

UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA



**SOLUCIONES DE BANDA ANCHA PARA EL TERRITORIO SUR DE
LA HABANA**

Tesis presentada en opción al título académico de Master en Telemática

Maestría de Telemática

Autor: Ing. Luis Manuel Leicea Yins

Tutor: MSc. Javier Ferreira Herrera

Consultante: Dr. Félix Álvarez Paliza

Villa Clara

2012

PENSAMIENTO

“... Que la enseñanza científica vaya, como la savia en los árboles, de la raíz al tope de la educación pública...”

José Martí

Obras Completas, 8, 278.

DEDICATORIA

A la sólida retaguardia de mi vida, constituida por mi amada madre Julia, mi extinto querido papá Tito, mi esforzadísima esposa Rosa, mis queridísimas hijas Keila y Yunia, mi oportuno hermano Vando, y a la Iglesia de Dios en Ponce.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, a quien sirvo desde mi niñez, y por quien tengo vida,

A todas las personas que me ayudaron sinceramente a que este trabajo fuera una realidad, mi más sincera gratitud, especialmente al MSc. Alberto Javier García García, de quien obtuve una ayuda muy oportuna y profesional, a Rojitas que siempre me ayudó incondicionalmente, a Yovani, Sybel y Gretter por la corrección e impresión del trabajo, a los MSc. Javier Herrera y Javier Ferreira por tenderme manos de hermanos en un momento muy difícil.

A mis compañeros de trabajo del Departamento de Operaciones de la Red de la Dirección Territorial Sur de La Habana, especialmente a Boris, por su ayuda al frente del Departamento de Operaciones de la Red de la Dirección Territorial Sur de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba, S.A. (ETECSA), ocupando el lugar que me correspondía durante mis ausencias, en el afán de culminar con éxito mis estudios.

A mis capaces Profesores que me ayudaron en mi formación.

A mis compañeros de Maestría, con los cuales sostuve una relación muy hermosa.

A mi querida familia, sostén de mis días.

DECLARATORIA DE AUTOR

Autor: Ing. Luis Manuel Leicea Yins

Tesis presentada en opción al título de Master en Telemática

Universidad Central de las Villas“Marta Abreu”, 2011

DECLARACION: Declaro que la presente tesis constituye el resultado de mi propio trabajo y esfuerzo. Las ideas que han sido tomadas de otros documentos, han sido correctamente referenciadas mediante la bibliografía empleada, de acuerdo con la política internacional establecida sobre el plagio. Por todo ello autorizo al Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones, de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la *Universidad Central de las Villas “Marta Abreu”*, a utilizar el presente trabajo de tesis, con la adecuada referencia, en lo que esta Entidad decida pertinente.

DECLARATION: I declare that the present thesis constitutes the result of my own work and effort. The ideas taken from other documents have been correctly indexed by means of the used bibliography, according to the international established politics of plagiarism. For all this, it is authorized to the Department of Electronic and Telecommunications of the Electrical Engineering Ability of the Central University of Las Villas "Marta Abreu", in the province of Villa Clara, to use the present thesis work, with the adequate references, in whatever it is needed.

Ing. Luis Manuel Leicea Yins.

RESUMEN

El acceso a la información se ha constituido como uno de los objetivos más importantes a alcanzar por parte del hombre actual. Las tecnologías para lograr este objetivo proliferan continuamente, y cada país trata de penetrar en el mundo del conocimiento para dar respuesta a sus necesidades de informatización, tanto las reales como las inducidas, ya que el desarrollo socioeconómico de cada uno depende en gran medida de la aplicación de tales tecnologías.

En la presente Tesis se revisan las diferentes tecnologías de acceso a la red de datos y se seleccionan las propuestas de aplicación de las mismas sobre la red de acceso del Territorio Sur de La Habana, que pueda garantizar la implementación del Programa de Informatización de la Sociedad Cubana (INFOSOC) en dicha área. Se presenta la topología, diseño y equipamiento de red para dar respuesta a la informatización de los sectores identificados de la sociedad capitalina, teniendo en cuenta una mejora sustancial de su Densidad Telefónica (DT) de un 12,60 % a un 35 %, considerando en ello un incremento de las líneas de datos en el sector estatal y una apertura de las mismas en el sector residencial. Se realizan valoraciones de tráfico, cálculos de los enlaces y un ejercicio de simulación de parte de la red obtenida. Además se hace una valoración económica del proyecto para demostrar su viabilidad.

FRASES CLAVE

Banda Ancha, FTTC, GSM/GPRS/EDGE, Red de Acceso, WiMAX, XDSL

ABSTRACT

The access to the information has been constituted as one of the most important objectives to reach on the part of the current man. The technologies to achieve this objective proliferate continually, and each country tries to penetrate in the world of the knowledge to give an answer to their informatization necessities, as much the real ones as those induced, since the socioeconomic development of each one depends in great measure of the application of such technologies.

In the present Thesis, the different access technologies are revised and the proposals of application of the same over the access network of the South Territory of Havana that can guarantee the implementation of the Program of Informatization of the Cuban Society (INFOSOC) in this area are selected. It is presented the topology, design and equipment of network to give an answer to the informatization of the identified society sectors in the area, keeping in mind a substantial improvement of their Telephonic Density (TD) from 12,60 % to 35 %, considering the expansion of data lines in the State Sector, and the development of the same in the residential area. Besides, traffic valuations, calculations of the connections and an exercise of simulation of part of the obtained network are carried out. An economic valuation of the project is also made to demonstrate its viability.

INDEX TERMS

Access Network, Broadband, FTTC, GSM/GPRS/EDGE, WiMAX, XDSL

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. TECNOLOGÍAS DE ACCESO.....	7
1.1. Redes de Acceso Cableadas	8
1.1.1. Lazo digital de abonado.....	8
1.1.2. Redes híbridas de fibra y cable coaxial	11
1.1.3. Fibra óptica	11
1.1.4. Comunicaciones a través de la línea eléctrica.....	14
1.2. Redes de Acceso por Radio.....	14
1.2.1. Interoperabilidad mundial para acceso por microondas	15
1.2.2. Servicio de Distribución Multipunto	17
1.2.3. Redes de Acceso Móviles	18
1.2.4. Evolución a Largo Plazo.....	25
1.2.5. Redes de Acceso Satelitales	26
1.3. Redes de Acceso de Próxima Generación.....	27
1.4. Conclusiones Parciales.....	29
CAPÍTULO 2. SELECCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS PARA EL TERRITORIO SUR.....	31
2.1. Problemas actuales asociados al acceso, el transporte y los servicios	31
2.1.1. Saturación de la red de acceso	31
2.1.2. Déficit de capacidades en los Paneles de Distribución Telefónicos.....	32
2.1.3. Tarifas para los servicios	32
2.1.4. Gestión de servicios.....	33
2.1.5. Comercialización de servicios.....	33
2.1.6. Contratación de enlace dedicado a Internet	34
2.1.7. Backbone de datos.....	35

TABLA DE CONTENIDO

2.1.8. Precalificación de los pares de cobre.....	41
2.2. Tecnologías candidatas para el despliegue.....	42
2.3. Clientes potenciales a satisfacer	45
2.4. Estructuras de red de acuerdo a las tecnologías seleccionadas.....	47
2.5. Criterios de diseño para la red móvil	51
2.6. Propuesta de equipamiento para la red diseñada	52
2.7. Conclusiones Parciales.....	54
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES DE BANDA ANCHA.....	55
3.1. Preparación de la Red de Acceso actual.....	55
3.1.1. Situación Actual de las líneas para la Red de Acceso del territorio	56
3.1.2. Soluciones de red inmediatas (plazo: S+6 meses).....	57
3.1.3. Soluciones con Mejoramientos de red (Plazo: S+1 año)	58
3.1.4. Soluciones a través de Inversiones (Plazo de S+2 años)	58
3.1.5. Análisis económico para la precalificación de pares	58
3.1.6. Valoración económica total de la etapa	59
3.2. Red final propuesta para el Territorio Sur de La Habana.....	60
3.2.1. Tareas generales para la red de acceso del territorio	60
3.2.2. Resultados del cálculo de las líneas DSL	62
3.2.3. Resultados del cálculo del enlace óptico	64
3.2.4. Resultados del cálculo del enlace radio	65
3.3. Cálculo de la red WiMAX	72
3.3.1. Resultados del cálculo del enlace radio WiMAX.....	72
3.3.2. El software <i>Radio Mobile</i>	74
3.3.3. Simulación del enlace de radio	75
3.4. Evaluación económica de la propuesta	81

TABLA DE CONTENIDO

3.5. Conclusiones parciales	82
CONCLUSIONES	84
RECOMENDACIONES	86
REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍAS	87
GLOSARIO DE TÉRMINOS	90
ANEXOS.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Solución de red G.SHDSL. Fuente: [14]	9
Figura 1. 2. Topología de Red HFC. Fuente: [19]	11
Figura 1. 3. Esquema general de conexión de red de acceso FTTx. Fuente: ZTE.....	12
Figura 1. 4. Arquitectura de una red XPON genérica. Fuente: [21]	14
Figura 1. 5. Ejemplo de arquitectura de Red WiMAX. Fuente: DBS3900 WiMAX, Huawei Product Description	17
Figura 1. 6. Evolución móvil Mundial. Fuente: WiMAX Forum	18
Figura 1. 7. Arquitectura general de red GSM. Fuente: [30]	20
Figura 1. 8. Arquitectura funcional LTE/SAE. Fuente: [43].....	25
Figura 2. 1. Modelo referencial para el análisis de las redes del territorio	47
Figura 2. 2. Estructura de red para los servicios por cobre.....	48
Figura 2. 3. Estructura para la multiplicación de servicios usando un solo par de cobre mediante IAD	48
Figura 2. 4. Estructura para el uso de FTTC	49
Figura 2. 5. Estructura de la red WiMAX y su inserción con la red	50
Figura 2. 6. Servicio PPPoE ofrecido con WiMAX.....	50
Figura 3. 1. Mapa del Territorio Sur de La Habana, señalando sus Áreas Telefónicas Básicas y los Municipios que cubre. Fuente: Mapinfo y ETECSA.....	56
Figura 3. 2. Anillos de Fibra Óptica en La Habana. Fuente: VPDT (ETECSA)	62
Figura 3. 3. Apariencia del software en Visual Basic para el cálculo de tráfico.....	68
Figura 3. 4. Formato de trama VoIP	70
Figura 3. 5. Vista aérea de la demanda georeferenciada WiMAX propuesta. Fuente: Google Earth	74
Figura 3.7. Ubicación de los sitios. Fuente: Radio Mobile	76
Figura 3. 8. Definición de los parámetros fundamentales de la red. Fuente: Radio Mobile	77
Figura 3. 9. Definición de la topología de la red. Fuente: Radio Mobile	77
Figura 3. 10. Definición de los miembros de la red. Fuente: Radio Mobile.....	78
Figura 3. 11. Definición de las características principales del sistema. Fuente: Radio Mobile	78

Figura 3. 12. Cobertura radial de la estación Base LABIOFAM. Fuente: Radio Mobile.....	80
----------------------------------------------------------------------------------------	----

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Referencia de costos de diferentes tecnologías de acceso. Fuente: DSL Forum.....	12
Tabla 2. Estándares WiMAX. Fuente: WiMAX Forum.	15
Tabla 3. Comparación de tecnologías móviles.	19
Tabla 4. Situación de la Planta Exterior en el Territorio Sur. Fuente: Estudios del Departamento de Operaciones de la Red del territorio.	31
Tabla 5. Características del Cable Submarino Venezuela - Cuba - Jamaica. Fuente: ETECSA	35
Tabla 6. Criterios de selección de clientes potenciales.	46
Tabla 7. Equipamiento para el despliegue.	53
Tabla 8. Propuesta de despliegue de BA en el Territorio Sur de La Habana.....	55
Tabla 9. Datos demográficos y de Densidad Telefónica (DT) del Territorio Sur de La Habana (Mayo 2011). Fuente: Poder Popular de cada Municipio y ETECSA.	56
Tabla 10. Ocupación de los sitios tecnológicos del Territorio Sur de La Habana. Fuente: ETECSA, Cierre de Mayo 2011.....	57
Tabla 11. Soluciones de la 1ra. Etapa (inmediatas). Fuente: Estudios del Departamento de Operaciones de la Red de la DTSR.....	57
Tabla 12. Soluciones de 2da. Etapa (Mejoramientos de red). Fuente: Estudios del Departamento de Operaciones de la Red de la DTSR	58
Tabla 13. Soluciones de 3ra. Etapa (Inversiones). Fuente: Estudios del Departamento de Operaciones de la Red de la DTSR.....	58
Tabla 14. Comparación aproximada de la situación de redes antes y después de la Etapa de preparación de la Red de Acceso.	59
Tabla 15. Resumen económico final de la Etapa de preparación. Fuente: Estudios del Departamento de Operaciones de la Red.	60
Tabla 16. Estado deseado para la Red de acceso del Territorio Sur de la Habana.....	60
Tabla 17. Tipos de DSLAM disponibles. Fuente: Elaboración propia.	63
Tabla 18. Filosofía para la implementación radio. Fuente: Elaboración propia.....	65
Tabla 19. Parámetros para el cálculo de líneas GSM/GPRS/EDGE. Fuente: [25]	66
Tabla 20. Dimensionamiento móvil para el Sur de La Habana. Fuente: VPSM (ETECSA) y análisis propio.	67

TABLA DE CONTENIDO

Tabla 21. Cálculo de tráfico de enlaces FO-Cobre y WiMAX. Elaboración propia.	71
Tabla 22. Coordenadas de los centros de interés para el enlace WiMAX	73
Tabla 23. Parámetros de cobertura de la Radio base en LABIOFAM.....	81
Tabla 24. Comparación Cálculo numérico - Simulación del enlace WiMAX.	81
Tabla 25. Análisis económico final de la propuesta. Fuente: Elaboración propia.	82

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las telecomunicaciones a partir de la segunda mitad del siglo XX ha llevado al mundo a un proceso de globalización de la información, y se desarrolla cada día a un ritmo tan acelerado que actualmente hay más líneas que habitantes en el planeta, claro está, con una densidad muy mal distribuida.

El objetivo de esta desenfrenada carrera de proveedores de tecnologías, operadores de redes y convenios internacionales es ganar clientes y ofrecerles servicios de banda ancha (BA), que al final convierten al planeta tierra en algo tan pequeño, que hombres en extremos opuestos del planeta se comunican con un solo *clic* en la computadora, trabajando y viviendo conectados en cualquier parte y en cualquier momento.

Esto, que parecía imposible hace unos años, hoy es una realidad en gran parte de globo terráqueo. Los avances en la microelectrónica, en el procesamiento digital de señales y en el desarrollo de redes de telecomunicaciones han permitido crear dispositivos fijos y móviles de comunicación que soportan voz, datos y video a altas velocidades.

Este desarrollo se disparó cuando el mundo evolucionó de redes de conmutación de circuitos a paquetes. Equipos y redes de acceso, de transporte, capas de control, aplicación y servicios favorecen el proceso de integración y conducen a las llamadas Redes de Próxima Generación o NGN.

La razón fundamental por la cual estos servicios funcionan es que el medio de transmisión proporciona grandes caudales de ancho de banda, teniendo su máxima expresión en la fibra óptica y su capacidad de ser multiplicada mediante técnicas de Multiplexación en Longitud de Onda Densa (DWDM). Esto ha conducido irremediabilmente a la modernización de las redes de transporte que han pasado de jerarquías digitales pleosíncronas (PDH) a Jerarquías Digitales Síncronas (SDH) y siguen evolucionando hacia Redes Ópticas Síncronas con Recuperación Automática (ASON) y a Redes de Transporte de Paquetes (PTN). El medio físico es la materialización del sueño de la comunicación de BA.

El sector de acceso no es más que el segmento de red constituido por entidades tales como la planta de cables y facilidades de transmisión, que proporcionan las capacidades del portador de transporte requeridas para la prestación de servicios de telecomunicaciones entre una interfaz de nodo de servicio (SNI) y cada una de las interfaces de red de usuario (UNI) asociada (Recomendación G 902). Este sector ha sido históricamente el más complejo de los sectores de red porque las infraestructuras para llevar los servicios al cliente fueron históricamente concebidas solo para la voz, y hoy esto no es suficiente, ya que este necesita cada vez más satisfacer las necesidades de datos y video, de modo que hay que aprovechar los más de 800 millones de pares de cobre tendidos en todo el planeta para reutilizarlos y obtener ancho de banda para los servicios *triple play*¹. Las tecnologías xDSL (Líneas de Abonado Digital) fueron desarrolladas para optimizar las redes de cobre y continúan su expansión en velocidades y capacidades. Como esto es todavía insuficiente, las redes de radio entraron en acción desde inicios del siglo XX, y han pasado de sistemas punto a punto con línea de vista directa (LOS) a sistemas punto – multipunto sin línea de vista directa (NLOS), lo que permite dar BA con mayor eficiencia y seguridad. Aquí hay un rosario de tecnologías inalámbricas que lo permiten. Están las de banda estrecha, como la red celular con Multiplexación por División de Tiempo (TDM) que tiene su representante en la red GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles, 2G, Segunda Generación) que brinda servicios desde hace más de 20 años, y ha seguido su evolución pasando primero por las 2,5G o Servicio General de Radio por Paquetes (GPRS), después a las de 2,75G, con representación en la Razón Mejorada de Datos para la Evolución GSM (EDGE), y luego evolucionando hacia redes UMTS (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles, 3G, Tercera generación) y continúan hacia la cuarta generación, por medio del Acceso por microondas de interoperabilidad mundial (WiMAX) y la Evolución a Largo Plazo (LTE).

Cuba hace esfuerzos por mantener su población informatizada [1], y en ese sentido, en lo que a telecomunicaciones se refiere, ha tendido una red de fibra óptica nacional con sus varios anillos redundantes, ha digitalizado un importante por ciento de sus centrales telefónicas, ha invertido en la mejora de sus redes de telecomunicaciones y recientemente ha dado un gran paso, iniciando la llamada Red Cuba, con el tendido de 1 630 Km. de cable submarino de Fibra Óptica (FO) de una capacidad de 640 Gigabytes y a un costo de 70 Millones de dólares, como parte de los acuerdos derivados de la Alianza Bolivariana para los Pueblos de Nuestra América (ALBA), el cual vinculará a Venezuela, Cuba y Jamaica. Con este cable se prevé que la conectividad aumente, ya que la

¹ Servicios de voz, datos y video.

velocidad de transmisión de datos, imágenes y voz aumentará en 3 000 veces, y permita abaratar los costos de estas operaciones; además, hará más fácil el trabajo con video, sonido y archivos de gran tamaño, que son difíciles, si no imposibles, de cargar o enviar en la actualidad [2]. También reforzará la integración, ampliará el intercambio social y contribuirá a desarrollar las comunicaciones en la región [3].

Conjuntamente, el país lleva a cabo el Proceso de Informatización de la Sociedad Cubana (INFOSOC), definido como el proceso de utilización ordenada y masiva de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) para satisfacer las necesidades de información y conocimiento de todas las personas y esferas de la sociedad [1, 4, 5].

En el país se dispone de Internet desde 1996 mediante un enlace por satélite con una velocidad actual de 180 Mbps de salida y de 302 Mbps de entrada, pero el acceso es lento y caro. Es por ello que la cifra de internautas aún es escasa (1,7 cubanos de cada 100 puede navegar por la red). En este sentido, Cuba ha trazado la estrategia de priorizar la conexión a la red de manera organizada para garantizar un uso social de la misma, y que pueda ser utilizada adecuadamente por todos. Esta estrategia es reconocida por organismos internacionales como un modelo a seguir por los países subdesarrollados.

Pero esto no es suficiente. Para lograr que el proceso de INFOSOC sea una realidad, es necesario ofertar una mayor cantidad de facilidades de red a los clientes, y no basta con asegurar el transporte y la distribución de esos servicios, sino que, además, es vital garantizar un acceso eficiente, y para ello son necesarias redes de BA en ese segmento que soporten este desarrollo.

Ahora bien, en Cuba, la Red de Acceso, en un gran por ciento de cobre, se mantiene en deficientes condiciones técnicas que dificulta el acceso a servicios *triple play*. Se impone entonces la necesidad de preparar técnicamente esta red, implementando nuevas plataformas, para completar los enlaces con los contenidos multimedia hasta el abonado, que completen la informatización. La tecnología de acceso que se seleccione dependerá de una serie de factores como la forma en que se ofrece el acceso a Internet junto con otros servicios, el precio, los clientes a satisfacer, la oportunidad y la disponibilidad [6].

Este estado de cosas no escapa al Territorio Sur de La Habana, el más extenso de los territorios de la ciudad, atendiendo a clientes de seis municipios y con un no discreto desarrollo económico-social. Esto se debe fundamentalmente a que por muchos años se ha venido trabajando solo para garantizar la telefonía básica del territorio(voz), la cual requiere de soportes de transmisión con parámetros primarios y de transmisión no tan exigentes como los que debe observar para la

transmisión de datos y video [7]. Además, se observa un nivel muy importante de congestión y obsolescencia, ya que data en un 60 % de más de 25 años de trabajo, y no se han llevado a cabo en la región las inversiones necesarias que la pudieran haber modernizado, e incluso sustituido, ni se han practicado nuevas arquitecturas de red que sustenten plataformas nuevas para la implementación de la BA. Además, la insuficiencia de pares de cobre en la Planta Exterior y de líneas en las centrales de conmutación se está tornando muy evidente ante el creciente número de abonados y demanda de nuevas aplicaciones de los mismos.

Luego se puede concluir que el territorio en cuestión dispone de una Red de Acceso, que no garantiza la transmisión y recepción de servicios de BA que pueda llevarlo a los niveles de informatización que su población necesita de acuerdo al desarrollo que se requiere en el país en este importante campo.

Es pertinente entonces revisar los problemas asociados a las propuestas de implementación y desarrollo de las tecnologías de acceso, buscando previamente establecer un Diagnóstico Técnico de la Red de Acceso actual, y luego seleccionando las variantes tecnológicas necesarias que se ajusten a la solución del problema [8]. Surgen entonces cinco preguntas de partida para la investigación:

1. ¿Cuál es la situación técnica actual de la Red de Acceso del Territorio Sur de La Habana?
2. ¿Cuáles sectores de la población metropolitana pueden identificarse y que servicios necesitan para lograr su informatización?
3. De las tecnologías de acceso que se implementan en el mundo, ¿cuáles se avienen al Territorio bajo estudio que puedan resolver las demandas de los sectores identificados?
4. ¿Qué diseños de estas redes se pueden implementar en el Territorio bajo estudio?
5. ¿Cómo pudieran ser evaluadas las soluciones de red que se obtengan?

Se concluye entonces que la infraestructura de la Red de Acceso del Territorio Sur de La Habana no permite el requerido soporte de BA que asegure INFOSOC en el área, lo que constituye el problema científico a solucionar.

Para resolver este problema se plantean los siguientes objetivos de investigación para el trabajo a desarrollar:

General:

Proponer soluciones de Banda Ancha sobre la Red de Acceso del Territorio Sur de La Habana de tal manera que pueda asumir, en el período más corto posible, el inicio y posterior desarrollo del proceso de informatización de su sociedad.

Específicos:

1. Evaluar las diferentes tecnologías de acceso mediante la revisión de la bibliografía.
2. Diagnosticar la situación de la Red de Acceso del Territorio Sur de La Habana, a fin de determinar su grado de preparación para el despliegue de BA sobre ella.
3. Seleccionar entre las tecnologías de acceso existentes, las que garanticen el inicio y posterior desarrollo del proceso de informatización de la sociedad en el área de estudio.
4. Diseñar las soluciones de telecomunicaciones necesarias para la Red de Acceso que aseguren el despliegue posterior de Banda Ancha.
5. Evaluar parte de la propuesta obtenida a partir de la modelación.

Aportes del Trabajo

En el ámbito social, la investigación proporcionará una respuesta a los sujetos potenciales del Territorio Sur de La Habana que verán satisfechas sus necesidades de informatización, y constituirá una solución de referencia para otros territorios con similares características; en el teórico, permitirá lograr una mejor comprensión de las técnicas de acceso en cuanto a su despliegue práctico, y las ventajas que esto proporciona; y en el científico-cultural, el logro de la sistematización de la teoría sobre las tecnologías de acceso que se escojan e implementen hará que el proceso INFOSOC en el territorio se haga realidad y se pondrá a disposición de la población un enriquecimiento científico-cultural sin precedente.

Métodos de trabajo

Los métodos científicos sobre los cuales se desarrolla la investigación son el histórico-lógico el cual permite contextualizar la insuficiencia de la Red de Acceso del territorio bajo estudio para soportar el proceso de INFOSOC, sus antecedentes y desarrollo, el analítico-sintético ya que es necesario trabajar cada componente del diseño y sus relaciones, y luego lograr la integración de las partes constitutivas del objeto de investigación para llegar al diseño de la red de acceso, el inductivo-deductivo a través del cual se logra establecer generalidades en cuanto al diseño de la red a partir de las experiencias anteriores, y la modelación mediante la cual se crean abstracciones con vistas a explicar la realidad. El modelo se constituye sustituto del objeto de investigación, en el presente

caso el enlace de la Red WiMAX que se obtendrá.

Estructura del trabajo

El trabajo consta de la Introducción, tres Capítulos, Conclusiones, Recomendaciones, Bibliografía, Glosario de siglas y términos, y cinco Anexos.

El Capítulo 1 expone el estado actual de las Tecnologías de Acceso disponibles, que permitan seleccionar posteriormente opciones para lograr el éxito del proceso de informatización en el Territorio Sur de La Habana.

En el Capítulo 2 se exponen brevemente los problemas actuales existentes en las diferentes capas de red (acceso, transporte y servicios) a enfrentar por la Operadora cubana ETECSA, se describen las tecnologías consideradas más apropiadas para el despliegue, los criterios de diseño correspondientes para la satisfacción de los tipos de clientes que se identifican y el equipamiento propuesto para la consideración de tales criterios.

En el Capítulo 3 se presentan las soluciones de telecomunicaciones necesarias que preparen a la Red de Acceso del Territorio Sur de La Habana como soporte al despliegue de Banda Ancha. Se realizan los cálculos necesarios de los enlaces y de tráfico para la tecnologías seleccionadas y se valida la propuesta a través de un ejercicio de simulación de parte de la red obtenida. También se reflejan los resultados de un cálculo económico y se analiza la factibilidad del proyecto.

Los Anexos exponen información relativa al algoritmo para la pre-calificación de los pares de cobre para ofertar BA, las principales características de la Red de Acceso del Territorio Sur de La Habana, cálculos de elementos de la Etapa de Preparación para el despliegue, datos del diseño de la red final, cálculos de enlaces y características del posible equipamiento a usar en el proyecto. Finalmente incluye un análisis económico del proyecto.

CAPÍTULO 1. TECNOLOGÍAS DE ACCESO

El concepto de Banda Ancha (BA) es algo sobre el cual no hay acuerdo entre las diferentes organizaciones de telecomunicaciones, ya que evoluciona a medida que lo hacen el tiempo y la tecnología [9].

Por ejemplo, la Corporación Internacional para Teléfono y Telégrafo, ITT, define BA como *la capacidad de soportar un ancho de banda bidireccional al consumidor mayor de 128 Kbps, el cual es el ancho de banda de una línea RDSI (Red Digital de Servicios Integrados)*” [6]. Si bien es cierto que en los países desarrollados, o con altos cubrimientos de Internet, cuando se habla de BA se refiere a velocidades superiores a los 128 Kbps, y en algunos casos superiores a 512 Kbps, en el caso cubano y para efectos del presente trabajo, la BA se refiere a cualquier servicio que permita el acceso al *backbone*² de datos con velocidades superiores a las ofrecidas a través de una línea convencional, o sea el acceso a Internet y a los servicios relacionados a velocidades más rápidas que las que ofrecen los módems tradicionales para la Red Telefónica Conmutada (RTC, 56 Kbps) o Red Digital de Servicios Integrados, RDSI (64 o 128 Kbps) lo cual no desconoce que el objetivo final es procurar conexiones superiores. Muchos proveedores de servicios (ISP), y aún muchos gobiernos, siguen la convención de comercializar tasas de 256 Kbps, e incluso de 128 Kbps como de BA[10]. Otros estudios ya empiezan a cuestionar este escenario y abogan por velocidades por encima de 10 Mbps, que sean transparentes al usuario, pues éste debe acceder, sin problemas, a los servicios que tienen asignados a través de esa red. Muchos hablan ya de tasas de 50 y hasta 100 Mbps para Redes de Acceso de Próxima Generación (NGA) [11].

Las comunicaciones de BA consisten en las tecnologías y el equipamiento adecuado para ofrecer servicios *triple play*, permitiendo a los usuarios altas velocidades de comunicación, conexiones permanentes y transmisión cada vez con más bajos niveles de atenuación. Gracias a la convergencia tecnológica de las aplicaciones *triple play* por Internet, y últimamente, movilidad, cada día la demanda de ancho de banda en el lazo de abonado o usuario final se incrementa, por ende se trabaja en una continua búsqueda para crear y mejorar las técnicas existentes en el acceso a la red de datos, que apuestan por tales presupuestos.

Las Tecnologías de Acceso se agrupan en función del soporte físico que emplean. Así se pueden clasificar fundamentalmente en Tecnologías Cableadas y de Radio[12]. A continuación se realiza

² Infraestructura troncal o dorsal de conexión principal de una red constituida por los enlaces de mayor velocidad de transmisión dentro de la misma.

un recorrido que ahondará en las tecnologías con posible aplicación en Cuba y del interés del presente trabajo.

1.1. Redes de Acceso Cableadas

Las redes de acceso cableadas son aquellas que utilizan el medio metálico como soporte de transmisión. Se hará un recorrido breve por aquellas que son las más utilizadas en el mercado, haciendo hincapié en las que aplican en Cuba.

1.1.1. Lazo digital de abonado

Bajo las siglas xDSL, probablemente la tendencia principal de las tecnologías de acceso de BA durante 5 años más [13], se agrupan un conjunto de tecnologías que, utilizando códigos de línea y técnicas de modulación adecuadas[7], permiten transmitir regímenes de datos de alta velocidad sobre el par trenzado telefónico.

La variante Línea de Abonado Digital de alta tasa sobre un solo par (G. SHDSL), la de mejores prestaciones simétricas de xDSL hasta el momento, fue el resultado del trabajo del DSL Forum y ATM Forum, con la firma *Bell* a la cabeza de las investigaciones. La letra G indica su estandarización, que se produjo en febrero del 2001 con las normas G.991.2 y G.994.1 por el Instituto Nacional Estadounidense de Estándares, ANSI y el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones, ETSI. Con el calibre más común, 0,4 mm, alcanza 10,2; 5,4; y 3,8 Km, desarrollando tasas de 64, 1 024 y 2 304 Kbps respectivamente.

G. SHDSL ofrece un conjunto de características muy ricas por ejemplo, tasas adaptables y mayores distancias, que cualquier estándar actual. Esta técnica ofrece anchos de bandas simétricos comprendidos entre 192 Kbps y 2,3 Mbps, con un 30% más de longitud del cable que su predecesora Línea de Abonado Digital sobre un solo par (SDSL) y presenta cierta compatibilidad con otras variantes DSL.

Con esta tecnología se pueden integrar en un solo equipo las funcionalidades necesarias para implementar una red y ofrecer servicios de voz, datos y video, con la debida calidad de servicio. Por ello, es efectiva para el tráfico entre empresas.

En la Figura 1.1 se muestra un ejemplo de esta modalidad, la solución TDM, *Dynamic 3000*, la cual ofrece diferentes formas de conectar a los clientes con servicio DSL a altas velocidades, bien con el G.703, con un puerto multiprotocolo con Sistema de software para Computación Distribuida, DCE, o también con un puerto *Ethernet*.

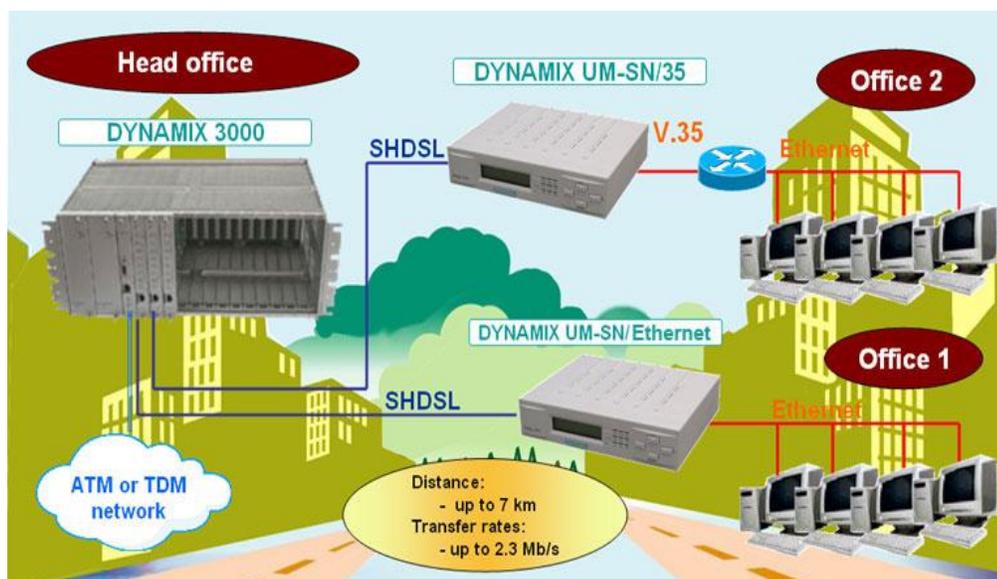


Figura 1.1. Solución de red G.SHDSL. Fuente: [14]

Esta calidad se garantiza ya que el tráfico se va encapsulando en los protocolos correspondientes para que la información sea transportada en paquetes con protocolo Internet (IP), pero la capa de enlace que soporta a IP es ATM, entre los dos módems G. SHDSL, (o entre uno y el Multiplexor de acceso para DSL, DSLAM, ya que el Forum ATM y DSL se unieron para desarrollar juntos este método de transporte, de modo que al clasificar el tráfico, este se ubica en cada una de las diferentes capas de adaptación ATM, denominadas (AAL), por ejemplo: Voz o Video van en AAL 1 ó 2 mientras que los datos viajan en AAL5.

La atractiva modalidad DSL Asimétrico, ADSL, es básicamente compartir el espectro disponible en el par telefónico con el servicio telefónico (o con el servicio RDSI), con el objetivo de cubrir el área de servicio de la central y permitiendo el acceso simultáneo y permanente a la red telefónica y a Internet, logrando considerables tasas de bit. Esto se logra mediante el empleo de un divisor o filtro separador de bandas en el local del abonado[14] [15].

En el lado de la Central de Conmutación se ha de colocar un DSLAM, chasis que agrupa gran número de tarjetas, cada una de las cuales consta de varios módems ADSL en la Central, ATU-C, y que además concentra el tráfico de todos los enlaces ADSL hacia una red la Red de Área Ampla (WAN). Tiene las desventajas del limitado alcance y la obligada calidad del par de cobre.

Son de especial interés las modalidades ADSL2 y 2+, las cuáles ofrecen características mejoradas respecto a ADSL en cuanto a su operación en aspectos tales como alcance, velocidad, razón de adaptación, diagnósticos y ahorro de energía, entre otras, según normas G.992.3 y G.992.5,

respectivamente. Se verifican 12 y 24 Mbps de bajada y 1,5 y 12 Mbps de subida, con 5,5 Km de alcance teórico, además que ADSL2+ es la que puede ofrecer servicios *triple play* con mejores prestaciones[6]. Además existen otras líneas de evolución previstas, tales como ADSL2++ o ADSL4) que incrementa la tasa de datos hasta 52 Mbps en bajada, extendiendo la frecuencia hasta 3,75 MHz, eso sí, con alcances menores.

En la modalidad de la combinación de fibra óptica con cobre (VDSL) estandarizada con ETSI- TS 102 080, UIT. G.993 [16] , las zonas geográficas cubiertas son mucho menores que en ADSL. Por este motivo, esta tecnología va acompañada de un amplio despliegue de FO hasta los nodos, desde los cuáles se alcanza al abonado mediante tiradas de cobre muy cortas. La implementación VDSL2, llamada de largo alcance (hasta 1 Km) posibilita una mayor tasa en subida 6-26 Mbps, y 12-52 Mbps en bajada, respecto a VDSL pura [17] [18]. VDSL2 es la más rápida de las tecnologías xDSL, usando modulaciones de amplitud-fase sin portadora (CAP), Multitono Discreta (DMT) y Multitono Discreta Wavelet (DWMT) (ver Anexo 8).

Actualmente en aras de obtener mayores tasas sobre cobre se estudia la tecnología llamada DSL en Modo Fantasma, la cual debe sustituir las conexiones VDSL aumentando sus velocidades. Se basa principalmente en la transmisión de una señal digital a través de dos cables trenzados con modo diferencial (uno positivo y otro negativo), contiguo a otro par trenzado. Como existe un modo diferencial entre ambos pares trenzados, se obtiene una tercera señal “fantasma” en donde su mitad negativa se envía por un par trenzado (que a su vez está llevando una señal convencional), y la mitad positiva es enviada por el otro par trenzado. El voltaje diferencial entre cada par se le llama “modo fantasma”. Con el fin de transmitir y recibir las señales, se utilizan procesadores analógicos para separar las tres (dos reales y una fantasma).

En Cuba se están implementando Nodos de Acceso Multiservicio (MSAN o gabinetes integrales) de varias firmas, ALCATEL, HUAWEI y ERICSSON, los cuales incluyen tarjetas de datos para el tráfico ADSL. Su utilización permite la recuperación rápida de la inversión por los posibles servicios potenciales que se pueden comercializar, además de ser usadas sobre la red de acceso de cobre que ya está totalmente amortizada, lo que trae un ahorro en implementación de nuevas infraestructuras. Estas tecnologías constituyen la mejor aproximación para la integración de voz, datos y video sobre el mismo medio físico y sin recurrir a grandes inversiones [7].

1.1.2. Redes híbridas de fibra y cable coaxial

Las redes híbridas Fibra-Coaxial (HFC) son una evolución de las redes de distribución de televisión por cable coaxial, introduciendo transmisión por fibra óptica (FO) en la red de acceso, rebajando las perturbaciones, principalmente las coherentes, introducidas por las cadenas de amplificadores-repetidores. En la Figura 1.2 se muestra un diagrama de referencia.

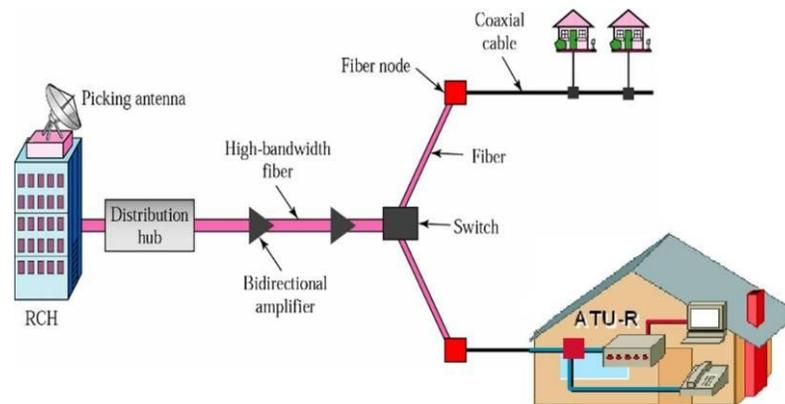


Figura 1. 2. Topología de Red HFC. Fuente: [19]

Además de poner en disposición un mayor ancho de banda para la distribución de la televisión (TV), las redes HFC han hecho posible la transmisión de información desde el usuario hacia la cabecera. Esto se consigue por división en frecuencia, convirtiendo los amplificadores del coaxial en bidireccionales, dedicando la parte baja del espectro (de 5 a 50 MHz aproximadamente) en transmisión en sentido ascendente (de usuario a cabecera). Esto permite desplegar redes de telecomunicaciones multiservicio (telefonía, datos, TV) efectivas.

Debido a lo costoso que resultaría en estos momentos la adopción de redes de FO, junto a tiradas cortas de cable coaxial para llegar al cliente, esta tecnología no es económica para el país, aunque dadas las prestaciones que exhibe, como es, por ejemplo su gran ancho de banda, pudiera pensarse en su implementación en etapas futuras, cuando lógicamente, los clientes de BA aumenten.

1.1.3. Fibra óptica

La fibra óptica se ha convertido en el medio de transmisión más avanzado y el único capaz de satisfacer los revolucionarios servicios de las NGN. Las ventajas de la FO son muchas: mayores anchos de banda, mayores distancias desde la central hasta el abonado, inexistencia de interferencias electromagnéticas, mayor seguridad, mayor facilidad de instalación, etc. Además, la reducción de repetidores y otros dispositivos supondrán menores inversiones iniciales, menor consumo eléctrico, menor espacio y menos puntos de fallo, pero aún en Cuba la implementación de

accesos a fibra no están aún disponibles por los desembolsos que habría que hacer en la infraestructura.

Dentro de la familia de tecnologías FTTX se agrupan una serie de técnicas de acceso basadas en el empleo de FO hasta las proximidades del abonado. Los miembros de esta familia se diferencian fundamentalmente en el grado de proximidad alcanzado (ver Figura 1.3). Tales son: hasta la acera (FTTC), hasta el nodo (FTTN), hasta el edificio (FTTB), o hasta la casa (FTTH), entre otras [18].

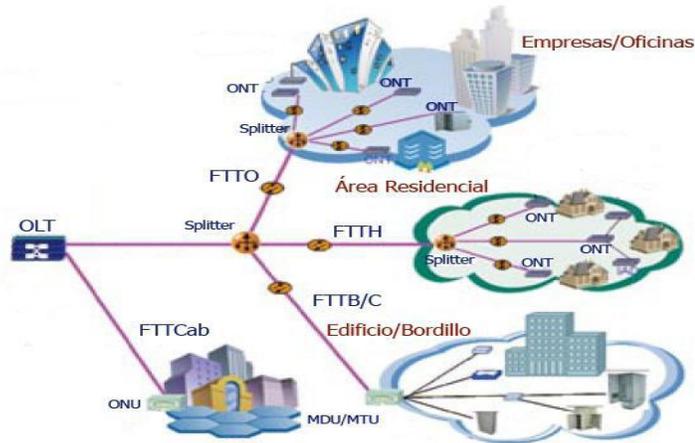


Figura 1. 3. Esquema general de conexión de red de acceso FTTx. Fuente: ZTE

Estas infraestructuras de acceso de alta capacidad, permiten ofrecer servicios de BA a los usuarios tales como video bajo demanda (VoD) o acceso de alta velocidad a Internet. Respecto a las tecnologías sobre cobre ofrecen mejores tasas de transmisión, baja inmunidad al ruido, mayor alcance, mejor QoS (Calidad de Servicio) y mayor seguridad de la red, aunque con altos costos de instalación.

Tabla 1. Referencia de costos de diferentes tecnologías de acceso. Fuente: DSL Forum

ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS	COSTO APROXIMADO (USD/Km)	TIEMPO APROXIMADO DE INSTALACIÓN
Fibra Óptica	30 000,00	Meses
Cable Coaxial	15 000,00	Meses
Cables de cobre con repetidores de la señal	8 000,00	Semanas
xDSL	800,00	Horas

Sobre este particular se puede afirmar que se están llevando a cabo proyectos en Cuba, sobre todo en lugares de baja densidad telefónica, a través de MSAN, usando FTTC. Se llega hasta estos dispositivos con la FO, y se utiliza el par de cobre para el acceso al cliente. Con ello se pueden lograr tasas de 51,84 Mbps de bajada y 1,62 Mbps de subida, similar a VDSL [6].

El despliegue de la fibra hasta la casa del abonado, FTTH, también conocida como fibra directa hasta el hogar es un objetivo realmente ambicioso por lo caro que resultaría en los momentos actuales, pero factible. Se logra a través de redes ópticas pasivas (PON), teniendo un intervalo de servicios entre 1,5 Mbps y 155 Mbps, y un alcance de hasta 20 Km. De gran interés entre estas tecnologías es la Red óptica pasiva con capacidad de Gigabit (GPON), la cual ofrece soporte global multiservicio: voz, *Ethernet* 10/100, ATM, Cobertura hasta 20 Km, seguridad a nivel de protocolo, soporte de tasas de transferencia, y velocidades de 622 Mbps y 1,25 Gbps, simétrico y 2,5 Gbps (Bajada) / 1,25 Gbps (Subida), asimétrico [20].

Básicamente, GPON está prevista para velocidades de transmisiones mayores o iguales a 622 Mbps. Sin embargo, en el caso de FTTH o FTTC con línea de abonado digital asimétrica, no es necesaria alta velocidad en sentido ascendente.

La Figura 1.4 muestra la arquitectura genérica del sistema Xpon, que no posee elemento activo entre la Central y el local del cliente. No obstante, en la Central, la OLT tiene el equipo terminal de voz y datos digitales que incluye un transmisor láser de 1490 nm y el receptor detector de 1310 nm. El equipo terminal de video analógico (video RF) que usa un láser transmisor de 1550 nm y un amplificador de la señal de video. En el local del subscriptor, la ONT tiene una fuente de alimentación y un detector transmisor de 1310 nm, un receptor láser de 1490 nm y un receptor láser de 1550 nm. La arquitectura de la red pasiva óptica Gigabit, GPON, consta de un Terminal de Línea Óptica (OLT), varias Unidades de Red Óptica (ONU), un divisor óptico y fibras. La fibra óptica conectada a la OLT se ramifica en el divisor óptico en hasta 64 fibras, conectándose dichas fibras a las ONU. En la capa de Transmisión Convergente de GPON encargada de transmitir/recibir las celdas hacia o desde la capa dependiente del medio físico a partir de un flujo de bits o celdas constante, se define que el alcance máximo es de 60 km, mientras que la máxima diferencia de distancia de fibra entre la ONU más lejana y la más cercana debe ser 20 km. Esta diferencia está limitada para que el tamaño de la ventana de determinación de distancia no sea superior a lo permitido por la QoS [18]. Los divisores ópticos, que permiten la conexión punto a multipunto y que las señales ópticas de una fibra puedan ser distribuidas a otras fibras, implican una pérdida importante de potencia en relación con los restantes componentes de la red. Pueden ubicarse con

relaciones de 1:2, 1:4, 1:16, 1:32, 1:64 y actualmente hasta 1:128 y combinaciones de ellos (cascada) en cabinas exteriores o en cajas de empalmes situadas en postes o registros.

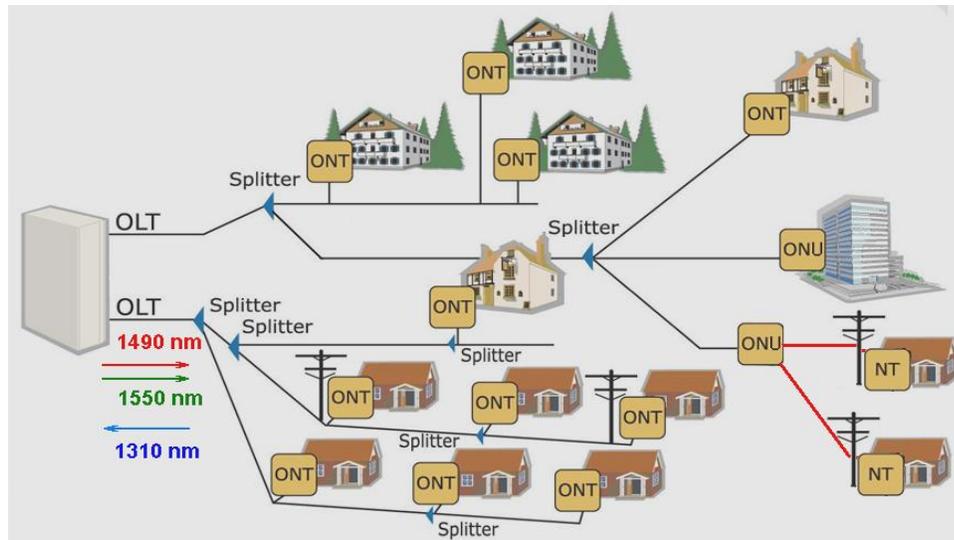


Figura 1. 4. Arquitectura de una red XPON genérica. Fuente: [21]

1.1.4. Comunicaciones a través de la línea eléctrica

Las comunicaciones a través de las líneas eléctricas, PLC, es el servicio que se proporciona a través de la red existente de distribución de energía eléctrica de bajo y medio voltaje. Las velocidades de transmisión de son comparables a las de la DSL, logrando tasas hasta de 135 Mbps, pero con alcance de 350 m repetidor-usuario. Puede llegar a las casas usando las conexiones y salidas eléctricas existentes [6].

La PLC es una tecnología emergente, actualmente disponible en áreas muy limitadas. Tiene inconvenientes como las pérdidas en línea, la sensibilidad a las interferencias y la baja velocidad. Observa un potencial significativo ya que las líneas eléctricas están instaladas profusamente, aliviando la necesidad de construir nuevas instalaciones de BA para cada consumidor. En Cuba no existe historia abundante sobre la implementación de esta tecnología, a pesar de que se han hecho estudios al respecto. Solo se han instalado en escuelas del Ministerio de Educación (MINED). En los predios de la Dirección Territorial Granma de ETECSA aún existe una red en uso.

1.2. Redes de Acceso por Radio

Las redes de acceso por radio son aquellas que utilizan el espacio abierto como soporte de transmisión. En estos momentos están siendo muy consideradas por las Operadoras de

Telecomunicaciones, toda vez que su rapidez de implementación y acceso a sitios de difícil acceso son ventajas a considerar.

1.2.1. Interoperabilidad mundial para acceso por microondas

Las infraestructuras de telecomunicaciones terrestres presentan dificultades técnicas y económicas para facilitar un servicio universal al cliente, por lo que hasta que se llegue a la situación de un despliegue considerable de la FO, hay que optar por soluciones intermedias inalámbricas como el Acceso por Microondas de Interoperabilidad Mundial, WiMAX. WiMAX es una tecnología muy promisoría en el país, y de hecho ya la firma china HUAWEI ha realizado pruebas de campo, demostrando su capacidad adicional al cable y la FO para el despliegue de accesos y servicios que integren y enriquezcan la cartera de soluciones técnicas de acceso de ETECSA, y contribuya a elevar los índices de penetración de los servicios de voz y datos del país. Funciona disponiendo una estación base con una antena que permite y controla el acceso inalámbrico de los equipos a la red, dentro de un área limitada de servicio, cuya cobertura depende principalmente de las condiciones topográficas y topológicas del área a cubrir [22].

Tabla 2. Estándares WiMAX. Fuente: WiMAX Forum.

Características	802.16	802.16a	802.16e
Espectro	10 - 66 GHz	< 11 GHz	< 6 GHz
Funcionamiento	LOS	NLOS	NLOS
Tasa de bits	32 - 134 Mbps con canales de 28 MHz	Hasta 75 Mbps con canales de 20 MHz	Hasta 15 Mbps con canales de 5 MHz
Modulación	QPSK, 16QAM y 64 QAM	OFDM con 256 subportadoras QPSK, 16QAM, 64QAM	Igual que 802.16a
Movilidad	Sistema fijo	Sistema fijo	Movilidad pedestre
Ancho de Banda	20, 25 y 28 MHz	Seleccionables entre 1,25 y 20 MHz	Igual que 802.16a con los canales de subida para ahorrar potencia
Radio típico de celda	2 - 5 Km. aprox.	5 - 10 Km. aprox. (50 Km. máx.)	2 - 5 Km. aprox.

NOTA: Se han trabajado también los estándares 802.16 f y g para BA a velocidades vehiculares, con frecuencias de espectro entre 2 y 6 GHz, capacidad de ser gestionada y con una Base de gestión de Datos (MIB³) [23].

WiMAX es un estándar de comunicación de radio de última generación, y especialmente diseñado para proveer accesos de datos, voz sobre IP (VoIP), video y acceso a Internet vía radio de alta capacidad a distancias hasta 70 kilómetros y con tasas de transmisión de hasta 70 Mbps, NLOS y 124 Mbps, LOS [6].

La instalación al usuario es rápida y económica. Con estas características técnicas, su fácil despliegue y bajo costo, WiMAX se posiciona como serio competidor respecto a otras tecnologías de BA móvil (al menos en entornos urbanos), como por ejemplo las de Acceso descendente de paquetes a alta velocidad/Acceso ascendente de paquetes a alta velocidad (HSDPA/HSUPA). Éstas, dentro de las conocidas como tecnologías 3,5G, ofrecen actualmente menos ancho de banda que los estándares previstos de WiMAX Móvil, estándar IEEE 802.16e, pero con una mayor cobertura, ya que tienen su origen en la evolución de las redes celulares clásicas, desplegadas globalmente. Para esta versión de WiMAX han aparecido nuevos tipos de antenas, conocidas como antenas “inteligentes”, las cuales adaptan sus lóbulos de radiación a fin de adecuarse a un tipo determinado de tráfico en entornos difíciles. Estas antenas utilizan sistemas de codificación adaptativa y codificación avanzada para el control de errores. Usa la Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal (OFDM), la cual permite que no exista interferencia entre las portadoras, que son estadísticamente independientes unas de otras [23].

Se debe tener en cuenta que aún es una tecnología en pleno desarrollo; sobre todo en lo que se refiere al estándar móvil. Actualmente se pueden hallar equipos comerciales operando según los estándares del WiMAX Fijo (principalmente utilizados para realizar conexiones punto a punto, para conectar estaciones base con la red troncal en redes celulares). Todavía será necesario esperar un poco para que se asienten los primeros modelos con soporte a movilidad y se implanten las primeras redes de acceso que ofrezcan servicios a los usuarios finales. Incluso el propio estándar se encuentra en evolución. Ya está disponible la versión IEEE 802.16m, que prevé velocidades de conexión de hasta 100 Mbps para aplicaciones móviles y de hasta 1 Gbps en fijas [24].

³ Base de datos que contiene información jerárquica, estructurada en forma de árbol, de todos los dispositivos gestionados en la red.

En la Figura 1.5 se muestra la arquitectura de una red WiMAX, mostrando sus principales elementos, donde la Red de Servicio de Acceso (ASN) se compone de la estación base (BS) y la Pasarela a la Red de Servicio de acceso (ASN-GW). El ASN permite a los equipos de usuario (UE) acceder a la Red de Servicios de Control, CSN, de los diferentes proveedores de servicios de red (NSP) y maneja la interfaz aire IEEE 802.16. El ASN-GW es una NE lógica que realiza funciones de control. Se comunica con su propia NE, como el BS, y también se comunica con la consola NE en el CSN, formado por el enrutador, el agente/servidor AAA, y la pasarela de Internet. También realiza enrutamiento de datos y modulación entre portadoras.

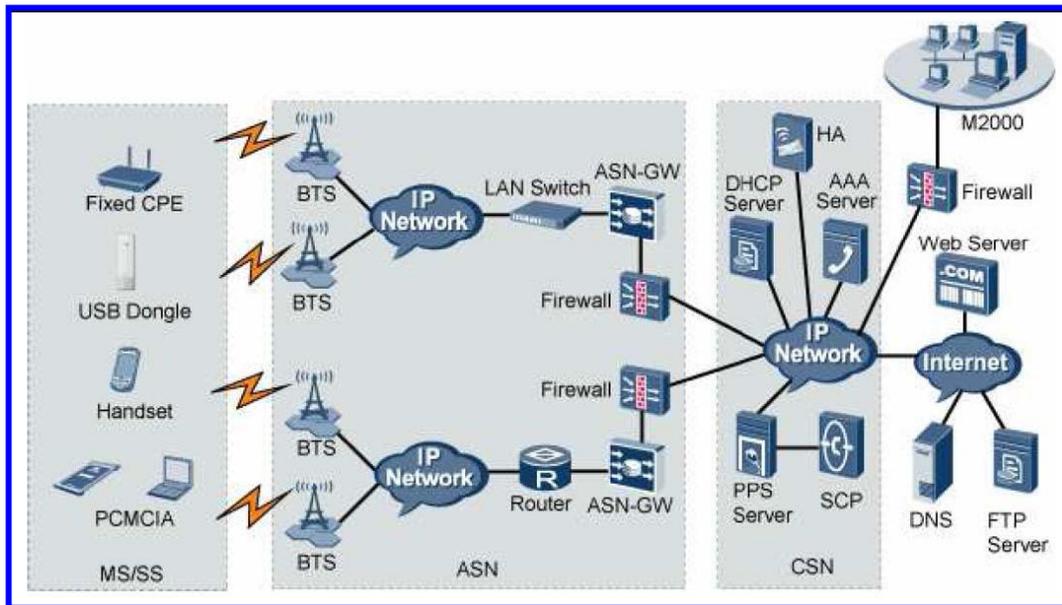


Figura 1. 5. Ejemplo de arquitectura de Red WiMAX. Fuente: DBS3900 WiMAX, Huawei Product Description

1.2.2. Servicio de Distribución Multipunto

El Servicio de Distribución Multipunto Multicanal o MMDS y de Distribución Multipunto Local, LMDS, fueron usados para el establecimiento de una red de BA de uso general o, más comúnmente, como método alternativo de recepción de programación de televisión por cable. El MMDS utiliza frecuencias microondas con rangos de 2 GHz a 3 GHz en gama, mientras que el LMDS de 26 a 28 GHz, y las distancias alcanzables eran menores (3-4 km frente a los 15-20 Km de MMDS)[6].

Estos sistemas tuvieron un desarrollo importante en los años 90, pero no llegaron a las cifras de mercado esperadas originalmente, por lo que la televisión por cable y la televisión multicanal por satélite se impusieron. No responden a un estándar específico, sino que está basado generalmente en

soluciones propietarias de cada fabricante, lo que constituye una fuerte desventaja, en el caso de implementación en Cuba.

1.2.3. Redes de Acceso Móviles

Son los sistemas de telefonía móvil para transmitir datos, los cuales se han clasificado en diferentes generaciones de acuerdo al grado de evolución técnica de los mismos, así se tienen desde la primera generación analógica basada en el Acceso por Multiplexación por División en Tiempo (TDMA), solo para servicios de voz, luego la segunda generación (2G), o GSM , pasando por la 2,5, o GPRS ; la 2,75 con EDGE; la 3G, UMTS y finalmente arribando a la 3,9G, con LTE y más adelante con la 4G[25]. La telefonía móvil ha tenido una alta importancia en la solución de los problemas de telecomunicaciones en las áreas donde no llega el cable o la FO, sobre todo en ambientes rurales, o de difícil acceso. Esto se refleja en una penetración mucho mayor que la telefonía fija en dichas áreas. En gran medida la telefonía móvil ha sustituido al servicio de teléfonos públicos. En la Figura 1.6 se muestra una evolución mundial de estas redes [26].

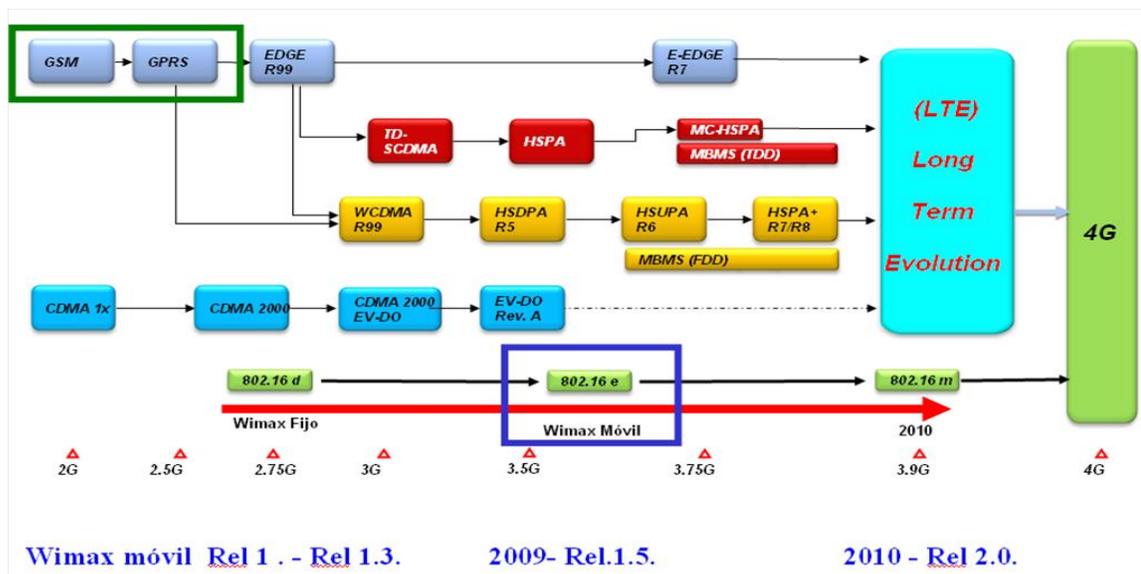


Figura 1. 6. Evolución móvil Mundial. Fuente: WiMAX Forum

La primera Generación de móviles fue analógica, con TDMA y sólo servicios de voz. A partir de ahí se desarrollaron las generaciones que se muestran en la Tabla 3.

GSM se basa en la conmutación de circuitos, empleándose durante las comunicaciones dos canales de datos entre el móvil y la red, los que quedan reservados mientras dura la comunicación (uno para el envío y otro para la recepción de la información), aunque no se esté intercambiando información [27].

Tabla 3. Comparación de tecnologías móviles.

Generación	Tecnología	Estándar	Modulación	Bajada	Subida
2	GSM	Asociación GSM	TDMA, CDMA	9.6 Kbps	9.6 Kbps
2.5	GPRS	3GPP, Release ⁴ 99	TDMA, CDMA	50 Kbps	10 Kbps
3	UMTS CDMA 2000 HSPA HSDPA	Release 5 y 6	WCDMA	384 Kbps 2-3 Mbps	84 Kbps 1-2 Mbps
3.5	HSDPA+	Release 7	WCDMA	10 Mbps	7 Mbps
4	LTE	Release 8	OFDMA	30 Mbps	15 Mbps

GSM está completamente definido para la comunicación mediante teléfonos móviles que incorporan tecnología digital, por lo que un cliente GSM puede conectarse a través de su teléfono con su computadora, y puede enviar y recibir mensajes, faxes, navegar por Internet, acceso seguro a LAN, y envío y recepción de mensajes cortos (SMS), aunque es una conexión lenta y de alto costo por ser un sistema orientado a conexión, limitado ancho de banda y simetría en el enlace.

Los canales de voz GSM permiten velocidades bajas (9,6 a 14,4 Kbps). Esto sumado a las altas tarifas por minuto, hacen que GSM no sea aplicable para conexión Internet banda ancha. El estándar es el más extendido mundialmente, goza de gran ubicuidad por su *roaming*⁵ y facilidad de cambio de Operador, con solo cambiar el Módulo de Identidad del Suscriptor con la red, o SIM, así como disponer de un único número para emergencia, el 112. Usa diferentes bandas de frecuencias: GSM 850, 900, 1 800 y 1 900, siendo la de 900 MHz, la empleada en Cuba. Emplea Acceso Múltiple por División de Espacio, SDMA, y alcanza un radio de cobertura de celda de varios

⁴ Documentos relacionados a clases de redes, tipos de conmutación y servicios a ser prestados.

⁵ Capacidad de itinerancia o movimiento de un equipo desde una zona de cobertura a otra.

cientos de m en ambientes urbanos y hasta 35 Km en rurales, con una potencia que no sobrepasa los 320 w [27].

El estándar prevé señalización para registro inicial al encender el móvil, salida de red al apagarlo, canal de comunicación si entra o sale una llamada, información de llamada entrante. Otros sistemas como el Centro de identificación de Usuario (AUC), el Registro de Identificación del Usuario, EIR y el Centro de Servicios de Mensajes cortos, SMSC; además gestión, prueba, tarificación, etc.

La arquitectura de red GSM se muestra en la **Error! Reference source not found.**, donde se denotan básicamente 2 subsistemas, el de Estación Base (BSS) que dirige el acceso del terminal al canal a través de la Estación Base (BTS), y ésta a su vez al Controlador de Estaciones Base (BSC) a través de las interfases Um y Abis, y el de Conmutación y Red (NSS) que se encarga del enrutamiento a la Central de Conmutación Principal (MSC), identificación de abonado, tarificación y control de acceso con las Bases de Datos del Usuario de la Red (HLR) y la del Visitante (VLR), así como otra bases de datos de otros Operadores a través de protocolos especiales como el SS7⁶ [28].

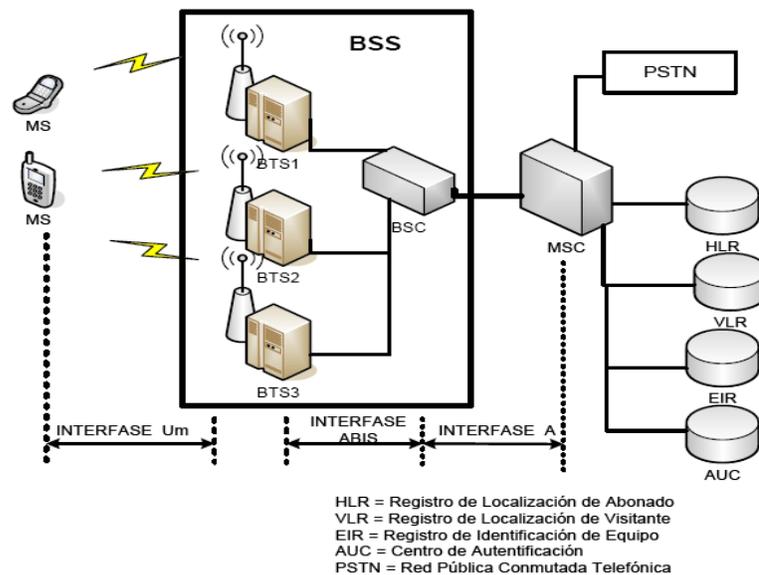


Figura 1. 7. Arquitectura general de red GSM. Fuente: [30]

GSM comienza su evolución con la mejora de su red, nace GPRS, de ETSI, y con esta tecnología se agrega la conmutación de paquetes a través de un núcleo basado en IP (GSM IP) y se aumenta la velocidad de tráfico (de 9,6 Kbps en GSM, a 50 Kbps en recepción y 10 Kbps de transmisión).

⁶ Sistema de Señalización por canal común No. 7, definido por la UIT-T en 1981.

Estos primeros avances en GSM, no conllevan modificaciones significativas en la arquitectura de red, ni en la interfaz radio[25].

El sistema GPRS se basa en GSM, al que introduce una modificación en la forma de transmitir la información entre móvil y red. La información se transmite ahora en forma de paquetes, eliminándose la necesidad de dejar canales reservados para cada comunicación [29].

GPRS permite velocidades teóricas sobre 38 Kbps hasta 256 Kbps, aventajando a las redes GSM en un 170 %. Permite conexión permanente, y la tarificación no es por tiempo de conexión, sino por tráfico cursado. La migración a GPRS se hace agregando nuevo software y conectando equipos adicionales en las estaciones base y centros de conmutación.

Los intervalos de tiempo se asignan para intercambiar paquetes correspondientes a diferentes comunicaciones de acuerdo a la demanda, lo que significa que durante los instantes en que no hay información para enviar, se liberan las frecuencias, pudiendo ser éstas utilizadas por otros usuarios. GPRS no utiliza las centrales de conmutación GSM (MSC/VLR) para el transporte de datos, sino que las estaciones base de radio están directamente conectadas a la red IP a través de dos nuevos tipos de servidores, también denominados Nodos de Soporte (GSN); el Nodo de Soporte de Servicio (SGSN) y el de Pasarela (GGSN). Para el transporte de voz se siguen utilizando los mecanismos GSM analizados.

Los teléfonos GPRS (terminales) normalmente se equipan con puertas *bluetooth*⁷, conexión por cable para la transferencia de los datos al PC, cámaras digitales y otros dispositivos [29]. Existen 3 clases: la clase A es la que soporta GPRS y GSM simultáneamente, la clase B monitorea canales GPRS y GSM simultáneamente pero solo puede tener activo uno a la vez, la clase C sólo soporta GPRS o GSM.

Para los operadores, se consigue un mejor aprovechamiento del espectro radioeléctrico, pues el enlace radio solo se utiliza cuando se están recibiendo o transmitiendo datos. Esto implica que varios usuarios pueden compartir el mismo radio canal, con el consiguiente aumento de eficiencia, y con un bajo costo en implantación en Red a nivel Radio.

Con GPRS, el usuario podrá acceder a redes públicas y privadas de datos, utilizando protocolos estándar (IP, X25), pudiendo navegar por Internet, descargar su correo, visitar su Intranet, hacer ftp,

⁷ Especificación industrial para redes inalámbricas de Área Personal (WPAN) que posibilita la transmisión de voz y datos a 2,4 GHz, en un área de hasta 10 m.

desarrollar servicios usando el Protocolo de Acceso Inalámbrico (WAP)⁸, con las ventajas de la movilidad que le proporciona su teléfono móvil. Las operadoras celulares proveen de acceso de banda ancha a Internet en teléfonos móviles celulares, utilizando la tecnología GPRS, combinada con WAP para la navegación por Internet.

EDGE, paso próximo en la evolución GSM y TDMA, es una tecnología de radio con red móvil que permite que las redes actuales GSM ofrezcan servicios de 3G dentro de las frecuencias existentes. Como resultado evolutivo de GSM/GPRS, EDGE mejora la interfaz de radio GPRS, y proporciona velocidades de datos tres o cuatro veces mayores, proporcionando así un servicio de 3G espectralmente eficiente, con nuevas aplicaciones, por ejemplo, *streaming*⁹ de audio y video. En particular, EDGE permitirá que se exploren todas las ventajas de GSM/GPRS, con el establecimiento de una rápida conexión, mayor amplitud de banda, mejor eficiencia espectral y velocidades en la transmisión de datos de 473 Kbps.

Mientras que GPRS tiene definidos solo cuatro Esquemas diferentes de Codificación, designados CS1 a CS4, en EGPRS son introducidos nueve Esquemas de Codificación de Modulación designados desde MCS1 hasta MCS9. Estos llevan a cabo la misma tarea de los esquemas de GPRS. Los esquemas desde MSC1 hasta MSC4 utilizan modulación GMSK¹⁰ mientras los cinco restantes utilizan modulación 8PSK¹¹ [36]

Para implementar EDGE no se crean nuevas especificaciones, sino que el estándar es introducido en las existentes. La arquitectura de red es la misma, solo la unidad de control de paquetes se puede colocar en la radio base, en el Controlador de la radio base, o en el Nodo de soporte GPRS. Así sólo se necesitan cambios secundarios para pasar de GPRS a EDGE. Además, EDGE reduce el costo al implementar sistemas de 3G a nivel nacional porque está diseñada para integrarse a una red de GSM ya existente. El usuario puede ahora utilizar más de una ranura de tiempo por trama,

⁸ Estándar abierto internacional para aplicaciones inalámbricas basado en el modelo OSI que considera las necesidades y limitantes que conllevan la conexión, y navegando a través de esta. Fue elaborado con flexibilidad, lo cual permite implementaciones sobre varias plataformas como el SMS, UMTS, GSM y permite la creación de aplicaciones dinámicas y seguras. Ej. Acceso a Internet desde un móvil.

⁹ Transmisión de contenido multimedia para consumo inmediato sin almacenamiento completo.

¹⁰ Tipo de modulación en la que se hace pasar los datos a través de un filtro gaussiano de premodulación. Esto estabiliza las variaciones de las frecuencias instantáneas a través del tiempo lo cual reduce los lóbulos laterales en el espectro transmitido.

¹¹ Modulación que produce una palabra de 3 bits por cada cambio en la fase de la portadora. Con esto se triplica el ancho de banda disponible que brinda GSM.

umentando así la velocidad global de los datos. Con el fin de minimizar los problemas inherentes a la red, EDGE utiliza el mismo ancho de banda y las mismas frecuencias que el actual protocolo GSM/GPRS. Además de los esquemas de código de modulación en EDGE, existen otras mejoras en cuanto a las técnicas de entrelazado, direccionamientos y manipulación de paquetes. Así, EDGE representa una solución fácil, barata y una de las rutas más rápidas para desplegar los servicios de 3G. Mejorar la infraestructura de GSM con EDGE es una manera eficiente de lograr una cobertura de 3G complementaria en la red al volver a emplear lo invertido en la tecnología 2G.

En cuanto a la 3G, los requisitos de la red UMTS son entre otros: tasas de transmisión de 2 048 Kbps para interiores o ambientes de poco movimiento y de 384 Kbps en ambientes urbanos y a velocidades máximas de 120 km/h (incluso en áreas rurales se debe poder dar una tasa de 144 Kbps a vehículos a altas velocidades), movilidad global, terminales multimodo, debe poder conectarse con otras redes y el usuario debe poder distinguir qué red lo está sirviendo, además de que es requerida una mayor eficiencia espectral.

El soporte de aplicaciones *triple play* y, en general, servicios multimedia, con requisitos muy variados en lo que respecta al ancho de banda necesario y la tolerancia a factores como el retardo o las pérdidas, lleva a la necesidad de dotar a UMTS de mecanismos de calidad de servicio (QoS). Los servicios 3G generalmente requieren de una tarjeta especial para PC con una antena integrada que se conecta a la computadora portátil del usuario. Para migrar la GSM a UMTS (de 2G a 3G) se logra mediante una de las 3 tecnologías siguientes: Acceso Múltiple por División de Código 2000 (CDMA 2000), Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha (WCDMA) y Acceso Múltiple por División de Tiempo y Técnica de División de Código Sincrónico (TD-SCDMA). Se escogería esta última por ser una tecnología china, nación de presencia de consideración en las telecomunicaciones de Cuba. La solución para la evolución de los servicios móviles en Cuba implica la creación de nuevas redes a nivel del país y que a la vez sirvan para la evolución de los sistemas móviles hacia otras generaciones, 3G o 4G.

En Cuba, GSM, de generación 2,5 G como modo de transmisión de los paquetes de datos, opera en la frecuencia de 900 MHz (cobertura nacional) y con posterioridad se ha activado la banda de 850 MHz con cobertura en La Habana, Varadero, Cayo Coco y Cayo Guillermo. Actualmente, se ha implementado una mejora en la transmisión mediante la tecnología EDGE, con una aplicación nacional promedio sobre un 75 % de las estaciones base. Con ello se pueden atender aplicaciones que requieren una velocidad de transferencia de datos, o ancho de banda mayores, como video u

otros servicios multimedia. Para hacer funcionar EDGE con GSM, ETECSA debe implementar las actualizaciones necesarias del software en las Radio bases y en sus Controladores, implementar una Unidad Transceptora EDGE en el transceptor de la Radio base y disponer de teléfonos móviles que soporten esta tecnología. El acceso se realiza mediante redes PDH y SDH y el transporte mediante redes ópticas territoriales y nacionales SDH. En estas condiciones, los sistemas móviles están aptos para brindar algunos servicios y contenido de Internet y multimedia hasta donde la capacidad que brinda la tecnología en uso lo permita; pero no existe una oferta considerable de este servicio ni de aplicaciones de multimedia, cuestiones estas a considerar. Por otro lado, la accesibilidad y el despliegue masivo del servicio Internet esta limitado tanto en contenido como en ancho de banda y como consecuencia de ello la oferta de aplicaciones y servicios multimedia son aún escasos[30].

La meta de ETECSA es llegar a 2,4 millones de usuarios de telefonía celular en 2015[2]. Actualmente se registran solo en La Habana más de 500 000 líneas celulares activas, de la cuales más de 45 000 corresponden al Territorio Sur, incluyendo en ellas tanto las comercializadas en Moneda Libremente Convertible (MLC), como las asignadas por interés social, entre ellas, las de los Teléfonos Fijos Alternativos o TFA, que prestan servicios a toda la comunidad funcionando como teléfonos públicos [4].

Este servicio ha permitido llevar la telefonía a lugares intrincados o de baja densidad telefónica. La TFA ostenta un 80 % de volumen de tráfico celular. Para evitar la congestión del espacio radioeléctrico, son necesarias las inversiones para aumentar la cobertura, o limitar el tiempo de tráfico. Por un lado el elevado consumo de recursos de red que provoca el alto tráfico generado por los usuarios TFA, la alta concentración en la hora activa y su dispersión, y por otro, el crecimiento de usuarios en MLC a partir de la apertura del mercado a la población, hace factible su sustitución con el objetivo de aprovechar las capacidades de red liberadas para asimilar el incremento de los usuarios con el mínimo de inversiones [31]. Para el Territorio Sur de la Habana, con 6 723 servicios, este proceso posibilita la apertura del espacio radioeléctrico para nuevas líneas móviles.

1.2.4. Evolución a Largo Plazo

La Evolución a Largo Plazo (LTE) fue desarrollada bajo especificaciones del 3GPP¹² (Versión 8). Esta tecnología está basada totalmente en el protocolo IP; lo cual implica el uso exclusivo de

¹² Third Generation Partnership Project: Acuerdo de colaboración en Tecnología Móvil logrado en diciembre de 1998.

técnicas de conmutación de paquetes. Ofrece altas tasas de transferencia, hasta 100 Mbps en descarga y 50 Mbps en subida [26].

LTE cuenta con una interfaz radio de gran potencia que emplea tecnología de Acceso Múltiple por división de frecuencias ortogonales, OFDMA, para el enlace descendente y una nueva técnica de modulación para el enlace ascendente denominada OFDMA con portadora única (SC-OFDMA) que no solo mantiene las ventajas de resistencia al multitrayecto de OFDMA sino que permite reducir los requerimientos de potencia del terminal del usuario. 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). Esta tecnología de acceso brinda una ventaja de implementación práctica de transmisión en el orden de cientos de MHz con canales de radio de gran amplitud sin complejidades técnicas.

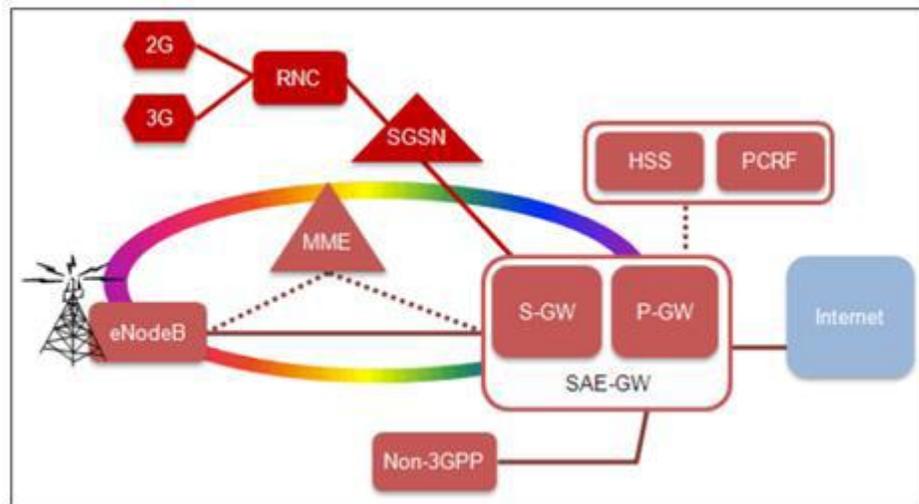


Figura 1. 8. Arquitectura funcional LTE/SAE. Fuente: [43]

Existen solo dos nodos en esta arquitectura: la estación base denominada *eNodeB* y la compuerta Evolución de Arquitectura de Sistema, SAE, que actúa como controlador. Las estaciones base se conectan al núcleo de red mediante la interfase denominada *S1*. La pasarela de servicio, SGW, se encarga del enrutamiento y envío de paquetes de datos de usuario, el Equipamiento de Administración Móvil, MME, es el punto de control de nodos para el acceso a la red LTE, la pasarela PGW proporciona conectividad a las redes externas de paquetes de datos como Internet y la entidad PCRF realiza funciones del plano de control necesarias para dar una gestión dinámica y soporte a las funciones de facturación y QoS. El Servidor para Subscriber Local, HSS, es la base de datos que contiene los perfiles de abonado.

Entre los servicios que ofrece LTE, el de voz será el de mayor importancia y uno de los principales determinantes de su éxito. Al ser una solución puramente IP, la voz se ofrecerá por primera vez como VoIP exclusivamente, por lo que se requerirán mecanismos avanzados para garantizar la QoS. Aunque el despliegue LTE esta aumentando en forma significativa en la actualidad, en Cuba aún se está lejos de la aplicación de esta tecnología, toda vez que las redes y los servicios de banda ancha de datos están muy incipientes, y es necesario que la evolución parta de las redes de acceso existentes, que en la mayoría de los casos son de tecnología GSM, las que se deben mantener por un tiempo considerable y que se basan fundamentalmente en TDM con transporte SDH, además, existe ausencia de redes a nivel territorial que sean capaces de afrontar aumentos significativos de ancho de banda y manejar la diversidad de aplicaciones y servicios existentes, lo que no responde a las demandas de capacidad con eficiencia, en cuanto a costos y rapidez[30].

1.2.5. Redes de Acceso Satelitales

En la comunicación de datos a través de satélite los equipos electrónicos de telecomunicaciones envían y reciben datos por medio de un satélite. El *hardware* de los abonados debe incluir una antena para satélite y un transceptor (transmisor-receptor) que funcione en el rango de microondas utilizadas para la comunicación satelital.

Aunque tradicionalmente los satélites en órbitas geoestacionarias han quedado limitados a la difusión extensiva de televisión, actualmente existen nuevas posibilidades de comunicación bidireccional y asimétrica, por satélite. Por medio de la antena, se transmiten en sentido descendente velocidades nominales de 38 a 64 Mbps (compartidos) y velocidades de retorno de 2 Mbps, dependiendo del sistema [6].

Los sistemas basados en satélite son excelentes opciones, aunque caras, para las áreas rurales donde las líneas digitales y las conexiones por módem de cable no están disponibles. Una instalación basada en satélite se puede utilizar incluso donde se carece de los servicios más básicos si hay una fuente de alimentación disponible. El usuario debe contar con un plato o estación base de dos o tres pies, que es el artículo más costoso, un módem para Internet por satélite y una línea de visión despejada hacia el satélite proveedor de la señal.

Entre las ventajas que ofrece se tienen: cobertura de enormes superficies, selvas, desiertos, océanos y zonas infradotadas, fácil y rápida incorporación de nuevos usuarios, ofrece pocas zonas de sombra y en algunos casos es posible la movilidad.

Las limitaciones son que existe un tiempo importante de retardo en la propagación de la señal en los sistemas de órbita geoestacionaria que permite las comunicaciones de datos, pero dificulta las aplicaciones conversacionales o aplicaciones interactivas y se requieren enormes inversiones para los operadores en el desarrollo y en el lanzamiento de los sistemas de satélite. En el caso de Cuba se debe recalcar que no es propietaria de satélite alguno, y toda cobertura en ese sentido debe ser pagada a través de un alquiler con un llamado *precio recurrente*. Los enlaces VSAT se destacan por su obsolescencia y falta de piezas. En estos momentos se ha trazado un plan para la mejora de la red VSAT que incluye la migración de los servicios a NGN, para eliminar los fallos de la facturación. De ahí que, a pesar de la versatilidad de las comunicaciones a través de esta tecnología, hay que justificar económicamente un enlace con ella.

1.3. Redes de Acceso de Próxima Generación

El dinámico mundo de las telecomunicaciones se halla inmerso en un proceso de cambios profundos y de largo alcance que son consecuencia de la transformación constante de tecnologías y topologías de red que surgen y se envejecen rápidamente. Las redes y tecnologías con las que ha venido operando el sector durante décadas están evolucionando hacia nuevas redes convergentes, basadas en tecnologías multiservicio, llamadas de “próxima generación”. Estas nuevas redes supondrán importantes mejoras técnicas y económicas en la prestación de los servicios convencionales, al tiempo que darán paso a un período de continuas innovaciones en productos y servicios[32].

El mercado de la banda ancha fija, que desde el año 2000 ha revolucionado las comunicaciones electrónicas, es el mejor ejemplo de las transformaciones que se avecinan y de aquello que las mueve. La industria de los servicios y contenidos electrónicos innova a gran velocidad, ofreciendo nuevos servicios de comunicaciones audiovisuales que cada vez exigen mayores prestaciones a las redes que los hacen posibles. Los consumidores reclaman mayores velocidades de acceso para disfrutar de las nuevas oportunidades de comunicación, y los operadores procuran ofrecerlas modernizando hasta extremos insospechados las tradicionales redes de cobre.

Este acelerado proceso de modernización, sin embargo, está llegando a sus límites. Pasado un determinado punto, las actuales redes de acceso no podrán satisfacer los nuevos requisitos de velocidad y cobertura. Las redes de acceso de nueva generación (NGA), generalmente soportadas en fibra óptica y en protocolos IP, están precisamente pensadas para superar estas limitaciones, y al igual que ocurrió con la BA sobre el par de cobre, su despliegue supondrá un salto cualitativo para el sector y para los usuarios.

El conjunto de avances combinados de los últimos años conducen a redes ‘todo IP’, con acceso óptico (FTTN y FTTH) o radioeléctrico (W-CDMA/3G, WiMAX y WiFi). Estas redes son más baratas e integran todos los servicios que se ofrecen en un entorno de convergencia de mercados. Sus principales rasgos son:

- La rápida sustitución de los terminales por otros cada vez más avanzados y con más capacidades multimedia (por ejemplo, nuevos PC, terminales móviles u otros dispositivos, como reproductores MP3¹³).
- La demanda de servicios innovadores tanto en los ámbitos privados como profesionales, que implican la necesidad de disponer de accesos con altos caudales de intercambio de información. Algunos de estos servicios, como los relacionados con la recepción de imágenes de video y televisión, marcan un salto cuantitativo y cualitativo que sobrepasa las capacidades de las redes de cobre.
- Unos costos operativos menores y una capacidad mayor, lo que en un entorno competitivo impulsa un proceso de renovación de las redes.
- La inversión en la parte troncal y de servicios de la redes es significativamente menor, por lo que su sustitución no plantea grandes problemas. No ocurre lo mismo con las redes de acceso, cuya sustitución por las nuevas infraestructuras y cableados de fibra óptica requiere de inversiones muy importantes.
- La renovación tecnológica de las redes mediante la sustitución del cobre por la fibra, produce incertidumbre para un número de operadores que han optado por competir basándose en el bucle desagregado, lo que requerirá su consideración en términos de garantía, continuidad razonable y evolución de su modelo de negocio, bien hacia una competencia más sostenible o bien a posiciones más retrasadas en la cadena de valor.
- El tratamiento del *principio de la neutralidad*¹⁴ y la necesidad de un acceso más abierto a los contenidos que puedan ser distribuidos por las redes.

¹³ Dispositivo que almacena, organiza y reproduce archivos de audio digital *MPEG-1 AudioLayer 3 (Moving Picture Experts Group, Capa 3 de audio, con estándar de 44 KHz y Razón de bits de 128 Kbps)*

¹⁴ Principio aplicable a Redes de BA, que alude a redes libres de restricciones tanto en equipamiento, contenido, sitios y plataformas; además de que la comunicación no esta degradada por otras comunicaciones.

El impacto de estas nuevas redes será de largo alcance y dará sus frutos en el transcurso de décadas, porque se trata de un fenómeno de los que sólo se dan de generación en generación. Es por ello importante que todos los actores del mercado afronten con decisión los múltiples retos que plantea el despliegue de nuevas redes fijas con vocación de cobertura casi universal [32].

1.4. Conclusiones Parciales

En este Capítulo, se ha hecho un rápido recorrido por las Tecnologías de acceso más empleadas mundialmente, destacando características, funcionamiento, diferencias, complejidades y posibilidades reales de aplicación en Cuba. Cada una de ellas posee determinadas ventajas sobre otras a costo de algún otro factor. Los sistemas por cables de cobre son muy confiables, permiten la reutilización de la planta externa ya instalada, la cual a su vez es costosa de mantener. Los sistemas de fibra óptica ofrecen mayores anchos de banda y con ellos se obtiene menor probabilidad de error, aunque los precios de la fibra aún son de considerar. Las tecnologías inalámbricas disminuyen costos y tiempos de implementación, pero la cantidad de equipamiento a emplear para garantizar coberturas con un grado de servicio adecuado, así como las condiciones climatológicas donde se van a desempeñar son factores a tener en cuenta. Conocer con exactitud los detalles de cada tecnología para ubicarla en el escenario correcto con eficiencia constituye una necesidad y un reto en las condiciones actuales de la red de telecomunicaciones de Cuba.

También se reseñaron muy brevemente las Redes de Acceso de BA de próxima generación (NGA) que en el futuro se impondrán en el escenario de las redes de acceso, cuando la convergencia de redes, sistemas y servicios finalmente se posicione como una realidad en el mundo de la Telemática

CAPÍTULO 2. SELECCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS PARA EL TERRITORIO SUR

En este capítulo se exponen brevemente los problemas actuales existentes en las diferentes capas de red (acceso, transporte y servicios) a enfrentar por la Operadora cubana ETECSA, se describen las tecnologías consideradas más apropiadas para el despliegue, los criterios de diseño correspondientes para la satisfacción de los tipos de clientes que se identifican y el equipamiento propuesto para la consideración de tales criterios.

2.1. Problemas actuales asociados al acceso, el transporte y los servicios

En este epígrafe se pasa a detallar algunos de los problemas que la Operadora Cubana, ETECSA, debe resolver ante el reto que implica la implementación de BA en el Territorio Sur de La Habana.

2.1.1. Saturación de la red de acceso

Más del 70 % de las redes de acceso del Territorio Sur de La Habana, son aún de distribución rígida, lo que trae como consecuencia una red de abonados con discreta eficiencia en sus prestaciones. Es por ello que el nivel de las interrupciones del servicio es aún alto, y las fuerzas y recursos se han destinado más al mantenimiento correctivo que al preventivo, cuestión esta que se pretende revertir.

Se observa además, una gran saturación en los cables lo cual dificulta la oferta de nuevos servicios a la población, y existe un importante nivel de Demanda Insatisfecha (DI). Se trabaja sobre la base de nuevos proyectos en Redes Flexibles y MSAN, que posibiliten satisfacer estas demandas. La situación de la Planta Exterior se resume en la Tabla 4, donde se muestra la disposición de pares del territorio.

Tabla 4. Situación de la Planta Exterior en el Territorio Sur. Fuente: Estudios del Departamento de Operaciones de la Red del territorio.

Territorio Sur de la Habana	Pares totales	En servicio	%	Vacíos	%	Interrumpidos	%	Disponibles	%
Cantidades Totales	130 663	97 251	74	33 412	26	13 672	41	19 740	59

El 74 % de los pares totales están en servicio y el 26 % están vacíos, y de estos, el 41 % y 59 % están interrumpidos o disponibles, respectivamente.

2.1.2. Déficit de capacidades en los Paneles de Distribución Telefónicos

Los Paneles de Distribución Principales o MDF y los Paneles de Distribución Digitales (DDF) que constituyen las fronteras entre la Red Óptica Conmutada Automáticamente (ASON) [33], el CMT (Centro de Mantenencia de las Telecomunicaciones) y los conmutadores ATM del Territorio Sur de la Habana están al borde de la saturación, lo que es un freno serio para el incremento de líneas. Por ello es necesario completar el equipamiento en conmutación para que sirva de soporte a los servicios de BA futuros. Las capacidades deben ampliarse en dependencia del cálculo de expansión en un tiempo determinado, ya que normalmente esta capacidad ha sido calculada para las conexiones de flujos existentes entre las Centrales de Conmutación con la Red con Jerarquía Digital Síncrona (SDH) exclusivamente, y el acondicionamiento requiere de fuerza de trabajo, cables coaxiales para la conexión, regletas, conectores e instrumentos de comprobación de la conexión.

2.1.3. Tarifas para los servicios

A pesar de la madurez internacional de las tecnologías de BA, hasta el momento en Cuba no se puede hablar de enlaces masivos. No obstante se pueden crear las condiciones para el despliegue de las mismas, toda vez que es necesaria la determinación para asumir los nuevos retos y activar los componentes de la red. Un antecedente de despliegue en este sentido lo fue la activación del servicio RDSI en el año 2002 como acceso básico a clientes que pagan en MLC [7], lo que constituyó un paso de avance, pero se trata ahora de ofertar un servicio masivo con tecnologías que ofrezcan servicios *triple play*.

Los países que han realizado el tránsito de redes de banda estrecha a redes de banda ancha han aplicado tarifa plana para una velocidad de conexión determinada, o sea el cobro fijo del servicio independientemente del tiempo de conexión. Se propone en este caso activar también la tarifa plana, lo que presupone un cambio de concepción, ya que, al tratarse de BA se borran las fronteras de la distancia, del volumen de información y del tiempo de conexión, y los patrones de medición a tener en cuenta cambian; por ejemplo, la disponibilidad en la conexión y la garantía de la calidad de servicio acordada en Contrato. Es necesario, eso sí, fijar acuerdos de velocidad de conexión debido a la escasez de facilidades de red, en una etapa inicial; esto debido al alto comprometimiento del ancho de banda internacional y la extraterritorialidad de la mayoría de los contenidos. Es por ello que se torna crucial la generación de contenidos nacionales a los cuales acceder.

En cada país las ofertas basadas en las tecnologías de BA son muy diversas y en muchos de los casos están totalmente regidas por el operador propietario de la infraestructura de “última milla”. En Cuba, el hecho de que ETECSA sea un Operador monopólico y que responda a la conectividad

social que impulsa el Estado, constituye una fortaleza, y debe propiciar tarifas que no desestimulen al cliente, y a su vez aseguren bases para el desarrollo posterior.

2.1.4. Gestión de servicios

Las actuales redes de telecomunicaciones se caracterizan por un constante incremento del número, complejidad y heterogeneidad de los recursos que los componen. Por todo ello, la gestión de red integrada, como conjunto de actividades dedicadas al control y vigilancia de recursos bajo el mismo sistema de gestión, se ha convertido en un aspecto de enorme importancia en el mundo de las telecomunicaciones.

En este sentido, para alcanzar una arquitectura de Red de Gestión de Telecomunicaciones (TMN), donde se definen los objetos que serán gestionados en cada nivel, tales como elementos de red, administración de elementos de red, administración de red, administración de servicio y administración del negocio, sostienen plataformas que son independientes o incompatibles con el sistema de red de transporte empleado. Por ello la gestión en los inicios se torna complicada, y muchas veces para un número reducido de clientes no se toma en cuenta, lo que coopera para una ineficiencia en la oferta de los servicios.

La gestión de la red de BA comprende todos los segmentos en que interviene una conexión física y lógica entre los puntos finales de comunicación e interviene la supervisión de los CPE¹⁵, estado del enlace digital, canales hacia la red de datos, red de transporte y proveedor del servicio. En este punto hay que establecer procedimientos organizativos para definir los responsables por tramos de red, y las relaciones de trabajo horizontales entre los implicados. Cada tecnología deberá tener por parte del proveedor de servicios una gestión de servicio IP tanto en la capa de red como en la de enlace en aras de abaratar los costos en esta importante acción.

2.1.5. Comercialización de servicios

La identificación de los clientes potenciales para entregar el servicio de BA se torna un paso importante en el despliegue, sobre todo con la idea de que en los inicios del mismo no se podrá dar el servicio a todo el que lo necesite, sino que hay que establecer nivel de prioridad, teniendo en cuenta primero a los casos que constituyan pilares de la Revolución como los sectores de educación,

¹⁵ Customer Premises Equipment, Equipo local de telecomunicaciones del Cliente usado tanto en interiores como exteriores para originar, encaminar o terminar una comunicación. Puede combinar servicios *triple play* y hasta un anclaje de aplicaciones multimedia interactivas.

sistema empresarial, cultura y salud. Esto podrá optimizar mucho las inversiones a través del desarrollo inicial de los sistemas en aquellas centrales en las que estos se anclan.

Este aspecto está muy relacionado con las pruebas de factibilidad de los enlaces, ya que en lo que respecta a los enlaces al conocer las velocidades en función de la distancia, las reales necesidades de informatización de los clientes y el precio a pagar de acuerdo a las prioridades otorgadas, se puede elaborar un mapa de la planta externa del área objeto de medición con la identificación del desempeño por zonas y entregarlo a la entidad que comercializa los servicios, con el fin de informar al cliente antes del contrato las opciones de pago de que dispone en función de la velocidad en dependencia del sector donde se encuentre. Esto ahorra tiempo, maximiza recursos y permite un despliegue más rápido de los servicios[7]. En cuanto al enlace de radio para los sectores que puedan pagar en divisa deberá seguirse la política de entregar WiMAX a fin de que se pueda sustentar el futuro desarrollo de la BA en el territorio, e implementar una tecnología más barata a los demás clientes residenciales (GSM/GPRS/EDGE).

2.1.6. Contratación de enlace dedicado a Internet

Para la provisión de servicios de BA es necesario pensar en los tipos a ofrecer, si estos contenidos son generados nacionalmente, así como la estructura de las conexiones con las redes que los proporcionen. En el caso cubano la salida internacional hasta hoy es la satelital que proporciona escasas y lentas conexiones de forma conmutada a través de Centrales Telefónicas con un grupo de números dedicados a este fin para que se realice el acceso, lo que constituye la única forma de conexión disponible para usuarios residenciales. La criticidad de estos problemas han llevado al Órgano Regulador del Ministerio de la Informática y las Comunicaciones (MIC) a tomar medidas estrictas para controlar los accesos, creando el Punto de Acceso a la Red (NAP) que constituye la frontera entre los ISP y el acceso satelital. Así se proporciona protección contra la sustracción de contraseñas, degradaciones intencionales y uso fraudulento de este servicio. A partir de la entrada al entorno nacional del cable de FO Venezuela-Cuba-Jamaica, como paso primario a la llamada Red Cuba, se espera solucionar este problema, proporcionándose un enlace dedicado a Internet de mejores prestaciones. Esto acarrea otro problema económico, el de abonar una cuota cada determinado tiempo por el acceso a Internet a través del mencionado cable.

Con la llegada de la fibra óptica submarina, se podrán incrementar los accesos a Internet, se verá reforzado el plan de informatización social con el empleo de las tecnologías de BA y los problemas de la congestión y el ocupado de las Centrales Telefónicas TDM serán aliviados. En el entorno

nacional ya se generan contenidos de gran interés que ayudarían en el empeño. En la Tabla 5 se dan a conocer las principales características del cable de marras.

Tabla 5. Características del Cable Submarino Venezuela - Cuba - Jamaica. Fuente: ETECSA

No.	Parámetros	Valores
1	Tecnología	Fibra Óptica - SDH
2	Longitud del enlace	1 630 Km
3	Capacidad	640 Gbps
4	Servicios a transportar	Voz, datos, imágenes.
5	Vida útil	25 años
6	Unidad mínima	2 Mbps
7	Costo estimado	\$ 70 millones USD

Como consecuencia de este incremento de la conectividad se aspira a expandir los servicios a una mayor cantidad de usuarios y disminuir los costos.

Haciendo una valoración del estado actual de la red de telecomunicaciones del Territorio Sur de La Habana, es posible y necesario transformar, con redes de BA, y en un plazo de 5 años el panorama de conectividad que ha existido hasta el momento. Las velocidades y capacidades de estas redes se incrementarán de forma paulatina, aprovechando al máximo los recursos existentes en función de los intereses de tráfico.

2.1.7. Backbone de datos

La red de transporte óptica está evolucionando hacia un nuevo modelo que incluye las funcionalidades de transmisión, conmutación y enrutamiento de paquetes. El rápido crecimiento del uso de Internet, y por consiguiente del tráfico de datos motivado por el aumento de los servicios IP debe corresponderse con un crecimiento en la capacidad de las redes. La arquitectura tradicional está formada por las capas IP, de servicios; la ATM, encargada de brindar calidad de servicios; la SDH/SONET (Red Óptica Síncrona), que ofrece protección del tráfico y respuesta de la red ante fallos; y la DWDM, que permite incremento de la capacidad de los enlaces para mejor aprovechamiento del ancho de banda. Esta estructura trae como desventajas que a pesar de que los

sistemas WDM incrementan la capacidad de transporte, los nodos continúan utilizando conmutación electrónica y no óptica, la capa SDH no es escalable para velocidades altas (10 y 40 Gbps), existe aumento de la complejidad operacional al limitarse en puertos las matrices de conmutación y por ello se tienen que hacer cadenas de matrices; además de un ineficiente uso del ancho de banda debido a las cabeceras ATM y SDH. ATM es un protocolo inicialmente diseñado para dar soporte a redes multiservicios, al integrar el tráfico procedente de diversas aplicaciones de una manera muy flexible. Además ofrece QoS, configuración de VPN y sencillez de ingeniería de tráfico por su orientación a conexión; pero a la vez ofrece dificultades para acomodar tal tráfico. Es por ello que se procura sustituir la capa por mecanismos de provisión de calidad de servicio que operen directamente en un entorno IP, como son la Conmutación de Etiquetas Multiprotocolo, o MPLS, y *DiffServ*¹⁶, que eliminan varios de los inconvenientes ATM.

En el envío de paquetes IP tradicional, el enrutamiento de cada paquete se analiza salto por salto, chequeando su cabecera de capa 3 y tomando una decisión de envío según la información extraída de algoritmos de enrutamiento de la capa de red. MPLS como mecanismo de transporte de datos estándar creado por el Grupo de Trabajo en Ingeniería de Internet, IETF, y definido en la Petición de Comentarios RFC 3031, es el último paso en la evolución de las tecnologías de conmutación multinivel (o conmutación IP) [35]. Al ser una arquitectura orientada a conexión, la transmisión de los datos ocurre en las trayectorias establecidas por el intercambio de etiquetas, o LSP. Esto se traduce en convertir el modelo tradicional de 4 capas en uno de solo tres, al reunir en una sola las capas IP y ATM, formando la capa IP/MPLS[34].

Ahora para la distribución de etiquetas en la red se emplea el Protocolo de Distribución de Etiquetas, LDP o el Protocolo de Reservación de Recursos, RSVP, donde cada paquete encapsula y transporta las etiquetas dentro de la red, y que permite que varios flujos distintos sean transmitidos a través de un camino común identificados por una etiqueta y tratados como uno solo. Esto alivia los problemas de escalabilidad característicos de ATM. Además, se introduce una mejor ingeniería de tráfico al determinar caminos alternativos al mismo, y no seleccionando una ruta óptima, que solo

¹⁶ Arquitectura de red que especifica un mecanismo simple, escalable y de *grano grueso* para clasificar y gestionar el tráfico en la red, y que provee QoS a las modernas redes IP. Puede, por ejemplo, ser usado para proveer baja latencia al tráfico crítico de redes tales como voz y transmisión fluida de imágenes y audio en directo por Internet, a la vez que provee servicio de mejor esfuerzo simple a servicios no críticos como son el tráfico Web y la transferencia de archivos.

trae congestión, así como la provisión de soluciones para implementar VPN basada en el uso de túneles LSP para encapsular los datos.

Por otro lado, el hecho de que MPLS pueda funcionar sobre cualquier tecnología de transporte (no sólo sobre infraestructuras ATM) va a facilitar de modo significativo la migración para la próxima generación de la Internet óptica, en la que se acortará la distancia entre el nivel de red IP y la fibra. Un segundo paso sería la supresión de la capa SDH, aunque actualmente mucho equipamiento de transmisión utiliza tramas SDH/SONET, las cuales están optimizadas para el tráfico de servicios de voz a 64 Kbps. Algunas características de SDH /SONET han justificado su empleo en las redes de fibra óptica durante los últimos tiempos. La más importante es que permite restaurar las conexiones punto a punto en caso de fallas en los enlaces o equipos intermedios, encontrando caminos alternativos para la transmisión. A pesar de que se desarrollan alternativas, como la red ASON, para la sustitución total de SDH, actualmente se siguen desarrollando extensiones al protocolo para solucionar algunos de sus inconvenientes para el transporte de datos. También en lo que a Redes Metropolitanas *Ethernet* (E MAN) se refiere, se implementan tecnologías de transporte de paquetes nuevas sobre MPLS, el Transporte MPLS, T-MPLS¹⁷ y el Perfil de Transporte MPLS, MPLS-TP¹⁸. La red ASON aporta las ventajas del descubrimiento automático de los recursos (cada nodo puede encontrar a su vecino en la red de forma automática y puede construir la topología de la red por sí mismo), realización rápida y automática de rutas en cada nodo, operación a través de las rutas y señalización en la red, adición de restricciones con el propósito de establecer el trayecto óptimo y protección de red mallada que la hace más fiable.

Actualmente en Cuba, se verifica la siguiente situación¹⁹ en el orden de operación y mantenimiento, control, provisión de servicios y gestión de fallas.

¹⁷ Tecnología de transporte de paquetes orientada a la conexión, basada en los formatos de MPLS y que reutiliza los paradigmas de Cambio de Etiquetas más difundidos en las telecomunicaciones.

¹⁸ Tecnología de transporte, basada en paquetes, orientada a conexión de capa 2 que ha evolucionado a partir de la colaboración de la UIT e IETF, con origen es el estándar MPLS. A esta tecnología se le han añadido algunas funciones de transporte tales como conmutación de protección y OAM.

¹⁹ Tomada del Balance 2011 de la Vicepresidencia de Operaciones de la Red de ETECSA, disponible en <http://www//etecsa.cu>.

En lo que a Inversiones se trata, se llevan a cabo desarrollos en la NGN, con la funcionalidad *Dual Homming*²⁰, se amplía la Red Inteligente, se implementa el Núcleo de la red IP/MPLS, se está cortando el *backbone* de Fibra Óptica Nacional, FON, y se habilita la Red ASON de La Habana, trabajos que se apoyan a nivel regional y nacional, además se incrementan los nodos MSAN.

En cuanto al monitoreo y gestión de fallas, se supervisa las 24 horas el *backbone* IP/MPLS, ATM y los elementos de acceso DSLAM a nivel territorial. También se realizan acciones de capacitación, brindando las principales herramientas de seccionalización para mejorar la supervisión y la gestión. Se ha reconfigurado el sistema U2000²¹ para garantizar la división del acceso y el *backbone*, aunque en cuanto a la ejecución de la provisión y sus procesos se puede afirmar que aún la provisión en IP/MPLS se realiza manual, sin poder utilizar dicho gestor, por no aceptar la totalidad del equipamiento instalado actualmente.

Se observan además fallas en el transporte, que representan el 22 % de todas las que se producen en la Gestión de la Red.

En el área de Control se ha incrementado el registro de los fallos de DSLAM y elementos de acceso a datos. En cuanto al transporte de datos se registran fallos en todos los equipos, algunos relacionados con topologías implementadas con problemas. La mayor cantidad de fallas tienen causales de *hardware* en un 18%, debido a debilidades con las protecciones, estando las mismas en la etapa de abonado. Es significativo además, los continuos cortes de fibra óptica.

Entre las principales tareas ejecutadas en función de la mejora de la gestión de fallas, se han implementado terminales de supervisión de IP/MPLS y el de supervisión ATM/FR en el área nacional, y se ha mejorado el procedimiento para informar a los territorios y darle tratamiento a las fallas. También se trabaja en la implementación de un terminal que permita la gestión integrada de todo el equipamiento, además de la integración del personal en el tratamiento de las fallas. A pesar

²⁰ Topología de red en la cual un dispositivo se conecta a la red a través de dos puntos de acceso independientes. Uno de ellos es la conexión principal, y el otro permanece en reposo hasta que se verifique una falla en la principal.

²¹ *iManager* U2000. Sistema de gestión de red unificado (U2000, simplificado) diseñado para gestionar uniforme y eficientemente el equipamiento IP, el transporte y el acceso, tanto en la capa de los elementos de red como en la capa de red misma. Provee gestión unificada y Operación y Mantenimiento (O y M) visual para ayudar a los operadores a reducir los costos, además de transformar las redes en redes *todo IP*.

de todo ello aún se observa un deficiente conocimiento del *backbone* DWDM en el área de Supervisión.

En cuanto a la ejecución de la provisión y sus procesos existe déficit de personal para realizar todas las funciones en el área de transporte (ATM, IP, y redes ópticas) y el proceso de provisión de datos acusa aún puntos de ruptura, que van desde el área de Comercial hasta Operaciones, no habiéndose materializado aún la solución sobre SIPREC²², que permitirá la organización de la actividad. Aún existen fallas en el control del proceso de provisión de red fija, por no contar con una estructura acorde, y subsiste la falta de automatización del proceso por ausencia de bases de datos de servicios y redes. Una cuestión importante a destacar es la dependencia que aún se tiene con la Asistencia Técnica de los proveedores, debilidad que la empresa trata de minimizar como uno de sus objetivos más importantes.

Otras tareas que se han logrado en lo que respecta al *backbone* son: el corte de los enrutadores HUAWEI AR28 a los NE 40 en varias provincias para lograr que el U2000 sea el aprovisionador gráfico de VPN, además de que permitirá implementar el Servidor de Acceso Remoto de BA, BRAS, en la nueva configuración de Red Cuba, la descentralización de la provisión de transporte de ATM e IP/MPLS, la preparación de los DSLAM ALCATEL para conectarlos a la red IP/MPLS y la definición de los elementos y formatos del informe de IP/MPLS. Se implementó también la QoS en la red MPLS, se cambió el modo de configuración de los servicios de navegación nacional con vistas a la optimización de la red, se modificó la conectividad de la red PAP sobre IP/MPLS, eliminando problemas de congestión, se diagnosticaron todos los enlaces congestionados dando solución en todos los casos a nivel nacional, aunque aún existen saturaciones a nivel provincial que dependen de inversiones, se creó el *software* para la réplica de datos sobre las operaciones de provisión de servicios de abonados entre los dos *Softswitch*²³ (Vedado y Tunas) y por último, se implementó el diagnóstico sistemático de la red ATM/FR.

Entre las proyecciones futuras se encuentran:

²² Sistema de Provisión y Reclamos de los Clientes de ETECSA.

²³ Dispositivo principal en la capa de control de una arquitectura NGN, encargado de proporcionar el control de la llamada (señalización y gestión de servicios), procesamiento de llamadas y otros servicios, sobre una red de conmutación de paquetes.

1. Concluir el proceso de integración de la supervisión a nivel nacional.
2. Lograr elevar el nivel de preparación técnica de los técnicos y especialistas.
3. Implementar una versión de la orden de trabajo que mejore el proceso de gestión.
5. Migrar las funcionalidades de las centrales *tandem* a NGN HUAWEI, sin provocar afectación de servicio.
6. Lograr mayor efectividad en el escalamiento de fallas al proveedor, implementando la nueva aplicación integradora de todas las áreas de la empresa para el control de asistencia técnica.
7. Continuar asimilando funciones de soporte técnico, como actualizaciones, intervenciones *in situ* y manejo de emergencias.
8. Conclusión de los cortes FON nacionales.
9. Garantizar las pruebas y tareas de la Red Cuba, logrando que todo crecimiento en líneas fijas sea del tipo NGN, no invirtiéndose más en centrales TDM.
10. Lograr la realización de diagnósticos sistemáticos en todas las tecnologías, con la consecuente disminución de las fallas.
11. Mejora de las redes de gestión y su monitoreo en el área de gestión.
12. Sentar las bases para una migración de las redes de transporte metropolitanas mediante la introducción de redes de transporte de paquetes, PTN, solución denominada *Metro Ethernet*.

La red IP/MPLS continúa desplegándose de conjunto con la creación de redes metropolitanas *ethernet* provinciales. El objetivo mediano es fortalecer el *backbone* para facilitar los servicios de VPN Capa 3 e implementar los de VPN Capa 2, conjuntamente con alternativas de menor costo al cliente con servicios usando el Protocolo Punto a Punto sobre Ethernet, PPPoE²⁴. Particularmente en el Territorio Sur de La Habana, existe un nodo importante de transmisión de datos en el Centro de Telecomunicaciones de Luz, y otros puntos de presencia (POP) de menor capacidad, localmente distribuidos, que garantizan el ingreso al *backbone* de datos.

²⁴ Point To Point Protocol over Ethernet (Protocolo de red para encapsulación Punto a Punto sobre capa Ethernet). Usado mayormente para proveer conexiones BA, a través de xDSL, por ejemplo. Ofrece ventajas del Protocolo Punto a Punto (PPP) como son autenticación, compresión y cifrado.

2.1.8. Precalificación de los pares de cobre

Uno de los problemas más grandes a enfrentar por parte de ETECSA para pasar de la banda estrecha a la ancha es precisamente la calificación de las redes de cobre para soportar estos regímenes de trabajo, si se quiere aprovechar esa infraestructura en la red de acceso como una solución de consideración por motivos económicos, sobre todo en una primera etapa de despliegue. Este trabajo deberá tenerse en cuenta en todas y cada una de las etapas de la preparación, cambiando la mentalidad que hasta ahora se ha tenido en cuanto a las mediciones a las que se someten los pares de cobre [7].

La BA es sensible a las características de las líneas de cobre, constituyendo esto una de sus principales limitantes. Cuando la calidad se deteriora, las distancias a alcanzar para el servicio, así como las velocidades a satisfacer se ven afectadas. A partir de la creación de ETECSA se destinaron recursos importantes para la reparación de la planta externa, y en los quince años de constituida la empresa se ha conseguido frenar en parte este deterioro, pero continúa la falta de normalización de la misma, no hay comprobaciones de coincidencia de los pares que salen de la Central y llegan a su destino, existen insuficiencias en la reparación de pares vacíos interrumpidos, los cables existentes se han reparado en ocasiones con cables de diferente calibre y las corazas de cables no tienen en todos los casos los niveles de presurización necesarios, por solo mencionar algunos factores. También se requiere de instrumentos de medición especializados y métodos de trabajos diferentes. El Anexo 2 muestra un algoritmo a emplear en la calificación de líneas para ofrecer servicios *triple play*.

La calificación se divide en tres etapas, la precalificación (capa física), la medición en la capa de enlace y por último la medición en la capa de servicio. Las interrupciones más frecuentes en la capa física son circuitos abiertos, cortocircuitos, pares trocados, pares con tierra y *split*²⁵ de línea. Se debe obtener un certificado del cableado de cobre como prerrequisito para la provisión de servicios *triple play*. El resto de las mediciones se verificaría en cuanto el enlace se haya implementado y se vaya a ofrecer el servicio.

Las pruebas que en estos momentos se están haciendo en Cuba para caracterizar un par de cobre y evaluar su aplicabilidad para la oferta de datos, consiste básicamente en conectar del módem a un par y verificar si funciona o no. Si no funciona, entonces hay que seleccionar otro par. Esto hace un uso ineficiente de los pares disponibles.

²⁵ No correspondencia de las bandas del par telefónico que une dos puntos en la red.

2.2. Tecnologías candidatas para el despliegue

Tras haber reseñado las Tecnologías de Acceso halladas en revisión bibliográfica en el Capítulo precedente, se impone ahora el proponer las tecnologías candidatas para efectuar el despliegue en el territorio bajo estudio.

Se analizaron como tecnologías por cobre: PLC, y la familia xDSL, por fibra, HFC y FTTx, por radio, MMDS, LMDS, GSM, GPRS, EDGE, WiMAX, LTE, UMTS y Satélite. Cada una de ellas posee ventajas, desventajas y ámbitos de aplicación específicos donde son más eficientes.

Se seleccionaron finalmente las familias cableadas xDSL y FTTC y las de radio GSM/GPRS/EDGE y WiMAX. A continuación se ofrecen los elementos que se tuvieron en cuenta para su selección en el Territorio Sur de La Habana. El objetivo es lograr el despliegue de los servicios necesarios en un plazo de tiempo de 5 años, brindando BA discreta, en la primera parte del proyecto.

G. SHDSL y ADSL con sus variantes desde G Lite hasta ADSL 2+.- Estas tecnologías permiten la reutilización de los pares de cobre para la coexistencia de servicios *triple play*, a la vez que disminuyen el cuello de botella entre la red de acceso y transporte. En el Territorio Sur, con el empleo de estas tecnologías se puede multiplicar la capacidad de los pares de cobre y dar servicio hasta más de 180 000 abonados con el empleo de los dispositivos de acceso integrado (IAD). Cada IAD utilizando un par de cobre puede dar servicio a 30 abonados normalmente con servicio de voz sobre IP controlado por el *Softswitch* de la NGN que opera desde el 2005 en Ciudad Habana (barriada del Vedado) con redundancia en la provincia de Las Tunas. Se busca alta resistencia al ruido más que altas velocidades. La cantidad de pares vacíos buenos y la reserva que se obtenga de la reparación de los interrumpidos es quien limita la capacidad de instalaciones en el territorio, y es el máximo a lo que puede aspirar. Las variantes simétricas como G. SHDSL se utilizarían para resolver problemas colectivos, y se podrían instalar en hospitales, escuelas, círculos de computación y empresas, mientras que las asimétricas, aunque están más orientadas al sector residencial, también permitirían elevar la densidad de datos en el sector empresarial, el acceso a Internet, Intranet y darían conectividad entre sucursales a través de VPN, entre otras aplicaciones, de un modo relativamente económico. La idea es calificar la mayor cantidad de pares vacíos buenos disponibles para la transmisión de datos. Debe medirse el balance longitudinal de impedancias, resistencia de aislamiento, la capacidad distribuida a lo largo del trayecto, la resistencia a corriente directa y a alterna a diferentes frecuencias, especialmente a 1 KHz y a 150 KHz para G. SHDSL y para ADSL o sus variantes, y hacer corrido de frecuencias, al menos, hasta 2,2 MHz. Todo esto está

normado en ETECSA en la Resolución 13²⁶ de Planta Externa. Lo que deben completarse son los instrumentos de medición, calificar al personal de operación del territorio para las mediciones e interpretación de los resultados, establecer el régimen de trabajo y los plazos de tiempo para lograr las calificaciones de pares y realizar el trabajo en las zonas en que se va a implementar el servicio. La razón fundamental de su uso es que el cobre hay que aprovecharlo de un modo económico, así se resolvería en gran parte la Demanda Insatisfecha de voz y de datos en el territorio.

FTTC.- En el caso de la Fibra Óptica, a pesar de que los anillos ya comienzan a poblar las redes, se entiende que es una tecnología aún muy costosa en la red de acceso, sobre todo la FTTH, pero llevándola hasta las proximidades del cliente (FTTC) sería de gran soporte para usarla como híbrida con xDSL. En ese sentido, la instalación de MSAN, que en número de 19 ya se hallan ubicados en la red del territorio bajo estudio con grandes posibilidades de crecimiento, constituye una oportunidad para lograrlo. En estos momentos estos gabinetes constituyen una solución híbrida entre fibra y cobre, que permite ampliar el rango de acción de la red de acceso, empleando la filosofía de Unidad de Red Óptica (ONU) – Terminal de Línea Óptica (OLT), donde una fibra óptica circula en anillos y las ONU intermedias distribuyen el cobre [18]. Es una buena solución para permitir servicios en sitios donde la infraestructura de red de transporte es escasa. Es cara por el costo de la fibra y la instalación de los ONU-OLT, pero con pocos sistemas se logra un gran resultado en cuanto a soluciones de cable se refiere y contribuiría a lograr la cantidad de servicios a proponer por cobre.

WiMAX.- De las tecnologías inalámbricas más empleadas mundialmente, el estándar 802.16e, conocido como WiMAX móvil ha tenido un buen desempeño. En Cuba ya se hicieron pruebas y resultaron satisfactorias. Teniendo en cuenta la insuficiente infraestructura de telecomunicaciones y de pares de cobre para lograr el objetivo planteado en la presente Tesis, es que WiMAX se incluye entre las candidatas. En WiMAX, el costo de los terminales encarece el proyecto, de modo que la racionalidad se impone. Solo se utilizaría en zonas de desarrollo industrial o turístico, que generan divisas para amortizar el equipamiento que va en evolución hacia LTE. No sería recomendable en zonas de desarrollo urbano convencional por los costos del controlador, las radiobases, terminales, servidores y software asociado. Con WiMAX se podrían cubrir las líneas correspondientes al desarrollo del territorio en materia de tecnología, que en un futuro pudiera llegar a LTE en función de la necesidad de los anchos de banda a cubrir [23].

²⁶ Resolución empresarial de ETECSA que regula todas las actividades de Planta Exterior.

GSM/GPRS/EDGE.- La tecnología GSM (2G), aunque de banda estrecha, está dando servicios en el mundo desde hace casi 20 años con excelentes resultados. GPRS, el nivel 2,5G, que permite transmisión de datos en paquetes a unas tasas de 9,6 a 171 Kbps, teórico, y hasta 48 Kbps, práctico y EDGE, 2,75 G, con alcances de 384 Kbps, 554 Kbps, teórico, se constituyen como tecnologías compatibles con GSM, concebidas para alcanzar mayores tasas. Se seleccionó como candidata por su madurez, porque los costos han ido disminuyendo con el tiempo y los equipos cada vez son más compactos y de menor volumen y por su posibilidad de aplicación en zonas urbanas, a bajo costo, que contribuiría a eliminar estaciones públicas bajo la especificación de centros agentes y comunitarios mediante la distribución celular. Así los patrones de tráfico no se saturarían en las centrales TDM asociadas a estos centros y habría siempre disponibilidad. El tráfico de datos sería factible de acuerdo a la velocidad que se acuerde y se podrían expandir las radiobases, ya que cada canal consume solo 13 Kbps, y con ello se podrían desplegar las líneas restantes para alcanzar el plan propuesto en el tiempo previsto. No se buscarían equipos sofisticados, sino más bien de bajos precios con la posibilidad de tarjeta propia para cursar datos. Habría que definir tarifas adecuadas, no excesivas para la población y actualizar el software de las estaciones base de acuerdo a la tecnología a usar en cada caso. Esto es una razón de mucho peso por las condiciones actuales en que Cuba se desarrolla. Entre las novedades GPRS destaca la posibilidad de recepción y envío continuo de grupos de datos mediante el protocolo WAP, a la vez que permite enviar y recibir imágenes y elementos multimedia. De EDGE se puede argumentar que en el ámbito personal, el cliente tendrá navegación por Internet, acceso a *WebCam*²⁷, correo electrónico por Internet, juegos en la Web y televisión móvil.

PLC no se considera adecuado por la complejidad que representa el trabajo conjunto de las redes eléctricas y de comunicaciones y el peligro tanto físico como de radiación que representa; este último bien por ruido hacia otras señales en la misma banda de frecuencias como de radiación de datos, por lo que será necesario aplicar algoritmos de cifrado. En otros países hay uso conjunto de la postiería instalada, pero en Cuba hay postes eléctricos separados de los telefónicos y existen cruzamientos eléctricos, además, las redes eléctricas están en mal estado, lo que conspira contra la calidad del servicio e impide reducir los tiempos de solución de interrupciones. Se realizaron pruebas de campo desde el 2005 y su utilización fue solo útil en interiores. PLC tiene el problema de que se necesitan repetidores cada 600 m, y si bien tienen respaldo energético, estos son caros y

²⁷ Pequeña cámara digital conectada a una computadora, la cual puede capturar imágenes y transmitir las a través de Internet, ya sea a una página Web o a otra u otras computadoras de forma privada.

necesitan frecuente reemplazo. Los terminales, igual que WiMAX, incrementan el costo del proyecto. El ancho de banda es compartido entre todos los usuarios registrados con la misma conexión y los anchos de banda máximos que se podrían ofertar en la red no serían superiores a 2 Mbps. Finalmente, los proveedores de tecnología tienen aspectos de estandarización aún no resueltos y esto conspira contra la interoperabilidad. Estas son razones suficientes para descartarla.

Las otras tecnologías inalámbricas, como xDMS, se descartarían igualmente porque requieren LOS, tienen problemas de interoperabilidad entre los fabricantes asequibles a los contratos y economía cubanos, y se hace compleja su utilización en zonas urbanas o rurales densas por las reflexiones y las zonas de silencio, lo que obligaría a reutilizar frecuencias y desplegar más equipamiento.

2.3. Clientes potenciales a satisfacer

En el caso cubano, y por ende, del Territorio Sur de la Habana, se destacan clientes que constituyen pilares de la Revolución, como son la Educación, la Cultura, la Salud, y las instituciones de alto nivel económico y social, así como las instituciones gubernamentales y políticas. Tales son los clientes que demandan servicio prioritario en esta primera etapa de despliegue, y se definen como Sociales. Se reconocen clientes Empresariales a las instituciones privadas y gubernamentales que deberán aportar económicamente al despliegue, al poder pagar soluciones de más prestaciones en MLC; y por último los Residenciales, constituidos por el resto de la población, que podrán disfrutar más del servicio de BA en la medida que las inversiones vayan siendo recuperadas.

Se consideran dos etapas de implementación, I y II. El presente trabajo analiza todo lo concerniente a la implementación de la Etapa I, donde se busca la rápida inserción de los sujetos del territorio dentro de un servicio masivo sin precedente.

Para la Etapa II del despliegue, cuyas soluciones se dejan planteadas, se propone para los clientes Sociales la tecnología GPON, toda vez que para ese entonces deberán estar creadas las condiciones para una más barata construcción, instalación y puesta en servicio de la FTTH y las demandas de este sector sean más exigentes. En el caso de los clientes Empresariales deberá aspirarse a soluciones 4G (LTE), ya que se trata de una evolución lógica para suplir las demandas de los que están llamados a continuar siendo el motor económico impulsor de todo el desarrollo de BA.

Para los clientes Residenciales, la versión de la primera etapa con GSM/GPRS/EDGE, constituye la vía más rápida y económica para actualizar a 3G, con UMTS, en la Etapa II. Para ello, las antenas (los elementos más caros de una red de telecomunicaciones móviles) sufren ligeros cambios y los elementos nuevos de red necesarios para GPRS/EDGE seguirán siendo usados en el futuro con la

***Selección de las tecnologías para el Territorio Sur* CAPÍTULO 2**

red UMTS. La estrategia más adecuada para la migración será mantener las tecnologías existentes 2.5G, fundamentalmente para voz y datos de baja velocidad y alta prioridad, paralelamente a la tecnología a la cual se migre, ya sea 3G o 4G, la cual se utilizará para el tráfico de datos de alta velocidad. En la Tabla 6 se destacan los criterios de selección de los clientes, con sus necesidades de informatización y las tecnologías propuestas.

Tabla 6. Criterios de selección de clientes potenciales.

No.	Tipos de Cliente	Segmentos Poblacionales	Necesidades de Informatización (Etapa I)	Tecnología Propuesta (Etapa I)	Tecnología Propuesta (Etapa II)
1	Sociales	Centros escolares, sitios culturales, centros de salud, universidades, centros de desarrollo.	Voz, Internet, televisión de alta definición, videoconferencia, acceso remoto a LAN.	ADSL (< 4 Km de la CT), FTTC-ADSL (> 4 Km de la CT)	GPON
2	Empresariales	Pequeñas y medianas empresas, con capacidad económica.	Aplicaciones inter-empresas, alojamiento de páginas Web, ftp ²⁸ , u otro tipo de servidores, Internet, Redes ATM, etc.	WiMAX, IEEE 802.16e, Móvil	LTE
3	Residenciales	Población en general.	Acceso a redes públicas y privadas de datos, navegación por Internet, descargar correo, visitar intranet, hacer ftp, con movilidad.	GSM/GPRS/EDGE	3G, (UMTS, Evolución lógica de la comunidad GSM)

En la Figura 2.1 se muestra de izquierda a derecha los dispositivos de acceso, ya sean CPE de WiMAX, ADSL, G. SHDSL o IAD con sus redes LAN asociadas, conectados a la red, ya sea por

²⁸ Protocolo de red para transferencia de archivos entre sistemas conectados a una red TCP, basado en la arquitectura cliente-servidor.

radio, como lo harían los celulares GSM/GPRS/EDGE mediante las radiobases, o por cobre, directamente conectados a los multiplexores DSL o a MSAN, que pueden a su vez estar conectados a las incipientes redes metropolitanas Ethernet con tecnología de red PTN o a enrutadores de borde (PE) de la red IP/MPLS. Esta red IP/MPLS proporciona conectividad con la red telefónica conmutada (PSTN), NGN e ISP para el acceso a Internet o Intranet. Las redes IP de datos existentes como X25, *Frame Relay* y ATM tributan tráfico hacia las Redes Ethernet de Área Metropolitana (EMAN) o directamente a IP/MPLS, que tiene como soporte las redes SDH que están evolucionando a ASON, y por debajo, a las redes ópticas DWDM en algunos sectores de la red. Finalmente se halla la fibra óptica como soporte físico que se enlaza al *backbone* de la FON.

Esta estructura es posible potenciarla y desarrollarla en el territorio bajo estudio, ya que está instalada y en fase de crecimiento en el país, lo que de forma aún incipiente.

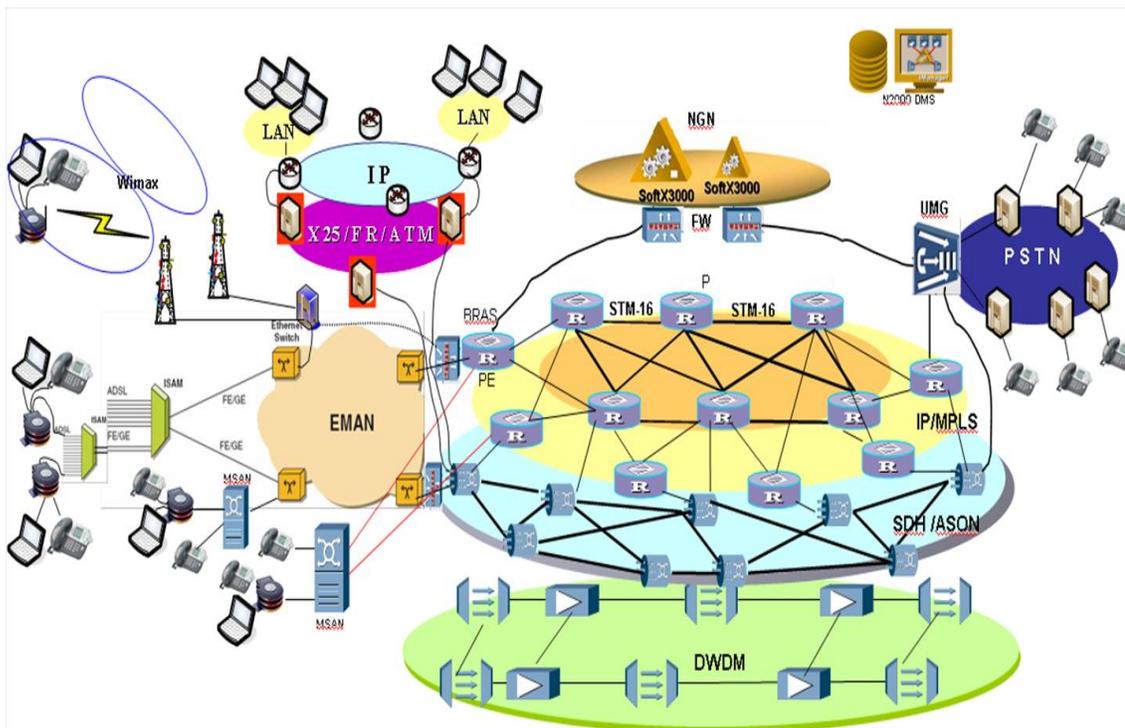


Figura 2. 1. Modelo referencial para el análisis de las redes del territorio

2.4. Estructuras de red de acuerdo a las tecnologías seleccionadas

Las Figuras 2.2, 2.3 y 2.4 reflejan respectivamente las soluciones por cobre que se basarán en la utilización de sistemas DSL asociados a despliegues de MSAN, de capacidades diferentes. Las soluciones por FO asociadas al cobre estarán con la concepción OLT – ONU para ampliar el radio

de acción de los puntos de presencia de la red [35]. Las inalámbricas estarán basadas en WiMAX o en GSM conforme a los estándares definidos. A continuación se muestran tales estructuras.

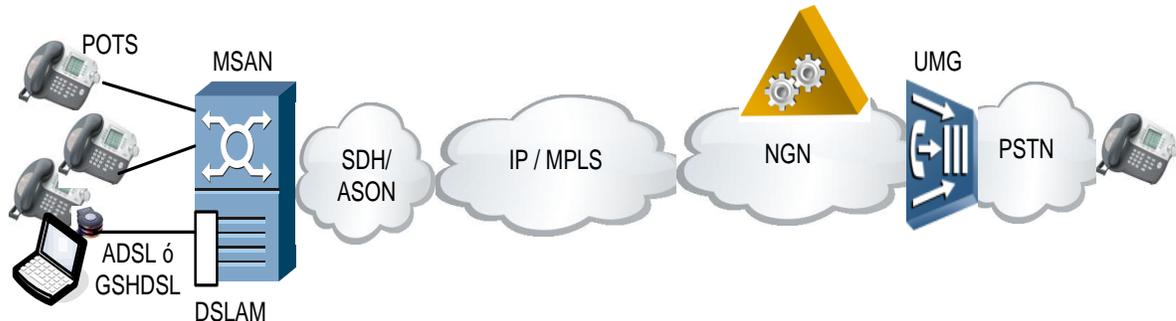


Figura 2. 2. Estructura de red para los servicios por cobre

Los abonados se conectarían a los MSAN (Figura 2.2) que tienen incorporado DSLAM para aceptar conexiones tanto ADSL como G. SHDSL, tomaría una red de transporte, que pudiera ser SDH /ASON, FTTx, radio o conexión directa a los PE de la red IP/MPLS, la cual está interconectada a su vez a la red NGN y de ahí mediante una Pasarela de Medios Universal (UMG), donde se transforman paquetes a circuitos, se establece la comunicación con la PSTN. Los datos van desde el DSLAM vía SDH – MPLS hacia el ISP correspondiente.

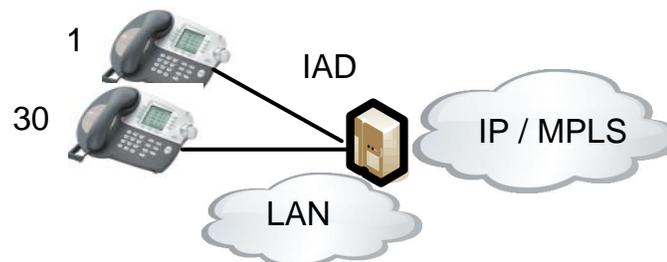


Figura 2. 3. Estructura para la multiplicación de servicios usando un solo par de cobre mediante IAD

Con los IAD (Figura 2.3) se multiplica la capacidad del par de cobre para ofrecer hasta 30 servicios de VoIP y datos adicionalmente. Hay que tener en cuenta que el ancho de banda máximo disponible normalmente es de 2,048 Mbps. Los 30 servicios de VoIP que emplean codificación conforme a la Recomendación G.729 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-T), ocupan un ancho de banda de alrededor de 1 Mbps con un grado de servicio de 0,15 erlang/abonado, semejante a la red PSTN, lo que quedaría aproximadamente 1 Mbps para datos. El IAD funciona semejante a una

PABX-IP²⁹ y es adecuado para sustituirlas, especialmente en los hospitales, cuyo servicio es insuficiente.

En el caso de la estructura para FTTx (Figura 2.4), los MSAN tienen incorporadas funcionalidades de ONU en casi todas las tecnologías. El OLT se conecta del lado de la red y las ONU pueden estar distantes hasta 20 Km de la primera. Se usa normalmente fibra óptica monomodo de acuerdo al estándar G.652, con codificación de línea 8B/10B³⁰, y se usan típicamente 3 longitudes de onda: 1 310 nm, 1 490 nm y 1 550 nm. Este último se usa en caso de distribución de video. La trama de la red al cliente es multiplexada por TDM y del cliente a la red se usa TDMA.

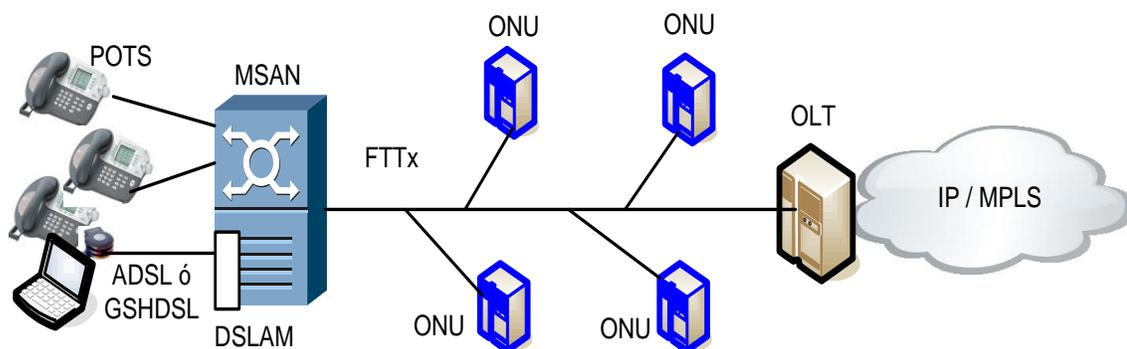


Figura 2. 4. Estructura para el uso de FTTC

En la Figura 2.5 se muestran las conexiones de las radiobases WiMAX con conexión SDH a los puntos de presencia de la red, ubicados en el territorio con mayor o menor capacidad.

Estas señales, mediante una VPN irían al controlador de radio bases, y de ahí a la red NGN, para ofrecer VoIP. El cortafuego (FW) se requiere para verificar la autenticidad de la conexión. Una vez que el *Softswitch* de NGN establece las condiciones necesarias para el establecimiento de la llamada, el flujo de paquetes o Protocolo en tiempo real (RTP) se establece únicamente entre los puntos extremos mediante la red IP/MPLS, pasando previamente por el Controlador de Sesión de Borde (SBC), que es un cortafuegos de estado, el cual verifica la integridad del flujo RTP, que sería conducido al PE más cercano al destino de la llamada. Si el abonado B pertenece a la red TDM

²⁹ Pizarra telefónica usando el protocolo IP.

³⁰ Código de línea para la transmisión de bits en líneas de alta velocidad, donde cada cadena de 8 bits se transforma en una de 10 antes de ser transmitida.

dentro del territorio, debe ubicarse un UMG, frontera paquetes/circuitos. Los datos irían directamente de la red IP/MPLS al ISP correspondiente.

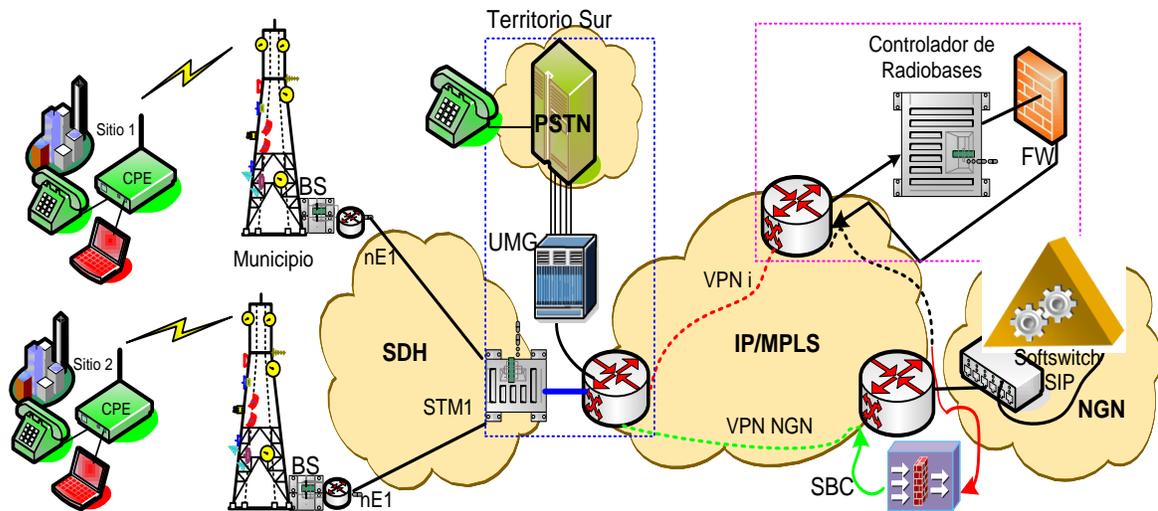


Figura 2. 5. Estructura de la red WiMAX y su inserción con la red

El servicio más atractivo a ofrecer sería PPPoE (Figura 2.6), ya que el cliente paga exclusivamente por lo que consume. El BRAS termina las sesiones PPPoE de los usuarios e inicia conexión con el servidor de Autorización, Autenticación y Tazabilidad (AAA) mediante un túnel hasta el ISP, y comienza la facturación del servicio hasta su terminación. De este modo, con tarjetas prepagadas, los usuarios pueden satisfacer las necesidades de datos.

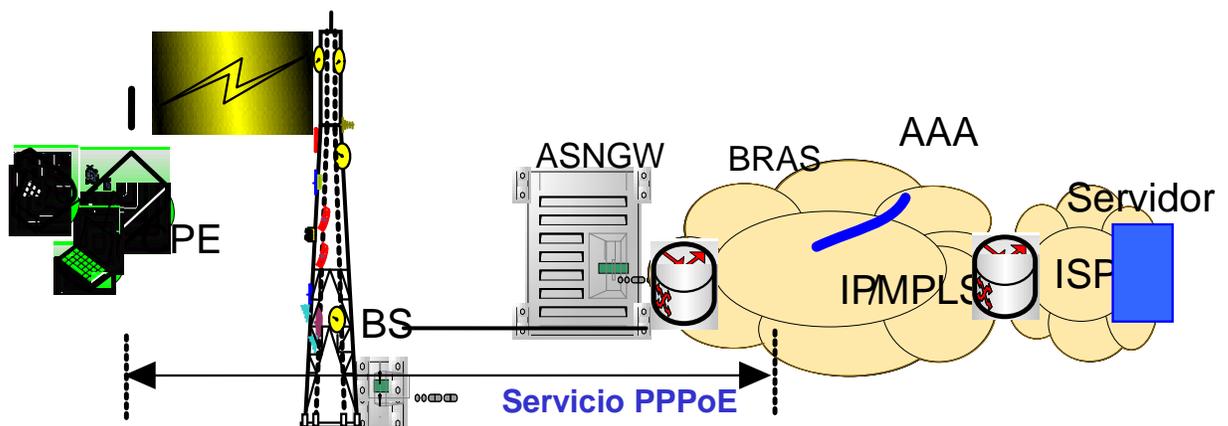


Figura 2. 6. Servicio PPPoE ofrecido con WiMAX

2.5. Criterios de diseño para la red móvil

El estado de las redes y los servicios de BA de datos en Cuba no aseguran una migración inmediata de los sistemas móviles hacia otras generaciones, lo que implica que es más necesario el despliegue inicial de los servicios, aplicaciones y contenidos de BA en las redes fijas a corto plazo[30]. No obstante, en cuanto a la red móvil, válida en el diseño para la Etapa I de los clientes residenciales, es necesario potenciar la plataforma con la mejora en la tecnología de transmisión obtenida mediante la tecnología EDGE, logrando que todas las estaciones base adopten esta plataforma. Esta tecnología, también conocida como EGPRS (GPRS Mejorado) utiliza la misma estructura que las redes actuales GSM lo cual le permite constituirse como una capa sobre la red existente como una simple actualización de *software*. El objetivo de esta tecnología es incrementar la razón de transmisión de datos y la eficiencia espectral y facilitar nuevas aplicaciones, así como incrementar la capacidad. Las velocidades que se logran son posibles gracias a nuevas técnicas de modulación, y métodos de transmisión tolerantes ante errores que son combinados con mejorados mecanismos de adaptación del enlace. Entre sus características están:

- La transmisión por paquetes, con una mejora sobre GPRS, ya que se optimiza gracias a la nueva modulación. Esto permite además, mejorar el rendimiento para cada usuario de datos y aumentar la capacidad, soportando más usuarios en el mismo intervalo de tiempo.
- La mayor velocidad de transmisión que permite el desarrollo de múltiples servicios sobre esta tecnología, con un mayor y mejor contenido *triple play*.

Entre los beneficios se halla la movilidad, la conexión permanente, la facturación y la compatibilidad de cobertura. Ambas tecnologías son 100% compatibles, lo que garantiza que los usuarios tendrán una calidad de servicio asociada a la tecnología GPRS. No se deberán realizar configuraciones especiales para utilizar esta nueva tecnología, sólo se debe contar con un equipo terminal que soporte EDGE (por ejemplo, el NOKIA 6230i) (ver Anexo 3) y estar dentro de la zona de cobertura.

Para la implementación de EDGE por parte de ETECSA, el núcleo de red, no necesita ser modificado, y sí las estaciones base. Se deben instalar trancceptores compatibles con EDGE, además de nuevos terminales y un *software* que pueda decodificar/codificar los nuevos esquemas de modulación.

Las redes actuales 2.5G se mantendrán activas continuando el despliegue de las mismas de acuerdo a las estrategias de planeamiento definidas y dirigidas hacia el logro de un plan de cobertura que satisfaga las necesidades fundamentales del país. Estas redes deben evolucionar primeramente hasta lograr que todas las Estaciones Base Transceptoras (BTS) activas posean las funcionalidades GPRS/EDGE donde se alcance la máxima velocidad de transmisión que la tecnología sea capaz de brindar. Esta estrategia implica la sustitución de estaciones con tecnologías antiguas o que no pueden ser llevadas a las funcionalidades ya descritas, por estaciones más modernas que posean las funcionalidades requeridas y con mayores capacidades de tráfico por celda. En resumen, se debe optimizar tecnológicamente el sistema actual. En este sentido el 75% de las estaciones base ya están implementadas con tecnología EDGE, quedando solo el 25% con GPRS. Solo quedaría actualizar el *software* de estas últimas para ponerlas a tono con el resto.

2.6. Propuesta de equipamiento para la red diseñada

La definición del tipo de equipamiento a instalar depende de muchos factores (ver Tabla 7) [37]. Entre los más importantes cuentan los referidos a los proveedores con que Cuba tiene convenios internacionales establecidos, como son ALCATEL – LUCENT, ERICSSON, ZTE y HUAWEI. Las cuatro poseen buena calidad en equipamiento, son líderes mundiales que dominan el mercado y tienen ventas millonarias en todo el mundo. Los dos últimos ofrecen mayor estabilidad en cuanto al soporte técnico y a las garantías de post-venta, así como convenios de pago a largo plazo. HUAWEI se ha convertido en proveedor estratégico de Cuba, y tiene en ZTE su complemento. Ambas tecnologías interoperan establemente, de modo que la decisión es utilizar equipamiento de este último proveedor [36].

Los equipos para la red de acceso deben ser robustos, y no se precisan de las altas velocidades en esta fase, porque también hay que seguir preparando el *backbone* de red paulatinamente para que las soporte. En el caso de las tecnologías por cobre, lo importante es que sean resistentes al ruido para poder alcanzar mayores distancias, u operar en condiciones de pares de cobre ruidosos. Esto garantiza ahorros en operación y mantenimiento. Aunque los caudales de información son grandes, se utilizarían por abonado anchos de banda de 2 Mbps, simétrico y 128 – 256 Kbps, asimétrico. En el caso de WiMAX, lo importante es la protección contra descargas eléctricas, especialmente en CPE exteriores.

Para la tecnología móvil no se considera equipamiento nuevo debido a que solo se actualizarán los que están sirviendo a la actual red GSM, instalar las estaciones base necesarias para el aumento de los clientes y la cobertura, y lograr la migración en aquellos sectores de red que no lo hayan hecho.

Tabla 7. Equipamiento para el despliegue.

Tecnologías xDSL			
No.	Equipo	Función	Modelo
1	DSLAM	Multiplexar el tráfico DSL hacia y desde la red WAN	SmartAX MA5600
2	G SHDSL <i>Telindus</i>	MODEM simétrico	GSHDSL – 1423
3	Módem DSL	Modula y demodula en señales de usuario en las modulaciones DMT o DWMT	MT 882
4	Dispositivo de acceso integrado IAD	Provee acceso a la Red de área amplia (WAN) e Internet	IAD 122X
Tecnología Óptica			
No.	Equipo	Función	Modelo
1	OLT	Terminal óptico de línea	MA 5603 T
2	ONU	Unidad de red óptica	F01D 1000
3	Divisor Óptico	Transfiere la señal óptica de un dispositivo a 2 receptores con entrada óptica distinta	MT 1502
4	Fibra Óptica	Soporte óptico de transmisión	Monomodo, (ITU-T G 652)
Tecnologías de Radio WiMAX, IEEE 802.16e			
No.	Equipo	Función	Modelo
1	Radio base	Permite el acceso inalámbrico de banda ancha	DBS 3900
2	Controlador de estaciones base	Controla el tráfico de radio de las estaciones base.	WASN 9770
3	Sistema de Gestión.	Gestiona el equipamiento radio de la red.	M200 y AP Manager
5	Terminales	Terminal de radio para el cliente.	BM 632
6	Rectificador DC.	Rectifica la CA para la alimentación del sistema.	EMERSON PS 48600
7	Baterías.	Alimentación del sistema.	COSLIGHT 6 GFMZ
8	<i>Software</i> de planeamiento.	Planificación de la red.	GENEX-UNET
9	Cortafuegos	Para prevenir de ataques informáticos	Eudemon E200
10	Servidores AAA, DHCP, DNS.	Autenticación, autorización, cobro, asignación de direcciones IP, y resolución de nombres de dominio	Servidores HUAWEI
Tecnología Móvil GSM/GPRS/EDGE			
No.	Equipo	Función	Modelo
11	Tranceptores compatibles con EDGE	Proceso de transmisión - recepción, utilizando componentes de circuito comunes	RBS 2206 (ERICSSON)
12	Software de codificación /decodificación	Codificar/Decodificar los nuevos esquemas de modulación	-
13	Equipos terminales	Soportar la tecnología GPRS/EDGE	NOKIA 6230i

2.7. Conclusiones Parciales

En este Capítulo se describió brevemente la situación que debe enfrentar ETECSA para iniciar la implementación de BA en el país, se definieron y justificaron las tecnologías candidatas para iniciar el despliegue de BA en el Territorio Sur de La Habana que permitan incrementar la densidad de voz y datos en más de un 35 % y entregar servicios de BA primarios. Se expusieron las estructuras de red en cada caso y se propuso el tipo de equipamiento, así como algunos criterios para el diseño lógico de la red. Se concibieron dos etapas para la implementación, una primera que se desarrolla en el presente trabajo, y una segunda que se deja planteada.

Se debe dejar claro que las mismas no deben constituir una camisa de fuerza, ya que las tecnologías envejecen con prisa, y es necesario mantenerse alertas para adoptar nuevas soluciones ante nuevos estándares que garanticen mejor la informatización de la sociedad del Territorio Sur de La Habana.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES DE BANDA ANCHA

En el presente capítulo se presenta el análisis de las soluciones de telecomunicaciones necesarias que dispongan a la Red de Acceso del Territorio Sur de La Habana como soporte al despliegue de Banda Ancha. Se realizan los cálculos necesarios de los enlaces y de tráfico para las tecnologías seleccionadas y se valida la propuesta a través de un ejercicio de simulación de la red WiMAX obtenida. También se hace un cálculo económico para analizar la factibilidad del proyecto.

La Tabla 8 señala resumidamente las consideraciones para el despliegue, que señala una etapa previa de preparación y luego el despliegue como tal, en su Etapa I.

Tabla 8. Propuesta de despliegue de BA en el Territorio Sur de La Habana.

No.	ETAPA	ALCANCE (Años)	TECNOLOGÍAS PROPUESTAS
1	PREPARACIÓN	2 (2012-2013)	Tiene el objetivo de garantizar un mayor acceso al servicio básico, y obtener presupuestos, válidos para costear el inicio del despliegue
2	DESPLIEGUE	3 (2014-2016)	Cableadas [xDSL(ADSL, G. SHDSL), Híbrida FTTC-ADSL] Radio (GSM/GPRS/EDGE, WiMAX fijo)

3.1. Preparación de la Red de Acceso actual³¹

Antes de pasar al despliegue en sí, es necesario considerar una preparación previa a las redes de acceso de cobre, las más difundidas en el territorio bajo estudio, que no ofrecen el ancho de banda necesario. Comenzar el proceso por este necesario punto obedece a que al preparar estas redes, se crea un valor al cliente que puede coadyuvar al despliegue, con los beneficios de la prestación del servicio básico, aún insuficiente. Son objetivos fundamentales a lograr en esta etapa preliminar la eliminación de la Demanda Insatisfecha de servicios de voz y la Telefonía Fija Alternativa (TFA) que ofrece un servicio insatisfactorio al cliente, así como la necesaria calificación de los pares para ofertar BA, tratando de concretar un dimensionamiento plenario a dichas redes.

³¹ Tomado del Documento Final del Proceso de Cuadriculación de La Habana realizado para identificar y solucionar la Demanda Insatisfecha de la ciudad.

3.1.1. Situación Actual de las líneas para la Red de Acceso del territorio

El Territorio Sur de La Habana consta de siete Áreas Telefónicas Básicas que abarcan seis Municipios, los cuales se muestran gráficamente en la Figura 3.1.

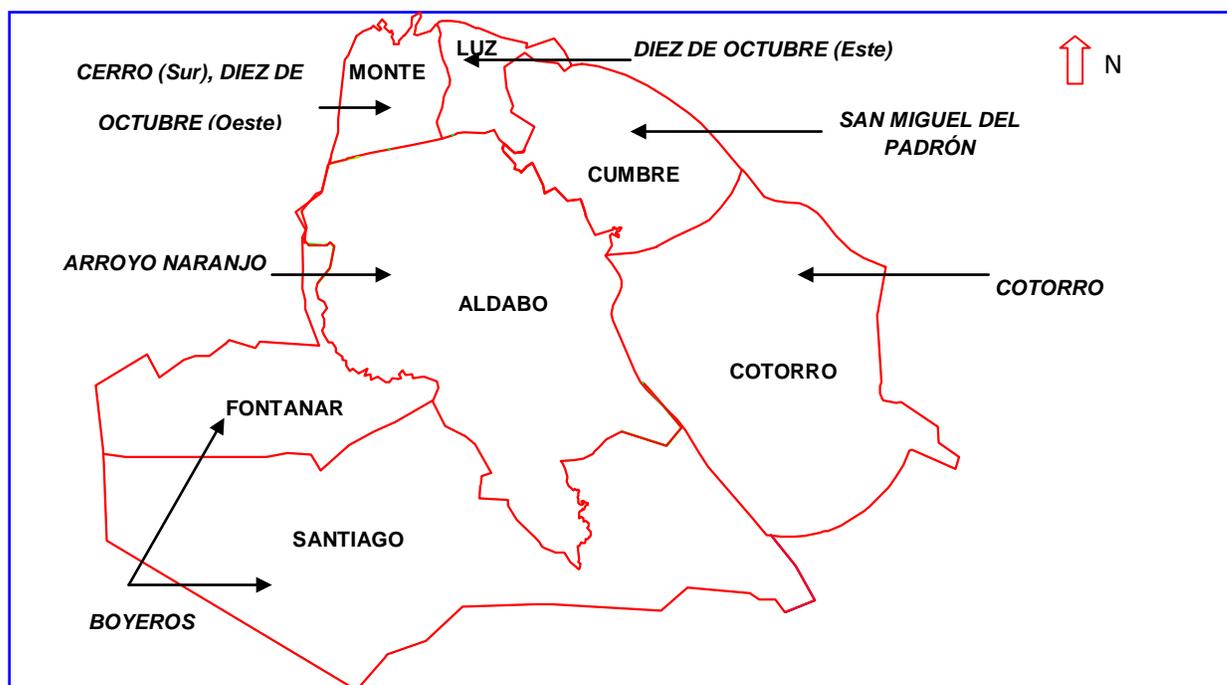


Figura 3. 1. Mapa del Territorio Sur de La Habana, señalando sus Áreas Telefónicas Básicas y los Municipios que cubre. Fuente: Mapinfo y ETECSA

El Territorio Sur de La Habana tiene, de acuerdo a Tabla 9, un total de 930 447 habitantes y un total aproximado de 244 756 hogares ubicados en un área de 324,0 km².

Tabla 9. Datos demográficos y de Densidad Telefónica (DT) del Territorio Sur de La Habana (Mayo 2011). Fuente: Poder Popular de cada Municipio y ETECSA.

TERRITORIO SUR DE LA HABANA	Cantidad de Habitantes	Superficie (Km ²)	Telefonía Básica Fija	TFA	Densidad Telefónica (%)
Cantidades Totales	930 447	324	105 347	6 723	12,60

La DT del territorio está bastante deprimida, 12,60 %, considerando TFA, o sea 12,60 servicios por cada 100 habitantes. Los Municipios de Boyeros (6,3 %), San Miguel del Padrón (7,5 %), Cotorro (9,2 %) y Arroyo Naranjo (10,06 %), son los más críticos.

En cuanto a la ocupación de las Centrales, el panorama se presenta en la Tabla 10, que muestra una saturación importante a tener en cuenta a la hora del necesario aumento de líneas para la informatización.

Tabla 10. Ocupación de los sitios tecnológicos del Territorio Sur de La Habana. Fuente: ETECSA, Cierre de Mayo 2011

SITIO	LÍNEAS FIJAS INSTALADAS	LÍNEAS FIJAS EN SERVICIO	DIFERENCIA	%
LUZ	52713	48181	4532	91,40
MONTE	40876	36229	4647	88,63
NGN VEDADO	25872	20937	4935	80,93
TOTAL	119461	105347	14114	88,19

3.1.2. Soluciones de red inmediatas (plazo: S+6 meses)

S se señala como la fecha de decisión de comienzo del proceso, dependiendo de consideraciones estaduales. Se presentan las soluciones en lo que respecta al beneficio técnico-económico que estas traen a la red del territorio. En el Anexo 2 se reflejan con mayor detalle.

Se constatan como soluciones inmediatas aquellas que son realmente imprescindibles para elevar la DT de los territorios, cuestión primaria muy importante, y en la cual solo están implícitos los gastos de la red de abonados, o sea, se aprovecharán los pares que en este segmento están libres.

Tabla 11. Soluciones de la 1ra. Etapa (inmediatas). Fuente: Estudios del Departamento de Operaciones de la Red de la DTSR.

Sust. TFA	Solución DI (MN + MLC)	Oferta Población	Ingresos por Sust. TFA (MCUC)	Ingresos Estimados Etapa I (MN + MCUC)	Ingresos Exportables LDI entrada (MUSD)	Ingresos Totales (MUSD)	Gasto Estimado Red Abonados (MUSD)
289	206	1 940	172.20	1 265.58	282.85	1 720.63	58.44

Es bueno apuntar que con la sustitución de un servicio TFA se pueden instalar 15 móviles celulares [31], el cual ingresa un promedio de \$11,00 CUC mensuales como tráfico doméstico y \$8.75 CUC de tráfico internacional para un total de \$19.75 CUC mensuales, y \$237.00 CUC en el año. Debe

aclararse que los Consejos Populares que se proponen para esta etapa son los más deprimidos en cuanto a la DT, poseen altos niveles de Demanda Insatisfecha (DI) y tienen instalados mayor cantidad de servicios TFA. Se parte de 9 223 DI y 6 723 TFA.

3.1.3. Soluciones con Mejoramientos de red (Plazo: S+1 año)

Consiste en el análisis de soluciones basadas en Mejoramientos de la Planta Exterior, ya sea distribuciones locales de cables alimentadores existentes ó distribución de red primaria y secundaria en nuevos gabinetes flexibles. Las soluciones se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Soluciones de 2da. Etapa (Mejoramientos de red). Fuente: Estudios del Departamento de Operaciones de la Red de la DTSR

Sustitución TFA	Solución DI (MN + MLC)	Oferta Población	Total solución servicios	Ingresos Estimados II Etapa TFA (CUC)	Ingresos Estimados Etapa II (MN + MLC) (MUSD)	Gasto Estimado (MUSD)	Gasto Estimado Red Abonados (MUSD)
886	592	4 517	5 991	552.00	3 561.227	705.50	143.78

3.1.4. Soluciones a través de Inversiones (Plazo de S+2 años)

Estas soluciones se basan principalmente en la expansión de MSAN. La Tabla 13 muestra un análisis costo/beneficio de estas inversiones.

Tabla 13. Soluciones de 3ra. Etapa (Inversiones). Fuente: Estudios del Departamento de Operaciones de la Red de la DTSR

Sustitución TFA	Solución DI (MN + MLC)	Oferta Población	Total solución servicios	Ingresos Estimados III Etapa (TFA) (MUSD)	Ingresos Estimados Etapa III (MN + MLC) (MUSD)	Gasto Estimado (MUSD)	Gasto Estimado Red Abonados (MUSD)
5 548	1 702	32 151	39 401	1 748.25	20 689.78	2 417.36	945.62

3.1.5. Análisis económico para la precalificación de pares

Dentro de las pruebas de precalificación se incluyen las pruebas de precalificación eléctrica las cuales son: prueba de continuidad del par de cobre, voltaje DC(Corriente Directa), voltaje neutro-tierra, voltaje AC(Corriente Alterna), balance del circuito, balance longitudinal, balance resistivo, balance capacitivo, resistencia de aislamiento, verificación de existencia de bobinas de carga,

longitud del bucle de abonado, ruido de banda ancha, ruido sofométrico, ruido de impulso, diafonía NEXT(Paradiafonía) o FEXT(Telediafonía), Capacidad de Transmisión para el *upstream* (subida) y *downstream* (bajada) y derivaciones puenteadas.

Entre los equipos usados en el mercado (ver Anexo 4) para la precalificación de los pares se tienen: el Dynatel 965 AMS y el ALT 2000, este último permite un análisis reflectométrico profundo del par de cobre para calificar cualquier servicio de acceso o transmisión tanto analógica como digital, ya en poder de ETECSA. Se necesitan 4 equipos Dynatel 965 AMS cuyo costo aproximado es de 10 000,00 USD. El cálculo de la fuerza de trabajo para la precalificación se detalla en el Anexo 5.

3.1.6. Valoración económica total de la etapa

En la Tabla 14 se compara la situación anterior de los servicios de comunicaciones comparado con la situación tras la preparación practicada sobre la red de acceso.

Tabla 14. Comparación aproximada de la situación de redes antes y después de la Etapa de preparación de la Red de Acceso.

Denominación	Antes	Después	Diferencia
MSAN existentes	19	91	72
Gabinetes de Red Flexible	84	130	46
Líneas fijas (Incluye MSAN)	126 284	269 332	143 048
TFA	6 723	0	(6 723)
Pares disponibles	19 740	109 564	89 824
DI	9 223	0	(9 223)
Oferta a Población	0	76 350	76 350
Líneas Conmutación	105 347	123 747	18 400

En la Tabla Resumen 15 se expone el gasto total de las tres etapas de preparación de la red de acceso del territorio, incluyendo los correspondientes a la adquisición de equipamiento para la precalificación de los pares de cobre y el gasto para la adquisición de las líneas por Conmutación telefónica, considerando \$100,00/línea, o sea, \$ 1 840 000,00. Se estima que para el período

señalado, la DI haya minorado totalmente, todos los TFA hayan sido sustituidos, se haya dado una oferta a la población de 76 350 facilidades y se haya incurrido en gastos relativamente bajos respecto al beneficio en Ingresos estimados, más de 25 Millones de unidades monetarias (UM), para un Valor Agregado Bruto de más de 20 000 000,00 UM que deberán ser usados en el inicio del despliegue de BA en el territorio.

Tabla 15. Resumen económico final de la Etapa de preparación. Fuente: Estudios del Departamento de Operaciones de la Red.

Sust. TFA	Solución DI (MN+	Oferta Pueblo	Total solución servicios	Ingresos Totales TFA	Ingresos Estimados Etapa I, II, III (MN + MLC)	Gastos Totales Estimados	Gasto Total Red Abonados
	MLC)						
6 723	2 500	38 608	47 831	2 403 588,00	25 569 269,00	5 069 640,00	1 147 944,00

3.2. Red final propuesta para el Territorio Sur de La Habana

En este Epígrafe se consideran las soluciones de red para cada sector identificado, estableciendo los cálculos de red necesarios en beneficio del despliegue de BA en el territorio. Se ha demostrado que la red de acceso en su estado actual no puede satisfacer los requerimientos de ancho de banda que los clientes demandan, por lo que se establece un estado deseado donde se persigan las metas para lograr tal satisfacción con las tecnologías que previamente se han seleccionado.

3.2.1. Tareas generales para la red de acceso del territorio

Las Tareas generales para la red de acceso del territorio se enmarcan en la Tabla 16 siguiente:

Tabla 16. Estado deseado para la Red de acceso del Territorio Sur de la Habana.

No.	Tarea General en la Red de Acceso	Beneficio
1	Aumento de la DT	DT del 35 %
2	Aumento de las líneas para Conmutación.	18 400 líneas para Soporte de la Planta Exterior.
3	Pre-calificación de los	Aplicación de los pares de cobre para DSL
4	Despliegue masivo de MSAN en el territorio, potenciando la Red NGN.	Entrega de servicios básicos y de datos para todos los sectores del territorio con IPTV y Video bajo demanda (VoD), acceso a Internet, correo electrónico, entre otros. Se implementarán 72 unidades.
5	Instalación de las líneas DSL.	Más de 100 000 líneas
6	Instalación de las líneas WiMAX.	768 para iniciar
7	Instalación de las líneas móviles.	Más de 245 000 líneas, de ellas unas 100 845, obtenidas con la sustitución de los TFA.

Un estudio de la cantidad de MSAN en el territorio, tanto la actual como la que se pretende incrementar por Municipio se muestra en el Anexo 2B. Existen 19 implementados actualmente y se pretende aumentar la cifra a 91, incrementando 72 unidades, que con cobertura de alrededor de 1 Km, serían conectados a la Central Principal Luz y a la local Monte a través de enlaces por fibra óptica. La Figura 3.2 muestra los anillos de FO en La Habana a los cuales se deben conectar estos nodos.

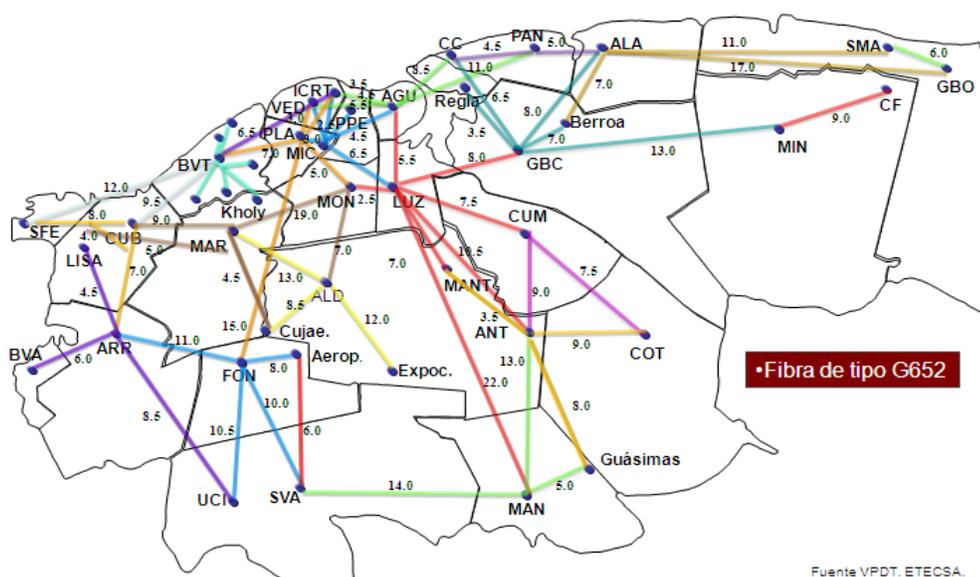


Figura 3. 2. Anillos de Fibra Óptica en La Habana. Fuente: VPDT (ETECSA)

3.2.2. Resultados del cálculo de las líneas DSL

En el Territorio Sur de La Habana existe actualmente una DT fija de un 12.60 %, incluyendo las líneas TFA (6 723), y se pretende llegar a un 35 % para el año 2016, para el cuál se prevé de acuerdo a datos de la Oficina Central de Estadísticas un crecimiento de 1,35%, o sea, habrá aproximadamente un total de **1 256 104 habitantes**. Teniendo esto en cuenta se determinaron las líneas a instalar. Para calcular el número de líneas se utilizó la ecuación I.

Líneas telefónicas para el 2016 = Cantidad de habitantes para 2016 x 35 / 100 (I)

Sustituyendo en I el dato de la población para el 2016, se obtienen **439 636 líneas** para 2016.

Actualmente se maneja una Densidad Telefónica Fija de 12,6 %, incluyendo las líneas TFA (6 723 líneas), pero para una base de datos fidedigna de las líneas disponibles totales para el territorio es necesaria la consideración de las líneas móviles, o sea 47 952 líneas actuales con tecnología GSM.

Entonces se calculan las líneas totales:

L totales = L fijas + L móviles + L tfa (II)

Líneas fijas = Líneas NGN Vedado + Líneas Monte-Luz = 20 937 + 84 410 = 105 347

Sustituyendo el valor de Líneas Fijas en II, se tiene,

L totales = 105 347 + 47 952 + 6 723

L totales = 160 022 líneas reales.

Si se tiene un total de 160 022 líneas reales actualmente, se deberá crecer para 2016, en un total de 439 636 – 160 022 = **279 614 líneas**.

Ahora bien, se propone comenzar el crecimiento de la forma siguiente respecto de las líneas fijas:

- La instalación de gabinetes de red flexible (46) aportaría 15 640 líneas (ver Anexo 2).
- La instalación de MSAN (72) aportaría 60 170 líneas. Además, se debe lograr un completamiento de líneas de los MSAN en servicio de un 85 %, válido para un total de 2 994 líneas, lo que sumaría un total de 63 164 líneas (ver Anexo 2).
- Se deben aprovechar los pares vacíos disponibles (19 740 unidades) que se tienen en el territorio, de acuerdo a Tabla 4.
- Total de líneas fijas por estos conceptos = Líneas fijas existentes + Incremento por la instalación de gabinetes flexibles + Incremento por instalación de nuevos MSAN + Incremento de líneas por completamiento MSAN existentes + Líneas vacías disponibles = 105 347 + 15 640 + 60 170 + 2 994 + 19 740 = 204 431 líneas (de ellas **84 641 Híbrida FO-Cobre y 119 790 xDSL pura**).

Si se considera un 10 % de pares que no puedan usarse por no calificar para la aplicación de la tecnología, es decir 10 % x 119 790 = 11 979 pares, se tendrían 119 790 – 11 979 = **107 811 pares potenciales para DSL**, de ellos, **84 410 son pares en servicio y 23 401 pares se incrementan**.

Si se tiene la disposición de DSLAM de la Tabla 17 quedaría:

Tabla 17. Tipos de DSLAM disponibles. Fuente: Elaboración propia.

No.	Dimensión	Cantidad de tarjetas	Puertos	Líneas DSL
1	Pequeña	2	48	96
2	Mediana	5	120	600
3	Grande	16	48	768

Usando los DSLAM pequeños para los pares libres aptos con un total de 90 abonados por cada DSLAM, dejando 6 de reserva, se tiene:

23 401 líneas / 90 abonados por DSLAM = **260 DSLAM pequeños para el crecimiento.**

Para los pares en servicio se usarán DSLAM grandes, dejando 8 puertos de reserva por cada uno:

84 410 líneas / 760 abonados por DSLAM = **111 DSLAM grandes para los pares en servicio.**

Usando Dispositivos Integrados de Acceso (IAD) en número de 1 000, cada uno con 30 puertos adicionales aproximadamente que podrían ser insertados, se crecería en 30 000 líneas más, se alcanzarían finalmente: $107\,811 + 30\,000 = 137\,811$ líneas DSL, 31 % del total esperado.

3.2.3. Resultados del cálculo del enlace óptico

El enlace óptico propuesto para el cliente social mayormente es la FTTC con el cobre en el último tramo [11, 18, 36]. Con ella se pueden conectar los 72 MSAN propuestos. Los cálculos se muestran en el Anexo 3. En el diseño, la OLT debe ubicarse en el Centro de Telecomunicaciones, debido a que permite un mejor radio de cobertura, adicionalmente se facilitan y reducen los costos en la operación y mantenimiento. La fibra escogida es la monomodo cuya longitud de onda de dispersión nula está situada en torno a 1310 nm y cumple con la Recomendación ITU-T G.652. La ONU se ubicará en el MSAN muy cercano al usuario y el cual se conecta a la red mediante fibra óptica y hacia el lado usuario mediante la red de cobre.

Para la conexión de los MSAN y OLT's previstos se utilizarán dos niveles de división, un primer nivel con relaciones 2:4 y 2:8, según se requiera, y el segundo nivel con relación de 1:4, los cuáles serán ubicados en los registros del soterrado existente, en postes o en fachadas de edificaciones. Se emplearán en total 9 divisores primarios con relación 2:4, 9 de 2:8 y 63 secundarios con 1:4.

Las redes de distribución secundarias serán de 1 200 pares de cobre con una flexibilidad aproximada de 1:2. Al MDF de cada MSAN se instalarán cables de 400 pares distribuyéndose en cables de 100, 50, 30 y 10 pares de capacidad(Ver Anexo 2). La distribución de los pares se realizará de forma aérea por postería existente o proyectada, y donde sea posible se adosarán a la pared de los edificios y viviendas multifamiliares, para reducir al mínimo la cantidad de postes a utilizar. Para el diseño del enlace óptico se calculan la Longitud y la Atenuación del enlace, parámetros que influyen directamente en que el sistema opere a una velocidad que satisfaga el ancho de banda disponible, garantizando que la señal que llega al receptor tenga el nivel adecuado que asegure eficiencia de transmisión.

- **Longitud del enlace = 126 Km > L real del enlace óptico = 20 Km**

Esta constituye la longitud máxima permitida para la velocidad de 2, 488 Gbps y teniendo en cuenta

que la distancia en este proyecto no excede los 20 km se concluye que el sistema no está limitado por dispersión. Lo que más afecta al enlace es la inclusión de los divisores ópticos con pérdidas del orden de los 65 dB (0,8 dB/ divisor).

- **Atenuación del enlace = 28,46 dB < Margen de Potencia = 31,0 dB**

Aunque los cálculos están próximos al margen de potencia, el enlace es factible técnicamente ya que se utilizó un margen de seguridad alto y se tomaron las más críticas condiciones.

3.2.4. Resultados del cálculo del enlace radio

La filosofía para la implementación de radio se muestra en la Tabla 18, donde se reconoce que la de mejores prestaciones (WiMAX) se concibe para los clientes que puedan pagar en MLC (Moneda Libremente Convertible), dejando para el sector social en la primera etapa de despliegue, la tecnología GSM/GPRS/EDGE, la más barata y con pago en MN (Moneda Nacional).

Tabla 18. Filosofía para la implementación radio. Fuente: Elaboración propia.

No.	Sector Residencial		Moneda de pago	Tecnología de radio
	Desarrollo	Rama		
1	Mucho	Turismo, Empresas	MLC	WiMAX
2	Poco	Social	MN	GSM/GPRS/EDGE

Habiendo obtenido 113 811 líneas para DSL y 84 641 Híbrida FO-Cobre, y teniendo en existencia un total de 47 952 líneas móviles, quedarían de las líneas totales para 2016 un total de: $439\ 636 - 113\ 811 - 84\ 641 - 47\ 952 = 193\ 232$ líneas nuevas para tecnologías de radio. Así quedaría para líneas móviles un 69 % del total esperado. El porcentaje de líneas fijas respecto a las móviles sería entonces en el 2016 de 31 % / 69 %, lo que cumple con la tendencia mundial de las telecomunicaciones.

- **GSM/GPRS/EDGE**

Dejando 768 líneas para Clientes que puedan pagar WiMAX, quedarían para la tecnología GSM/GPRS/EDGE:

$$193\ 232 - 768 = 192\ 464 \text{ nuevas líneas GSM/GPRS/EDGE.}$$

En la Tabla 19 se muestran los parámetros para el cálculo de las líneas móviles.

Tabla 19. Parámetros para el cálculo de líneas GSM/GPRS/EDGE. Fuente: [25]

Parámetros	Ambiente		
	Urbano denso	Urbano	Suburbano
L (u)	0.5	0.2	0.1
H (seg)	60	45	30
Tráfico/usuario (Erlang)	0.083300	0.025000	0.008333
GOS (%)	3		

Datos para el cálculo total[25]

No. Total de abonados = Líneas instaladas + Líneas Nuevas = 47 952 + 192 464 = 240 416

Superficie a cubrir = 324 Km² = 18, 14 Km de radio

Frecuencias disponibles = 36

Patrón celular (frecuencias por sector) = 4/12. (Tres sectores). 36/12 = 3

GOS (Grado de Servicio) = 3 %

Tráfico por abonado = 0,025 Erlang

Canales de tráfico por sector = 3 x 8 = 24 – 2 canales de control = 22

Ambiente: Urbano

Resultados

Tráfico por sector (Erlang B) = 22 canales de tráfico x 3 % GOS = **16,65 E / sector**

No. de abonados / sector = 16,65 E / 0,025 E = **666 abonados / sector**

No. de células (sectores) necesarios = 240 416 / 666 = **361 células**

No. Emplazamientos = 361 / 3 = **121 emplazamientos**

Área cubierta por cada emplazamiento = 324 Km² / 121 = **2,68 Km² de radio de cobertura.**

El Anexo 4 muestra la disposición de radio bases GSM del territorio que en número de 24 con 41 sectores, están diseminadas para atender un total de 47 952 servicios potenciales, considerando que cada base debe atender un total de 666 usuarios/sector [39, 40].

Si se tienen un total de 6 723 TFA (Tabla 11), y si cada uno permite la instalación de 15 líneas móviles³² con el objetivo de aprovechar las capacidades de red liberadas y asimilar el incremento de los usuarios en CUC con el mínimo de inversiones, se tiene: 15 líneas GSM x 6 723 líneas TFA = **100 845 líneas GSM agregadas.**

De acuerdo al cálculo realizado se necesitan 121 emplazamientos totales – 24 ya instalados = **97 emplazamientos que se deben instalar** para cubrir toda la demanda propuesta de servicios móviles. Se plantea el crecimiento de estaciones base mayormente en las áreas periféricas del territorio, donde la cobertura celular es escasa o nula, como son Cotorro, Santiago de las Vegas, Fontanar y el área básica de Cumbre (ver Tabla 20).

A manera de resumen, se aprovechará el cobre disponible y los trabajos adicionales de recuperación de pares para alcanzar **198 452 líneas DSL e híbrido FO-XDSL.** Las restantes 193 232 líneas de las 439 636 que deberá alcanzar el Territorio para el 2016 descansarán sobre dos tecnologías de radio. Se usará WiMAX Móvil en aquellos sectores de la economía territorial que generen ingresos en divisas y tengan posibilidad de evolucionar hacia 4G (**768 líneas**), de modo que la inversión se recupere y se proporcionen ganancias que apoyen el desarrollo de aquellas zonas cuyos servicios han de ser cobrados en MN, como es el caso de GSM/GPRS/EDGE, o sea un total de **240 416 líneas.**

Tabla 20. Dimensionamiento móvil para el Sur de La Habana. Fuente: VPSM (ETECSA) y análisis propio.

No.	MUNICIPIO	RB ACTUALES	INCREM. PLAN RED METRO	SUBTOTAL	PROPUESTA INCREM. 2016	TOTALES 2016
1	SAN MIGUEL DEL PADRÓN	2	6	8	4	12
2	COTORRO	1	1	2	6	8
3	DIEZ DE OCTUBRE	3	25	28	4	32
4	CERRO	2	11	13	4	17
5	ARROYO NARANJO	5	11	16	9	25
6	BOYEROS	11	5	16	11	27
TOTAL DE RB		24	59	83	38	121
ABONADOS POTENCIALES QUE ABARCA		47 952	117 882	165 834	75 924	241 758

³² De acuerdo a estudio sobre la sustitución del TFA como vía para disminuir las inversiones necesarias para el crecimiento de usuarios en MLC, disponible en sitio <http://www.etcusa.cu>.

3.2.5. Cálculos de tráfico

El término tráfico hace referencia al grado de utilización de los elementos de red, incluyendo Central y abonados a ella conectados y se mide en Erlang. Para el cálculo del tráfico xDSL y WiMAX se utilizó un software elaborado en *Visual Basic*³³ con el objetivo de simplificar los cálculos (ver Figura 3.3).

Cálculo de Anchos de Banda en Redes de Próxima Generación

Consideraciones

Eficiencia del Codec (%): 99.0 Eficiencia del Troncal: 80

Ancho de Banda de reserva (%): 40 % Tráfico local: 20

Ancho de Banda de señalización (%): 2 % Tráfico entrada al UMG: 80

Codificaciones G.729 - G.711: 40 100

Tipo de Abonado: Trf/abon (erl) Abonados de VoIP Total Trf /efcod (Ch/VolP) Total Ancho Banda VoIP (Kbps) Total Ch VoIP UMG (Kbps) Total Cantidad de E1 Total

Tipo de Abonado	Trf/abon (erl)	Abonados de VoIP		Trf /efcod (Ch/VolP)		Ancho Banda VoIP (Kbps)		Ch VoIP UMG (Kbps)		Cantidad de E1	
		G.729	G.711	G.729	G.711	G.729	G.711	G.729	G.711	G.729	G.711
Residencial	0.15		0	0	0	0	0	0	0	0	0
E. Públicas	0.8		0	0	0	0	0	0	0	0	0
PABX	0.8		0	0	0	0	0	0	0	0	0
RDSI (BRI)	0.2		0	0	0	0	0	0	0	0	0
RDSI (PRI)	0.8		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totales:		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Cantidad de Abonados de Datos: Downstream (kbps): 128 Fator de simultaneidad: 0.6 Ancho de Banda Datos (Mb): 0

RESUMEN

Total de Abonados (VoIP): 0 Ancho de Banda Señalización (Kb): 0

Total de Abonados (Datos): 0 Ancho de Banda (VoIP) (Mb): 0

Ancho de Banda (Datos) (Mb): 0

Ancho de Banda Total (VoIP+Datos) (Mb): 0

Botones: Calcular, Limpiar (1, 2)

Diagrama: Softswitch, Trf Local (20%), Trf Entrada (80%), Canales VoIP, AB VoIP, VoIP UMG, E1, PSTN.

MsC. Alberto J. García García Agosto 2011

Figura 3. 3. Apariencia del software en Visual Basic para el cálculo de tráfico

El programa permite variar los valores de referencia iniciales y de esta manera hacer diferentes estimados. Por ejemplo:

1. Se consideró una eficiencia de los codificadores de un 99 %. Esto implica perder un paquete en 100, lo cual es lógico.
2. Como las comunicaciones de VoIP, especialmente las de IAD y MSAN van a estar controladas por *Softswitch*, se estimó un ancho de banda de señalización de alrededor de un 2 % del ancho de banda total que ocupa el tráfico. Esto es importante porque hay nodos en la red a los cuales arriba tráfico de señalización de otros nodos, y esto ha de ser considerado.
3. Estadísticamente, el tráfico local es de un 20 % y el 80 % restante es de salida hacia otras localidades, y realmente ocupa ancho de banda de transmisión, que es el que hay que calcular.

³³ Lenguaje de programación desarrollado por Alan Cooper para Microsoft.

4. Hay consideraciones adicionales sobre la eficiencia de los enlaces troncales, que es de alrededor de un 80 % porque no hay total transparencia en las centrales de conmutación y hay pérdidas de llamadas en el proceso de conmutación.
5. Para ser más precisos en los cálculos hay que desglosar los tipos de tráfico, de modo que el residencial típico es de 0.15 Erl/abonado, las estaciones públicas, 0.8 erl/abonado, aproximadamente igual a las PABX y los teléfonos celulares 0,0025 erl/abonado (valor que es sensiblemente bajo en el entorno de estudio, donde lo que se incrementa es el tráfico de señalización)
6. En el esquema asociado al programa, se detallan los puntos intermedios que ofrecen resultados importantes de tráfico.
7. La idea es la siguiente: Cada tipo de tráfico diferente se codificará con G711 o G729 atendiendo a por cientos de abonados y a otras consideraciones:
 - a. Si el abonado es exclusivamente residencial y no va a disponer de servicio de transmisión de datos, se codificará con G729.
 - b. Los abonados pertenecientes a Estaciones Públicas, Servicentros, Supermercados y Tiendas, se codificará con G.711. El motivo es que las Estaciones Públicas tienen un módem interno para reportar el estado de las mismas cada cierto tiempo e informar sobre su facturación. Estas transmisiones de datos en la banda de voz, no admiten compresión. Tienen módems también los Servicentros en sus bombas de combustible y los Supermercados con el pago de clientes a través de tarjetas de crédito. Mediante un estudio de la zona se definen estos por cientos de tráfico para ganar en exactitud y dimensionar correctamente las tarjetas de los nodos de acceso. Esto es preciso detallarlo porque si se codifica con G711, el nodo utilizará un solo procesador digital de señal (DSP), pero si se hace con G.729, se emplean 4 DSP por llamada telefónica. Esto da una idea de que hay un compromiso en utilización de ancho de banda y de recursos de red. G729 ahorra ancho de banda pero consume 4 veces más recursos que G.711.
 - c. Las velocidades en línea también hay que tenerlas en cuenta, ya que se debe transportar paquetes IP, pero hay que dejar un ancho de banda suficiente para la capa de enlace sobre la cual va IP, y que tiene carácter local, variando de segmento en segmento de red. Por ejemplo: El enlace entre el nodo de acceso y la red IP-MPLS puede ser SDH, Ethernet, GEth, etc. Se tomaron paquetes de 20 ms para ambas codificaciones por tener una tamaño intermedio y razonable entre 10 y 30 ms. En un segundo se generan 50 paquetes.

- d. El tamaño de los paquetes también varía. Para G 729 son 20 bytes de VoIP y para G711 son 160 bytes de VoIP. Al sumar a ambos las cabeceras de los protocolos RTP (12 bytes) + UDP (8 bytes) + IP (20 bytes) da como resultado: G729 con 60 bytes y G711 con 200 bytes (Figura 3.4). Se transportará entonces:
- G711: $50 \text{ paq} \times 200 \text{ bytes} = 10000 \text{ bytes/seg} \times 8 \text{ bits} = 80 \text{ Kbps}$.
 - G729: $50 \text{ paq} \times 60 \text{ bytes} = 3000 \text{ bytes/seg} \times 8 \text{ bits} = 24 \text{ Kbps}$.
 - Dejando un margen suficiente para la capa de enlace se consideró tomar 40 y 100 Kbps en línea.

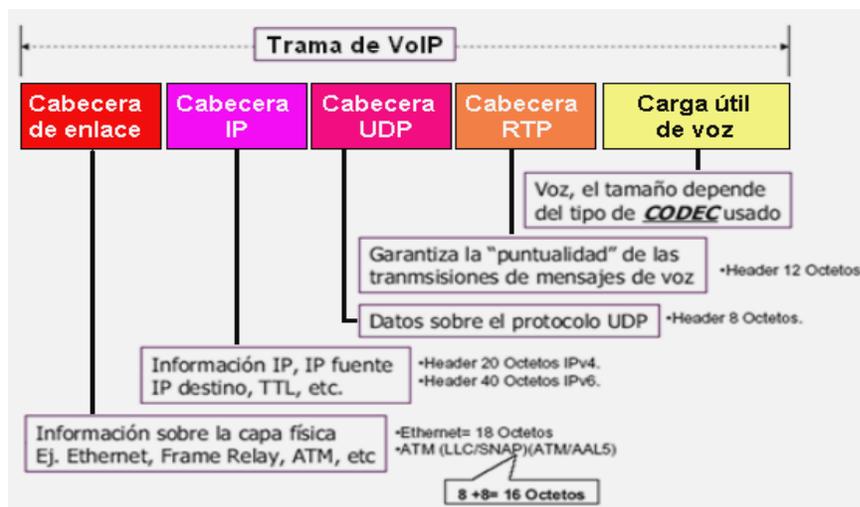


Figura 3. 4. Formato de trama VoIP

- El fundamento es el clásico: Se multiplica la cantidad de abonados que van a realizar comunicaciones no locales por cada tipo de tráfico por el tráfico generado por los mismos. Con el resultado obtenido se busca en la Tabla de Erlang el número de circuitos que se emplearían simultáneamente para un grado de pérdidas determinado, que en el caso de estudio es de 0,01, que significa perder una llamada de 100 intentos posibles. Estos circuitos lo multiplicamos por el ancho de banda que ocupa en línea un abonado con su correspondiente codificación y finalmente sumamos las contribuciones de anchos de banda obtenidos en cada caso. Esto dará el ancho de banda total utilizado para la VoIP.
- El ancho de banda para los datos se calcula multiplicando la cantidad de abonados de datos por el ancho de banda máximo de la red al cliente (*downstream*) y a su vez por un factor de simultaneidad de conexión, que típicamente es de 0,6; valor de referencia tomado en Argentina, Italia y China, según investigaciones con los especialistas de Asistencia Técnica.

A continuación, en la Tabla 21, y siguiendo estas consideraciones y metodología, se expondrán los resultados para los sistemas por Fibra-Cobre y Radio WiMAX. Se tienen en cuenta las Estaciones Públicas del territorio en número de 5 050 unidades y las Pizarras PBAX en 268.

Tabla 21. Cálculo de tráfico de enlaces FO-Cobre y WiMAX. Elaboración propia.

No.	SISTEMA	CANTIDAD DE ABONADOS (líneas)		ANCHOS DE BANDA(Mb)			
		VoIP	DATOS	SEÑALIZ.	VoIP	DATOS	TOTAL
1	FO-COBRE	203 770	198 452	46,62	2331,18	15241,11	17572,29
2	WiMAX	360	768	0,062	3,12	58,98	62,10
TOTALES		204 130	199 220	46,682	2 334,30	15 300,09	17 634,39

El principal reto en el cálculo del tráfico GSM/GPRS/EDGE es dimensionar y modelar el tráfico requerido para las nuevas aplicaciones y servicios, para así obtener el número de canales de tráfico necesarios [27]. El tráfico para esta tecnología se calcula:

$$A = M \cdot L \cdot H / 3600 \text{ (III)}$$

Donde:

- A = Intensidad de Tráfico a calcular (Erlang)
- M = Terminales dentro de la celda
- L = Número medio de llamadas por móvil en la hora pico (unidades)
- H = Duración media de las llamadas (segundos)

Sustituyendo los valores correspondientes al caso de estudio, teniendo en cuenta un ambiente urbano en la ecuación III:

$$A = M \cdot L \cdot H / 3600 = 240\ 416 \times 0,2 \times 45 / 3\ 600$$

$$A = 601,04 \text{ Erlang de Tráfico Total GSM/GPRS/EDGE}$$

Si EDGE permite un ancho de banda por canal de 230 KHz y 15 Kbits de voz y datos respectivamente, entonces para las 121 estaciones del territorio que tienen 7 986 canales (66 por estación), el ancho de banda de voz y datos disponible sería de unos **1 836,78 MHz y 120 Mbits.**

3.3. Cálculo de la red WiMAX

En este Epígrafe se calcula la red WiMAX, o sea, el diseño y simulación de la interfaz aire para ofrecer BA a clientes que deben pagar tarifas en MLC, y de esta forma puedan ayudar económicamente a la compra del equipamiento para el desarrollo de la BA en el territorio [22]. Las consideraciones y características que se toman en cuenta para realizar el diseño de la red inalámbrica con tecnología WiMAX, entre otros aspectos son: las bandas de frecuencia a utilizarse, tipo de tráfico a cursar por la red, los principales componentes genéricos que forman parte de la red, las características técnicas específicas de los equipos a utilizarse en el estudio y la arquitectura y topología de la red. La razón para usar el estándar IEEE 802.16e en el Territorio Sur de La Habana obedece a razones de flexibilidad de implementación, además de dotar de acceso inalámbrico de BA al territorio en sitios de importancia económica. La conexión entre el Controlador de Estación base (SBC) y la pasarela de acceso a la red de servicios (ASN-GW) se realizará por medio de la red IP/MPLS de ETECSA con interfaces de 1 Gigabit Ethernet. La estación base estará interconectada a los nodos más cercanos a su emplazamiento del *backbone* IP/MPLS de la empresa mediante fibra óptica, si se quieren integrar los servicios a la tecnología IP. En virtud de esto la topología de interconexión de la estación base será tipo *bus*³⁴, por lo cual el registro lo realizará a través del *Softswitch* ubicado en el Vedado. El diseño de la red WiMAX se concibe robusto, escalable y de bajos niveles de cobertura iniciales.

3.3.1. Resultados del cálculo del enlace radio WiMAX

En Cuba, el Ministerio de la Informática y las Comunicaciones (MIC) ha emitido la Resolución 123/2008 que autoriza el empleo de la versión WiMAX móvil, IEEE 802.16e, para aplicaciones fijas, y ha determinado las bandas de frecuencia de trabajo a través de la Resolución 33/2011 (valores de 2,555 GHz a 2,625 GHz), así como demás parámetros relacionados para su implementación comercial.

El *Backhaul*³⁵, a través del enlace por fibra óptica a 100 MHz de ancho de banda, y la Última Milla que es la conexión de la Estación Base mediante radio con los objetivos a alimentar son

³⁴ Topología de red que se caracteriza por tener un único canal de comunicaciones denominado *bus*, *backbone* o *troncal*, al cual se conectan los diferentes dispositivos de la red. Así comparten el mismo canal para la comunicación entre sí.

³⁵ Red de retorno. En el caso de este trabajo se refiere al enlace óptico que se produce entre el nodo de fibra óptica que da acceso al Backbone IP/MPLS y la Estación Base WiMAX.

características propias de WiMAX. La cobertura de radio que se pretende alcanzar tiene como objetivo satisfacer la demanda que abarca la zona turístico-científica más notable del territorio, con clientes como EXPOCUBA (recinto ferial internacional), AEROPUERTO INTERNACIONAL JOSE MARTÍ, LABIOFAM (Centro Laboratorio Biofarmacéutico), CENPALAB (Centro para Animales de Laboratorio) y PARQUE LENIN (Centro de Recreación de múltiples opciones). Las coordenadas y elevación sobre el nivel del mar de cada uno de estos puntos se muestran en la Tabla 22. Se observa la reducida dispersión geográfica y la similitud de las elevaciones de los asentamientos, lo que facilita la proyección y cálculos del área de cobertura, a pesar de que esta versión trabaja NLOS.

Tabla 22. Coordenadas de los centros de interés para el enlace WiMAX

No.	CLIENTE	LATITUD NORTE	LONGITUD OESTE	ELEVACIÓN(M)
1	AEROPUERTO	22°59'58.33''	82°24'24.55''	70
2	CENPALAB	22°58'36.59''	82°22'13.05''	94
3	EXPOCUBA	22°59'23.09''	82°20'46.27''	87
4	LABIOFAM	22°59'05.97''	82°23'05.71''	76
5	PARQUE LENIN	23°00'25.13''	82°21'09.24''	84

La Figura 3.5 muestra la vista aérea de la demanda georeferenciada de los asentamientos del interés del trabajo, a través del *software Google Earth*.³⁶ El ZOOLOGICO NACIONAL y el JARDÍN BOTÁNICO NACIONAL están también dentro de la demanda del área escogida, por hallarse a solo unos metros de los asentamientos de PARQUE LENIN y EXPOCUBA respectivamente. También puede surgir demanda en otros lugares dentro del área, que puedan pagar las tarifas que se acuerden y podría aumentarse el número de clientes potenciales para esta tecnología hasta que la misma soporte tales niveles de tráfico.

³⁶ Programa informático creado por *Keyhole Inc.* que permite visualizar imágenes en 3D, combinando imágenes de satélite, mapas y el motor de búsqueda *Google*.

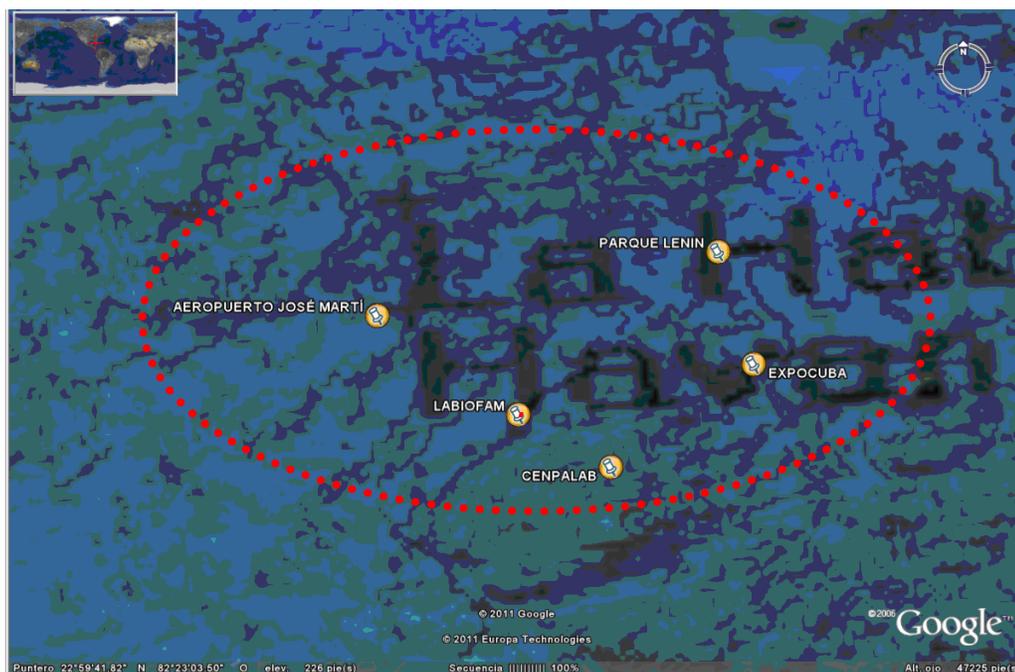


Figura 3. 5. Vista aérea de la demanda georeferenciada WiMAX propuesta. Fuente: Google Earth

3.3.2. El software *Radio Mobile*

El ejercicio de modelación resulta de mucha estima ya que en las condiciones actuales no es posible hacer pruebas de campo sobre todo en el presente proyecto, donde se pretende uno totalmente nuevo, y con equipamiento muy caro, además el planeamiento de toda red, debe ser refinado con el objetivo de maximizar las prestaciones y evitar errores. Se plantea entonces la modelación de la Red WiMAX proyectada.

Radio Mobile, es un programa de simulación de radio propagación gratuito desarrollado por el Sr. Roger Coudé para predecir el comportamiento de sistemas de radio, simular radio enlaces y representar el área de cobertura de una red de radiocomunicaciones, entre otras funciones [41]. Se usa la Versión 10.8.5, de este *software*, que trabaja en el rango de frecuencias entre 20 MHz y 20 GHz y está basado en el modelo de propagación para terreno irregular (ITM). Utiliza datos de elevación del terreno obtenidos del proyecto de la Agencia Estadounidense del Espacio y la Aeronáutica (NASA), *Shuttle Terrain Radar Mapping Mision* (SRTM) que se descargan gratuitamente de Internet para crear mapas virtuales del área de interés, vistas estereoscópicas y vistas en 3D. Los mapas con información de elevaciones pueden ser superpuestos a imágenes con mapas topográficos, mapas de carreteras o imágenes satelitales. El software se configura para

arquitecturas de red basadas en tecnología IEEE 802.16e en entornos con usuarios fijos, con terminales de usuario fijos interiores o exteriores y con posibilidades de terminales móviles de acuerdo a lo que soporte el estándar utilizado. Aunque los cálculos que realiza este *software* no han sido refrendados en redes WiMAX reales, sí han sido comprobados con otras tecnologías de radio similares, obteniéndose resultados muy cercanos a la realidad. Se seleccionan equipos HUAWEI, pero cabe destacar que funcionará con cualquier equipamiento que cumpla con el estándar.

3.3.3. Simulación del enlace de radio

El área de la estación base en LABIOFAM deberá contar con una torre auto soportada de 25 m de altura para la antena WiMAX y estará ubicada a 100 m de una ruta de FO que enlazará la red WiMAX hacia un POP del *backbone* IP/MPLS, en el Centro Telefónico de Luz, situado a 10 Km de la estación base. Esto constituye el *backhaul* para el transporte de la comunicación; además cuenta con una vía de acceso que permite su operación y mantenimiento y se halla cerca de una fuente de energía eléctrica (del propio asentamiento) para su alimentación.

No se empleará exactamente el análisis de cobertura que expone *Radio Mobile*, sino el estudio individual de salto entre la radio base y los potenciales CPE en los asentamientos de interés. Cargados los datos topográficos de la zona, o sea, las coordenadas de los asentamientos que se desean cubrir con la red (ver Tabla 24), se ubican las unidades de radio en el terreno para conocer el perfil del enlace. Un aspecto a considerar en este razonamiento es la distancia máxima de la estación base a la que se pueden encontrar los sitios, la cual no debe exceder los 15 km teóricos de acuerdo a los parámetros técnicos definidos para el modelo DBS3900 y unidades RRU3701C a usar (ver Anexo 4).

Se muestra en este trabajo solo el enlace LABIOFAM (Estación Base)- PARQUE LENIN (CPE), escogido entre todos por ser el más largo de todos los que se pretenden implementar (4,15 Km). Así se considera el caso más extremo de todos los asentamientos a ofrecer cobertura WiMAX. EXPOCUBA se halla a 3,88 Km, el AEROPUERTO a 2,85 Km y CENPALAB a 1,72 Km.

Como es el cliente quien determina el alcance del enlace considerando niveles mínimos de potencia de transmisión y ganancia de la antena, se seleccionan como parámetros del transmisor los relativos al equipo terminal y los del receptor al de la radio base. Además se escoge el peor nivel de sensibilidad del receptor en la radio base, el cual varía en dependencia de la modulación empleada (ver Anexo 4). Los parámetros de trabajo usados son los definidos por el MIC en las Resoluciones mencionadas. La Figura 3.6 muestra la totalidad de las unidades que participan en la red WiMAX. El tratamiento del multitrayecto mediante técnicas de antenas inteligentes no es necesario, debido a

las buenas características topográficas del terreno que propician eficiencia en la cobertura, por lo que la respuesta ante este fenómeno se considerará una ventaja adicional del sistema.

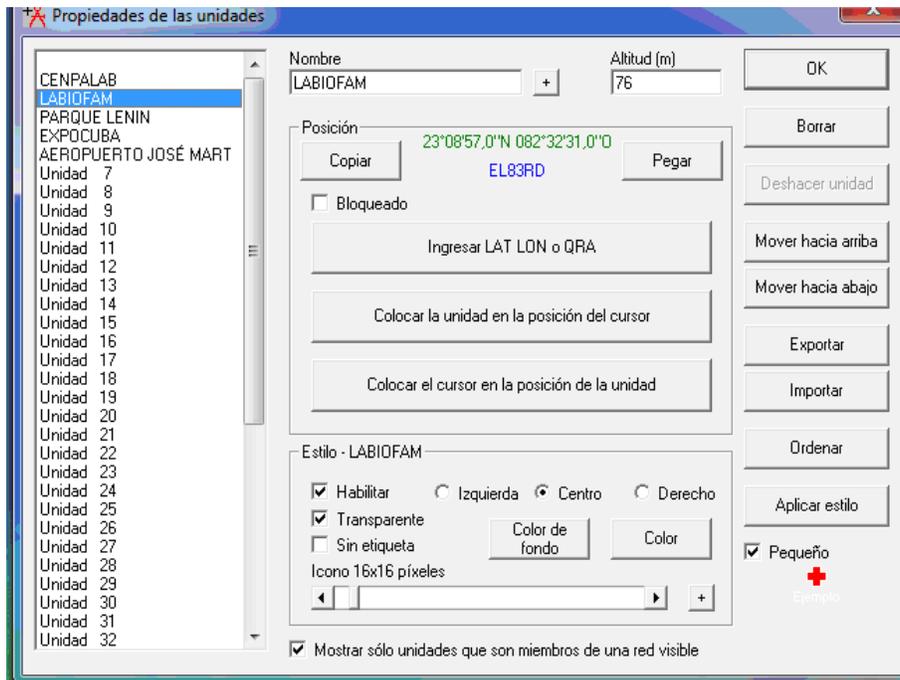


Figura 3. 6. Vista aérea de la demanda georeferenciada WiMAX propuesta. Fuente: Google Earth

Las Figuras 3.7 a 3.10 muestran, por su orden, la configuración del enlace, definiéndose los parámetros, topología, miembros y sistema para el enlace de radio.

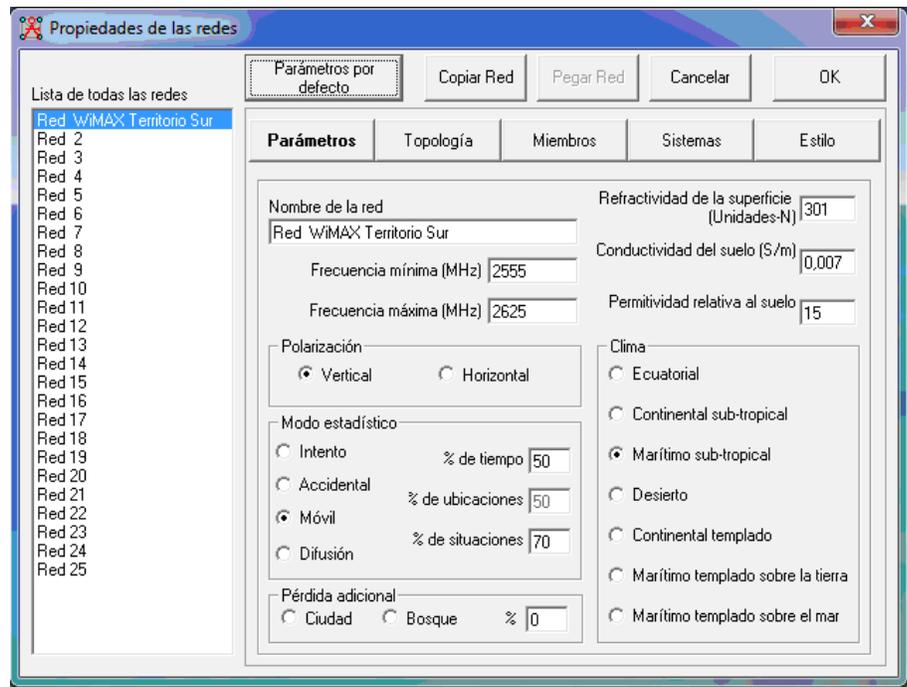


Figura 3. 8. Definición de los parámetros fundamentales de la red. Fuente: Radio Mobile

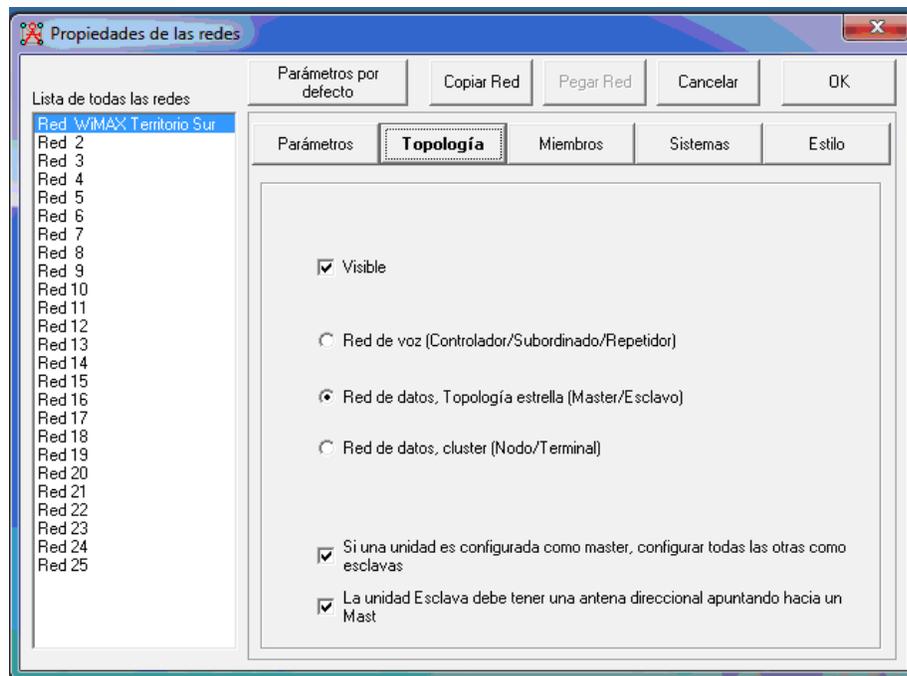


Figura 3. 9. Definición de la topología de la red. Fuente: Radio Mobile

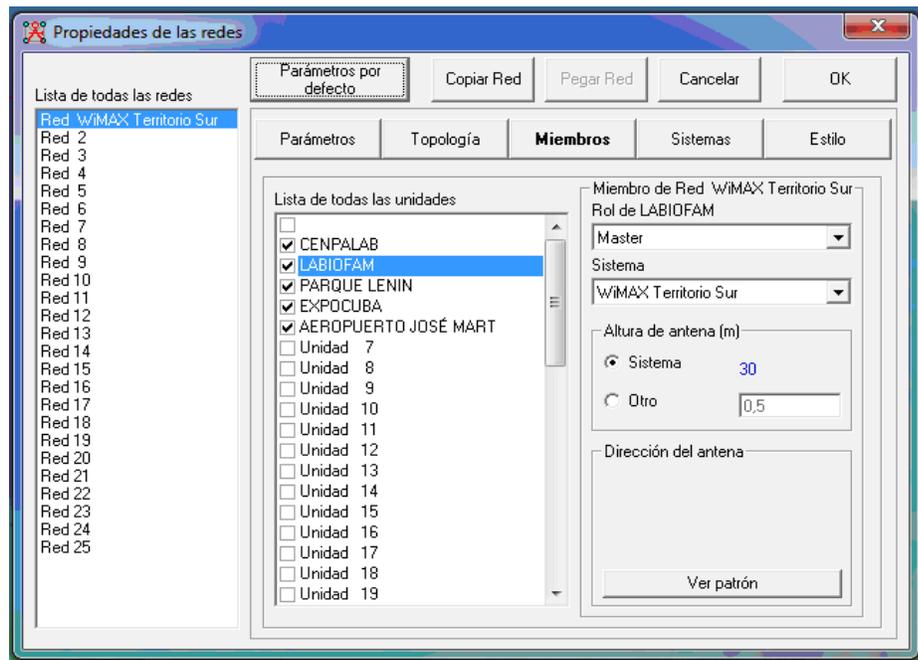


Figura 3. 10. Definición de los miembros de la red. Fuente: Radio Mobile

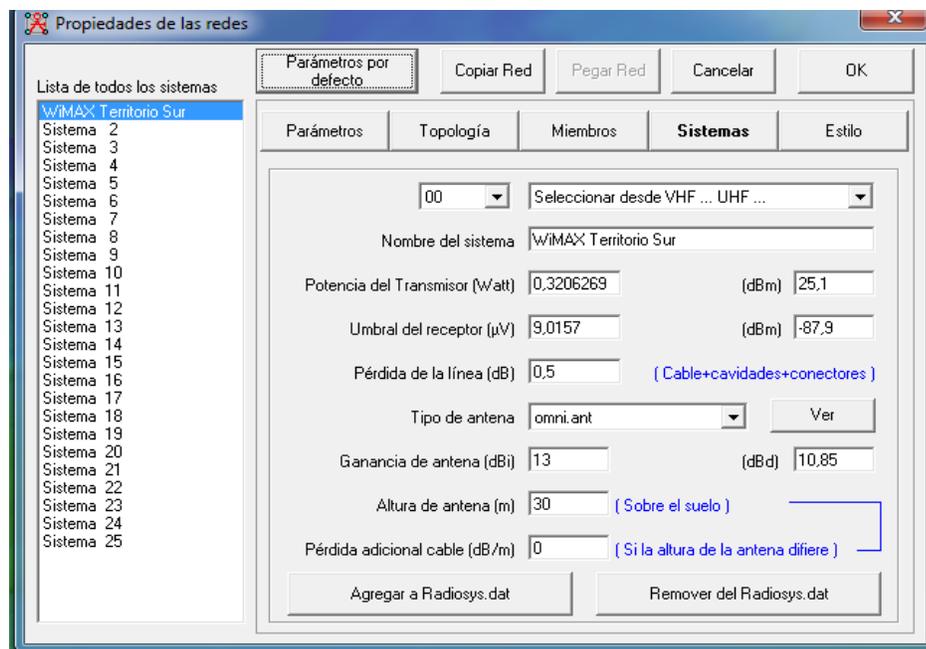


Figura 3. 11. Definición de las características principales del sistema. Fuente: Radio Mobile

Una vez establecidos y configurados todos los parámetros de simulación y características de las redes, se lleva a cabo la simulación de la cobertura mediante el menú contextual del software cobertura de radio, polar simple, para lo cual se conciben los parámetros configurables tales como: selección de las unidades, dirección de los enlaces, opciones del dibujo y unidad del umbral receptor. Las zonas en verde corresponden a la cobertura eficiente del enlace, y se observa claramente que el área cubre los asentamientos de interés.

De acuerdo a la Figura 3.11, la estación base instalada en LABIOFAM, emplazada en las coordenadas antes descritas, cubre satisfactoriamente toda la zona suburbana correspondiente a la parte turístico-científica del territorio con un nivel de señal satisfactorio, además de zonas aledañas donde puede surgir también demanda.

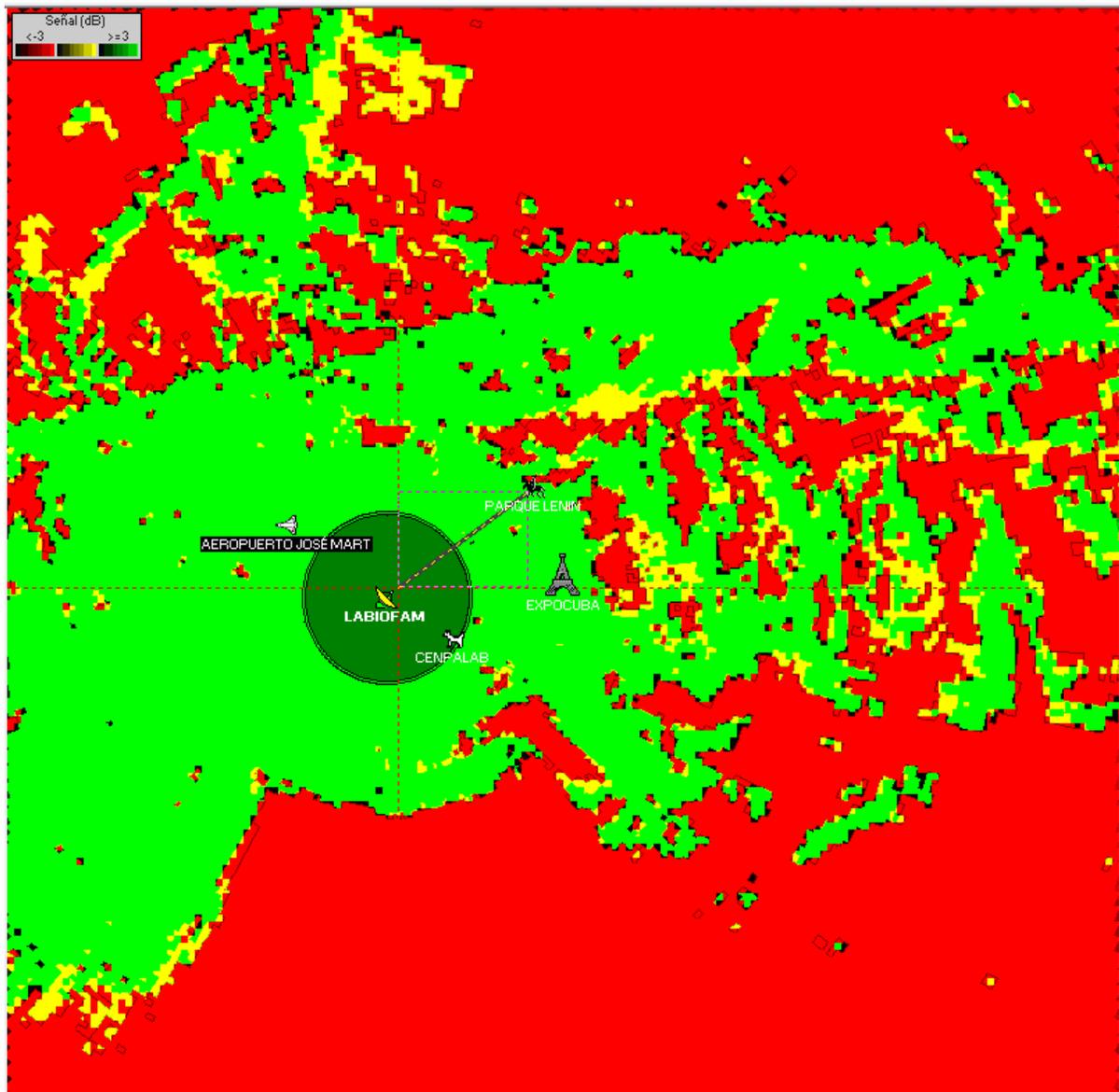


Figura 3. 12. Cobertura radial de la estación Base LABIOFAM. Fuente: Radio Mobile

El cálculo de potencia en el enlace de fibra óptica correspondiente al *backhaul* se muestra en el Anexo 3 que indica el establecimiento de la comunicación con un amplio margen de seguridad de 23,9 dB, además, la potencia máxima de recepción es menor que la potencia de saturación, por lo que el receptor no debe saturarse y el enlace debe trabajar sin problemas.

La planificación de las frecuencias a utilizar en cada sector (3) de la Estación Base LABIOFAM y su potencia máxima de transmisión, se muestran en la Tabla 23.

Tabla 23. Parámetros de cobertura de la Radio base en LABIOFAM

Radio base	Sectores	Frecuencias	Frecuencias (GHz)	Antena (°)	Azimut (°)	Ptx (dBm)	Cant. de abonados
LABIOFAM	A	III	2,585	120	134,17	40,00	768
	B	IV	2,595				
	C	V	2,605				

La Tabla 24 muestra una comparación de algunos resultados del cálculo numérico del enlace en el Anexo 3 con los de la presente simulación, corroborando la factibilidad del mismo y la utilidad del *software* empleado. Se puede mostrar un valor de error muy bajo de menos del 1%.

Tabla 24. Comparación Cálculo numérico - Simulación del enlace WiMAX.

PARÁMETRO	ANÁLISIS MATEMÁTICO	SIMULADOR RADIO MOBILE	DIFERENCIA
Distancia de enlace D (Km)	4,2	4,15	0,05
Pérdidas en el espacio libre (dB)	112,86	113,96	1,1
Angulo de elevación α (grados)	0,51	0,54	0,03
Azimut de la BS (grados)	134,17	135,46	1,29
Azimut del CPE (grados)	314,17	315,17	1
PIRE(dB)	58,5	58,78	0,14

3.4. Evaluación económica de la propuesta

El cálculo de la factibilidad de este proyecto es difícil debido a las condiciones económicas actuales del país como son el uso de la doble moneda y la ausencia de una tarifa que este a tono con el estándar internacional. Es necesario tener en cuenta el carácter eminentemente social de la implementación, más bien que el beneficio económico que entraña, considerando el uso que en Cuba se le confiere al acceso masivo al conocimiento como uno de los puntales del desarrollo que se requiere. No obstante, la evaluación económica de la propuesta tiene en cuenta las fuerzas y medios que deberán instalar las líneas para cada tecnología de BA, incluyendo las licencias y certificaciones de obra, así como el equipamiento propuesto. Esto se puede constatar en el Anexo 5, de lo cual se muestra un resumen en la Tabla 25.

Es necesario tener en cuenta que se trata de implementar BA, en primer lugar, para los clientes

pilares de la Revolución, a fin de dar un desarrollo pleno a estos actores, y luego a la población en general, por la cual el Estado hace esfuerzos tendentes a su desarrollo y bienestar. No obstante, se espera que en los primeros años de preparación, y de acuerdo a la Tabla 14, se obtenga un total de más de 25 000 000,00 UM que cubrirían parte del inicio del despliegue.

Tabla 25. Análisis económico final de la propuesta. Fuente: Elaboración propia.

No.	Tecnología	Equipos (USD)	Materiales (USD)	Fuerza de Trabajo (CUP)	Proyecto y Certificación obra (USD)	Instalación (CUP)
1	ÓPTICA	5 657 212,50	98 024,00	3 706,56	238 782,00	1 469 640,00
2	DSL	12 389 447,50	3 196 445,02	777 617,28	171 738,00	-
3	GSM/GPRS/EDGE	1 250 000,00	4 000 000,00	259 013,28	-	-
4	WiMAX	735 459,00	-	3 354,04	-	-
SUBTOTAL		20 032 119,00	7 294 469,02	1 043 691,16	410 520,00	1 469 640,00
GRAN TOTAL		30 250 439,18				

NOTA: En el cálculo para las redes móviles se refleja de forma aproximada el gasto a incurrir por la actualización del hardware y software para la migración GPRS a EDGE y las antenas para cada radio base a instalar. No se incluye el valor del uso de la frecuencia. Tampoco el valor de la *motherboard* LPUF-21 para aumentar la capacidad del enlace del enrutador de borde NE 40E-8 ubicado en CT Luz. [43].

3.5. Conclusiones parciales

En este Capítulo se ha calculado el total de líneas que forman parte de la red de BA que se pretende implementar en el Territorio Sur de La Habana, así como el tráfico que estas generan. Se propuso el equipamiento HUAWEI para los elementos de la red obtenida y las soluciones de red para alcanzar el objetivo propuesto. Se calcularon todos los enlaces que entrañan las soluciones planteadas. Se concibieron las soluciones de radio brindando WiMAX para los clientes que pagarían el servicio en MLC y adoptando para los que lo hagan en MN, la solución GSM/GPRS/EDGE, cuyas líneas se obtuvieron fundamentalmente de la sustitución de TFA del territorio, y que logra mayores tasas de transmisión actualizando el software de los elementos de red GSM actuales. La modelación de la solución WiMAX con el software *Radio Mobile*, corroboró los cálculos matemáticos del enlace que aparecen en el Anexo 3, y se obtuvieron las gráficas pertinentes. Por último se mostró un cálculo económico aproximado donde se apreció que todas las posibles soluciones suponen importantes y

necesarias inversiones, si se desea la preparación para un despliegue de Banda Ancha en el Territorio Sur de La Habana a gran escala.

CONCLUSIONES

Finalizados los capítulos previos en la presentación de este trabajo de investigación cabe señalar ahora las conclusiones de la misma, haciendo hincapié en el cumplimiento o no de los objetivos planteados al inicio.

1. El despliegue de Banda Ancha sobre la red de acceso del Territorio Sur de La Habana constituirá un hecho viable, toda vez que se han presentado soluciones económicas para un elevado número de líneas que se propone implementar: 198 452 líneas DSL e híbrido FO-XDSL, 240 416 líneas GSM/GPRS/EDGE y 768 líneas WiMAX.
2. Con la implementación de la tecnología EDGE, eficiente y fácil puente a 3G, se pretende una incipiente y discreta informatización a los clientes que deban pagar en MN, los cuales son mayoría, permitiéndoles el acceso a redes públicas y privadas de datos, navegación por Internet, descarga de correo electrónico, visita a su Intranet, hacer ftp y *streaming* de audio y video, con las ventajas obvias de la movilidad, tan apreciada en los tiempos actuales.
3. La Densidad Telefónica Total se incrementará con creces, logrando un 35 %, cifra sin precedente en el territorio, además de haber dado apertura a un despliegue discreto de datos. Con ello se podrá ofertar en mayor cuantía el servicio básico a la población, como premisa indispensable a la oferta de BA, además de poder acceder a la Red de datos de forma masiva.
4. Se ha propuesto la implementación de la solución WiMAX IEEE 802.16e para beneficiar a 768 clientes de la zona turístico-científica del territorio, que aportarán económicamente al desarrollo ulterior de BA, ya que estos pagarán tarifas en divisas, válidas para la compra del costoso equipamiento necesario.
5. El logro de un mejor dimensionamiento del espectro de frecuencias celulares, eliminando el servicio de TFA, y convirtiéndolo en GSM/GPRS/EDGE constituye un logro importante del proyecto, toda vez que de una implementación ineficiente se propuso una mucho más masiva, barata y asequible. Con ello se lograrán 100 835 líneas móviles, con propuesta de tarifas atractivas para el cliente.
6. La tecnología FTTC se refrenda en el sentido de que se aprovechará de forma eficiente la modalidad híbrida con el cobre, que tiene en cuenta las bondades que como soporte de transmisión aporta la fibra óptica y explotando la introducción de 72 MSAN que decididamente alivian la congestión de las Centrales TDM de Luz y Monte.

7. La modelación de la red WiMAX Móvil verificó la viabilidad del enlace para alcanzar a la zona de desarrollo turístico-científica del territorio, ya que se propuso colocar una estación base en Río Verde, y se calculó el enlace para el CPE más lejano de la misma, Aeropuerto José Martí, el peor de los casos, con alcance y tasa de transmisión aceptables. También se comprobó una eficiente zona de cobertura del enlace.
8. La etapa de preparación antes del despliegue como tal deberá conseguir dividendos para el comienzo del proceso, así como la garantía de haber ofrecido el servicio básico a la población. El beneficio económico-social que el despliegue traerá consigo hacen que la inversión, relativamente cara, esté justificada.

Finalmente se puede expresar que con este Proyecto se podría obtener el despliegue de tecnologías considerado en la presente investigación, válido para el inicio del Proceso de Informatización de la Sociedad del sur capitalino, con la premisa de elevar la Densidad Telefónica del territorio de un 12,6 a un 35 %, incluido el incremento del acceso a datos, y paulatinamente incrementar los anchos de banda que conducirían a un total despliegue de Banda Ancha en el Territorio. No se buscó en esta primera etapa un desarrollo ambicioso, y sí uno que proporcionara robustez y escalabilidad a la implementación futura, proporcionando una respuesta nunca antes dada a los sujetos potenciales del territorio que verán satisfechas sus necesidades primarias de informatización, desarrollando sus capacidades de enriquecimiento científico-cultural, y por consiguiente contribuyendo al desarrollo del territorio y país.

RECOMENDACIONES

Tras haber realizado este proyecto y atendiendo a la urgente necesidad, tanto del aumento de la DT del Territorio Sur de La Habana, como del logro de la Banda Ancha para materializar el Proceso de Informatización en el mismo, se recomienda:

1. Llevar a cabo estudios de mercado más analíticos que descubran mejor las necesidades de informatización de los clientes del territorio, y así diferenciar con mayor criterio los diferentes segmentos de mercado. De esta forma se podría ofertar un servicio más personalizado.
2. Considerar urgentemente una fecha de comienzo del proyecto a fin de dar seguimiento a las diferentes etapas que aquí se describen, concibiendo un cronograma de ejecución de las mismas.
3. Consolidar la Etapa I del proyecto a través de pruebas reales de campo que validen los diseños que aquí se han considerado.
4. Como las tecnologías sufren rápida obsolescencia, es necesario continuar investigaciones sobre las que se han propuesto en el presente diseño, a fin de reorientar el mismo hacia soluciones que mejor respondan a las necesidades de los clientes, que aumentarán tanto en número como en calidad, al generarse nuevas necesidades de informatización entre los mismos. Para ello deben comenzarse estudios que sustenten el planteamiento de la Etapa II propuesta, de modo que exista una continuidad técnica en el desarrollo de la BA en el territorio.
5. Analizar la posible multiplicación del presente diseño hacia otros escenarios del país que exhiban redes de acceso con condiciones técnicas similares a las del Territorio Sur de La Habana, y que por ello necesitan igualmente del aumento de su DT y de la implementación de redes de BA para consolidar la informatización de su sociedad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. *Programa sobre la informatización de la sociedad cubana*, Informe del MINREX. Disponible en sitio <http://portal.educ.ar/debates/sociedad/cultura-digital/programa-sobre-la-informatización-de-la-sociedad-cubana.php>, 2006.
2. Yáñez de la Rivera, R., *Tendencias en el desarrollo de la redes de comunicaciones*. Taller de Prospección Tecnológica en TIC (CENIT-CITMATEL) Octubre de 2008.
3. Borrego, J. A., *Una "autopista" entre Santiago y La Guaira*, *Sitio Cuba Socialista*, Revista Teórico-política, editada por el Partido Comunista de Cuba, 09/06/2008.
4. Fernández, J., *Desarrollo de las Telecomunicaciones en Cuba*, presentado en *Seminario Internacional de Telecomunicaciones*: La Habana, 2003.
5. Dymond, S.O.A., *Capítulo 8: Tecnologías para el acceso, y servicio universal Acceso y Servicio Universal (ASU) Módulo 4, Conjunto de herramientas para la reglamentación de las TIC's*. Junio 2009. Disponible en sitio www.ictregulationtoolkit.org
6. González, Y.J.B., *Estudio Comparativo de Redes de Banda Ancha*. Febrero 2007, Universidad de Los Andes: Bogotá.
7. García, Alberto Javier, *Proyección de soluciones xDSL en Cuba*, Tesis presentada en opción al título de Master en Telemática, Facultad de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Marta Abreu de Las Villas, 2004.
8. Leicea Yins, Luis M. *Despliegue escalonado de Banda Ancha para el Territorio Sur de La Habana*. Evento CIE/2011, Facultad de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Marta Abreu de Las Villas, 2011.
9. Comission, F.C., *Acceso a la Banda Ancha, Informe Técnico*, 2008.
10. Hernández Rivero, Dayana de la C., *Evolución de la tecnología celular GSM hacia la 3,75G*. Tlatemoani, Revista Académica de Investigación, Septiembre, 2011(No. 7).
11. Jaramillo, V.H.F., *"Diseño del enlace de última milla para proveer servicios triple play con tecnología DSL,"*. Tesis de grado, 2007.
12. Hernández G., Farewell B, *Últimas técnicas de acceso a Banda Ancha en el bucle de abonado*. 2008: Caracas, Venezuela.
13. LTD Huawei Technologies Company, *Acceso a BB HUAWEI, Informe Técnico*, 1998-2011.
14. Millán Tejedor Ramón Jesús, Alba Soto J., *ADSL de segunda generación*. BIT AEIT & COIT, 2006. N° 156.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

15. Herrero Gordillo, J.C., *Estudio de factibilidad para la implementación de la red de acceso DSL de Transtelco S.A. en la parroquia Conocoto, Sangolquí, Ecuador*. Abril 2006, Ecuador: Sangolquí.
16. UIT-T G.993.2, *Tecnología de acceso que utiliza la estructura existente de hilos de cobre instalados inicialmente para el servicio telefónico ordinario*, Feb. 2006.
17. Technologies, Huawei, *VDSL2 Access, Smartax MA 5600T Multiservice Access Module Feature Description*. 2007.
18. Pavón Taco Diana Patricia, García-Moreno Delgado Almudena, Pinillos Clemente Pablo, Morillo Gallego Jorge, *Diseño de una red de acceso GPON para proveer servicios triple play (TV, Internet y telefonía) en el sector de La Carolina a través de la red del grupo TV CABLE*. Enero de 2009, Quito, Ecuador.
19. Travieso, D., *Tecnologías en las Redes de Acceso, Informe Técnico*. 2006.
20. P, P.T.D., *Diseño de una red GPON para proveer servicios Triple Play*. Tesis de Grado, Enero 2009.
21. Millán Tejedor, R.J., *GPON (Gigabit Passive Optical Network)*. BIT, COIT & AEIT. N° 166, 2007.
22. Estrada Yambay Yolanda del Rocío, *Estudio y diseño de una Red WiMAX, Caso Práctico, Fatsnet-Riobamba*. Tesis de Grado, 2009.
23. David, O.S.F., *Diseño de una red comunitaria utilizando tecnología WiMAX*. Tesis de Grado, Marzo 2007, Quito, Ecuador.
24. Seminario Técnico Redes de Banda Ancha, *Redes de Banda Ancha WiMax, La Revolución de la Banda Ancha, San Sebastián, 2004*.
25. Hackbarth K.D., *Planificación, diseño y dimensionado de redes móviles GSM y GPRS*. 2010, Tesis de Grado, Universidad de Cantabria.
26. Navarro G.J Alonso, *Evolución de 3G y su convergencia a 4G en comunicaciones móviles*. Trabajo de titulación para optar por el título de Ingeniero en Electrónica, 2008, Valdivia.
27. Macancela, J., Ballesteros S.; Baque, J.; Novillo, F.; *Planificación de una red GSM, GPRS, UMTS en la ciudad de Guayaquil*. 2008, Guayaquil, Colombia.
28. Alay Mac Donald, F.J., *Planificación radio en redes GSM, Tesis de grado*. 2002.
29. Rodríguez G. Yoany, *Propuesta para la implementación de la red GPRS en Cuba, presentación tecnológica y valoración económica*. Tesis en opción al título de Ingeniera en Telecomunicaciones, Enero 2007, Pinar del Río.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

30. Quintana, F.Z., *Propuesta para la evolución de los servicios móviles en Cuba*, Tesis de Maestría, Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones. 2011, Universidad de La Villas, Marta Abreu, Santa Clara, Villa Clara.
31. VPSM, ETECSA, *Estudio sobre la sustitución del TFA como vía para disminuir las inversiones necesarias para el crecimiento de usuarios en MLC*. 2010, Disponible en sitio Web de la Vicepresidencia de Servicios Móviles de ETECSA.
32. M.B.Xavier, *Mecanismo de Encaminamiento en redes ASON*. Informe Técnico, 2009.
33. ALCATEL, *Backbone multiservicio IP/MPLS, Respuestas de ALCATEL a los requerimientos técnicos, Oferta ALCATEL para una red IP/MPLS*. Octubre 2005.
34. Bocalandro Rivero, J., *Diseño de un enlace a través de fibra óptica punto a punto*. Tono, Revista Técnica de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba, S.A., 2006.
35. Huawei. *Huawei U-Sys NGN Solution Electrical Documentation (V300R006_01)*. 2009.
36. José, A.C.A., *Análisis comparativo y conclusiones técnico-económicas para una posible implementación de los estándares WiMAX 802.16d ó WiMAX 802.16e en la Zona Metropolitana de Costa Rica*. Noviembre del 2007, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio.
37. H., L., *Extracto de la Tabla de la Fórmula de Pérdida Erlang*, Editor UIT, 2004.
38. IAC, *Comunicaciones Móviles Digitales, Revista Técnica*. 2008.
39. Aguilar, J.P. *Planificación de redes celulares, Tesis de Grado*. 2008
40. Grupo de Radiocomunicación, D.S., ETSIT-UPM, *Tutorial Radio Mobile*. 2007.
41. Huawei, *HUAWEI Net Engine 40E Universal Service Router V600R001C00*. 2009.
42. 15, I.-T.S.G., *Characteristics of a single-mode optical fibre and cable*. 2006.
43. Brown, Gabriel. *LTE/SAE & the Evolved Packet Core: Technology Platforms & Implementation Choices*. Disponible en el sitio de Internet http://lte.alcatel-lucent.com/locale/en_us/downloads/wp_platform_and_implementation.pdf.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

A

ADSL: (*Asymmetric Digital Subscriber Line*). Línea de Abonado Digital Asimétrica

ADSL2: (*Asymmetric Digital Subscriber Line 2*). Línea de Abonado Digital Asimétrica 2

ADSL2+: (*Asymmetric Digital Subscriber Line 2 Plus*). Línea de Abonado Digital Asimétrica 2 Superior

ASN-GW: (*Access Service Network-Gateway*). Pasarela de red de acceso a los servicios

ASON: (*Automatically Switched Optical Network*). Red Óptica de Conmutación Automática

ATM: (*Asynchronous Transfer Mode*). Modo de transferencia asíncrono

ATU-R: (*ADSL Terminal Unit-Remote*) Unidad terminal ADSL de abonado

ATU-C: (*ADSL Terminal Unit-Central*) Unidad terminal ADSL de Central

AUC: (*Authentication User Center*), Identificación de Usuario

B

BRAS: (*Broadband Remote Access Server*). Servidor de Acceso Remoto de Banda Ancha

BSC: (*Base Station Controller*). Controladora de estaciones base

BSS: (*Base Station Subsystem*). Subsistema de Estaciones Base

BSSGP: (*Base Station System GPRS Protocol*). Protocolo GPRS para el Subsistema de Estaciones Base.

BTS: (*Base Transceiver Station*). Estación Base Transceptora

BTS: (*Base Transceiver Station*). Estación Base Transmisora y Receptora.

C

CDMA: (*Code Division Multiple Access*). Acceso Múltiple por División de Código

CGSN: (*Gateway GPRS Support Node*), Nodo de apoyo de Pasarela GPRS

CPE: (*Customer Premises Equipment*). Equipamiento en el Recinto del Cliente

D

DSLAM: (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*). Multiplexor Digital de Acceso a la Línea Digital de Abonado

DSP: (*Digital Signal Processing*). Procesamiento Digital de Señal

DWDM: (*Dense Wavelength Division Multiplexing*). Multiplexación por Longitud de Onda Densa

Downlink: Enlace red-usuario

E

EDGE: (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*). Velocidades de datos mejoradas para la evolución de GSM.

EIR: (*Equipment Identification Register*). Base de datos en la que existe información sobre el estado de los teléfonos móviles.

ETECSA: Empresa de Telecomunicaciones de Cuba

ETSI: (*European Telecommunications Standard Institute*). Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones

EPS: (*Evolved Packet System*). Sistema de Paquetes Encapsulados

F

FDMA: (*Frecuency Division Multiple Access*). Acceso múltiple por división de frecuencia

FR: (*Frame Relay*). Retransmisión de Trama

FTTB: (*Fiber –to-the- building*). Fibra Hasta el Edificio

FTTC: (*Fiber –to-the- curb*). Fibra Hasta la Acera o la Esquina

FTTH: (*Fiber –to-the- home*). Fibra Hasta la Casa

FTTN: (*Fiber –to-the- neighborhood*). Fibra Hasta el Vecindario

G

GGSN: (*Gateway GPRS Support Node*). Nodo de soporte de la Pasarela GPRS.

GMSC: (*GPRS Mobile Station Controller*). Controlador de Estaciones Móviles GPRS.

GMSK: (*Gaussian Minimum-Shift Keying*). Esquema de modulación binaria simple en la que los lóbulos laterales del espectro de la señal se reducen pasando los datos modulantes a través de un filtro *Gaussiano* de premodulación

GPON: (*Gigabit- capable passive optical network*). Red óptica pasiva con capacidad de Gigabit

G. SHDSL: (*Single-pair High-bit-rate Digital Subscriber Line*). Línea digital de abonado de un solo par de alta velocidad a velocidades entre 192 kbps y 2.31 Mbps o G.991.2

GSM: (*Global System for Mobile Communications*) Sistema Global de Comunicaciones Móviles

GOS: (*Grade of Service*). Grado de servicio.

GPRS: (*General Packet Radio Service*). Servicio General de Radio por Paquetes.

GSN: (*GPRS Support Node*) Nodo de Soporte GPRS.

H

HFC: (*Hybrid Fiber Coaxial*). Red Híbrida Fibra-Coaxial

HLR: *Home Location Register*, Registro de Localización de Abonados Propios.

HSCSD: (*High-Speed Circuit-Switched Data*). Circuito de alta velocidad de conmutación de datos

HSDPA: (*High Speed Downlink Packet Access*). Acceso de descarga de paquetes de alta velocidad

HSDPA+: (*Evolved High Speed Downlink Packet Access*). Acceso de descarga de paquetes de alta velocidad avanzado

HSPA: (*High Speed Packet Access*). Acceso de paquetes de alta velocidad

HSUPA: (*High Speed Uplink Packet Access*). Acceso en enlace ascendente de paquetes de alta velocidad

I

IEEE: (*Institute of Electrical and Electronic Engineering*). Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

INFOSOC: Proceso de Informatización de la Sociedad

IP: (*Internet Protocol*). Protocolo de Internet

ISP: (*Internet Server Protocol*). Proveedor de Servidor de Internet

ITU: (*International Telecommunication Union*). Unión Internacional de Telecomunicaciones.

L

LAN: (*Local Area Network*). Red de area local

LMDS: (*Local Multipoint Distribution System*). Sistema de Distribución Multipunto Local

LTE: (*Long Term Evolution*). Evolución a Largo Plazo

LPUF-21: (*Flexible Card Line Processing Unit*). Unidad de Procesamiento de Línea con Tarjeta Flexible

M

MDF: (*Main Distribution Frame*). Bastidor de Distribución Principal

MIC: Ministerio de Informática y Comunicaciones

MIMO: (*Multiple input-multiple output*). Múltiple entrada-múltiple salida

MLC: Moneda Libremente Convertible

MMDS: (*Multichannel Multipoint Distribution System*). Sistema de Distribución Multipunto Multicanal

MN: Moneda Nacional

MS: (*Mobile Station*). Estación Móvil

MSAN: (*MultiService Access Node*). Nodo de Acceso Multiservicio

MSC/VLR: (*Mobile Services Switching Center / Visitor Location Register*). Central de Conmutación de Servicios Móviles/ Registro de locación del visitante

MPLS: (*MultiProtocol Label Switching*). Conmutación de Etiqueta Multiprotocolo

MPLS-TP: (*MPLS- Transport Perfil*). MPLS- Perfil de Transporte. Actualización de software incorporado en los equipos T-MPLS cuando el proceso de estandarización alcance el nivel de madurez necesario

N

NSS: (*Network Switching Subsystem*), Subsistema de Conmutación de Red

NASA: (*Nacional Aeronautics and Space Administration*), Agencia Estadounidense del Espacio y la Aeronáutica

NAP: (*Name Address Protocol*). Protocolo de Direcciones de Nombre

NGA: (*Next Generation Access*). Acceso de próxima generación

NLOS: (*Non-Line-of-Sight*). Sin línea de vista

O

OAM: (*Operation Administration and Maintenance*). Operación, Administración y Mantenimiento

OFDM: (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Multiplexación por División de Frecuencias ortogonales

OFDMA: (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access*). Acceso Múltiple por división de frecuencias ortogonales

OLT: (*Optical Line Terminal/Termination*). Terminal o Terminación de Línea Óptica

ONT: (*Optical Network Terminal*). Terminal de Red Óptica

ONU: (*Optical Network Unit*). Unidad de Red Óptica

OSI: (*Open System Interconnection*) Modelo de referencia de Interconexión de Sistemas Abiertos

P

PC: (*Personal Computer*). Computadora Personal

PE: (*Provider Edge*). Enrutador de Borde.

PLC: (*Power Line Communication*). Comunicación a través de las línea de energía

PON: (*Passive Optical Network*). Red Óptica Pasiva

POTS: (*Plain Old Telephone Service*). Servicio Telefónico Ordinario Antiguo

PSTN: (*Public Switch Telephone Network*). Red Pública de Conmutación Telefónica.

Q

QoS (*Quality of Service*). Calidad de servicio

R

RBS: (*Radio Base Station*). Estación Base de Radio

RDSI: Red Digital de Servicios Integrados

RTP: (*Real-time Transport Protocol*). Protocolo de Transporte en Tiempo Real

S

SDH: (*Synchronous Digital Hierarchy*). Jerarquía Digital Sincrónica. Usada en todos los países del mundo excepto en EEUU y Canadá

SDSL: (*Single Digital Subscriber Line*). Línea Digital de Abonado de un solo par

SGSN: (*Serving GPRS Support Node*). Nodo de Soporte del Servicio GPRS

SHDSL: (*Single High Digital Subscriber Line*). Línea Digital de Abonado de un solo par de alta velocidad

SIM: (*Subscriber Identity Module*). Módulo de Identificación de Usuario (Suscriptor).

SMS: (*Short Messages Service*). Servicio de Mensajes Cortos.

SMSC: (*Short Messages Service Center*). Central de Servicio de Mensajes Cortos.

SONET: (*Synchronous Optical Network*). Red Óptica Sincrónica. Prácticamente usada solo en EEUU y Canadá

SS: (*Subscriber Station*). Estación Suscriptora

STB: (*Set Top Box*). Dispositivo para la recepción y decodificación de señal de TV (televisión)

T

TCP/IP: (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*). Protocolo de Control de la Transmisión/ Protocolo de Internet

TDM: (*Time Division Multiplex*). Multiplex por División en Tiempo

TDMA: (*Time Division Multiple Access*). Acceso Múltiple por División en Tiempo

TIC: Tecnologías de la Información y la Comunicación

TMN: (*Telecommunication Management Network*). Red de Administración de Telecomunicaciones

T-MPLS: (*Transport-MPLS*). Transporte –MPLS

U

UMTS: (*Universal Mobile Telecommunications System*). Sistema de telecomunicaciones móviles universal de 3G (Tercera Generación)

Uplink: Enlace usuario-red.

USD: (*United States Dollar*). Dólar Estadounidense

V

VDSL: (*Very-High-Bit-Rate Digital Subscriber Line*). Línea digital de abonado de muy alta tasa de transferencia

VDSL2: (*Very-High-Bit-Rate Digital Subscriber Line 2*). Línea digital de abonado de muy alta tasa de transferencia 2

VLR: (*Visitor Location Register*). Registro de Posición de Visitantes

VMS: *Virtual Memory System*, Sistema de Memoria Virtual

VoIP: (*Voice over Internet Protocol*). Voz sobre el Protocolo de Internet

VPN: (*Virtual Private Network*). Red Privada Virtual

W

WAC: (*WiMAX Access Controller*). Controlador de Acceso WiMAX

WAP: *Wireless Application Protocol*, Protocolo de Aplicaciones Inalámbricas.

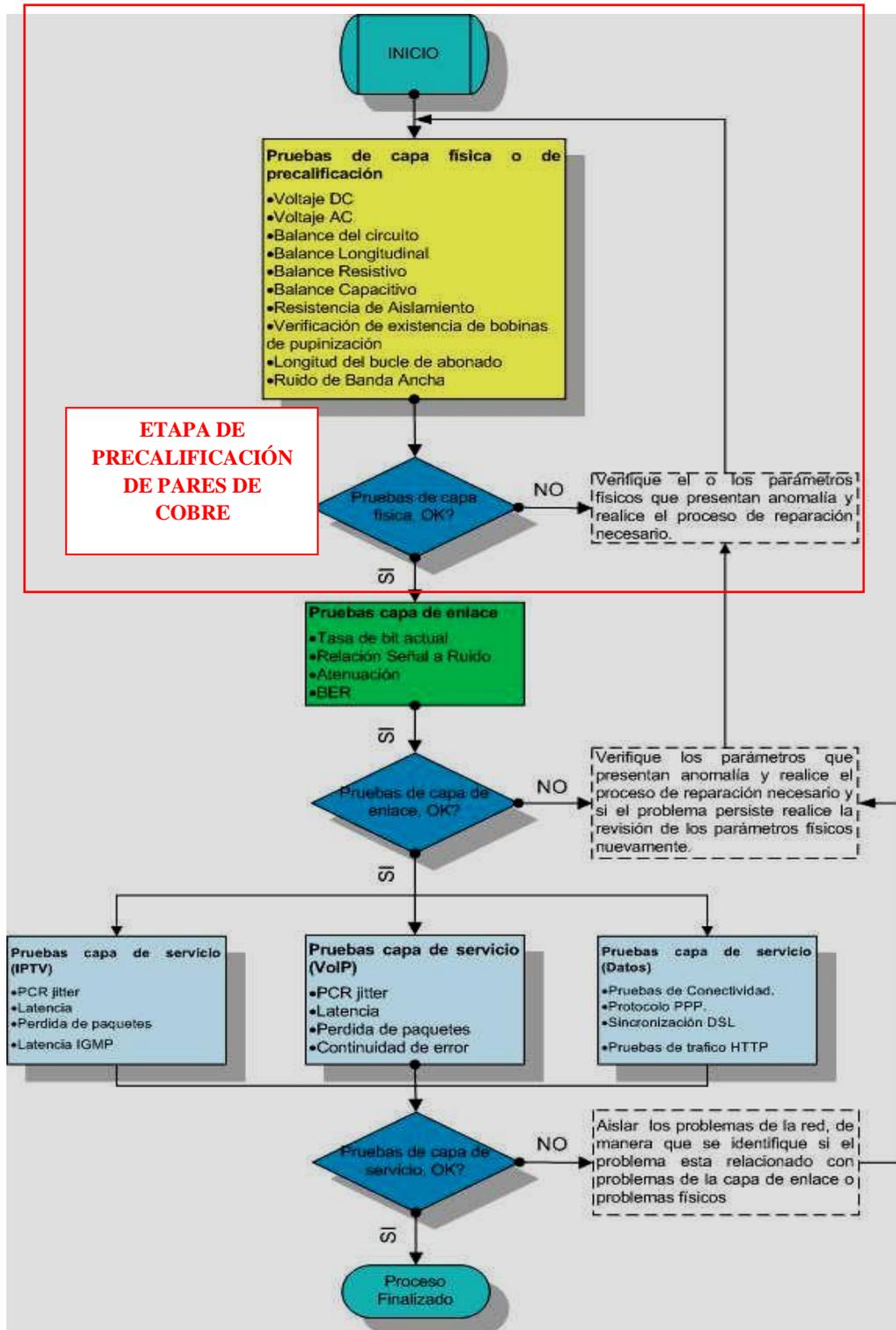
WAP GM: *Wireless Application Protocol Gateway*, Pasarela para Protocolo de Aplicaciones Inalámbricas.

WDM: (*Wavelength Division Multiplexing*). Multiplexación por División en Longitud de Onda

WiMAX: (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*). Interoperabilidad mundial para acceso por microondas

ANEXOS

Anexo 1. Algoritmo para calificar un par telefónico de cobre para BA. Fuente: DSL FORUM.



Anexo 2. Cálculos varios

Listado de materiales Red de cobre

Código	Descripción	U/M	Precio	Cantidad	Importe
2040210405	CABLE CLA 10X2X0,4	M	\$ 0,76	43760	\$ 33.257,60
2040210407	CABLE CLA 30X2X0,4	M	\$ 1,27	145760	\$ 185.115,20
2040210408	CABLE CLA 50X2X0,4	M	\$ 1,57	106440	\$ 167.110,80
2040210410	CABLE CLA 100X2X0,4	M	\$ 2,64	155180	\$ 409.675,20
2040210412	CABLE CLA 200X2X0,4	M	\$ 5,12	34500	\$ 176.640,00
2040210411	CABLE CLA 400X2X0,4	M	\$ 9,18	27320	\$ 250.797,60
2040210009	CABLE CL 400X2X0,4	M	\$ 8,39	9245	\$ 77.565,55
2040300811	MODULO MHS M1 (RECTO)	U	\$ 24,06	903	\$ 21.726,18
2040300808	MODULO MHS M1 2 SALIDAS	U	\$ 26,49	602	\$ 15.946,98
2040300809	MODULO MHS M2 (RECTO)	U	\$ 30,02	258	\$ 7.745,16
2040300806	MODULO MHS M2 2 SALIDAS	U	\$ 32,43	731	\$ 23.706,33
2040302479	MODULO EMYCO 10-50 P	U	\$ 24,20	446	\$ 10.793,20
2040302423	MODULO EMYCO 100-200 P	U	\$ 29,19	1223	\$ 35.699,37
2040302425	MODULO EMYCO 200-400 P	U	\$ 32,46	446	\$ 14.477,16
2040300430	EMPATE MECANICO UCN-5-20 1200 P	U	\$ 72,24	43	\$ 3.106,32
1017073405	REGLETA 10P R27002-20-1	U	\$ 2,61	849	\$ 2.215,89
1017073605	SOPORTE PARA REGLETA 10 P	U	\$ 3,82	115	\$ 439,30
2040310407	TERMINAL 10 P MULTIS. S/COLA	U	\$ 33,89	7920	\$ 268.408,80
2040310001	TERMINAL 10/11 P C/COLA	U	\$ 27,47	1763	\$ 48.429,61
2040310002	TERMINAL 20/21 P C/COLA	U	\$ 49,48	774	\$ 38.297,52
2040310507	TERMINAL INTERIOR DE 30 P	U	\$ 76,72	187	\$ 14.346,64
2040330030	SOPORTE TERMINAL P/POSTE	U	\$ 5,91	2880	\$ 17.020,80
9040330025	ANILLAS P/TERM MULTIS.	U	\$ 1,76	15120	\$ 26.611,20
2040310511	FLEJE ACERO DE 50M 20X0.4MM	U	\$ 16,87	403	\$ 6.798,61
2040310501	HEBILLA 12MM P/FLEJE	PTE	\$ 15,12	115	\$ 1.738,80
4020100489	BRIDA PLAST. P/ EXTERIOR	U	\$ 0,02	8146	\$ 162,92
2040310801	LETRAS REFLEJANTES	U	\$ 0,16	8640	\$ 1.382,40
2040310802	NUMERO REFLEJANTE	U	\$ 0,20	8640	\$ 1.728,00
2040330002	CINTILLO PARA CANALES	U	\$ 0,90	432	\$ 388,80
2040330009	GUARDACABO DE 5/8"	U	\$ 0,62	576	\$ 357,12
2040330112	CANAL PROTEC. P/ANCLA 2.40MX80MMX2MM	U	\$ 33,42	576	\$ 19.249,92
2040330114	CANAL PROTECCION P/CABLE 2.6MX13CMX2MM	U	\$ 132,09	3369	\$ 445.011,21
2040332413	MORDAZA RETENCION 3 TORNILLOS C/TUERCA	U	\$ 5,60	1550	\$ 8.680,00
2040332421	MORDAZA MALICRO PA07-250 1,5T P/CAB CLA	U	\$ 3,36	25256	\$ 84.860,16
2040332422	MORDAZA MALICRO PA07-300 3T P/CAB CLA	U	\$ 4,40	2488	\$ 10.947,20
2040333019	PIJA/CANCAMO C/OJO 137X12MM	U	\$ 2,82	5412	\$ 15.261,84
2040334203	MODULO P/ANCLA 1,5 X 0,2	JGO	\$ 34,03	1135	\$ 38.624,05
	BANDEROLA	U	\$ 30,00	172	\$ 5.160,00
	VIOLÍN	U	\$ 30,00	187	\$ 5.610,00
2040130044	GRAPA DE 1 PATA 12 MM	U	\$ 0,05	8490	\$ 424,50
2040130005	GRAPA DE 2 PATAS 1/2" 13MM	U	\$ 0,01	8490	\$ 84,90
2040151002	CLAVO P/CONCRETO 1 1/2"	KG	\$ 3,80	259	\$ 984,20
2040340010	ARANDELA DE PRESION 3/8	U	\$ 0,02	7200	\$ 144,00
2040340329	ARANDELA PLANA 5/8	U	\$ 0,32	7200	\$ 2.304,00
2040340049	TUERCA BOLA OJO DIA 5/8	U	\$ 1,76	4890	\$ 8.606,40
2040340050	TORNILLO OJO CURVO 5/8 X 10	U	\$ 3,73	5642	\$ 21.044,66
2040340052	TORNILLO OJO RECTO 5/8 X 10	U	\$ 3,41	2365	\$ 8.064,65
2040340053	TORNILLO OJO RECTO 5/8 X 12	U	\$ 3,53	2805	\$ 9.901,65
2040347669	TORNILLO TIRAFONDO DE 1/2X4	U	\$ 2,99	13650	\$ 40.813,50
2040343937	TUERCA HEXAGONAL DE 3/8"	U	\$ 0,07	7200	\$ 504,00
2040370001	POSTE DE MADERA DE 7,5M	U	\$ 113,12	3683	\$ 416.620,96
2040370002	POSTE DE MADERA 9,0M	U	\$ 146,71	518	\$ 75.995,78
2040123003	PICABON VERDE SECO P RED SOT	U	\$ 0,07	557800	\$ 39.046,00
5040360003	TAPE DE GOMA 2"	U	\$ 4,17	532	\$ 2.218,44
5040360004	TAPE PLASTICO 3/4X18	U	\$ 1,16	719	\$ 834,04
2040100003	CABLE ACERO 8 MM 5/16"	KG	\$ 1,56	11820	\$ 18.439,20
2040100005	CABLE ACERO 16 MM (5/8")	KG	\$ 1,28	10800	\$ 13.824,00
2040330066	MODULO DE VARILLA DE TIERRA	U	\$ 9,25	2330	\$ 21.552,50
4020100856	CABLE TW-8	M	\$ 1,54	6990	\$ 10.764,60
4020101089	CONECTOR PERRO TW # 6	U	\$ 1,48	1165	\$ 1.724,20
4020101091	CONECTOR PERRO BIMETALICO	U	\$ 1,60	4660	\$ 7.456,00
COSTO ESTIMADO DE LA INVERSION					\$ 3 196 445,62

Costo Total de las Inversiones

MUNICIPIO	MSAN	Gabinetes Red Flexible	Costo Total Planta Exteror (USD)	Costo MSAN(USD)	Costo Gabinetes Flexibles(USD)	Costo Total Estimado de la Inversion(USD)
DEZ DE OCTUBRE	12	10	385 139,60	1 020 000,00	15 573,20	1 620 712,80
CERRO	4	2	170 520,48	340 000,00	3 114,64	513 635,12
ARROYO NARANJO	20	18	999 158,72	1 700 000,00	28 031,76	2 727 190,48
COTORRO	8	4	341 040,96	680 000,00	6 229,28	1 027 270,24
SAN MIGUEL DEL PADRON	13	5	526 997,75	1 105 000,00	7 786,60	1 639 386,35
BOYEROS	15	7	628 569,73	1 275 000,00	10 901,24	1 914 470,97
TERRITORIO SUR HABANA	72	46	3 196 445,62	6 120 000,00	71 636,72	9 443 265,96

Solucion de la DI

CTIC	DEMANDA INSATISFECHA				ETAPA I				ETAPA II				ETAPA III				AUMENTO DE LINEAS DE CX			
	Total DI	MLC	MN	TFA	DI	MLC	MN	TFA	DI	MLC	MN	TFA	DI	MLC	MN	TFA	DI	MLC	MN	TFA
LUZ	345	21	278	46	43	0	35	8	71	0	60	11	227	21	179	27	4	0	4	0
MONTE	653	43	477	133	120	2	78	40	188	3	183	2	210	33	116	61	135	5	100	30
ALDABO	3059	85	533	2441	85	0	61	24	52	2	39	11	2214	77	359	1778	708	6	74	628
CUMBRE	3494	29	504	2961	166	0	30	136	132	0	22	110	2806	29	409	2368	390	0	43	347
BOYEROS	1672	101	429	1142	81	0	0	81	236	40	126	70	950	61	233	656	405	0	70	335
TERRITORIO	9223	279	2221	6723	495	2	204	289	679	45	430	204	6407	221	1296	4890	1642	11	291	1340

Soluciones de Oferta a la población

Centro Telefónico	Total Oferta Población	Oferta Población inmediata (Etapa I)	Oferta a la Población mediante Mejoramiento (Etapa II)	Oferta a la Población mediante Inversiones (Etapa III)	Total Servicios a Instalar	Solución Inmediata (Etapa I)	Mediante Mejoramiento (Etapa II)	Mediante Inversiones (Etapa III)
LUZ	5 220	120	1 700	3 400	5 561	163	1 771	3 627
MONTE	6 158	340	2 482	3 336	6 676	460	2 670	3 546
ALDABÓ	12 800	400	0	12 400	15 151	485	52	14 614
COTORRO	3 730	780	235	2 715	4 804	840	367	3 597
CUMBRE	6 130	300	100	5 730	8 160	406	100	7 654
BOYEROS	4 570	0	0	4 570	5 837	81	236	5 520
TOTALES	38 608	1 940	4 517	32 151	46 189	2 435	5 196	38 558

Ingresos estimados

CTLC	ETAPAS DE LA PREPARACIÓN			TOTALES
	I	II	III	
LUZ	110 579,17	1 123 669,43	2 330 612,82	4 270 948,17
MONTE	312 629,14	1 819 778,41	2 138 540,62	12 202 290,97
ALDABO	310 174,83	810 249,66	11 081 866,48	3 595 819,14
COTORRO	561 293,75	295 244,59	2 739 280,81	6 859 908,78
CUMBRE	327 009,33	510 028,40	6 022 871,05	4 265 333,05
BOYEROS	98 952,40	680 324,68	3 486 055,97	5 239 295,17
TOTALES	1 720 638,61	5 239 295,17	27 799 227,74	34 759 161,52

NOTA: Los Ingresos totales por etapa constan de los ingresos en CTC (4 594 646,85, los ingresos en CUP (24 608 465,72), y los Ingresos Exportables LDI (Larga Distancia Internacional) en USD (5 556 048,95)

Líneas logradas con Mejoramientos de Red e Inversiones (Gabinetes de Red Flexible y MSAN)

MUNICIPIO	MSAN				GABINETES DE RED FLEXIBLE			Líneas Reales	TOTAL
	Cantidad	Líneas por MSAN	Líneas Totales	Líneas Reales	Cantidad	Líneas por Gabinete	Líneas Totales por Gabinete		
DIEZ DE OCTUBRE	12	992	11 904	10 118	10	400	4 000	3 400	13 518
CERRO	4	992	3 968	3 373	2	400	800	680	4 053
ARROYO NARANJO	20	992	19 840	16 864	18	400	7 200	6 120	22 984
COTORRO	8	992	7 936	6 746	4	400	1 600	1 360	8 106
SAN MIGUEL DEL PADRÓN	13	992	12 896	10 962	5	400	2 000	1 700	12 662
BOYEROS	15	992	14 880	12 648	7	400	2 800	2 380	15 028
TERRITORIO SUR HABANA	72	992	71 424	60 710	46	400	18 400	15 640	76 350

NOTAS:

1. Se considera un uso del 85 % las líneas de cada gabinete a instalar.
2. Cada gabinete ALCATEL de red flexible será de relación de distribución 400/600.
3. Cada MSAN HUAWEI tendrá una capacidad de 992 líneas.

Completamiento de las líneas en los MSAN instalados

No.	MSAN INSTALADOS	Instaladas	En servicio	% de Ocupación	Diferencia	Incremento propuesto
1	LUYANÓ	976	626	64	350	155
2	VÍBORA	976	534	55	442	247
3	CAÑAS I	992	572	58	420	222
4	CAÑAS II	992	719	72	273	75
5	ARMADA	992	697	70	295	97
6	CANAL	992	619	62	373	175
7	PALATINO I	992	534	54	458	260
8	PALATINO II	976	500	51	476	281
9	CALABAZAR	864	500	58	364	191
10	CAPDEVILA	240	6	3	234	186
11	ABEL STA. MARÍA	864	604	70	260	87
12	BOYEROS	896	487	54	409	230
13	GUÁSIMAS	896	629	70	267	88
14	JACOMINO	864	534	62	330	157
15	LUYANÓ MODERNO	864	514	59	350	177
16	PARCELACIÓN	864	453	52	411	238
17	REP. ELÉCTRICO	864	575	67	289	116
18	STA. MA. ROSARIO I	304	272	89	32	0
19	STA. MA. ROSARIO II	304	229	75	75	14
TOTALES		15 712	9 604	61	6 108	2 994

Estaciones base GSM del Territorio Sur de La Habana (24 EB / 41 sectores)

No.	Celdas	Sitio	SECTORES
1	AEPTO 1	AEROPUERTO T3	1
2	HBY802 1	AEROPUERTO 850	1
3	HBY905 1	EXPOCUBA	1
4	HBY90 71-73	FONTANAR	3
5	HBY916 1	AEROPUERTO T5	1
6	HCR90 11-13	CERRO - PALATINO	1
7	HCR90 31-33	NARANJITO	3
8	KKHUAL 1-3	CACAHUAL	3
9	MULGOA 1-3	MULGOBA	3
10	WSOLER 1-3	WILLIAM SOLER	3
11	CALVAR 1-3	CALVARIO	3
12	CTORRO 1-3	COTORRO	3
13	HAN90 11-13	MANTILLA	3
14	HAN90 31-33	PALACIO DE PIONEROS	3
15	HBY90 41- 43	ALDABÓ CT	3
16	HDO90 11-13	LAWTON	3
17	HDO90 21-23	LUZ CT	3
18	HDO9051-53	MONTE CT	3
19	HSM9011-13	SAN MIGUEL	3
20	HSM90 31-33	CUMBRE CT	3
21	JTRIGO 1-3	JULIO TRIGO	3
22	SFRACO 1-3	SAN FCO. DE PAULA	3
23	SPEDRO 1-3	SAN PEDRO	3
24	VIBORA 1-3	VIBORA	3

Anexo 3. Cálculo de enlaces

1. ÓPTICO

Para el diseño del enlace óptico se calcula:

Longitud del enlace, L:

$$V = 440 / L\Delta\lambda D(\text{Gbps}) \text{ (II)}$$

donde:

$\Delta\lambda$ es el rango espectral del emisor láser monocromático de excitación expresada en nm.

D es de dispersión cromática de la FO expresada en ps/nm/Km.

L es la longitud del enlace.

El coeficiente D se obtiene de la fibra seleccionada y de la ventana de trabajo del sistema. Para un cable de fibra que cumple con la recomendación ITU-T G.652D este valor es aproximadamente de 3 ps/nm/km para 1 310nm y de 14 ps/nm/km para 1 490 nm (48).

El cálculo es realizado para el peor de los casos el cual se corresponde con la transmisión descendente (1 490 nm).

El láser utilizado en la OLT es del tipo DFB (Distributed Feedback). Este tipo de láser tiene valores típicos de ancho espectral inferiores a los **0,1 nm**.

Considerando una $V = 2,488$ Gbps, y despejando L en II se tiene:

$$L = 440 / V\Delta\lambda D = 440 / 2,488 \times 0,1 \times 14$$

$$L = 126 \text{ Km}$$

Atenuación, At:

La Atenuación del enlace óptico deberá cumplir con la siguiente condición:

$$At \leq Pm = Pt - Pr \text{ (III)}$$

Donde:

Pm: Margen de potencia en dB

Pt: Potencia de salida del transmisor en dBm

Pr: Sensibilidad del receptor en dBm

A_t : Atenuación total máxima permisible del enlace en dB

La atenuación total máxima permisible se calcula con la siguiente expresión:

$$At = Afo + Ae + Ac + Pe + Ms, \text{ dB (IV)}$$

Donde:

Afo: Atenuación provocada por la fibra óptica

Ae: Atenuación introducida por los empalmes

Ac: Atenuación en los conectores

Pe: Valor de penalización por interferencia intersímbolos

Ms: Margen de seguridad

Como son varios enlaces ópticos, se debe calcular el peor de los casos (el de mayor grado de división, longitud, y mayor número de empalmes).

Para el enlace descendente, según datos del fabricante, la potencia de transmisión garantizada por la OLT está entre +1,5 y +5 dBm para láser clase B. En el cálculo se toma el valor de +3 dBm y la sensibilidad del receptor (ONT) es de -27 dBm por lo que queda:

$$\mathbf{Pm = 30,0 \text{ dBm.}}$$

Entonces:

$$\mathbf{AT \leq 30,0 \text{ dB}}$$

La expresión para calcular Afo es:

$$\mathbf{Afo = (\alpha_{fo} + \alpha_{envfo}) \times L \text{ (dB) (IV)}}$$

Donde:

Afo: Coeficiente de atenuación de la fibra (dB/km) = 0.4 para G.652.D en 1 310 nm y 0.3 en 1 490 nm [44].

α_{envfo} : Coeficiente de atenuación por envejecimiento de la fibra = 0.05 dB/Km

L: Longitud del enlace en km (en este caso 20 km)

por lo que quedaría:

$$\mathbf{Afo = 7,6 \text{ dB}}$$

Ahora se calcula Ae mediante la expresión:

$$\mathbf{Ae = \alpha_e (Ne1 + NeODF), \text{ dB}}$$

Donde:

α_e : Atenuación en los empalmes en dB = 0,15 dB

Nel: Número de empalmes de línea = 2

NeODF : Número de empalmes en los ODF = 2

entonces la expresión queda:

$$\mathbf{Ae = 0,6 \text{ dB}}$$

Seguidamente se calcula Ac:

$$\mathbf{Ac = Nc \alpha_c + Np \alpha_p}$$

Donde:

Nc: Número de conectores = 8 SC

N_p : Número de divisores ópticos (1 de 2:4 y 1 de 1:4)=16,3 dB

α_c : Pérdidas en los conectores = 0,2 dB

α_p : Pérdidas en los divisores = 16,3 dB

quedando la expresión:

$A_c = 17,9$ dB.

El valor de la penalización intersímbolos (P_e) se encuentra entre 1 y 2 dB y se considera un margen de seguridad (M_s) de 3 dB por lo que el cálculo de la AT quedaría:

$A_t = 27,4$ dB < **31,0 dB**

En sentido ascendente (ONT-OLT) según datos del fabricante, la potencia de transmisión garantizada por la ONT está entre +0,5 y +5 dBm , en el cálculo se toma el valor de 3 dBm y la sensibilidad del receptor (ONL) es de -28 dBm por lo que queda:

$PM = 31,0$ dBm

el cálculo de la Atenuación total arroja el siguiente resultado:

$A_t = 28,46$ dB < **31,0 dB**

2. Enlace de RADIO WiMAX

- **Cálculo de la Distancia Longitud D del enlace (Km) para el Enlace LABIOFAM-PARQUE LENIN.**

DATOS DE UBICACIÓN

(2) CPE PRUEBA (PARQUE LENIN) (1) ESTACIÓN BASE (LABIOFAM)

Latitud: 23°00'25,13'' N

Latitud: 22°59'05,97'' N

Longitud: 82°21'09,24'' O

Longitud: 82°23'05,71'' O

Altura: 272 pies = 84 m

Altura: 247 pies = 76 m

$$D (\text{Km.}) = [(\Delta \text{Longitud} \times 111)^2 + (\Delta \text{Latitud} \times 111)^2 + \Delta H^2]^{1/2} \quad (1)$$

Donde: $\Delta \text{Longitud} = \text{Long. 1} - \text{Long. 2} = 0^\circ 2'4,47'' = 0,0276 \text{ Km.}$

$$\Delta \text{Latitud} = \text{Lat. 1} - \text{Lat. 2} = 1^\circ 59' 20,84'' = 0,1289 \text{ Km}$$

$$\Delta H = H_1 - H_2 = 101 - 84 = 17 \text{ m} = 0,017 \text{ km}$$

$$D (\text{Km}) = [(0,0276 \times 111)^2 + (-0,1289 \times 111)^2 + (0,017)^2]^{1/2}$$

$$D \text{ (Km)} = c1/2 = [17,64]^{1/2}$$

$$D \text{ (Km)} = 4,20 \text{ Km}$$

- Frecuencia del canal = $f_n = f_0 - 0.8125 + 0.0625 n$ (2)

$$f_n' = f_0 - 0.1875 + 0.0625 n$$
 (3)

Si $f_0 = 2\,500,8125$ y $n = 1$, entonces,

$$f_n = 2\,499,9375 \text{ Khz.}$$

$$f_n' = 2\,500,0625 \text{ Khz.}$$

- Altura de despeje (H despeje)

$H \text{ despeje} = [H_1(m) \times d_2 \text{ (Km)} + H_2(m) \times d_1 \text{ (Km)}] / D(Km) - H_0(m) - 0,078 d_1 \times d_2 / k$,
donde $k = 4/3$ curvatura de la tierra (4), donde:

$$H_1 = (50 + 76) \text{ m}, H_2 = (5 + 84) \text{ m}, d_1 = 4,16 \text{ Km}, d_2 = 0,04 \text{ Km}, H_0 = 84 + 76 / 2 = 80 \text{ m}$$

$$H \text{ desp.} = [126 \times 0.040 + 89 \times 4,16] / 4,20 - 80 - 0,078 (0.04 \times 4,16) / 1,33$$

$$H \text{ desp.} = 1,0005 \text{ m}$$

- Radio de la zona de Fresnel (RF1) = $547,72 [d_1 \times d_2 / f_n \times D(Km)]^{1/2}$ (5)

$H \text{ despeje} / RF1 = \% \text{ liberación de la 1ra. Zona de Fresnel}$ (6)

$$RF1 = 547,72 [0,04 \times 4,16 / 2499,9375 \times 4,20]^{1/2}$$

$$RF1 = 1,845$$

$$H \text{ despeje} / RF1 = 1,0005 / 1,845 = 0,542 \%$$

La primera zona de Fresnel se encuentra liberada al 54,2 %.

- Pérdidas en el espacio libre $L_p \text{ (dB)} = 32,4 + 20 \log f(\text{Mhz}) + 20 \log D(\text{Km})$ (7)

$$L_p(\text{dB}) = 32,4 + 20 \log (2500,0625) + 20 \log 4,20$$

$$L_p(\text{dB}) = 32,4 + 20 \log (2500,0625) + 20 \log 4,20$$

$$L_p(\text{dB}) = 112,86 \text{ dB}$$

- Atenuación por obstáculos, $L_d(v) = 6,9 + 20 \log [(v - 0,1)^2 + 1 + v - 0,1]^{1/2}$ (8)

$$V = 2 \frac{1}{2} [-H \text{ despeje/ RF1}] = 1,41[-0,542] = -0,77$$

$$L_d (v) = 6,9 + 20 \log [(-0,77 - 0,1)^2 + 1 - 0,77 - 0,1]^{1/2}$$

$$\underline{L_d (v) = 0,087 \text{ dB}}$$

- Pérdida por líneas de transmisión (asume coaxial con pérdidas típicas de 0,1 dB / m);

$$L \text{ SITIO} = \text{Longitud de la caseta a la antena} \times 0,1 \text{ dB/m} \quad (9)$$

$$L \text{ LENIN} = 50 \times 0,1 = 5 \text{ dB (IX)}$$

$$L \text{ LABIOFAM} = 5 \times 0,1 \text{ dB/m} = 0,5 \text{ dB (10)}$$

- Pérdida en conectores en ambos puntos = 5,5 dB

- Potencia de recepción

$$PR_x \text{ (dBm)} = PT_x \text{ (dBm)} + GT_x \text{ (dB)} + GR_x \text{ (dB)} - LT_x \text{ (dB)} - L_p \text{ (dB)} - LR_x \text{ (dB)} - L_d \text{ (dB)} \quad (11)$$

$$PR_x \text{ (dBm)} = 40 + 18 + 18 - (5+1) - 112,86 - (0,5 + 1) - 0,087$$

$$\underline{PR_x \text{ (dBm)} = -48,28 \text{ dBm}}$$

- Disponibilidad del sistema

$$1 - R = 0,0001D/400 \quad (12)$$

$$1 - R = 0,0001(4,20) / 400$$

$$\underline{1 - R = 0,0000105}$$

- Margen de desvanecimiento F_m (*fading*)

$$F_m \text{ (dB)} = 30 \log D \text{ (Km)} + 10 \log (6ABf) - 10 \log (1 - R) - 70 \quad (13)$$

Donde: A: factor de rugosidad, igual a 4, sobre agua o terreno liso.

B: factor de conversión de la peor probabilidad mensual en probabilidad anual.

Igual a 1 para pasar de una disponibilidad anual a la peor base mensual.

Igual a 0,5 en áreas calientes y húmedas.

Igual a 0,25 en áreas continentales.

Igual a 0,125 en áreas secas y montañosas

Tiene que ser $MU \geq Fm$

$$Fm \text{ (dB)} = 30 \log D \text{ (Km)} + 10 \log (6ABf) - 10 \log (1 - R) - 70$$

$$Fm \text{ (dB)} = 30 \log (4,20) + 10 \log 6(4)(0,5)(2,5000625) - 10 \log (0,00000105) - 70$$

$$\underline{Fm \text{ (dB)} = 19,45}$$

25,3 dB \geq 19,45, lo que implica que se cumple.

- Confiabilidad R

$$R = (1 - R) \times 100 \text{ (14)}$$

Para la UIT, $R \geq 99,9664\%$, $L < 280 \text{ Km}$

$$R = (1 - 0,00000105) \times 100 = \underline{99,99\%}, \text{ se cumple con la UIT.}$$

- Ángulo de elevación

$$\text{Sen } \alpha = \Delta H / D = (H1 - H2) / D \text{ (15)}$$

$$\text{Sen } \alpha = 37 / 4200$$

$$\text{Sen } \alpha = 0,0088$$

$$\underline{\alpha = 0,51^\circ}$$

- Ángulo de apuntamiento

$$\Theta = \arctan \Delta \text{ Latitud} / \Delta \text{ Longitud} \text{ (16)}$$

$$\Theta = \arctan 0,1289 / -0,0276$$

$$\underline{\Theta = -44,17^\circ}$$

- Azimut BS = $90^\circ + |\Theta| = 90^\circ + 44,17^\circ = 134,17^\circ$ (17)
- Azimut CPE PRUEBA = $270^\circ + |\Theta| = 270^\circ + 44,17^\circ = 314,17^\circ$ (18)

- Potencia isotrópicamente radiada, PIRE

$$\text{PIRE (dBm)} = P_{tx} + G_{Tx} - L_{Tx} \text{ (20)}$$

$$\text{PIRE (dBm)} = 40 + 18 - 0,5 = \underline{\text{PIRE (dBm)} = 58,5 \text{ dBm}}, \text{ que equivale a } 567,34 \text{ w}$$

- **Enlace de FO Estación base LABIOFAM-Anillo de FO**

A continuación se muestra el cálculo para el enlace de fibra óptica, que asegurará el backhaul.

Datos:

Longitud del enlace (L): 10 Km

Equipo empleado: AT-MC 103LH³⁷

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

$\lambda = 1310 \text{ nm}$

Pt (min) = -5 dBm

Sensibilidad: -36 dB

$\alpha_{fo} = 0.35 \text{ dB/km}$ ³⁸

$\alpha_e = 0.20 \text{ dB}$ (Atenuación máxima para un empalme definido por ETECSA)

Cantidad de empalmes (Ne): 2 empalmes

$\alpha_c = 0.75 \text{ dB}$

Cantidad de conectores (Nc): 2.

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

$A_e = N_e \cdot \alpha_e = 2 \times 0.20 \text{ dB} = 0.40 \text{ dB}$

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

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

$P_r (\text{min}) = -5 \text{ dB} - 0.35 \text{ dB/km} \times 10 \text{ km} - 0.40 \text{ dB} - 1.50 \text{ dB} - 7 \text{ dB} = -12.1 \text{ dBm}$

La potencia que se recibirá en el receptor será de -12,1 dBm, superior a la sensibilidad del mismo, que es de -36 dBm, lo que significa que se podrá establecer comunicación con un margen de seguridad de 23,9 dB.

Verificación de no saturación:

Pt (max) = 0 dBm

Psat = -1,5 dBm

$P_r (\text{max}) = P_t (\text{max}) - \alpha_{fo} \times L - A_e - A_c = 0 \text{ dBm} - 0.35 \text{ dB/km} \times 10 \text{ km} - 1.0 \text{ dB} - 1.50 \text{ dB} =$

$P_r (\text{max}) = -6.0 \text{ dBm}$, luego: $P_r (\text{max}) < P_{\text{sat}}$ por lo que el receptor no debe saturarse y el enlace debe trabajar sin problemas.

³⁷ Conversor de medios. Tomado de el sitio <http://www.alliedtelesis.eu/p-2220.html>.

³⁸ Tomado de: Information, C.S.-O.F.P., *Corning Single-Mode Optical Fiber*, in *Optical Specifications*. 2002.

Anexo 4. Algunas características de parte del equipamiento propuesto

4.1. Equipo para pruebas de precalificación del cobre

Para la precalificación de pares se propone la obtención del **Dynatel 965 AMS (de 3M)**, el cual combina los instrumentos de medición mas comunes de uso en redes de telecomunicaciones de cobre para Voz y Banda Ancha con la facilidad de usar módulos de prueba enchufables: TDR +Analizador +Localizador de fallas en red Telefónica +MODEM ADSL2+.



Figura 1. Dynatel 965 AMS

4.2. Características de los principales equipos a utilizarse en WiMAX

4.2.1. Estación base (HUAWEI DBS3900 WIMAX, V300R002)

Localizado entre el ASN-GW y la MS/SS en el estándar IEEE 802.16e compatible con redes WiMAX, es controlado por el ASN-GW, recibe y transmite señales. EL DBS3900 WiMAX es una estación base distribuida que consiste de una Unidad de Banda de Base (BBU) y una o más Unidades Remotas de Radio (RRU). El BBU y las RRU están conectadas mediante fibra óptica. Las principales especificaciones³⁹ de rendimiento de servicio son:

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

Voltaje alimentación: -48V DC.

³⁹ Tomado de: Huawei, "DBS3900 WiMAX V300R002 Product Description," ed. Shenzhen, 2008.

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.

Tabla III. Sensibilidad en el canal

Modulación	Sensibilidad en el canal de 5 MHz	Sensibilidad en el canal de 10 MHz
QPSK- 1/2	-99,0 dBm	-97,7 dBm
QPSK- 3/4	-97,4 dBm	-94,3 dBm
QAM 16- 1/2	-95,1 dBm	-82,0 dBm
QAM 16- 3/4	-91,0 dBm	-87,9 dBm



Figura 2. Apariencia de la Estación base (HUAWEI DBS3900 WIMAX)

4.2.2. (CPE) Terminal de usuario WiMAX (ECHOLIFE BM8201)

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 y descendente: 5 y 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.

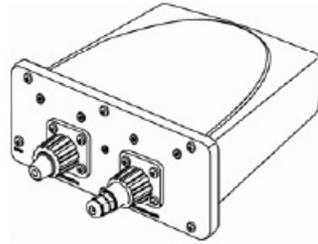


Figura 3. CPE WiMAX Echolife BM8201. Fuente: Product Description HUAWEI WiMAX EchoLife BM8201

4.2.3. Especificaciones técnicas del Conversor AT-MC10X3

Especificaciones del puerto de fibra óptica:

Transmisor de fibra óptica.

1. MMF = Fibra multimodo / SMF = Fibra monomodo
2. La potencia de transmisión es medida a 1m del transmisor.

Receptor de fibra óptica:

1. MMF = Fibra multimodo / SMF = Fibra monomodo

Enlace de datos por fibra óptica:

1. MMF = Fibra multimodo / SMF = Fibra monomodo

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

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

4.3. Características de los equipos a utilizarse en xDSL

4.3.1. ENRUTADOR (Figura 4)



Figura 4. Apariencia del enrutador Quid Way Net Engine 40. Huawei Products

Se debe cumplir con características como: Soporte multicast, IGMP, Alto *throughput*, Interfaz ATM/STM-n.

El Quid Way Net Engine 40, del fabricante Huawei Technologies Co. Ltd. exhibe características como, gran capacidad, alto rendimiento y disponibilidad, alta velocidad en sus interfaces, conmutación *Ethernet*, MPLS VPN, QoS.

- Protocolos LAN: Ethernet, VLAN (802.1q).
- Protocolos de Capa de Enlace: PPP y MPLS, HDLC (*High-Level Data Link Control*), FR, IP sobre ATM, STP (*Spanning Tree Protocol*)
- Protocolos de Red: IPv4: Manejo de Rutas Estáticas, Enrutamiento Unicast, OSPF (*Open Shortest Path First*), BGP(*Border Gateway Protocol*). IPv6: NAT, Enrutamiento estático, BGP4, OSPF v3
- Seguridad: PAP, CHAP, (*Challenge Handshake Authentication Protocol*) NAT, filtro paquetes IP, SSH v1 y v2 (*Secure Shell*)
- Configuración: NTP (*Network Time Protocol*), SNMP, HWPing, RMON (*Remote Network Monitoring*), PPP, HDLC.
- Configuración rutas estáticas, RIP (*Routing Information Protocol*), RIPv2, OSPF, OSPFv3, integrated, BGP, BGP4+.
- Interfaces: Ethernet, AUX y serial, POS y cPOS (canalización POS), ATM, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, E1/cE1, E3, T3, SDH/SONET.
- El multicast de IP, característica que provee a los portadores de servicios diseñar redes para tráfico voz, video (Televisión en Web, E-learning, telemedicina y video conferencia).

Rutas estáticas multicast, IGMP, PIM (*Protocol Independent Multicast*), IP multicast.

4.3.2. DSLAM SmartAX MA 5600T/5603T

Soporta acceso integrado por cobre y óptico. Proporciona servicios de acceso de alta densidad a través de POTS, RDSI, G.SHDSL, ADSL2+/VDSL2, GPON y P2P por fibra, Ethernet, servicios triple play, servicios de línea arrendada TDM/ATM/Ethernet. Además, soporta acceso a bases móviles. Existen dos modelos de este equipo: El MA 5600T, que cuenta con 16 ranuras de servicio, y el MA5603T, con 6 ranuras de servicio.

- Capacidad de tarjeta madre posterior de 3.2T bit/s, capacidad de conmutación de 960Gbps y direcciones MAC de 512 k.
- Conmutación de L2/L3 a velocidad de línea.
- Ruteo estático/RIP/OSPF/MPLS.
- Hasta 36 interfaces 10 GE o 384 interfaces GE.
- Puertos GEM de 4k y T-CONT de 1k por puerto GPON, con una relación de separación de hasta 1:128.
- Provisión de servicio IPTV de gran capacidad, 8.000 usuarios multicast y 4.000 canales multicast.



Figura 5. Plataforma de acceso global todo en uno que soporta tanto acceso integrado por cobre y óptico. Fuente: Huawei Products.

4.3.3. Módems

Existe en el mercado una gran variedad de marcas de módems ADSL, tanto ATU-R como ATU-C. Se debe tomar en cuenta el cumplimiento de estándares ANSI T1.413 que se complementa con el G.922-2 de la ITU-T, en el que se describe la interfaz entre la red de telecomunicación y la instalación del cliente, desde el punto de vista de su interacción y sus características eléctricas. Se selecciona de HUAWEI el **MT 882**.

4.3.4. Dispositivo de acceso integrado, IAD

El IAD 122x es un dispositivo integrado de acceso que se interconecta con la PBX IP SoftCo a través de protocolos MGCP estándares, soporta como máximo 224 usuarios analógicos, permite acceso integrado tanto para usuarios analógicos como para usuarios IP, soporta fuente de alimentación 1+1 de CA/CC y soporta un Sistema de Gestión de Redes (NMS) unificado o un NMS local y provee una herramienta integrada de visualización.



Figura 6. Dispositivo de acceso integrado IAD 1224. Fuente: Huawei Products.

4.4. Móvil NOKIA 6230i con funcionalidad GPRS/EDGE

Tabla III. Características del móvil NOKIA 6230i para conexión GPRS/EDGE. Fuente: Nokia Ltd

<p>Conectividad:</p> <p>Banda:900/1800/1900</p> <p>Mensajes: SMS/MMS</p> <p>GPRS: SI</p> <p>Bluetooth:SI</p> <p>IrDa:SI</p> <p>WAP:SI</p> <p>USB: SI</p> <p>WIFI: NO</p> <p>Marcación por Voz: SI</p> <p>Reloj/Alarma: SI/SI</p> <p>Calendario: SI</p> <p>Vibración: SI</p> <p>SAR: 0,59 W/Kg.</p> <p>Sistema Operativo: Nokia OS S40 v2</p> <p>Observaciones: GPRS, EDGE, HSCSD, tarjeta MMC 32 Mbps, DCT4</p>	<p>Aspecto:</p> <p>Dimensiones: 103 x 44 x 20 mm</p> <p>Peso: 97 g</p> <p>Carcasa: intercambiable</p> <p>Alimentación:</p> <p>Autonomía (Llamada): 5 h</p> <p>Autonomía (Espera): 300 h</p> <p>Batería: Li-Ion 850 mAh</p> <p>Memoria: Interna: 5MB Tarjeta: MMC </p> <p>Imagen:</p> <p>Cámara: SI (VGA 640x480)</p> <p>Pantalla: 128 x128 <i>píxeles</i>, 65 k colores TFT</p> <p>Logos SMS: SI</p> <p>Imágenes: SI</p> <p>Juegos: SI</p> <p>Audio:</p> <p>Polifónicas: SI</p> <p>Tonos SMS: SI</p> <p>MP3: SI</p> <p>Radio: SI</p> <p>Precio: \$100.00 USD</p>
<p style="text-align: center;"></p> <p style="text-align: center;">Apariencia del NOKIA 6230i</p>	

Anexo 5. Cálculo Económico

5.1. Fuerza de trabajo

- **Instalación de las líneas DSL**

De acuerdo a los cálculos anteriores las líneas DSL a instalar son 107 811 físicas. Si se desea que en tres años queden todas instaladas deberán usarse 17 parejas de Instalador-Reparador, haciendo cada una 8 instalaciones diarias.

Tabla V. Fuerza de trabajo para instalación DSL. Fuente: Elaboración propia.

No.	Trabajador	Cantidad	Tarifa horaria (CUP)	Tiempo de instalación (h)	Monto (CUP)
1	Instalador-Reparador B	17	1,94	6 336	208 961.28
2	Instalador-Reparador C	17	1,73	6 336	186 341.76
TOTALES					395 303.04

Para la precalificación de pares se tiene que, considerando que 1 Técnico y 2 Reparadores califican un par en 0,25 horas, los 192 452 se miden en 48 863 horas. Si se usan 10 grupos de medición:

No.	Trabajador	Cantidad	Tarifa horaria	Tiempo de instalación	Monto (CUP)
1	Instalador-Reparador B	10	1,94	6 336	126 339.84
2	Instalador-Reparador C	10	1,73	6 336	109 612.8
3	Medidor de cable	10	2,31	6 336	146 361.6
TOTALES					382 314.24

- **Instalación WiMAX (768 líneas)**

Esta fuerza, se usará para la instalación de la estación base y los CPE de los abonados.

Tabla VI. Fuerza de trabajo para instalación WiMAX. Fuente: Elaboración propia.

No.	Trabajador	Cantidad	Tarifa horaria	Tiempo de instalación	Monto (CUP)
1	Técnico en Telecomunicaciones	4	2,31	284	2 624,16
2	Ing. en Telecomunicaciones	1	2,57	284	729,88
TOTALES					3 354,04

- **Instalación de las líneas móviles**

Para la instalación de las 88 Estaciones Base necesarias para cubrir la demanda de abonados móviles se presenta la Tabla siguiente:

Tabla VII. Fuerza de trabajo para instalación móvil. Fuente: Elaboración propia.

No.	Trabajador	Cantidad	Tarifa horaria	Tiempo de instalación	Estación Base	Monto (CUP)
1	Técnico en Telecomunicaciones	3	2,31	24	97	16 133.04
2	Ingeniero en Telecomunicaciones	1	2,57	24	97	5 982.96
3	Torreros	6	2,12	192	97	236 897.28
TOTALES					97	259 013.28

5.2. Cálculo Óptico y Cobre

5.2.1. Cálculo del costo de los materiales para el tendido del cable de fibra óptica y la red secundaria de cobre.

En lo que respecta al gasto óptico se debe expresar que la fibra óptica alimentadora, que garantiza la transmisión de los MSAN a instalar, ya está tendida, solo es necesario la colocación de los divisores ópticos, la actualización de la OLT en CT Luz y el entronque de los enlaces de FO hacia los MSAN que en número de 72 serán instalados. Aplicando un factor de corrección de la distancia del 15%, se estipula que se llegarán a 36 Km de FO aproximadamente (500 m de cable de 12 FO por cada MSAN más 5 400 del mencionado 15 %). Se utilizará fundamentalmente la infraestructura soterrada y aérea existente. En la Tabla VIII se muestra el resumen de los costos de tendido de FO.

Para el cálculo de proyectos de ejecución se tiene en cuenta la metodología para el cálculo de los costos en ETECSA que contiene el proyecto como tal, la instalación de las redes, la obra civil, los costos materiales y las certificaciones de la obra. En este proyecto no se analizará la construcción de obra civil ya que se utilizará la infraestructura soterrada existente.

Tabla VIII. Costo de los materiales para el tendido del cable de fibra óptica.

Descripción	Costo unitario	Cantidad (m)	Subtotal
Cable fibra óptica soterrada de 12 FO	1.16	41 400	48 024,00*
Herrajes y otros			50 000,00*
Total materiales para el tendido			98 024,00*

* Valor aproximado

5.2.2. Proyecto de la red y obras civiles

En la Tabla IX se muestra el cálculo total de confección de proyecto.

Tabla IX. Costo total de proyectos

Descripción	Costo unitario(por Km)*	Cantidad (Km)	Subtotal
Cable FO Soterrado	62,00	36	2 232,00
Red de cobre aérea	329,00	696	228 984,00
TOTALES			231 216,00

* De acuerdo a evaluación paramétrica para el cálculo de proyectos.

5.2.3. Instalación de la red

Tabla X. Costo total de instalación del cable de fibra óptica

Descripción	Costo por Km	Cantidad (Km)	Subtotal
Cable fibra soterrado	1 480,00	36	53 280,00
Cable cobre secundario	2 035,00	696	1 416 360,00
Total			1 469 640,00

5.2.4. Certificación de la Obra

La Tabla XI muestra la evaluación paramétrica del costo de certificación de la obra. A este costo se le añade a cada obra un costo fijo de 400.00 USD por “Licencia de obra” más 150.00 USD por “Certificación de utilización” que asciende a 75 663,00 USD. Ahora bien, la FO y el cobre serán tendidos a través de soterrados y postería existentes, por ello solo se toma de la cifra calculada un 10 %, o sea 7 566,00 USD.

Tabla XI. Costo unitario de Micro localización.

Red	Red de cobre		Red óptica	
Descripción	USD/Km cable	USD/Km cable soterrado	USD/Km cable	USD/Km cable enterrado
Micro localización	139.00	862.00	115.00	135.00
Total	139.00	862.00	115.00	135.00

Tabla XII. Fuerza de trabajo para instalación Óptica. Fuente: Elaboración propia.

No.	Trabajador	Cantidad	Tarifa horaria	Tiempo de instalación	Monto (MN)
1	Técnico en Telecomunicaciones	4	2,31	288	2 661,12
2	Ingeniero en Telecomunicaciones	1	2,57	288	740,16
3	Empalmadotes de FO	4	2,12	144	305,28
TOTALES					3 706,56

B) Equipamiento de red propuesta (obtención progresiva)

En la Tabla XIII se muestra el equipamiento principal para el despliegue de BA que se propone, teniendo la particularidad de obtenerlo de forma progresiva, a fin de contar con recuperación económica.

Tabla XIII. Monto del equipamiento para el despliegue de BA

No.	Equipo	Función	Modelo	Precio U	Cant.	Valor
TECNOLOGÍA DSL						
1	DSLAM GRANDES	Multiplexar el tráfico DSL hacia la red WAN.	SmartAX MA5600	2 550,50	111	283 105,50
2	DSLAM PEQUEÑOS	Multiplexar el tráfico DSL hacia la WAN	SmartAX MA5603	1 966,50	260	511 290,00
3	Divisores DSL	Separa el tráfico DSL de POTS	HWSP-168	1,00	222 452	222 452,00
4	Módems DSL	Controla el tráfico DSL.	MT 882	50,00	222 452	11 122 600,00
5	Dispositivos IAD	Suplemento para líneas DSL.	IAD 1224	250,00	1 000	250 000,00
SUBTOTAL						
12 389 447,50						
TECNOLOGÍA ÓPTICA						
1	OLT	Terminal óptico de línea	MA 5603 T	1 966,50	1	1 966,50
2	ONU	Unidad de red óptica.	F01D 1000	78 535,00	72	5 654 520,00
3	Divisores ópticos	Divide la señal óptica	MT 1502	11,00	66	726,00
SUBTOTAL						
5 657 212,50						
TECNOLOGÍA WDM/XPON						
1	Controlador de estaciones base	Controla el tráfico de radio de las estaciones base.	WASIN 9770	121 863,66	1	121 863,66
2	Estación Base	Evacua el tráfico desde y hacia el cliente.	DBS3900	49 036,20	1	49 036,20
3	Sistema de Gestión	Gestiona el equipamiento de radio de toda la red.	M200 y AP Manager	221 797,91	1	221 797,91
4	Rack Outdoor.	Ancleje de los servicios de radio.	APM200	2 619,62	1	2 619,62
5	Terminales Outdoor e	Terminal de radio para el cliente.	Echolle BM 8210	243,43	768	186 954,24
6	Rechñicador DC.	Rechñica la CA para la alimentación del sistema	EMERSON PS 48600	3 646,15	1	3 646,15
7	Baterías.	Alimentación del sistema.	COSLIGHT 6 GFMZ	1 688,74	1	1 688,74
8	Software de	Planificación de la red.	GENEX-UNET	109 716,86	1	109 716,86
9	Mástil	Sostiene antena	AT-45	624,32	1	624,32
10	Transceptor	Convertor de medios	AT MC 10x	512,23	1	512,23
11	Rutas para cable de FO	Transporte de señales	-	15	1 800	27 000,00
SUBTOTAL						
725 459,90						