

**Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas**

**Facultad de Ingeniería Eléctrica**

**Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica**



## **TRABAJO DE DIPLOMA**

**Red de acceso de banda ancha para la zona  
montañosa de la provincia de Cienfuegos**

**Autor: Yasiel Valdés Pérez**

**Tutor: Ing. Dianyi José Hernández Eupierre**

**Santa Clara**

**2011**

**"Año 53 de la Revolución"**

**Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas**

**Facultad de Ingeniería Eléctrica**

**Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica**



## **TRABAJO DE DIPLOMA**

### **Red de acceso de banda ancha para la zona montañosa de la provincia de Cienfuegos**

**Autor: Yasiel Valdés Pérez**

E-mail: [yvperez@uclv.edu.cu](mailto:yvperez@uclv.edu.cu)

**Tutor: Ing. Dianyí José Hernández Eupierre**

E-mail [dianyí.hernandez@etecca.cu](mailto:dianyí.hernandez@etecca.cu)

Jefe Unidad Intervención Técnica,

Dpto. Operaciones de la Red, ETECSA Cienfuegos.

Teléfono: 043-552188

**Santa Clara**

**2011**

**"Año 53 de la Revolución"**



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

---

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

---

Firma del Tutor

---

Firma del Jefe de Departamento  
donde se defiende el trabajo

---

Firma del Responsable de  
Información Científico-Técnica

## **PENSAMIENTO**

*¿Para qué sino para poner paz en los hombres, han de ser los adelantos de la ciencia?*

*José Martí*

## **DEDICATORIA**

*A mi madre, Carmen Pérez López, porque lo ha dado todo por mí.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mi tutor, Dianyi Hernández Eupierre, por la inmensa ayuda, dedicación y paciencia.*

*A David Beltrán Casanova, por su asesoría.*

*A mis padres, Carmen e Ildefonso, por apoyarme y guiarme en todo momento.*

*A mi hermana Yaray, por siempre estar ahí cuando hace falta.*

*A los amigos, por preocuparse y motivarme a seguir.*

*A todas las demás personas que me brindaron apoyo.*

## **TAREA TÉCNICA**

1. Caracterización de las tecnologías de redes de acceso de banda ancha existentes en la actualidad.
2. Caracterización de la zona del Escambray cienfueguero en cuanto a topografía, población, servicios de telecomunicaciones existentes y perspectivas futuras de desarrollo.
3. Diseño de una red de acceso de banda ancha para la zona de estudio garantizando mayor cobertura que la actual, y nuevas prestaciones.

---

Firma del Autor

---

Firma del Tutor

## **RESUMEN**

El sistema de telecomunicaciones de la zona montañosa del Escambray cienfueguero presenta actualmente ciertas deficiencias que atentan contra su desempeño, esto se debe fundamentalmente a que la tecnología en uso ha sido declarada obsoleta por el fabricante y se ha descontinuado su producción. Además la red actual presenta limitaciones en cuanto a cobertura y servicio de transmisión de datos. En este trabajo se realiza el diseño de una red de acceso de banda ancha con el objetivo de sustituir el sistema actual por otro que permita mejorar la cantidad y prestaciones de los servicios de telecomunicaciones del área, así como dar cobertura a todos los asentamientos. La caracterización de las diferentes tecnologías existentes a nivel mundial, así como las especificaciones de la zona de estudio en cuanto topografía, población y servicios que se necesitan, determinan en gran medida qué tipo de red es la idónea para el diseño.

## TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO .....	i
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
TAREA TÉCNICA .....	iv
RESUMEN .....	v
INTRODUCCIÓN .....	1
Organización del informe .....	2
CAPÍTULO 1.  TECNOLOGÍAS DE RED DE ACCESO DE BANDA ANCHA .....	3
1.1  Redes de acceso cableadas .....	3
1.1.1  Redes de acceso sobre par de cobre .....	4
1.1.2  Redes de acceso por fibra óptica .....	5
1.1.3  Redes HFC .....	6
1.1.4  Tecnología PLC .....	7
1.2  Redes de acceso inalámbricas .....	7
1.2.1  MMDS .....	8
1.2.2  LMDS .....	9
1.2.3  Wi-Fi .....	10
1.2.4  WiMAX .....	13

1.2.5	UMTS .....	16
1.2.6	LTE .....	19
1.3	Conclusiones del capítulo .....	21
<b>CAPÍTULO 2. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA MONTAÑOSA DE LA PROVINCIA CIENFUEGOS .....</b>		<b>22</b>
2.1	La zona montañosa del Escambray .....	23
2.1.1	Características generales .....	23
2.2	Infraestructura y servicios de telecomunicaciones existentes .....	25
2.2.1	Equipamiento WLL Alcatel A9800R3 .....	26
2.2.2	Redes GSM .....	29
<b>CAPÍTULO 3. RED DE ACCESO DE BANDA ANCHA PARA EL ESCAMBRAY CIENFUEGUERO.....</b>		<b>31</b>
3.1	Selección de la tecnología.....	31
3.2	Selección del equipamiento.....	32
3.3	Estudio de radio propagación.....	33
3.3.1	Consideraciones preliminares .....	33
3.3.2	Estudio preliminar.....	34
3.3.3	Ubicación de las radio bases .....	35
3.3.4	Estudio radio eléctrico del acceso.....	36
3.4	Definición de los parámetros de celda .....	39
3.4.1	Distribución de las frecuencias .....	39
3.4.2	Límite de cobertura de los sectores.....	40
3.4.3	Análisis de tráfico para el acceso.....	42
3.5	Transporte de señales. ....	43
3.5.1	Cálculo de potencia en los enlaces de fibra óptica. ....	44

3.5.2	Cálculo de los enlaces por radio. ....	46
3.6	Análisis económico de la red. ....	47
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		48
	Conclusiones .....	48
	Recomendaciones .....	48
GLOSARIO .....		49
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		52
ANEXOS .....		54
Anexo 1	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS CPE HUAWEI EchoLife BM8201 .....	54
Anexo 2	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS BTS HUAWEI DBS3900 V300R002.....	55
Anexo 3	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS AIRMUX-200E.....	57
Anexo 4	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS AT-MC10x.....	58

## INTRODUCCIÓN

El estar comunicados se ha convertido en una de las necesidades actuales para el desarrollo de toda sociedad. En este sentido las zonas rurales de difícil acceso presentan grandes limitaciones.

En Cuba, el gobierno revolucionario, ha impulsado la solución al problema de las comunicaciones de las zonas montañosas y de difícil acceso mediante el Plan Turquino-Manatí, un programa de la Revolución encaminado a elevar la calidad de vida de sus pobladores, fomentando un desarrollo integral y sostenible de la economía y la sociedad, a la par del cuidado de la naturaleza y el fortalecimiento de la defensa del país.

En el año 2001 la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A. (ETECSA) instaló una red de telefonía WLL (*Wireless Local Loop*) con el fin de mejorar e incrementar los servicios de telecomunicaciones del área, con excelentes resultados aunque sin cubrir la totalidad de los asentamientos.

Sin embargo, en la actualidad el servicio se ha vuelto deficiente, materializándose en la ocurrencia de interrupciones cada vez más frecuentes, mayores demoras en las soluciones de roturas y reparaciones, así como imposibilidad de ampliación de la red. Esto se debe principalmente a que la tecnología ha sido declarada obsoleta por el fabricante y se ha descontinuado su producción. Por otra parte este sistema presenta limitaciones desde el punto de vista de la transmisión de datos y de cobertura.

Es por ello que surge la necesidad de plantearse el siguiente problema científico:

¿Cómo mejorar los servicios de telecomunicaciones en el Escambray cienfueguero?

Para dar solución a dicha problemática en este trabajo se ha definido el siguiente objetivo general:

Diseñar una red de acceso de banda ancha para la zona montañosa del Escambray cienfueguero que permita una mejora en cuanto a la cantidad y prestaciones de los servicios de telecomunicaciones del área.

Y como objetivos específicos los siguientes:

1. Caracterizar las principales tecnologías de red de acceso de banda ancha existentes a nivel mundial.
2. Caracterizar la zona del Escambray cienfueguero mediante el estudio de la topografía, población, redes de telecomunicaciones existentes y perspectivas de desarrollo, determinando las necesidades inmediatas y futuras en materia de telecomunicaciones.
3. Diseñar una red de acceso de banda ancha como propuesta para la sustitución de la red actual que permita mejoras en cuanto a cantidad y prestaciones de los servicios de telecomunicaciones del área.

### **Organización del informe**

El presente trabajo ha sido estructurado en tres capítulos. En el primer capítulo se resumen las características de las principales tecnologías de redes de acceso de banda ancha que existen hoy en el mundo. El segundo capítulo se dedica a la caracterización topológica y poblacional del Escambray cienfueguero, así como a la descripción del sistema de telecomunicaciones actualmente instalado y las necesidades que en este sentido presenta la zona. Por último, en el tercer capítulo se diseña la red de acceso de banda ancha con la tecnología seleccionada, mediante el trabajo con el software Radio Mobile y se realiza un análisis económico de los costos que requiere su implementación.

## **CAPÍTULO 1. TECNOLOGÍAS DE RED DE ACCESO DE BANDA ANCHA**

El término “banda ancha” se emplea, generalmente, para referirse a la capacidad de un sistema de comunicaciones que permite tasas de transmisión de datos lo suficientemente altas como para que funcionen adecuadamente aplicaciones de voz, datos y video; hoy en día asociado también a características como alta fiabilidad, baja latencia y que permita conexiones permanentemente disponibles (*always-on*). Sin embargo, pese a que la ITU (*Internacional Telecommunication Union*) define en su recomendación I.113 el término de “banda ancha” como la capacidad de transmisión superior a la razón primaria de la ISDN (*Integrate Service Digital Network*), 2 Mbps, la rápida evolución de las tecnologías y la gran variedad de aplicaciones existentes hacen relativo este concepto en cuanto a velocidad de transmisión.

Diferentes países han definido sus propias normas al respecto, no obstante, en la última reunión del Grupo de Expertos de Telecomunicaciones de la ITU, realizada en marzo del 2010 para la revisión de los indicadores de medición del ramo, se acordó establecer la velocidad de 256 kbps como la tasa mínima de transferencia para considerar un abonado de banda ancha, tanto para redes fijas cableadas como fijas y móviles inalámbricas [1].

En este capítulo se resumen las características de las principales tecnologías empleadas en las redes de acceso de banda ancha, tanto cableadas como inalámbricas.

### **1.1 Redes de acceso cableadas**

Las redes de acceso cableadas actuales, en su mayoría, se han desarrollado sobre infraestructuras heredadas de redes anteriores como son las redes telefónicas tradicionales, los sistemas de distribución de televisión por cable o las líneas de distribución de energía

eléctrica. Solo la tecnología de fibra óptica ha requerido el despliegue de grandes cantidades de cables, ya sea en toda la red o como una combinación de la fibra con los sistemas antes mencionados. Las tecnologías empleadas sobre estas infraestructuras permiten velocidades de transmisión muy superiores a los 256 kbps definidos por la ITU.

### **1.1.1 Redes de acceso sobre par de cobre**

La red de acceso sobre par de cobre usa la línea de abonado de la red telefónica convencional (PSTN, *Public Switched Telephone Network*) como medio físico para ofrecer servicios de transmisión de datos de banda ancha mediante las tecnologías xDSL (*x-Digital Subscriber Line*).

Las técnicas xDSL emplean diferentes códigos de línea y tipos de modulación para la transmisión de datos digitales sobre el par trenzado de cobre, permitiendo simultáneamente conexión a Internet y servicio telefónico. Esto se consigue mediante la modulación de las señales de datos en una banda de frecuencia mucho mayor a la destinada convencionalmente a la telefonía (300-3400 Hz) y el uso de equipos de filtraje en el origen y en el destino para separar las dos señales.

Entre las principales tecnologías xDSL se encuentran: ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*), HDSL (*High speed Digital Subscriber Line*), SHDSL (*Single Line High speed Digital Subscriber Line*) y VDSL (*Very high speed Digital Subscriber Line*). ADSL y VDSL/VDSL2 se caracterizan por proporcionar enlaces asimétricos, o sea distintas velocidades de transmisión en bajada y subida, mientras que HDSL y SHDSL proporcionan iguales caudales de transmisión en ambos sentidos [2].

El par de cobre garantiza seguridad en las comunicaciones al no ser un medio compartido, ya que cada línea es dedicada a un usuario exclusivamente. Sin embargo, presenta limitaciones en cuanto a la velocidad que puede soportar, que disminuye en función del calibre del par y la distancia entre la central y el usuario final. Otros factores que pueden afectar la transmisión son el ruido de fondo, ruido impulsivo, variaciones de impedancia en la línea, interferencias de emisiones de radio y diafonía, así como problemas a nivel físico (empalmes de distinto calibre, derivaciones sin terminar o cables dañados).

### 1.1.2 Redes de acceso por fibra óptica

Con el surgimiento del láser como fuente transmisora de luz y la obtención en 1970 de fibras con pérdidas por debajo de los 20 dB/km, fue posible llevar esta tecnología a la ingeniería aplicada. El desarrollo posterior de diferentes tipos de fibra óptica y la obtención de valores bajos de atenuación permitió, a partir de la década de 1980, su incorporación en las redes de telecomunicaciones como tecnología sustituta de las redes de cable y cobre.

Actualmente la fibra óptica constituye el medio de transmisión por excelencia debido a sus innumerables ventajas: peso y tamaño reducido que hacen fácil su implementación, ancho de banda casi ilimitado que garantiza mayor capacidad y altas velocidades de transmisión, pérdidas mínimas de señal e inmunidad ante las interferencias electromagnéticas.

Para explotar al máximo su capacidad se emplea la tecnología WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) que consiste en la utilización de diversas longitudes de onda sobre una misma fibra para transmitir señales de información. WDM ha evolucionado en sistemas que se ocupan de mayor número de longitudes de onda como CWDM (*Coarse WDM*) y DWDM (*Dense WDM*) [2].

El término FTTx engloba una serie de arquitecturas de red según la cercanía del tramo de fibra al usuario. FTTH (*Fiber To The Home*) se refiere al tendido de fibra hasta el local del abonado, mientras que otras configuraciones como FTTB (*Fiber To The Building*), FTTC (*Fiber To The Curb*) y FTTN (*Fiber To The Node*) implican que la fibra llegue hasta el edificio, la acera o el nodo; y de ahí en adelante aprovechan el cableado de cobre con tecnología VDSL2.

Gracias al gran ancho de banda que ofrece, el acceso por fibra óptica puede cubrir todo tipo de servicios: acceso a Internet de alta velocidad, telefonía IP (VoIP), TV estándar, TV de alta definición, video bajo demanda, juegos en red, servicio *triple play*.

Las principales limitaciones de esta tecnología están asociadas a las grandes inversiones en obras civiles que requiere el despliegue físico, así como el alto costo de los equipos para su reparación y de los conversores óptico-eléctricos. La red de acceso de fibra óptica frente a su principal competidor, el par de cobre, compite contra una planta ya desplegada, que si bien no alcanza las prestaciones y calidad de servicio que la fibra hasta el usuario presenta, está siendo suficiente para la demanda actual de los servicios por parte de los usuarios.

### 1.1.3 Redes HFC

Las redes HFC (*Hybrid Fibre Coaxial*) son redes de acceso cableadas basadas en sistemas híbridos que combinan fibra óptica y cable coaxial como soportes para la transmisión de señales. Esta tecnología permite el acceso a Internet de banda ancha, utilizando las redes existentes de distribución de televisión por cable.

Los sistemas de cable coaxial tienen su origen en 1950 y sus primeras aplicaciones se limitaron a resolver el problema de la recepción deficiente de las señales radioeléctricas en los receptores de TV.

La introducción de la tecnología óptica permitió el aumento en la oferta de canales, resolviendo las limitaciones en cuanto al ancho de banda que puede suministrar el coaxial; además posibilitó el transporte de señales bidireccionales a mayores distancias. De este modo las redes de cable pasaron de ser sistemas de solo distribución de TV a convertirse en sistemas completos de telecomunicaciones, capaces de ofrecer una amplia gama de servicios de voz y datos.

Los principales elementos que componen una red de acceso HFC son: la red troncal, la red de distribución y la red de acometida de los abonados. Aunque la implantación de fibra puede acercarse más al usuario, llegando incluso hasta la derivación o *tap* en la red de distribución, lo habitual es su despliegue en la red troncal y la utilización de cable coaxial en la red de distribución.

Las redes HFC son capaces de ofrecer servicios como telefonía (VoIP), acceso a Internet a altas velocidades, servicios interactivos, juegos en red, videoconferencia, TV digital y video bajo demanda, entre otros.

Uno de los principales inconvenientes que presenta la tecnología está relacionado con el enlace ascendente en los tramos donde se usa coaxial, ya que emplea la banda de 5 a 50 MHz, y a estas frecuencias son mayores los niveles de interferencias y ruido. Además se presentan limitaciones en cuanto a ancho de banda, debido a que todos los usuarios comparten los mismos canales para enviar y recibir datos.

#### **1.1.4 Tecnología PLC**

PLC (*Power Line Communications*) se refiere a la tecnología que utiliza las líneas de energía eléctrica convencionales como líneas de comunicación. La alternativa PLC convierte la red de suministro de energía eléctrica de media o baja tensión en una red digital de alta velocidad de transmisión de datos que permite acceso a Internet y otros servicios de banda ancha, sin afectar el servicio eléctrico [3].

La red PLC presenta ventajas con respecto a otro tipo de conexión, ya que no requiere de cableado adicional para las comunicaciones; la amplia infraestructura de redes eléctricas existentes a nivel mundial permite que esta tecnología sea ofrecida prácticamente en cualquier lugar, con plazos de instalación muy reducidos y una inversión de equipamiento relativamente pequeña. Sin embargo, la señal de datos se inyecta desde los centros de transformación a la red de baja o media tensión, necesitando de fibra óptica o técnicas xDSL para la conexión a la red de datos que agregan costos adicionales al empleo de la tecnología [4].

Por otro lado la red eléctrica no está diseñada para transmitir datos, por lo cual el servicio puede verse degradado cuando el tráfico y el número de abonados conectados a un mismo centro de transformación aumentan, así como por problemas de interferencias, ruido o el estado físico del cable.

#### **1.2 Redes de acceso inalámbricas**

Las redes de acceso inalámbricas se caracterizan por un rápido despliegue, bajo costo de instalación, pronta recuperación de la inversión inicial, fácil crecimiento según la demanda de los usuarios, y bajos costos de operación y mantenimiento. Sin embargo, las comunicaciones a través de la interfaz aire pueden verse afectadas por interferencias de unos enlaces con otros. Además, el espacio libre es un medio físico inestable que puede ser afectado por las condiciones atmosféricas; esto unido a los problemas de interferencias puede provocar bajas velocidades de transmisión y retardos en las comunicaciones. Otro problema que presentan los enlaces radioeléctricos es la seguridad, ya que los datos transmitidos son vulnerables a ser escuchados por cualquiera que tenga los medios

adecuados. Las tecnologías inalámbricas han evolucionado desde los accesos tipo fijo con servicios limitados hasta terminales móviles que soportan todo tipo de aplicaciones.

### 1.2.1 MMDS

El sistema MMDS (*Multichannel Multipoint Distribution Service*) surgió en los Estados Unidos en la década de 1980 con el objetivo de dar servicio de televisión a zonas rurales o poco pobladas donde el tendido de cables no es económicamente factible. La transmisión de señales se realiza en las bandas de frecuencias que van de 2.150 a 2.162 GHz y de 2.500 a 2.686 GHz, permitiendo la distribución de hasta 33 canales de TV analógica NTSC (*National Television System Committee*) con 6 MHz de ancho de banda cada uno [5].

En 1998 la Comisión Federal de Comunicaciones de EE.UU. (FCC, *Federal Communications Commission*) autorizó el uso de estas frecuencias para proveer, mediante enlaces digitales bidireccionales, servicio de voz, datos, vídeo y conexión a Internet a alta velocidad, típico a 3 Mbps [5], [6].

La red de acceso MMDS tiene una configuración punto a multipunto, en la que cada estación base da cobertura a un grupo de estaciones terminales fijas dentro de un área denominada célula que puede alcanzar los 50 km de radio. El enlace descendente emplea TDM (*Time Division Multiplexing*) con portadoras moduladas en 64 QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*, 64 estados), mientras que el ascendente usa TDMA (*Time Division Multiple Access*) con portadoras moduladas en QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) [5].

Las estaciones bases se enlazan entre sí y con la central local que provee los servicios. La señal se distribuye desde la antena de la estación base hasta todas las estaciones terminales de la célula. Por su parte, el usuario cuenta con una antena de microondas instalada en la azotea de la edificación que se conecta a través de cable coaxial a un módem en el interior del local con varias interfaces para el acceso a los distintos servicios.

En un principio la tecnología MMDS requería la condición de línea de visión directa (LOS, *Line Of Sight*) para establecer la comunicación entre la estación base y las estaciones terminales, ya que la señal podía verse afectada por el efecto conocido como reflexión multicamino o multitrayecto. Posteriormente se desarrollaron técnicas para lograr enlaces que no precisaban dicha condición (NLOS, *Non Line Of Sight*).

### 1.2.2 LMDS

El sistema LMDS (*Local Multipoint Distribution Service*) es una tecnología similar a MMDS pero que opera por encima de los 20 GHz (26, 28, 31, 40 GHz y otras, según las licencias que posea cada país). LMDS es capaz de proporcionar servicios de voz, datos, video y acceso a Internet a altas velocidades, aunque en un área de cobertura menor que la de MMDS debido al uso de las altas frecuencias.

El esquema de multiplexación utilizado para los enlaces descendentes es TDM, mientras que en los enlaces ascendentes se utiliza las técnicas TDMA, CDMA (*Code Division Multiple Access*) y FDMA (*Frequency Division Multiple Access*). Los valores de la velocidad de transmisión generalmente varían desde 64 kbps hasta 155 Mbps [5], [7].

Las técnicas de modulación empleadas pueden ser BPSK (*Binary Phase Shift Keying*), DQPSK (*Diferencial Quadrature Phase Shift Keying*), QPSK, 8 PSK (*Octal Phase Shift Keying*), 4 QAM, 16 QAM y 64 QAM. Esta última no se incluye en los accesos TDMA [7].

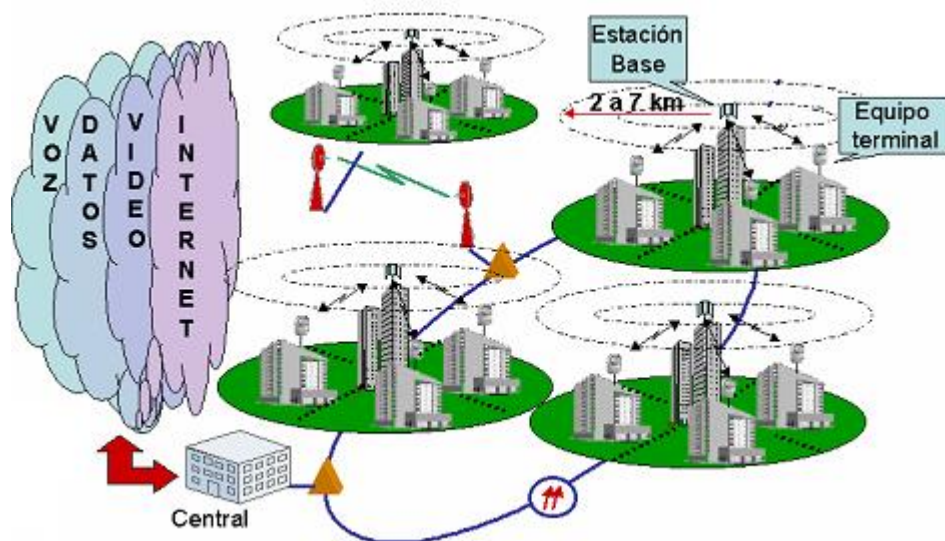


Figura 1.1. Sistema LMDS

Como se muestra en la Figura 1.1, la red LMDS tiene una arquitectura celular, donde cada estación base proporciona enlaces vía radio a un grupo de estaciones terminales fijas, constituyendo una estructura punto a multipunto. Las estaciones bases están interconectadas entre sí y se conectan a la central LMDS mediante enlaces de fibra óptica o

enlaces de microondas. El radio de cobertura varía entre 2 y 7 km, y se requiere enlaces de visión directa con el terminal del usuario [7].

Cada célula puede ser dividida en sectores (típicamente de 15, 22,5, 45, 60 y 90 grados de amplitud) en los que se utilizan varias portadoras para multiplicar el ancho de banda dedicado a los usuarios de un sector. Para evitar la interferencia entre sectores y economizar recursos espectrales, se emplean técnicas de reutilización de frecuencias.

Para reducir la existencia de zonas de silencio se utilizan estrategias basadas en solapamiento de células y la instalación de reflectores y amplificadores de tal manera que se puedan establecer enlaces LOS entre la estación base y el equipo del usuario.

El terminal del usuario consiste en una antena que se encarga de recibir y transmitir, desde y hacia la estación base, las señales de radiofrecuencia. Dicha antena se conecta con una unidad interior que presenta diferentes interfaces para los equipos del usuario.

La ventaja que presenta esta tecnología respecto a MMDS es que al utilizar las altas frecuencias permite obtener mayores anchos de banda, ya que la disponibilidad del espectro es mayor. Sin embargo el alcance de los enlaces se encuentra limitado a unos pocos kilómetros y son muy sensibles a factores atmosféricos como la lluvia. En LMDS se presenta el efecto multitrayecto en mayor medida que en MMDS debido a que la reflexión de las señales es mayor.

### **1.2.3 Wi-Fi**

Las WLAN (*Wireless Local Area Network*) son redes inalámbricas que permiten la comunicación entre dos o más terminales en un área de cobertura limitada, sin necesidad de tendido de cables entre ellos. Este sistema de comunicación puede implementarse como extensión o como alternativa a las redes LAN (*Local Area Networks*) cableadas. Para su funcionamiento utiliza enlaces vía radio con tecnología de microondas o de infrarrojos. La principal ventaja de estas redes es que permite la movilidad de sus terminales.

El estándar IEEE 802.11 o Wi-Fi (*Wireless Local Area Network*) es la familia de especificaciones desarrolladas por el IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) para redes WLAN que define las normas de la capa física (PHY) y de la capa de Control de Acceso al Medio (MAC) para la conexión vía radio.

Las redes Wi-Fi operan en las bandas ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) 2.4 y 5 GHz, que son bandas reservadas para el uso no comercial del espectro de frecuencia o sea, bandas que no requieren disponer de una licencia de uso exclusivo, siempre y cuando se respeten los niveles de potencia de radiación impuestos.

El estándar original de esta familia, el 802.11, se publicó en el año 1997 y especifica velocidades de datos de 1 y 2 Mbps que se transmiten por señales infrarrojas o utilizando la banda de los 2.4 GHz. Para la transmisión de datos se emplean técnicas de modulación de espectro ensanchado por salto de frecuencia (FHSS, *Frequency-Hopping Spread Spectrum*) o por secuencia directa (DSSS, *Direct Sequence Spread Spectrum*). Por otra parte, en la capa MAC se define CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access/ Collision Avoidance*) como protocolo de acceso al medio, cuya función es verificar que el canal esté libre para poder transmitir [8].

En 1999 aparece el estándar 802.11b, que permitió aumentar la velocidad de transmisión hasta los 11 Mbps en la banda de 2.4 GHz con el uso de la tecnología DSSS [9].

Posteriormente se publica la versión 802.11a que alcanza los 54 Mbps y opera en la banda de 5 GHz. El uso de frecuencias más altas otorga menor probabilidad de interferencias, pero causa una mayor absorción de las señales por obstáculos, lo que limita el alcance comparado con 802.11b. Esta desventaja se compensa con el uso de OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) como técnica de modulación que presenta mayor robustez ante las interferencias por multitrayecto [9]. La causa principal de la poca popularidad de esta versión se debe a su falta de compatibilidad con 802.11b.

En 2003, surge 802.11g que ofrece la misma velocidad máxima de 54 Mbps pero utiliza la banda de frecuencia de 2.4 GHz. Este estándar mantiene el uso de DSSS e incorpora OFDM, con lo que logra mayores alcances que 802.11a debido a las características de este tipo de modulación y que trabaja a una frecuencia menor [9]. Otro aspecto importante es que permite la interoperatividad con la norma 802.11b.

La versión 802.11n, a diferencia de los estándares anteriores, opera en dos bandas de frecuencia, 2.4 y 5 GHz, y puede alcanzar velocidades superiores a los 100 Mbps. Este estándar introduce mejoras gracias al empleo de tecnología MIMO (*Multiple Input-Multiple Output*) que permite utilizar varios canales a la vez (de 20 o 40 GHz) para enviar y recibir

datos gracias a la incorporación de varias antenas en ambos lados de la interfaz radio. Con MIMO se logra elevar la eficiencia espectral y se alcanzan mayores tasas de transmisión. Otro punto a favor del estándar es su interoperabilidad con 802.11 a, b y g [2].

La Tabla 1.1 resume las características principales de 802.11 y de las versiones antes mencionadas. Las velocidades máximas de transmisión indicadas solo se alcanzan en condiciones óptimas de propagación sobre el canal de radio, y están determinadas por la distancia entre puntos de acceso y terminales, presencia de obstáculos, interferencias y errores de transmisión.

Tabla 1.1. Características de los estándares 802.11, 802.11a, b, g y n.

<b>Estándar</b>	<b>Bandas</b>	<b>Modulación</b>	<b>Velocidades máximas</b>
802.11	2.4 GHz	FHSS, DSSS	1 y 2 Mbps
802.11a	5 GHz	OFDM	54 Mbps
802.11b	2.4 GHz	DSSS	11 Mbps
802.11g	2.4 GHz	DSSS, OFDM	54 Mbps
802.11 n	2.4 y 5 GHz	OFDM	100 Mbps

Las mejoras introducidas por estos y otros estándares Wi-Fi en cuanto a velocidad de transmisión, calidad de servicio (802.11e) y seguridad (802.11i) han posibilitado ofrecer en las WLAN servicios de banda ancha tales como: telefonía sobre IP (VoIP), videoconferencia, juegos interactivos, televisión y video bajo demanda.

Las redes de acceso Wi-Fi en general están diseñadas para cubrir solo pequeñas áreas. El punto de acceso (AP, *Access Point*), equipo encargado de conectar la red inalámbrica a la red externa cableada, presenta un área de cobertura de aproximadamente 150 m, lo que hace a la tecnología ideal para entornos de oficinas, hogares y zonas públicas como cafeterías, hoteles, aeropuertos, terminales de trenes e instituciones educativas. El empleo de la tecnología en zonas extensas, como ciudades, se ve limitado por la presencia de obstáculos e interferencias que afectan la propagación de la señal. Aunque algunas configuraciones como las redes malladas, podrían ser una opción de comunicación en zonas rurales, su empleo es costoso ya que requiere la instalación de un número elevado de puntos de acceso. Otra desventaja está relacionada con la baja calidad de servicio (QoS) en la comunicación.

#### 1.2.4 WiMAX

Una red MAN (*Metropolitan Area Networks*) es una red de acceso de banda ancha que da cobertura a un área geográfica extensa, mediante medios de transmisión cableados tales como fibra óptica y par trenzado.

El estándar IEEE 802.16, es el equivalente inalámbrico para redes MAN, como alternativa a las redes de acceso cableadas. Por su parte WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) es el sello otorgado a este estándar por el WiMAX Forum, un organismo que promueve la certificación y asegura interoperabilidad de los productos inalámbricos de banda ancha basados en 802.16. El estándar ofrece una gran variedad de servicios, incluyendo voz, datos y multimedia.

La primera versión del IEEE 802.16 (IEEE 802.16-2001) orientada a proporcionar enlaces inalámbricos fijos en configuración punto a punto o punto a multipunto, requería línea de visión directa y operaba en las frecuencias comprendidas entre los 10 y los 66 GHz. Los canales utilizados para la transmisión presentaban un ancho de banda entre 20 y 28 MHz, y el multiplexado era TDM/TDMA. Este estándar permitía enlaces inalámbricos con alcances hasta 5 km y velocidades máximas entre 32 y 134 Mbps, según el tipo de modulación empleado [2].

Como solución al inconveniente de los enlaces LOS, aparece la enmienda IEEE 802.16a en 2003 que introdujo los sistemas sin visión directa (NLOS) mediante la operación en frecuencias más bajas, entre 2 y 11 GHz. Con este nuevo tipo de enlace se logra la movilidad restringida del terminal dentro del área de cobertura de la estación base. Soporta OFDM y OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) [2].

Actualmente estas versiones se consideran obsoletas. Los estándares que se encuentran hoy vigentes son:

#### **802.16d (802.16-2004) o WiMAX Fijo**

Conocido como WiMAX fijo y publicado en 2004, el estándar 802.16d constituye una mejora a las versiones anteriores. Esta especificación permite la operación en entornos NLOS sobre las bandas 2-11 GHz, con canales de ancho de banda variable entre 1,5 y 20 MHz. En teoría, es capaz de proporcionar alcances de hasta 50 km con enlaces LOS,

logrando velocidades de hasta 70 Mbps. Sin embargo, en la práctica los alcances típicos son hasta de 8 km solamente, con velocidades alrededor de los 20 Mbps [2].

El estándar proporciona diversas implementaciones en la interfaz radio, a fin de adaptarse a distintas regulaciones y aplicaciones. Para enlaces LOS punto a punto se emplea modulación TDM/TDMA, mientras que para entornos NLOS, se recurre al empleo de las técnicas OFDM y OFDMA [2].

El duplexado para la transmisión en los enlaces ascendentes y descendentes puede realizarse de dos formas: sobre una única portadora (TDD, *Time Division Duplexing*) o sobre dos (FDD, *Frequency Division Duplexing*). El empleo de FDD permite enlaces simétricos, mientras que TDD permite satisfacer demandas asimétricas [10].

Una característica importante es la posibilidad aplicar distintos esquemas de modulación de forma independiente para cada usuario, según la distancia a la que se encuentre este del transmisor. Este mecanismo se le conoce como modulación adaptativa y puede emplear diferentes esquemas de modulación: QPSK, 16 QAM, 64 QAM [10].

Por último, la versión 802.16-2004 define el modo de operación en malla (*mesh*). A diferencia del modo punto a multipunto que solo permite la comunicación de los terminales de usuario con una estación base, en la configuración *mesh* una estación terminal puede actuar como *router* para que otras alcancen la estación base.

### **802.16e (802.16-2005) o WiMAX Móvil**

En 2005 aparece el estándar IEEE 802.16e, también conocido como WiMAX móvil debido a que puede proporcionar acceso inalámbrico de banda ancha a un medio vehicular con velocidades de hasta 120 km/h [2]. Para el traspaso de terminales de abonado entre estaciones base, sin perder la comunicación, se definen tres mecanismos: HHO (*Hard Handover*), FBSS (*Fast Base Station Switching*) y MDHO (*Macro Diversity Handover*), el primero de carácter obligatorio [11].

IEEE 802.16e permite un uso más eficiente de los canales radio mediante la combinación de OFDM y SOFDMA (*Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access*). Este último método de modulación consiste en asignar, de forma dinámica, el número de subcanales requerido para cada usuario, haciendo más flexible el sistema [10].

WiMAX móvil soporta otras técnicas en la capa física como la modulación y codificación adaptativa (AMC, *Adaptive Modulation and Coding*), tecnología MIMO que permite obtener ganancia por diversidad, y el uso de antenas inteligentes que mejoran la eficiencia espectral. Estas últimas emiten un haz muy estrecho que se puede ir “moviendo”, electrónicamente, para enfocar siempre al receptor, con lo que se evitan las interferencias entre canales adyacentes y se consume menos potencia al ser un haz más concentrado [11], [12].

A continuación la Tabla 1.2 resume las principales características de los estándares mencionados anteriormente.

Tabla 1.2. Características de los estándares IEEE 802.16.

	<b>IEEE 802.16-2001</b>	<b>IEEE 802.16-2004</b>	<b>IEEE 802.16-2005</b>
<b>Banda</b>	10 - 66 GHz	2 - 11GHz	2 - 6 GHz
<b>Tipo de enlace</b>	LOS	NLOS	NLOS
<b>Ancho de banda por canal</b>	20, 25 y 28 MHz	1.2 - 20 MHz	1.5 - 20 MHz
<b>Velocidades</b>	32 - 134 Mbps (canales de 28 MHz)	75 Mbps (canales de 20 MHz)	15 Mbps (canales de 5 MHz)
<b>Modulación</b>	QPSK, 16-QAM, 64- QAM	OFDM, OFDMA, QPSK, 16-QAM, 64-QAM	OFDM, OFDMA, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
<b>Movilidad</b>	Acceso fijo	Acceso fijo o portable	Acceso móvil
<b>Radio de célula típico</b>	1.5 - 5km	5 - 8 km (máximo 50 km)	1.5 - 5 km

### 802.16m

La enmienda IEEE 802.16m constituye el siguiente gran hito en la evolución del estándar IEEE 802.16. Su principal objetivo es proporcionar caudales de 100 Mbps en movimiento y 1 Gbps para accesos fijos, en canales que pueden tener hasta 100 MHz de ancho de banda efectivo. El estándar proveerá la base para la tecnología oficialmente denominada WiMAX *Release 2* que introducirá mejoras y nuevos servicios, y que compite por clasificar entre las tecnologías de cuarta generación (4G) de las comunicaciones móviles dado las altas velocidades que maneja. Como una de las mejoras se destaca la alta movilidad; la estación

móvil 802.16m podrá mantener una conexión hasta 350 km/h o más, en dependencia de la frecuencia de operación [13].

La estructura típica de una red IEEE 802.16 WiMAX, como tecnología de acceso de última milla, es esencialmente la misma que la de cualquier sistema de comunicaciones celulares.

En el segmento de acceso, los elementos fundamentales son las estaciones base y las estaciones del usuario, las cuales pueden ser fijas para exteriores o interiores, o móviles, como el caso de ordenadores portátiles con tarjetas especiales incorporadas.

Las estaciones base se encargan de dar cobertura a las estaciones de abonado en el área geográfica a cubrir (célula). Todas las estaciones base se conectan mediante cable o enlaces inalámbricos a la infraestructura de acceso o *backhaul*, a través de la cual se alcanza el núcleo de red para conectarse a redes externas.

Los enlaces punto a punto requieren la instalación de unidades en el exterior del local del abonado, así como de antenas de gran altura en las estaciones base para satisfacer la condición de línea de visión directa. La comunicación punto a multipunto permite la conexión de una estación base a múltiples estaciones usuarios.

WiMAX se presenta como una tecnología ideal para dar servicios de banda ancha como telefonía (VoIP), acceso a Internet y transmisión de datos a zonas rurales de difícil acceso o a sitios donde los usuarios se encuentren separados a distancias relativamente grandes. Mientras que Wi-Fi se define como una tecnología para entornos LAN, WiMAX, es utilizado para redes extensas, por lo que una alternativa podría ser usar esta última en el *backhaul* de una red Wi-Fi para elevar las velocidades de datos [14]. La principal ventaja que introduce esta tecnología es que permite mantener la conexión al desplazarse de una célula a otra (*roaming*)

### **1.2.5 UMTS**

UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) es la tecnología de telefonía móvil de tercera generación (3G) desarrollada por el 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*), una organización que cumple con las especificaciones del estándar IMT-2000 (*Internacional Mobile Telecommunications-2000*) de la ITU para lograr la compatibilidad mundial entre redes 3G. El sistema UMTS surge ante las crecientes demandas de mayores

velocidades para el acceso a Internet y el soporte de servicios avanzados de multimedia, que no podían satisfacer las comunicaciones móviles de 2G. Su principal competidor es la versión norteamericana CDMA-2000 (*Code Division Multiple Access-2000*).

La primera generación de sistemas móviles, desarrollada a finales de la década de 1970, era totalmente analógica y se utilizaba solamente para el servicio de telefonía. A principios de los años 90 aparece el sistema GSM (*Global System for Mobile Communications*) que marca el inicio de la segunda generación. Además de telefonía, GSM permitió la transmisión digital de los datos a una velocidad de 9.6 kbps; lo que hizo posible ofrecer el servicio de mensajes cortos (SMS). Esta generación abarca también otras tecnologías como GPRS (*General Packet Radio System*) y EDGE (*Enhanced Data-Switched Data*) que introdujeron mejoras en cuanto a capacidad de transmisión. A finales de la década de 1990 se desarrollaron los sistemas de tercera generación UMTS y CDMA-2000, superando en términos de prestaciones y capacidad a sus antecesores.

Entre las mejoras ofrecidas por las redes UMTS se destacan: acceso a Internet, servicios de banda ancha, *roaming* internacional e interoperabilidad. Pero la principal característica es la introducción de servicios de multimedia como la videoconferencia y la videollamada.

La estructura de una red UMTS está formada por la red de acceso radio (UTRAN, UMTS *Terrestrial Radio Access Network*) y el núcleo de red (CN, *Core Network*).

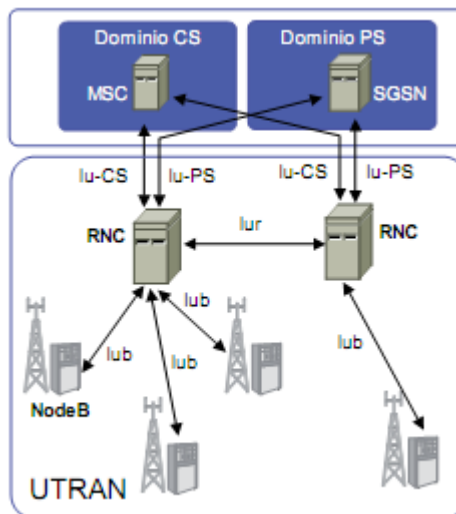


Figura 1.2. Arquitectura de una red UMTS.

El núcleo de red CN se encarga de la conmutación, enrutamiento y tránsito para el tráfico de los datos de los usuarios, permitiendo la conexión a las redes externas. La estructura básica de una CN esta formado por los dominios de conmutación de circuitos (CS) y conmutación de paquetes (PS), cuyos elementos se conectan a la red de acceso mediante la interfaz radio  $I_u$ .

La red de acceso UTRAN está constituida por controladores RNC (*Radio Network Controller*) y varios Nodos-B asociados a cada uno de ellos. Los Nodos-B son los elementos que se corresponden con las estaciones bases y dan cobertura a un área geográfica determinada o célula. Para el enlace entre diferentes RNCs se utiliza la interfaz  $I_{ur}$ , y entre el RCN y los Nodos-B la interfaz  $I_{ub}$ .

Los equipos terminales UMTS pueden ser teléfonos móviles o terminales equipados con el módulo de identidad de usuario SIM (*Subscriber Identity Module*) que consiste en una tarjeta extraíble con datos y procedimientos para identificar al usuario en la red.

El acceso a la red UTRAN se realiza utilizando la tecnología WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) en su variante DS-CDMA (*Direct Sequence CDMA*) con portadoras de 5 MHz de ancho de banda y alcanzando hasta 2 Mbps. Soporta enlaces ascendentes y descendentes sobre una única portadora (TDD) o dos (FDD) [2], [15].

Las células UMTS presentan distintos tamaños según los diferentes ámbitos de cobertura (rural, urbano, exteriores e interiores). Las configuraciones van desde la Picocélula, con radios de cobertura ente 20 y 100 m, hasta la Macrocélula, cuyo alcance varía entre 1 y 30 km.

Con el objetivo de introducir mejoras al estándar UMTS (*Release 99*) el 3GPP ha desarrollado diferentes versiones o *Releases*: HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*), HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*) y HSPA + (*Evolved HSPA*).

HSDPA, definida en *Release 5*, permite ampliar la capacidad de transferencia hasta 14.4 Mbps en el canal descendente, gracias al empleo de un nuevo canal de transporte compartido HS-DSCH (*High Speed Downlink Shared Chanel*) [16].

Esta tecnología introduce nuevas funciones al Nodo-B como: un mecanismo de planificación rápida de paquetes con la utilización intervalos de tiempo de transmisión

reducidos (2 ms), el empleo de modulación y codificación adaptativa (AMC) y un esquema de retransmisiones híbrido (H-ARQ, *Hybrid Automatic Repeat Request*,) entre terminal y Nodo-B para la retransmisión rápida de paquetes recibidos de forma errónea [2].

HSUPA (*Release 6*) por su parte introduce mejoras en el sentido ascendente utilizando un nuevo tipo de canal dedicado denominado E-DCH (*Enhanced Dedicated Channel*). De esta forma se alcanzan velocidades de transmisión hasta 5,76 Mbps. Esta tecnología al igual que HSDPA utiliza tramas de 2 ms y el mecanismo H-ARQ [16].

Las especificaciones *Release 7* y *Release 8* introducen mejoras a HSPA con el empleo de tecnología MIMO. En *Release 7*, usando arreglos de 2x2MIMO, se logran 28 Mbps en bajada y 11 Mbps en subida con 16 QAM en ambos sentidos. Mientras que *Release 8* permite descargas a 42 Mbps con 64 QAM y 11 Mbps en subida con 16 QAM. La tecnología pretende alcanzar incluso los 84 Mbps en descarga [16].

Los servicios de tercera generación presentan diversas mejoras con respecto a las generaciones anteriores de telefonía celular como son el acceso móvil a Internet a velocidades elevadas, servicios de alta interactividad y especialmente, servicios avanzados de multimedia.

### **1.2.6 LTE**

LTE (*Long Term Evolution*) es el estándar de telefonía móvil propuesto para cuarta generación y desarrollado bajo especificaciones del 3GPP. Esta tecnología es la clave para el despegue de la Internet móvil ya que presenta una arquitectura de red diferente a las anteriores, basada totalmente en el protocolo IP; lo cual implica el uso exclusivo de técnicas de conmutación de paquetes. Ofrece mayores anchos de banda y elevadas tasas de transferencia, hasta 100 Mbps en descarga y 50 Mbps en subida [17].

LTE cuenta con una interfaz radio de gran potencia que emplea tecnología OFDMA para el enlace descendente y una nueva técnica de modulación para el enlace ascendente denominada SC-FDMA (*Single-Carrier OFDMA*) que no solo mantiene las ventajas de resistencia al multitrayecto de OFDMA sino que además permite reducir los requerimientos de potencia del terminal del usuario [18].

Otra característica que hace a la tecnología superior es que soporta diferentes anchos de banda de transmisión (1.4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz). Además, gracias al empleo de las técnicas de antena MIMO, las velocidades pueden alcanzar un máximo de 326.4 Mbps en descarga y 86.4 Mbps en el enlace ascendente, si se usan arreglos de 4x4MIMO y modulación 64 QAM [16].

La arquitectura de una red del sistema LTE es conocida como SAE (*System Architecture Evolution*). Los componentes principales de una arquitectura SAE son la E-UTRAN (*Enhanced UTRAN*) y el EPC (*Enhanced Packet Core*) o núcleo del SAE.

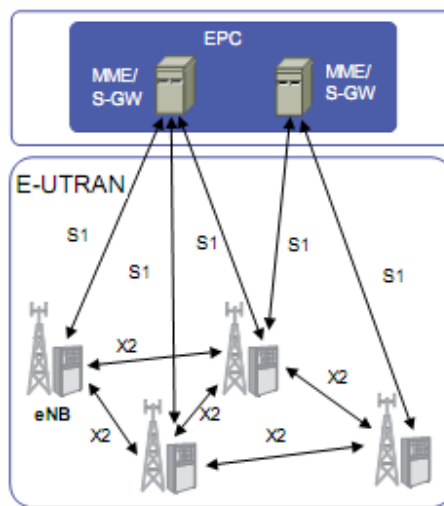


Figura 1.3. Arquitectura de la red LTE.

En la E-UTRAN de LTE se elimina el RNC de UMTS, traspasándose sus funciones al eNodo-B (*enhanced* Nodo-B), el cual se conecta directamente con el usuario a través de la interfaz radio [19].

En la red de acceso LTE, el eNodo-B se conecta a la red troncal EPC a través de la interfaz S1. Dicha interfaz está desdoblada en dos interfaces diferentes: S1-MME para sustentar el plano de control y S1-U como soporte del plano de usuario. El plano de usuario de una interfaz se refiere a la torre de protocolos empleada para el envío de tráfico de usuario a través de la misma. Por otro lado, el plano de control se refiere a la torre de protocolos necesaria para sustentar las funciones y procedimientos que permiten gestionar la operación de dicha interfaz o de la entidad correspondiente. Esta separación entre plano de control y plano de usuario en la interfaz S1 permite realizar la conexión del eNodo-B con dos nodos

diferentes del núcleo de la red. Así, mediante la interfaz S1-MME, el eNodo-B se comunica con una entidad de red de la EPC encargada únicamente de sustentar las funciones relacionadas con el plano de control (MME, *Mobility Management Entity*). Por otro lado, mediante la interfaz S1-U, el eNodo-B se comunica con otra entidad de red encargada de procesar el plano de usuario (S-GW, *Serving Gateway*) [19].

Opcionalmente, los eNodo-Bs pueden conectarse entre si mediante la interfaz X2. A través de esta interfaz, los eNodo-Bs intercambian tanto mensajes de señalización destinados a permitir una gestión más eficiente del uso de los recursos radio, así como tráfico de los usuarios del sistema cuando estos se desplazan de un eNodo-B a otro durante un proceso de *handover* [19].

Entre los servicios que ofrece LTE el servicio de voz será el de mayor importancia y uno de los principales determinantes del éxito de esta tecnología. Al ser LTE/SAE una solución puramente IP, la voz se ofrecerá por primera vez como VoIP exclusivamente, por lo que se requerirán mecanismos avanzados para garantizar la calidad de servicio.

### **1.3 Conclusiones del capítulo**

La mayoría de las tecnologías de redes de acceso cableadas, frente a las alternativas inalámbricas, presentan la ventaja de contar con una infraestructura ya desplegada. Sin embargo el tendido de cables para una nueva red, como ocurre con la fibra óptica presenta costos muy elevados en cuanto a obras civiles comparados con la instalación de radio bases. Además las redes inalámbricas son ideales para dar servicios a zonas rurales poco pobladas o donde una infraestructura de cables sería muy complicada. El hecho de contar con un medio físico como el espacio libre elimina los costos de reparación y mantenimiento. Por todo lo antes mencionado, a pesar de que las tecnologías cableadas pueden alcanzar mayores velocidades de transmisión y anchos de banda superiores, las redes inalámbricas se perfilan como alternativas menos costosas, con la ventaja además de permitir movilidad de sus terminales.

## CAPÍTULO 2. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA MONTAÑOSA DE LA PROVINCIA CIENFUEGOS

La provincia de Cienfuegos se localiza en el centro-sur de Cuba y consta de 8 municipios (ver Figura 2.1), con capital provincial homónima, de 172013 habitantes [20].

Con una extensión territorial de 4180 km<sup>2</sup> limita al oeste y norte con la provincia de Matanzas, al nordeste y este con Villa Clara, al sudeste con la provincia de Sancti Spíritus y al sur con el mar Caribe. Presenta una bahía de bolsa con un estrecho canal de entrada, en la cual radica el segundo puerto de importancia del país.

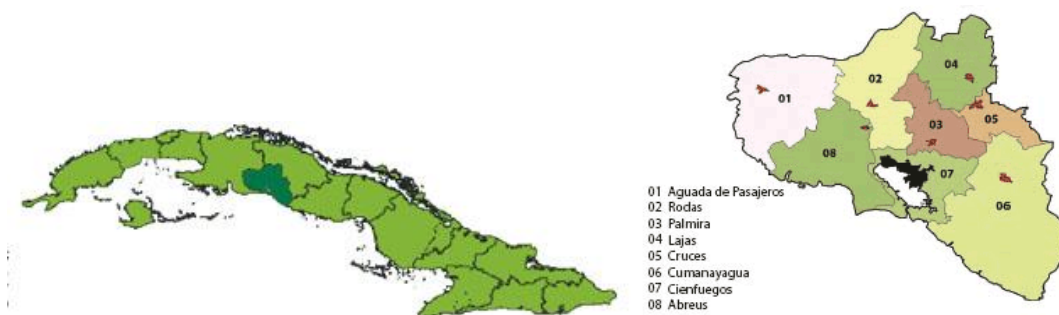


Figura 2.1. Ubicación de la provincia de Cienfuegos y sus municipios [21].

Con un total de 407189 habitantes al cierre del 2010 [20], en su territorio se encuentran ubicados 268 asentamientos, de ellos el 35% con más de 300 habitantes y el 53% con menos de 200. Sin embargo, pese a que aproximadamente el 15% de los asentamientos son de tipo urbano, sólo el 17% de los cienfuegueros viven en zonas rurales, siendo la tercera provincia del país con más personas viviendo en zonas urbanas [20].

## 2.1 La zona montañosa del Escambray

Dentro de los límites territoriales de la provincia se encuentra una porción de zona montañosa correspondiente al Macizo de Guamuhaia, también conocido por el sobrenombre de Escambray. La zona está compuesta fundamentalmente por rocas metamórficas y elevaciones cuya altura, en varias ocasiones, sobrepasa los 900 m sobre el nivel del mar; constituyendo la segunda cordillera de importancia del país. Como se muestra en la Figura 2.2, el área de Guamuhaia es compartida por tres provincias: Cienfuegos (parte oeste), Villa Clara (parte norte) y Sancti Spíritus (parte este-sudeste).

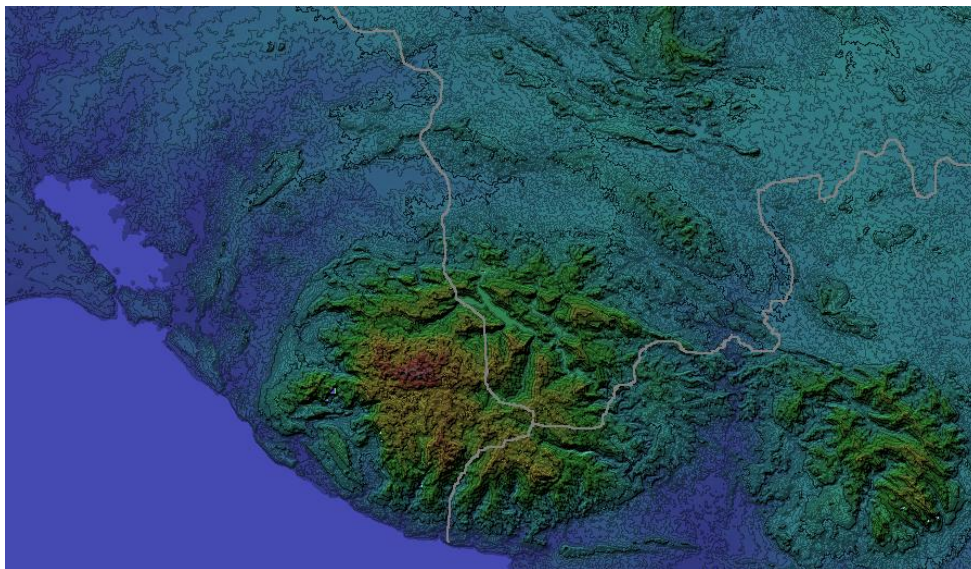


Figura 2.2. Macizo de Guamuhaia.

### 2.1.1 Características generales

La parte cienfueguera del macizo cubre un área de 401 km<sup>2</sup> y contiene la elevación más alta de la formación, el Pico San Juan, con 1140 m de altura.

Con una población superior a los 7000 habitantes, la zona cuenta con 39 asentamientos, de ellos 33 se encuentran ubicados en zonas de difícil acceso, por lo que se acogen al Plan Turquino-Manatí; un programa desarrollado por el Consejo de Estado de la República de Cuba para promover un desarrollo integral y sostenible en las regiones montañosas y de difícil acceso, buscando mejoras de la calidad de vida de sus pobladores y desarrollo económico, pero de forma comprometida con la protección del ecosistema del área y la defensa del país.

CAPÍTULO 2. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA MONTAÑOSA DE LA  
PROVINCIA DE CIENFUEGOS

La región cuenta con 2226 habitantes de zonas urbanas mientras que 5494 viven en áreas rurales y se ha observado un incremento poblacional en toda la zona, aunque discreto en comparación con las urbes. Para el futuro se estima se mantenga este comportamiento.

La zona montañosa presenta además varios policlínicos y consultorios, escuelas, micro-universidades, centros culturales, tienda de víveres y otros centros de interés social.

El desarrollo económico del territorio está liderado por la producción de café, aunque se cultivan otros productos como viandas, hortalizas y diversas frutas.

Otro renglón económico importante lo constituye el turismo nacional e internacional. En la zona de montaña existen sitios ideales para el desarrollo del turismo ecológico, con condiciones para acampar a la intemperie, visitar los saltos de los ríos y cuevas, y disfrutar de paisajes naturales de extraordinaria belleza. Por otro lado, en la parte sur hoy existen instalaciones hoteleras, playas y campismos que utilizan los recursos costeros para el desarrollo de este tipo de actividad.

No obstante, existe un proyecto ambicioso de desarrollo turístico para toda el área sur que planea construir numerosas instalaciones hoteleras, edificaciones inmobiliarias, campos de golf, nuevas playas, bases náuticas, restaurantes, cafeterías, discotecas y campos deportivos, así como incrementar la cantidad de viviendas para la población. Las demandas estimadas una vez finalizada la construcción del polo se muestran a continuación:

Tabla 2.1. Demanda estimada para el polo turístico Costa Sur.

Instalación Turística	Capacidad	Unidad	Servicio de Voz	Servicio de Datos	Extensiones PBX
Instalaciones nuevas del campismo Playa Inglés	120	Habitaciones	7	1	120
Villa Yaguanabo	80	Habitaciones	4	1	96
Pueblo de Yaguanabo			66	0	0
Inmobiliaria Residencial	80	Casas	80	1	96
Poblado Turístico 4 o 5 estrellas Playa Inglés	1000	Habitaciones	59	1	1500
Infraestructura Extrahotelera Playa Inglés	330	Plazas/Instalación	137	32	0
Hotel Disperso 4 estrellas Playa Inglés	200	Habitaciones	12	1	240
Hotel Disperso 4 estrellas Playa Los Enanos	150	Habitaciones	9	1	180
Campo de Golf de 18 Hoyos Playa Inglés			0	0	0
Hotel Disperso 4 o 5 estrellas	100	Habitaciones	6	1	140
Parque Temático (Curso y piratería)			25	1	0
Incremento viviendas en Camilo Cienfuegos	630	Viviendas	752	1	
Hotel Disperso 4 estrellas (Tatahagua)	150	Habitaciones	9	1	180
Hotel Disperso 4 estrellas (Tatahagua)	200	Habitaciones	12	1	240
Hotel Disperso 4 estrellas (Tatahagua)	350	Habitaciones	21	1	420
Base Náutica Playa Caleta de Castro	20	Atraques	1	1	0
Bungalows Playa Caleta de Castro	50	Habitaciones	5	1	75
<b>Total de servicios del polo turístico y asentamientos adyacentes</b>			<b>1205</b>	<b>46</b>	<b>3287</b>

## 2.2 Infraestructura y servicios de telecomunicaciones existentes

En materia de telecomunicaciones existe un asentamiento poblacional, con menos de 200 habitantes, que no dispone de servicio telefónico alguno, este es el caso de Vegas del Café. El resto de los pueblos se comunican principalmente mediante los denominados Centros Agentes, teléfonos al servicio de la comunidad atendidos por una de las viviendas. Por otra parte, solo algunos de los centros laborales de la zona cuentan con servicio telefónico. Aunque se puede decir que la mayoría de los lugares de importancia, tanto económica como social, cuentan con posibilidad de comunicación de una forma u otra (ver Tabla 2.2), la misma es escasa, limitándose únicamente a la transmisión de voz.

Tabla 2.2. Cantidad de servicios telefónicos por asentamientos.

Provincia	Municipio	Asentamiento	Población	Viviendas	Cantidad de servicios	
					Fijo	TFA
Cienfuegos	Cumanayagua	La Sierrita	2266	725	148	4
Cienfuegos	Cumanayagua	Crucesitas	310	102	81	9
Cienfuegos	Cumanayagua	Cuatro Vientos	316	112	42	0
Cienfuegos	Cumanayagua	El Mamey	300	104	0	11
Cienfuegos	Cumanayagua	El Nicho	386	142	5	0
Cienfuegos	Cumanayagua	San Blas	535	177	11	0
Cienfuegos	Cumanayagua	Camilo Cienfuegos	416	122	18	68
Cienfuegos	Cumanayagua	El Sopapo	335	127	21	1
Cienfuegos	Cumanayagua	Aguacate	68	29	2	1
Cienfuegos	Cumanayagua	Cabagán	42	17	0	1
Cienfuegos	Cumanayagua	Cafetal	228	70	2	13
Cienfuegos	Cumanayagua	Caleta Muñoz	120	37	1	13
Cienfuegos	Cumanayagua	Cien Rosas	47	19	1	0
Cienfuegos	Cumanayagua	Charco Azul Abajo	103	44	2	0
Cienfuegos	Cumanayagua	Gavilanes	198	70	1	4
Cienfuegos	Cumanayagua	Guajimico	132	43	11	24
Cienfuegos	Cumanayagua	Hoyo de Padilla	116	42	0	8
Cienfuegos	Cumanayagua	Mayarí	201	74	6	0
Cienfuegos	Cumanayagua	Monforte	66	15	0	9
Cienfuegos	Cumanayagua	E Naranjo	278	110	4	0
Cienfuegos	Cumanayagua	Yaguanabo	182	66	12	22
Cienfuegos	Cumanayagua	Río Chiquito	54	25	0	8
Cienfuegos	Cumanayagua	La Legua	120	40	1	0
Cienfuegos	Cumanayagua	San José	49	22	2	0
Cienfuegos	Cumanayagua	San Juan	210	68	1	28
Cienfuegos	Cumanayagua	San Narciso	33	16	0	3
Cienfuegos	Cumanayagua	La Vega	68	24	5	28
Cienfuegos	Cumanayagua	Yaguanabo Arriba	211	73	0	2
Cienfuegos	Cumanayagua	Charco Azul	145	50	2	5
Cienfuegos	Cumanayagua	Cimarrones	78	35	0	0
Cienfuegos	Cumanayagua	Rancho Capitán	79	33	0	2
Cienfuegos	Cumanayagua	La Yaba	78	27	1	8
Cienfuegos	Cumanayagua	Centro Cubano	139	53	2	0
Cienfuegos	Cumanayagua	Mina Uno	99	36	1	0
Cienfuegos	Cumanayagua	Grones Tres	3	17		
<b>Totales</b>			<b>8011</b>	<b>2766</b>	<b>383</b>	<b>272</b>

El servicio telefónico se realiza fundamentalmente con equipamiento WLL Alcatel A9800R3 en las variantes de acceso cableadas o inalámbricas, aunque existen algunas

localidades que utilizan equipos GSM de mesa, denominados TFA (Telefonía Fija Alternativa) como variante de comunicación que aunque presenta ciertas restricciones para el usuario (tiempo al aire limitado, no SMS, etc.), permite el servicio en lugares prácticamente inaccesibles y a muy bajo costo.

De la Tabla 2.2 se puede observar que la densidad telefónica en el área de estudio es de 8.18 teléfonos por cada 100 habitantes contando los abonados TFA, lo que contrasta con el valor de 17.33 que corresponde a la provincia. Sin tener en cuenta los TFA, la densidad telefónica es de 4.78.

La transmisión de datos se realiza mediante el sistema satelital VSAT y solo al Banco Popular de Ahorro (BPA) de Cuatro Vientos. El resto de las comunidades e instalaciones no cuentan con este tipo de servicio.

### 2.2.1 Equipamiento WLL Alcatel A9800R3

La estructura de la red actual, equipada con tecnología WLL Alcatel A9800R3, se muestra a continuación:

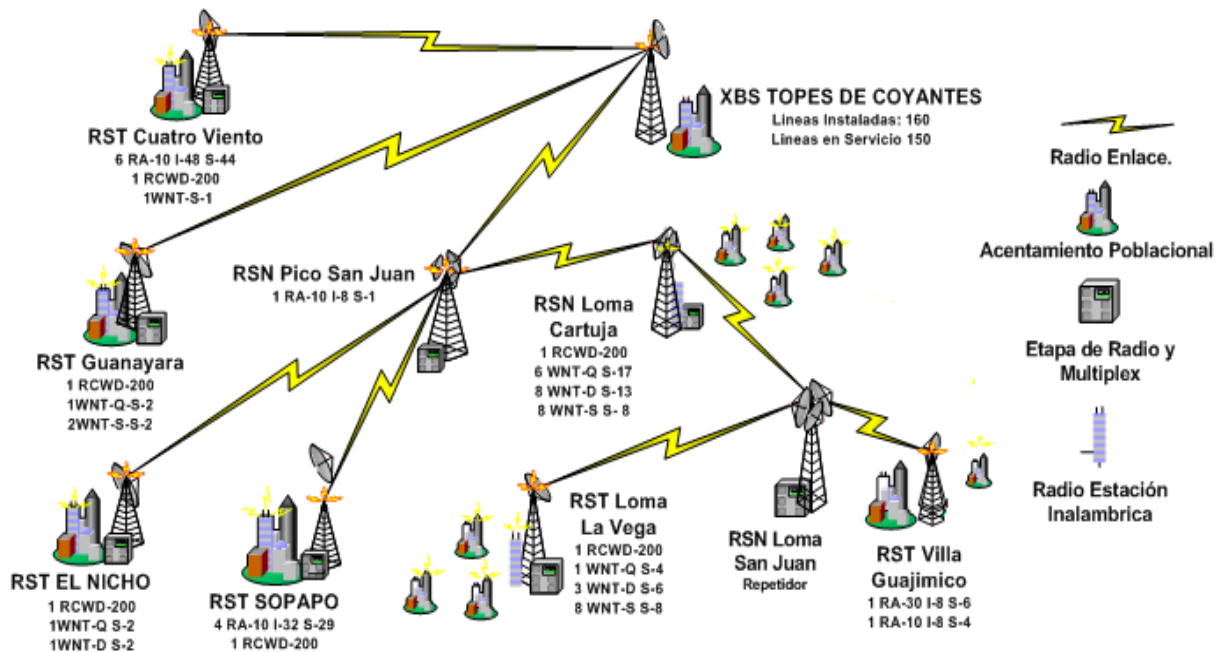


Figura 2.3. Estructura de la red WLL en el Escambray cienfueguero.

La estación de Topes de Collantes transmite hacia los terminales de Guanayara, Cuatro Vientos y la estación nodal de Pico San Juan. Esta última permite el tráfico con las

CAPÍTULO 2. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA MONTAÑOSA DE LA  
PROVINCIA DE CIENFUEGOS

---

terminales de El Nicho y Sopapo, así como con la nodal de Cartuja, la cual cuenta con abonados inalámbricos y permite el enlace con la estación nodal de Loma San Juan, para servir tráfico finalmente de las estaciones terminales Guajimico y La Vega.

La topología empleada en la red es de tipo árbol, donde las estaciones terminales se distribuyen según las necesidades para dar cobertura a los asentamientos, partiendo de una estación base central y otra de radio que transmiten los servicios hacia las estaciones nodales y terminales, quienes brindan el servicio a los usuarios finales.

La estación base central del sistema WLL (*XBS, Exchange Base Station*) contiene las interfaces necesarias para la comunicación del sistema con la URA (Unidad Remota Automatizada) de Topes de Collantes y se encuentra ubicada muy cerca de la misma. Puede atender como máximo a 2048 abonados aunque solo presta servicio de forma simultánea a 120 de ellos, aplicando técnica ADPCM (*Adaptive Differential Pulse Code Modulation*) [22]. Por su parte la mencionada URA forma parte de la Central Telefónica Alcatel 1000E10 de Santa Clara y es la encargada de proveer al sistema A9800R3 de los servicios telefónicos de la red.

Igualmente, la estación de radio central RSC (*Radio Station Center*) de la red se encuentra ubicada cerca de la XBS, conectada a la misma mediante enlaces G.703 a 2 Mbps. Esta unidad se comunica con las estaciones nodales y terminales empleando transmisión de radio continua en la banda de 2400 MHz y multiplexación por división en tiempo (TDM). Para la transmisión desde las unidades subordinadas hacia la RSC el sistema utiliza el acceso dividido en tiempo (TDMA) [23].

La cantidad de servicios que esta tecnología presta se expone la siguiente tabla:

Tabla 2.3. Cantidad de abonados WLL del Escambray.

Estación Nodal / Terminal	Tipo enlace	Capacidad instalada		En servicio	
		Inalámbrico	Cableada	Inalámbrico	Cableada
RST Guanayara	Inalámbrico	3	0	3	0
RST Cuatro Vientos	Inalámbrico/Cableado	1	48	1	44
RSN Pico San Juan	Cableado	0	8	0	1
RST El Nicho	Inalámbrico	3	0	5	0
RST El Sopapo	Cableado	0	32	0	30
RSN Cartuja	Inalámbrico	39	0	39	0
RSN Loma San Juan	Cableado	0	8	0	1
RST Guajimico	Cableado	0	16	0	10
RST Las Vegas	Inalámbrico	19	0	19	0
<b>Total</b>		<b>65</b>	<b>112</b>	<b>67</b>	<b>86</b>

La conexión con abonados cableados se realiza con módulos RA10/RA20, los cuales actúan como interfaz de hasta 8 abonados cada uno, permitiendo la comunicación mediante conversión analógica/digital y digital/analógica (según recomendación G.712 de la ITU) entre el abonado analógico y el sistema digital, así como la señalización asociada al servicio telefónico. Los servicios se distribuyen mediante una red cableada de planta externa típica que parte desde la estación base, pudiendo alcanzar 6 km para cable telefónico calibre 24 [23]. Este es el caso de las estaciones de Cuatro Vientos y Sopapo.

Por otro lado, la comunicación con los terminales inalámbricos asociados a cada estación base se realiza mediante unidades RCW/WBS, con posibilidad de atender hasta 128 abonados, y a las que se conectan antenas sectoriales de tipo panel o simples antenas omnidireccionales. La conexión con las unidades WNT de abonados distantes debe ser de tipo LOS. Existen WNT con posibilidad de conexión a uno (WNT-S), dos (WNT-D) o cuatro teléfonos (WNT-Q).

El sistema WLL Alcatel 9800R3 a pesar de haber demostrado ser bastante robusto, presenta actualmente las siguientes limitaciones:

- Obsolescencia técnica: el fabricante ha decidido no producir más este tipo de equipamiento, lo que implica mayores costos de reparación y gradual degradación de los repuestos.
- Tiempo de interrupciones elevado: debido al escaso parque de repuestos en ocasiones se requiere esperar a que regresen los mismos desde los talleres de reparación, con la consecuente afectación al usuario y a indicadores de trabajo de ETECSA como demora promedio de solución de interrupciones, reparaciones en menos de 72 horas, entre otros.
- No cuenta con cobertura total en la zona montañosa de Cienfuegos.
- Capacidad de abonados limitada: las necesidades de servicio telefónico y de datos hoy son muy superiores debido al crecimiento poblacional y el desarrollo de la zona.
- Precisa de visión directa entre la estación terminal y el abonado.

- Muy baja capacidad de transmisión de datos: Las velocidades de transmisión no alcanzan los 256 kbps mínimos requeridos para ser considerado por la ITU como conexión de banda ancha [24].
- Sistema no escalable: no existen versiones mejores. Para mejorar la red se requiere la sustitución de la técnica instalada.

### 2.2.2 Redes GSM

La red celular GSM aunque cuenta con solo dos radio bases instaladas dentro de la zona de estudio, permite la comunicación de varias de las localidades. El servicio se realiza mediante la telefonía fija alternativa (TFA), en dos variantes: abonados residenciales con una cuota mensual de 300 minutos de comunicación y Centros Agentes asociados a ETECSA que permiten 3000 minutos de llamadas al mes. Los servicios TFA se encuentran distribuidos según como se muestran en la Tabla 2.2.

Este sistema beneficia la comunicación en gran medida, sobre todo para los abonados fijos; pero es insuficiente, principalmente por la escasa cobertura de que dispone en el área, lo que hace prácticamente imposible mantener comunicación durante la movilidad de los usuarios, así como las limitaciones características para conexiones de datos de banda ancha para ese tipo de red.

La Figura 2.4 muestra la cobertura en la zona y los asentamientos que la utilizan.

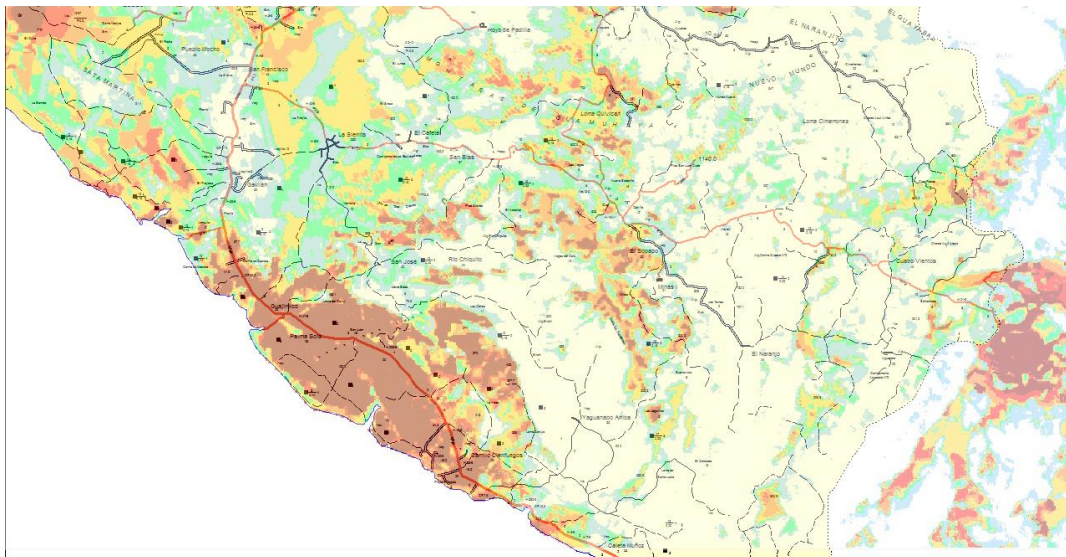


Figura 2.4: Cobertura GSM en la zona del Escambray.

Nótese que las principales áreas de cobertura, representadas por el color carmelita, radican alrededor de Topes de Collantes (al este) y Loma San Juan (al sudoeste). Las áreas blancas no cuentan con cobertura, mientras que las azules y las verdes son de muy baja señal, donde los abonados fijos deben disponer de antenas exteriores de alta ganancia.

Para mejorar la situación de telecomunicaciones del Escambray cienfueguero es preciso entonces sustituir la red WLL por otra técnica de acceso capaz de soportar mayor cantidad de servicios de voz, así como enlaces de datos de capacidad superior a 256 kbps, ancho de banda considerado mínimo para las aplicaciones actuales y sobre todo para empresas y entidades cuyos clientes o trabajadores realizan accesos simultáneos.

La topografía del terreno, infraestructura de telecomunicaciones existente, cantidad y tipo de servicios que se necesitan muestran como principales tecnologías sustitutas a las redes inalámbricas de banda ancha. En ese sentido se destacan WiMAX y LTE como los principales exponentes, debido a que permiten no solo el acceso de banda ancha, sino aspectos novedosos y favorables como la movilidad y técnicas que mejoran su desempeño en la interfaz aire haciéndolos más seguro, confiables y poco exigentes en su instalación.

Por otro lado, la infraestructura existente y las ventajas típicas de las redes inalámbricas como el bajo costo de implementación, operación y mantenimiento, así como la fácil y rápida instalación sugieren el diseño y la implementación de una red de este tipo.

## **CAPÍTULO 3. RED DE ACCESO DE BANDA ANCHA PARA EL ESCAMBRAY CIENFUEGUERO**

El diseño de una red de acceso para una zona montañosa como el Escambray y en un país socialista como Cuba toma connotaciones diferentes a lo usual. El Plan Turquino-Manatí ha sido creado por la dirección del país precisamente para impulsar el desarrollo económico-social de estas zonas y mejorar la calidad de vida de sus pobladores. En materia de comunicaciones es prioridad garantizar que la totalidad de los asentamientos de más de 300 habitantes tenga acceso a estos servicios, aunque la línea de deseo es que exista cobertura en todos los pueblos, algo bien difícil de lograr. El objetivo principal es de carácter social, aunque sin descuidar los aspectos económicos.

Características como la definición de los usuarios como abonados fijos, cobertura a todos los asentamientos y baja densidad de usuarios modulan la planificación de la red.

### **3.1 Selección de la tecnología**

La topografía del área de estudio, la infraestructura de telecomunicación existente, el tipo de servicios que se necesita y la dispersión de los asentamientos sugieren el empleo de una técnica inalámbrica de banda ancha como la más factible a instalar. Entre las principales candidatas se han seleccionado LTE y WiMAX.

Ambas tecnologías aun se encuentran en desarrollo a nivel mundial, buscando cada una por su parte llegar a las exigentes metas que propone la cuarta generación de comunicaciones móviles (4G): lograr velocidades de transmisión suficientes para cualquier aplicación existente, permitiendo en enlace descendente 100 Mbps en alta movilidad y 1 Gbps en condiciones estáticas, así como garantizar la interoperabilidad con el resto de las tecnologías y generaciones anteriores [25].

En este proceso aunque LTE ha ido mejorando su tecnología de forma vertiginosa y cuenta con la ventaja de ser compatible con las redes móviles precedentes, no ha establecido estándares intermedios, sino que ha ido incorporando mejoras de forma paulatina para llegar a su objetivo final de lograr las metas IMT-2000 propuestas. La fabricación del equipamiento ha sido relativamente moderada, empleándose en la comprobación de su funcionamiento y en pruebas de campo principalmente.

Por otro lado, WiMAX ha evolucionado a pasos discretos, con progresivos estándares bien definidos que permiten la fabricación de equipamientos para cada uno de ellos, satisfaciendo así el interés de empresas del ramo en la comercialización de los servicios de banda ancha. Es por ello que se ha desplegado un gran número de redes WiMAX, las cuales cuentan con buena aceptación.

Otro aspecto a favor de WiMAX es que en Cuba el Ministerio de la Informática y las Comunicaciones (MIC) ha emitido una Resolución que autoriza el empleo de la tecnología y define las bandas de frecuencia de trabajo, así como demás parámetros relacionados para su implementación comercial como servicio inalámbrico de banda ancha fijo, algo con lo que LTE aún no cuenta [26], [27]. Por otra parte ETECSA se encuentra realizando pruebas de campo a esta tecnología para su posible implementación.

Por las razones antes expuestas y debido a la disponibilidad del equipamiento y la probada eficacia del servicio que presta, se escoge WiMAX como tecnología de red de acceso para el presente trabajo.

### **3.2 Selección del equipamiento**

Las pruebas de campo realizadas por ETECSA han involucrado equipamiento WiMAX de diversos fabricantes. El objetivo ha sido evaluar el desempeño de la tecnología, así como su comportamiento en el clima y las condiciones de comunicaciones típicas del país, escogiendo al fabricante cuyo producto se adecue más a nuestras características.

En este sentido se han efectuado diversas mediciones y pruebas, y aunque los resultados han sido similares para las firmas involucradas, en el presente trabajo se ha escogido el equipamiento Huawei por proveer una información técnica más completa, lo que favorece el desarrollo de este estudio y la obtención de datos más confiables.

Pese a que estos estudios nunca han sido realizados en entornos montañosos similares a los del Escambray, en el presente trabajo se utilizan los datos técnicos de esta firma en el planeamiento de la red de banda ancha inalámbrica para la zona de estudio. En los anexos 1 y 2 se exponen las principales características técnicas de los equipos escogidos.

### **3.3 Estudio de radio propagación**

El estudio de radio propagación tiene como principal objetivo determinar las mejores condiciones para la instalación de los equipos, garantizando una adecuada comunicación libre de interferencias o pérdidas innecesarias de señal. De la rigurosidad con que se realice el estudio dependerá la fiabilidad y estabilidad final de la red diseñada.

#### **3.3.1 Consideraciones preliminares**

Para agilizar el estudio de radio propagación en este trabajo se emplea el software Radio Mobile (Versión 10.8.5) que facilita en gran medida el estudio de los perfiles con el uso de bases de datos topográficas digitales (SRTM, *The Shuttle Radar Topography Mission*), así como el cálculo de los enlaces por radio mediante el Modelo para Terrenos Irregulares (ITM, *Irregular Terrain Model*).

Creado por el Instituto de Ciencias de las Telecomunicaciones de los Estados Unidos (ITS, *The Institute for Telecommunication Science*) y basado en el modelo Longley–Rice, el Modelo de Terrenos Irregulares permite el cálculo acertado de los saltos dentro de un rango de frecuencias y distancias bastante amplios (frecuencias: 20-20000 MHz; distancias: 0-5000 km), aplicable por tanto a este ejemplo.

Para el diseño de la nueva red se ha decidido no emplear el análisis de cobertura con que cuenta Radio Mobile, sino el estudio individual de salto entre cada radio base y los asentamientos correspondientes. Esta forma de trabajo permite estudiar las particularidades del enlace para cada caso y simplifica las labores asociadas a la ubicación de las radio bases. Es válido aclarar que aunque los cálculos que realiza este software en redes WiMAX no han sido probados mediante comparación con resultados reales, sí han sido comprobados con otras tecnologías que utilizan antenas, potencias, frecuencias y técnicas de modulación similares, obteniéndose resultados muy cercanos a la realidad.

### 3.3.2 Estudio preliminar

El estudio preliminar consiste en realizar un análisis de perfil del terreno entre los puntos extremos de un enlace por radio con el objetivo de evaluar si entre ellos existe línea libre de obstáculos que permita el flujo de la radiación con el mínimo de pérdidas. Constituye el primer paso y uno de los más importantes en la planificación del enlace.

Utilizando el software Radio Mobile, solo es preciso cargar los datos topográficos de la zona y ubicar las unidades de radio en el terreno para conocer el perfil del enlace. Los datos suministrados son las coordenadas de los asentamientos que se desean cubrir con la red, así como los sitios de telecomunicaciones existentes en el área (ver Figura 3.1)

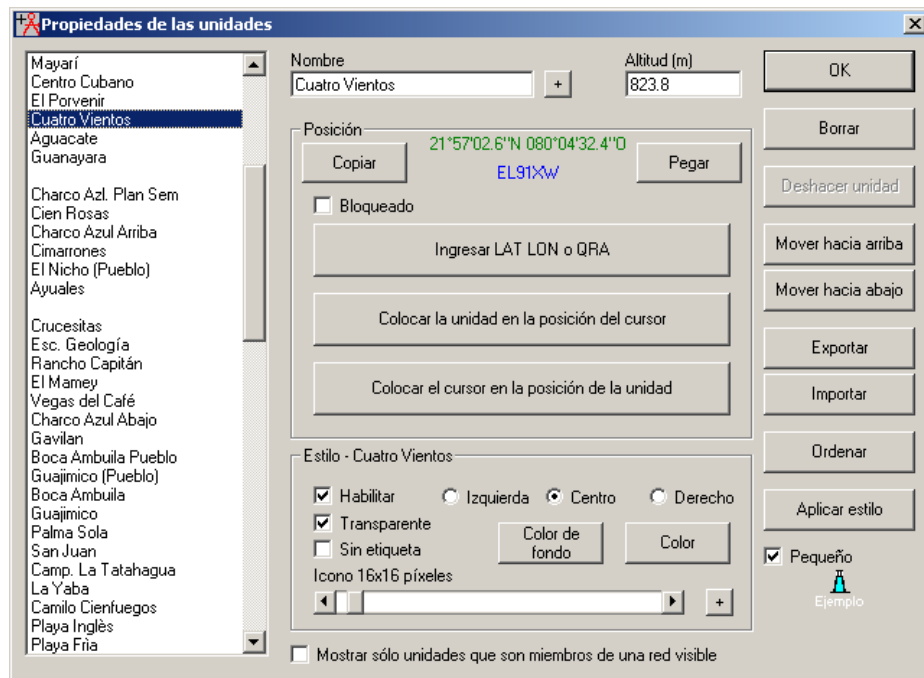


Figura 3.1: Ubicación de los sitios en Radio Mobile

El estudio de perfil se realiza con el objetivo de determinar cuales de los sitios o asentamientos son más propicios para ubicar en ellos una radio base, de manera que pueda cubrir la mayor cantidad posible del resto de los poblados. De esta forma surgen las primeras propuestas de ubicación de radio bases.

Un aspecto a considerar en este razonamiento es la distancia máxima a la que se pueden encontrar los sitios, la cual no debe exceder los 15 km según los parámetros técnicos definidos por Huawei para su radio base DBS3900 y unidades RRU3701C (ver Anexo 2).

A continuación muestran un ejemplo del análisis de perfil realizado por Radio Mobile:

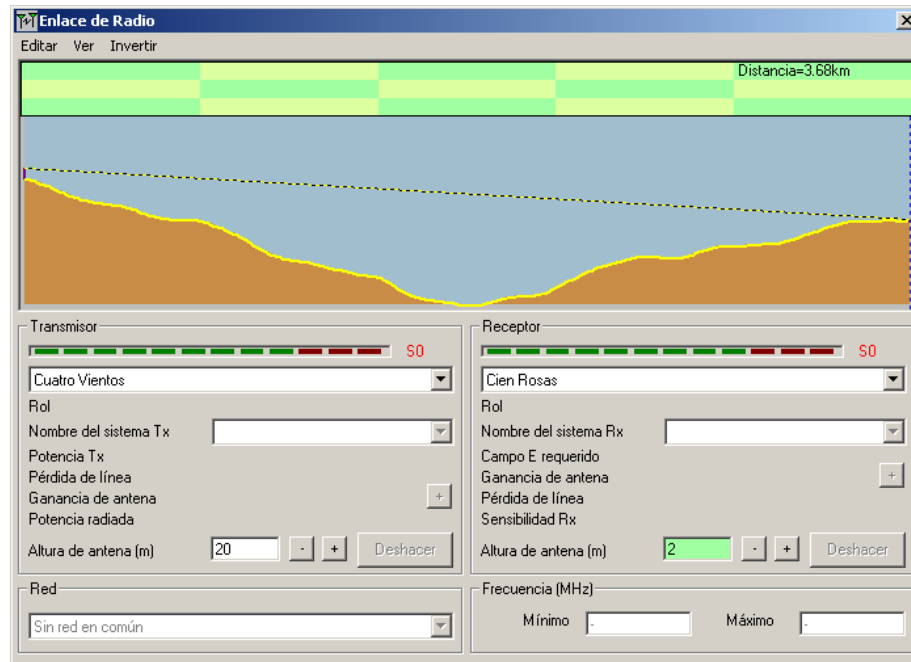


Figura 3.2. Análisis de perfil entre Cuatro Vientos y el poblado de Cien Rosas.

### 3.3.3 Ubicación de las radio bases

La exploración de perfiles realizada muestra que la mayoría de los sitios de telecomunicaciones existentes cuentan con buena ubicación, ofreciendo línea de vista a los asentamientos poblacionales de sus alrededores. Sin embargo, no son suficientes estos sitios para dar cobertura a todos los pueblos de la zona, por lo que se hace necesario proponer otros puntos de radio bases.

Los nuevos lugares para la instalación de estaciones bases deben cumplir los siguientes requisitos:

- Lograr los objetivos propuestos en materia de cobertura es decir, permitir comunicación en los lugares para los cuales fue propuesta.
- Priorizar los asentamientos en dependencia de su importancia.
- El lugar debe contar con condiciones para poder realizar el montaje de una estación: suelo firme que permita la instalación de mástiles o torres auto-soportadas y las obras civiles asociadas, área libre de vegetación elevada, clima tranquilo, etc.

- Estar ubicada cerca de una instalación de cables de fibra óptica o con línea de vista a otra estación superior para el transporte de la comunicación.
- Tener una vía de acceso asequible cerca, al menos a una distancia prudencial que permita su instalación y posterior operación técnica.
- Estar ubicada cerca de instalaciones de energía eléctrica para su alimentación.
- No tener cerca fuentes de interferencias radioeléctricas.

Por tanto, el lugar ideal sería uno de los propios asentamientos, donde se garantizan la mayoría de las condiciones.

Las nuevas posiciones para radio bases se proponen utilizando el mapa topográfico de Radio Mobile, de manera que pueda darse cobertura a la mayor cantidad de asentamientos posible explorando nuevos sitios que satisfagan la primera de las premisas mencionadas. Luego, el lugar escogido es referenciado en un mapa topográfico y se observa si es accesible y en qué forma. Por último, se requiere la visita al sitio para confirmar el cumplimiento del resto de los aspectos y la evaluación final de factibilidad de la ubicación.

De esta forma fue posible darle cobertura a todos los asentamientos de la zona de estudio.

#### **3.3.4 Estudio radio eléctrico del acceso**

Concluida la etapa precedente, se analizan cada uno de los enlaces entre las estaciones establecidas y los asentamientos que atienden. Usando el Radio Mobile es posible simular el comportamiento del enlace a partir de los datos técnicos de los terminales y radio bases que brinda el fabricante.

Para una evaluación más precisa se elige como parámetros del transmisor los relativos al equipo terminal, y los de recepción a los de la radio bases. Esto se debe a que es precisamente el abonado quien determina el alcance de la comunicación una vez que dispone de menos potencia de transmisión y ganancia de antena.

Para el estudio inicial también se escoge el peor nivel de sensibilidad del receptor (radio base), el cual varía en dependencia de la modulación empleada (ver Anexo 2). Esto es típico de los sistemas con modulación adaptativa como WiMAX, donde se decide la modulación a utilizar y en consecuencia la máxima velocidad de transmisión, según la

calidad del enlace. De esta manera se evalúa el enlace para el peor de los casos que corresponde a la máxima razón de transmisión y mayor valor de sensibilidad del receptor.

A continuación se muestra la configuración principal de uno de los enlaces:

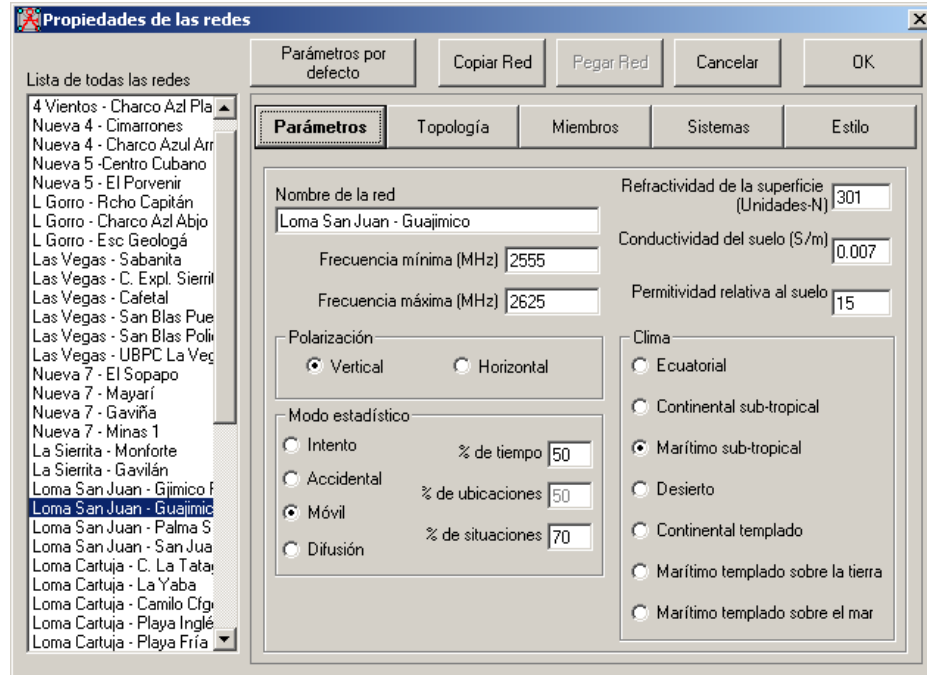


Figura 3.3. Definición de los parámetros fundamentales de la red.

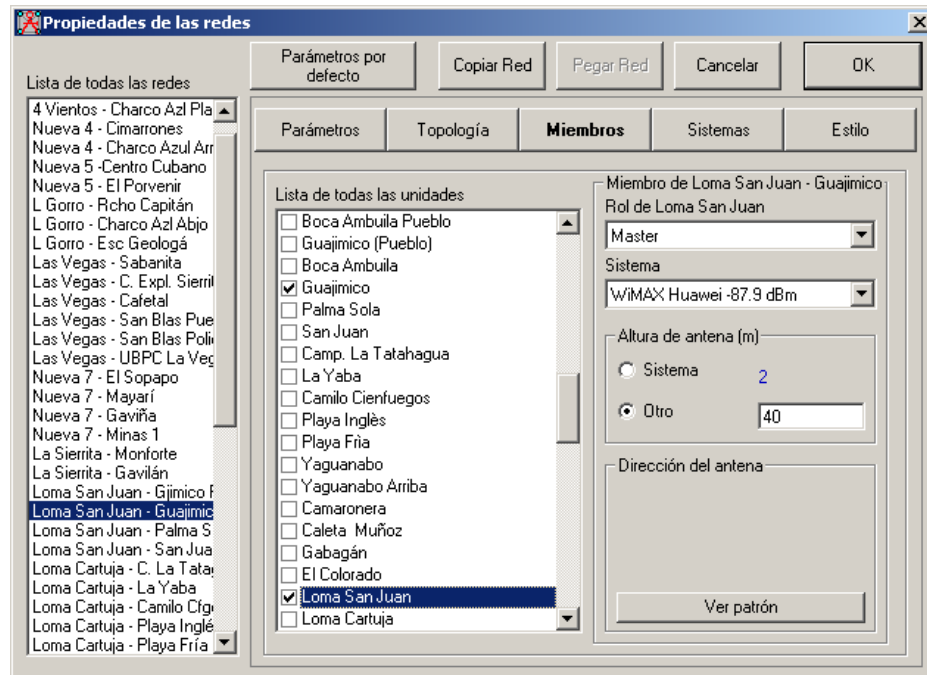


Figura 3.4. Definición de los miembros de la red.

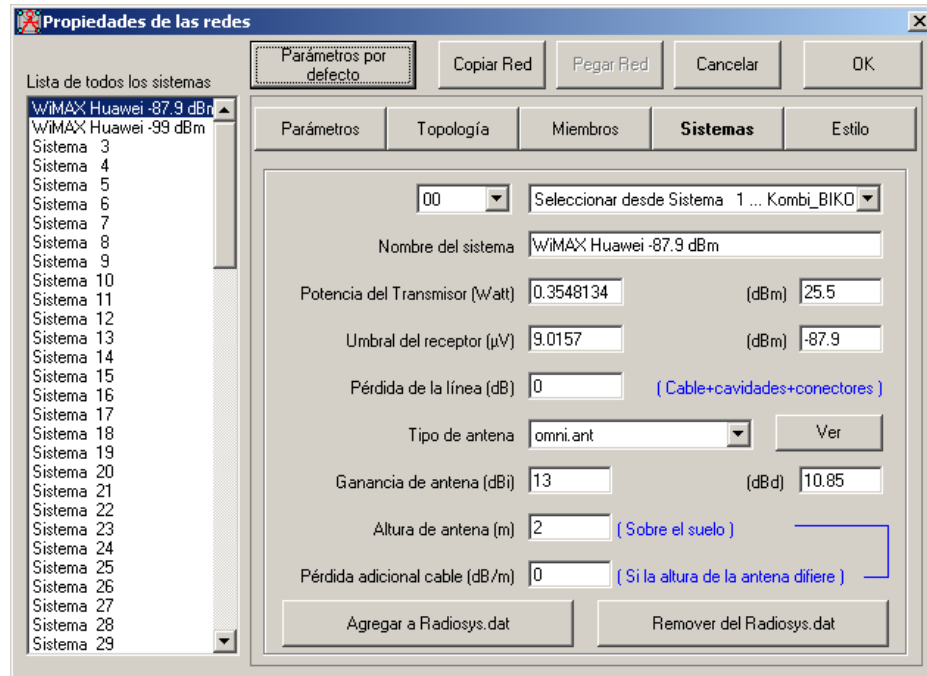


Figura 3.5. Definición de las características principales del sistema.

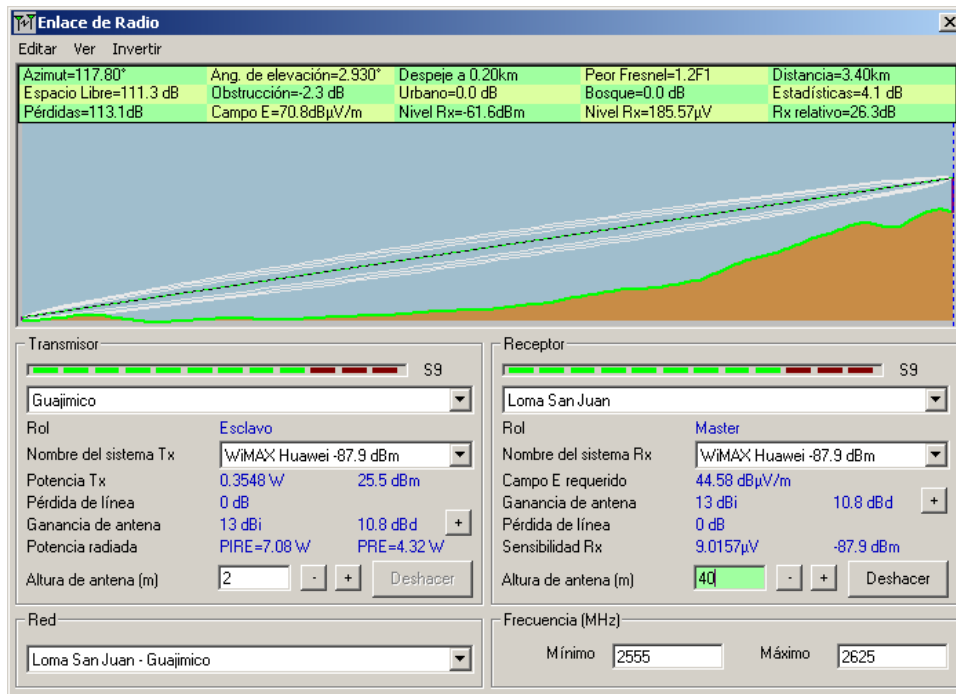


Figura 3.6. Enlace de radio con los parámetros del receptor y el transmisor definidos.

Las frecuencias y anchos de banda de trabajo se definen a partir de las regulaciones que el MIC ha establecido para el uso de esta tecnología [27].

Aspectos como la ganancia del sistema ante multitrayecto mediante técnicas de antena MIMO no son tenidos en cuenta para este estudio, pues el objetivo de este análisis es comprobar si llega buena señal a cada asentamiento y para ello se considera el peor de los casos. La respuesta ante el multitrayecto constituye una ventaja adicional del sistema y solo mejorará su comportamiento.

Una vez realizado este análisis se observa que los enlaces se comportan adecuadamente y por tanto las radio bases escogidas brindan buena cobertura a los asentamientos asignados.

Este estudio permite revisar y mejorar las ubicaciones de radio bases propuestas, así como proponer la altura adecuada de las antenas de radio bases, complementando la propuesta inicial. Finalmente, para complementar el análisis es preciso ejecutar una inspección visual a los lugares y líneas de enlace para observar si no existen otros obstáculos que impidan el desarrollo del proyecto, como vegetación, lagos, etc.

### **3.4 Definición de los parámetros de celda**

Finalizado el estudio radio eléctrico se precisa definir los parámetros de los sectores de cada radio base. Aspectos como la cantidad de sectores que tendrá cada una, frecuencias de operación, límites de cobertura y evaluación del tráfico son necesarios para la estructura final de la red.

#### **3.4.1 Distribución de las frecuencias**

La planificación de toda red de estructura celular precisa de un análisis sobre el uso de las frecuencias de trabajo. Y es que justamente este tipo de configuración implica que las emisiones radioeléctricas de una estación lleguen hasta las células vecinas, pudiendo provocar interferencias y como consecuencia la degradación del servicio.

Para evitar esto se hace una minuciosa planificación de las frecuencias a utilizar en cada sector y la potencia máxima de transmisión, de manera que se haga un uso más eficiente del espectro reutilizando las frecuencias en aquellos lugares libres de interferencias.

Las frecuencias autorizadas por el MIC son las siguientes [27]:

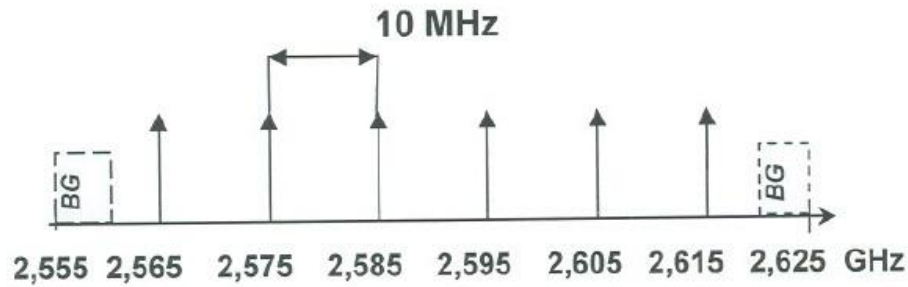


Figura 3.7. Frecuencias autorizadas para WiMAX.

La distribución de las frecuencias por radio bases se ha realizado empleando la variante *PUSC with all SC* (*Partial Usage of subchannels with all subchannels*). En este caso a cada sector se le define una frecuencia de trabajo autorizada, posibilitando el acceso a la totalidad de las sub-canalizaciones empleadas.

En la Tabla 3.1 se muestran las frecuencias asignadas a cada sector.

### 3.4.2 Límite de cobertura de los sectores

Una vez determinados los límites de cada celda es preciso realizar un cálculo para el ajuste de potencia máxima de transmisión de cada radio base. A modo de ejemplo se expone el cálculo realizado para el enlace Loma Cartuja-San José, el de mayor longitud.

Datos:

$$f = 2605 \text{ MHz}$$

$$d = 8.72 \text{ km}$$

$$G_t = 15 \text{ dBi (ganancia típica de antena panel para radio bases)}$$

$$G_r = 13 \text{ dBi}$$

$$P_r = -66.5 \text{ dBm (Considerando 30 dBm de margen para contrarrestar el desvanecimiento)}$$

$$\lambda = c/f = (3 \cdot 10^8) / (2605 \cdot 10^6) = 0.12 \text{ m}$$

$$L_b = \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 = 8.33 \cdot 10^{11}$$

$$L_b = 10 \log (8.33 \cdot 10^{11}) = 119.20 \text{ dBm}$$

$$P_t = P_r - G_t + L_b - G_r$$

$$P_t = -65.5 \text{ dBm} - 15 \text{ dBi} + 119.20 \text{ dBm} - 13 \text{ dBi} = 26.2 \text{ dBm}$$

El cálculo arroja que se necesita una potencia de transmisión máxima de 26.2 dBm para el sector de la radio base de Loma Cartuja que atiende a los abonados del pueblo de San José. De igual forma se procede con cada uno de los sectores de las demás radio bases.

También es preciso definir para cada sector su azimut o ángulo de mayor radiación respecto al norte. Para ello se determina el centro de carga del tráfico según los asentamientos a los que brinda servicios y se escoge el tipo de antena sectorial a emplear.

A continuación se muestra la distribución de las seis frecuencias autorizadas según los sectores definidos para cada radio base, así como el tipo de antena a emplear, el azimut, la potencia de transmisión y la cantidad de viviendas (incluyendo los planes futuros).

Tabla 3.1. Parámetros de cobertura de las radio bases.

Radio Base	Sectores	Frecuencias	Tipo de antena (°)	Azimut	Inclinación	P <sub>t</sub> (dBm)	Cantidad. de Viviendas
Loma Cartuja	A	I	120	202	-5.42	18	49
	B	II	120	322.3	-0.86	26	865
Loma San Juan	A	III	120	332.5	-4.92	18	131
La Sierrita	A	I	90	220	-0.56	19	810
Las Vegas	A	III	60	280	-3.99	13	249
	B	I	120	113.5	3.64	22	34
Cuatro Vientos	A	I	120	15.6	-1.79	18	181
Loma del Gorro	A	III	120	10	-15.9	4	33
	B	I	120	140	-4.02	10	180
Loma del Burro	A	II	120	140	-4.55	2	44
	B	III	120	260	-3.85	18	35
Nueva 2	A	VI	60	271.3	-3.58	23	42
Nueva 3	A	III	120	320	-3.72	17	276
	B	VI	120	200	-4.7	20	54
	C	IV	120	80	-9.12	13	142
Nueva 4	A	V	120	322.3	-4.66	19	85
Nueva 5	A	II	60	350.2	-9.14	6	53
Nueva 6	A	VI	120	95.2	-5.86	18	133
	B	I	120	310	-7.56	18	125
Nueva 7	A	V	120	140	-2.44	18	61
	B	III	120	20	-1.88	10	216
Nueva 8	A	II	120	330	-3.78	11	42
	B	V	120	210	-4.35	11	16



de capacidad permitida por sector, y las capacidades distribuidas son aprovechables gracias a la posibilidad que da WiMAX de utilizar las sub-canalizaciones disponibles por cualquiera de los abonados para mejorar el ancho de banda de conexión.

Siendo así, el análisis de tráfico del sistema se simplifica y en este caso solo es menester comprobar que la cantidad máxima de abonados no sobrepase los límites definidos para cada sector en la configuración de frecuencias acordada que es de 1024 terminales (ver Tabla 3.1)

### 3.5 Transporte de señales.

Luego de terminada la planificación de la red de acceso, queda por diseñar el transporte de las señales a cada radio base.

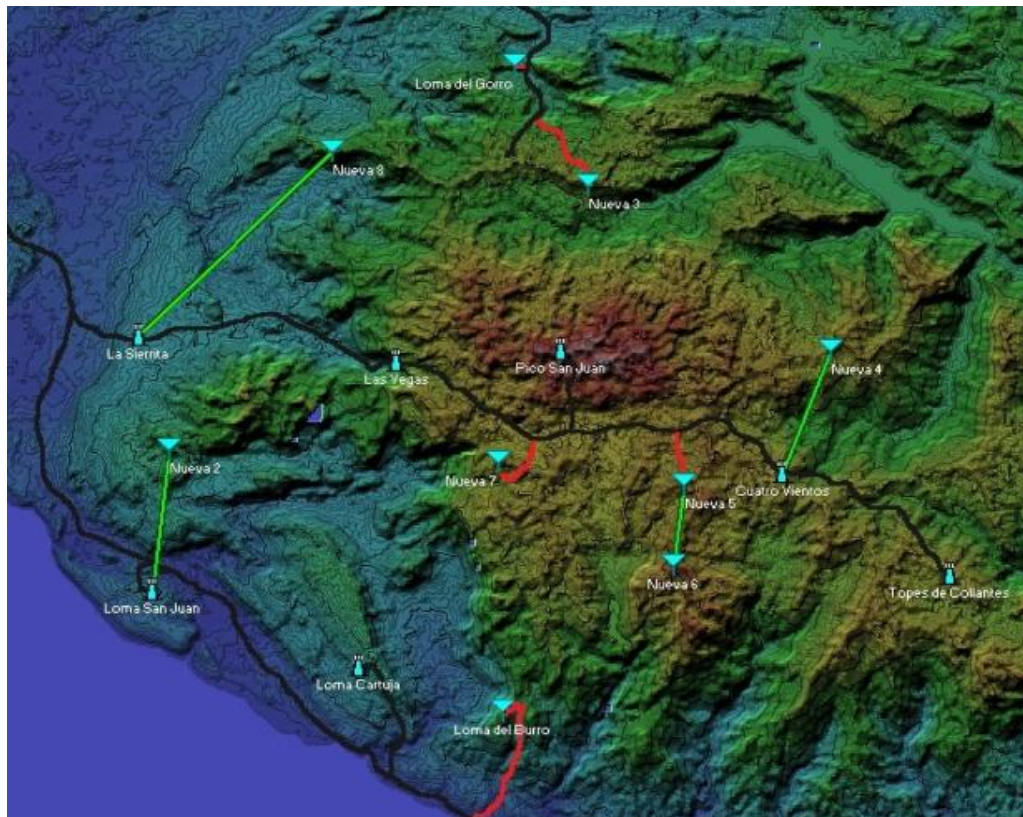


Figura 3.9. Estructura de la red de transporte.

Como se aprecia en la figura anterior, en la red diseñada varias de las estaciones pueden acoplarse a redes de fibra óptica existentes, mientras que otras necesitan de comunicación

vía radio. Los trazos en negro representan la fibra que existe actualmente, los trazos en rojo los tramos nuevos a desplegar y las líneas verdes los enlaces de radio.

### 3.5.1 Cálculo de potencia en los enlaces de fibra óptica.

A continuación se muestra el cálculo para uno de los enlaces de fibra óptica, entre Cumanayagua – Nueva 3.

Datos:

Longitud del enlace ( $L$ ): 12.31 km

Equipo empleado: AT-MC 103LH (ver Anexo 4)

Tipo de fibra empleada: SMF 9/125 (G.652)

$\lambda = 1310$  nm

$P_t (min) = -5$  dBm

Sensibilidad: - 36 dB

$\alpha_{f_0} = 0.35$  dB/km [29]

$\alpha_e = 0.20$  dB (Definido como atenuación máxima para un empalme por ETECSA)

Cantidad de empalmes ( $N_e$ ): 5 empalmes

$\alpha_c = 0.75$  dB

Cantidad de conectores ( $N_c$ ): 2 por cada ruta.

$M_s = 7$  dB (Margen de seguridad definido por las máxima variaciones de parámetros en los transceptores y la fibra óptica).

$$A_e = N_e \cdot \alpha_e = 5 \cdot 0.20 \text{ dB} = 1.0 \text{ dB}$$

$$A_c = N_c \cdot \alpha_c = 2 \cdot 0.75 \text{ dB} = 1.50 \text{ dB}$$

$$P_r (min) = P_t (min) - \alpha_{f_0} \cdot L - A_e - A_c - M_s$$

$$P_r (min) = -5 \text{ dB} - 0.35 \text{ dB/km} \cdot 12.31 \text{ km} - 1.0 \text{ dB} - 1.50 \text{ dB} - 7 \text{ dB}$$

$$P_r (min) = - 18.8 \text{ dBm}$$

La potencia que se recibirá en el receptor será de -18.8 dBm, superior a la sensibilidad del mismo, que es de -36 dBm, lo que significa que se podrá establecer comunicación con un amplio margen de seguridad de 17.2 dB por encima de los 7 planificados.

Verificación de no saturación:

$$P_t(max) = 0 \text{ dBm}$$

$$P_{sat} = -1.5 \text{ dBm}$$

$$P_r(max) = P_t(max) - \alpha_{fo} \cdot L - A_e - A_c$$

$$P_r(max) = 0 \text{ dBm} - 0.35 \text{ dB/km} \cdot 12.31 \text{ km} - 1.0 \text{ dB} - 1.50 \text{ dB}$$

$$P_r(max) = -6.8 \text{ dBm}$$

Luego:  $P_r(max) < P_{sat}$  por lo que el receptor no debe saturarse y el enlace debe trabajar sin problemas.

A continuación se muestra los resultados del resto de los enlaces:

Tabla 3.2. Parámetros del enlace por fibra óptica.

Salto	Longitud <i>L</i> (km)	Empalmes	Conectores	$P_r$ ( <i>min</i> ) (dBm)	Margen final (dBm)	Saturación
Sierrita – La Vega	6.7	2	2	-16.25	26.75	No
Sierrita - Nueva 7	10.21	3	2	-17.67	25.33	No
Sierrita - Nueva 5	16.4	5	2	-20.24	22.76	No
Sierrita - Cuatro Vientos	24.1	8	2	-23.54	19.46	No
Sierrita – Loma San Juan	18.3	6	2	-21.11	21.89	No
Sierrita - Loma Cartuja	25.4	8	2	-23.99	-19.01	No
Sierrita - Loma del Burro	27.85	8	2	-24.85	18.15	No
Cumanayagua - Nueva 3	12.31	5	2	-18.8	24.2	No
Cumanayagua - Loma del Gorro	6.21	3	2	-16.27	26.73	No

### 3.5.2 Cálculo de los enlaces por radio.

Para el enlace de radio entre estaciones bases es necesario conocer la potencia necesaria para la recepción. A modo de ejemplo se realizan los cálculos para el enlace La Sierrita-Nueva 8:

Datos:

$$f = 5850 \text{ MHz}$$

$$d = 9.41 \text{ km}$$

$$G_t = 32 \text{ dBi}$$

$$G_r = 32 \text{ dBi}$$

$$P_t = 17 \text{ dBm}$$

$$\lambda = c/f = (3 \cdot 10^8) / (5850 \cdot 10^6) = 0.051 \text{ m}$$

$$L_b = \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 = 5.37 \cdot 10^{12}$$

$$L_b = 10 \log (5.37 \cdot 10^{12}) = 127.30 \text{ dBm}$$

$$P_r = P_t + G_t - L_b + G_r$$

$$P_r = 17 \text{ dBm} + 32 \text{ dBi} - 127.3 \text{ dBm} + 32 \text{ dBi} = -46.3 \text{ dBm}$$

La potencia recibida será de -46.3 dBm, superior a la sensibilidad del equipo que es de -74 dBm (ver Anexo 3), obteniéndose un margen para el desvanecimiento de 27.7 dB.

La tabla siguiente muestra los resultados del cálculo de radio para el resto de los enlaces:

Tabla 3.3. Parámetros del enlace por radio.

Salto	Longitud (km)	Frecuencia	P <sub>r</sub>	Margen final
La Sierrita - Nueva 8	9.41	5850	-46.3	27.7
Nueva 5 - Nueva 6	6.23	5760	-42.55	31.45
Cuatro Vientos - Nueva 4	9.9	5790	-46.57	27.43
Loma San Juan - Nueva 2	10.66	5810	-47.21	26.79

### 3.6 Análisis económico de la red.

En el análisis de costo a continuación han sido incluido los elementos relacionados con el equipamiento necesario para la implementación de la red de acceso, tanto de las radio bases como de los terminales. Los gastos para los enlaces de transporte han sido añadidos al final.

<b>Equipo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Total</b>
<b>Radio base Huawei DBS9300</b>	Incluye accesorios y antenas	\$ 49036.20	16	\$ 784 579.20
<b>Mástil AT-45</b>	Con accesorios	\$ 624.32	9	\$ 5 618.88
<b>Terminal Huawei BM8210</b>	Incluye accesorios y protección	\$ 214.07	1383	\$ 296 058.81
<b>Radio AIRMUX-200E</b>	Con antena exterior y alimentación.	\$ 3796.14	4	\$ 15 184.56
<b>Transceiver AT-MC10x</b>		\$ 512.23	9	\$ 4 610.07
<b>Rutas para cable FO</b>	Incluye obra civil y cable	\$ 13 USD/m		\$ 156 000
<b>Total</b>				\$ 1 262 051.32

Como se puede observar, la cifra es considerablemente grande, sobre todo si se tiene en cuenta que en el proyecto se apoya en una infraestructura existente. Los mayores gastos radican en las radio bases, los equipos terminales y la infraestructura de fibra óptica que se debe realizar.

Sin embargo, los números son totalmente lógicos si se tiene en cuenta que la red diseñada tiene como objetivo principal la sustitución total de la tecnología obsoleta hoy existente en el área, y tendrá más prestaciones.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **Conclusiones**

1. Se caracterizaron las principales redes de acceso de banda ancha que existen en la actualidad, tanto las cableadas como las inalámbricas, destacando los aspectos más importantes de cada una de ellas, así como sus ventajas y desventajas.
2. Se realizó una caracterización de la zona de estudio que permitió conocer la situación actual en materia de telecomunicaciones y las necesidades que en este sentido se necesitaban cubrir.
3. Se diseñó una nueva red que brinda comunicación y servicio de datos a una mayor cantidad de usuarios.

### **Recomendaciones**

1. Validar los resultados de la simulación en Radio Mobile con los niveles reales de señal para la tecnología WiMAX.
2. Evaluar el comportamiento del tráfico de la red diseñada en el acceso y en la red de transporte.

**GLOSARIO**

ETECSA: Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A.

WLL: Wireless Local Loop

ITU: Internacional Telecommunication Union

ISDN: Integrate Service Digital Network

PSTN: Public Switched Telephone Network

DSL: Digital Subscriber Line

ADSL: Asimetric Digital Subscriber Line

HDSL: High speed Digital Subscriber Line

SHDSL: Single line High speed Digital Subscriber Line

VDSL: Very high speed Digital Subscriber Line

WDM: Wavelength Dense Multiplexing

CWDM: Coarse Wavelength Dense Multiplexing

DWDM: Dense Wavelength Dense Multiplexing

FTTH: Fiber To The Home

FTTB: Fiber To The Building

FTTC: Fiber To The Curb

FTTN: Fiber To The Node

IP: Internet Protocol

TV: Televisión

VoIP: Voice over Internet Protocol

HFC: Hybrid Fiber Coaxial

PLC: Power Line Communications

MMDS : Multichannel Multipoint Distribution Service

NTSC: National Television System Committee

FCC: Federal Communications Commission

TDM: Time Division Multiplexing

QAM: Quadrature Amplitude Modulation

TDMA: Time Division Multiple Access

QPSK: Quadrature Phase Shift Keying

LOS: Line Of Sight

NLOS: Non Line Of Sight

LMDS: Local Multipoint Distribution Service

CDMA: Code Division Multiple Access

FDMA: Frequency Division Multiple Access

BPSK: Binary Phase Shift Keying

DQPSK: Diferencial Quadrature Phase Shift Keying

PSK: Phase Shift Keying

WLAN: Wireless Local Area Network

LAN: Local Area Networks

Wi-Fi: Wireless Local Area Network	SMS: Short Message System
IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers	GPRS: General Packet Radio Service
ISM: Industrial, Scientific and Medical	EDGE: Enhanced Data rates for GSM Evolution
FHSS: Frequency Hopping Spread Spectrum	UTRAN: UMTS Terrestrial Radio Access Network
DSSS: Direct Sequence Spread Spectrum	CN: Core Network
CSMA/CA: Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance	RNC: Radio Network Controller
OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing	SIM: Subscriber Identity Module
MIMO: Multiple Input – Multiple Output	WCDMA: Wideband Code Division Multiple Access
AP: Access Point	DS-CDMA: Direct Sequence CDMA
WiMAX: Wireless Interoperability for Microwave Access	HSDPA: High Speed Downlink Packet Access
MAN: Metropolitan Area Network	HSUPA: High Speed Uplink Packet Access
OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access	HSPA +: Evolved HSPA
TDD: Time Division Duplex	HS-DSCH: High Speed Downlink Shared Channel
FDD: Frequency Division Duplex	H-ARQ: Hybrid Automatic Repeat Request
HHO: Hard Handover	E-DCH: Enhanced Dedicated Channel
FBSS: Fast Base Station Switching	LTE: Long Term Evolution
MDHO: Micro Diversity Handover	SC-FDMA: Single Carrier Frequency Division Multiple Access
SOFDMA: Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access	SAE: System Architecture Evolution
AMC: Adaptive Modulation and Coding	E-UTRAN: Enhanced UMTS Terrestrial Radio Access Network
UMTS: Universal Mobile Telecommunication System	EPC: Enhanced Packet Core
3GPP: Third Generation Partnership Project	MME: Mobility Management Entity
IMT-2000: International Mobile Telecommunication – 2000	S-GW: Serving Gateway
CDMA-2000: Code Division Multiple Access-2000	TFA: Telefonía Fija Alternativa
GSM: Global System for Mobile communications	VSAT: Very Small Aperture Terminal
	BPA: Banco Popular de Ahorro
	XBS: Exchange Baseband Station

URA: Unidad Remota Automatizada

PCM: Pulse Code Modulation

ADPCM: Adaptive Differential Pulse  
Code Modulation

RSC: Radio Station Central

RST: Radio Station Terminal

WBS: Wireless Base Station

RSN: Remote Station Nodal

WNT: Wireless Network Terminal

MIC: Ministerio de la Informatica y las  
Comunicaciones

SRTM: The Shuttle Radar Topography  
Mission

ITM: Irregular Terrain Model

ITS: The Institute for Telecommunication  
Science

PUSC: Partial Usage of subchannels

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] U. I. d. Telecomunicaciones. (2010, *Definición de los Indicadores Mundiales de las Telecomunicaciones/TIC*. Available: <http://www.itu.int/ITU-D/ict/events/geneva102/index.html>
- [2] J. B. C. Manuel Álvarez-Campana, Francisco González Vidal, Raquel Pérez Leal, Isabel Román Martínez, Enrique Vázquez Gallo, *Tecnologías de banda ancha y convergencia de redes*. Madrid, España, 2009.
- [3] R. J. M. Tejedor, "Banda ancha en el enchufe," *PC World n° 202, IDG Communications S.A*, 2003.
- [4] L. E. C. d. Oso. (2005) El futuro y las ventajas de las Power Line Communications. *Tono Revista Técnica de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba, S.A.*
- [5] F. F. Martín, "Acceso inalámbrico de banda ancha propuesta para Cuba," Tesis de maestría, Facultad de Ingeniería Eléctrica. Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica, UCLV, Villa Clara, Cuba, 2004.
- [6] D. G. Ortega. (2011) Tecnologías de banda ancha existentes en la actualidad para Internet. Comparativa crítica, cómo elegir una. *Revista Digital Innovación y Experiencias Educativas*.
- [7] D. S. S. R. Ahamed, "Review and analysis of Local Multipoint Distribution System (LMDS) to deliver voice, data, Internet, and video services," *International Journal of Engineering Science and Technology*, vol. Vol.1(1), pp. 1-7 2009.
- [8] F. R. G. P. V. Q. Sánchez, "IEEE 802.11(Wi-Fi) El estándar de facto para WLAN," *Alcatel España,S.A- Tribuna Tecnológica*, 2003.
- [9] E. L. Machín. (2005) Qué es WiFi. Algunas aplicaciones. *Tono Revista Técnica de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba,S.A.*
- [10] G. L. Cruz. (2006) WiMAX: banda ancha para todos. *Tono, Revista Cubana de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A.*
- [11] Y. Q. B. a. A. R. Nix, "Mobile WiMAX: Multi-Cell Network Evaluation and Capacity Optimization " 2008.
- [12] E. G. Herrera, "Tecnologías WiMAX: banda ancha de largo alcance," 2007.

- [13] W. Forum, "WiMAX and the IEEE 802.16m Air Interface Standard," 2010.
- [14] M. W. Thelander, "WiMAX Oportunidades y desafíos en un mundo inalámbrico," *Informe desarrollado para el CDMA Development Group (CDG)* 2005.
- [15] I. V. Ernesto E. Quiroz, "Tecnologías convergentes en los sistemas móviles de tercera y cuarta generación " *Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital (CITEDI-IPN)* 2008.
- [16] R. Research, "EDGE, HSPA, LTE: The Mobile Broadband Advantage," *White Paper 3G Americas*, 2007.
- [17] M. A. Fernández, "UMTS LTE, Rumbo a la Nueva Generación de Telefonía Móvil," 2007.
- [18] J. N. M. Carlos Reines González, "Tecnología LTE: la estrella del Mobile World Congress 2009," 2009.
- [19] F. B. Ramón Agusti, Fernando Casadevall, Ramon Ferrús, Jordi Pérez-Romero, Oriol Sallent, *LTE: nuevas tendencias en comunicaciones móviles*. España: Fundación Vodafone España, 2010.
- [20] O. N. d. Estadísticas. (2011, Mayo 18). *Población de la provincia Cienfuegos*. Available: <http://www.one.cu/EstadisticaPoblacion/EstadisticaPoblacion.asp>
- [21] EcuRed. (2011, *Provincia Cienfuegos*. Available: [http://www.ecured.cu/index.php/Cienfuegos\\_\(provincia\)](http://www.ecured.cu/index.php/Cienfuegos_(provincia))
- [22] Alcatel, "A9800 R3. Manual descriptivo de XBS.," 1ra ed, 1999.
- [23] Alcatel, "A9800 R3. Manual descriptivo de RS.," 1ra ed, 1999.
- [24] UIT. *Indicadores claves sobre TIC, 2010*. Available: <http://www.itu.int/ITU-D/ict/events/geneva102/index.html>
- [25] UIT-R, "Recomendación UIT-R M.1645. Marco y objetivos generales del desarrollo futuro de las IMT-2000 y de los sistemas posteriores," ed. Ginebra: UIT, 2010, pp. 8-11.
- [26] *Resolución No. 123/2008*, C. Ministerio de la Informática y las Comunicaciones, 2008.
- [27] *Resolución No. 33/2011*, C. Ministerio de la Informática y las Comunicaciones, 2011.
- [28] J. M. H. Rábanos, *Comunicaciones Móviles*. Madrid, 1997.
- [29] C. S.-O. F. P. Information, "Corning Single-Mode Optical Fiber," in *Optical Specifications*, ed, 2002.

## ANEXOS

### Anexo 1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS CPE HUAWEI EchoLife BM8201<sup>1</sup>

Estándar que emplea: IEEE 802.16e – 2005 (TDD, OFDMA).

Frecuencia de trabajo: 2.496 – 2.69 GHz.

Modulación: OFDMA 512/1024 FFT QPSK, 16 QAM y 64 QAM.

Seguridad: AES-CCM, EAP-TLS/EAP-TTLS, PKMv2 y X.509.

Alimentación: Soporta PoE que cumple IEEE 802.3af

MIMO: 2Tx 2Rx.

Conexiones: Cuenta con conector RJ45 para consola

VoIP: Soporta codecs G.711A/μ; G.721; G.723; G.729. Incluye Detección Activa de Voz (VAD).

Máxima velocidad de transmisión enlace ascendente: 5 Mbps.

Máxima velocidad de transmisión enlace descendente: 15 Mbps.

Sensibilidad: -96.5 dBm.

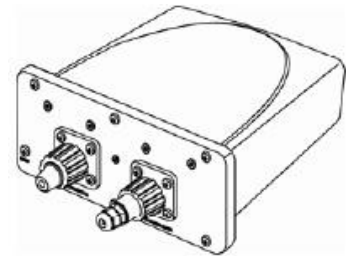
Potencia máxima de transmisión: 25.5 dBm.

Impedancia de antena: 50Ω.

Ganancia de antena @ 2.5GHz: 13 dBi

Polarización: Vertical.

Precio: \$ 214.07 USD.



---

<sup>1</sup> Tomado de: Huawei, "Huawei EchoLife BM625 WiMAX CPE V100R001," ed. Shenzhen, 2008.

## Anexo 2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS BTS HUAWEI DBS3900 V300R002<sup>2</sup>

Puertos BBU: Dos puertos Ethernet 100-1000 Mbps. Dos puertos ópticos 1.25 Gbps.

Voltaje alimentación: -48V DC.

Antenas: BBU puede conectar hasta 6 RRU, cada uno para un sector con antenas de 60°, 90° o 120°. También permite antena para GPS.

Seguridad: EAP-TTLS/MSCHAPv2 para autenticación de usuario. EAP-TLS para autenticación del dispositivo (IEEE 802.16e).

QoS: Soporta los cinco esquemas de servicios definidos en IEEE 802.16e-2005: UGS (*Unsolicited Grant Service*), rtPS (*Real-time Polling Service*), ertPS (*Extended Real-time Polling Service*), nrtPS (*Non Real-time Polling Service*) y BE (*Best Effort*).

O&M: Sistema completamente configurable a distancia. Permite visualización de alarmas.

Capacidad abonados: Una estación con configuración 1/1/1 soporta hasta 3072 abonados (1024 por sector).

Capacidad suscriptores activos: Una estación con configuración 1/1/1 soporta hasta 768 suscriptores activos (256 por sector).

Máximo pico en enlace descendente: 30 Mbps por sector.

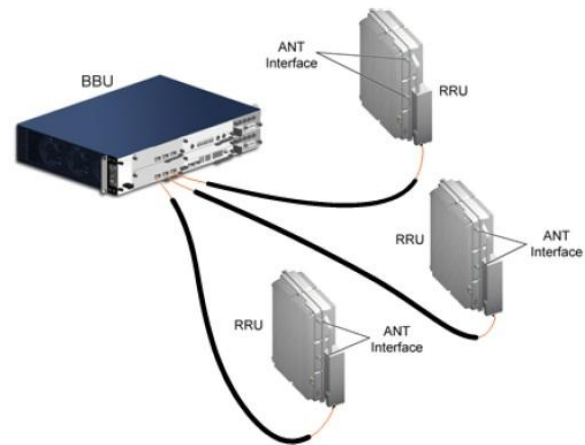
Máximo pico en enlace ascendente: 6 Mbps por sector.

Capacidad máxima usuarios VoIP online: 180 usuarios por sector (empleando códec G.729A).

RRU3701C: Soporta hasta tres sectores, una portadora y tres clases de banda.

Potencia máxima transmitida: 10W @ 2.5 GHz, puerto de una antena. 20W @ 2.5 GHz, puerto de dos antenas. 5W @ 3.5 GHz, puerto de una antena. 10W @ 3.5 GHz, puerto de dos antenas.

Máxima área de cobertura: 15 km.



<sup>2</sup> Tomado de: Huawei, "DBS3900 WiMAX V300R002 Product Description," ed. Shenzhen, 2008.

Sensibilidad:

<b>Modulación</b>	<b>Sensibilidad en canal de 5 MHz</b>	<b>Sensibilidad en canal de 10 MHz</b>
QPSK-1/2	-99 dBm	-97.7 dBm
QPSK-3/4	-97.4 dBm	-94.3 dBm
QAM16-1/2	-95.1 dBm	-82 dBm
QAM16-3/4	-91 dBm	-87.9 dBm

Precio (incluye antenas y accesorios): \$ 49036.20 USD.

### Anexo 3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS AIRMUX-200E

Frecuencias de trabajo:

5.725 – 5.850 GHz

5.470 – 5.725 GHz

5.250 – 5.350 GHz

5.250 – 5.350 GHz

Velocidad de datos: 48Mbps

Ancho de banda de canal: 20MHz

Técnica Duplex: TDD

Modulación que emplea:

OFDM – BPSK, 16QAM, 64QAM.

Potencia de transmisión:



<b>Frecuencia (GHz).</b>	<b>Máxima potencia de transmisión (dBm)</b>
<b>5.725 – 5.850 GHz</b>	17
<b>5.470 – 5.725 GHz</b>	17
<b>5.250 – 5.350 GHz</b>	18
<b>5.250 – 5.350 GHz</b>	11

Ganancia de antena:

Integrada: 22 dBi

Exterior: 32 dBi

Margen mínimo por desvanecimiento recomendado: 6 dBm

Umbral de recepción (BER 10-3): -74 dBm

**Anexo 4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS AT-MC10x<sup>3</sup>**Físico:

Dimensiones: W x D x H

10.5 cm x 9.5 cm x 2.5 cm

(4.125 in x 3.75 in x 1.0 in)

Peso: 27 kg (0.60 lbs)

Temperatura:

Temperatura de operación: 0° C to 40° C (32° F to 104° F)

Temperatura de almacenamiento: -25° C to 70° C (-13° F to 158° F)

Humedad de operación: 5% to 90% no condensada

Humedad de almacenamiento: 5% to 95% no condensada

Altura: Superior a los 3,048 metros (10,000 pies)

Clasificación eléctrica:

Voltaje de entrada: 12V DC

Corriente de salida: 1A

Consumo de potencia: 10 Watts Máximo

Especificaciones del puerto de fibra óptica:

Transmisor de fibra óptica.

Model	Fiber Type <sup>1</sup>	Fiber Optic Diameter (microns)	Optical Wavelength	Launch Power (dBm) <sup>2</sup>		
				Min.	Avg.	Max.
AT-MC101XL	MMF	50/125	1310 nm	-22.5	-20.3	-14.0
AT-MC102XL	MMF	or 62.5/125	1310 nm	-19.0	-16.8	-14.0
AT-MC103XL	SMF	9/125	1310 nm	-15.0	-11.5	-8.0
AT-MC103LH	SMF	9/125	1310 nm	-5.0	-3.0	0.0
AT-MC104XL	SMF	9/125	1310 nm	-3.0	0	+3.0
AT-MC104LH <sup>3</sup>	SMF	9/125	1550 nm	-3.0	-0.5	+2.0

1. MMF = Fibra multimodo / SMF = Fibra monomodo

2. La potencia de transmisión es medida a 1m del transmisor.

<sup>3</sup> Tomado de: Allied Telesyn Installation Guide, 2005

Receptor de fibra óptica:

Model	Fiber Type <sup>1</sup>	Fiber Optic Diameter (microns)	Optical Wavelength	Receive Power (dBm)		
				Min.	Typical	Saturation
AT-MC101XL	MMF	50/125	1310 nm	-31.8	-34.5	-14.0
AT-MC102XL	MMF	or 62.5/125	1310 nm	-31.8	-34.5	-14.0
AT-MC103XL	SMF	9/125	1310 nm	-31.0	-31.0	-8.0
AT-MC103LH	SMF	9/125	1310 nm	-34.0	-36.0	-1.5
AT-MC104XL	SMF	9/125	1310 nm	-34.0	-36.0	-3.0
AT-MC104LH	SMF	9/125	1550 nm	-36.0	-36.0	-3.0

1. MMF = Fibra multimodo / SMF = Fibra monomodo

Enlace de datos por fibra óptica:

Model	Fiber Type <sup>1</sup>	Max. Power / Link Budget	Min. Distance Spec. <sup>2</sup>	Max. Distance Spec.
AT-MC101XL	50/125 MMF	9.3 dB	0	2 km (1.2 mi)
AT-MC102XL	or 62.5/125 MMF	12.8 dB	0	2 km (1.2 mi)
AT-MC103XL	9/125 SMF	16.0 dB	0	15 km (9.4 mi)
AT-MC103LH	9/125 SMF	29.0 dB	10 km (6.2 mi)	40 km (24.8 mi)
AT-MC104XL	9/125 SMF	30.0 dB	15 km (9.4 mi)	75 km (46.5 mi)
AT-MC104LH	9/125 SMF	33.0 dB	17 km (10.5 mi)	90 km (55.8 mi)

1. MMF = Fibra multimodo / SMF = Fibra monomodo

Especificaciones de las pérdidas de la fibra óptica (Benchmarks):

Fiber Type <sup>1</sup>	Fiber Optic Diameter (microns)	Optical Wavelength	Typical Loss Factor (dB/km)	Band-width (Mhz * km)
MMF	50/125	1310 nm	1.00	400
	62.5/125	1310 nm	1.00	500
SMF	9/125	1310 nm	0.40	N/A
		1550 nm	0.30	

1. MMF = Fibra multimodo / SMF = Fibra monomodo.