consumo.



Figura 33: REPETIDOR

AP_LUBA: para la recepción de la señal se utilizará el mismo equipo empleado en la estación de la central de telecomunicaciones (**LNK-LU-350-23**).

5.3.2.2 RED TRONCAL SECUNDARIA

En la estación base **AP_LUBA** se utilizará equipo **AXS-BS-450-N**, que es una estación base de cuatro sectores, por lo tanto, necesitaremos 4 antenas WIMAX, las antenas son del modelo **AM-V5G-Ti** sectorial de 90° y doble polarización del proveedor Ubiquiti Networks. Proporciona hasta 140Mbps utilizando 4 canales de radio independientes de hasta 10MHz, y ofrece QoS equivalente a las redes de cable (HFC). Se trata de un equipo full-outdoor de bajo consumo, alta capacidad y muy compacta, y con una gran capacidad de procesamiento. Esta estación base minimiza el uso espectral y proporciona la mayor protección ante interferencias gracias al uso de canales muy estrechos, ARQ y TBIM entre otros mecanismos.

Por lo tanto esta estación base se conectará por un lado con las antenas que darán cobertura a varias células y por otro lado establecerá un radioenlace punto a punto que le interconectará al CPD.



Figura 34: estación base AP_LUBA

Mientras que en los equipos instalados en las estaciones suscriptores utilizarán los equipos **AXS-CPE 150-15**, los cuales llevan incorporadas antenas directivas de 15dBi apuntando a la estación base. Se trata de un terminal de usuario diseñado por Albertia Systems para cubrir las necesidades de acceso inalámbrico en la banda de 5GHz. Se trata de una CPE de bajo coste y fácil instalación, permite al operador ofrecer servicios equivalentes a los de redes de acceso cableadas. Con funcionalidad Home-Gateway, ofrece una interfaz web de fácil configuración para el usuario final.



Figura 35: equipo de la estación suscriptora (CPE)

5.3.2.3 RED DE ACCESO

Se instalará un punto de acceso por ubicación. En cuanto a cobertura no hay requerimiento específico en cuanto a zonas a cubrir. El punto de acceso deberá soportar el estándar IEEE802.11 y además estar configurado para ofrecer encriptación avanzada (WPA) con claves dinámicas por sesión y usuario, así como de control de ancho de banda para cada usuario. El equipo de acceso utilizado es el **Gemtek P-560**, del fabricante Gemtek Systems. Se trata de un dispositivo que puede hacer de punto de acceso, así como de conmutador.



Figura 36: punto de acceso

En la figura siguiente se representa la estructura de la red en las viviendas de los clientes.

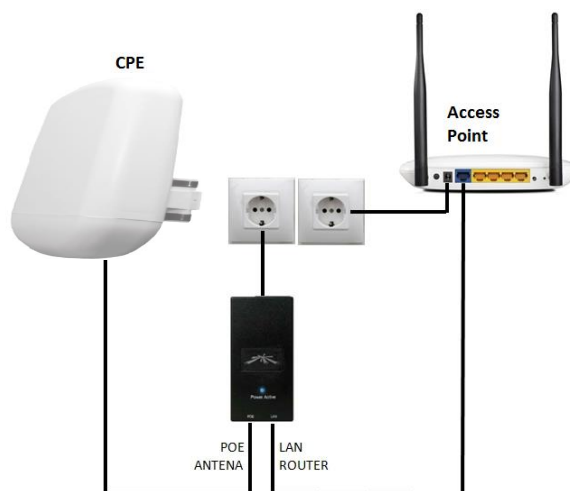


Figura 37: cableado de la red de acceso

5.3.2.4 CABLEADO NECESARIO

Con este proyecto se pretende crear una red completamente inalámbrica, y en lo que a la red de acceso se refiere, que ya se ha cumplido ya en este trabajo. Sin embargo, dos cableados son indispensables: la corriente eléctrica, que necesitan los equipos de la red para que funcionen; y los latiguillos Ethernet que conectar que interconectar algunos dispositivos con otros.

Cable eléctrico: la alimentación de los equipos instalados en la edificación de los clientes no supone ningún problema, puesto que se alimentarán con la instalación eléctrica incorporada en el edificio. En cambio, las estaciones base WIMAX se alimentan normalmente a través de los dispositivos PoE instalados en la misma estación base. Dichos

dispositivos pueden recibir corriente de un generador instalado, de una instalación eléctrica para el alumbrado público o de un sistema de alimentación fotovoltaico instalado para tal efecto.

Cable Ethernet: también se ha de tener en cuenta los cables que unen las unidades de acceso WIMAX con los puntos de acceso finales. También hay que contar con los cables que se utilizan en la unión de la red troncal primaria con la red troncal secundaria, unión establecida mediante un switch.

5.3.3 PLANIFICACION RADIOELÉCTRICA

En la planificación radioeléctrica realizaremos cálculos de los enlaces establecidos en cada una de las redes.

En la localidad en la que deseamos establecer el servicio no se ha podido encontrar un informe en cuanto a restricciones sobre la potencia máxima radiada (PIRE). Sin embargo, trabajando con la herramienta LinkPlanner, se ha observado que, en las zonas no reguladas por UTI el nivel máximo de potencia que se puede radiar es de 46dBm. Este es el límite de radiación que vamos a utilizar en el diseño.

Cabe destacar que los programas que vamos a utilizar para el estudio radioeléctrico sólo nos presentan una estimación de la propagación; por lo que los resultados que se obtendrán pueden diferir con los resultados reales.

5.3.3.1 RED TRONCAL PRIMARIA

Para el enlace que forma la red troncal primaria realizaremos los cálculos pertinentes de nivel de señal esperado y margen de desvanecimiento que se obtiene. Dicho cálculo consistirá en un balance de potencia, empezando por el nivel de potencia que sale de la estación emisora y sumando o restándole los distintos factores que lo pueden afectar; los cuales se detallan a continuación:

- P_{tx} : potencia del transmisor
- L_{tx} : pérdidas en la línea de transmisión del transmisor. Sin embargo, cabe destacar que si la antena se encuentra integrada al mismo, las pérdidas asociadas a dicho transmisor son nulas
- G_{tx} : ganancia de la antena transmisora
- L_p : pérdidas por propagación entre ambas estación.
- G_{rx} : ganancia de la antena receptora.
- L_{rx} : pérdidas en la línea del receptor.

- P_{rx} : nivel de potencia que llega al receptor
- S_{rx} : sensibilidad del receptor.

Cabe señalar que, con el propósito de evitar interferencias con la red secundaria, la red troncal primaria se diseñará con una frecuencia diferente dentro del mismo rango de frecuencias sin licencia.

La fórmula para el balance de potencia tendría la siguiente forma:

$$Prx(dBm) = Ptx(dBm) - Ltx(dB) + Gtx(dB) - Lp(dB) + Grx(dB) - Lrx(dB)$$

Para el correcto funcionamiento en este cálculo se deben asegurar que la potencia que llega al receptor sea superior a la sensibilidad (S_{rx}) del mismo. Además se tiene que establecer un margen de seguridad por desvanecimiento, es decir, un margen de seguridad dentro del cual la potencia del receptor debe superar a la sensibilidad. Para ello se establece que dicho valor tiene que ser mayor que 10 dB.

$$\text{Margen de desvanecimiento: } P_{rx} - S_{rx} \geq 10\text{dB}$$

El equipo elegido para esta red troncal puede trabajar con varias modulaciones distintas las cuales se van eligiendo de acuerdo a las condiciones del enlace, es decir, de acuerdo al nivel de potencia que llega al receptor. Por lo tanto, para condiciones favorables se usa modulaciones con un elevado número de símbolos lo que permite conseguir grandes anchos de banda. En cambio, si las condiciones no son nada favorables, se pasan a niveles de modulación con pocos símbolos, con lo cual se obtiene anchos de banda menores.

Cada nivel de modulación tiene asociada una sensibilidad, como antes hemos mencionado, y a su vez se encuentra asociado a un determinado ancho de banda, cuyos datos se pueden encontrar en la hoja de características de cada uno de los equipos. Por lo tanto, calculando la potencia recibida es posible estimar la máxima modulación que se puede emplear en cada enlace.

Para la realización de los cálculos de los encales procederemos de siguiendo los siguientes pasos:

1. Cálculo del radio de la primera zona de Fresnel

$$\text{Radio de la primera zona de Fresnel} = 547,723 \sqrt{D/4F}$$

Donde:

D : distancia del radioenlace en Km

F : frecuencia del radioenlace en MHz

2. Comprobar que al menos el 60% de la zona de Fresnel se encuentra sin obstáculos.

3. Una vez que hemos verificado las condiciones de línea de visión directa, consideraremos que las pérdidas por propagación son las del espacio libre, las cuales vienen dadas por la siguiente fórmula según la recomendación ITU-R P.525-2:

$$L_p = 32,4 + 20\log(F) + 20\log(D)$$

De donde:

F: frecuencia de propagación en MHz

D: distancia entre las dos estaciones en Km

Finalmente realizar el balance de potencia, atendiendo a las características los equipos.

Para realizar los cálculos utilizaremos los siguientes datos:

- **Perfil cartográfico:** permite comprobar si hay visión directa entre las dos estaciones.
- **Zona de Fresnel:** tamaño en metros de al menos 60% de la zona de Fresnel en su punto máximo. También se indica tras la inspección visual si existen obstáculos en el área que debe dejarse libre.
- **Tipos y ganancia de las antenas utilizadas:** cuya característica influirá en el balance de potencia a realizar.
- **Tipos de cables empleados, longitud y pérdidas de los mismos:** influirán directamente en el balance de potencia.
- **Pérdidas en otros elementos (conectores, etc.):** es posible incluir otros elementos que supondrán pérdidas adicionales, las cuales se ha de tener en cuenta a la hora de realizar el balance de potencia.
- **Distancia del enlace:** esta característica es uno de los factores más importantes a tener en cuenta en las pérdidas de propagación.
- **Frecuencia utilizada:** cuya característica influye directamente en las pérdidas por propagación.
- **Potencia de transmitida:** parámetro perteneciente al balance de potencia
- **Nivel de señal recibida:** parámetro calculado según la potencia de transmisión, las ganancias de las antenas, las pérdidas en los cables, conectores, etc...
- **Sensibilidad del receptor:** nivel de potencia mínimo para que dicho elemento funcione generalmente.
- **Margen de desvanecimiento:** el margen en dB entre la potencia de la señal recibida y la sensibilidad del equipo.

❖ **ENLACE: Central_Tel ↔ REPETIDO**

Frecuencia	5,6 GHz	
Distancia	18,41 Km	
Estación	Parámetros	Valores
Central_Tel	Potencia de transmisión	22dBm
	Sensibilidad	-90dBm
	Pérdida en los conectores	1dB
	Longitud de los cables	5m
	Atenuación en los cables	35,5dB/100m
	Ganancia de las antenas	25dBi
	PIRE	44,23dBm
	Altura de la estación	15 m
REPETIDOR	Potencia de transmisión	26dBm
	Sensibilidad	-90dBm
	Pérdida en los conectores	1dB
	Longitud de los cables	15m
	Atenuación en los cables	35,5dB/100m
	Ganancia de las antenas	25dBi
	PIRE	44,67dBm
	Altura de la estación	15 m

Tabla 10: datos de las estaciones del enlace Central_Tel - REPETIDOR

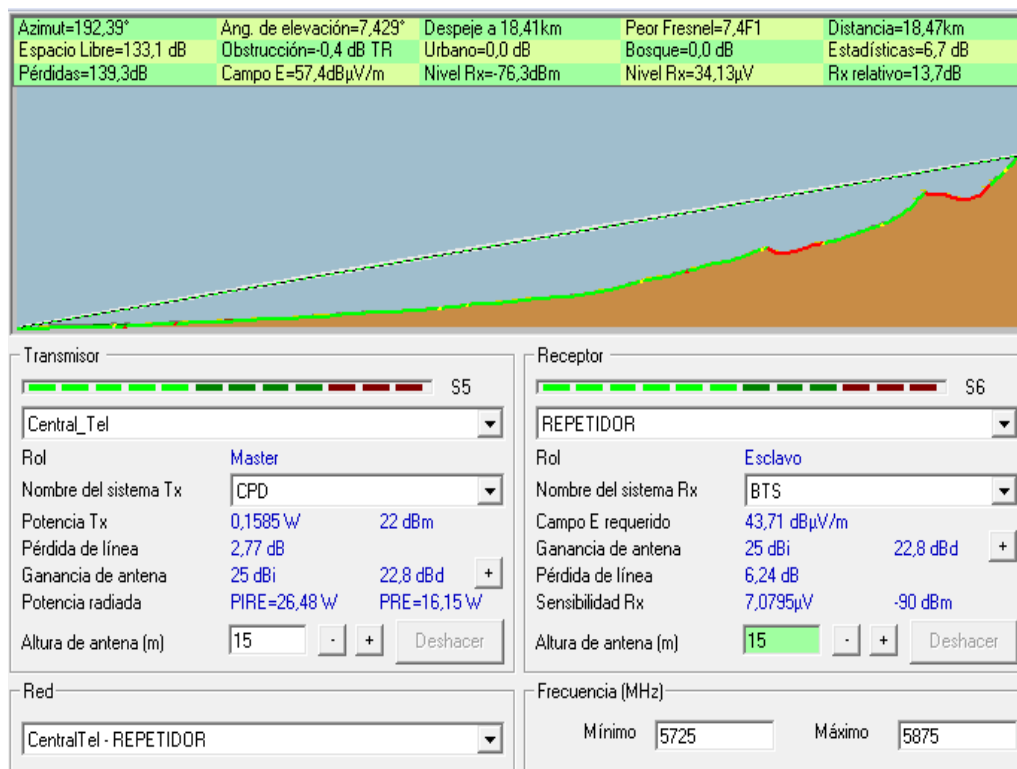


Figura 38: resultados de simulación. Enlace **Central_Tel → REPETIDOR**

Seguidamente realizaremos un balance de potencia para conseguir los resultados teóricos con el propósito de realizar una comparativa con los resultados obtenidos en la simulación; para ello utilizaremos los datos de las estaciones recogidos en la tabla 14 y las ecuaciones de las páginas 62 y 63 respectivamente.

Parámetros	Valores
Distancia	18,47 Km
Frecuencia	5,6 GHz
Atenuación en espacio libre	132,99 Db
Primera zona de Fresnel	15,55 m
60% 1ª zona de Fresnel	9,33 m
Nivel de señal en recepción	-70,08 dBm

Tabla 11: resultados teóricos del enlace **Central_Tel → REPETIDOR**

❖ **ENLACE: REPETIDOR ↔ AP_LUBA**

Frecuencia	5,6 GHz	
Distancia	25,46 Km	
Estación	Parámetros	Valores
REPETIDOR	Potencia de transmisión	26dBm
	Sensibilidad	-90dBm
	Pérdida en los conectores	1dB
	Longitud de los cables	15m
	Atenuación en los cables	35,5dB/100m
	Ganancia de las antenas	25dBi
	PIRE	44,67dBm
	Altura de la estación	15 m
AP_LUBA	Potencia de transmisión	26dBm
	Sensibilidad	-83dBm
	Pérdida en los conectores	1dB
	Longitud de los cables	15m
	Atenuación en los cables	35,5dB/100m
	Ganancia de las antenas	25dBi
	PIRE	44,67dBm
	Altura de la estación	15 m

Tabla 12: datos de las estaciones del enlace REPETIDOR – AP_LUBA

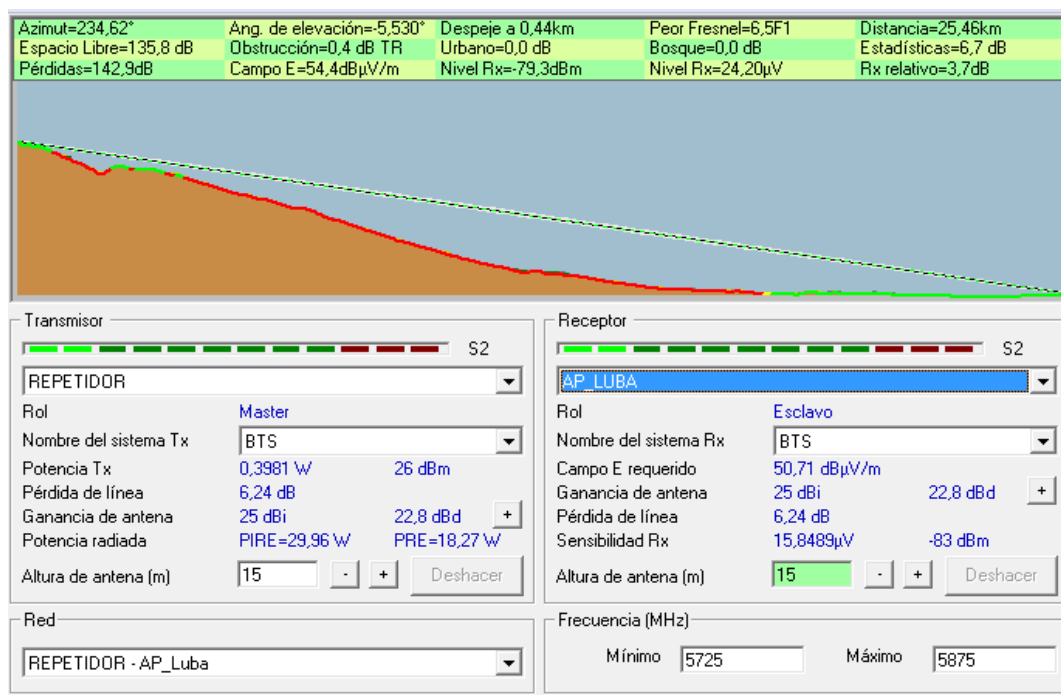


Figura 39: resultado de simulación del enlace **REPETIDOR → AP_LUBA**

Parámetros	Valores
Distancia	25,46 Km
Frecuencia	5,6 GHz
Atenuación en espacio libre	135,78 dB
Primera zona de Fresnel	18,14 m
60% 1ª zona de Fresnel	10,08 m
Nivel de señal en recepción	-72,43 dBm

Tabla 13: resultados teóricos del enlace RPETIDOR→AP_LUBA

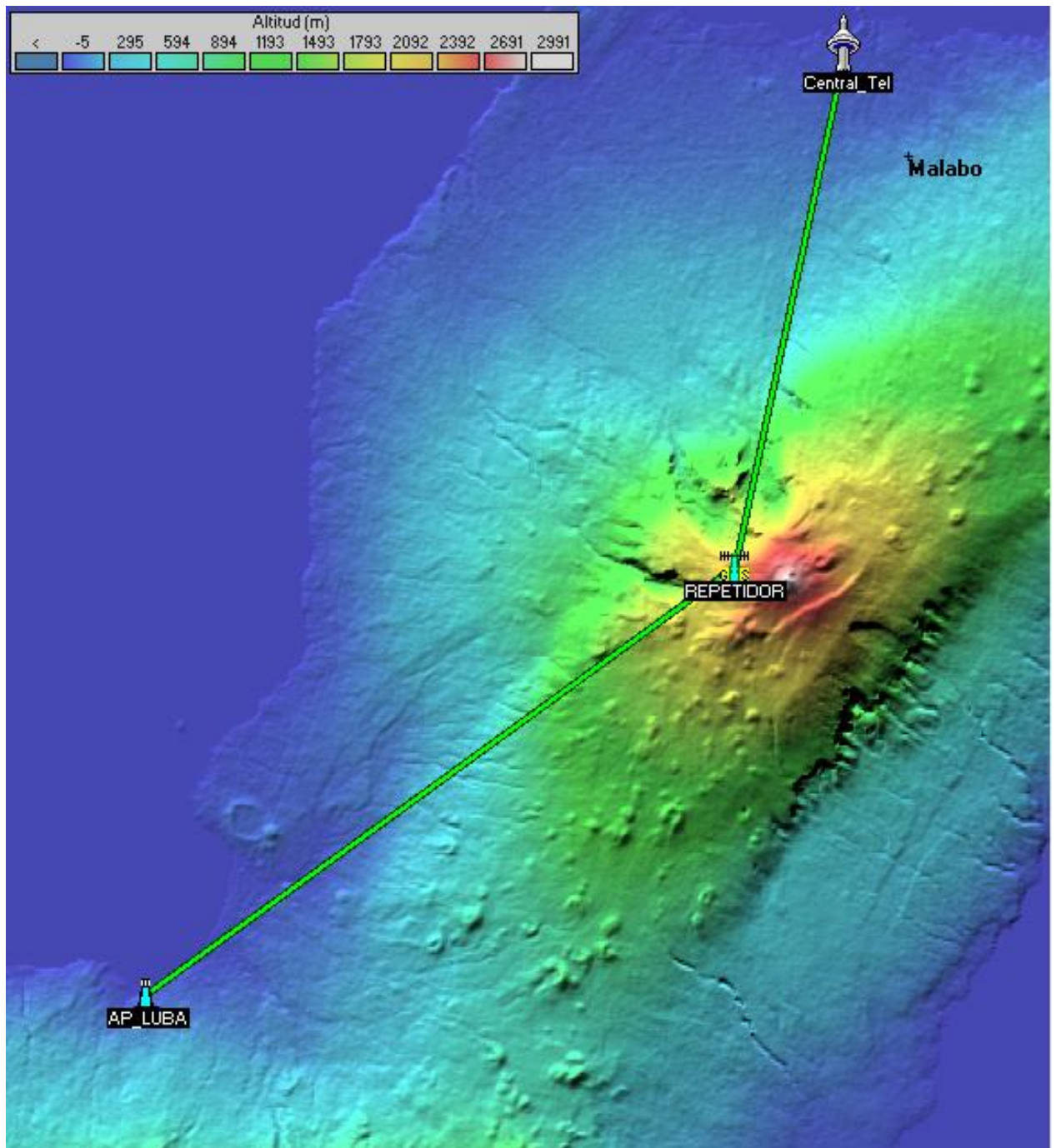


Figura 40: esquema general de la red troncal primaria

5.3.3.2 RED TRONCAL SECUNDARIA

Los cálculos que ha realizar en la red troncal secundaria se basan en los mismos principios que los de la red troncal primaria aplicados anteriormente. Sin embargo, a la hora de realizar los cálculos se debe tener en cuenta que los equipos de esta red difieren de los de la red troncal primaria, por los que sus características difieren.

❖ ENLACE: AP_LUBA ↔ Parroquia

Frecuencia	5,8 GHz	
Distancia	0,55 Km	
Estación	Parámetros	Valores
AP_LUBA	Potencia de transmisión	26dBm
	Sensibilidad	-83dBm
	Pérdida en los conectores	1dB
	Longitud de los cables	15m
	Atenuación en los cables	35,5dB/100m
	Ganancia de las antenas	19dBi
	PIRE	38,67dBm
	Altura de la estación	15 m
Parroquia	Potencia de transmisión	23dBm
	Sensibilidad	-83dBm
	Pérdida en los conectores	0dB
	Longitud de los cables	-
	Atenuación en los cables	-
	Ganancia de las antenas	15dBi
	PIRE	38dBm
	Altura de la estación	3 m

Tabla4: datos de las estaciones del enlace AP_LUBA - Parroquia

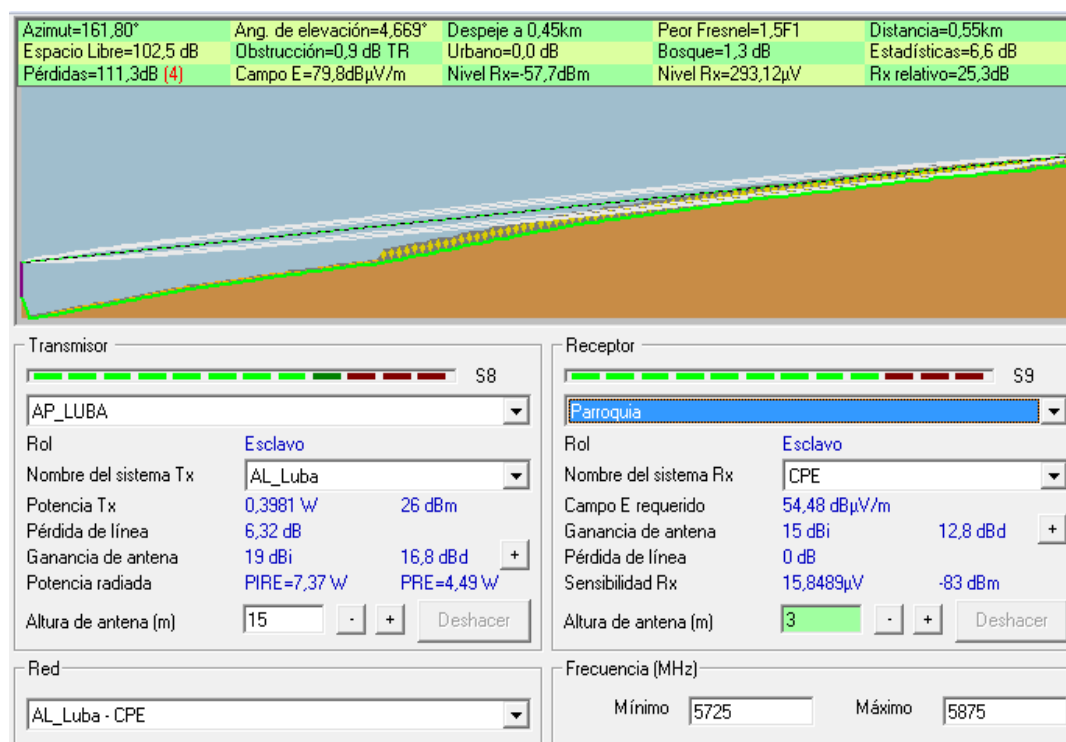


Figura 41: resultados de simulación del enlace AP_LUBA →Parroquia

Parámetros	Valores
Distancia	0,55 Km
Frecuencia	5,8 GHz
Atenuación en espacio libre	102,47 Db
Primera zona de Fresnel	2,66 m
60% 1ª zona de Fresnel	1,6 m
Nivel de señal en recepción	-48,6 dBm

Tabla 15: resultados teóricos del enlace **AP_LUBA → Parroquia**

❖ **ENLACE: AP_LUBA ↔ CPE1**

Frecuencia	5,8 GHz	
Distancia	1,35 Km	
Estación	Parámetros	Valores
AP_LUBA	Potencia de transmisión	26dBm
	Sensibilidad	-83dBm
	Pérdida en los conectores	1dB
	Longitud de los cables	15m
	Atenuación en los cables	35,5dB/100m
	Ganancia de las antenas	19dBi
	PIRE	38,67dBm
	Altura de la estación	15 m
Parroquia	Potencia de transmisión	23dBm
	Sensibilidad	-83dBm
	Pérdida en los conectores	0dB
	Longitud de los cables	-
	Atenuación en los cables	-
	Ganancia de las antenas	15dBi
	PIRE	38dBm
	Altura de la estación	3 m

Tabla 16: datos de las estaciones del enlace **AP_Luba ↔ CPE1**

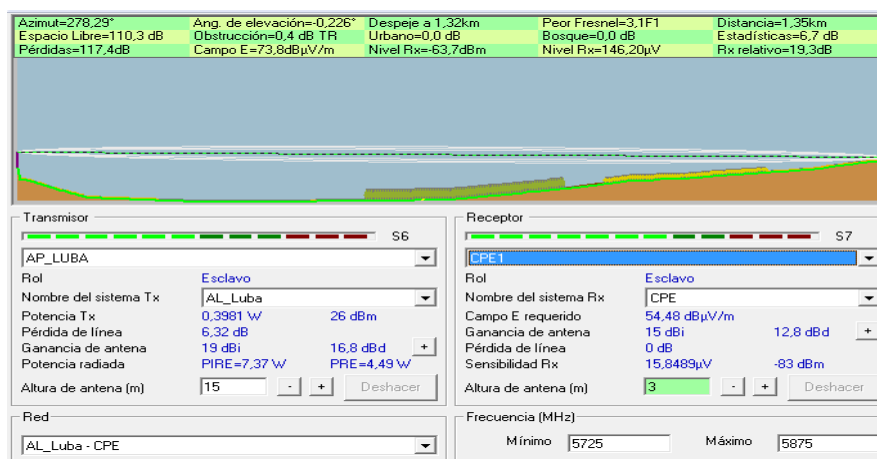


Figura 42: resultados de simulación del enlace **AP_LUBA → CPE1**

Parámetros	Valores
Distancia	1,35 Km
Frecuencia	5,8 GHz
Atenuación en espacio libre	110,27 Db
Primera zona de Fresnel	4,17 m
60% 1ª zona de Fresnel	2,5 m
Nivel de señal en recepción	-56,6 dBm

Tabla 17: resultados de teóricos del enlace **AP_LUBA → CPE1**

❖ **ENLACE: AP_LUBA ↔ CPE2**

Frecuencia	5,8 GHz	
Distancia	1,01 Km	
Estación	Parámetros	Valores
AP_LUBA	Potencia de transmisión	26dBm
	Sensibilidad	-83dBm
	Pérdida en los conectores	1dB
	Longitud de los cables	15m
	Atenuación en los cables	35,5dB/100m
	Ganancia de las antenas	19dBi
	PIRE	38,67dBm
	Altura de la estación	15 m
CPE2	Potencia de transmisión	23dBm
	Sensibilidad	-83dBm
	Pérdida en los conectores	0dB
	Longitud de los cables	-
	Atenuación en los cables	-
	Ganancia de las antenas	15dBi
	PIRE	38dBm
	Altura de la estación	3 m

Tabla 18: datos de las estaciones del enlace **AP_LUBA – CPE2**

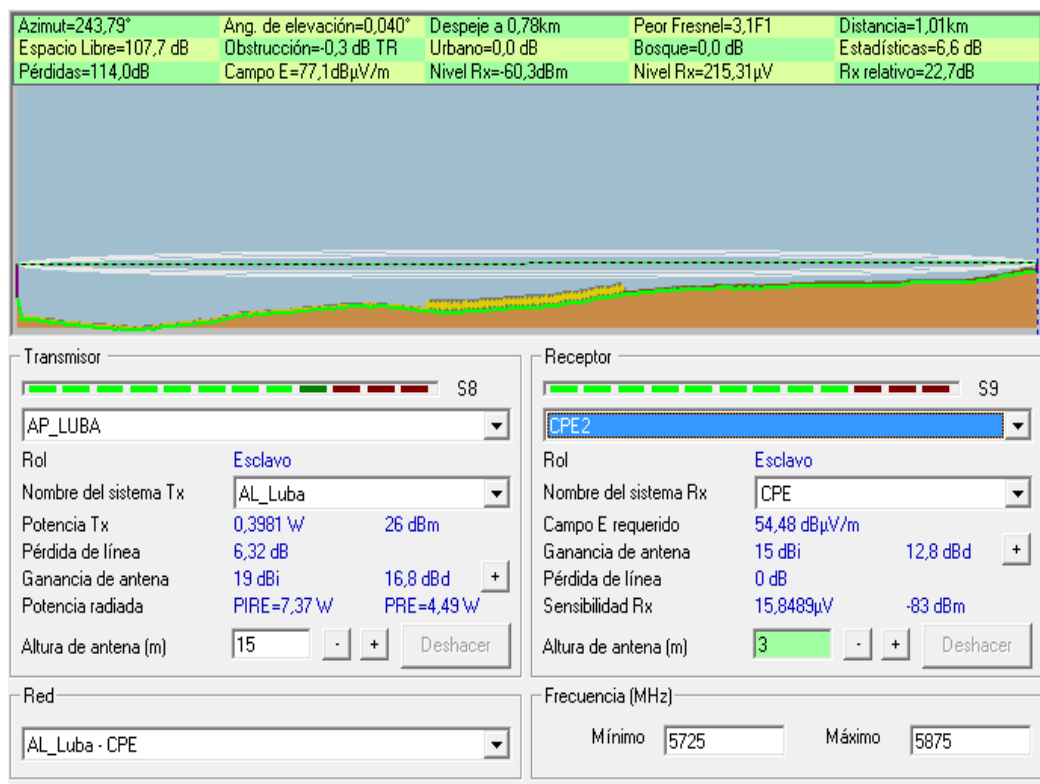


Figura 43: resultados de simulación del radioenlace **AP_LUBA → CPE2**

Parámetros	Valores
Distancia	1,01 Km
Frecuencia	5,8 GHz
Atenuación en espacio libre	107,07 Db
Primera zona de Fresnel	3,61 m
60% 1ª zona de Fresnel	2,16 m
Nivel de señal en recepción	-54,1 dBm

Tabla 19: resultados teóricos del enlace AP_LUBA→CPE2

5.3.4 REVISION DE CUMPLIMIENTO DE REQUISITOS

5.3.4.1 RED TRONCAL PRIMARIA Y SECUNDARIA

A partir de los resultados que podemos recoger de la tabla de cálculos de cada uno de los enlaces podemos verificar que; en algunos enlaces, la sumatoria de la potencia recibida en cada uno de los receptores y el margen por desvanecimiento no cumple con lo establecido anteriormente.

$$Prx - Srx \geq 10dB$$

Donde consideraremos Srx la sensibilidad máxima

Por esta razón en algunos de estos enlaces no se podrá establecer determinadas modulaciones, puesto que las modulaciones se encuentran relacionados con el nivel de señal recibido. Realizando una comparativa entre los valores obtenidos en la simulación con los teóricos del nivel de potencia recibida y de las pérdidas por propagación para comprobar la fiabilidad del modelo de propagación empleado por el programa Radio Mobile.

PARAMETROS	RESULTADOR			
	Potencia recibida (dBm)		Perdidas por propagación (dB)	
	Cálculos	Simulación	Cálculos	Simulación
ENLACES				
Cental_Tel → REPETIDOR	-70,08	-76,4	132,99	139,4
REPETIDOR → AP_LUBA	-72,43	-79,3	135,78	142,9
AP_LUBA → Parroquia	-42,6	-57,7	102,27	111,3
AP_LUBA → CPE1	-56,6	-63,7	110,27	117,4
AP_LUBA → CPE2	-54,1	-60,3	107,77	114

Tabla 20: comparativa de los resultados (**PARTE 1**)

Una vez comparados los valores conseguidos en cada caso y aplicándole el margen de seguridad, podremos determinar en cuales de los enlace no será posible aplicar la máxima modulación disponible (64QAM); teniendo en cuenta que una modulación es aplicable en un enlace si el margen por desvanecimiento en dicho enlace es mayor o igual que 10dB.

ENLACE	Potencia recibida (dBm)	Modulaciones			
		64QAM		BPSK	
		Srx (dBm)	M (dBm)	Srx (dBm)	M (dBm)
Central_Tel→ REPETIDOR	-76,4	-74	-2,4	-90	13,6
REPETIDOR → AL_LUBA	-79,3	-74	-5,3	-92	10,7
AP_LUBA → Parroquia	-57,8	-74	16,2	-92	32,2
AP_LUBA → CPE1	-63,7	-74	10,3	-92	26,3
AP_LUBA → CPE2	-60,3	-74	13,7	-92	29,7

Tabla 21: márgenes de cada uno de los enlaces (**PARTE 1**)

También tenemos que verificar que los equipos seleccionados con capaces de soportar el ancho de banda demandado. En la tabla siguiente se reflejan la capacidad neta de cada uno de los equipos, cuyas características se pueden encontrar en el anexo, así como la capacidad demanda.

Equipos	Capacidad máxima
LNK-LU-350-N	300Mbps
RTP-58	37,7Mbps
AXS-BS-450-N	140Mbps

Tabla 22: capacidad de los equipos

Se utilizarán 4 equipos RTP-58. Para aumentar la capacidad de la estación que hace de repetidor.

5.3.4.2 RED DE ACCESO

El objetivo es dar la máxima cobertura posible en los respectivos complejos de los clientes. Dicho objetivo se puede conseguir instalando un único punto de acceso por cada ubicación los cuales se conectarán al receptor de señal WIMAX situado en el exterior de la vivienda, como se puede apreciar en la figura . Los puntos de acceso se instalarán en el interior de los edificios, colocándose de manera que se obtenga una mejor distribución de la señal en el hogar. La potencia de salida del punto de acceso se ajustará de manera que no sobrepasen los 100mW establecidos por la ley.

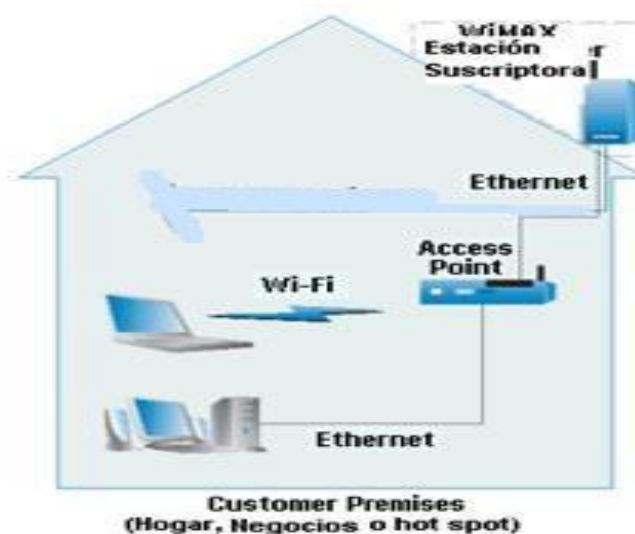


Figura 44: arquitectura de la red en el cliente

5.3.5 PLANIFICACION DE LAS CELDAS DE ACCESO INALÁMBRICO

Con la planificación de las celdas de acceso inalámbrico vamos poder responder a una serie de preguntas como son:

- El número de usuarios al que se puede dar servicio
- El tráfico total ofrecido por la celda
- Si se pueden mezclar usuario residenciales y profesionales



Figura 45: parámetros importantes de una celda

Cabe tener en cuenta que hablar de una celda de acceso radio es hacer referencia a una estación base o también denominada sector que da cobertura a un área donde tenemos los clientes que denominamos CPE's o clientes finales; cada uno de esos clientes pueden ser un cliente residencial, puede ser un negocio o un punto de acceso a internet público.

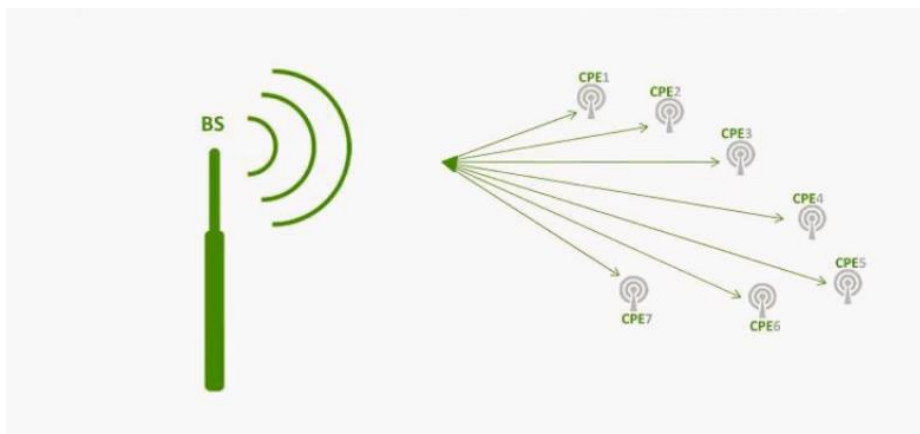


Figura 46: celda de acceso radio

Antes de planificar la celda se debe conseguir que todos los usuarios estén en la máxima modulación posible, algo que se ha podido cumplir según la gráfica 45, con el propósito de

maximizar la capacidad media de la celda; también tenemos que determinar cuál es la capacidad máxima que se le puede ofrecer cada cliente de acuerdo a la distancia a la que se encuentra de la estación base. En la gráfica siguiente tenemos la relación entre capacidad, distancia y modulación según las estaciones base del fabricante Alentia Systems.

modulación	capacidad máx.	distancia máx. 15dB	distancia máx. 19dB	distancia máx. 23dB
64QAM3/4	34Mbps	7km	11km	18km
64QAM2/3	30.2Mbps	9km	14km	23km
16QAM3/4	22.7Mbps	15km	24km	38km
16QAM1/2	15.1Mbps	21km	34km	—
QPSK3/4	11.3Mbps	30km	—	—
QPSK1/2	7.6Mbps	—	—	—
BPSK1/2	3.8Mbps	—	—	—

*según distancia, obstáculos, vegetación...

*10MHz, CP: 1/32, BS: 15 dBi, 2dB flat margin

Figura 47: capacidad máxima de los clientes

SERVICIOS

En la planificación es este trabajo vamos a proporcionar los servicios de Internet y VoIP, entre los cuales cabe destacar la diferencia entre el tráfico garantizado y el tráfico no garantizado.

Cuando deseamos vender un servicio a nuestros clientes, se le asegura una garantía del servicio, dicha garantía de servicio viene a ser la capacidad mínima entregada a cualquier terminal en cualquier condición; para ello se definen dos números o parámetros básicos: MIR (tasa máxima, que es la capacidad que se contrata) y CIR (tasa mínima garantizada).

- Servicios de internet habituales. CIR < 5% ó 0%
- Servicios VoIP. CIR 64Kbps ó 128 Kbps.

De la página oficial de la empresa GETESA se han recogido algunas de las velocidades o productos que se pueden contratar, a los cuales les añadimos los 128Kbps para el servicio de VoIP.

- Producto internet medio: 4Mbps DL, 512Kbps UL (CIR 5%)
- Producto internet Premium: 8Mbps DL, 1Mbps UL (CIR 5%)
- Producto internet empresa: 5Mbps + 5Mbps (CIR 25%)
- Producto VoIP: 128Kbps DL+128Kbps UL (CIR 50%)

NUMERO DE USUARIO QUE PUEDO SERVIR

Para determinar el número de usuarios a los que puedo ofrecer el servicio cabe tener en cuenta dos puntos clave: el CIR y la modulación. Ya que todos los usuarios pueden conectarse a la máxima modulación posible, consideraremos 64QAM3/4 como modulación media; y de la hoja de características de la estación base se recoge su capacidad 140Mbps.

Datos:

- Modulación media: 64QAM3/4
- Servicios habituales: Premium +VoIP
- Capacidad media: 140Mbps

Resultados:

- CIR: 5% de 9Mbps + 50% de 256Kbps → 0.578Mbps por usuario
- Máximo usuarios ($\frac{\text{capacidad media}}{\text{CIR por usuario}}$): 242
- Capacidad total ofrecida: 2240Mbps
- Sobreprovisión ($\frac{\text{capacidad media}}{\text{capacidad total ofrecida}}$): 1:16

La sobreprovisión indica el número de megas ofrecidos por cada mega de capacidad de la celda o estación base, cuyos valores se encuentran con frecuencia por debajo de 17 megas por mega disponible.

Servicios	CIR por usuario	Max. Usuarios	Capacidad ofrecida	Sobreprovisión
Medio + VoIP	0.3536	395	1782Mbps	1:14
Premium + VoIP	0.578	242	2240Mbps	1:16
Empresa + VoIP	2.2	56	560Mbps	1:4

Tabla 23: prestaciones de la celda

En una misma celda sí se pueden mezclar usuarios residenciales y empresa, teniendo en cuenta la capacidad neta de la estación y el número de empresas que demandan el servicio.

En el apartado 3.1 se ha determinado que el número medio de CPE's es de 79, por lo que se cumple satisfactoriamente con las prestaciones.

5.4 WIMAX MALABO

5.4.1 RED TRONCAL PRIMARIA

La red troncal primaria consistirá en una conexión mediante una red cableada de la compañía proveedora del servicio con la estación base en cuestión (**AP_Malabo**). Esto es posible, puesto que la estación se ubica en el casco urbano de la ciudad donde es fácil acceder a internet por cable.

De esta manera la estación base se conecta por un lado a las antenas que darán cobertura y por otro lado a la red cableada de la ciudad. El área de cobertura, como el caso de la estación base de la ciudad de LUBA, se dividirá en cuatro sectores.



Figura 48: visión de las zonas a cubrir (**PARTE 2**)

5.4.2 RED TRONCAL SECUNDARIA

De la misma manera que se ha procedido para el caso de la estación base de LUBA, se procederá en este caso para calcular la propagación de la señal de la estación. Tenemos que asegurarnos de que la señal se extiende por toda la ciudad a un nivel adecuado, así como en las localidades cercanas como son Basupú y Reboia. En la figura anterior podemos ver las zonas referidas.

EMPLAZAMIENTO	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD(m)
AP_Malabo	03°44'28,9"	008°46'52,2"	67

Tabla 24: coordenadas de la estación AP_Malabo

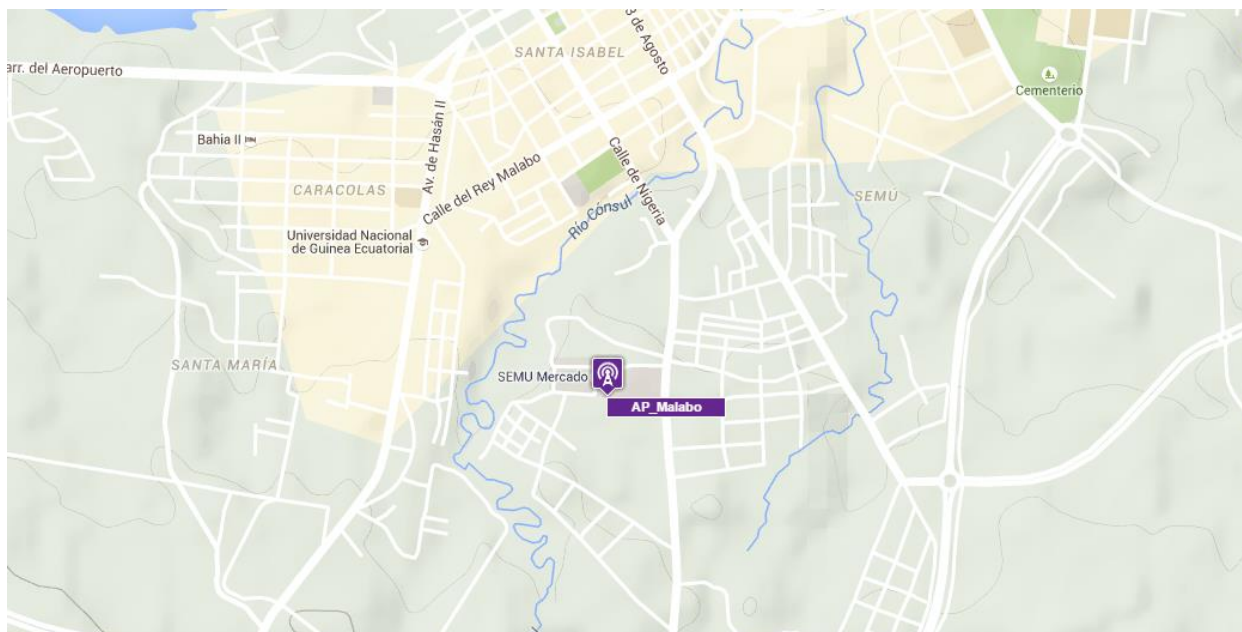


Figura 49: localización de la estación base AP_Malabo

El equipo utilizado en esta estación es el mismo utilizado para la estación AP_Luba (**AXS-BS-450-N**), sin embargo, en este caso se utilizarán antenas sectoriales de 90° y doble polarización de 23dBi del proveedor Ubiquiti Networks (**AM-V5G-Ti**). De igual manera se utilizan los mismos equipos CPE (**AXS-CPE 150-19**), pero en este caso presentan antenas integradas de 19dB.

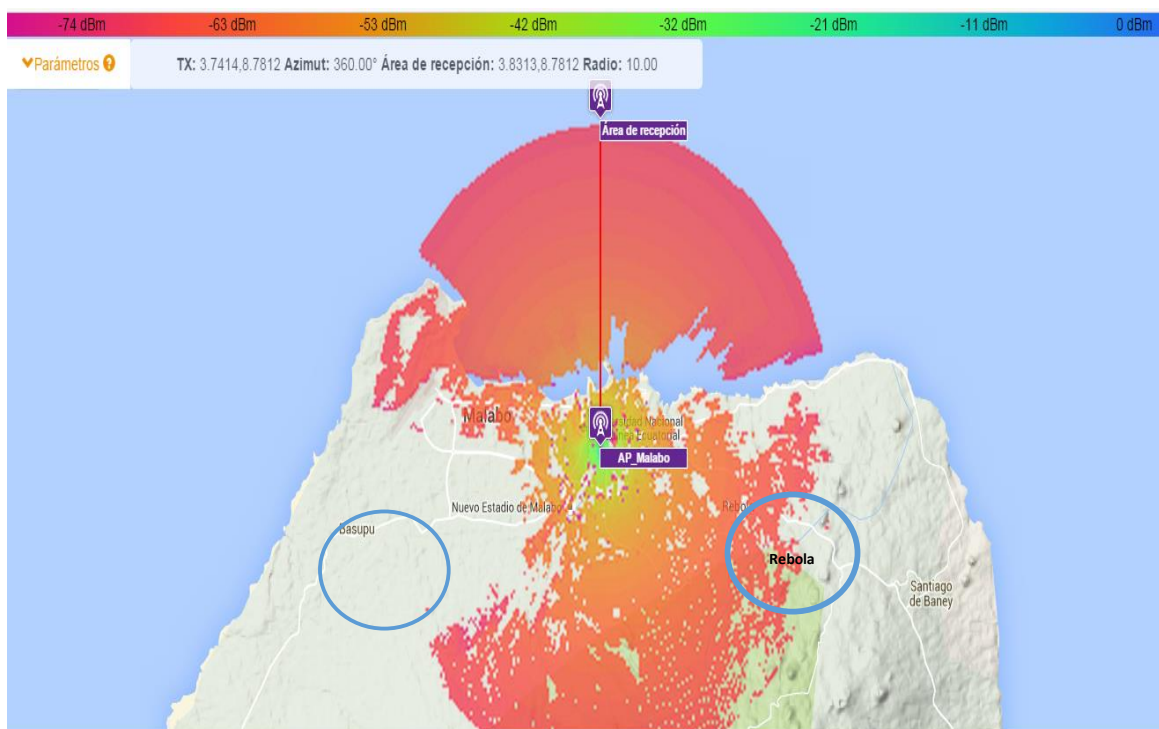


Figura 50: propagación de la señal para la ciudad de MALABO y localidades cercanas

En la figura anterior podemos ver la radiación de la señal, en la parte superior de la misma figura se aprecian los niveles de radiación correspondientes a los diversos colores que presenta el diagrama de radiación. Sin embargo, hay una zona a la que no llega la señal. Para solventar este problema vamos a utilizar un repetidor para cubrir esta zona.

Para resolver el problema presentado en el párrafo anterior; se plantean varios escenarios o soluciones. A continuación se indican lo que implican cada una de ellas.

A. ENLACE DE TRANSPORTE EN BANDA LIBRE

Esta solución consiste en establecer un radioenlace de banda libre entre la estación base y un punto B, en el que se situará el repetidor, para llevar conectividad a este último, funcionando como una estación base adicional para dar cobertura a los usuarios de la zona de sobra. La figura muestra un esquema de dicha solución.

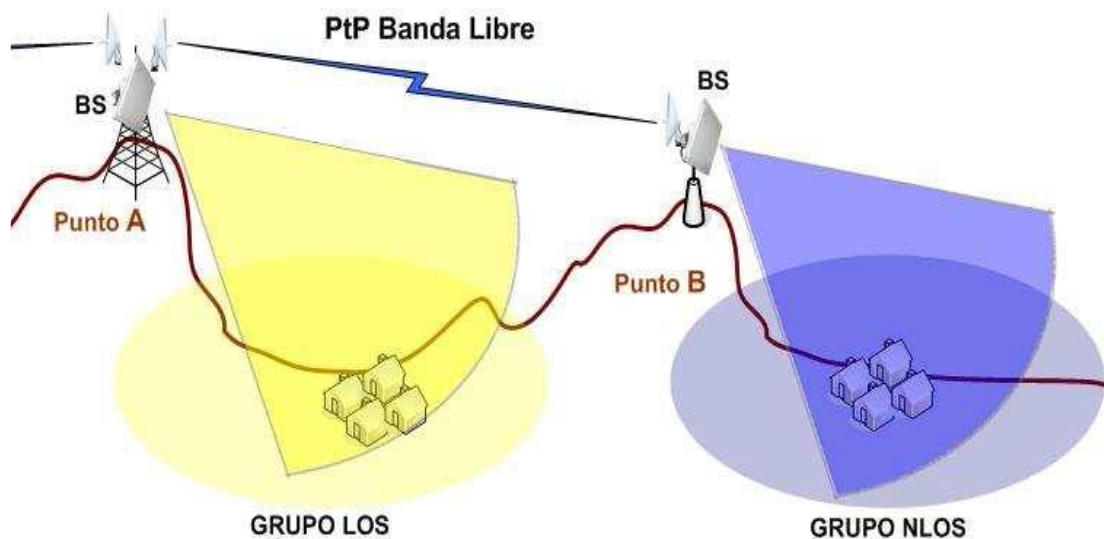


Figura 51: esquema de la solución de una estación base adicional

B. CONJUNTO CPE+BS

Esta solución consiste en la emulación de un equipo transmisor basado en la interconexión de una estación de usuario y una Estación Base instalada en el punto B, se puede denominar a este conjunto como una “*Reley Station*”. Se muestra un esquema en la figura 5.

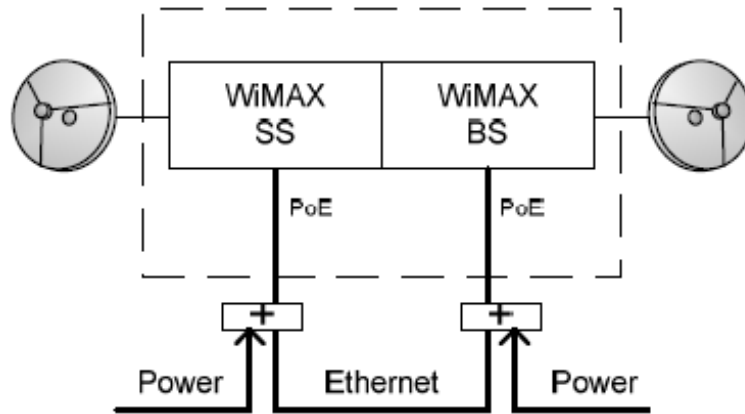


Figura 52: esquema equipo transmisor

La estación de usuario se conectará a la BS del punto A (AP_Malabo), y la BS del punto B dará cobertura a los usuarios de la zona de sombra. El intercambio de datos entre ambos equipos se llevará a cabo mediante una conexión Ethernet externa. Se muestra un esquema en la figura 34.

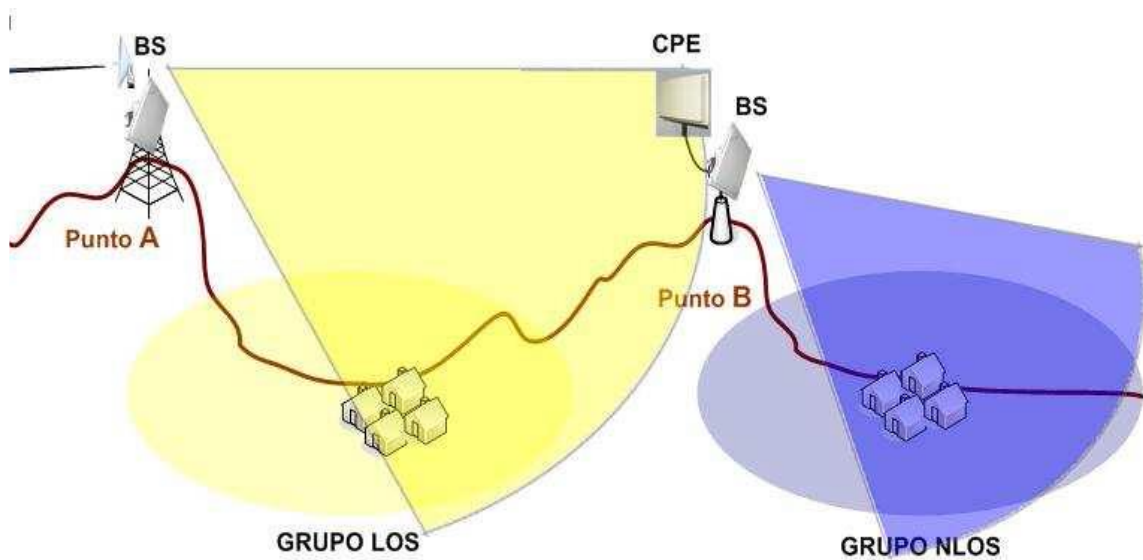


Figura 53: propuesta Relay Station

C. REPETIDOR WIMAX

Esta última propuesta consiste en instalar en el punto B un repetidor WIMAX. Este equipo tiene dos radios y dos conectores de antena. Uno de ellos se apuntará a la BS principal (AP_Malabo), y otro se conectará a una antena sectorial que dé cobertura a los usuarios de la zona no cubierta por la estación principal. El esquema general se muestra en la figura 35.

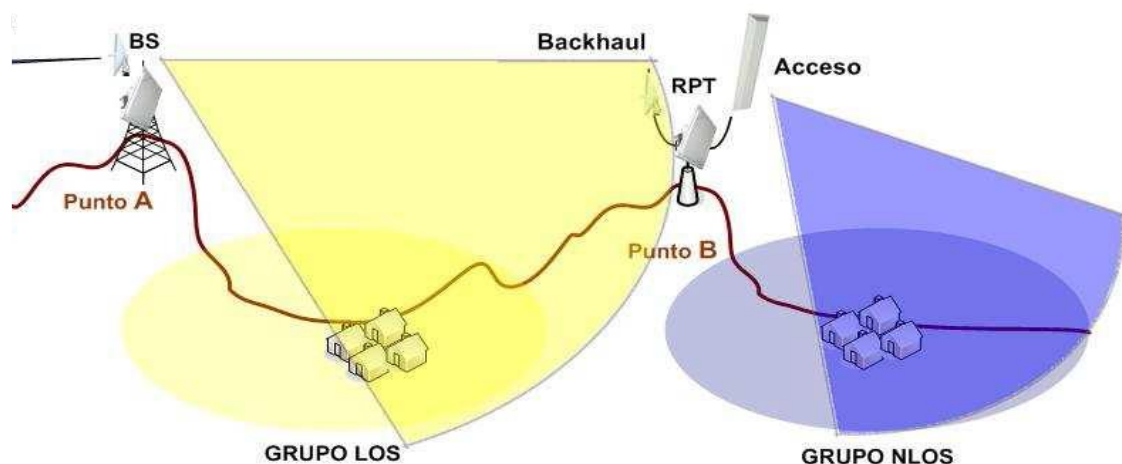


Figura 54: propuesta de uso de un repetidor

De entre las tres propuestas vistas, se optará por la tercera propuesta (uso de un repetidor WIMAX) debido a las siguientes ventajas:

- Costes de equipamiento: mínimos. Esta solución es la más eficiente en este campo.
- Costes y complejidad de la instalación: mínimos, al reducir el número de equipos necesarios. En el punto B solo hay que instalar un repetidor con dos antenas, además de tirar un cable Ethernet y de colocar un alimentador en caseta. Cualquier otra solución implica instalar en el punto B 2 equipos, 2 cables, y dos alimentadores en caseta.
- Transparencia: todos los clientes, independientemente de que se conecten directamente o a través del repetidor, serán tratados de la misma forma en la BS. Esto significa que a efectos de gestión, de configuración, de Networking,... todos tendrán las mismas oportunidades, resultando en una red más homogénea.
- Latencia: al estar conectados directamente a la BS, la latencia de todos los usuarios, directos o a través del repetidor, son similares. La latencia que introduce el equipo repetidor es despreciable ya que la señal recibida por un extremo simplemente se amplifica y se retransmite por el otro extremo.
- Mayor fiabilidad: al haber un número menor de componentes involucrados, es menos probable que alguno de ellos falle. Con el equipo repetidor, la señal radio entra por una antena y sale por la otra. En cualquier otra solución con dos equipos, la señal sale al exterior y vuelve a entrar pasando por muchos elementos intermedios.
- Sencillez de gestión: toda la gestión se realiza en una única estación base.
- Consumo: un único equipo en el punto B implica menos consumo que el de dos equipos. El consumo se incrementa pero no se duplica.
- Sincronismo: no es necesario sincronizar los equipos en el punto B, ya que solo existe un equipo.

- Repetición en cadena: se pueden colocar equipos repetidores en cadena para aumentar sucesivamente la cobertura.

EMPLAZAMIENTO	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD(m)
REPETIDOR1	03°41'17,1''	008°43'02,6''	291

Tabla 25: coordenadas del REPETIDOR1

El equipo utilizado para la estación repetidora pertenece al mismo fabricante (Albentia Systems) y es el **RTP-58**. Se trata de un repetidor WIMAX capaz de operar en modo TDD en banda libre de 5GHz. Este repetidor permite ampliar la cobertura de redes WIMAX sin necesidad de instalar un equipo backhaul y estaciones base adicionales. Son compatibles con cualquier equipo interoperable con el estándar IEEE802.16-2012 y están disponibles para operar en la banda libre de 5725-5875 MHz. Las antenas utilizadas pertenecen al mismo proveedor de las antenas exteriores de la estación AP_Malabo. La operación es totalmente transparente desde el lado de la estación base y de los CPE's gracias a la estación suscriptora que incorporada en el repetidor, que le permite unirse a la red inalámbrica sin interferir en los mensajes entre la estación base y las estaciones suscriptoras conectadas. El repetidor realiza la translación en frecuencia para evitar interferencias y ecos y también proporciona diversidad en frecuencia. Las especificaciones y características técnicas se describen en el anexo. Las antenas utilizadas pertenecen al proveedor Ubiquiti Networks (UBIQUITI NB-5G25).

Datos de instalación de la estación REPETIDOR1	
Equipo usado	RTP-58
Antenas	2 antenas exteriores, una sectoriales de 120° y otra directiva; ambos con una ganancia de 23dBi
Cables	Utilizamos que cable LMR-400. Introduce perdidas en la señal
Altura de la estación	20m
Sellado de conectores	La unidad de exteriores tiene equipado una cobertura estándar para proteger los conectores N de las inclemencias del tiempo.

Tabla 26: datos de la estación REPETIDOR1

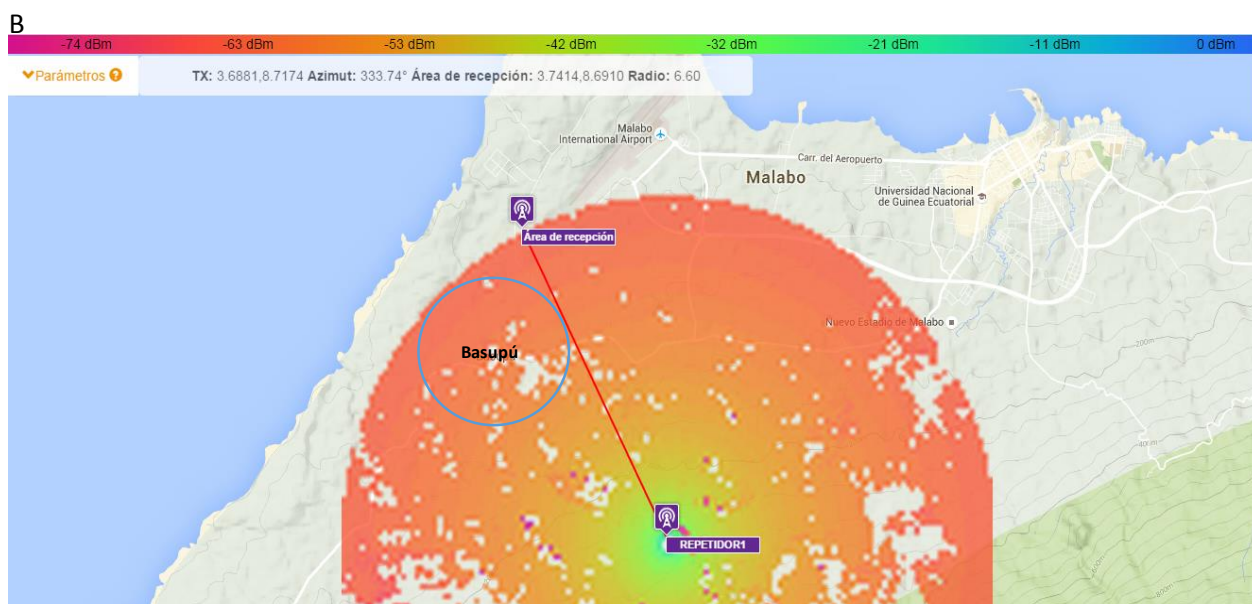


Figura 55: diagrama de radiación del repetidor

Podemos ver que dicho repetidor cubre totalmente la zona deseada. Para cubrir dicha zona nos bastaría con una antena sectorial de 120° , sin embargo, el simulador no proporciona esta opción.

Realizaremos un estudio radioeléctrico para asegurarnos de que a las localidades cercanas a la ciudad de MALABO así como al repetidor lleva la suficiente señal para el correcto funcionamiento del sistema; para llevarlo a cabo se ha establecido una estación suscriptora en cada una de las localidades.



Figura 56: red auxiliar de la ciudad de Malabo

❖ **ENLACE: AP_Malabo ↔ REPETIDOR1**

Frecuencia	5,8 GHz	
Distancia	9,22 Km	
Estación	Parámetros	Valores
AP_Malabo	Potencia de transmisión	26dBm
	Sensibilidad	-83dBm
	Pérdida en los conectores	1dB
	Longitud de los cables	15m
	Atenuación en los cables	35,5dB/100m
	Ganancia de las antenas	23dBi
	PIRE	43,67dBm
	Altura de la estación	15 m
REPETIDOR1	Potencia de transmisión	26dBm
	Sensibilidad	-83dBm
	Pérdida en los conectores	1 dB
	Longitud de los cables	20 m
	Atenuación en los cables	35,5dB/100m
	Ganancia de las antenas	23dBi
	PIRE	40,9dBm
	Altura de la estación	20 m

Tabla 27: datos de las estaciones del enlace AP_Malabo – REPETIDOR1

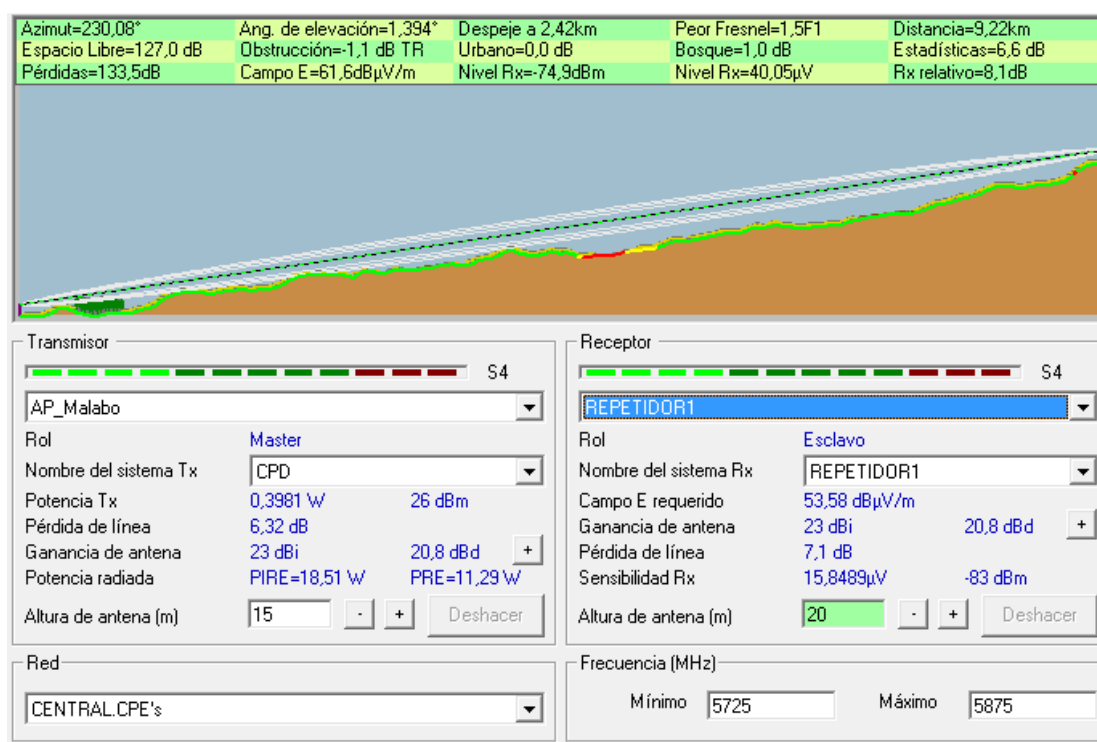


Figura 57: resultados de simulación del enlace AP_Malabo → REPETIDOR1

Parámetros	Valores
Distancia	9,22 Km
Frecuencia	5,8 GHz
Atenuación en espacio libre	126,96 dB
Primera zona de Fresnel	10,9 m
60% 1ª zona de Fresnel	6,55 m
Nivel de señal en recepción	-68,39 dBm

Tabla 28: resultados teóricos del enlace AP_Malabo→REPETIDOR1

❖ ENLACE: AP_Malabo ↔ Rebola

Frecuencia	5,8 GHz	
Distancia	6,61 Km	
Estación	Parámetros	Valores
AP_Malabo	Potencia de transmisión	26dBm
	Sensibilidad	-83dBm
	Pérdida en los conectores	1dB
	Longitud de los cables	15m
	Atenuación en los cables	35,5dB/100m
	Ganancia de las antenas	23dBi
	PIRE	42,67dBm
	Altura de la estación	15 m
Rebola	Potencia de transmisión	23dBm
	Sensibilidad	-83dBm
	Pérdida en los conectores	0dB
	Longitud de los cables	-
	Atenuación en los cables	-
	Ganancia de las antenas	19dBi
	PIRE	42dBm
	Altura de la estación	5 m

Tabla 29: datos de las estaciones del enlace AP_Malabo - Rebola

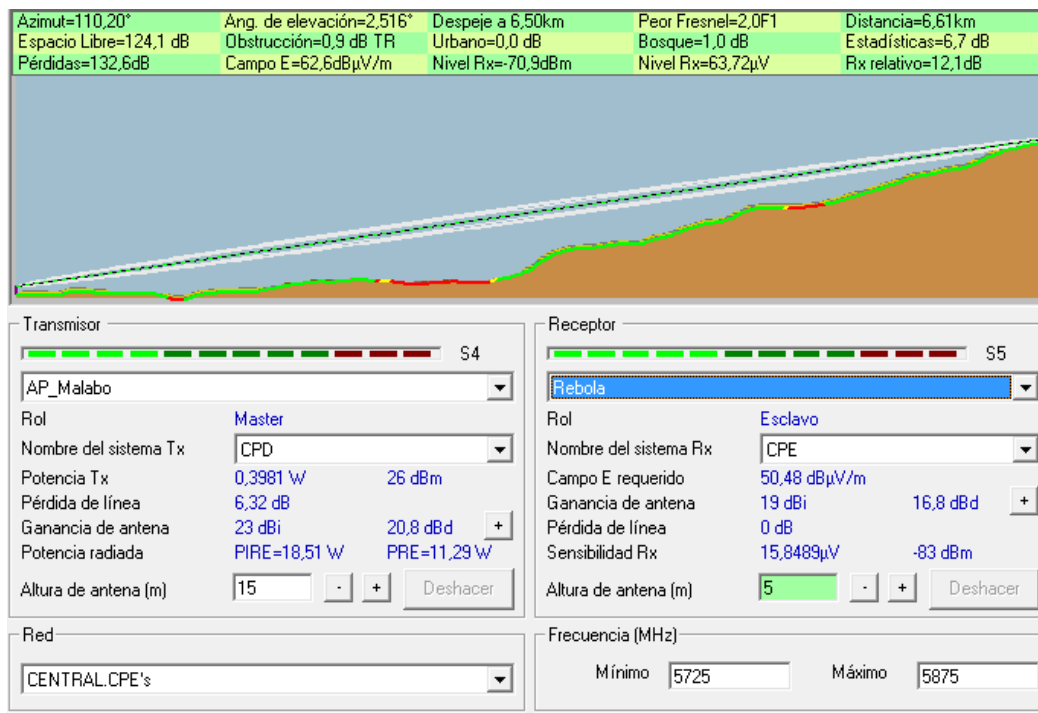


Figura 58: resultados de simulación del enlace AP_Malabo → Rebola

Parámetros	Valores
Distancia	6,61 Km
Frecuencia	5,8 GHz
Atenuación en espacio libre	124,07 dB
Primera zona de Fresnel	9,24 m
60% 1ª zona de Fresnel	5,54 m
Nivel de señal en recepción	-62,4 dBm

Tabla 30: resultados teóricos del enlace AP_Malabo→Rebola

❖ **ENLACE: REPETIDOR1 ↔ Basupú**

Frecuencia	5,8 GHz	
Distancia	7,17 Km	
Estación	Parámetros	Valores
REPETIDOR1	Potencia de transmisión	26dBm
	Sensibilidad	-83dBm
	Pérdida en los conectores	1dB
	Longitud de los cables	20m
	Atenuación en los cables	35,5dB/100m
	Ganancia de las antenas	23dBi
	PIRE	40,09dBm
	Altura de la estación	20 m
Basupú	Potencia de transmisión	23dBm
	Sensibilidad	-83dBm
	Pérdida en los conectores	0dB
	Longitud de los cables	-
	Atenuación en los cables	-
	Ganancia de las antenas	19dBi
	PIRE	42dBm
	Altura de la estación	5 m

Tabla 31: datos de las estaciones del enlace **REPETIDOR1 ↔ Basupú**

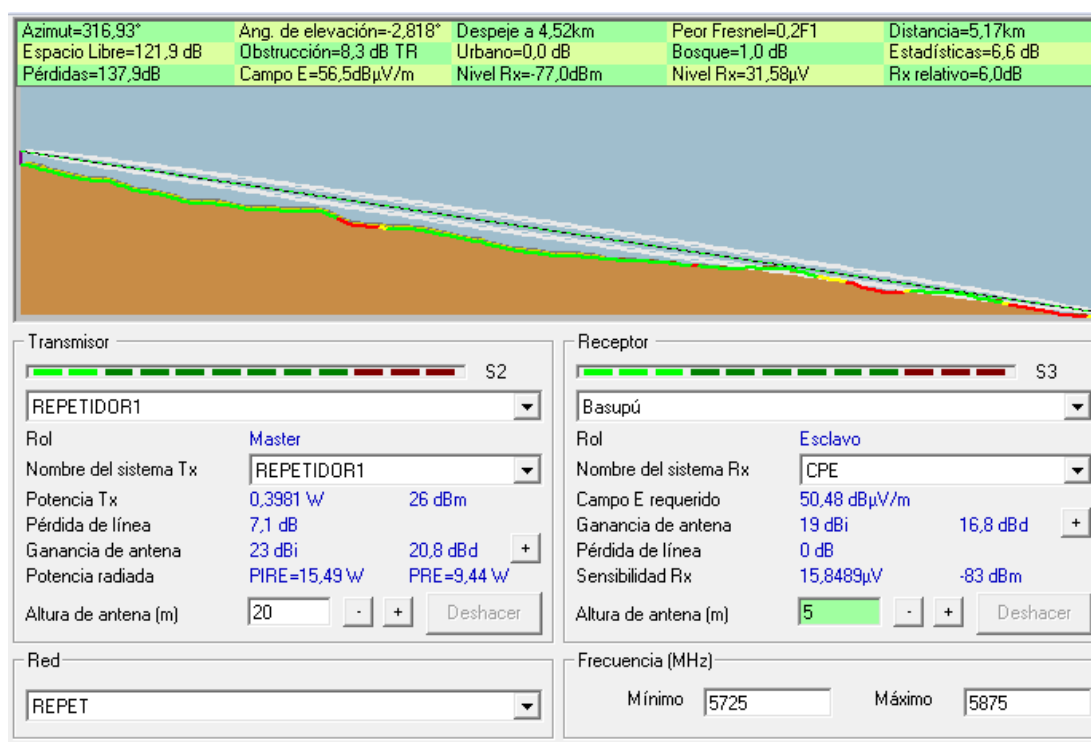


Figura 59: resultados de simulación del enlace **REPETIDOR1 → Basupú**

Parámetros	Valores
Distancia	7,17 Km
Frecuencia	5,8 GHz
Atenuación en espacio libre	124,77 dB
Primera zona de Fresnel	9,62 m
60% 1ª zona de Fresnel	5,77 m
Nivel de señal en recepción	-64,87 dBm

Tabla 32: resultados teóricos del enlace AP_Malabo → Basupú

5.4.3 REVISIÓN DE CUMPLIMIENTOS Y REQUISITOS

Para este caso se procederá de igual manera que se hizo para **PARTE1**.

PARAMETROS	RESULTADOR			
	Potencia recibida (dBm)		Perdidas por propagación (dB)	
	Cálculos	Simulación	Cálculos	Simulación
ENLACES				
AP_Malab → REPETIDOR1	-68,39	-74,9	126,96	133,5
AP_Malabo → Rebola	-62,4	-70,9	124,07	132,6
REPETIDOR1 → Basupú	-64,87	-77,0	124,77	137,9

Tabla 33: comparativa de resultados (**PARTE 2**)

ENLACE	Potencia recibida (dBm)	Modulaciones			
		64QAM		BPSK	
		Srx (dBm)	M (dBm)	Srx (dBm)	M (dBm)
AP_Malabo → REPETIDOR1	-76,9	-74	-2,9	-90	13,1
AP_Malabo → Rebola	-70,9	-74	3	-92	19,1
REPETIDOR1 → Basupú	-77,0	-74	-3	-92	13

Tabla 34: márgenes de cada uno de los enlaces (**PARTE 2**)

5.4.4 RED DE ACCESO

Esta red de acceso es igual a la red de acceso comentada para la localidad de LUBA, por lo que, tiene las mismas características y tiene que cumplir con los mismos requisitos.

Como comentamos anteriormente, el objetivo es dar la máxima cobertura posible en los respectivos complejos de los clientes. Dicho objetivo se puede conseguir instalando un único punto de acceso por cada ubicación los cuales se conectarán al receptor de señal WIMAX situado en el exterior de la vivienda, como se puede apreciar en la figura . Los puntos de acceso se instalarán en el interior de los edificios, colocándose de manera que se obtenga una mejor distribución de la señal en el hogar. La potencia de salida del punto de acceso se ajustará de manera que no sobrepasen los 100mW establecidos por la ley. Para el punto de acceso se utiliza el mismo equipo disponible para en las redes de acceso instalados en la red de la ciudad de Luba (**Gemtk P-560**)

6 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y DESGLOSE CONÓMICO

6.1 CONCLUSIONES

6.1.1 ASPECTO TECNOLÓGICO

- El estándar IEEE 802.16-2004 especifica un interfaz de aire para sistemas de acceso inalámbrico fijo de banda ancha para soporte de servicios multimedia. Describe características de la capa MAC y capa física, la capa MAC permite arquitectura punto-multipunto, topología en malla y múltiples especificaciones de capa física para operación en diferentes ambientes. Para operar en la banda comprendida entre 10GHz y 66GHz, la capa física está fundamentada en modulación de una única portadora. Para frecuencias menores que 11GHz, utiliza modulación de portadora única, OFDM y OFDMA, estas dos últimas hacen posible la transmisión sin línea de vista debido a que la información se transmite en forma paralela a través de múltiples subportadoras.
- La técnica de WIMAX basada en el estándar IEEE802.16-2004 mitiga los problemas que se presentan en condiciones NLOS utilizando varias técnicas tales como: OFDM, cuya forma de onda tiene la capacidad de manejar los efectos causados por las trayectorias múltiples gracias a la inserción de tiempos de guarda; subcanalización, que concentra la potencia de transmisión en pocas subportadoras OFDM incrementando la ganancia del sistema, lo que permite tolerar las pérdidas generadas al atravesar obstáculos; antenas direccionales, que incrementan el margen de desvanecimiento debido a sus altas ganancias haciendo posible tolerar las pérdidas ocasionadas en los ambientes NLOS; modulación adaptativa, que ajusta el esquema de la modulación de acuerdo a la calidad del enlace de modo que se mantiene la estabilidad del mismo; técnicas de corrección de errores, que permiten tolerar una relación señal a ruido baja debido al uso de técnicas FEC y ARQ; control de potencia, que regula el nivel de potencia al que deben transmitir los CPE's de acuerdo a las condiciones del enlace.
- Las características de la tecnología WIMAX ya mencionadas y su combinación con la tecnología WIFI, hacen de esta alternativa la mejor opción para este trabajo; puesto que el principal problema de la localidad de interés es la inexistencia de una infraestructura de red, este obstáculo se supera con esta red inalámbrica que ofrece gran alcance, gran capacidad de ancho de banda y costes convencionales en comparación con otras soluciones.

6.1.2 ASPECTOS TÉCNICOS

- Realizar un estudio para plantear una estimación de la demanda para un nuevo servicio en zonas en las cuales no existe ningún estudio previo es una tarea compleja puesto que no es posible predecir con exactitud el comportamiento de un mercado desconocido.
- Para el diseño de una red inalámbrica es muy importante el estudio de la orografía de la localidad a la que deseamos ofrecer el servicio, así poder encontrar la ubicación más adecuada para las estaciones base para una mejor propagación. Para ello se dispone de varios programas de simulación, los cuales nos ofrecen una estimación de la propagación de la señal.
- En la selección de la localidad de consideró varios aspectos: población, importancia comercial y social de la localidad.
- En el diseño de una red inalámbrica es muy importante realizar un plan de frecuencias para optimizar el uso del espectro radioeléctrico, puesto que supone un recurso limitado.

6.2 RECOMENDACIONES

- Para la implementación de una tecnología es necesario comprender numerosos factores de la misma, funcionamiento y características, así como sus limitaciones, para asegurar una implementación exitosa.
- El uso de tecnología WIMAX basada en OFDM y OFDMA es la mejor opción en cuanto ancho de banda, alcance, capacidad de usuarios, optimización del espectro y costes, ya que permite alcanzar hasta 50Km, altas velocidades, operaciones en ambientes LOS y NLOS, la utilización de diferentes perfiles de transmisión para cada usuario de acuerdo a sus necesidades, QoS diferenciado, privacidad, seguridad y flexibilidad en anchos de canal, además de otras características.
- Cuando se seleccionan equipos para la implementación se debe prestar mucha atención a lo que realmente ofrecen los fabricantes, ya que algunos equipos no cumplen con los estándares establecidos. Igual de importante es realizar una prueba con los equipos antes de adquirirlos, para comprobar su alcance y capacidad real, pues la característica que los fabricantes ponen a disposición del cliente son para condiciones ideales que no corresponden con la realidad, ya que el desempeño real de los equipos es significativamente menor al ofrecido.

6.3 DESGLOSE ECONÓMICO

2	EQUIPOS	PROVEEDOR	PRECIO	IVA (20%)	PRECIO UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO FINAL
3	LNK-LU-350-23	Albentia Systems	6.000,00 €	21,00%	7.260,00 €	5	36.300,00 €
4	RTP-58	Albentia Systems	6.000,00 €	21,00%	7.260,00 €	2	14.520,00 €
5	UBIQUITI NB-5G25	Ubiquiti Networks	100,00 €	21,00%	121,00 €	14	1.694,00 €
6	AXS-BS-450-19	Albentia Systems	6.000,00 €	21,00%	7.260,00 €	2	14.520,00 €
7	AXS-CPE 150-15	Albentia Systems	955,00 €	21,00%	1.155,55 €	79	91.288,45 €
8	Gemtek P-560	Gemtek Systems	500,00 €	21,00%	605,00 €	79	47.795,00 €
9	TORRES		1.712,00 €	21,00%	2.071,52 €	4	8.286,08 €
10	AM-V5G-Ti	Ubiquiti Networks	100,00 €	21,00%	121,00 €	4	484,00 €
11	TOTAL						214.887,53 €
12							
13							
14							
15	PERSONAL	€ POR JORNADA	JORNADAS LABORALES	TOTAL PERSONAL	TOTAL A PAGAR		
16	Montaje de las torres de de las estaciones	30,00 €	14	12	5.040,00 €		
17	instalación, configuracion y puesta en marcha	40,00 €	7	8	2.240,00 €		
18	TOTAL					7.280,00 €	
19							
20	PARTES	PRESUPUESTO TOTAL					
21	Equipos	214.887,53 €					
22	Personal	7.280,00 €					
23	TOTAL	222.167,53 €					
24							

Tabla 35: presupuesto económico

7 BIBLIOGRAFÍA PRINCIPAL

- LTE, WIMAX AND WLAN, NETWORK DESIGN, OPTIMIZATION AND PERFORMANCE ANALYSIS. Leonhard Korowajczuk.
- WIMAX. A Wireless Technology Revolution. G.S.V Radha Khrisna Rao, G. Radhamani.
- Notas UN CNAF 2013 (actualizado según Orden IET/614/2015)
- Sistemas de radiodifusión y cable. WIMAX. Alejandro Martínez Abietar. Departamento de comunicaciones de la universidad politécnica de valencia
- Estudio de redes inalámbricas de banda ancha. Ing. Iván Cáceres.
- Banda ancha inalámbrica 2007: WIMAX & CO.
Autores: prof. Brian Subirana, sistemas de información IESE
Alaxis Vassilopoulos, colaboración de investigación.

ENLACES DE INTERÉS

- Tecnologías WIFI y WIMAX
 - <http://sx-de-tx.wikispaces.com/WIMAX>
 - <http://www.redeswimax.info/>
 - <http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/gl/equipamiento-tecnologico/redes/349-andres-lamelas-torrijos>
 - <http://es.slideshare.net/ivandarklife/tecnologia-wimax-24944804>
 - http://www.tutorialspoint.com/wimax/wimax_quick_guide.htm
 - <http://www.wimaxforum.org/>
 - http://www.dip-badajoz.es/agenda/tablon/jornadaWIFI/doc/tecnologias_wifi_wmax.pdf
- Distribución de frecuencia
 - <http://redeswimax.jimdo.com/wimax/uso-del-espectro/bandas-de-frecuencia/>
- Información sobre conectividad a internet
 - <http://www.cisco.com/web/ES/about/press/2013/2013-05-29-mitad-poblacion-mundial-conectada-a-internet-en-2017.html>
- Sector de telecomunicaciones en Guinea Ecuatorial
 - <http://www.impulsoexterior.com/COMEX/servlet/MuestraArchivo?id =2 8076>
 - <http://www.ortel-ge.org/es/>

- <http://www.getesa.gq/Internet.aspx>
- Diseño de una red inalámbrica de acceso a internet en Poblete. Alberto Sanchez Camacho

- Precios de los equipos
 - <https://www.winncom.com/es/products>
 - http://www.crystalcomltd.com/pricing/dir-tso-2664/Radwin_Price_List.pdf

- software de apoyo
 - <http://www.cambiumnetworks.com/products/software-tools/linkplanner/>
 - <http://www.cplus.org/rmw/>
 - <https://linkcalc.ligowave.com/Account/login>

RTP-58

Repetidor banda 5725-5875 MHz



- Extensión de cobertura a zonas NLOS**
- Único repetidor WiMAX en banda libre**
- Interoperable IEEE 802.16-2012**
- Operación totalmente transparente**
- Control automático de ganancia**
- Estación suscriptora integrada**
- Alimentación en AC y DC**

Descripción del producto

Albentia Systems presenta la primera familia de Repetidores WiMAX del mercado capaz de operar en modo TDD en banda libre de 5Ghz. Estos repetidores permiten ampliar la cobertura de las redes 802.16-2012, sin necesidad de instalar en equipos de backhaul y estaciones base adicionales.

Son compatibles con cualquier equipo interoperable con el estándar IEEE 802.16-2012, y están disponibles para operar en la banda libre de 5725-5875 MHz (FCC).

La operación es totalmente transparente desde el lado de la Estación Base y de los CPEs gracias a la Estación Suscriptora incorporada en el Repetidor, que le permite unirse a la celda inalámbrica sin interferir en los mensajes entre la Estación Base y las Estaciones Suscriptoras conectadas. El Repetidor realiza la traslación en frecuencia para evitar interferencias y ecos y también proporciona diversidad de frecuencia.

Aplicaciones

- **Proporciona cobertura en zonas de sombra**
- **Extensión del área de cobertura**
- **Amplificación bidireccional sin degradación apreciable en la modulación**
- **Estación suscriptora integrada**

Especificaciones

Radio

Banda de frecuencia	5725-5875 MHz (ETSI)		
Modulación	OFDM IEEE 802.16-2012 - 256 subportadoras, prefijo cíclico 1/4, 1/8, 1/16 ó 1/32		
Ancho de banda de canal soportado	1.75, 3.5, 7 y 10 MHz		
Modulación adaptativa	BPSK, QPSK, 16QAM and 64QAM		
Tasas de código FEC	1/2, 2/3 y 3/4 Reed-Solomon concatenado y Viterbi		
Máxima potencia de salida	+26 dBm		
Máxima ganancia del repetidor	120 dB		
Control de potencia de transmisión	> 40 dB		
Modo de duplexado	TDD (Time Division Duplexing)		
Degradación EVM	< -30 dBc		
Selección dinámica de frecuencia	Sí		
Antena	2 Conectores N para antenas externas		
Parámetros RF	Modulación	Sensibilidad (1.75 MHz)	Sensibilidad (10 MHz)
	BPSK-1/2	-97.5 dBm	-90 dBm
	QPSK-1/2	-94.5 dBm	-87 dBm
	QPSK-3/4	-92 dBm	-84.5 dBm
	16QAM-1/2	-89 dBm	-81.5 dBm
	16QAM-3/4	-85.5 dBm	-78 dBm
	64QAM-2/3	-81.5 dBm	-74 dBm
	64QAM-3/4	-79.5 dBm	-72 dBm

Tráfico y Throughput

Tasa de datos máxima en el aire	37.7 Mbps (64QAM-3/4, 10 MHz BW)
Soporte ARQ	Sí, según estándar IEEE 802.16-20012 - Seleccionable para cada flujo de servicio
Cifrado	AES y 3DES

Calidad de Servicio (QoS)

Tipos de QoS soportados	UGS, RTPS, nRTPS y BE (estándar IEEE 802.16-2004)	
Diferenciación de servicios	Capa-2	Dirección MAC origen/destino, EtherType, VLAN tag
	Capa-3	Tipos de clasificadores: DSCP ToS, dirección IP origen/destino y subred
	Capa-4	Rango de puertos TCP, UDP origen/destino

Gestión y Aprovisionamiento

Interfaces de gestión local	Web, línea de comandos
Interfaces de gestión remota	SNMP, XML-RPC
Aprovisionamiento local de usuarios y servicios	Base de datos local XML
Aprovisionamiento centralizado de usuarios y servicios	AAA Radius, LDAP, XML-RPC

Funcionalidades de Red

Funcionalidades de red de Capa-2	Bridging (IEEE 802.1), VLAN (IEEE 802.1q)
Funcionalidades de red de Capa-3	Routing estático/dinámico, NAT, cliente/servidor DHCP
CS soportados	Ethernet, IPv4oEthernet, VLAN, IPv4 o VLAN
Modos de Networking	Modo bridge, enrutado IP
Interfaz de datos	10/100 Base-T Ethernet RJ45

Parámetros físicos, mecánicos y eléctricos

Tamaño	395 x 265 x 95 mm
Peso de la Unidad exterior	3.2 kg
Alimentación	Estándar 802.3af (PoE) mediante conector RJ45, o 12VDC mediante DC input
Consumo de potencia	<20 Vatios (Condiciones de máximo tráfico)

Cumplimiento de estándares

WiMAX	IEEE 802.16-2012
Radio	ETSI EN 301 893, ETSI EN 302 502
Medioambiental	ETSI EN 300 019-1-4 C4.1E (ODU), ETSI EN 300 019-1-3 C3.2 (IDU)



Todos los productos de Albentia Systems están diseñados y fabricados en la UE

RPT-58 DATASHEET DE PRODUCTO



Albentia Systems S.A.
C/ Margarita Salas, 22 - 28918 Leganés - Madrid (ESPAÑA)
Tel.: +34 91 440 0213
Fax: +34 91 327 4362
E-mail: sales@albentia.com

www.albentia.com

LNK-LU-350-23

RADIOENLACES 180 ó 300 Mbps BANDA 5GHz

Alta capacidad: 300 Mbps brutos

Ancho de canal seleccionable

Control preciso de latencia

OFDM con modulación adaptativa

Full-outdoor IP67 y ultra bajo consumo

Antena integrada 23dBi



DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

LNK-LU-350-23 es el radioenlace PtP de gama profesional de Albentia Systems en la banda libre de 5GHz. El equipo ofrece una capacidad neta de 180 Mbps y bruta de 300 Mbps, permitiendo un mayor aprovechamiento del espectro y reutilización de frecuencias.

Este equipo dispone de control automático de potencia (ATPC) que permite un despliegue óptimo de la red, la reutilización de frecuencias próximas y evita interferencias. Esta nueva solución incorpora potentes mecanismos para garantizar una comunicación fiable. Incluye, asimismo, autenticación, ARQ, cifrado AES128 y una robusta modulación adaptativa, así como mecanismo de detección de errores.

Su elevada velocidad de procesamiento lo convierte en una solución óptima para aplicaciones profesionales en tiempo real, como VoIP o transporte de vídeo.

APLICACIONES

- Bridges inalámbricos
- Sistemas de backhaul de redes de acceso o celulares
- Radioenlaces de acceso corporativo
- Radioenlaces profesionales de transporte de vídeo
- Aplicaciones profesionales

Especificaciones técnicas

PARÁMETROS RADIO

Rango de frecuencias	5150-5915 MHz
Modulación	OFDM, MIMO 2x2 IEEE 802.11n
Ancho de banda de canal	40 / 20 MHz
Modulación adaptativa	BPSK, QPSK, 16QAM y 64QAM
FEC	Reed-Solomon y convolucional
Método de duplexación	TDD (Multiplexación por división en el tiempo)
División uplink/downlink	Dinámica
Antena	Integrada 23dBi Doble polarización Apertura vertical: 12° Apertura horizontal: 12°
Sensibilidad	-94 dBm / -72 dBm
P.I.R.E.	5150 - 5250 MHz 23dBm 5250 - 5350 MHz 30dBm 5470 - 5725 MHz 30dBm 5725 - 5850 MHz 36dBm

TRÁFICO Y THROUGHPUT

Máxima tasa de transferencia bruta	300 Mbps
Tráfico Ethernet agregado	180 Mbps
Máximo PPS	60000
Soporte de ARQ	Sí
Cifrado	AES128

GESTIÓN

Interfaces de gestión	HTTP / HTTPS / SSH / SFTP SNMPv1/2/3
-----------------------	--------------------------------------

FUNCIONALIDADES DE LA RED

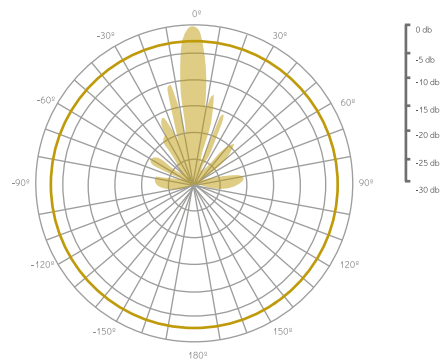
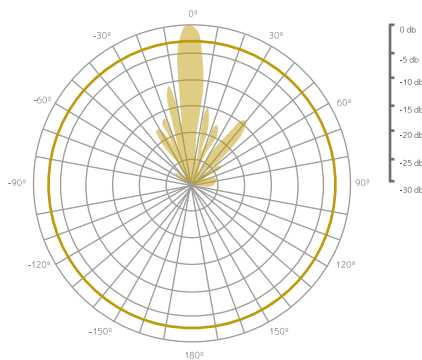
Funcionalidad de red capa 2	Bridging (802.1), VLAN (802.1q), ISL, MPLS
Funcionalidad de red capa 3	N/A
Interfaz de datos	10/100/1000 Base-T

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Dimensiones	360 x 350 x 110 mm (embalado)
Peso	3 kg (herraje incluido)
Alimentador PoE (no incluido)	Entrada 100-240VAC 50/60Hz, salida 48VDC (Opción Entrada DC 10-30 VDC ó 36-72 VDC)
Consumo de potencia	< 10 W (100% tráfico)
Rango de temperatura operación	De -30 °C a +55 °C (ambiente)

ESTÁNDARES

Protocolo	Propietario
Radio	ETSI EN 301 893 V1.5.1 (5GHz), ETSI EN 302 502 V1.2.1 (5.8GHz), ETSI EN 302 326-2
Entorno	ODU: protección (IP67), ETSI EN 60950-1: 2006 (seguridad). IDU: IEC 61000-4-2 (ESD), IEC 61000-4-5 (Surge)
EMC	ETSI EN 301489-1 V1.8.1 (compatibilidad electromagnética), ETSI EN 50383 (2002) (SAR), ETSI EN 50385 (EMF)



Todos los productos de Albentia Systems están diseñados y fabricados en la Unión Europea

DATASHEET DE PRODUCTO LNK-LU-350-23

albentia
systems

Albentia Systems S.A.
C/ Margarita Salas, 22 - 28918 Leganés - Madrid (ESPAÑA)
Tel.: +34 91 440 0213
Fax: +34 91 327 4362
E-mail: sales@albentia.com

www.albentia.com

AXS-BS-450-N

ESTACIÓN BASE DE CUATRO SECTORES 5GHz

Gran protección frente a interferencias

Capacidad neta de 140Mbps

QoS por CPE y servicio

Sincronismo GPS integrado

Gran radio de cobertura LOS

Full-outdoor IP67

Compacta y bajo consumo

4 canales de 10MHz



DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

La Estación Base AXS-BS-450-N ha sido diseñada para proporcionar cobertura y gran capacidad en redes de acceso en la banda de 5GHz, multiplicando la capacidad de la estación base AXS-BS-150. Proporciona hasta 140Mbps netos utilizando 4 canales radio independientes de hasta 10MHz, y ofrece una QoS equivalente a las redes de cable (HFC).

Se trata de un equipo full-outdoor de bajo consumo, alta capacidad, muy compacto, y con una gran capacidad de procesamiento. La estación base AXS-BS-450-N minimiza el uso espectral y proporciona la mejor protección ante interferencias gracias al uso de canales muy estrechos, ARQ y TBIM entre otros mecanismos. Además, es totalmente interoperable con equipos de otros fabricantes al cumplir con el estándar IEEE802.16-2012, lo que protege la inversión del operador.

APLICACIONES

- WISP y operadores inalámbricos
- Banda ancha rural
- Telefonía VoIP y Videoconferencia
- Líneas dedicadas para acceso corporativo
- Extensión de redes de fibra óptica
- IPTV
- Smart-metering

Especificaciones técnicas

PARÁMETROS RADIO

Banda de trabajo	4900-5875MHz
Salto de canal	1MHz
Capacidad neta agregada	140 Mbps
Ancho de canal	10 / 7 / 5 / 3.5 / 1.75 MHz
Canales radio independientes	4
Eficiencia espectral neta	3,5bps/Hz
Sensibilidad BPSK	-92 dBm @ 10MHz -99 dBm @ 1.75MHz
Sensibilidad 64QAM	-74 dBm @ 10MHz -82 dBm @ 1.75MHz
Máx. potencia de Tx	23 dBm por canal / 29 dBm total
Antena	4 conectores N para antena externa
Modulación	OFDM de 256 portadoras
Mod. subportadora	Adaptativa BPSK, QPSK, 16QAM y 64QAM (7 niveles diferentes con combinación FEC)
FEC	Sí, Reed-Solomon concatenado con código convolucional
DFS	Sí
Analizador de espectros	Sí, inteligente
Downlink/Uplink	Desde 100/0 hasta 0/100
Acceso al medio	TDMA síncrono con implementación hardware
Técnica duplexación	TDD (Time Domain Duplexing)
Sincronismo TDD	GPS integrado

CALIDAD DE SERVICIO (QoS)

Control de QoS	Colas independientes por servicio. 5 niveles de QoS (BE, nRTPS, eRTPS, RTPS, UGS)
Máx. CPEs	200 (50 por sector) ilimitados en próximas actualizaciones de software
Diferenciación de servicios	Capa 2: Dirección MAC origen/destino, EtherType, etiqueta VLAN/PPPoE Capa 3: DSCP ToS, dirección IP origen/destino, subred, protocolo Capa 4: Puerto TCP o UDP origen/destino

NETWORKING Y SEGURIDAD

Funcionalidad de red capa 2	Bridging (IEEE 802.1)
VLAN	802.1q, 802.1p, soporte q-in-q, ilimitadas VLANs
Funcionalidad de red capa 3	Routing dinámico/estático, NAT, DHCP servidor/cliente
Cifrado	AES 128/256
Latencia	5ms
Certificados X.509	Sí, autenticación CPEs
Interfaz de datos	Gigabit Ethernet
Tamaño máx. paquete	2048 bytes

GESTIÓN

Remota	Web, SSH, XML-RPL, SNMP v1, 2 y 3
Avanzada	Soporte canal SMC, doble IP datos/gestión
Provisión de usuarios	Radius, CPS y fichero xml local

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Dimensiones	330 x 330 x 110 mm (embalado)
Dimensiones	265 x 265 x 70 mm (sin embalaje)
Peso	4,5 kg (herraje incluido)
Alimentador PoE (no incluido)	Entrada 100-240 VAC 50/60Hz Salida 56VDC (Opción entrada DC 36-72 VDC)
Consumo de potencia	< 30 W
Rango de temperatura	De -30°C a +55°C (ambiente, en operación)

ESTÁNDARES

Protocolo de acceso al medio radio	IEEE 802.16-2012
Radio	ETSI EN 302 326-2
Entorno	ODU: IP67 (protección), ETSI EN 60950-1: 2006 (seguridad). IDU: IEC 61000-4-2 (ESD), IEC 61000-4-5 (Surge)



Todos los productos de Albentia Systems están diseñados y fabricados en la Unión Europea

DATASHEET DE PRODUCTO AXS-BS-450-N



Albentia Systems S.A.
C/ Margarita Salas, 22 - 28918 Leganés - Madrid (ESPAÑA)
Tel.: +34 91 440 0213
Fax: +34 91 327 4362
E-mail: sales@albentia.com

www.albentia.com

AXS-CPE150-15

CPE EN BANDA 5GHz

Gran protección frente a interferencias

Bajo coste y fácil instalación

Ultra compacto y bajo consumo

100% interoperable 802.16-2012

Garantía de QoS

Capacidad neta 35Mbps

Antena integrada 15dBi

Home-Gateway



DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

El terminal de usuario AXS-CPE150-15 ha sido diseñado por Albentia Systems para cubrir las necesidades de **despliegue en redes de acceso inalámbrico** en la banda libre de 5GHz.

Se trata de un CPE de uso residencial de **bajo coste y fácil instalación**, que permite al operador ofrecer servicios equivalentes a los de las redes de acceso cableadas. Basado en el **estándar IEEE802.16-2012**, es totalmente interoperable con equipos de otros fabricantes.

Con funcionalidad de Home-Gateway, ofrece una interfaz web de fácil configuración para el usuario final y permite **ahorrar costes** al eliminar la necesidad de un router doméstico.

APLICACIONES

- Acceso a Internet
- Banda ancha rural
- Telefonía VoIP y Videoconferencia
- Líneas dedicadas para acceso corporativo
- Extensión de redes de fibra óptica
- IPTV
- Smart-metering

Especificaciones técnicas

PARÁMETROS RADIO

Banda de trabajo	4900-5875MHz
Salto de canal	1MHz
Capacidad neta agregada	35Mbps
Ancho de canal	10 / 7 / 5 / 3.5 / 1.75 MHz
Eficiencia espectral neta	3,5bps/Hz
Sensibilidad BPSK	-92dBm @ 10MHz -99dBm @ 1.75MHz
Sensibilidad 64QAM	-74dBm @ 10MHz -82dBm @ 1.75MHz
Máx. potencia de Tx	23dBm
Antena	15dBi integrada
Modulación	OFDM de 256 portadoras
Mod. subportadora	Adaptativa BPSK, QPSK, 16QAM y 64QAM (7 niveles diferentes con combinación FEC)
FEC	Sí, Reed-Solomon concatenado con código convolucional
DFS	Sí
Downlink/Uplink	Desde 100/0 hasta 0/100
Acceso al medio	TDMA síncrono con implementación hardware
Técnica duplexación	TDD (Time Domain Duplexing)

CALIDAD DE SERVICIO (QoS)

Control de QoS	Colas independientes por servicio, 5 niveles de QoS (BE, nRTPS, eRTPS, RTPS, UGS)
Diferenciación de servicios	Capa 2: Dirección MAC origen/destino, EtherType, etiqueta VLAN/PPPoE Capa 3: DSCP ToS, dirección IP origen/destino, subred, protocolo Capa 4: Puerto TCP o UDP origen/destino
Número máx. servicios	Ilimitados

NETWORKING Y SEGURIDAD

Funcionalidad de red capa 2	Bridging (IEEE 802.1), cliente PPPoE
VLAN	802.1q, 802.1p, soporte q-in-q, ilimitadas VLANs
Funcionalidad de red capa 3	Routing dinámico/estático, NAT, DHCP servidor/cliente
Cifrado	AES 128/256
Latencia	5ms
Certificados X.509	Sí
Interfaz de datos	Ethernet 10/100 Base T
Tamaño máx. paquete	2048 bytes

GESTIÓN

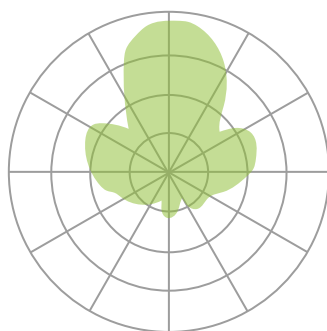
Local	Puerto para ACC-HU, Serie
Remota	Web, SSH, XML-RPL, SNMP v1, 2 y 3
Avanzada	Soporte canal SMC, doble IP datos/gestión

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

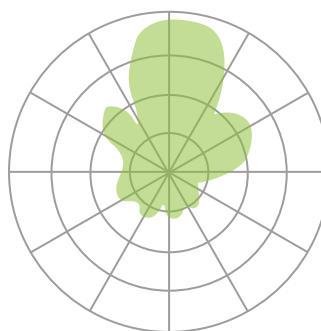
Dimensiones	275 x 137 x 650 mm (embalado)
Peso	0,68 kg
Alimentador: PoE (no incluido)	Entrada 110-240 VAC 50/60Hz Salida 24VDC (Opción entrada DC 18-72 VDC)
Consumo de potencia	< 4.5 W (100% tráfico)
Rango de temperatura	De -30°C a +55°C (ambiente, en operación)

ESTÁNDARES

Protocolo de acceso al medio radio	IEEE 802.16-2012
Radio	ETSI EN 302 326-2
Entorno	ODU: IP55 (protección), ETSI EN 60950-1: 2006 (seguridad), IEC 61000-4-2 (ESD), IEC 61000-4-5 (Surge)



H



V

P-560 Plus

Hotspot in a Box

A scalable solution for Enterprise and Hotspots

V1.0

The Gemtek Systems P-560 Plus Hotspot-in-a-box is a high-performance and highly integrated Access Controller for public access networks. One single P-560 Hotspot-in-a-box can serve up to 100 simultaneous users and can create up to 200 subscribers which takes control over authentication, accounting and routing to the Internet as well as to the operator's central office. The high-performance architecture of the product enables scalable access solutions for small venues like cafes and restaurants as well as for medium and large locations like hotels, hospitals or enterprises.

Access Control Gateway

The P-560 Plus supports multiple secure authentication methods from standard web browser login (Universal Access Method), MAC authentication, to 802.1x/EAP with passwords, certificates, SIM cards, POP3 and LDAP. The integrated real-time accounting system is based on standard RADIUS/EAP and supports various billing plans from prepaid, pay-per-time, per-volume, per-use or flat rate. P-560 Plus has been tested for interoperability with various OSS/BSS systems providing either centralized or decentralized access control.

Built-in AAA Server with e-Billing

Advanced built-in AAA with e-Billing systems enable hotspot owner to manage customers with predefined access and billing plans for post-pay Subscribers. Both built-in account and Telco roaming RADIUS account are supported simultaneously.

Multiple BSSID "Virtual AP" technology

P-560 Plus can create up to 16 Basic Service Sets(BSS) on a single device. These basic service sets can be looked as "virtual APs", and each can be configured independently to support range of security policies, authentication methods, RADIUS servers



Customizable Login Pages

Service providers can benefit from the flexible web redirection service of the Gemtek-Systems Access Controller. P-560 Plus provides a set of location, browser, and user-specific information to the backend system to enable value added personalized services by the WISP. Detailed location information is available via Https/XML interfaces. Web pages can be either stored locally on the P-560 Plus or remotely on a web portal server.

Zero Configuration for Subscribers

P-560 Plus makes internet access very easy and user-friendly for the end-user. Subscribers will be redirected to the providers welcome page automatically regardless of their PC configuration. The UAT (Universal Address Translation) feature will accept and translate fixed company IP settings and web proxy configurations - so end-users do not have to reset their corporate IP or web settings. Equally, outgoing subscriber e-mails can be redirected to the operator's mail server in order to facilitate e-mail forwarding for foreign subscribers. The recipient sees the message as if it was sent from the user's home provider.

Remote Management

You can choose between a variety of different management interfaces to remotely configure, monitor, or update the P-560 Plus and the access devices behind the controller. The P-560 Plus can be managed via SNMP, https, SSH or telnet.

Key Feature

- ▲ IEEE 802.11g/b High-Performance Wi-Fi Access Point
- ▲ Support Multiple BSSID up to 16 "Virtual AP"
- ▲ Layer2 Isolation
- ▲ WPA/WPA2 (Wi-Fi Protected Access) support
- ▲ Adjustable RF output power support
- ▲ User authentication with web browser log-in (UAM) and 802.1x/EAP support, Smart Client support, MAC authentication
- ▲ Built-in AAA with e-Billing and pre-paid systems (create up to 200 user accounts)
- ▲ AAA Radius client and proxy server with EAP support
- ▲ Per-user bandwidth management (on AC or via RADIUS)
- ▲ SSL protected access, WISPr compatible log-on via web browser with SSL/TLS, iPass client support
- ▲ Customizable user welcome, login and logout web interface, XML support (internal, external) and HTML support
- ▲ IP routing with IPsec and PPTP pass-through, NAT/NAPT, Port-forwarding
- ▲ WAN protocols: PPPoE, PPTP, DHCP client
- ▲ VPN Client, PPTP/MPPE, GRE
- ▲ Management subnet for remote AP management
- ▲ Universal Address Translation (UAT), web proxy support
- ▲ Walled garden area (authentication free web sites)
- ▲ E-mail redirection
- ▲ DHCP server/relay/client
- ▲ Remote management via SNMP v1, 2c, 3, SNMP proxy, https, SSH, telnet, console
- ▲ Support up to 100 simultaneous users

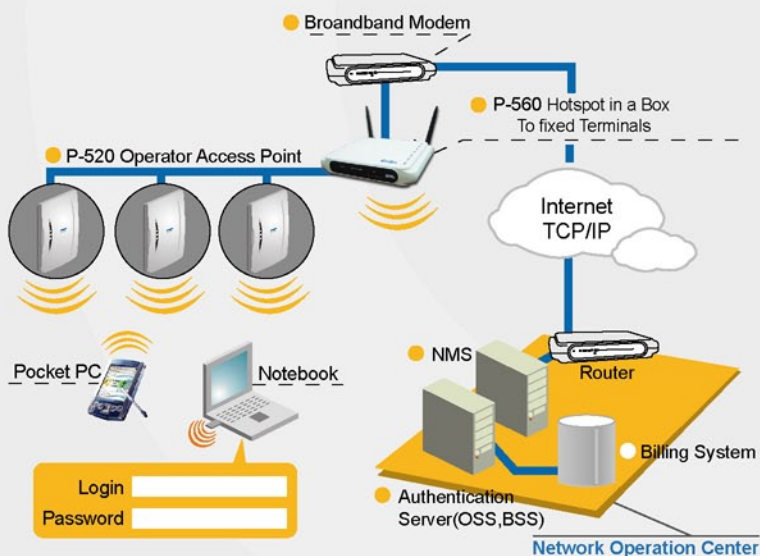


Wireless Specification

- Standard IEEE 802.11g (OFDM), IEEE 802.11b (DSSS), 2.4GHz ISM band, Wi-Fi compliant
- Data Rate
 - 802.11g: 54, 48, 36, 24, 18, 12, 9, 6 Mbps
 - 802.11b: 11Mbps, 5.5Mbps, 2, 1Mbps (auto fall back)
- Client Stations Max. 30 simultaneous connected wireless client stations
- Typical range 50 meters in indoor environments, up to 300m outdoors
- Transmit Power Max. 17 dBm (EIRP)
- "Virtual AP", up to 16 multiple Basic service set
- Antennas Two 2dBi dipole antennas with space diversity, SMA connectors.
- Wireless security: WEP (64bits/128bits) WPA/WPA2 (TKIP/AES)

Related Product

Controller : G-4200

Access Point : P-520 54Mb Operator Access Point
 P-720 Dual-Band 2.4GHz/5GHz outdoor AP


Physical Environment

Interface

Ethernet interface : LAN : 4 switched ports 10/100Base_T/Tx, (RJ-45), auto-sensing
 WAN : 1 port 10/100Base_T/Tx(RJ-45), auto-sensing

WLAN interface WLAN : two RP-SMA antenna connectors

Power Power : 5V DC, 2.5A

Physics Characteristics

Dimension: 195 mm x 160 mm x 27 mm

Weight: 450g

Environment Characteristics

	Temperature	Humidity
Operating	0 oC to 55oC	10% to 95%, non-condensing
Storage	-10 to 65 oC	5% to 95% (non-condensing)

Power Supply

External power adapter, input: 100-230V AC, 50-60Hz;
 output: 5V DC, 2.5A

Management

Interface: Https, Telnet, SSH, SNMP (MIB II, private MIB)

Software Upgrade: Remote firmware update via HTTPs, FTP

Restore Default: Remote reset / Manufacturing reset

LEDs

5 LEDs Power: WAN Link, Online, WLAN link, 4x LAN link

Warranty

1 year

Package Contents

- P-560 Plus Hotspot in a Box
- CD with KickStart Utility, User Manual (*.pdf)
- Printed Warranty Card (1 year)
- Ethernet Cat.5 Cable
- 5V/2.5A Power Supply
- Antenna × 2



NanoBridge® M

High-Performance airMAX® Bridge

Models: NBM9, NB-2G18, NBM3, NBM365, NB-5G22, NB-5G25

High Performance, Long Range

Completely Integrated CPE in Antenna Feed

Easy Assembly and Installation



Overview

With the NanoBridge®, Ubiquiti Networks™ pioneered the all-in-one design for an airMAX® product functioning as a CPE (Customer Premises Equipment).

The NanoBridge combines Ubiquiti's InnerFeed™ and airMAX technologies to create a simple, yet powerful wireless unit capable of up to 100+ Mbps real outdoor throughput and up to 30+ km range.

InnerFeed Technology

Ubiquiti's revolutionary InnerFeed technology integrates the radio into the feedhorn of an antenna, so there is no need for a cable*. This improves performance because it eliminates cable losses.

Providing high performance and robust all-in-one mechanical design at a low cost, the NanoBridge is extremely versatile and cost-effective to deploy.

airMAX Technology

Unlike standard Wi-Fi protocol, Ubiquiti's Time Division Multiple Access (TDMA) airMAX protocol allows each client to send and receive data using pre-designated time slots scheduled by an intelligent AP controller.

This "time slot" method eliminates hidden node collisions and maximizes airtime efficiency. It provides significant performance improvements in latency, throughput, and scalability compared to all other outdoor systems in its class.

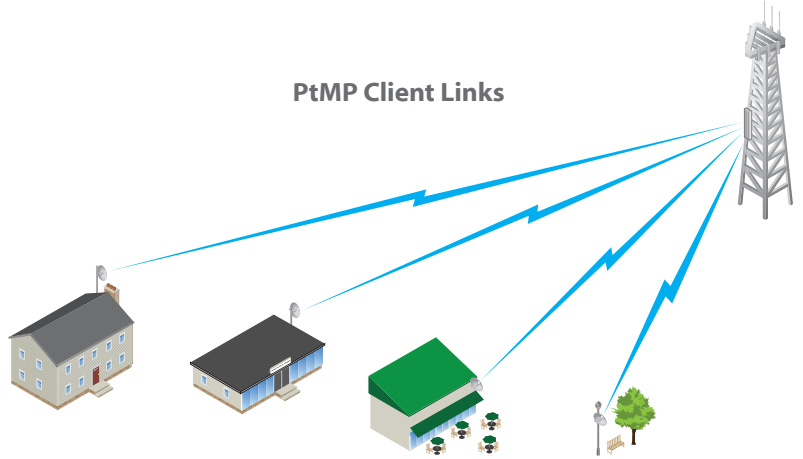
Intelligent QoS Priority is given to voice/video for seamless streaming.

Scalability High capacity and scalability.

Long Distance Capable of high-speed, carrier-class links.

Application Examples

PtMP Client Links



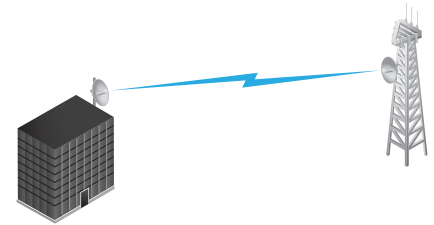
The NanoBridge used as a CPE device for each client in an airMAX PtMP network.

Wireless Client



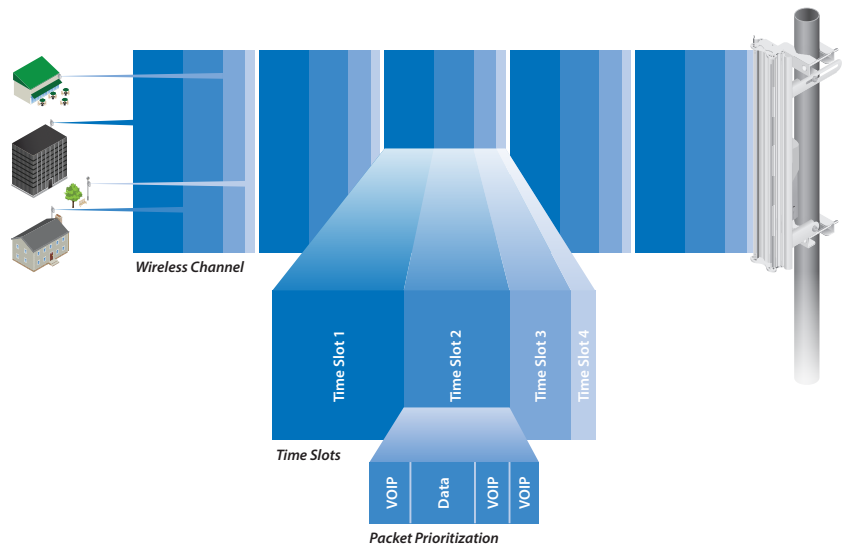
The NanoBridge as a powerful wireless client.

PtP Link



Use a NanoBridge on each side of a PtP link.

airMAX TDMA Technology



Up to 100 airMAX stations can be connected to an airMAX Sector; four airMAX stations are shown to illustrate the general concept.

* NanoBridgeM2 and M5 models only.

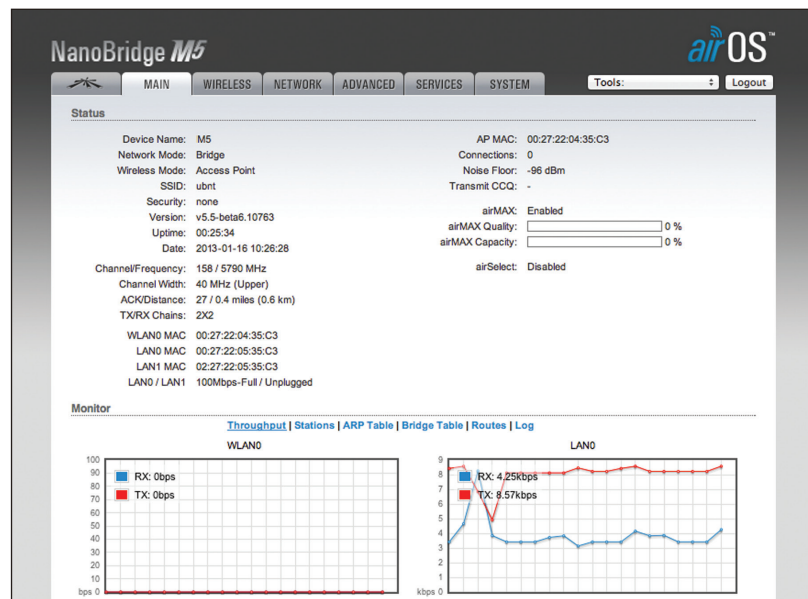


Software

airOS®

airOS® is an intuitive, versatile, highly developed Ubiquiti firmware technology. It is exceptionally intuitive and was designed to require no training to operate. Behind the user interface is a powerful firmware architecture, which enables high-performance, outdoor multi-point networking.

- Protocol Support
- Ubiquiti Channelization
- Spectral Width Adjustment
- ACK Auto-Timing
- AAP Technology
- Multi-Language Support



airView®

Integrated on all Ubiquiti M products, airView® provides advanced spectrum analyzer functionality: waterfall, waveform, and real-time spectral views allow operators to identify noise signatures and plan their networks to minimize noise interference.

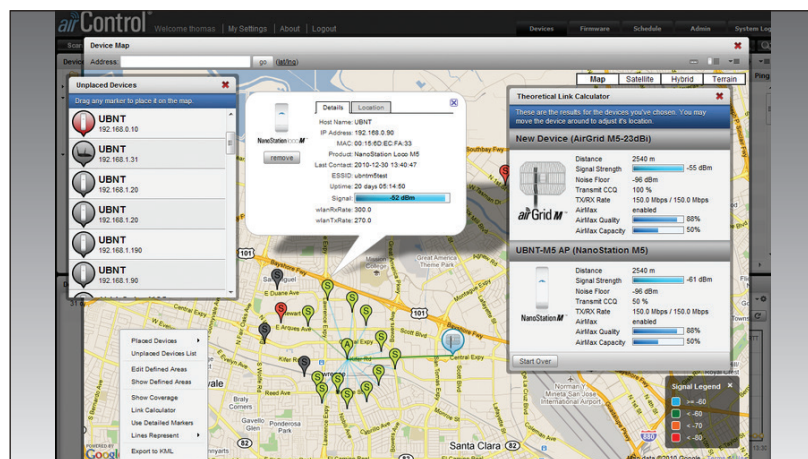
- **Waterfall** Aggregate energy over time for each frequency.
- **Waveform** Aggregate energy collected.
- **Real-time** Energy is shown in real time as a function of frequency.
- **Recording** Automate airView to record and report results.



airControl®

airControl® is a powerful and intuitive, web-based server network management application, which allows operators to centrally manage entire networks of Ubiquiti devices.

- Network Map
- Monitor Device Status
- Mass Firmware Upgrade
- Web UI Access
- Manage Groups of Devices
- Task Scheduling



Models



NanoBridge® M9

Model	Frequency	Gain
NBM9	900 MHz	10.6 - 11.3 dBi

NanoBridge® M2

NanoBridge® M5

Model	Frequency	Gain
NB-2G18	2.4 GHz	18 dBi
NB-5G22	5 GHz	22 dBi
NB-5G25	5 GHz	25 dBi

NanoBridge® M3

NanoBridge® M365

Model	Frequency	Gain
NBM3	3.3 - 3.7 GHz	21.5 - 22.5 dBi
NBM365	3.65 - 3.675 GHz	21.5 - 22.5 dBi

Specifications

System Information			
Model	NBM9	NB-2G18/NB-5G22/NB-5G25	NBM3/NBM365
Processor Specs	Atheros MIPS 24KC, 400 MHz	Atheros MIPS 24KC, 400 MHz	Atheros MIPS 24KC, 400 MHz
Memory	64 MB SDRAM, 8 MB Flash	32 MB SDRAM, 8 MB Flash	32 MB SDRAM, 8 MB Flash
Networking Interface	(1) 10/100 Ethernet Port	(1) 10/100 Ethernet Port	(2) 10/100 Ethernet Ports

Regulatory/Compliance Information				
Model	NBM9	NB-2G18/NB-5G22/ NB-5G25	NBM3	NBM365
Wireless Approvals	FCC, IC	FCC, IC, CE	–	FCC
RoHS Compliance	Yes			

Physical/Electrical/Environmental			
Model	NBM9	NB-2G18/NB-5G22/NB-5G25	NBM3/NBM365
Dimensions (mm)	543 x 440 x 725	NB-2G18: 400 diameter NB-5G22: 326 mm diameter NB-5G25: 400 mm diameter	492 x 440 x 705
Weight (Dish and Mount Included)	5.098 kg	NB-2G18: 2.346 kg NB-5G22: 1.904 kg NB-5G25: 2.304 kg	NBM3: 4.656 kg NBM365: 4.660 kg
Power Supply	24V, 1A PoE	24V, 0.5A PoE	24V, 0.5A PoE
Power Method	Passive PoE (Pairs 4, 5+; 7, 8 Return)	Passive PoE (Pairs 4, 5+; 7, 8 Return)	Passive PoE (Pairs 4, 5+; 7, 8 Return)
Max. Power Consumption	6.5 W	5.5 W	8 W
Gain	10.6 - 11.3 dBi	NB-2G18: 18 dBi NB-5G22: 22 dBi NB-5G25: 25 dBi	21.5 - 22.5 dBi
LEDs	(1) Power, (1) LAN, (4) WLAN	(1) Power, (1) LAN, (4) WLAN	(1) Power, (2) LAN, (4) WLAN
Wind Loading	105 lbf @ 125 mph	NB-2G18: 77 lbf @ 125 mph NB-5G22: 45 lbf @ 125 mph NB-5G25: 77 lbf @ 125 mph	105 lbf @ 125 mph
Wind Survivability	125 mph		
LEDs	(1) Power, (1) LAN, (4) WLAN		
Signal Strength LEDs	Software-Adjustable to Correspond to Custom RSSI Levels		
Enclosure	Outdoor UV Stabilized Plastic		
Mounting	Pole-Mount Kit Included		
Operating Temperature	-30 to 75° C		
Operating Humidity	5 to 95% Non-Condensing		
Shock & Vibration	ETSI300-019-1.4		

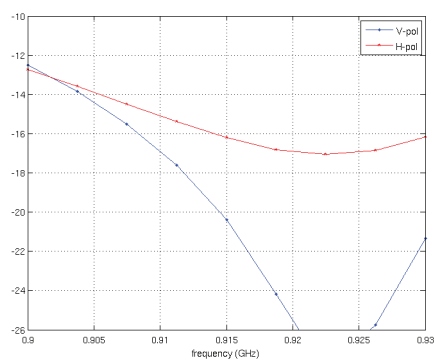
Operating Frequency Summary (MHz)					
Model	NBM9	NB-2G18	NBM3	NBM365	NB-5G22/NB-5G25
Worldwide	902 - 928	2402 - 2462	3370 - 3730	3650 - 3675	5170 - 5875
USA					5725 - 5850

Specifications

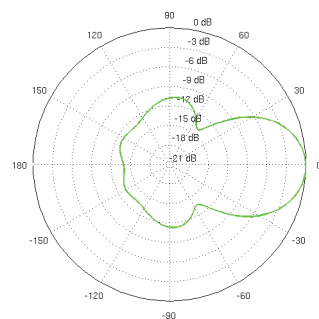
NBM9 – Output Power: 28 dBm							
900 MHz TX POWER SPECIFICATIONS				900 MHz RX POWER SPECIFICATIONS			
	Data Rate	Avg. TX	Tolerance		Data Rate	Sensitivity	Tolerance
11n/airMAX	MCS0	28 dBm	± 2 dB	11n/airMAX	MCS0	-96 dBm	± 2 dB
	MCS1	28 dBm	± 2 dB		MCS1	-95 dBm	± 2 dB
	MCS2	28 dBm	± 2 dB		MCS2	-92 dBm	± 2 dB
	MCS3	28 dBm	± 2 dB		MCS3	-90 dBm	± 2 dB
	MCS4	28 dBm	± 2 dB		MCS4	-86 dBm	± 2 dB
	MCS5	24 dBm	± 2 dB		MCS5	-83 dBm	± 2 dB
	MCS6	22 dBm	± 2 dB		MCS6	-77 dBm	± 2 dB
	MCS7	21 dBm	± 2 dB		MCS7	-74 dBm	± 2 dB
	MCS8	28 dBm	± 2 dB		MCS8	-95 dBm	± 2 dB
	MCS9	28 dBm	± 2 dB		MCS9	-93 dBm	± 2 dB
	MCS10	28 dBm	± 2 dB		MCS10	-90 dBm	± 2 dB
	MCS11	28 dBm	± 2 dB		MCS11	-87 dBm	± 2 dB
	MCS12	28 dBm	± 2 dB		MCS12	-84 dBm	± 2 dB
	MCS13	24 dBm	± 2 dB		MCS13	-79 dBm	± 2 dB
	MCS14	22 dBm	± 2 dB		MCS14	-78 dBm	± 2 dB
	MCS15	21 dBm	± 2 dB		MCS15	-75 dBm	± 2 dB

NBM9 Antenna Information	
Gain	10.6 - 11.3 dBi
Max. VSWR	1.6:1

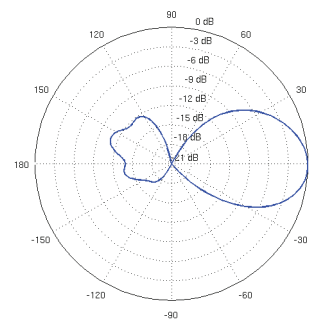
Return Loss



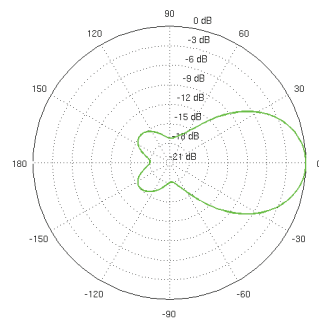
Vertical Azimuth



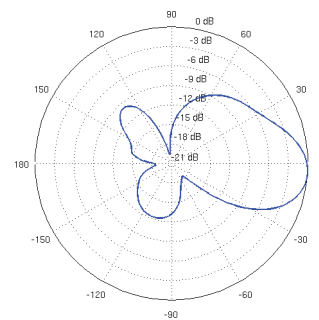
Vertical Elevation



Horizontal Azimuth



Horizontal Elevation



Specifications

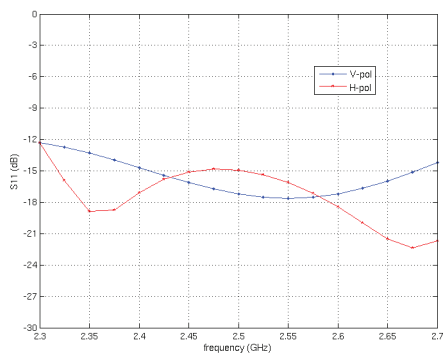
NB-2G18 – Output Power: 23 dBm

2.4 GHz TX POWER SPECIFICATIONS				2.4 GHz RX POWER SPECIFICATIONS			
	Data Rate	Avg. TX	Tolerance		Data Rate	Sensitivity	Tolerance
11n/airMAX	MCS0	23 dBm	± 2 dB	11n/airMAX	MCS0	-94 dBm	± 2 dB
	MCS1	23 dBm	± 2 dB		MCS1	-93 dBm	± 2 dB
	MCS2	23 dBm	± 2 dB		MCS2	-90 dBm	± 2 dB
	MCS3	23 dBm	± 2 dB		MCS3	-89 dBm	± 2 dB
	MCS4	22 dBm	± 2 dB		MCS4	-86 dBm	± 2 dB
	MCS5	20 dBm	± 2 dB		MCS5	-83 dBm	± 2 dB
	MCS6	19 dBm	± 2 dB		MCS6	-77 dBm	± 2 dB
	MCS7	18 dBm	± 2 dB		MCS7	-74 dBm	± 2 dB
	MCS8	23 dBm	± 2 dB		MCS8	-93 dBm	± 2 dB
	MCS9	23 dBm	± 2 dB		MCS9	-91 dBm	± 2 dB
	MCS10	23 dBm	± 2 dB		MCS10	-89 dBm	± 2 dB
	MCS11	23 dBm	± 2 dB		MCS11	-87 dBm	± 2 dB
	MCS12	22 dBm	± 2 dB		MCS12	-84 dBm	± 2 dB
	MCS13	20 dBm	± 2 dB		MCS13	-79 dBm	± 2 dB
	MCS14	19 dBm	± 2 dB		MCS14	-78 dBm	± 2 dB
	MCS15	18 dBm	± 2 dB		MCS15	-75 dBm	± 2 dB

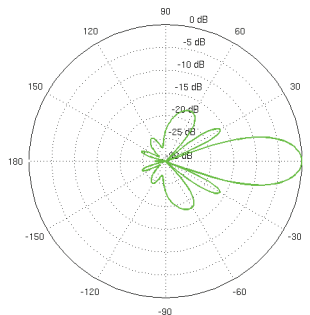
NB-2G18 Antenna Information

Gain	18 dBi
Max. VSWR	1.6:1

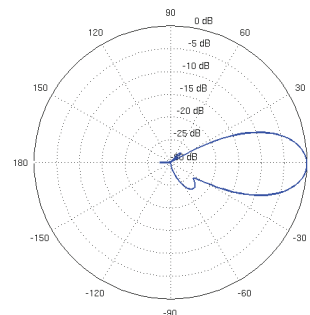
Return Loss



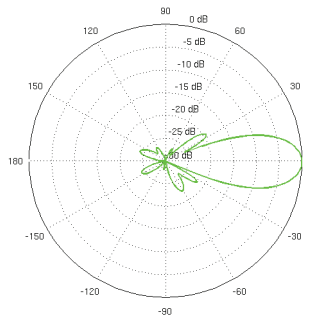
Vertical Azimuth



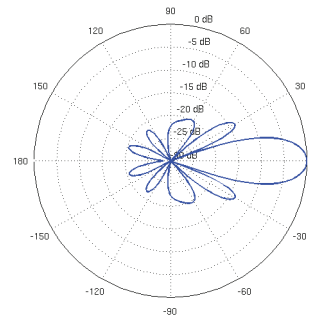
Vertical Elevation



Horizontal Azimuth



Horizontal Elevation

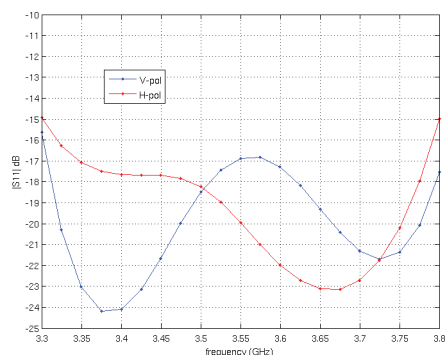


Specifications

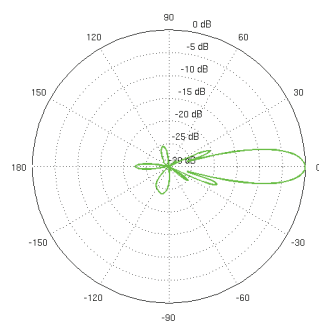
NBM3/NBM365 – Output Power: 25 dBm							
3 GHz TX POWER SPECIFICATIONS				3 GHz RX POWER SPECIFICATIONS			
	Data Rate	Avg. TX	Tolerance		Data Rate	Sensitivity	Tolerance
11n/airMAX	MCS0	25 dBm	± 2 dB	11n/airMAX	MCS0	-94 dBm	± 2 dB
	MCS1	25 dBm	± 2 dB		MCS1	-93 dBm	± 2 dB
	MCS2	25 dBm	± 2 dB		MCS2	-90 dBm	± 2 dB
	MCS3	25 dBm	± 2 dB		MCS3	-89 dBm	± 2 dB
	MCS4	24 dBm	± 2 dB		MCS4	-86 dBm	± 2 dB
	MCS5	23 dBm	± 2 dB		MCS5	-83 dBm	± 2 dB
	MCS6	22 dBm	± 2 dB		MCS6	-77 dBm	± 2 dB
	MCS7	20 dBm	± 2 dB		MCS7	-74 dBm	± 2 dB
	MCS8	25 dBm	± 2 dB		MCS8	-93 dBm	± 2 dB
	MCS9	25 dBm	± 2 dB		MCS9	-91 dBm	± 2 dB
	MCS10	25 dBm	± 2 dB		MCS10	-89 dBm	± 2 dB
	MCS11	25 dBm	± 2 dB		MCS11	-87 dBm	± 2 dB
	MCS12	24 dBm	± 2 dB		MCS12	-84 dBm	± 2 dB
	MCS13	23 dBm	± 2 dB		MCS13	-79 dBm	± 2 dB
	MCS14	22 dBm	± 2 dB		MCS14	-78 dBm	± 2 dB
	MCS15	20 dBm	± 2 dB		MCS15	-75 dBm	± 2 dB

NBM3/NBM365 Antenna Information	
Gain	21.5 - 22.5 dBi
Max. VSWR	1.5:1

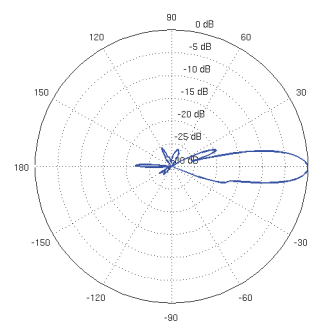
Return Loss



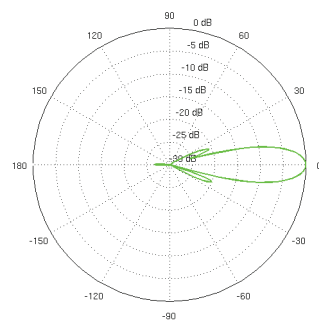
Vertical Azimuth



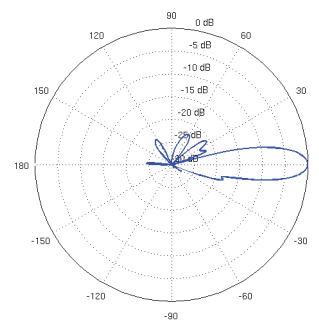
Vertical Elevation



Horizontal Azimuth



Horizontal Elevation



Specifications

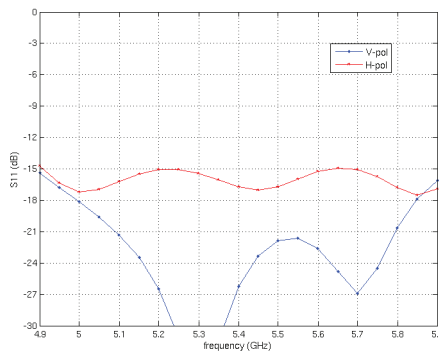
NB-5G22 – Output Power: 23 dBm

5 GHz TX POWER SPECIFICATIONS				5 GHz RX POWER SPECIFICATIONS			
	Data Rate	Avg. TX	Tolerance		Data Rate	Sensitivity	Tolerance
11n/airMAX	MCS0	23 dBm	± 2 dB	11n/airMAX	MCS0	-96 dBm	± 2 dB
	MCS1	23 dBm	± 2 dB		MCS1	-95 dBm	± 2 dB
	MCS2	23 dBm	± 2 dB		MCS2	-92 dBm	± 2 dB
	MCS3	23 dBm	± 2 dB		MCS3	-90 dBm	± 2 dB
	MCS4	22 dBm	± 2 dB		MCS4	-86 dBm	± 2 dB
	MCS5	20 dBm	± 2 dB		MCS5	-83 dBm	± 2 dB
	MCS6	19 dBm	± 2 dB		MCS6	-77 dBm	± 2 dB
	MCS7	18 dBm	± 2 dB		MCS7	-74 dBm	± 2 dB
	MCS8	23 dBm	± 2 dB		MCS8	-95 dBm	± 2 dB
	MCS9	23 dBm	± 2 dB		MCS9	-93 dBm	± 2 dB
	MCS10	23 dBm	± 2 dB		MCS10	-90 dBm	± 2 dB
	MCS11	23 dBm	± 2 dB		MCS11	-87 dBm	± 2 dB
	MCS12	22 dBm	± 2 dB		MCS12	-84 dBm	± 2 dB
	MCS13	20 dBm	± 2 dB		MCS13	-79 dBm	± 2 dB
	MCS14	19 dBm	± 2 dB		MCS14	-78 dBm	± 2 dB
	MCS15	18 dBm	± 2 dB		MCS15	-75 dBm	± 2 dB

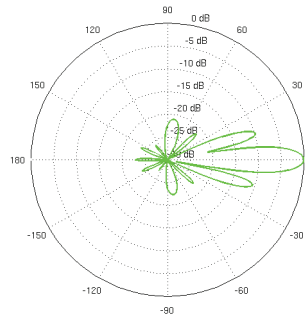
NB-5G22 Antenna Information

Gain	22 dBi
Max. VSWR	1.5:1

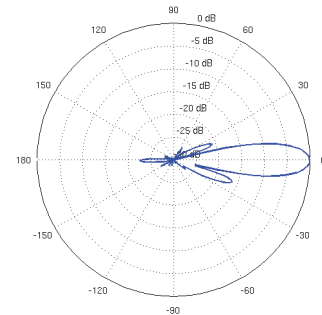
Return Loss



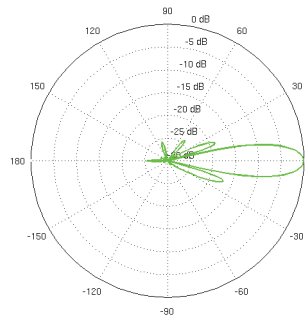
Vertical Azimuth



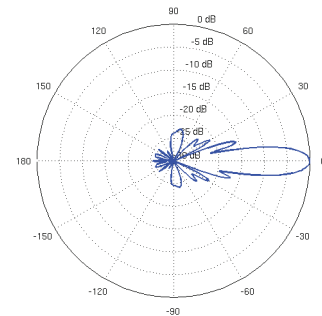
Vertical Elevation



Horizontal Azimuth



Horizontal Elevation

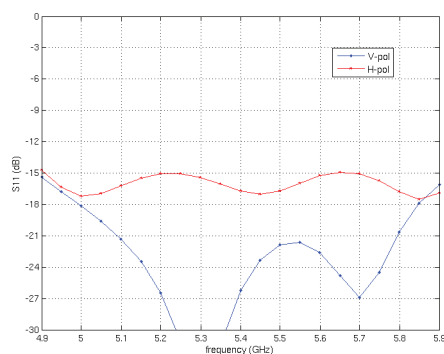


Specifications

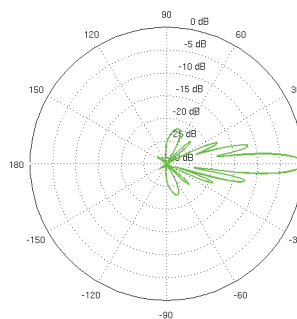
NB-5G25 – Output Power: 23 dBm							
5 GHz TX POWER SPECIFICATIONS				5 GHz RX POWER SPECIFICATIONS			
	Data Rate	Avg. TX	Tolerance		Data Rate	Sensitivity	Tolerance
11n/airMAX	MCS0	23 dBm	± 2 dB	11n/airMAX	MCS0	-96 dBm	± 2 dB
	MCS1	23 dBm	± 2 dB		MCS1	-95 dBm	± 2 dB
	MCS2	23 dBm	± 2 dB		MCS2	-92 dBm	± 2 dB
	MCS3	23 dBm	± 2 dB		MCS3	-90 dBm	± 2 dB
	MCS4	22 dBm	± 2 dB		MCS4	-86 dBm	± 2 dB
	MCS5	20 dBm	± 2 dB		MCS5	-83 dBm	± 2 dB
	MCS6	19 dBm	± 2 dB		MCS6	-77 dBm	± 2 dB
	MCS7	18 dBm	± 2 dB		MCS7	-74 dBm	± 2 dB
	MCS8	23 dBm	± 2 dB		MCS8	-95 dBm	± 2 dB
	MCS9	23 dBm	± 2 dB		MCS9	-93 dBm	± 2 dB
	MCS10	23 dBm	± 2 dB		MCS10	-90 dBm	± 2 dB
	MCS11	23 dBm	± 2 dB		MCS11	-87 dBm	± 2 dB
	MCS12	22 dBm	± 2 dB		MCS12	-84 dBm	± 2 dB
	MCS13	20 dBm	± 2 dB		MCS13	-79 dBm	± 2 dB
	MCS14	19 dBm	± 2 dB		MCS14	-78 dBm	± 2 dB
	MCS15	18 dBm	± 2 dB		MCS15	-75 dBm	± 2 dB

NB-5G25 Antenna Information	
Gain	25 dBi
Max. VSWR	1.5:1

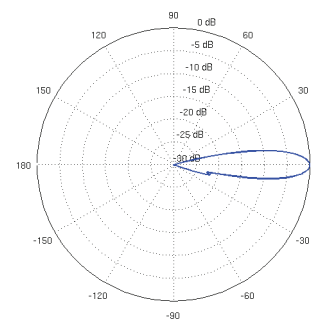
Return Loss



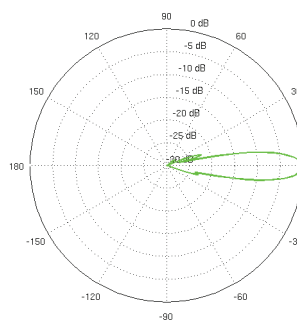
Vertical Azimuth



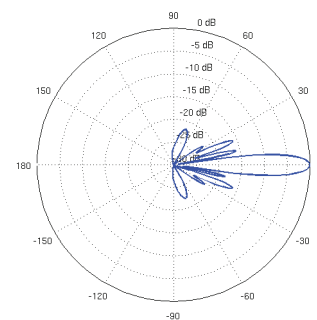
Vertical Elevation



Horizontal Azimuth



Horizontal Elevation



TOUGH Cable™

OUTDOOR CARRIER CLASS SHIELDED

Protect your networks from the most brutal environments with Ubiquiti Networks' industrial-grade, shielded Ethernet cable, TOUGH Cable.

Increase Performance

Dramatically improve your Ethernet link states, speeds, and overall performance with Ubiquiti TOUGH Cables.

Extreme Weatherproof

Designed for outdoor use, TOUGH Cables have been built to perform even in the harshest weather and environments.

ESD Damage Protection

Protect your networks from devastating electrostatic discharge (ESD) attacks.

Extended Cable Support

TOUGH Cables have been developed to increase power handling performance for extended cable run lengths.



TOUGH Cable Connectors

Specifically designed for use with Ubiquiti TOUGH Cables, TOUGH Cable Connectors protect against ESD attacks and Ethernet hardware damage, while allowing rapid field deployment without soldering. The standard TOUGH Cable Connectors are available in 100-pc. bags, while the TC-GND versions include ground wires and are available in 20-pc. bags.

TOUGH Switch™ PoE

Advanced Gigabit PoE Managed Switch

Introducing the Advanced Power over Ethernet Controllers, TOUGH Switch™ PoE from Ubiquiti Networks. TOUGH Switch PoE delivers reliable passive PoE and fast 10/100/1000 Mbps connectivity to attached Ubiquiti devices and other devices that support passive PoE.

To connect your PoE devices, simply enable PoE in the easy-to-use TOUGH Switch Configuration Interface. Each port can be individually configured to provide PoE, so both PoE and non-PoE devices can be connected.



All specifications in this document are subject to change without notice.

© 2013 Ubiquiti Networks, Inc. All rights reserved. airMAX®, airOS®, airView®, airControl®, InnerFeed™, NanoBridge®, TOUGH Cable™, TOUGH Switch™, Ubiquiti Networks™, and the Ubiquiti logo® are trademarks or registered trademarks of Ubiquiti Networks, Inc. in the United States and in other countries. GEOMET® is a trademark of NOF METAL COATINGS GROUP.



YL102813



*air***MAX**® Sector

5 GHz 2x2 MIMO
BaseStation Sector
Antenna

Model: AM-5G20-90

QUICK START GUIDE

Introduction

Thank you for purchasing the Ubiquiti Networks® airMAX® 5 GHz 2x2 MIMO BaseStation Sector Antenna. This Quick Start Guide is designed to guide you through the installation of the antenna. This Quick Start Guide also includes the warranty terms and is for use with the airMAX Sector Antenna, model AM-5G20-90.

Package Contents



Antenna



Protective
Shroud



U-Brackets
(Qty. 2)



Pole Brackets
(Qty. 2)



Pole Clamps
(Qty. 2)



Carriage Bolts
(M8x135, Qty. 4)



Serrated
Flange Bolts
(M8x20, Qty. 4)



Serrated
Flange Nuts
(M8, Qty. 8)



RF Cables
(Qty. 2)



Quick Start
Guide

Products may be different from pictures and are subject to change without notice.

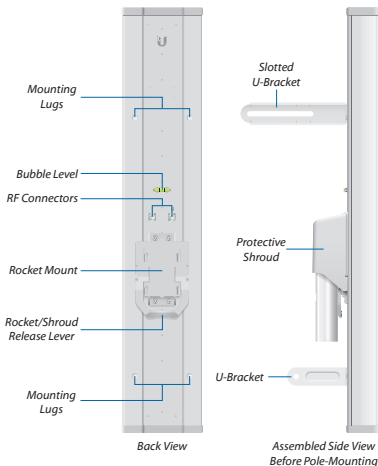
TERMS OF USE: Ubiquiti radio devices must be professionally installed. Shielded Ethernet cable and earth grounding must be used as conditions of product warranty. TOUGHCable is designed for outdoor installations. It is the customer's responsibility to follow local country regulations, including operation within legal frequency channels, output power, and Dynamic Frequency Selection (DFS) requirements.

Installation Requirements

- Rocket™ M5 or RocketM5 GPS (sold separately)
- 12 mm and 13 mm wrenches
- Shielded Category 5 (or above) cabling should be used for all wired Ethernet connections and should be grounded through the AC ground of the PoE.

We recommend that you protect your networks from the most brutal environments and devastating ESD attacks with industrial-grade shielded Ethernet cable from Ubiquiti Networks. For more details, visit www.ubnt.com/toughcable

Hardware Overview



Hardware Installation

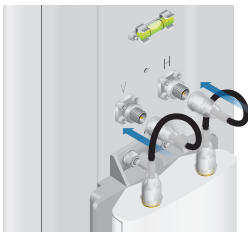
1. Attach the *RF Cables* to the connectors labeled **Chain 0** and **Chain 1** on the Rocket.



2. Attach the Rocket to the *Rocket Mount*.
 - a. Align the mounting tabs on the back of the Rocket with the four mounting slots on the bracket.
 - b. Slide the Rocket down until it locks into place.



3. Connect the other ends of the *RF Cables* to the *RF Connectors* on the antenna.



4. Slide the *Protective Shroud* down over the Rocket until it locks onto the *Rocket Mount*.

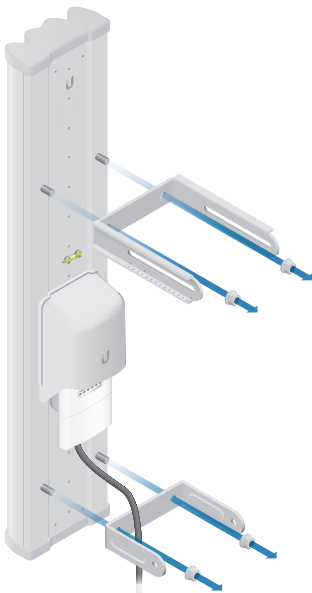


Note: If you have trouble locking the shroud into place, try adjusting the placement of the *RF Cables*.

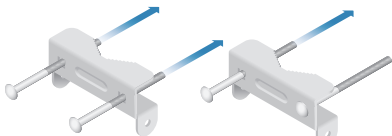
5. Attach the *U-Brackets* to the antenna:
- Secure the *Slotted U-Bracket* to the upper *Mounting Lugs* of the antenna using two *Serrated Flange Nuts*.
 - Secure the other *U-Bracket* to the lower *Mounting Lugs* of the antenna using two *Serrated Flange Nuts*.



Note: Orient both *U-Brackets* as shown below.



6. Insert two *Carriage Bolts* into each *Pole Bracket*.



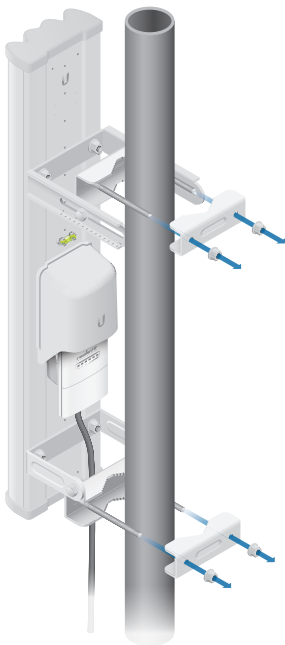
7. Attach each *Pole Bracket* to each *U-Bracket* using two *Serrated Flange Bolts*. Hand-tighten only.



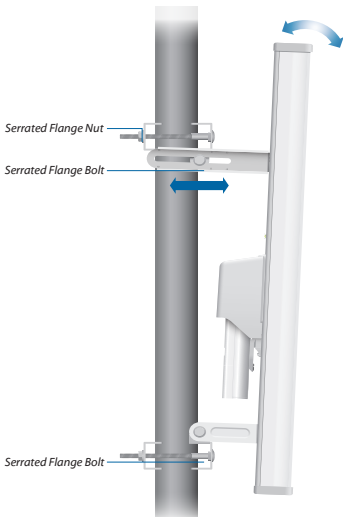
8. To mount the antenna to the pole, slide a *Pole Clamp* over each pair of *Carriage Bolts*. Secure each *Pole Clamp* with two *Serrated Flange Nuts*.



Note: The mounting assembly can accommodate a Ø 38 - 76 mm (1.5" - 3.0") pole.



9. The antenna has an electrical downtilt of 2°. To further adjust the elevation angle:
- Loosen the four *Serrated Flange Bolts* on the *U-Brackets* and the two *Serrated Flange Nuts* on the upper *Pole Clamp*.
 - Slide the antenna to the desired tilt. (The brackets may slide along the pole, depending on the angle of the elevation tilt.)
 - Tighten all bolts and nuts to approximately 25 N-m (18 lb-ft) or less to avoid deforming the pole.



Specifications

AM-5G20-90	
Dimensions	700 x 135 x 70 mm (27.56 x 5.32 x x 2.76")
Weight (Mount Included)	5.9 kg (13.01 lb)
Frequency	5.15 - 5.85 GHz
Gain	19.4 - 20.3 dBi
HPOL Beamwidth	91° (6 dB)
VPOL Beamwidth	85° (6 dB)
Elevation Beamwidth	4°
Electrical Downtilt	2°
Max. VSWR	1.5:1
Wind Survivability	200 km/h (125 mph)
Wind Loading	182 N @ 200 km/h (41 lbf @ 125 mph)
Polarization	Dual Linear
Cross-Pol Isolation	28 dB Min.
ETSI Specification	EN 302 326 DN2
Mounting	Universal Pole Mount, Rocket Bracket, and Weatherproof RF Jumpers Included



640-00054-03

Safety Notices

1. Read, follow, and keep these instructions.
2. Heed all warnings.
3. Only use attachments/accessories specified by the manufacturer.



WARNING: Do not use this product in location that can be submerged by water.



WARNING: Avoid using this product during an electrical storm. There may be a remote risk of electric shock from lightning.

Electrical Safety Information

1. Compliance is required with respect to voltage, frequency, and current requirements indicated on the manufacturer's label. Connection to a different power source than those specified may result in improper operation, damage to the equipment or pose a fire hazard if the limitations are not followed.
2. There are no operator serviceable parts inside this equipment. Service should be provided only by a qualified service technician.

Limited Warranty

UBIQUITI NETWORKS, Inc (“UBIQUITI NETWORKS”) warrants that the product(s) furnished hereunder (the “Product(s)”) shall be free from defects in material and workmanship for a period of one (1) year from the date of shipment by UBIQUITI NETWORKS under normal use and operation. UBIQUITI NETWORKS’ sole and exclusive obligation and liability under the foregoing warranty shall be for UBIQUITI NETWORKS, at its discretion, to repair or replace any Product that fails to conform to the above warranty during the above warranty period. The expense of removal and reinstallation of any Product is not included in this warranty. The warranty period of any repaired or replaced Product shall not extend beyond its original term.

Warranty Conditions

The above warranty does not apply if the Product:

- (I) has been modified and/or altered, or an addition made thereto, except by Ubiquiti Networks, or Ubiquiti Networks’ authorized representatives, or as approved by Ubiquiti Networks in writing;
- (II) has been painted, rebranded or physically modified in any way;
- (III) has been damaged due to errors or defects in cabling;
- (IV) has been subjected to misuse, abuse, negligence, abnormal physical, electromagnetic or electrical stress, including lightning strikes, or accident;
- (V) has been damaged or impaired as a result of using third party firmware;
- (VI) has no original Ubiquiti MAC label, or is missing any other original Ubiquiti label(s); or
- (VII) has not been received by Ubiquiti within 30 days of issuance of the RMA.

In addition, the above warranty shall apply only if: the product has been properly installed and used at all times in accordance, and in all material respects, with the applicable Product documentation; all Ethernet cabling runs use CAT5 (or above), and for outdoor installations, shielded Ethernet cabling is used, and for indoor installations, indoor cabling requirements are followed.

Returns

No Products will be accepted for replacement or repair without obtaining a Return Materials Authorization (RMA) number from UBIQUITI NETWORKS during the warranty period, and the Products being received at UBIQUITI NETWORKS' facility freight prepaid in accordance with the RMA process of UBIQUITI NETWORKS. Products returned without an RMA number will not be processed and will be returned freight collect or subject to disposal. Information on the RMA process and obtaining an RMA number can be found at: **www.ubnt.com/support/warranty**.

Disclaimer

EXCEPT FOR ANY EXPRESS WARRANTIES PROVIDED HEREIN, UBIQUITI NETWORKS, ITS AFFILIATES, AND ITS AND THEIR THIRD PARTY DATA, SERVICE, SOFTWARE AND HARDWARE PROVIDERS HEREBY DISCLAIM AND MAKE NO OTHER REPRESENTATION OR WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS, IMPLIED OR STATUTORY, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, REPRESENTATIONS, GUARANTEES, OR WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, ACCURACY, QUALITY OF SERVICE OR RESULTS, AVAILABILITY, SATISFACTORY QUALITY, LACK OF VIRUSES, QUIET ENJOYMENT, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND NON-INFRINGEMENT AND ANY WARRANTIES ARISING FROM ANY COURSE OF DEALING, USAGE OR TRADE PRACTICE IN CONNECTION WITH SUCH PRODUCTS AND SERVICES. BUYER ACKNOWLEDGES THAT NEITHER UBIQUITI NETWORKS NOR ITS THIRD PARTY PROVIDERS CONTROL BUYER'S EQUIPMENT OR THE TRANSFER OF DATA OVER COMMUNICATIONS FACILITIES, INCLUDING THE INTERNET, AND THAT THE PRODUCTS AND SERVICES MAY BE SUBJECT TO LIMITATIONS, INTERRUPTIONS, DELAYS, CANCELLATIONS AND OTHER PROBLEMS INHERENT IN THE USE OF COMMUNICATIONS FACILITIES. UBIQUITI NETWORKS, ITS AFFILIATES AND ITS AND THEIR THIRD PARTY PROVIDERS ARE NOT RESPONSIBLE FOR ANY INTERRUPTIONS, DELAYS, CANCELLATIONS, DELIVERY FAILURES, DATA LOSS, CONTENT CORRUPTION, PACKET LOSS, OR OTHER DAMAGE RESULTING FROM ANY OF THE FOREGOING. In addition, UBIQUITI NETWORKS does not warrant that the operation of the Products will be error-free or that operation will be uninterrupted. In no event shall UBIQUITI NETWORKS be responsible for damages or claims of any nature or description relating to system performance, including coverage, buyer's selection of products (including the Products) for buyer's application and/or failure of products (including the Products) to meet government or regulatory requirements.

Limitation of Liability

EXCEPT TO THE EXTENT PROHIBITED BY LOCAL LAW, IN NO EVENT WILL UBIQUITI OR ITS SUBSIDIARIES, AFFILIATES OR SUPPLIERS BE LIABLE FOR DIRECT, SPECIAL, INCIDENTAL, CONSEQUENTIAL OR OTHER DAMAGES (INCLUDING LOST PROFIT, LOST DATA, OR DOWNTIME COSTS), ARISING OUT OF THE USE, INABILITY TO USE, OR THE RESULTS OF USE OF THE PRODUCT, WHETHER BASED IN WARRANTY, CONTRACT, TORT OR OTHER LEGAL THEORY, AND WHETHER OR NOT ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES.

Note

Some countries, states and provinces do not allow exclusions of implied warranties or conditions, so the above exclusion may not apply to you. You may have other rights that vary from country to country, state to state, or province to province. Some countries, states and provinces do not allow the exclusion or limitation of liability for incidental or consequential damages, so the above limitation may not apply to you. EXCEPT TO THE EXTENT ALLOWED BY LOCAL LAW, THESE WARRANTY TERMS DO NOT EXCLUDE, RESTRICT OR MODIFY, AND ARE IN ADDITION TO, THE MANDATORY STATUTORY RIGHTS APPLICABLE TO THE LICENSE OF ANY SOFTWARE (EMBEDDED IN THE PRODUCT) TO YOU. The United Nations Convention on Contracts for the International Sale of Goods shall not apply to any transactions regarding the sale of the Products.

Compliance

RF Exposure Warning

The antenna and transmitter must be installed to provide a separation distance from all persons and must not be located or operating in conjunction with any other antenna or transmitter. For the specific separation distance, refer to the Quick Start Guide for your Rocket device (transmitter).

L'antenne et l'émetteur doit être installé pour fournir une distance de séparation de toute les personnes et ne doit pas être situé ou opérant en conjonction avec une autre antenne ou un autre émetteur. Pour la distance spécifique de séparation, se référer au Guide de démarrage rapide pour votre appareil Rocket (l'émetteur).

RoHS/WEEE Compliance Statement



English

European Directive 2002/96/EC requires that the equipment bearing this symbol on the product and/or its packaging must not be disposed of with unsorted municipal waste. The symbol indicates that this product should be disposed of separately from regular household waste streams. It is your responsibility to dispose of this and other electric and electronic equipment via designated collection facilities appointed by the government or local authorities. Correct disposal and recycling will help prevent potential negative consequences to the environment and human health. For more detailed information about the disposal of your old equipment, please contact your local authorities, waste disposal service, or the shop where you purchased the product.

Deutsch

Die Europäische Richtlinie 2002/96/EC verlangt, dass technische Ausrüstung, die direkt am Gerät und/oder an der Verpackung mit diesem Symbol versehen ist, nicht zusammen mit unsortiertem Gemeindeabfall entsorgt werden darf. Das Symbol weist darauf hin, dass das Produkt von regulärem Haushaltsmüll getrennt entsorgt werden sollte. Es liegt in Ihrer Verantwortung, dieses Gerät und andere elektrische und elektronische Geräte über die dafür zuständigen und von der Regierung oder örtlichen Behörden dazu bestimmten Sammelstellen zu entsorgen. Ordnungsgemäßes Entsorgen und Recyceln trägt dazu bei, potentielle negative Folgen für Umwelt und die menschliche Gesundheit zu vermeiden. Wenn Sie weitere Informationen zur Entsorgung Ihrer Altgeräte benötigen, wenden Sie sich bitte an die örtlichen Behörden oder städtischen Entsorgungsdienste oder an den Händler, bei dem Sie das Produkt erworben haben.

Español

La Directiva 2002/96/CE de la UE exige que los equipos que lleven este símbolo en el propio aparato y/o en su embalaje no deben eliminarse junto con otros residuos urbanos no seleccionados. El símbolo indica que el producto en cuestión debe separarse de los residuos domésticos convencionales con vistas a su eliminación. Es responsabilidad suya desechar este y cualesquiera otros aparatos eléctricos y electrónicos a través de los puntos de recogida que ponen a su disposición el gobierno y las autoridades locales. Al desechar y reciclar correctamente estos aparatos estará contribuyendo a evitar posibles consecuencias negativas para el medio ambiente y la salud de las personas. Si desea obtener información más detallada sobre la eliminación segura de su aparato usado, consulte a las autoridades locales, al servicio de recogida y eliminación de residuos de su zona o pregunte en la tienda donde adquirió el producto.

Français

La directive européenne 2002/96/CE exige que l'équipement sur lequel est apposé ce symbole sur le produit et/ou son emballage ne soit pas jeté avec les autres ordures ménagères. Ce symbole indique que le produit doit être éliminé dans un circuit distinct de celui pour les déchets des ménages. Il est de votre responsabilité de jeter ce matériel ainsi que tout autre matériel électrique ou électronique par les moyens de collecte indiqués par le gouvernement et les pouvoirs publics des collectivités territoriales. L'élimination et le recyclage en bonne et due forme ont pour but de lutter contre l'impact néfaste potentiel de ce type de produits sur l'environnement et la santé publique. Pour plus d'informations sur le mode d'élimination de votre ancien équipement, veuillez prendre contact avec les pouvoirs publics locaux, le service de traitement des déchets, ou l'endroit où vous avez acheté le produit.

Italiano

La direttiva europea 2002/96/EC richiede che le apparecchiature contrassegnate con questo simbolo sul prodotto e/o sull'imballaggio non siano smaltite insieme ai rifiuti urbani non differenziati. Il simbolo indica che questo prodotto non deve essere smaltito insieme ai normali rifiuti domestici. È responsabilità del proprietario smaltire sia questi prodotti sia le altre apparecchiature elettriche ed elettroniche mediante le specifiche strutture di raccolta indicate dal governo o dagli enti pubblici locali. Il corretto smaltimento ed il riciclaggio aiuteranno a prevenire conseguenze potenzialmente negative per l'ambiente e per la salute dell'essere umano. Per ricevere informazioni più dettagliate circa lo smaltimento delle vecchie apparecchiature in Vostro possesso, Vi invitiamo a contattare gli enti pubblici di competenza, il servizio di smaltimento rifiuti o il negozio nel quale avete acquistato il prodotto.

Declaration of Conformity

Česky [Czech]	UBIQUITI NETWORKS tímto prohlašuje, a tento UBIQUITI NETWORKS device, je ve shodě se základními požadavky a dalšími požadavky ustanovenými směrnicí 1999/5/ES.
Dansk [Danish]	Undertegnede UBIQUITI NETWORKS erklærer herved, at følgende udstyr UBIQUITI NETWORKS device, overholder de væsentlige krav og øvrige relevante krav i direktiv 1999/5/EF.
Nederlands [Dutch]	Hierbij verklaart UBIQUITI NETWORKS dat het toestel UBIQUITI NETWORKS device, in overeenstemming is met de essentiële eisen en de andere relevante bepalingen van richtlijn 1999/5/EG. Bij deze verklaart UBIQUITI NETWORKS dat deze UBIQUITI NETWORKS device, voldoet aan de essentiële eisen en aan de overige relevante bepalingen van Richtlijn 1999/5/EC.
English	Hereby, UBIQUITI NETWORKS, declares that this UBIQUITI NETWORKS device, is in compliance with the essential requirements and other relevant provisions of Directive 1999/5/EC.
Eesti [Estonian]	Käesolevaga kinnitab UBIQUITI NETWORKS seadme UBIQUITI NETWORKS device, vastavust direktiivi 1999/5/EÜ põhinõuetele ja nimetatud direktiivist tulenevatele teistele asjakohastele sätetele.
Suomi [Finnish]	UBIQUITI NETWORKS vakuuttaa täten että UBIQUITI NETWORKS device, tyypinen laite on direktiivin 1999/5/EY oleellisten vaatimusten ja sitä koskevien direktiivin muiden ehtojen mukainen.
Français [French]	Par la présente UBIQUITI NETWORKS déclare que l'appareil UBIQUITI NETWORKS, device est conforme aux exigences essentielles et aux autres dispositions pertinentes de la directive 1999/5/CE.
Deutsch [German]	Hiermit erklärt UBIQUITI NETWORKS, dass sich diese UBIQUITI NETWORKS device, in Übereinstimmung mit den grundlegenden Anforderungen und den anderen relevanten Vorschriften der Richtlinie 1999/5/EG befindet. (BMW)
Ελληνική [Greek]	ΜΕ ΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ UBIQUITI NETWORKS ΔΗΛΩΝΕΙ ΟΤΙ UBIQUITI NETWORKS device, ΣΥΜΜΟΡΦΩΝΕΤΑΙ ΠΡΟΣ ΤΙΣ ΟΥΣΙΩΔΕΙΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΙΣ ΛΟΙΠΕΣ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΤΗΣ ΟΔΗΓΙΑΣ 1995/5/ΕΚ.
Magyar [Hungarian]	Alulírott, UBIQUITI NETWORKS nyilatkozom, hogy a UBIQUITI NETWORKS device, megfelel a vonatkozó alapvető követelményeknek és az 1999/5/EC irányelv egyéb előírásainak.
Íslenska [Icelandic]	Hér með lýsir UBIQUITI NETWORKS yfir við a UBIQUITI NETWORKS device, er í samræmi við grunnkröfur og a rar kröfur, sem gerar eru í tilskipun 1999/5/EC.

Italiano [Italian]	Con la presente UBIQUITI NETWORKS dichiara che questo UBIQUITI NETWORKS device, è conforme ai requisiti essenziali ed alle altre disposizioni pertinenti stabilite dalla direttiva 1999/5/CE.
Latviski [Latvian]	Ar o UBIQUITI NETWORKS deklar , ka UBIQUITI NETWORKS device, atbilst Direkt vas 1999/5/EK b tiskaj m pras b m un citiem ar to saist tajiem noteikumiem.
Lietuviškai [Lithuanian]	UBIQUITI NETWORKS deklaruoja, kad šis UBIQUITI NETWORKS įrenginys atitinka esminius reikalavimus ir kitas 1999/5/EB Direktyvos nuostatas.
Malti [Maltese]	Hawnhekk, UBIQUITI NETWORKS, jiddikjara li dan UBIQUITI NETWORKS device, jikkonforma mal- ti iġiet essenzjali u ma provvedimenti o rajn rilevanti li hemm fid-Dirrettiva 1999/5/EC.
Norsk [Norwegian]	UBIQUITI NETWORKS erklærer herved at utstyret UBIQUITI NETWORKS device, er i samsvar med de grunnleggende krav og øvrige relevante krav i direktiv 1999/5/EF.
Slovensky [Slovak]	UBIQUITI NETWORKS t mto vyhlasuje, e UBIQUITI NETWORKS device, sp a základné po iadavky a v etky príslu né ustanovenia Smernice 1999/5/ES.
Svenska [Swedish]	Härmed intygar UBIQUITI NETWORKS att denna UBIQUITI NETWORKS device, står i överensstämmelse med de väsentliga egenskapskrav och övriga relevanta bestämmelser som framgår av direktiv 1999/5/EG.
Español [Spanish]	Por medio de la presente UBIQUITI NETWORKS declara que el UBIQUITI NETWORKS device, cumple con los requisitos esenciales y cualesquiera otras disposiciones aplicables o exigibles de la Directiva 1999/5/CE.
Polski [Polish]	Niniejszym, firma UBIQUITI NETWORKS o wiadcza, e produkt serii UBIQUITI NETWORKS device, spelnia zasadnicze wymagania i inne istotne postanowienia Dyrektywy 1999/5/EC.
Português [Portuguese]	UBIQUITI NETWORKS declara que este UBIQUITI NETWORKS device, está conforme com os requisitos essenciais e outras disposições da Directiva 1999/5/CE.
Română [Romanian]	Prin prezenta, UBIQUITI NETWORKS declară că acest dispozitiv UBIQUITI NETWORKS este în conformitate cu cerințele esențiale și alte prevederi relevante ale Directivei 1999/5/CE.

Online Resources

Support support.ubnt.com

Community community.ubnt.com

Downloads downloads.ubnt.com



www.ubnt.com