

REDES DE ACCESO DE NUEVA GENERACION (NGAN):

TECNOLOGÍA Y VENTAJAS

HELEIN ISABEL CAMARGO ÁVILA

KEVIN CARO BATISTA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA

MONOGRAFIA

CARTAGENA

2012

REDES DE ACCESO DE NUEVA GENERACION (NGAN):

TECNOLOGÍA Y VENTAJAS

HELEIN ISABEL CAMARGO ÁVILA

KEVIN CARO BATISTA

Asesor

Eduardo Gómez Vásquez

Director Minor de Telecomunicaciones 2012

**Profesor de tiempo completo de la Universidad Tecnológica de Bolívar
Facultad de Ingeniería**

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARTAGENA

2012

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Cartagena de Indias D. T. y C., julio de 2013

Señores

COMITÉ CURRICULAR

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Ciudad

Cordial saludo


De la manera más atenta nos dirigimos a ustedes con el propósito de comunicarles que la monografía titulada “**Redes de Acceso de Nueva Generación (NGAN): Tecnología y Ventajas**” ha sido desarrollada conforme a los objetivos establecidos.

Como autores de la monografía consideramos que el trabajo es satisfactorio y solicitamos que: sea estudiado, evaluado y posteriormente aprobado por ustedes.

En espera de los resultados de dicha evaluación.

Atentamente,


HELEIN ISABEL CAMARGO AVILA
c.c. 1143343178


KEVIN CARO BATISTA
c.c. 1143334015

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios, nuestros padres y demás familiares por todo el amor manifestado a través del apoyo y atención brindada durante el transcurso de nuestras vidas.

A la Universidad tecnológica de Bolívar, y el gran cuerpo de profesores, secretarias y asesores de los programas de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. A los docentes por ser proveedores de los conocimientos adquiridos en nuestra vida de estudiante, secretarias y asesores, por toda la ayuda, paciencia e información proporcionada.

A nuestro tutor en este proceso, el profesor Eduardo Gómez Vásquez por la atención y apoyo brindado para la realización de la monografía; A Gonzalo López por brindarnos los conocimientos y experiencias bases en el área de las telecomunicaciones.

Al Ingeniero de la Empresa UNE Telecomunicaciones Salim Yamal Matos, quien nos cedió de su tiempo para ofrecernos una guía o introducción a nuestro tema de trabajo en el presente documento.

A nuestros amigos, compañeros, y a todas aquellas personas que de alguna forma hicieron aporte a nuestra formación, les damos ¡GRACIAS!

Redes de Acceso de Nueva Generación NGAN: Tecnologías y Ventajas

HELEIN ISABEL CAMARGO ÁVILA

KEVIN CARO BATISTA

2013



HELEIN ISABEL CAMARGO ÁVILA

KEVIN CARO BATISTA

2013

CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABLAS.....	ii
GLOSARIO.....	iii
RESUMEN.....	x
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO 1. REDES DE ACCESO DE NUEVA GENERACIÓN (NGANs).....	3
1.1. DESCRIPCIÓN DE UNA RED DE ACCESO DE NUEVA GENERACIÓN.....	4
1.1.1. Descripción técnica.....	4
CAPITULO 2. TECNOLOGÍAS DE LAS NGAN.....	8
2.1. TECNOLOGÍAS DE ACCESO POR CABLE.....	8
2.1.1. xDSL (Digital Subscriber Line, Línea Digital de Abonado).....	8
2.1.1.1. ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line, Línea Digital de Abonado Asimétrica).....	8
2.1.1.2. Aplicaciones de los sistemas ADSL.....	10
2.1.1.3. DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer).....	10
2.1.1.4. RADSL.....	10
2.1.1.5. ADSL G.LITE o UDSL.....	11
2.1.1.6. VDSL.....	11

2.1.1.7. HDSL.....	12
2.1.1.8. HDSL2 o SHDSL.....	12
2.1.1.9. SDSL.....	13
2.1.1.10. MDSL.....	13
2.1.1.11. IDSL o ISDN-BA.....	14
2.1.2. HFC (Hybrid Fiber-Coax, Híbrido de Fibra y Coaxial).....	15
2.1.2.1. Arquitectura de las redes de cable.....	16
2.1.3. DOCSIS.....	17
2.1.3.1. DOCSIS 3.0 (D3™).....	19
2.1.4. Ventajas y desventajas del acceso por cable.....	19
2.2. REDES DE ÁREA AMPLIA.....	20
2.2.1. Conmutadas.....	20
2.2.1.1. FRAME RELAY Y MPLS.....	20
2.2.1.2. Características Frame Relay.....	22
2.2.2. WIMAX.....	25
2.2.2.1. ¿Cómo funciona WIMAX?.....	25
2.2.2.2. LTE 4G (Long Term Evolution).....	27
2.2.2.2.1. 4G LTE en Colombia.....	31
2.2.3. Redes de Fibra Óptica.....	32
2.2.3.1. Redes Ópticas Pasivas (PON).....	33
2.2.3.1.1. GPON.....	34
2.2.3.2. Ventajas y desventajas de la Fibra Óptica.....	36
CONCLUSIONES.....	39
BIBLIOGRAFÍA.....	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ilustración de escenarios para el despliegue de fibra.....	6
Figura 2. Enlace ADSL.....	8
Figura 3. Arquitectura de una red de cable ramificada.....	17
Figura 4.Formato de la trama Frame Relay.....	20
Figura 5. Circuito Frame Relay.....	22
Figura 6. Wimax.....	26
Figura 7. Arquitectura Tecnología LTE.....	30
Figura 8. Equipos de usuario.....	31
Figura 9. Modem 4G UNE.....	32
Figura 10. Componentes de una red PON.....	34
Figura 11. Red GPON.....	35

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Rendimiento del ADSL.....	9
Tabla 2. Versiones DOCSIS.....	17
Tabla 1. Evolución de Wimax.....	26
Tabla 4. Clasificación según características de los equipos LTE.....	28

GLOSARIO

ADSL: “Asymmetrical Digital Subscriber Line”. - Línea de Suscriptor, Digital Asimétrica. Velocidades distintas en los sentidos enlace de bajada “downlink” (hacia al abonado) y enlace de subida “uplink” (hacia el acceso). De 32 Kbit/s a 8192 Kbit/s *de bajada* y de 32 Kbit/s a 1088 kbit/s de subida.

Bluetooth: Tecnología de comunicación inalámbrica que permite la conexión entre diferentes equipos en un corto alcance (max 10 mts, opcionalmente 100m con repetidores y dependiendo de la clase) vía radio sin necesidad de estar unidos físicamente.

Cloud computing (Computación en la nube): paradigma que permite ofrecer servicios de computación a través de Internet.

DOCSIS (data over cable service interface specification): sistema de telecomunicación internacional que permite la adición de transferencia de datos de alta velocidad a un sistema de cable de televisión existente.

e-learning: educación y capacitación a través de Internet.

e-health ó e-salud: uso en el sector de la salud, de información digital, transmitida, almacenada u obtenida electrónicamente para el apoyo al cuidado de la salud tanto a nivel local como a distancia”.

FITL (Fiber in the loop): es un sistema de ejecución o actualizar partes de la llanura viejo servicio telefónico (POTS) del bucle local de fibra óptica de la tecnología de la oficina central de una compañía telefónica a una distancia interfaz porción zona (SAI), ubicado en un barrio o a una unidad de red óptica (ONU), ubicado en las instalaciones del cliente (residencial y / o comercial). *Frame relay*:

FTTB (Fibber to the business): la tecnología de fibra proporciona capacidades de un ancho de banda ilimitado y ofrece hoy la más rápida alta velocidad de conectividad de datos, una arquitectura totalmente diferente de la usada por ADSL o VSAT.

FTTC: Similar a FTTN, pero la cabina o armario de telecomunicaciones está más cerca del usuario, normalmente a menos de 300 metros.

FTTH (Fibber ToThe Home): Tecnología de acceso que se basa en una transmisión hasta casa del usuario basada en fibra óptica.

FTTN (Fibra al nodo): la fibra termina en una central del operador de telecomunicaciones que presta el servicio, suele estar más lejos de los abonados que en FTTH y FTTB, típicamente en las inmediaciones del barrio.

FTTX: término genérico para designar cualquier acceso de banda ancha sobre fibra óptica que sustituya total o parcialmente el cobre del bucle de acceso.

GPRS (Servicios General de Paquetes Vía Radio): es una técnica de conmutación de paquetes, que es integrable con la estructura actual de las redes GSM.

GSM (Global System for Mobile Telecommunications): Sistema europeo de telefonía celular avanzada y digital. Estándar europeo que opera en las bandas de 900 y 1800 MHz. Constituye la segunda generación de telefonía celular.

HDSL: "High-bit-rate Digital Subscriber Line".-Línea de suscriptor digital de alta velocidad. Para el transporte bi-direccional simétrico de señales E1 ó T1, sobre dos o tres pares sin repetidores intermedios. Mejor calidad. Mayor distancia entre repetidores. Adecuada para RDSI de banda estrecha (acceso primario).

HFC (Hybridfibre-coaxial): Red híbrida de fibra y cable coaxial usada por los proveedores de cable para ofrecer sus servicios. Las señales se transportan mediante radiofrecuencia (RF).

HiperLAN2: es una solución estándar para un rango de comunicación corto que permite una alta transferencia de datos y Calidad de Servicio del tráfico entre estaciones base WLAN y terminales de usuarios. La seguridad esta provista por lo último en técnicas de cifrado y protocolos de autenticación.

HomeRF (Home Radio Frequency): proporciona interconexión entre productos electrónicos de consumo dentro del hogar, para diferentes aplicaciones.

IrDA (Infrared Data Association): define un estándar físico en la forma de transmisión y recepción de datos por rayos infrarrojo.

LMDS (Sistema de Distribución Local Multipunto): sistema de comunicación punto a punto de banda ancha sin hilos. Es un sistema que utiliza ondas radioeléctricas a altas frecuencias. Permite la transmisión de voz, datos, video e internet.

MMDS (Servicio de Distribución Multipunto por Microondas): tecnología inalámbrica de telecomunicaciones, usada para el establecimiento de una red de banda ancha de uso general o, más comúnmente, como método alternativo de recepción de programación de televisión por cable.

NGN (Redes de nueva generación): evolución de la actual infraestructura de redes de telecomunicación y acceso telefónico con el objetivo de lograr la convergencia de los nuevos servicios multimedia (voz, datos, video...) en los próximos 5-10 años.

OFDM (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales): técnica de multiplexado multiportadora. Múltiples subportadoras de poca capacidad se combinan en el transmisor para formar un compuesto de alta capacidad. El concepto fundamental de OFDM es que las subportadoras son ortogonales en frecuencia.

PBX (Central Automática Privada): cualquier central telefónica conectada directamente a la red pública de telefonía por medio de líneas troncales para gestionar además de las llamadas internas, las entrantes y salientes con autonomía sobre cualquier otra central telefónica.

PDA (Asistente digital personal): es un computador de mano originalmente diseñado como agenda electrónica.

POTS: Servicio telefónico Ordinario Antiguo), conocido también como Servicio Telefónico Tradicional o Telefonía Básica), que se refiere a la manera en cómo se ofrece el servicio telefónico analógico (o convencional) por medio de cableado de cobre. En castellano, se denomina RTB.

PTP (Protocolo de transferencia de imagen): estándar para la transferencia de archivos de imagen. Con este Protocolo, imagen archivos pueden transferirse entre una cámara fotográfica digital y PC vía USB sin un controlador de dispositivo específico.

PTMP (Punto a Multipunto): Estas redes están diseñadas para suministrar una conexión de fibra dedicada desde la oficina central a los clientes (una o más fibras). Ello permite a los operadores tender fibras específicas, dedicadas a clientes individuales.

QoS (Quality of Service ó Calidad de Servicio): es un medio para controlar los flujos de tráfico diferentes.

RADSL: “Rate-adaptive ADSL”.- ADSL de tasa adaptiva. Permite ajustar la velocidad a la aplicación automáticamente o por definición previa.

SDSL: “Symmetric Digital Subscriber Line”.-Línea de Suscriptor Digital Simétrica. Sigla usada para designar DSLs simétricas con velocidades variables entre 160 kbit/s y 2048 kbit/s. Cada velocidad acomoda una cierta distancia.

SLA (Acuerdo de Nivel de Servicio): consiste en un contrato en el que se estipulan los niveles de un servicio en función de una serie de parámetros objetivos, establecidos de mutuo acuerdo entre ambas partes, así, refleja contractualmente el nivel operativo de funcionamiento, penalizaciones por caída de servicio, limitación de responsabilidad por no servicio, etc.

TDMA (Time Division Multiple Access): permite la transmisión de señales digitales y cuya idea consiste en ocupar un canal (normalmente de gran capacidad) de transmisión a partir de distintas fuentes, de esta manera se logra un mejor aprovechamiento del medio de transmisión

3G (Tercera Generación): tercera generación de transmisión de voz y datos a través de telefonía móvil mediante UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System* o servicio universal de telecomunicaciones móviles).

UMTS (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles): es el estándar que se emplea en la llamada tercera generación de telefonía móvil, que permite disponer de banda ancha en telefonía móvil y transmitir un volumen de datos importante por la red.

VDSL: "Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line".-Línea de Suscriptor Digital de muy Alta Velocidad. Hoy, hasta 51 Mbit/s 13 Mbit/s, hasta 1300 m. 26 Mbit/s, hasta 900 m. 51 Mbit/s, hasta 300 m.

WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance): Alianza de compatibilidad de Ethernet Inalámbrico es una empresa creada en 1999 por Nokia y Symbols Technologies (entre otras empresas), con el fin de fomentar la compatibilidad entre tecnologías Ethernet inalámbricas bajo la norma 802.11 del IEEE. WECA cambió de nombre en 2003, pasando a denominarse Wi-Fi Alliance.

WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access): *Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas*, es una norma de transmisión por ondas de radio de última generación que permite la recepción de datos por microondas y retransmisión por ondas de radio.

WLAN (Wireless Local Area Network): Es un sistema de comunicación de datos inalámbrico flexible muy utilizado como alternativa a la LAN cableada o como una extensión de ésta. Utiliza tecnología de radiofrecuencia que permite mayor movilidad a los usuarios al minimizarse las conexiones cableadas.

WLL (Wireless local loop): Bucle Local Inalámbrico, es el uso de un enlace de comunicaciones inalámbricas como la conexión de "última milla" para ofrecer servicios de telefonía (POTS) e Internet de banda ancha a los usuarios.

WMAN (Wireless Metropolitan Acces Network o Redes inalámbricas de Área Metropolitana): redes de comunicaciones de alta velocidad (hasta cientos de megabits por segundo) que pueden manejar datos, voz y vídeo en entornos geográficos

relativamente extensos como un grupo de oficinas o una ciudad. Las MAN pueden ser cableadas (con fibra óptica o pares trenzados de cobre) o inalámbricas.

WPAN (Redes Inalámbricas de Área Personal): redes inalámbricas de corto alcance que abarcan un área de algunas decenas de metros. Este tipo de red se usa generalmente para conectar dispositivos periféricos (por ejemplo, impresoras, teléfonos móviles y electrodomésticos) o un asistente personal digital (PDA) a un ordenador sin conexión por cables.

WWAN (redes inalámbricas de área extensa): tienen el alcance más amplio de todas las redes inalámbricas. Por esta razón, todos los teléfonos móviles están conectados a una red inalámbrica de área extensa.

XDSL (Digital Subscriber Line o Línea de Abonado Digital): familia de tecnologías de acceso a Internet de banda ancha basadas en la digitalización del bucle de abonado telefónico (el par de cobre).

Zigbee: estándar de comunicaciones inalámbricas diseñado por la ZigBee Alliance. Es un conjunto estandarizado de soluciones que pueden ser implementadas por cualquier fabricante. ZigBee está basado en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (wireless personal area network, WPAN) y tiene como objetivo las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías.

RESUMEN

Las Redes de Acceso de Nueva Generación (Next Generation Access Networks, NGANs) basadas en fibra óptica implican una verdadera revolución tecnológica para el sector de las telecomunicaciones.

El reemplazo del cobre por fibra permite mejorar considerablemente las prestaciones de las redes actuales, obteniendo velocidades de acceso de más de 100 Mbps e incrementando el número y la calidad de los servicios que se prestan. Además, el despliegue de estas redes presenta nuevos desafíos para la industria que, frente a factores que estaban ausentes con la red de cobre, se enfrenta ahora a situaciones que pueden modificar por completo su estructura. Estos desafíos permiten la entrada de nuevos actores en el sector y obligan a los operadores tradicionales a replantear sus modelos tradicionales de negocio.

Este trabajo ofrece una introducción a cada una de las tecnologías NGANs, esto es Redes de área amplia, redes de cable, conmutadas y de fibra óptica, describiendo las características y ventajas que estas proveen, de modo que se decida la mejor forma de realizar las implementaciones de las redes de acceso.

INTRODUCCIÓN

La evolución hacia las Redes de acceso de próxima Generación (NGAN) está ligada a la evolución de la Sociedad hacia las tecnologías de la Información, en la medida en que estas redes constituyen la principal infraestructura para el transporte de la información y para la conectividad.

Esta evolución implica para los proveedores de red la innovación continua de su oferta de servicios y redes con el fin de satisfacer las necesidades de la sociedad. La convergencia de servicios, aplicaciones y dispositivos impulsa esta tendencia, para beneficio del cliente, pues obtiene cada vez más y mejores servicios, a un costo competitivo. En un marco de convergencia, los servicios operan utilizando una misma plataforma tecnológica, por lo cual es mejor si cada tecnología comprende o soporta la tecnología anterior. Esta dinámica tiene, sin embargo, un riesgo: el permanente surgimiento de nuevas tecnologías y aplicaciones demanda un continuo ajuste de políticas a fin de evitar un mayor atraso en el desarrollo digital que repercuta en otros ámbitos.

En este documento se analiza el desarrollo en las estructuras de banda ancha del mercado que emergen de la implementación de servicios de ancho de banda de alta velocidad las ventajas y tecnologías implementadas para su logro. La banda ancha de alta velocidad hace referencia a las tecnologías de acceso como fibra óptica, núcleo o wireless, y se desarrolla en el bucle local, cualquiera ya sea a un gabinete de calle cerca a las instalaciones del cliente en conjunto con xDSL, o la implementación de fibra ó el inalámbrico a las instalaciones del cliente, se caracteriza generalmente por las muchas más altas velocidades de ancho de banda que aquellas actualmente disponibles ampliamente, mejor calidad de servicio y mayor simetría. El término Acceso de próxima generación (NGA) es comúnmente usado para describir el requerimiento de

fibra cerca al usuario final, ó proporcionando la conexión directa. Como resultado, el cobre es en gran medida o totalmente reemplazado por tecnología de fibra óptica. Las tecnologías inalámbricas también son consideradas como NGAs. De hecho, el inalámbrico puede proveer una opción importante para extender y mejorar la cobertura de ancho de banda.

En el transcurso del trabajo se realiza un estudio acerca de las tecnologías aplicadas en las Redes de Acceso de Nueva Generación y de cómo éstas cada vez ayudan más a la optimización de los servicios en el tráfico de red. Además se protocolos utilizados para observar las ventajas de éstas con respecto a otras tecnologías a partir del análisis de características.

CAPITULO 1. Redes de Acceso de Nueva Generación (NGANs)

En los últimos años la atención se ha vuelto al desarrollo en las llamadas Redes de nueva ó próxima Generación. Estas NGNs incluyen dos elementos: el Núcleo de próxima Generación y el Acceso de próxima Generación.

Las redes de cobre han sido la base de las telecomunicaciones en los últimos 100 años. En la actualidad se es testigo de una revolución tecnológica en el sector con la sustitución de dichas redes por las llamadas redes de acceso de nueva generación (Next Generation Access Networks, NGANs) basadas en fibra óptica. Reemplazar el cobre por fibra óptica permite mejorar radicalmente las características de las redes actuales, alcanzando velocidades de acceso de más de 100 Mbps y esto podría tener un efecto muy importante sobre la economía en su conjunto, principalmente por las razones descritas a continuación:

a). *Nuevas aplicaciones.* El incremento del ancho de banda permitirá la aparición de nuevas aplicaciones en la industria del ocio y de los contenidos audiovisuales. Las posibilidades que se abren para todas las aplicaciones basadas en Internet (P2P, juegos online, etc.) y nuevos servicios de multimedia como la HDTV bajo demanda, son enormes. Para el ámbito público, son importantes además las aplicaciones de las NGANs en el sector educativo (*e-learning*) y en el sanitario (*e-health*, especialmente telemedicina). Las aplicaciones de e-learning permiten superar las barreras geográficas ya que estas redes hacen posible impartir clases en videoconferencia a una audiencia ubicada en distintas áreas geográficas, con buena calidad de comunicación y con posibilidad de interacción en tiempo real. En cuanto a la telemedicina, las redes de nueva generación abren la posibilidad de realizar consultas médicas, diagnósticos y monitoreo de los pacientes a distancia. Estas aplicaciones pueden ser especialmente

relevantes para personas con movilidad reducida o que viven en zonas alejadas de los centros con tecnología de punta.

b). Productividad y capacidad de innovación. Las NGANs promoverán el teletrabajo, el cloud-computing y las teleconferencias, reduciendo de esta forma las barreras geográficas y los costes de transporte. Aparte, estas redes podrían contribuir a la aparición de nuevos sectores industriales.

c). Cambios en la estructura del sector de las telecomunicaciones. En éste documento se analiza el impacto que las NGANs tendrán en la industria. Nuestra principal conclusión es que las NGANs representan una nueva realidad que cambiará completamente el desarrollo de las actividades de la organización empresarial y al que los operadores tradicionales de telecomunicaciones tendrán que saber adaptarse en un trabajo progresivo para mantener una posición de liderazgo en el mercado. ¹

1.2. DESCRIPCIÓN DE UNA RED DE ACCESO DE NUEVA GENERACIÓN

1.1.1. Descripción técnica: La constante evolución tecnológica en el ámbito de las comunicaciones y la información ha permitido ofrecer incrementos en las velocidades de conexión a Internet, con el consecuente desarrollo de contenidos y aplicaciones que utilizan al mismo tiempo cada vez más ancho de banda. Las tecnologías xDSL han aprovechado al máximo la capacidad de las redes tradicionales de cobre para ofrecer velocidades de hasta 30 Mbps, al mismo tiempo que las redes de cable han ido mejorando para incrementar también sus velocidades. Sin embargo, las redes de acceso de nueva generación representan un salto más allá de la evolución de una

¹ Ganuza, Juan José. , Perca, Karla., Viacens, María F. “Las Redes de Nueva Generación: ¿un nuevo modelo para las telecomunicaciones en España?”

tecnología sustentada sobre las redes tradicionales. No existe una definición única de las redes de acceso de nueva generación. La Comisión Europea las define como «redes de acceso cableadas que consisten total o parcialmente en elementos ópticos y son capaces de prestar servicios de acceso de banda ancha con características mejoradas en comparación con los servicios prestados a través de las redes de cobre existentes». Las redes de acceso de nueva generación acercan la fibra óptica a los usuarios finales, lo que permite velocidades muy superiores a las que se pueden alcanzar mediante el tradicional ADSL. Según la distancia entre la fibra y el usuario final se pueden distinguir varios tipos de despliegue, denominados de manera general como FTTx. Al respecto, se identifican:

- *Fibre-to-the-Home (FTTH)*: también conocida como fibra hasta el hogar, enmarcada dentro de las tecnologías FTTx, se basa en la utilización de cables de fibra óptica y sistemas de distribución ópticos adaptados a esta tecnología para la distribución de servicios avanzados como el Triple Play, telefonía, Internet de banda ancha y televisión, a los hogares y negocios de los abonados, lo que permite alcanzar velocidades superiores a los 100 Mbps.
- *Fibre-to-the-Building (FTTB)*: En este caso la fibra óptica llega hasta el exterior del edificio y luego se utiliza cobre para llegar hasta el domicilio de cada usuario final. Las velocidades que se pueden alcanzar con este tipo de acceso pueden llegar a los 100 Mbps.
- *Fibre-to-the-Node (FTTN) o FibertotheCabinet (FTTC)*: En estos accesos la fibra llega hasta un nodo cercano al usuario final y a partir de allí la red continúa mediante cobre. Debido a que el último tramo es de cobre, con estos accesos se pueden alcanzar velocidades bastante inferiores a las correspondientes a FTTH o FTTB. Similar a HFC. Las redes de cable híbridas fibra óptica-coaxial (HFC) son un tipo de red de acceso que se está convirtiendo en una de las opciones preferidas por los operadores de

telecomunicaciones de todo el mundo para ofrecer a sus abonados un abanico de servicios y aplicaciones cada vez más amplio, y que abarca desde la TV digital interactiva hasta el acceso a Internet a alta velocidad, pasando por la telefonía.

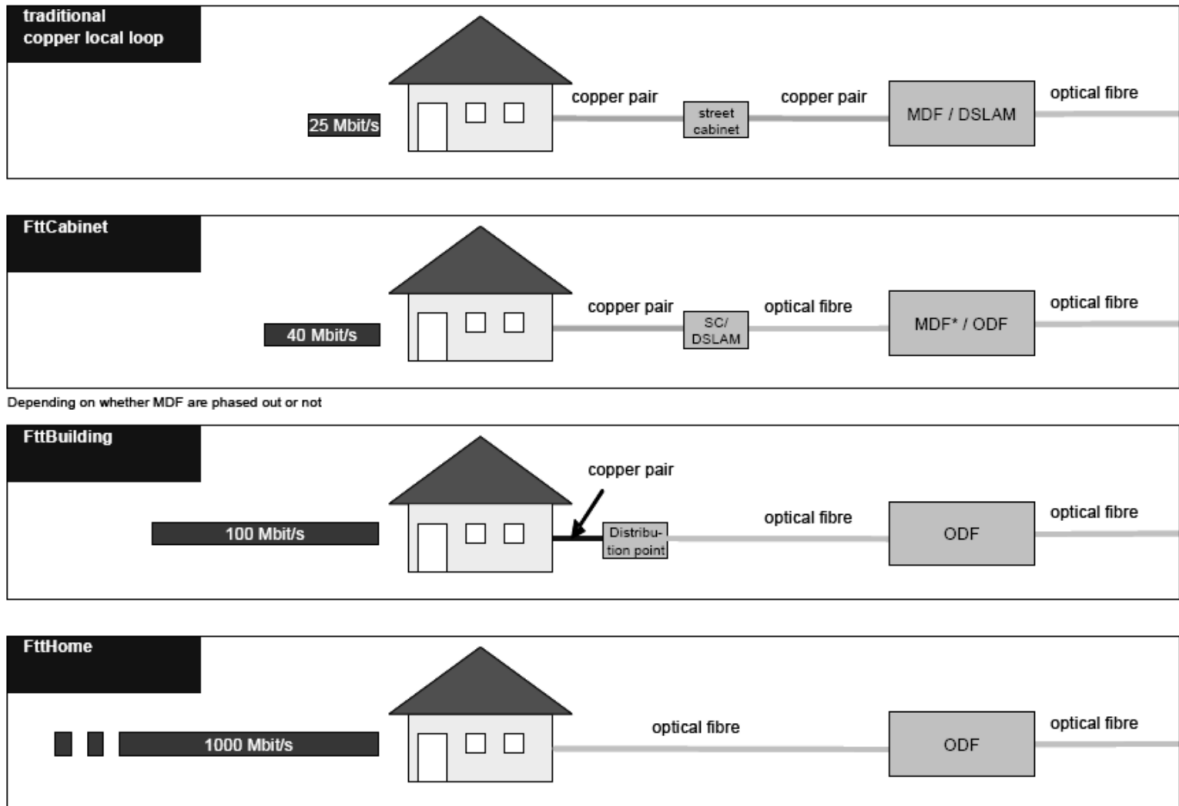


Figura 1. Ilustración de escenarios para el despliegue de fibra. (Fuente: ERG (2007)).

Las redes de acceso HFC constituyen una plataforma tecnológica de banda ancha que permite el despliegue de todo tipo de servicios de telecomunicación, además de la distribución de señales de TV analógica y digital. El acceso a alta velocidad a redes de datos (Internet, Intranets, etc.) mediante cable módems parece que se va a convertir en uno de los grandes atractivos de estas redes y en una fuente de ingresos importante para sus operadores. Paralelamente al despliegue de servicios de TV y datos, los operadores de redes HFC están muy interesados en ofrecer servicios de telefonía a sus abonados, tanto residenciales como empresariales. Una red HFC puede amortizarse

prestando simultáneamente una multiplicidad de servicios, uno de los cuales consiste en alquilar parte del excedente de capacidad de transmisión de la red troncal de fibra óptica a empresas o instituciones que la necesiten para interconectar redes locales de edificios distantes entre sí o para cursar tráfico telefónico directamente entre éstos.²

²Ganuzo, Juan José. , Perca, Karla., Vicens, María F. “Las Redes de Nueva Generación: ¿un nuevo modelo para las telecomunicaciones en España?”

CAPITULO 2. Tecnologías de las NGAN

2.1. TECNOLOGÍAS DE ACCESO POR CABLE

2.1.1. xDSL (Digital Subscriber Line, Línea Digital de Abonado)

Son los conceptos aplicados a la utilización de pares de cobre.

Esta es una tecnología de modem que utiliza referencia a un número de tecnologías DSL similares en competencia, que incluye ADSL, SDSL, HDSL, HDSL-2, G.SHDL, IDSL, y VDSL. Actualmente la mayoría de las implementaciones son ADSL, entregada principalmente a clientes residenciales.

A continuación se describe cada una de las tecnologías:

2.1.1.4. ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line, Línea Digital de Abonado Asimétrica)

Esta tecnología asimétrica permite un mayor ancho de banda de bajada de una oficina central de un proveedor de servicio de red al lugar del cliente, que de subida desde el abonado hasta la oficina central. En particular, la ADSL permite el transporte de TCP/IP, ATM y datos X.25.

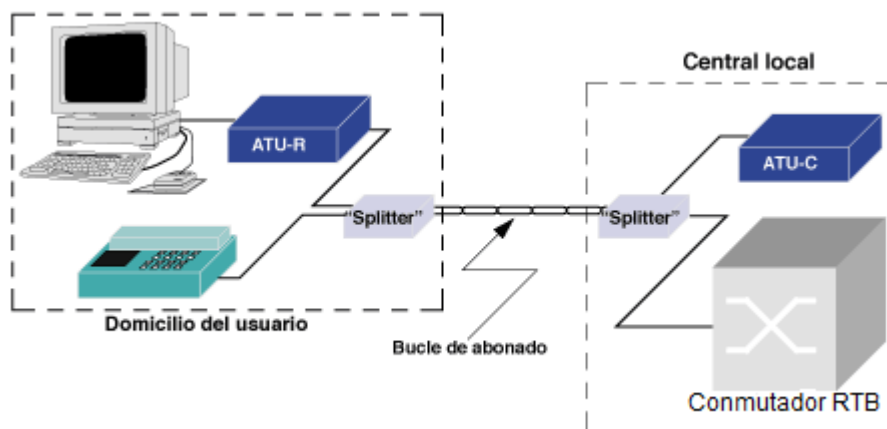


Figura 2. Enlace ADSL.

En la figura 2 se encuentran los elementos a continuación:

- *ATU-C (ADSL Transmission Unit-Central)*. Modem en la central.
- *ATU-R (ADSL Transmission Unit-Remote)*. Modem del usuario.
- *Bucle de abonado*. Par de cobre que conecta el terminal telefónico del usuario con la central local de la cual depende.
- *Conmutador RTB*. Permite la utilización de los servicios de la red telefónica básica (voz).
- *Splitter*. Dispositivo formado por conjunto de dos filtros: uno de paso alto y otro de paso bajo, cuyo propósito es separar las señales de baja frecuencia (telefonía) transmitidas por el bucle de abonado de las de alta frecuencia (datos).

Descripción	Tasa de datos Downstream; Upstream	Límite de distancia	Aplicación
Línea de abonado Digital Asimétrico	1.544 to 6.1 Mbps downstream; 16 to 640 Kbps upstream	1.544 Mbps at 18,000 feet; 2.048 Mbps at 16,000 feet; 6.312 Mbps at 12,000 feet; 8.448 Mbps at 9,000 feet	Used for Internet and Web access, motion video, video on demand, remote LAN access

Tabla 1. Rendimiento del ADSL.

2.1.1.5. Aplicaciones de los sistemas ADSL

- Video bajo demanda.
- Educación a distancia.
- Compras en casa.
- Juegos de video interactivos.
- Bibliotecas y publicaciones electrónicas.
- Video-conferencia.
- Acceso a Internet.

2.1.1.6. DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer)

Esta pieza de hardware se utiliza para agrupar gran número de tarjetas (cada una de las cuales consta de varios módems ATU-C), proporciona multiplexación para flujos ATM de la red de transporte. Además, no sólo aloja las tarjetas ADSL sino que también aloja diferentes servicios DSL, al insertar las tarjetas de multiplexación correspondientes.

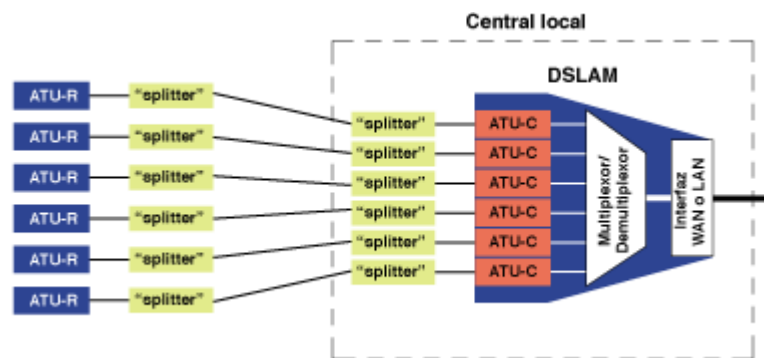


Figura 2. Representación de un DSLAM (Fuente: "TELE, 001").

2.1.1.4. RADSL: Se ajusta a la velocidad de acceso de acuerdo a las condiciones de la línea. Funciona en los mismos márgenes de velocidad que ADSL, pero tiene la ventaja de ajustarse de forma dinámica a las condiciones de la línea y su longitud. La velocidad

final de conexión utilizando esta variante de ADSL puede seleccionarse cuando la línea se sincroniza, durante la conexión o como resultado de una señal procedente de la central telefónica. Esta variante, utiliza la modulación CAP. El sistema de FlexCap2 de Westell usa RADSL para entregar de 640 Kbps a 2.2 Mbps downstream y de 272 Kbps a 1.088 Mbps upstream sobre una línea existente.

2.1.1.5. ADSL G.LITE o UDSL: G.Lite es también conocido como DSL Lite, splitterless ADSL (sin filtro voz/datos), y ADSL Universal. Hasta la llegada del estándar, el UAWG (Universal ADSL WorkGroup, Grupo de trabajo de ADSL) llamaba a la tecnología G.Lite, Universal ADSL. En Junio de 1999, G.992.2 fue adoptado por la ITU como el estándar que recogía esta tecnología.

Desgraciadamente para los consumidores, G.Lite es más lento que ADSL. Ofrece velocidades de 1.3Mbps (downstream) y de 512Kbps (upstream). Los consumidores de G.lite pueden vivir a más de 18,000 los pies de la oficina central, siendo disponible la tecnología a un muy mayor número de clientes.

2.1.1.6. VDSL: La modalidad VDSL es la más rápida de las tecnologías xDSL, ya que puede llegar a alcanzar una velocidad de entre 13 y 52 Mbps desde la central hasta el abonado y de 1,5 a 2,3 Mbps en sentido contrario, por lo que se trata de un tipo de conexión también asimétrica. La máxima distancia que puede haber entre los dos módems VDSL no puede superar los 1.371 metros. Es la tecnología idónea para suministrar señales de TV de alta definición. VDSL está destinado a proveer el enlace final entre una red de fibra óptica y las premisas. Es la tecnología que permite la transmisión de datos en un cierto estilo, sobre algún medio físico. El medio físico utilizado es independiente de VDSL. Una posibilidad es utilizar la infraestructura existente de cableado local.

2.1.1.7. HDSL: La tecnología HDSL es simétrica y bidireccional, por lo que la velocidad desde la central al usuario y viceversa será la misma. Se implementa principalmente en las PBX. Esta es la tecnología más avanzada de todas, ya que se encuentra implementada en grandes fábricas donde existen grandes redes de datos y es necesario transportar información a muy alta velocidad de un punto a otro. La velocidad que puede llegar a alcanzar es de 2,048 Mbps (full duplex) utilizando dos pares de cobre, aunque la distancia de 4.500 metros que necesita es algo menor a la de ADSL, utilizando la modulación por amplitud de pulso 2B1Q. Las compañías telefónicas han encontrado en esta modalidad una sustitución a las líneas T1/E1 (líneas de alta velocidad) sobre otro tipo de medio - fibra óptica, utilizadas en Norteamérica y en Europa y Latino América, respectivamente. HDSL está enfocado principalmente hacia usos empresariales (interconexión de nodos proveedores de Internet, redes privadas de datos, enlaces entre centralitas, etc.) más que hacia el usuario (cuyas necesidades se verán mejor cubiertas por las tecnologías ADSL y SDSL). Una de las principales aplicaciones de HDSL es el acceso de última milla a costo razonable a redes de transporte digital para RDI, redes satelitales y del tipo FrameRelay. La tecnología HDSL tiene cabida en las comunicaciones de redes públicas y privadas también. Cada empresa puede tener requerimientos diferentes, orientados al uso de líneas privadas de fácil acceso y obtención para que con productos de tecnología HDSL se puedan obtener soluciones de bajo costo y alta efectividad.

2.1.1.8. HDSL2 o SHDSL: High Bit-rate Digital Subscriber Line 2 está diseñada para transportar señales T1 a 1.544 Mb/s sobre un simple par de cobre. HDSL2 usa: overlapped phase Trellis-code interlocked spectrum (OPTIS). (Espectro de interbloqueo de código Trellis de fases solapadas). Ofrece los mismos 2.048 Mbps de ancho de banda como solución a los tradicionales 4 cables de HDSL, con la ventaja de requerir solamente un simple par de cobre. HDSL2 espera aplicarse en Norte América

solamente, ya que algunos vendedores han optado por construir una especificación universal de G.shdsl.

2.1.1.9. SDSL: Es muy similar a la tecnología HDSL, ya que soporta transmisiones simétricas, pero con dos particularidades: utiliza un solo par de cobre y tiene un alcance máximo de 3.048 metros. Dentro de esta distancia será posible mantener una velocidad similar a HDSL. Esta tecnología provee el mismo ancho de banda en ambas direcciones, tanto para subir y bajar datos; es decir que independientemente de que estés cargando o descargando información de la Web, se tiene el mismo rendimiento de excelente calidad. SDSL brinda velocidades de transmisión entre un rango de T1/E1, de hasta 1,5 Mbps, y a una distancia máxima de 3.700 m a 5.500 desde la oficina central, a través de un único par de cables. Este tipo de conexión es ideal para las empresas pequeñas y medianas que necesitan un medio eficaz para subir y bajar archivos a la Web.

2.1.1.10. MDSL: Más allá de los 144 kbps de ancho de banda de IDSL, hay nuevas tecnologías que ofrecen rangos entre 128 Kbps y 2.048 Mbps. Para una aplicación simétrica, Multirate SDSL (M/SDSL) ha surgido como una tecnología valorada en los servicios TDM (Multiplexación por División de Tiempo) sobre una base ubicua. Construida sobre un par simple de la tecnología SDSL, M/SDSL soporta cambios operacionales en la tasa del transceiver y distancias con respecto el mismo. La versión CAP soporta ocho tasas distintas de 64 Kbps/128 Kbps y da servicios a una distancia de 8.9 Km sobre cables de 24 AWG (0.5 mm) y 4.5 Km, para una tasa completa de 2 Mbps. Con una habilidad de auto-tasa (similar a RADSL), las aplicaciones simétricas pueden ser universalmente desarrolladas.

2.1.1.11. IDSL o ISDN-BA: Esta tecnología es simétrica, similar a la SDSL, pero opera a velocidades más bajas y a distancias más cortas. ISDN se basa el desarrollo DSL de AscendCommunications. IDSL se implementa sobre una línea de ISDN y actualmente se emplea como conexión a Internet para la transferencia de datos. El servicio de IDSL permite velocidades de 128Kbps o 144Kbps. El acrónimo DSL era originalmente usado para referirse a una banda estrecha o transmisiones de acceso básico para Redes de servicios integrados digitales – Integrated Services Digital Network (ISDN-BA). La línea de código de nivel 4 PAM (banda base) conocida como 2B1Q era iniciada por los Laboratorios BT. ETSI también adaptó esto para Europa y también desarrolló la línea de código 4B3T (aka MMS43) como un opción alternativa, primero para usarla en Alemania. Los modems ISDN-BA emplean técnicas de cancelación de eco (EC) capaces de transmitir fullduplex a 160 Kbit/s sobre un simple par de cables telefónicos. Los transceivers ISDN-BA basados en cancelación de eco permiten utilizar anchos de banda de ~10 KHz hasta 100 KHz, y esto es instructivo para notar que la densidad espectral más alta de capacidad de los sistemas DSL basados en 2B1Q está cerca de los 40 KHz con el primer espectro nulo a los 80 KHz. Los estándares internacionales sobre ISDN-BA especifican los aspectos físicos de transmisión en el ISDN 'U'. La carga útil de DSL está integrada usualmente por 2 canales B o canales Bearer de 64 kbit/s cada uno más un 'D' (delta) o canal de señalización de 16 Kbit/s, el cual puede a veces ser utilizado para transmitir datos. Esto da al usuario un acceso de 128 kbit/s más la señalización (144kbit/s). Un canal extra de 16 Kbit/s está preparado para un Embedded Operations Channel (EOC), intentando intercambiar información entre el LT (Line Terminal) y el NT. El EOC normalmente no es accesible para el usuario.

- Los beneficios del **xDSL** pueden resumirse en:

Conexión Ininterrumpida y veloz: Los usuarios podrán bajar gráficos, video clips, y otros archivos, sin perder mucho tiempo esperando para que se complete la descarga.

Flexibilidad: Antes del desarrollo de la tecnología DSL, aquellos quienes querían utilizar Internet sin ocupar su línea debían adherir otra más; lo que en realidad tenía un costo bastante elevado. Utilizando la tecnología DSL, los usuarios podrán utilizar la misma línea para recibir y hacer llamadas telefónicas mientras estén on-line.

Totalmente digital: DSL convierte las líneas telefónicas analógicas en digitales adhiriendo un dispositivo de interconexión de línea en la oficina central, y un módem del tipo DSL en la casa del abonado. Para esto, los clientes deberán suscribirse al servicio DSL desde sus proveedores de servicio telefónico.

Como desventaja podemos decir que para utilizar DSL, se debe estar a menos de 5.500 m (aproximadamente) de la oficina central de la empresa telefónica, ya que a una distancia mayor no se puede disfrutar de la gran velocidad que provee el servicio. Después de los 2.400 m la velocidad comienza a disminuir, pero aún así este tipo de tecnologías es más veloz que una conexión mediante un módem y una línea telefónica.

2.1.2. HFC (Hybrid Fiber-Coax, Híbrido de Fibra y Coaxial)

Esta tecnología se conecta a las redes de televisión por cable (CATV) existentes, con fibra para distancias considerables y cable coaxial para las casas. Debido a que el ancho de banda de la fibra es mucho mayor al del cable coaxial, un nodo de fibra puede alimentar múltiples cables coaxiales. Este sistema RF de banda ancha puede transmitir 550 a 1000 MHz en ambas direcciones. Las redes HFC transmiten canales RF de entre 50 y 750 ó 1000 MHz. Cada canal tiene una amplitud de banda RF de 6 MHz capaz de transmitir información tanto análoga como digital. Un canal de 6 MHz puede transmitir tanto un canal de video análogo en modo NTSC, un canal de datos ATM de 27 Mbps ó 6 canales T-1 para 144 canales de voz. Dado que el modelo de distribución HFC es el

escogido tanto por compañías de cable como por compañías de telefonía, el desarrollo de módems de cable para el manejo de Fast Ethernet, datos de ATM y vídeos MPEG-2 se encuentra en avanzado progreso y estarán disponibles para la venta en 1 ó 2 años. Múltiples lazos ATM estarán disponibles al finalizar el standard IEEE 802.14.

2.1.2.1. Arquitectura de las redes de cable³

- *Equipo de cabecera (Head End)*. Multiplexa el ancho de banda disponible entre las conexiones existentes, controla el funcionamiento de éstas y monitorea continuamente el estado de la red.
- *Red troncal*. Está formada por anillos de fibra óptica que recorren cierto número de nodos primarios. Los nodos ópticos permiten que la información en forma de señales ópticas se transmita entre ellos y, a su vez estén conectados con los secundarios que formaran la siguiente parte de la red. A través de la red troncal se transportan las señales generadas por las cabeceras a todos los puntos que alcanza la distribución de la red de cable.
- *Red de distribución*. Está constituida por un bus de cable coaxial de banda ancha al que se conectan los diferentes usuarios mediante la correspondiente acometida.
- *Acometida a la casa del abonado*. Su función se limita a la instalación en los edificios y hogares de abonados de todo lo referente al modem de cable. A éste, además, se añade un separador (splitter), que divide la señal que proviene del coaxial.

³ GARCÍA TOMÁS, Jesús., RAYA CABRERA, José Luis., & RODRIGO RAYA, Víctor. (2002). *Alta Velocidad y Calidad de Servicio en Redes IP*. Mexico, D.F: Alfaomega.

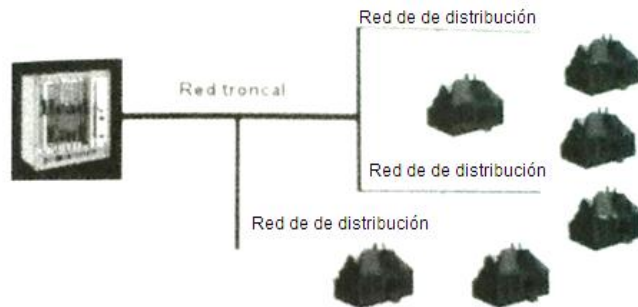


Figura 3. Arquitectura de una red de cable ramificada.

2.1.3. DOCSIS

Data Over Cable Service Interface Specification o especificación de interfaz para servicios de datos por cable. Define requerimientos de interface para modems de cable involucrados en la entrega de datos de alta velocidad sobre una planta de cable híbrido de fibra y coaxial. Es quizá el más importante dentro del ámbito de las redes de cable. Prueba de ello es su aceptación como estándar por ITU, ETSI y SCTE.

Hasta la fecha, se han definido cuatro versiones de DOCSIS. En la Tabla 2 se indican, de manera resumida, algunas de las principales características de cada versión.

Estándar	Prestaciones	Servicios y Beneficios
DOCSIS 1.0 5 Mbit/s u/s	Especificación estándar	Alta velocidad de datos Acceso a Internet
DOCSIS 1.1 10 Mbit/s u/s (retorno)	Calidad de Servicio Seguridad	Doble capacidad u/s(retorno) Bajo costo
Advanced PHY 30 Mbit/s u/s (retorno) DOCSIS 2.0	S- CDMA A-TDMA	Servicios simétricos Punto-a-Punto Business-to-business (B2B)
DOCSIS 3.0 152 Mbit/s o incluso más.	Entrelazado de canales	Velocidad y capacidad

Tabla 2. Versiones DOCSIS

Uno de los aspectos más importantes que introduce la versión DOCSIS 1.1 es el soporte de servicios con garantías de QoS, para servicios sensibles al retardo. Este tipo de servicios se añade al servicio sin garantías (*best effort*), el único considerado en DOCSIS 1.0.

La versión DOCSIS 2.0 introduce una serie de novedades, incluyendo las que permiten el desarrollo de módems de bajo costo (50 euros), el soporte de servicios simétricos, mayor inmunidad frente al ruido y servicios IP *multicast*. Esta versión define también dos nuevos métodos de modulación: S-CDMA (Synchronous Code Division Multiple Access) y A-TDMA (Advance frequency agile Time Division Multiple Access).

Otro de los aspectos más destacables del estándar DOCSIS 2.0 es la especificación de una arquitectura abierta, cuya estructura básica se ilustra en la Figura 32. Por último, señalar que el estándar DOCSIS 2.0 garantiza la compatibilidad con las versiones DOCSIS 1.0 y 1.1.

DOCSIS provee variedad de opciones disponibles en las capas 1 y 2 del modelo OSI, la capa física (PHY) y la de control de acceso al medio (MAC).

Capa física

Ancho de banda del canal: DOCSIS 1.0 y 1.1 especifican un ancho de canal de subida entre 200 KHz y 3,2 MHz. DOCSIS 2.0 especifica 6,4 MHz, pero es compatible con los anteriores. El canal de bajada es de 6 MHz (8 MHz en EuroDOCSIS).

Modulación: DOCSIS 1.0/1.1 especifica la utilización de una modulación 64-QAM o 256-QAM para el canal de bajada (*downstream*), y QPSK o 16-QAM para el de subida (*upstream*). DOCSIS 2.0 además permite 64-QAM para el canal de subida.

Capa MAC. DOCSIS emplea métodos de acceso deterministas, específicamente TDMA y S-CDMA. En contraste con CSMA/CD empleado en Ethernet, los sistemas DOCSIS experimentan pocas colisiones.

2.1.3.1. DOCSIS 3.0 (D3™)

Esta es la última versión del estándar DOCSIS, DOCSIS 3.0 o D3™. Mientras que el ancho de banda tradicional usa la capacidad de un único canal, D3™ enlaza canales juntos para entregar velocidades de datos considerablemente más rápidos hacia y desde el hogar. Inicialmente los operadores enlazaron de 2-4 canales usando D3, proporcionando velocidades de descarga de más de 152 Mbps, y en la subida, D3 habilita hasta 27 Mbps para cada canal enlazado.⁴

- *Equipos en las redes de cable (CMTS)*

Cable Modem Termination System, es el dispositivo que se encarga de enviar los datos en sentido descendente modulados por el canal de televisión elegido al efecto y también recogen de los cables módems de los usuarios los datos que éstos envían a través del canal ascendente asignado. El CMTS se ubica generalmente en el centro emisor o cabecera de la red, desde allí se conecta al resto de la red (red de transporte) y a Internet por alguna tecnología WAN.⁵

2.1.4. Ventajas y desventajas del acceso por cable

- *Ventajas*

Funciona sin una línea telefónica, por lo que siempre tienen un “encendido”, lo que significa que puede mantenerse conectado en todo momento. Mucho más rápido que algunos de los otros tipos de Internet de banda ancha como dial-up, satélite y ADSL, que permite descargar y cargar archivos de gran tamaño con mayor rapidez. Apoya las actividades tales como juegos en línea que son muy pesados de datos, lo que le da una experiencia de mayor calidad de juego.

⁴ http://cablelabs.org/cablemodem/downloads/docsis_30.pdf

⁵ <http://microe.udea.edu.co/~alince/recursos/lineas/HFC%20resumen.pdf>

No es tan propenso a la deserción escolar, como conexiones de acceso telefónico a Internet son.

- *Desventajas*

Las velocidades son más lentas que las que recibe con fibra óptica de Internet, y la velocidad de conexión que recibe a menudo depende de la cantidad de gente en su área están conectados a Internet al mismo tiempo. Usted también puede tener conexiones de menor velocidad durante las horas pico, cuando muchas personas están en línea.

Puede requerir cuotas sustanciales de conexión, especialmente si usted contrata a un técnico profesional para instalar el equipo para usted.

2.2. REDES DE ÁREA AMPLIA

2.2.1. Conmutadas

2.2.1.1. FRAME RELAY Y MPLS

- **Frame Relay** (Retransmisión de Tramas) es un protocolo WAN de alta presentación que opera en la capas de enlace física y de datos del modelo de referencia OSI. Frame Relay es un ejemplo de tecnología por conmutación de paquetes. Las redes conmutadas de paquetes habilitan las estaciones finales a compartir el medio de la red y el ancho de banda disponible.



Figura 4. Formato de la trama Frame Relay. (Fuente: www.textoscientificos.com).

En la figura 4 se observa el formato estándar de una trama Frame Relay, el cual consta de cinco campos cuyas longitudes se muestran en bits. Cada campo se describe seguidamente:

Flags: delimita el principio y el fin de la trama, el valor de éste campo es siempre el mismo, todas las tramas comienzan y terminan con la secuencia de bits 01111110, de modo que se garantice la transparencia de información.

Address: el campo de dirección contiene la siguiente información:

- DLCI (Identificador de Conexión de Enlace de Datos): éste de 10, 17 o 24 bits permite multiplexar múltiples conexiones lógicas Frame Relay sobre un único canal.
- Extended address (EA): Indica si el campo de dirección aún se encuentra en el siguiente octeto (1) o si por el contrario ha terminado (0).
- C/R: es el bit que sigue el byte DLC más significativo en el campo de dirección.
- Control de congestión: tres bits que controlan los mecanismos de notificación de la congestión en una trama Frame Relay.

Información: transmite datos del nivel superior. De esta forma si el usuario decide implementar funciones adicionales de control del nivel de enlace extremo a extremo, entonces en este campo se encontrara una trama de enlace de datos.

FCS (Frame Check Sequence): secuencia de 16 bits, verifica la correcta transmisión de la trama, así como la futura recuperación de posibles errores en la misma.

Una típica red Frame relay consiste en el número de dispositivos DTE, como routers, conectados a puertos remotos en equipo multiplexador vía tradicional servicios punto a punto como T1, fraccional.

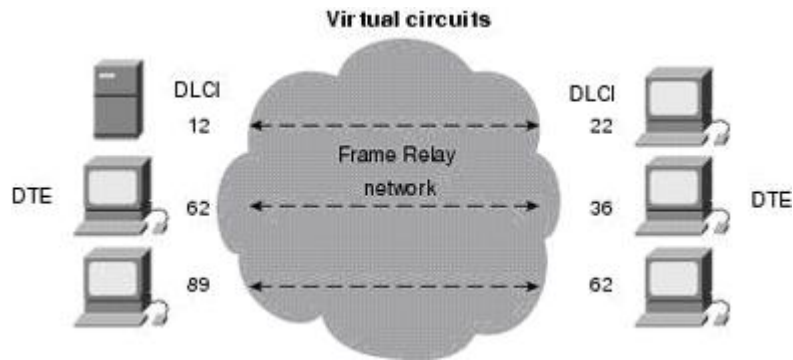


Figura 5. Circuito Frame Relay.

La función de retransmisión de tramas realizada por Frame Relay consiste en el enrutamiento de las tramas descritas anteriormente, de acuerdo a los valores de sus DLCI. El enrutamiento es controlado mediante las entradas de una tabla de conexión que utiliza el DLCI. El manejador conmuta las tramas de un canal de entrada a otro de salida mediante la apropiada entrada de la tabla de conexión y traduce el DLCI de la trama antes de la transmisión.⁶

Los dispositivos conectados en una WAN Frame Relay son los siguientes:

- Data Terminal Equipment (DTE): equipos de fuente o terminación de la información para una red específica.
- Data Circuit-terminating Equipment (DCE)

2.2.1.2. Características Frame Relay

- Orientado a conexión.
- Frame Relay opera a velocidades más altas que 1.544 Mbps y recientemente 44.376Mbps. esto significa que pueden ser usados fácilmente en lugar de una malla de líneas T-1 o T-3.
- Frame Relay opera solo en las capas físicas y de enlace de datos.
- Permite ráfagas de datos.

⁶ GARCÍA TOMÁS, Jesús., RAYA CABRERA, José Luis., & RODRIGO RAYA, Víctor. (2002). *Alta Velocidad y Calidad de Servicio en Redes IP*. Mexico, D.F: Alfaomega.

- Permite un tamaño de trama de 9000 bytes, lo cual puede acoger todos los tamaños de la trama de la red de área local.
- Es menos costoso que otras WANs tradicionales.
- Posee paquetes de longitud variable.
- Sigue el principio de ISDN de separar los datos del usuario de los datos de control de señalización para lo cual divide la capa de enlace en dos subcapas.
- Mínimo procesamiento en los nodos de enlace o conmutación.
- Supone medios de transmisión confiables.
- Servicio de paquetes en circuito virtual, tanto con circuitos virtuales conmutados como con circuitos virtuales permanentes.
- Funciones implementadas en los extremos de la subred.
- Maneja el protocolo HDLC de igual manera que X.25.
- El protocolo de transferencia es bidireccional entre las terminales
- La capa inferior detecta pero no corrige los errores, se deja para las capas más altas, lo cual lo hace más rápido y transparente.
- Ideal para interconectar LAN y WAN por sus altas velocidades y transparencia a las capas de red superiores.
- Se pueden cargar múltiples protocolos de LAN sobre Frame Relay.
- Tiene detección de error solo en la capa de enlace de datos. No hay control de flujo o control de error.

- **MPLS**

Nacen como una solución a crear circuitos virtuales como en ATM, en este se añadieron etiquetas a los paquetes, dichas etiquetas limitan el circuito virtual por toda la red.

De la arquitectura que forma una MPLS hacen parte tres componentes: los o termina el túnel, - LSR (Router de conmutación de etiqueta), - LSP (Camino conmutado de

etiqueta), este es el camino MPLS, - LDP (Protocolo de distribución de etiquetas), y - FEC (Clase Equivalente de transmisión), tráfico que se encamina bajo una etiqueta, también se tiene la **cabecera MPLS**, la cual comprende: Label (20 bits) - identificación de la etiqueta, Exp (3 bits) - bits experimentales, S (1 bit): Del inglés *stack*, sirve para el apilado jerárquico de etiquetas, - TTL (8 bits): Time-to-Live. Por último se tiene la **Pila de Etiquetas**, cada una consiste en cuatro factores: Valor de la etiqueta de 20 bits, Prioridad de Calidad de Servicio (QoS) de 3 bits, Bandera de "fondo" de la pila de 1 bit y Tiempo de Vida (TTL) de 8 bits.

MPLS sirve para la administración de la calidad de servicio al definir 5 *clases de servicios*, conocidos como CoS. Estos son:

- Video. La clase de servicio para transportar video tiene un nivel de prioridad más alto que las clases de servicio para datos.
- Voz. La clase de servicio para transportar voz tiene un nivel de prioridad equivalente al de video, es decir, más alto que las clases de servicio para datos.
- Datos de alta prioridad (D1). Ésta es la clase de servicio con el nivel de prioridad más alto para datos. Se utiliza particularmente para aplicaciones que son críticas en cuanto necesidad de rendimiento, disponibilidad y ancho de banda.
- Datos de prioridad (D2). Esta clase de servicio se relaciona con aplicaciones que no son críticas y que tienen requisitos particulares en cuanto a ancho de banda.
- Los datos no prioritarios (D3) representan la clase de servicio de prioridad más baja.

MPLS presenta ventajas en aplicaciones IP-VPN como: flexibilidad, escalabilidad, accesibilidad, eficiencia, calidad de servicio QoS, Clases de servicio CoS, administración, monitoreo y SLAs, fácil migración, seguridad y bajo costo.

Las principales aplicaciones que presentan las MPLS son: la Ingeniería de tráfico, la cual adapta los flujos de tráfico a los recursos físicos de la red, las Clases de Servicio mencionadas anteriormente y las VPNs, estas se encargan del soporte de aplicaciones intra/extranet, integrando aplicaciones multimedia de voz, datos y vídeo sobre infraestructuras de comunicaciones eficaces y rentables.

2.2.2. WIMAX

WiMAX se diseñó como una alternativa wireless al acceso de banda ancha DSL y cable, y una forma de conectar nodos Wifi en una red de área metropolitana (MAN). Sus siglas en ingles significan “*Worldwide Interoperability for Microwave Access*” o Interoperabilidad mundial de acceso por microondas. También se define como un sistema de comunicación digital, también conocido como IEEE 802.16.

Esta tecnología de acceso transforma las señales de voz y datos en ondas de radio dentro de la citada banda de frecuencias. Está basada en OFDM, y con 256 subportadoras puede cubrir un área de 48 kilómetros permitiendo la conexión sin línea vista, es decir, con obstáculos interpuestos, con capacidad para transmitir datos a una tasa de hasta 75 Mbps con una eficiencia espectral de 5.0 bps/Hz y dará soporte para miles de usuarios con una escalabilidad de canales de 1,5 MHz a 20 MHz. Este estándar soporta niveles de servicio (SLAs) y calidad de servicio (QoS). WiMAX puede proveer de acceso de banda ancha Wireless de hasta 50 Kilómetros. Si lo comparamos con el protocolo Wireless 802.11, el cual está limitado en la mayoría de las ocasiones a unos 100 Metros, nos damos cuenta de la gran diferencia que separa estas dos tecnologías inalámbricas. De hecho se suele llamar a WiMAX como “Wifi con esteroides”.

Este sistema, que se espera que revolucione las telecomunicaciones en el mundo, funciona de manera similar a las actuales redes inalámbricas de tecnología Wi-Fi, en donde una estación base con una antena (access point) controla el acceso inalámbrico de los equipos a la red.

2.2.2.1. ¿Cómo funciona WIMAX?

Cuando un usuario envía datos desde un dispositivo de abonado a una estación base, entonces esa estación base transmite la señal inalámbrica al canal de subida, luego la estación base transmitirá los mismos datos a otro usuario a esto se le llama bajada.



Figura 6. Wimax

(Fuente: <http://www.domodesk.com/content.aspx?co=100&t=146&c=43>)

La tabla a continuación describe la evolución de Wimax:

Estándar	Descripción
802.16	Utiliza espectro licenciado en el rango de 10 a 66 GHz, necesita línea de visión directa, con una capacidad de hasta 134 Mbit/s en celdas de 2 a 5 millas (3 a 7,5 km). Soporta calidad de servicio. Publicado en 2002
802.16a	Ampliación del estándar 802.16 hacia bandas de 2 a 11 GHz, con sistemas NLOS y LOS, y protocolo PTP y PTMP. Publicado en abril de 2003
802.16c	Ampliación del estándar 802.16 para definir las características y especificaciones en la banda de 10-66 GHz. Publicado en enero de 2003
802.16d	Revisión del 802.16 y 802.16a para añadir los perfiles aprobados por el WiMAX Forum. Aprobado como 802.16-2004 en junio de 2004 (La última versión del estándar)
802.16e	Extensión del 802.16 que incluye la conexión de banda ancha nómada para elementos portátiles del estilo de los notebooks. Publicado en diciembre de 2005
802.16m	Extensión del 802.16 que entrega datos a velocidad de 1 Gbit/s en reposo y 100 Mbit/s en movimiento.

Tabla 3. Evolución de Wimax. (Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/WiMAX>)

2.2.2.2. LTE 4G (Long Term Evolution)

Long Term Evolution (LTE) es el último paso hacia las redes de cuarta generación celular.

La red 4G más avanzada de los estados unidos la posee Verizon, Verizon Wireless fue el primer proveedor inalámbrico nacional en los Estados Unidos en construir y operar una red 4G LTE de gran escala, la más avanzada tecnología de red disponible, con velocidades hasta 10 veces más rápidas que 3G.

LTE cuenta con tecnologías que a LTE funcionar de forma más eficiente en lo que corresponde a la utilización del espectro, y también proporcionar tasas de datos mucho más altas que se demande.

- *OFDM (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales)*: ha sido incorporada en LTE, debido a que permite que grandes cantidades de datos sean transmitidas en banda ancha de manera eficiente, proveyendo así a la red gran resistencia en cuanto a interferencias. Los esquemas de acceso se diferencian entre el uplink y downlink: OFDMA es usado en el downlink; mientras SC-FDMA (única portadora - Acceso múltiple por división de frecuencia) es usado en el uplink. SC-FDMA se utiliza en vista del hecho de que su pico de relación de potencia media es pequeño y el poder más constante permite la alta eficacia del poder del amplificador RF en los teléfonos móviles - un factor importante para la energía de la batería del equipo.
- *MIMO (Múltiple Entrada Múltiple Salida)*: esta tecnología toma las señales provenientes de reflexiones encontradas y las usa para el aumento de su rendimiento. Usando MIMO, es necesario usar múltiples antenas para permitir a los diferentes caminos ser distinguido. En consecuencia los esquemas que usan 2x2, 4x2, o 4x4 matrices de antena pueden ser usados. Mientras es relativamente fácil agregar más antenas a una estación base, no es igual para

los teléfonos móviles, donde las dimensiones del equipo de usuario limitan el número de las antenas que deberían tener, al menos media longitud de onda aparte.

- *SAE (Evolución de la Arquitectura del Sistema)*: como una parte del Núcleo de Paquete Evolucionado (EPC). Con la alta tasa de datos y requerimientos de baja latencia para 3G LTE, es necesario desarrollar la arquitectura de sistema para permitir la mejora del funcionamiento para ser logrado. Un cambio es que un número de las funciones antes manejadas por la red principal han sido transferidas hacia fuera a la periferia. Esencialmente esto provee mucha forma "plana" de la arquitectura de red. De este modo pueden reducir la latencia y los datos pueden ser encaminados más directamente a su destino.

Categoría		1	2	3	4	5
Pico por ratio	Bajada	10	50	100	150	300
	Subida	5	25	50	50	75
Capacidad para funciones físicas						
Ancho de banda RF		20 MHz				
Modulación	Bajada	QPSK, 16QAM, 64QAM				
	Subida	QPSK, 16QAM			QPSK, 16QAM, 64QAM	
Multi-antena						
2Rx		Asumido en los requerimientos de rendimiento				
2x2 MIMO		No soportado		Mandatorio		
4x4 MIMO		No soportado			Mandatorio	

Tabla 4. Clasificación según características de los equipos LTE.

Los componentes principales de la tecnología LTE son, la nueva red de acceso E-UTRAN y el nuevo dominio de paquetes EPC de la red troncal (red troncal EPC), y la evolución del subsistema IMS ideado inicialmente en el contexto de los técnicas UMTS.

E-UTRAN y EPC proveen juntos servicios de transferencia de paquetes IP entre los equipos de usuario y redes de paquetes externas tales como plataformas IMS u otras redes de telecomunicaciones como Internet. Las prestaciones de calidad de servicio (tasa de datos en bits/s, comportamientos en términos de retardos y pérdidas) de un servicio de transferencia de paquetes IP puede configurarse en base a las necesidades de los servicios finales que lo utilicen, cuyo establecimiento se lleva a cabo a través de plataformas de servicios externas (IMS) y de forma transparente a la red troncal EPC.

El servicio de transferencia de paquetes IP ofrecido por la red LTE entre el equipo de usuario y una red externa se denomina servicio portador EPS (EPS Bearer Service). Asimismo, la parte del servicio de transferencia de paquetes que proporciona la red de acceso E-UTRAN se denomina E-UTRAN Radio Access Bearer (E-RAB).

La interfaz entre E-UTRAN y EPC se denomina S1 y proporciona a la EPC los mecanismos necesarios para gestionar el acceso de los terminales móviles a través de E-UTRAN. La interfaz radio entre los equipos de usuario y E-UTRAN se denomina E-UTRAN U_u .

Por otro lado, las plataformas de servicios como IMS y la conexión a redes de paquetes externas IP se llevan a cabo mediante la interfaz SGi de la EPC. La interfaz SGi es análoga a la interfaz Gi definida en las redes GPRS/UMTS y constituye el punto de entrada/salida al servicio de conectividad IP proporcionado por la red LTE (los terminales conectados a la red LTE son “visibles” a las redes externas a través de esta interfaz mediante su dirección IP).

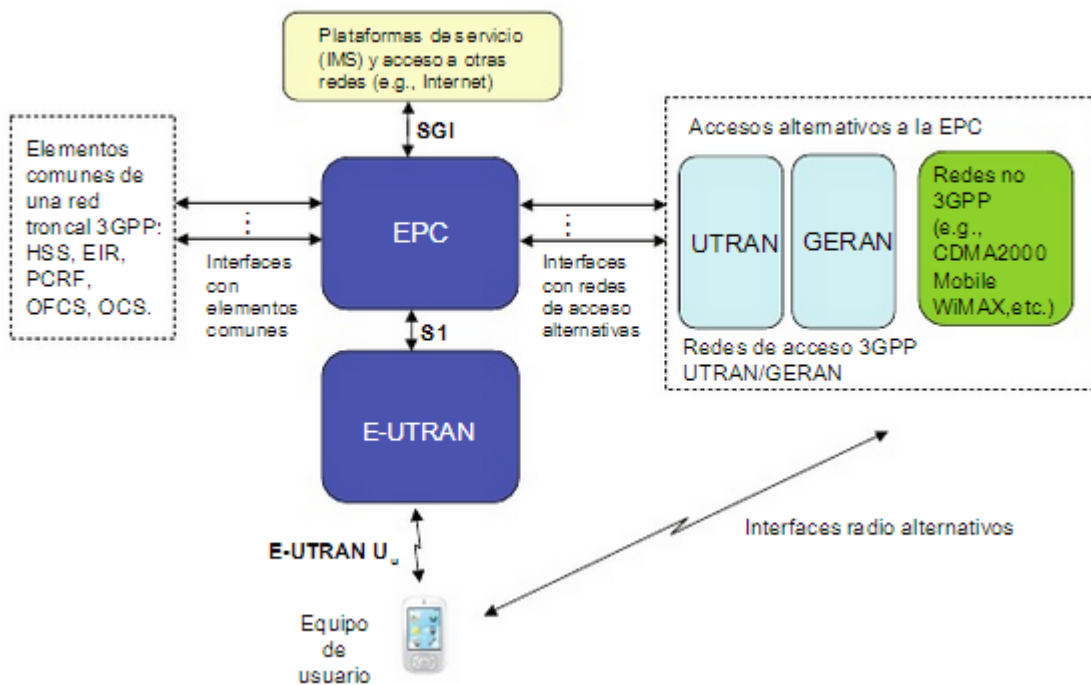


Figura 7. Arquitectura Tecnología LTE.

Equipos de usuario

El equipo de usuario es aquel que permite a los usuarios de la tecnología LTE tener acceso a los servicios de la red LTE 4G, a través de la interfaz de radio. El equipo de usuario (User Equipment, UE) contiene dos elementos básicos: Un módulo de suscripción del usuario (SIM/USIM) y el equipo móvil (Mobile Equipment ME). Además, las funciones del equipo móvil se agrupan en dos entidades funcionales: la terminación móvil (Mobile Terminal, MT) y el equipo terminal (Terminal Equipment, TE).

La aplicación utilizada para acceder a redes GSM se denomina SIM (Subscriber Identity Module), mientras que para el acceso a redes UMTS se conoce como UMTS SIM (USIM). El equipo móvil (ME) integra las funciones propias de comunicación con la red celular así como las funciones adicionales que permiten la interacción del usuario con los servicios de la red.

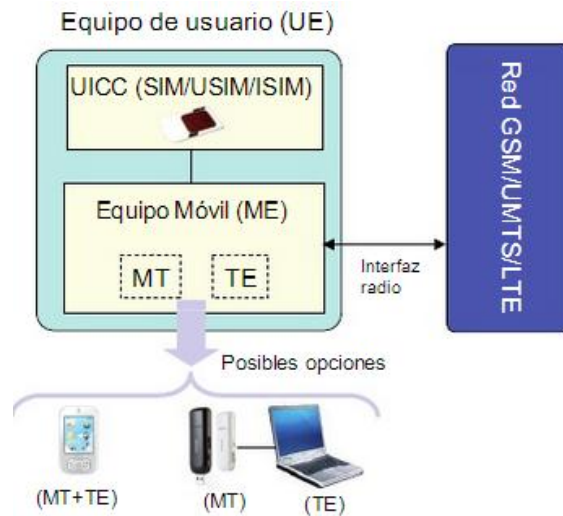


Figura 8. Equipos de usuario.

2.2.2.2.1. 4G LTE en Colombia

La empresa Une Telecomunicaciones es el primer operador móvil del país en ofrecerle al mercado la tecnología de conexión LTE (también conocida como cuarta generación o 4G). Su apuesta ha sido llamada **4G Revolution**.

El servicio sólo está disponible a través de los módems que UNE suministra. Cada módem requiere para su funcionamiento una tarjeta SIM, la cual también es suministrada por la compañía. Ésta tarjeta SIM sólo puede utilizarse para el servicio 4G LTE. No permite la realización de llamadas o tampoco puede ser usada sobre otros dispositivos.

El módem incluye un software de conexión que debe ser instalado en su portátil. Ésta instalación se realiza una sola vez.



Figura 9. Modem 4G UNE.

Capacidades de descarga ofrecidas:

- 4G LTE 1.2 GB
- 4G LTE 2 GB
- 4G LTE 4 GB
- 4G LTE 6 GB
- 4G LTE 8 GB
- 4G LTE 10 GB
- 4G LTE 20 GB

2.2.3. Redes de Fibra Óptica

Las redes de fibra óptica son el medio óptimo encontrado para telecomunicaciones, ya que permiten el envío de grandes volúmenes de información debido al gran ancho de banda que provee la fibra. Son inmunes a las interferencias electromagnéticas por las propiedades que posee la fibra óptica de transmitir mediante pulsos de luz. Los cables son delgados, flexibles y ligeros, lo que permite un alto grado de satisfacción en las instalaciones.

La fibra óptica es utilizada principalmente por su gran número de ventajas, para instalaciones con necesidades de alta velocidad o gran cobertura de distancias entre

otros. Si bien no todo es ventaja, hay consideraciones que deben ser tomadas en cuenta en la determinación de una red de fibra óptica, Las fibras son frágiles, y no hay reparaciones de cables de fibra rotos, por lo que estos deben de ser repuestos.

Los sistemas de fibra que se están utilizando son FTTP activos y Redes ópticas pasivas (PON).

2.2.3.1. Redes Ópticas Pasivas (PON)

Estas redes eliminan los componentes activos presentes entre servidor y cliente, e introducen en su lugar componentes ópticos pasivos que permiten guiar el tráfico de la red.

Una red óptica pasiva es una red punto-multipunto conformada principalmente por los elementos descritos a continuación:

- Optical Network Termination (ONT): terminal de red óptico donde finaliza la red de acceso, adicionalmente es el equipo encargado de convertir los pulsos de luz recibidos de la OLT en señales eléctricas y agrupar la información para enviarla en canal ascendente (red PON punto-punto).
- Divisor óptico (splitter): son acopladores o divisores ópticos de potencia situados entre la OLT y la ONU, se encargan de dividir el haz de luz transmitido por la OLT para enviarlo por todos los enlaces que conectan las ONU's, o de agregar señales enviadas por los usuarios y propagar esta señal hasta la OLT.
- Optical Line Termination (OLT): se encuentra del lado de la central y es el elemento activo, donde parten los diferentes enlaces ópticos hacia los clientes. También es quien agrega el tráfico proveniente de otras redes: ATM, PSTN, internet, etc.
- Optical Network Unit (ONU): es el punto de enlace entre la central y los clientes, se encarga de distribuir el tráfico hacia los diferentes clientes, y realiza la conversión de

tráfico óptico a eléctrico y viceversa. Además, coordina la comunicación del cliente con la central.⁷

La transmisión se realiza entre la OLT y la ONU las cuales se comunican a través del divisor (splitter), cuya función depende de si el canal es ascendente (PON es una red punto a punto donde las diferentes ONUs transmiten contenidos a la OLT, TDMA) o descendente (PON es una red punto-multipunto donde la OLT envía una serie de contenidos que recibe el divisor y que se encarga de repartir a todas las unidades ONU, TDM), como se puede observar en la figura 9.

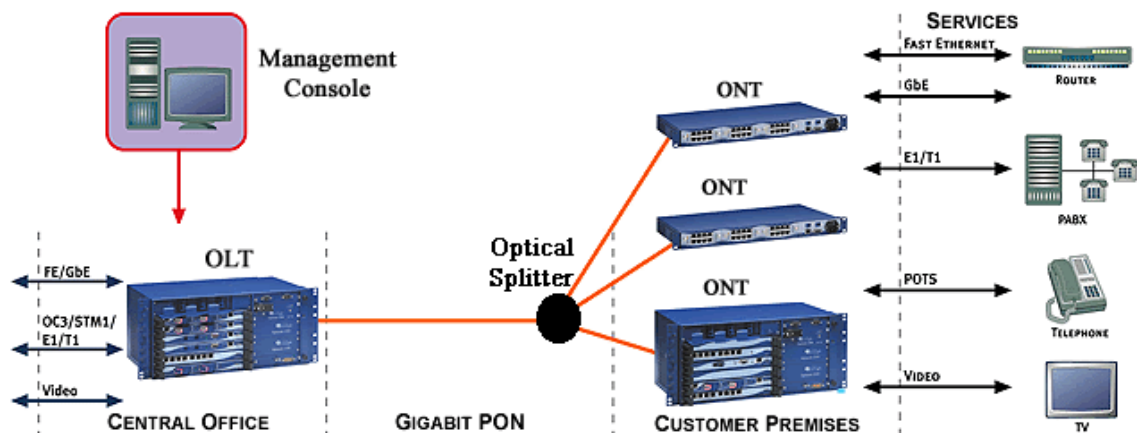


Figura 10. Componentes de una red PON. (Fuente: <http://www.infocellar.com/networks/new-tech/PON/PON-real.htm>)

2.2.3.1.1. GPON

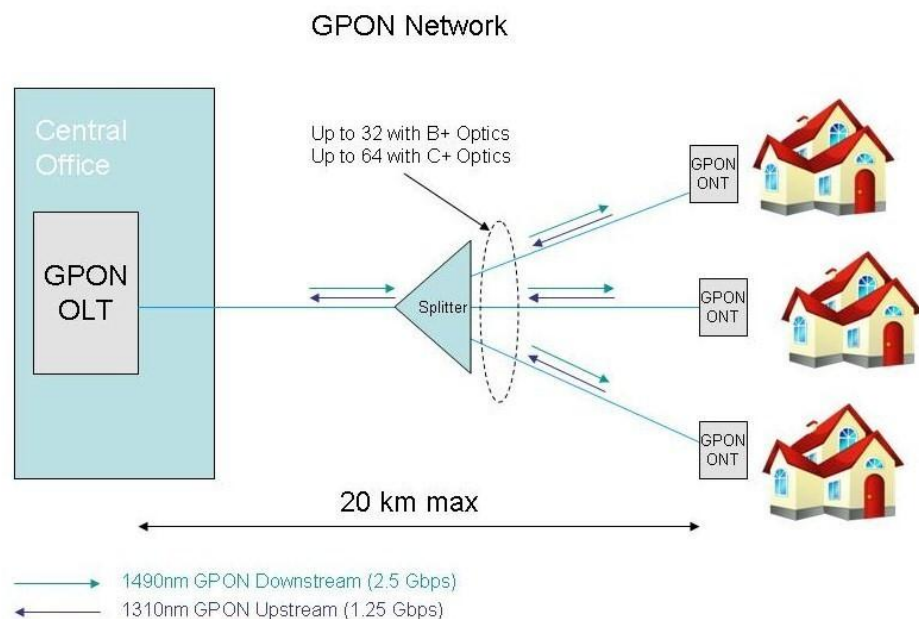
La Red Óptica Pasiva con capacidad de Gigabit o Gigabit-capable Passive Optical Network, proporciona cableado de fibra y señales hasta el hogar utilizando un sistema punto-multipunto que habilita a la fibra óptica para servir a múltiples lugares.

⁷ RUIZ GUERRA, Karen., PLATA RAMÍREZ, Oscar. Monografía, “Televisión IP, un servicio Integrado de Gran Potencial”. Cartagena, 2010.

Características

- Proporciona una estructura de trama desde 622 Mb/s hasta 2.5 Gb/s.
- Utiliza un método de encapsulamiento llamado GEM (GPON Encapsulation Method), éste permite mayor flexibilidad y transmisión de paquete IP.
- Soporta cualquier tipo de servicio (Ethernet, ATM, TDM, entre otros).
- Soporte Global Multiservicio: incluyendo voz (TDM, SONET, SDH), Ethernet 10/100 Base T, ATM, Frame Relay, entre otros.
- Posee un alcance físico de 20 Km
- Soporte para varias tasas de transferencia, incluyendo tráfico simétrico de 622 Mbps, tráfico simétrico de 1.25Gbps y asimétrico 2.5Gbps.

Una red GPON posee los elementos de una red PON (ONT, Splitter, ONU, OLT, descritos anteriormente, como se observa en la figura 10.



Compliments of www.FTTXtra.com

Figura 11. Red GPON (Fuente: <http://nordin.kembali.net/blog/?p=1221>)

La convergencia en las redes GPON en los servicios ofrecidos en las telecomunicaciones, permite una gran reducción en los costos para los usuarios al poder utilizar una misma red para proveer todos sus servicios.

Aplicaciones

- Internet banda ancha
- Telefonía
- IPTV
- VoIP
- Mobile-Web
- Video bajo demanda

2.2.3.2. Ventajas y desventajas de la Fibra Óptica

Ventajas

- Hace posible la navegación en internet a velocidades de 2000.000 bps.
- Acceso ilimitado y continuo las 24 horas del día.
- Video y sonido en tiempo real.
- Es inmune al ruido y a interferencias.
- Una banda de paso muy ancha, lo que permite flujos muy elevados (del orden del Ghz).
- Pequeño tamaño, por lo tanto ocupa poco espacio.
- Gran flexibilidad, el radio de curvatura puede ser inferior a 1 cm, lo que facilita la instalación enormemente.
- Gran ligereza, el peso es del orden de algunos gramos por kilómetro, lo que resulta unas nueve veces menos que el de un cable convencional.

- Inmunidad total a las perturbaciones de origen electromagnético, lo que implica una calidad de transmisión muy buena, ya que la señal es inmune a las tormentas, chisporroteo...
- Gran seguridad: la intrusión en una fibra óptica es fácilmente detectable por el debilitamiento de la energía luminosa en recepción, además, no radia nada, lo que es particularmente interesante para aplicaciones que requieren alto nivel de confidencialidad.
- No produce interferencias.
- Insensibilidad a los parásitos, lo que es una propiedad principalmente utilizada en los medios industriales fuertemente perturbados (por ejemplo, en los túneles del metro). Esta propiedad también permite la coexistencia por los mismos conductos de cables ópticos no metálicos con los cables de energía eléctrica.
- Atenuación muy pequeña independiente de la frecuencia, lo que permite salvar distancias importantes sin elementos activos intermedios. Puede proporcionar comunicaciones hasta los 70 km. antes de que sea necesario regenerar la señal, además, puede extenderse a 150 km. utilizando amplificadores láser.
- Gran resistencia mecánica (resistencia a la tracción, lo que facilita la instalación).
- Resistencia al calor, frío, corrosión.
- Facilidad para localizar los cortes gracias a un proceso basado en la telemetría, lo que permite detectar rápidamente el lugar y posterior reparación de la avería, simplificando la labor de mantenimiento.

Desventajas

- El costo es alto en la conexión de fibra óptica, las empresas no cobran por tiempo de utilización, sino por cantidad de información transferida al computador que se mide en megabytes.

- El costo de instalación es elevado.
- El costo relativamente alto en comparación con los otros tipos de cable.
- Fragilidad de las fibras.
- Los diminutos núcleos de los cables deben alinearse con extrema precisión al momento de empalmar, para evitar una excesiva pérdida de señal.
- Dificultad de reparar un cable de fibra roto.
- La especialización del personal encargado de realizar las soldaduras y empalmes.

CONCLUSIONES

- Las tecnologías y las estrategias de negocio serán examinadas por el propio mercado y al menos durante éste periodo las diferencias entre las redes de acceso existirán. Es así, como en un mercado tan competitivo en las redes de acceso y en los equipos terminales, los dispositivos de interfaz jugarán un papel fundamental en el permitir que una gran variedad de equipos terminales se conecten a diferentes tipos de redes de acceso.
- Las redes de acceso de nueva generación son un gran aporte a los servicios de la sociedad, ya sea en el área de la salud, educación (correos, plataformas virtuales, videoconferencias, entre otros) debido a la gran cantidad de información que se puede enviar a través de estas en un corto tiempo
- Existe un amplio espectro de tecnologías de acceso que pueden aplicarse para superar las limitaciones de la última milla en una red que se encarga de servir a usuarios finales. Éstas van desde las tecnologías xDSL a los sistemas basados en fibra, y desde estructuras de distribución coaxial a tecnologías inalámbricas. Saber cuál de estas tecnologías utilizar y donde se deben implementar es el punto clave para el éxito del negocio de cualquier proveedor de redes. De hecho, las demandas de servicios podrán ser cubiertas solo si la tecnología correcta está disponible para aquellos clientes que demandan aplicaciones específicas y más sofisticadas.
- La implementación de fibra óptica es el medio por excelencia en las redes de acceso, es la mejor opción a la hora de hablar de calidad de servicio debido a sus características, No obstante es muy ventajoso el tener conocimiento acerca de que tecnología poder emplear para cada caso específico y de ésta forma poder tener lo mejor de cada tecnología y aspirar a un menor precio.

BIBLIOGRAFÍA

- FOROUZAN, Behrouz A. (2007). *Data Communications and Networking*. (4TH Ed.). New York, NY 10020. , McGraw Hill.
- GARCÍA TOMÁS, Jesús., RAYA CABRERA, José Luis., & RODRIGO RAYA, Víctor. (2002). *Alta Velocidad y Calidad de Servicio en Redes IP*. Mexico, D.F: Alfaomega.
- Ganuza, Juan José. , Perca, Karla., Viencens, María F. “Las Redes de Nueva Generación: ¿un nuevo modelo para las telecomunicaciones en España?”
- GARCÍA SAÍNOS, Eduardo. Tesis, Estrategia de migración de las redes de vozalámbricas, inalámbricas y móviles a la arquitectura de redes de nueva generación”, Dir, GARCÍA HERNÁNDEZ, Carlos Felipe. Cuerbavaca Morelos, 2003.
- PINEDO MARTINEZ, Alfonso. , ARCHBOLD TAYLOR, George. Monografía, “LTE (Long Term Evolution)”. Tutor: Gonzalo López. (2011).
- RUIZ GUERRA, Karen., PLATA RAMÍREZ, Oscar. Monografía, “Televisión IP, un servicio Integrado de Gran Potencial”. Cartagena, 2010.
- Muhibbul Muktedir Tanim. WIMAX y WIFI. http://meetings.apnic.net/__data/assets/pdf_file/0009/45585/WiMAX-WiFi-APRICOT2012.pdf
- 3GPP A Global Initiative, The Mobile Broadband Standard: LTE. <http://www.3gpp.org/LTE>

- UNE Telecomunicaciones. 4G LTE. <http://www.une.com.co/corporativo/servicios-de-telecomunicaciones/4g-lte-corporativo>
- <http://www.coit.es/publicaciones/bit/bit164/67-69.pdf>
- http://www.cmt.es/c/document_library/get_file?uuid=4436f8a1-74d1-428d-886c-8096fef9b35e&groupId=10138
- http://coitt.es/res/revistas/Antena164_14_Internet.pdf
- <http://www.ipgroup.com.ar/HFC.asp>