



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Implementación de escenarios de simulación de redes de acceso
utilizando la plataforma Opnet**

AUTOR:

Ing. Vallejo Lalangui, Juan Pablo

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado Académico de
MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

26 de Noviembre del 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Magíster **Vallejo Lalangui, Juan Pablo** como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de **MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

DIRECTOR DEL PROGRAMA

M. Sc. Romero Paz, Manuel de Jesús

Guayaquil, 26 de noviembre del 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Vallejo Lalangui, Juan Pablo**

DECLARÓ QUE:

El trabajo de titulación **“Implementación de escenarios de simulación de redes de acceso utilizando la plataforma Opnet”**, previa a la obtención del grado Académico de **Magíster en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del trabajo de titulación del Grado Académico en mención.

Guayaquil, 26 de noviembre del 2018

EL AUTOR

Vallejo Lalangui, Juan Pablo



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Vallejo Lalangui, Juan Pablo**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación de Maestría titulada: **“Implementación de escenarios de simulación de redes de acceso utilizando la plataforma Opnet”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 26 de noviembre del 2018

EL AUTOR

Vallejo Lalangui, Juan Pablo

REPORTE DE URKUND

The screenshot displays the URKUND interface. On the left, a document summary is provided:

- Documento:** [Vallejo_JuanPablo.docx](#) (D43276285)
- Presentado:** 2018-10-30 10:22 (-05:00)
- Presentado por:** fernandopm23@hotmail.com
- Recibido:** edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com
- Mensaje:** Revisión final Juan Pablo Vallejo [Mostrar el mensaje completo](#)

A summary note states: "1% de estas 17 páginas, se componen de texto presente en 1 fuentes." The right-hand side features a "Lista de fuentes" (List of sources) panel with a "Bloques" (Blocks) tab. It contains a table with columns for "Categoría" and "Enlace/nombre de archivo".

Categoría	Enlace/nombre de archivo
	Titulación Rainiero Plaza.docx
Fuentes alternativas	
	Tesis MG Final.docx
Fuentes no usadas	

At the bottom of the interface, there is a toolbar with icons for navigation and actions, and a notification area showing "0 Advertencias".

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
SISTEMA DE POSGRADO MAESTRÍA EN
TELECOMUNICACIONES

TEMA: Implementación de escenarios de simulación
de redes de acceso utilizando la plataforma Opnet

AUTOR: Ing. Vallejo Lalangui, Juan Pablo

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado
Académico de Magíster en Telecomunicaciones

TUTOR: M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

Agradecimientos

Agradezco a Dios, por todo lo que me ha dado, especialmente por la familia tanto de origen como política, por la salud, a mis padres por su apoyo incondicional por sus consejos y valores transmitidos, y a mi familia en la que soy esposo y padre, por su paciencia, por el tiempo que he estado ausente de ellos para culminar este proceso.

A mi tutor, M. Sc. Fernando Palacios Meléndez, por identificarse con el tema del trabajo de titulación, y por todo el conocimiento y experiencia que ha compartido conmigo para sacarlo adelante.

Vallejo Lalangui, Juan Pablo

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo de titulación a mi esposa y a mis hijos, que los amo mucho, por la paciencia y el tiempo que me concedieron, y por estar a mi lado en esta etapa tan importante y especial en mi vida.

A mis padres por su apoyo incondicional por esperar siempre lo mejor de mí, por ser un ejemplo de fe y de amor a la familia.

A mis hermanos, que me han ayudado mucho y a quienes les deseo que sigan adelante en sus sueños y proyectos.

Vallejo Lalangui, Juan Pablo



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

M. SC. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO
TUTOR

f. _____

M. SC. CÓRDOVA RIVADENEIRA, LUIS SILVIO
REVISOR

f. _____

M. SC. BOHORQUEZ ESCOBAR, CELSO BAYARDO
REVISOR

f. _____

ROMERO PAZ MANUEL DE JESÚS
DIRECTOR DEL PROGRAMA

ÍNDICE GENERAL

Índice de Figuras	XII
Índice de Tablas.....	XIV
Resumen	XV
Abstract.....	XVI
Capítulo 1: Descripción del proyecto de intervención	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Antecedentes del problema a investigar.	3
1.3. Definición del problema.	4
1.4. Justificación del problema.	4
1.5. Objetivos.	5
1.5.1. Objetivo general.....	5
1.5.2. Objetivos específicos.....	5
1.6. Hipótesis.....	5
1.7. Metodología de investigación.	5
Capítulo 2: Fundamentación Teórica.	8
2.1. Familia xDSL.	8
2.1.1. Sistemas HDSL	8
2.1.2. Sistemas SDSL.....	9
2.1.3. Sistemas IDSL.....	10
2.1.4. Sistemas ADSL.....	10
2.1.5. Sistemas RADSL.	13
2.1.6. Sistemas G. LITE.....	13
2.1.7. Sistemas VDSL.....	15
2.2. Redes de banda ancha basadas en ADSL: Arquitectura del sistema.....	15
2.2.1. Red de instalaciones del cliente.	16

2.2.2.	Red de acceso.....	17
2.2.3.	Red regional de banda ancha.....	18
2.2.4.	Red de proveedores de servicios	18
2.3.	Mercado para ADSL y requisitos de servicio de extremo a extremo ..	19
2.3.1.	Oportunidades de negocio para redes de banda ancha basadas en ADSL	19
2.3.2.	Requisitos funcionales del servicio.....	20
2.4.	Problemas de la capa física	22
2.5.	Problemas de capas superiores	26
CAPÍTULO 3: Diseño y evaluación del modelado de simulación.....		27
3.1.	Usando Opnet Modeler para modelar redes.	27
3.2.	Características básicas de Opnet Modeler.....	27
3.3.	Modelado del tráfico de red.....	28
3.4.	Configuración de aplicaciones y perfiles.	29
3.4.1.	Establecer tipo de servicio.....	31
3.5.	Implementación de redes de acceso.....	31
3.6.	FTTH sobre GPON.....	32
3.7.	Modelamiento de sistemas ADSL.	32
3.7.1.	Topología de acceso y agregación.....	32
3.7.2.	Topología en el lado del proveedor de servicios.....	35
3.8.	Ethernet.....	36
3.8.1.	Topología de redes de acceso y agregación.....	36
3.8.2.	Topología en el lado del proveedor de servicios	37
3.9.	Configuración de servicios en ADSL y Ethernet.....	37
3.9.1.	Configurar aplicaciones	37
3.9.2.	Configuraciones de perfil”	41
3.9.3.	Configuración del tráfico.....	42

3.10. Despliegue de MEN, MPLS.....	42
3.11. Análisis de redes.....	42
3.12. Cambios propuestos.	44
3.13. Creación de rutas LSP.	45
3.14. Establecer parámetros generales de MPLS.....	46
3.15. Configuración del enrutador para MPLS	48
3.16. Simulación y análisis de resultados de parámetros de QoS en la red de acceso.....	48
3.16.1. Estadísticas utilizadas	48
3.16.2. Escenarios creados	49
3.16.3. Evaluación de resultados.....	50
3.17. Simulación de cortes en la red MPLS.	54
3.17.1. Estadísticas utilizadas	54
3.17.2. Escenarios creados	55
3.17.3. Evaluación de resultados.....	55
Conclusiones	58
Recomendaciones	59
Bibliografía	60

Índice de Figuras

Capítulo 2:

Figura 2. 1: La familia xDSL.....	8
Figura 2. 2: Conectividad de banda ancha (configuraciones de acceso): Internet, redes corporativas, contenido local y comunicaciones punto a punto.	16
Figura 2. 3: Arquitectura de red de banda ancha basada en ADSL.....	16
Figura 2. 4: Dispositivo sin PC (por ejemplo, una impresora) Un SOHO típico conectado a la red externa a través de la PC ATU-R.	17
Figura 2. 5: Espectro de frecuencia de POTS (módems analógicos) frente a ADSL y G.Lite.	22

Capítulo 3:

Figura 3. 1: Paleta de objetos del editor de proyectos.....	28
Figura 3. 2: Configurando perfiles de aplicaciones.	30
Figura 3. 3: Configuración del tipo de servicio ToS / DSCP.....	31
Figura 3. 4: Local_ADSL.....	33
Figura 3. 5: Cliente de subred 1.....	33
Figura 3. 6: Cliente de subred 2.....	34
Figura 3. 7: Agregación de subred.....	35
Figura 3. 8: Proveedor de subred.	36
Figura 3. 9: Configurar una aplicación de voz.....	38
Figura 3. 10: Configurar una aplicación FTP.	39
Figura 3. 11: Configurar una aplicación HTTP.....	39
Figura 3. 12: Configurar una aplicación de videoconferencia.	41
Figura 3. 13: Participación inicial de la red MPLS.....	43
Figura 3. 14: Nueva conexión de red MPLS.	46

Figura 3. 15: Retardo en la cola en comparación con la carga total entre el agregado y la red local (escenario Ethernet 5 - rojo, Ethernet 6 - azul).	51
Figura 3. 16: Impacto de la carga de la línea de datos entre el conmutador local y el cliente PC en el retardo del servicio de video y voz y la carga total de la línea entre el agregado y la red local (escenario ADSL1).	52
Figura 3. 17: Impacto de la carga de línea entre la agregación y la red de pérdida de voz local para VoIP y VoD (Ethernet 4).....	53
Figura 3. 18: La diferencia entre paquetes enviados y recibidos para VoIP entre VoIP y clientes VoIP (Ethernet6).	54
Figura 3. 19: Cambio de ruta LSP entre LER_2 y LER_5 cuando un nodo se rompe e impacta en un retardo de flujo de voz.	56
Figura 3. 20: Detalles de cambios de ruta LSP entre enrutadores LER_1 y LER_6.....	57
Figura 3. 21: Cambio de ruta LSP entre LER_1 y LER_6 cuando la falla de la línea y su impacto en el retardo del flujo de video.	57

Índice de Tablas

Capítulo 3:

Tabla 3. 1: Calcular el flujo de datos para VoD.....	40
Tabla 3. 2: Nuevos enlaces físicos en la red troncal MPLS.	45
Tabla 3. 3: Nuevas rutas LSP	46
Tabla 3. 4: Configuración de los flujos medidos y de carga en el modelo de simulación.....	50
Tabla 3. 5: Resultados de las métricas obtenidas de la simulación en Opnet Modeler.....	50

Resumen

El trabajo de grado previo a la obtención del título de Magister en Telecomunicaciones, tuvo como objetivo principal la creación de un modelo de simulación de una red de acceso con tecnologías ADSL y Ethernet utilizando la plataforma Opnet Modeler versión 14.5. Primero se realizó una búsqueda de información en revistas científicas, donde se encontró que Opnet Modeler es una herramienta de simulación muy utilizada por profesionales para publicación de artículos relacionadas a sistemas de comunicaciones. También, se define el problema a investigar, así como el objetivo general y los específicos. Posterior, se presenta el capítulo 2, donde se describe los fundamentos teóricos. Para el capítulo 3, se presenta el diseño del modelo de simulación propuesto. En el modelo creado, se puede medir los retardos y las pérdidas de los servicios de Triple Play (voz, video, internet). Otro objetivo fue diseñar e implementar una mejora del modelo existente de la red Backbone MEN y MPLS en términos de resistencia a la pérdida de líneas, nodos y otros posibles. Se completo la solución para conectar la nueva parte de acceso de la red con la red troncal ya creada. El trabajo también exploró las tecnologías utilizadas para las redes de acceso y los requisitos de calidad del servicio.

Palabras claves: COMUNICACIONES, ADSL, ETHERNET, FTP, HTTP, MPLS

Abstract

The main objective of the degree work prior to obtaining a Master's degree in Telecommunications was the creation of a simulation model of an access network with ADSL and Ethernet technologies using the Opnet Modeler version 14.5 platform. First, an information search was conducted in scientific journals, where it was found that Opnet Modeler is a simulation tool widely used by professionals to publish articles related to communication systems. Also, the problem to be investigated is defined, as well as the general objective and the specific ones. Later, chapter 2 is presented, where the theoretical foundations are described. For Chapter 3, the proposed simulation model design is presented. In the created model, you can measure the delays and losses of Triple Play services (voice, video, internet). Another objective was to design and implement an improvement of the existing model of the Backbone MEN and MPLS network in terms of resistance to the loss of lines, nodes and other possible ones. The solution was completed to connect the new access part of the network with the backbone network already created. The work also explored the technologies used for access networks and service quality requirements.

Keywords: COMMUNICATIONS, ADSL, ETHERNET, FTP, HTTP, MPLS

Capítulo 1: Descripción del proyecto de intervención

1.1. Introducción

Hoy en día, de acuerdo a (Pajda & Roka, 2017) la demanda de una mayor velocidad de transmisión aumentó, debido a que más usuarios utilizan Internet y las aplicaciones también demandan una mayor velocidad de transmisión.

El presente trabajo se examina la esencia, las características principales y la arquitectura de las diversas tecnologías de línea de abonado digital (xDSL). xDSL es una familia de tecnologías que aumenta significativamente el ancho de banda de las líneas de suscriptores de la red compartida heredada mediante el uso de códigos lineales efectivos y métodos de adaptación para corregir distorsiones basadas en los logros de la microelectrónica y métodos de procesamiento digital de la información.

La abreviación de xDSL puede tener diferentes letras en inglés dependiendo del tipo específico de tecnología de transmisión digital. Las tecnologías xDSL aparecen a mediados de la década de 1990 como una alternativa al acceso de suscriptores digitales en RDSI. Las tecnologías XDSL permiten el intercambio de datos a velocidades muy por encima de las velocidades alcanzadas por los mejores módems analógicos y digitales.

Estas tecnologías admiten el intercambio de información coloquial, el intercambio de datos a alta velocidad y la información de video. Algunas de las tecnologías permiten la integración de servicios (intercambio de voz y datos). Los servicios proporcionados por xDSL están diseñados para cumplir objetivos definidos:

- a. debe funcionar en líneas telefónicas existentes;
- b. no debe interferir con la operación del equipo del suscriptor (teléfonos, teléfonos, contestadores automáticos, etc.);
- c. la velocidad de operación debe exceder 55 kbps;
- d. debe estar permanentemente encendido.

Como se mencionó anteriormente, una de las características principales de las diferentes tecnologías xDSL es el uso de métodos de codificación lineal. Los principales códigos de línea utilizados son:

- a. dos binarios, uno cuaternario (2B1Q).
- b. modulación de fase de amplitud sin portadora (CAP).
- c. Modulación multitono discreta (DMT)

1.2. Antecedentes del problema a investigar.

La parte inicial de la presente investigación fue realizar la búsqueda de información de trabajos de titulación, artículos científicos y otras que se encuentren relacionadas al modelamiento de redes de acceso como xDSL y Ethernet utilizando plataformas de simulación. En el repositorio digital de la Maestría en Telecomunicaciones se encontraron diferentes trabajos de titulación relacionados a la tecnología xDSL, aunque no se encontraron trabajos en las que utilicen la herramienta de simulación Opnet Modeler.

También, se encontraron trabajos de simulación de sistemas de comunicaciones utilizando Opnet Modeler y que son publicados en revistas científicas. Entre los trabajos destacados se mencionan los siguientes:

- a. Jakhar & Vats, (2014) publican el artículo “Evaluación de rendimiento basada en Opnet de la red WiMAX con WiMAX Management usando diferentes QoS”. Utilizaron Opnet Modeler para estudiar redes con 35 y 50 estaciones de trabajo móviles. En cada red, un grupo de cinco estaciones de trabajo WiMAX se conectan y se llaman entre sí a través de una estación base WiMAX durante 1000 s. También, estudiaron los parámetros que indican la calidad de los servicios, como la actividad de gestión periódica de la gestión de WiMAX, la actividad de distribución inicial de la gestión de WiMAX, el retardo, rendimiento, y la carga de la red.
- b. Ufoaroh, Nwalozie, Onyishi, & Ejiofor, (2013) publican el artículo “Evaluación del rendimiento de la red de área local inalámbrica (WLAN)”. Utilizaron como plataforma de simulación a Opnet Modeler, en este trabajo de investigación presentan un banco de pruebas de simulación con intensidades de carga variables para evaluar el

rendimiento de la WLAN 802.11 y el impacto de las cuatro métricas principales, a saber: rendimiento, SNR, índice de pérdida de paquetes y demora en el rendimiento de WLAN. Los resultados del estudio de simulación indican que el ajuste adecuado de los parámetros del protocolo mejoró el rendimiento de la LAN inalámbrica y mejoraron los servicios que IEEE 802.11 proporciona a varias aplicaciones comunes.

- c. Khamiss & Al-Hussein, (2014) publican el artículo “Transmisión de servicios Triple Play a través de la red de acceso de banda ancha VDSL2 en MDU”. Este documento presenta un prototipo de entrega de servicios Triple Play y estudia cómo brindar estos servicios para diferentes áreas de una región. El documento evalúa el rendimiento de la red de acceso de banda ancha VDSL2 como la tecnología de última milla sugerida para respaldar la transmisión de los servicios de Triple Play. El modelado de simulación utiliza el software Opnet Modeler que permite ilustrar los servicios de transmisión a través de la tecnología VDSL2 y presentarla como la tecnología de acceso factible para múltiples unidades de construcción que se conocen como MDU. Los resultados de la simulación demostraron la viabilidad de la solución propuesta como la tecnología adecuada para distribuir estos servicios dentro de un conjunto de edificios que pueden ser residenciales o edificios gubernamentales.

1.3. Definición del problema.

Necesidad de realizar la implementación de escenarios de simulación de redes de acceso utilizando la plataforma Opnet

1.4. Justificación del problema.

El modelado de redes de comunicaciones es la mejor solución y no requiere de inversión fuerte en equipos costosos que permitan analizar situaciones reales, que relativamente se las puede ejecutar utilizando el simulador Opnet Modeler. Para lo cual es necesaria la implementación de escenarios de simulación de redes de acceso utilizando la plataforma Opnet Modeler.

1.5. Objetivos.

1.5.1. Objetivo general.

Realizar la implementación de escenarios de simulación de redes de acceso utilizando la plataforma Opnet Modeler.

1.5.2. Objetivos específicos.

- ✓ Describir los fundamentos teóricos de las redes de acceso, en especial la tecnología ADSL.
- ✓ Elaborar el modelo de simulación a través de los escenarios de simulación propuestos utilizando Opnet Modeler.
- ✓ Analizar los resultados obtenidos de los escenarios de simulación mediante la variación de parámetros.

1.6. Hipótesis.

Mediante el desarrollo de los escenarios de simulación del presente trabajo se pretende demostrar que la herramienta Opnet Modeler es una plataforma robusta y que dispone de componentes casi reales en su librería y que permitieron realizar las pruebas necesarias para realizar el análisis respectivo del modelador de redes de acceso.

1.7. Metodología de investigación.

El gran misterio en desvelar y elaborar un buen proyecto de investigación consiste en el miedo que las personas tienen, por creer que es algo complicado de ser hecho. Antes de elegir el tipo de investigación, es importante que se tenga comprensión de los conceptos de metodología científica, que sirven como instrumento inicial para la elaboración de un trabajo científico.

Una metodología científica consiste, en líneas generales, en la unión de procedimientos aplicados en la producción de conocimiento científico. Su finalidad es garantizar que el conocimiento producido sea imparcial, lo más cerca posible de la realidad y que los experimentos que lo originaron puedan ser reproducidos por otros investigadores.

Cuando usted consigue delinear qué perfil de su investigación (cualitativa, cuantitativa, ambas), es mucho más fácil desarrollar y poner en práctica el proyecto. A continuación, se indican los principales métodos de investigación:

- a. Estudio de caso: es un enfoque de investigación que consiste en el enfoque de una o una pequeña cantidad de objetos de investigación (estudio multicaso es el nombre que se aplica a múltiples objetos). Este tipo de metodología es un enfoque ampliamente adoptado en las ciencias sociales, ingeniería y también en el área de salud. Sin embargo, en ciertos casos, algunos autores apuntan como limitación a la imposibilidad de generalizar los hallazgos.
- b. Búsqueda exploratoria: en contraste al estudio de caso, la investigación exploratoria se dirige a una investigación preliminar del principal objeto de investigación a realizar. La investigación exploratoria se realiza sobre un problema o cuestión de investigación que, en la mayoría de las veces, son asuntos con poco o ningún estudio anterior a su respecto. La investigación exploratoria es poco estructurada, justamente porque permite al investigador, como el propio nombre dice, explorar el objeto, hacerlo más claro. Debido a este carácter no estructurado, muchos autores y orientadores defienden que ella cumple la función de proveer al investigador de informaciones iniciales para generar hipótesis, a ser estudiadas por metodologías más estructuradas. Las investigaciones exploratorias pueden valerse de documentos, entrevistas con especialistas, observaciones, etc."
- c. Revisión de literatura: este tipo de investigación se destaca por resumir toda una información existente sobre determinado fenómeno, ya estudiado anteriormente. De una manera general, la revisión de literatura se vale de publicaciones científicas en periódicos, libros, anales de congresos, etc., resumiendo toda la información existente, de la forma más completa posible. La revisión literaria tampoco permite que haya transcripción de ideas. Las revisiones pueden ser estudiadas de dos formas, dependiendo del tipo de objetivo: (1) Revisión ad-hoc, cuando el investigador que ejecuta la revisión de un trabajo científico sometido para publicación en un Periódico o Revista Científica sin

necesariamente participar como miembro permanente del Cuerpo Editorial o de Revisores, y (2) Revisión sistemática, realizada de forma sistemática, respetando un conjunto de pasos que deben describir desde la fase de recolección de los estudios hasta el análisis de los mismos.

Capítulo 2: Fundamentación Teórica.

2.1. Familia xDSL.

ADSL es uno de una variedad de sistemas de línea de abonado digital (*Digital Subscriber Line, DSL*) que se construyen sobre la infraestructura de bucle de cobre de par trenzado existente. Estos diferentes tipos de tecnologías DSL se conocen popularmente como xDSL, lo que indica que se trata de una familia creciente de estándares y tecnologías relacionadas, todo listo para proporcionar comunicación de alta velocidad en largos tramos de cable de par trenzado (Poma C., 2017). En este caso, "x" representa cualquiera de las diferentes versiones de sistemas DSL que se muestran en la figura 2.1.

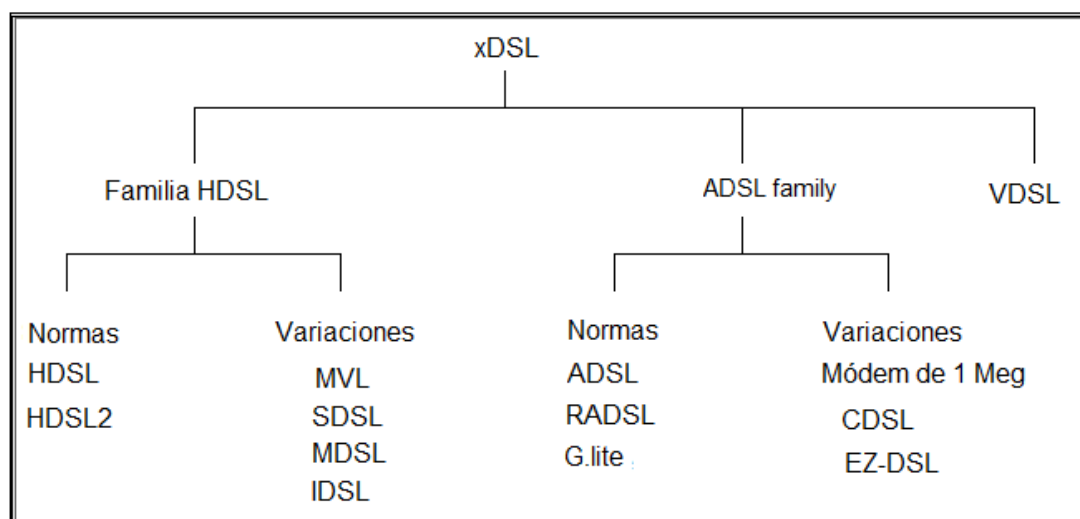


Figura 2. 1: La familia xDSL.

Elaborado por: Autor

La siguiente es una breve descripción de algunas de las categorías principales de la familia xDSL.

2.1.1. Sistemas HDSL

La línea de abonados digitales de alta velocidad binaria (*High bit rate Digital Subscriber Line, HDSL*) fue la primera versión o variante¹ del sistema DSL introducida, desarrollado por Bellcore a finales de los 80s, ofrece un DS1 dúplex completo sobre dos pares trenzados de hasta 12,000 pies de largo. Antes de HDSL, los servicios DS1 solo podían suministrarse instalando

repetidores de T-carrier en el bucle o utilizando fibra óptica y quizás instalando un nuevo cable de fibra.

Sin embargo, ambos enfoques eran costosos y consumían mucho tiempo. HDSL fue diseñado para proporcionar estas conexiones T1 de forma rápida y económica utilizando los pares de bucles existentes y solo requiere un equipo adicional en la oficina central y en las instalaciones del cliente.

HDSL es atractivo principalmente debido a su servicio pionero de alta velocidad (ancho de banda de transmisión de 800 kbps en cada bucle de abonado telefónico) en el bucle local. Sin embargo, no fue un buen candidato para los servicios universales de banda ancha por un par de razones. En primer lugar, se requieren dos pares para proporcionar un servicio completo de 1.5 Mbps y, en segundo lugar, no puede coexistir con los servicios de telefonía de voz en el mismo par. (Namir, Alen, Emir, & Narcis, 2018)

2.1.2. Sistemas SDSL.

La DSL de línea única (*Single-line DSL, SDSL*), aunque es de naturaleza simétrica (las mismas velocidades de transmisión en sentido upstream y downstream) como los sistemas HDSL, se distingue porque opera sobre un par trenzado simple y permite el transporte del servicio telefónico tradicional (*Plain Old Telephone Services, POTS*) analógico en la misma línea. Las velocidades de datos generalmente varían de 160 kbps a 2.048 Mbps.

Sin embargo, el problema con SDSL es que está NEXT (Near End Cross Talk) limitado. Esto limita su alcance operacional a aproximadamente 10,000 pies o menos a velocidades de datos más altas. (Gurrola, McGarry, Luo, & Effenberger, 2014)

SDSL, por lo tanto, resulta ser un servicio muy específico donde un usuario está cerca de la oficina central, los pares trenzados son escasos y el ancho de banda del canal ascendente es tan importante como el flujo descendente. Sin embargo, el ancho de banda bidireccional relativamente

amplio puede ser atractivo para muchas sucursales que tienen altos requisitos de carga y descarga.

2.1.3. Sistemas IDSL.

IDSL es una entrada más bien impulsada por un proveedor en el clan xDSL. IDSL significa red digital de servicios integrados DSL, (*Isdn DSL, IDSL*), que en realidad es redundante, ya que ISDN era en realidad la tecnología DSL original. De hecho, IDSL refleja fielmente la calificación de la Interfaz de velocidad básica (BRI) de RDSI. Proporciona 128 kbps de transporte de datos puro y no está diseñado para soportar POTS analógicos en la misma línea de acceso. (Abdelsalam, Luglio, Roseti, & Zampognaro, 2018)

La principal diferencia entre IDSL e ISDN es que, en lugar de terminar en un conmutador ISDN, IDSL termina en un enrutador con la mayor parte de su tráfico hacia y desde Internet. De esta manera, IDSL proporciona acceso dedicado en lugar de servicio conmutado. IDSL utiliza un solo par trenzado y cubre un lapso de aproximadamente 18,000 pies.

IDSL, por lo tanto, parece cumplir con dos de los criterios típicos para los servicios de banda ancha personal: gran cobertura y servicio de una sola línea, pero falla en su incompatibilidad con el servicio de voz y no llega a los anchos de banda que la mayoría de los usuarios necesitarán en el futuro. (Zych, 2015)

2.1.4. Sistemas ADSL.

Como su nombre indica, ADSL transmite flujos de datos asimétricos, con mucho más ancho de banda a lo largo del flujo descendente (para el suscriptor) en comparación con el flujo ascendente (desde el suscriptor hasta el proveedor de servicios). La razón de la naturaleza asimétrica de la transmisión tiene menos que ver con la tecnología de transmisión que con la propia planta de cable. Las líneas telefónicas de par trenzado están agrupadas en grandes cables. (Yoo & Ahn, 2005)

Una configuración típica tiene un cable que lleva unos cincuenta pares trenzados hacia el suscriptor, mientras que los cables que salen de una oficina central (*Central Office, CO*) pueden tener cientos o incluso miles de pares agrupados. Una línea individual desde una CO a un suscriptor se empalma de muchas secciones de cable a medida que se despliegan desde la oficina central. El cableado de par trenzado se usa básicamente para minimizar la interferencia de las señales de un cable a otro causada por la radiación o el acoplamiento capacitivo. (Baliar & Gofaizen, 2017)

Sin embargo, las señales se acoplan en cierta medida, y se combinan más a medida que aumentan las frecuencias y la longitud de la línea. Además, resulta que, si uno intenta enviar señales simétricas en muchos pares dentro de un cable, entonces la velocidad de datos y la longitud de la línea que se puede alcanzar están significativamente limitadas. El razonamiento detrás de esto implica el concepto de dos tipos de interferencias, a saber, la conversación cruzada de extremo cercano (NEXT) y la interferencia de extremo lejano (FEXT).

Además, muchas de las aplicaciones de destino para servicios de abonado digital son asimétricas. El video bajo pedido, las compras en el hogar, el acceso a Internet, el acceso remoto a LANs, el acceso multimedia, todos presentan altas demandas de velocidad de datos en downstream para el cliente, pero las tasas de datos relativamente bajas suceden en upstream.

Por ejemplo, las películas MPEG con controles de VCR simulados, requieren 1.5 o 3.0 Mbps en sentido descendente (downstream), pero pueden funcionar bien con no más de 64 kbps (o incluso 16 kbps) en sentido ascendente (upstream). En general, se considera que una proporción de 10:1 de ancho de banda descendente a ascendente no compromete el rendimiento en la mayoría de los casos. En la tabla 2.1 se muestran algunas de las aplicaciones ADSL típicas y los requisitos de ancho de banda correspondientes. La tabla proporciona la gama completa de ancho de banda que generalmente requieren varias aplicaciones, aunque es posible que no se requiera la implementación de ADSL en todo el rango.

También es digno de mencionar que ADSL permite la coexistencia de estas aplicaciones de datos junto con el antiguo servicio telefónico (POTS) en el mismo par y, en efecto, no afecta al POTS. Por lo tanto, proporciona al usuario siempre en servicio, es decir, uno puede hablar por teléfono o enviar un fax mientras navega por Internet en la misma línea. En conclusión, se consideraba a ADSL como una tecnología relativamente madura que pasó por varios años de desarrollo y pruebas.

Tabla 2.1: Aplicaciones típicas de ADSL y requisitos de ancho de banda correspondientes

Aplicaciones de negocios	Ancho de banda requerido (Mb/s)
Teletrabajo/SOHO	0.014 – 6.0
Internet	0.500 – 1.5
Video conferencia de escritorio	0.128 – 1.5
La educación a distancia	0.500 – 6.0
Recibimiento del sitio local	0.500 – 6.0
Telemedicina	0.500 – 6.0
Integración de Telefonía Informática	0.128 – 1.5
Aplicaciones de consumo	Ancho de banda requerido
Internet	0.500 - 1.5
Educación	0.500 - 6.0
Vídeo a la carta	3.0 - 6.0
Compras	0.500 - 1.5
Videojuegos interactivos	0.128 - 6.0

Elaborado por: Autor.

2.1.5. Sistemas RADSL.

El sistema RADSL es una DSL de tasa adaptativa (*Rate Adaptive DSL, RADSL*) que puede ser vista como una versión inteligente de ADSL. Puede evaluar automáticamente la condición del par trenzado y optimizar la velocidad de línea para una calidad de línea dada. Esta es una característica importante porque la calidad de los tramos varía ampliamente dependiendo de la edad, las prácticas de instalación, la proximidad a fuentes de interferencia eléctrica externas y una variedad de otros factores, como las condiciones climáticas, la hora del día, etc.

Los módems RADSL compensan automáticamente estas condiciones, permitiendo un ancho de banda completo en condiciones óptimas, pero reduciendo los anchos de banda (en lugar de permitir que las tasas de error aumenten) si la calidad de la línea se degrada. RADSL permite que el proveedor de servicios proporcione el servicio sin tener que medir una línea y ajustar o elegir manualmente un módem para que coincida.

Además, también permite que un proveedor proporcione, a través de un sistema de gestión, una tarifa de línea fija para que coincida con un servicio y una clase de tarifa en particular, en lugar de tener que inventariar una serie de módems de velocidades de datos específicas.

2.1.6. Sistemas G. LITE.

En lo que respecta al despliegue de ADSL, un obstáculo clave es la necesidad de instalar un divisor (o filtro dúplex) en las instalaciones del cliente para habilitar el servicio simultáneo de voz y datos. Básicamente, el divisor evita la interferencia entre las señales ADSL y los dispositivos POTS (por ejemplo, teléfonos, máquinas de fax, etc.). Aunque idealmente la voz y los datos (señales ADSL) ocupan distintas bandas de frecuencia, las señales ADSL de mayor frecuencia podrían afectar a los dispositivos POTS en el hogar, debido a las no linealidades en los dispositivos POTS.

La interferencia recíproca también puede ocurrir cuando un dispositivo POTS causa interferencia en la operación del módem ADSL. La instalación de

un divisor en las instalaciones del cliente requerirá que un técnico de telecomunicaciones vaya a las instalaciones del cliente. Un enfoque alternativo es tener un módem DSL con un divisor POTS incorporado, pero esto requerirá que se instale un nuevo cable en las instalaciones del cliente para volver a insertar las señales de voz en el cableado POTS doméstico.

Esto ha motivado el desarrollo de un módem ADSL sin divisores, que podría comprarse en el mercado y no implicaría el inconveniente de la instalación de nuevos equipos o cableado. El usuario podría simplemente enchufar el módem como los módems analógicos de hoy (o tenerlo incorporado en la PC) y conectarse. Dicho módem ADSL sin splitter pre-estándar se conocía como ADSL universal (UADSL). Esto se conoció como especificación G. Lite (oficialmente, Recomendación UIT-T G.992.2) en el UIT-T en octubre de 1998.

G. Lite es similar a RADSL ya que es de tasa adaptativa. Sin embargo, no tiene un divisor para evitar la interferencia entre los dispositivos POTS en el hogar y el módem G. Lite. En efecto, esto pone un límite a la velocidad de datos que se puede lograr con G. Lite, que ahora no solo depende de la longitud del bucle local sino también de las condiciones de cableado en el hogar y los dispositivos POTS conectados. En general, bajo condiciones de hogar y calidad de bucle aceptables, G. Lite proporcionaba hasta 1.5 Mbps en sentido upstream y hasta 512 kbps en sentido upstream a lo largo de 18,000 pies de bucle local y velocidades de datos más bajas en espacios más amplios.

El módem G. Lite básicamente reduce su energía tan pronto como detecta que un dispositivo POTS (por ejemplo, un teléfono) se descuelga, para evitar la interferencia de sí mismo con los dispositivos POTS. Este procedimiento se conoce como reacondicionamiento rápido, después del cual el módem G. Lite funciona a velocidades de bits más bajas (según lo limitado por la menor potencia disponible).

Los requisitos del módem G. Lite deben estar respaldados por el equipo estándar de American National Standard Institute (ANSI) ADSL (T1.413) en la oficina central (CO) para un despliegue más amplio y rápido.

2.1.7. Sistemas VDSL.

El sistema VDSL es un DSL de muy alta velocidad siendo una tecnología emergente que entregaba velocidades de datos de hasta 52 Mbps sobre el suscriptor en un lapso corto de cable de cobre y velocidades menores en períodos más largos. Las tasas ascendentes están en el rango de 1.5 Mbps a 2.3 Mbps. Se pueden admitir 52 Mbps en un par de 1000 pies, mientras que se pueden proporcionar hasta 15 Mbps para tramos de 3000 pies.

Las altas tasas soportadas por VDSL en períodos cortos son atractivas para aplicaciones como la distribución de programación de TV digital en el vecindario y para aplicaciones de fibra al borde (FTTC).

2.2. Redes de banda ancha basadas en ADSL: Arquitectura del sistema.

La figura 2.2 muestra un esquemático básico de una red de banda ancha típica basada en ADSL, donde los requisitos de banda ancha residencial pueden clasificarse típicamente en cuatro tipos de destinos a los cuales la red de banda ancha necesita proporcionar conectividad. Estos destinos incluyen Internet (a través de un ISP), la red corporativa (para el trabajo a distancia), los proveedores de contenido y la comunicación entre pares o persona a persona.

La arquitectura del sistema ADSL de extremo a extremo se puede dividir en las siguientes subredes: la red de las instalaciones del cliente, la red de acceso, la red de banda ancha regional y la red del proveedor de servicios. En la figura 2.3 se muestra una arquitectura más detallada del sistema.

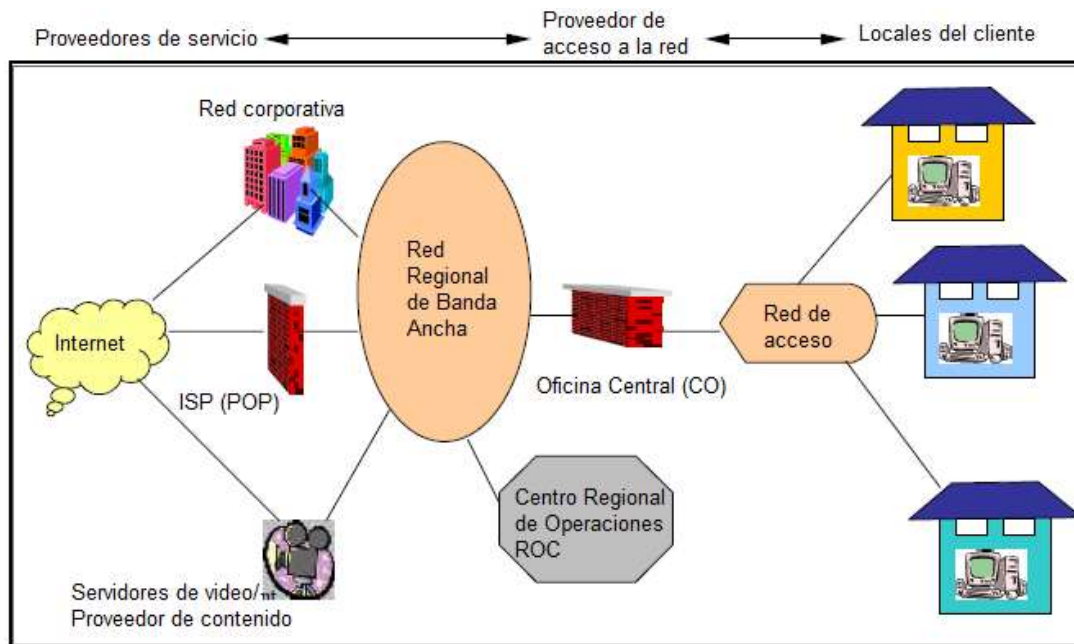


Figura 2. 2: Conectividad de banda ancha (configuraciones de acceso): Internet, redes corporativas, contenido local y comunicaciones punto a punto.
Elaborado por: Autor

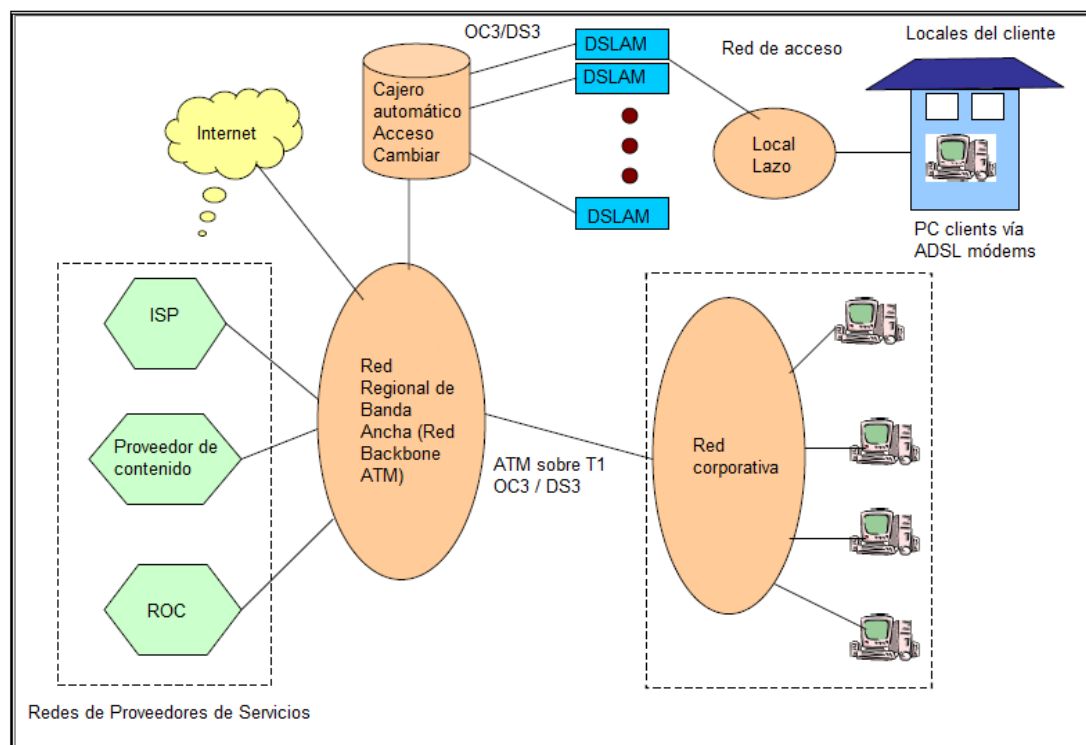


Figura 2. 3: Arquitectura de red de banda ancha basada en ADSL.
Elaborado por: Autor

2.2.1. Red de instalaciones del cliente.

La red de instalaciones del cliente incluye básicamente residencias, oficinas de pequeñas empresas y oficinas domésticas (SOHO). El módem

ADSL en las instalaciones del cliente denominado unidad terminal ADSL en la residencia (ATU-R) termina las señales DSL de la capa física. Normalmente, una red local del cliente puede contener un único host conectado a la ATU-R. Sin embargo, los SOHO pueden contener una o más PCs o estaciones de trabajo (véase la figura 2.4).

En tal caso, las múltiples PC u otros dispositivos que no sean PC pueden residir en una LAN y compartir una puerta de enlace común. La puerta de acceso a la red externa puede ser hardware dedicado, como un enrutador o un módem DSL externo, o un servidor de PC que actúe como enrutador o servidor proxy.

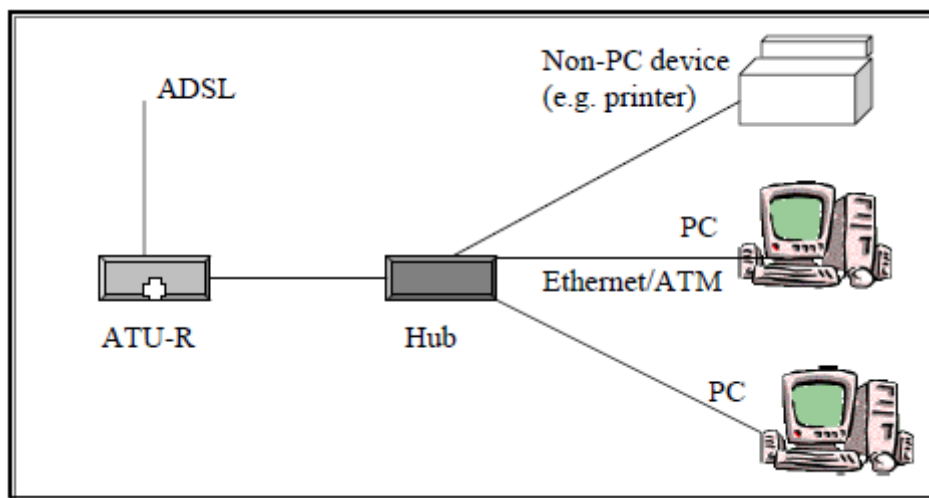


Figura 2. 4: Dispositivo sin PC (por ejemplo, una impresora) Un SOHO típico conectado a la red externa a través de la PC ATU-R.

Elaborado por: Autor

Un enrutador o una PC generalmente tienen dos tarjetas de interfaz de red (NIC): una para conectar el módem ADSL (o para que funcione como módem ADSL si la PC tiene una tarjeta de módem ADSL interna) y la otra para la LAN doméstica. En tal caso, la ATU-R puede incluso proporcionar funciones de capa superior, como la adaptación de ADSL a las interfaces de datos en el lado de las instalaciones del cliente (es decir, una interfaz LAN o NIC en una PC).

2.2.2. Red de acceso.

La red de acceso ADSL consta de los módems ADSL y el sistema multiplexor de acceso en el sitio central (CO o un terminal remoto) y los

módems ADSL en las instalaciones del cliente conectadas a través del bucle local. El módem ADSL en el sitio central se llama ATU-C, que termina las señales DSL de la capa física en el lado del sitio central de la red de acceso. El sistema de multiplexor de acceso y la ATU-C generalmente se denominan una unidad única llamada multiplexor de acceso DSL (DSLAM).

Dado que la interfaz de red de área amplia (WAN) es bastante costosa, la implementación de un esquema de multiplexación que proporcione una alta concentración de suscriptores y garantice la calidad de servicio negociada individualmente será un activo importante para los operadores de red.

En el caso de un escenario ATM sobre ADSL, el DSLAM actúa efectivamente como un multiplexor ATM, que finaliza el protocolo de señalización ATM entrante de cada cliente ADSL y genera una única interfaz de señalización de interfaz de usuario-red (UNI). El tráfico de varios DSLAM de este tipo se concentra y cambia a la red de banda ancha regional mediante un conmutador de acceso ATM. El conmutador de acceso al cajero automático puede o no estar ubicado junto con los DSLAM en el sitio central.

2.2.3. Red regional de banda ancha.

Una red regional de banda ancha, generalmente basada en una infraestructura de red óptica síncrona (SONET), interconecta varias COs en un área geográfica determinada. Existe una tendencia creciente a implementar ATM en esta infraestructura de SONET para la conectividad de banda ancha entre las COs y los proveedores de servicios.

2.2.4. Red de proveedores de servicios

Una red de proveedores de servicios generalmente incluye los proveedores de servicios de Internet (ISP), redes corporativas, proveedores de contenido y centro de operaciones regional (ROC). Los ISP proporcionan principalmente los recursos necesarios para un acceso eficiente a Internet a través de la red de acceso. Los ejemplos típicos de estos recursos son el ancho de banda a la red troncal de Internet, el servicio del sistema de nombres de dominio (DNS), las direcciones IP, el almacenamiento en caché web, etc.

2.3. Mercado para ADSL y requisitos de servicio de extremo a extremo

2.3.1. Oportunidades de negocio para redes de banda ancha basadas en ADSL

Las tecnologías ADSL proporcionan una nueva plataforma para la conectividad de alta velocidad y la prestación de servicios de banda ancha a oficinas y hogares de pequeñas empresas (SOHO). Es esta conectividad de alto nivel a hogares, pequeñas empresas y oficinas remotas que creará muchas nuevas oportunidades de negocios para los proveedores de servicios. Tales oportunidades incluyen:

- **Conectividad a Internet de alta velocidad**

Con el crecimiento explosivo de Internet en los últimos años, es uno de los principales impulsores del mercado para ADSL. ADSL puede ofrecer no solo acceso a Internet de alta velocidad, sino también un servicio siempre en línea que le permite al usuario navegar por Internet mientras habla por teléfono. Además, el proveedor de servicios también puede ofrecer servicios y herramientas de alojamiento web a los proveedores de contenido y consumidores.

- **Conectividad de sucursal**

ADSL se presta a la conectividad de las sucursales al reemplazar efectivamente las líneas arrendadas. La mayoría de las aplicaciones de computadoras personales de negocios realizan una comunicación asimétrica, lo que hace de ADSL una tecnología adecuada para conectar oficinas remotas a la empresa.

- **Servicios de teletrabajo**

Hoy en día, cada vez más empresas están adoptando el teletrabajo, lo que ofrece una oportunidad perfecta para la tecnología ADSL. Con la conectividad de alta velocidad a los hogares de los empleados, el operador de red puede ofrecer experiencia de oficina virtual a los teletrabajadores. Además, el operador de red puede proporcionar acceso nacional o incluso mundial a redes empresariales, ya sea a través de Internet o redes de banda ancha de área amplia. Esto ha llevado a una mayor disposición entre las empresas para invertir en servicios de red ADSL.

- **Servicios de empresa a empresa**

Las empresas que tienen un vínculo común pueden querer compartir una red privada virtual (VPN) que sea confiable y segura. El operador de red puede crear una red privada virtual utilizando ADSL junto con las redes troncales existentes para interconectar negocios. Otras empresas fuera del área de servicio del operador se pueden conectar a través de Internet mediante ciertos protocolos de túneles seguros.

- **Servicio de entrega de contenido**

Aunque una conexión de red de gran ancho de banda parece atractiva, puede hacerse más atractiva al mejorar la calidad y la cantidad del contenido que se entrega a través de ella. El contenido puede tomar cualquier forma, como catálogos de compras, servicios de viajes, listados de bienes raíces, páginas amarillas, música, videos, juegos, etc. Tal combinación de redes de alta velocidad y entrega de contenido enriquecido presentará una oferta atractiva para clientes comerciales y residenciales.

2.3.2. Requisitos funcionales del servicio.

Ahora, con estas oportunidades en mente, ciertos requisitos funcionales clave que deben abordarse para permitir un mercado masivo para ADSL son:

- **Fácil migración desde la infraestructura de acceso del proveedor de servicios de Internet (ISP) existente**

Actualmente, los ISP ya tienen una infraestructura para admitir el acceso telefónico de módem. Por lo tanto, cualquier nueva solución de acceso a Internet de banda ancha tendrá que tomar en cuenta esta infraestructura existente. Idealmente, el modelo de servicio de banda ancha para acceder al servicio ISP puede reutilizar la mayor parte de la infraestructura de red, administración y administración, como la administración de nombres de dominio y dirección IP, y por lo tanto no requerirá un cambio de paradigma para el ISP.

- **Conectividad Simultánea: Internet y Red Corporativa.**

Es posible que un teletrabajador que trabaje desde su casa tenga que acceder a Internet mientras trabaja, ya sea por razones relacionadas con el

trabajo o no relacionadas con el trabajo. Dos formas de permitir dicha conectividad simultánea son acceder a Internet a través de la puerta de enlace de la red corporativa o admitir una conexión a Internet separada simultáneamente con la conexión corporativa.

En muchos casos (especialmente para acceder a Internet por razones no relacionadas con el trabajo), la segunda forma puede parecer apropiada, ya que permite al teletrabajador acceder a Internet directamente sin utilizar los recursos de la red corporativa. Sin embargo, algunas empresas pueden no confiar en la conexión simultánea a Internet por motivos de seguridad.

- **Soporte multiprotocolo**

Dado que no es necesario que todas las corporaciones ejecuten exclusivamente el Protocolo de Internet (IP), la conectividad corporativa requiere la interconexión de redes no IP a través de la red de acceso ADSL. Por lo tanto, dicha conectividad implicará la negociación de protocolos y la asignación de direcciones.

- **Seguridad**

Además de la navegación web, dado que ADSL también se usará para aplicaciones como el teletrabajo y las redes privadas virtuales, la seguridad se vuelve crucial. Los teletrabajadores y las sucursales desean comunicarse con la empresa de una manera que admita la autenticación, la autorización y la privacidad.

- **La comunicación de multidifusión**

Los eventos en vivo ahora se ofrecen comúnmente en audio y video en Internet, y la multidifusión es el mecanismo de entrega preferido. Por ejemplo, durante una elección, la mayoría de los sitios de Internet con resultados en tiempo real están atascados con un gran número de usuarios que intentan iniciar sesión.

En cambio, si la información se puede eliminar mediante multidifusión, se puede evitar la congestión. Por lo tanto, la entrega de multidifusión IP a

hogares y pequeñas empresas es otro requisito crítico para la red de acceso ADSL.

- **Soporte de calidad de servicio (QoS)**

El operador de la red debe poder proporcionar múltiples clases de servicio para satisfacer las diferentes necesidades de los usuarios (por ejemplo, los usuarios de red ardientes en comparación con los usuarios ocasionales). Esto es importante ya que ha quedado muy claro que muchos servicios, incluido el acceso a Internet, no pueden depender únicamente de un paradigma de talla única. Algunas de las principales aplicaciones de banda ancha que deben ser compatibles con ADSL incluyen aplicaciones en tiempo real, como transmisión multimedia, videoconferencia, etc. Estas aplicaciones requieren algún tipo de garantía o calidad de servicio (QoS) para garantizar el rendimiento. La calidad de servicio también implica que la red puede evitar que usuarios agresivos o malintencionados consuman el ancho de banda de la red y degraden el rendimiento de otros usuarios.

2.4. Problemas de la capa física

Existen en efecto varios factores que permiten que las tecnologías DSL ofrezcan transmisión de banda ancha sobre la infraestructura de cobre de par trenzado existente, siendo el factor clave que las tecnologías DSL utilizan los recursos del espectro más allá del canal de voz de 3.3 kHz.

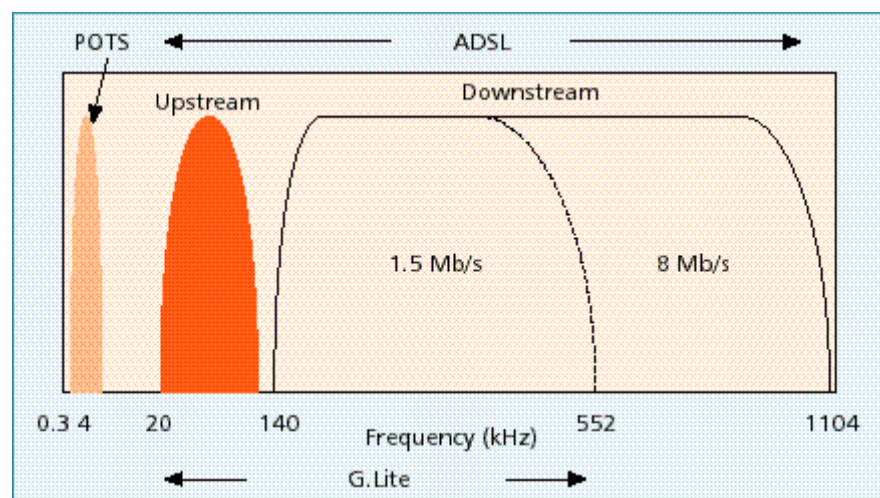


Figura 2. 5: Espectro de frecuencia de POTS (módems analógicos) frente a ADSL y G.Lite.

Elaborado por: Autor

Como se muestra en la Figura 2.5, un módem analógico, que utiliza una conexión telefónica convencional, está limitado al espectro de banda vocal (0-4 kHz) porque la señal debe encajar dentro del ancho de banda de la red telefónica pública conmutada (PSTN), que se divide en Circuitos basados en 4kHz. Por otro lado, los módems DSL pueden usar 1 MHz o un ancho de banda más amplio, ya que necesitan operar solo a través del bucle local (generalmente limitado a una distancia de 12,000 a 18,000 pies), que está dedicado a un hogar / oficina en particular desde la oficina central.

Además, los módems DSL aprovechan el procesador de señales digitales altamente sofisticado de hoy y las tecnologías de modulación avanzadas para adaptar dinámicamente las transmisiones a las características únicas del bucle de un par trenzado individual para optimizar las tasas de bits.

Dos de estas técnicas de modulación populares utilizadas para ADSL son la modulación de amplitud y fase sin portadora (CAP) y multitono discreto (DMT). DMT es un estándar ANSI (T1.413), mientras que CAP es un estándar patentado. CAP es similar a la cuadratura de amplitud y modulación de fase (QAM), ya que las dos portadoras ortogonales se modulan y luego se combinan. Sin embargo, la principal diferencia es que, en CAP, la modulación de la señal orthogonal se realiza utilizando dos filtros de paso de banda transversales digitales con igual amplitud y una diferencia de fase $\pi / 2$.

Luego, las señales se combinan y un convertidor de digital a analógico (DAC) convierte la señal digital combinada en analógica antes de la transmisión. El portador en sí se suprime antes de la transmisión y, por lo tanto, el adjetivo sin portador.

DMT es diferente de CAP, ya que utiliza muchas portadoras de banda estrecha y todas transmiten simultáneamente en paralelo. Utiliza la multiplexación por división de frecuencia (FDM) para lograr la transmisión simultánea de subportadoras. La modulación multiportadora requiere ortogonalidad entre todas las subportadoras.

En DMT, esto se logra utilizando la transformada rápida de Fourier (FFT), que es una de las formas convenientes de hacerlo, aunque otras transformaciones sofisticadas se han desarrollado recientemente. El estándar ANSI T1.413 de DMT especifica 256 subportadoras, cada una con un ancho de banda de 4 kHz.

Se pueden modular de forma independiente desde cero hasta un máximo de 15 b/s/Hz. Esto permite hasta 60 kbps por tono. (Algunas implementaciones admiten 16 b/s/Hz, lo que da velocidades de 64 kbps por tono). A bajas frecuencias, donde la atenuación del cable de cobre es baja y la relación señal a ruido (SNR) es alta, es común usar una constelación muy densa (más de 10 b/s/Hz es típica). En condiciones de línea desfavorables, la modulación se puede relajar para adaptarse a una SNR más baja, generalmente 4 b/s/Hz o menos, y aun así proporcionar la inmunidad al ruido necesaria.

También hay una tercera variante denominada multitono de wavelet discreto (DWMT), en la que la transformada wavelet se utiliza para lograr la modulación multicanal en lugar de la transformada rápida de Fourier (FFT). Se afirma que esto mejorará el rendimiento del sistema al mejorar la contención espectral de los canales.

Si bien las tecnologías DSL se implementan y se vuelven operativas, vale la pena considerar ciertos factores que pueden tener un efecto perjudicial o degradante en su rendimiento. Las deficiencias se pueden clasificar en dos categorías principales: físicas y eléctricas.

Las deficiencias físicas surgen de situaciones como el uso de medidores mixtos, derivaciones puenteadas que dan como resultado ramas no terminadas que reflejan señales y causan interferencias en las frecuencias xDSL más altas, empalmes incorrectos que causan micro-interrupciones de corta duración, uso de extensores de línea patentados y portadores de bucle digital (DLC).

Las deficiencias eléctricas se denominan generalmente como interferentes o perturbadores. Además del ruido térmico universal que se encuentra en la mayoría de los sistemas de comunicación, otros contribuyentes de ruido, como la interferencia de radiofrecuencia (RFI), el ruido de impulso y la diafonía afectan los esquemas xDSL.

En las frecuencias xDSL, una preocupación importante es la interferencia de radiofrecuencia (RFI). Esto se debe principalmente a varias estaciones de radio de modulación de amplitud (AM) que emiten en el mismo rango de frecuencia en el que operan los sistemas xDSL.

El ruido de impulso generalmente es causado por aparatos eléctricos, rayos o, lo que es más importante, cuando el teléfono descolgar o suena. Es de banda ancha en frecuencia y estrecha en el tiempo. La comunicación cruzada es, con diferencia, la mayor contribución al ruido que limita la capacidad de los sistemas DSL. Dos tipos diferentes de diafonía encontrados en los cables de acceso multipar son la diafonía de extremo cercano (NEXT) y la diafonía de extremo lejano (FEXT).

NEXT es la interferencia que aparece en otro par en el mismo extremo del cable que la fuente de la interferencia. Por otro lado, FEXT es la interferencia que aparece en otro par en el extremo opuesto o lejano del cable a la fuente de interferencia. NEXT afecta a cualquier sistema que transmita en ambas direcciones a la vez (por ejemplo, sistemas de cancelación de eco), y generalmente tiende a dominar sobre FEXT donde sea que ocurra.

NEXT puede eliminarse, en principio, al no transmitir en ambas direcciones en la misma banda al mismo tiempo, separando las dos direcciones en dos intervalos de tiempo no superpuestos o dos bandas de frecuencias no superpuestas (como en el caso de ADSL). Esto convierte la transmisión dúplex en transmisiones simplex independientes, evitando NEXT a costa del ancho de banda reducido (en sentido ascendente para ADSL).

A frecuencias suficientemente altas en las que ADSL opera, la ventaja de no transmitir NEXT supera la desventaja de la reducción del ancho de banda. Se recomienda a los lectores interesados en detalles adicionales sobre las técnicas de modulación (CAP/DMT) utilizadas para ADSL y otros problemas de la capa física que consulten.

2.5. Problemas de capas superiores

El campo de xDSL ha demostrado recientemente ser un área de interés para los investigadores. Aunque se han publicado numerosos trabajos de investigación y artículos en este campo, la mayoría se concentra en la capa física y los problemas de implementación.

Solo unos pocos trabajos de investigación abordan los problemas del servicio de banda ancha de extremo a extremo a través de DSL en términos de arquitecturas de protocolo, análisis de rendimiento y calidad de servicio. Hasta ahora, el desarrollo en esta dirección aún se encuentra en las etapas iniciales y, por lo tanto, tiene mucho margen para futuras investigaciones e innovaciones.

Esta tesis de investigación se ocupa principalmente de problemas de capa superior para una de las arquitecturas de red ADSL populares, centrándose en la parte de la red de acceso ADSL. Maneja los problemas de optimización del rendimiento y entrega de garantías de servicio sobre dicha arquitectura de protocolo. Por lo tanto, se reserva una discusión detallada de los protocolos de red de capa superior y los problemas relacionados para los siguientes capítulos.

CAPÍTULO 3: Diseño y evaluación del modelado de simulación

3.1. Usando Opnet Modeler para modelar redes.

Opnet Modeler fue desarrollado por OPNET Technologies, Inc. con sede en los Estados Unidos. Con sus capacidades para diseñar y analizar redes de comunicaciones, dispositivos, protocolos y aplicaciones, acelerando procesos de investigación y de desarrollo de redes. Los usuarios pueden analizar redes simuladas y comparar el alcance de diferentes tecnologías. Opnet Modeler ofrece un amplio soporte para protocolos y tecnologías y brinda un entorno de desarrollo para todos los tipos de tecnología de uso común, incluyendo VoIP, TCP, OSPFv3, MPLS, IPv6 y otros.

Incluye un potente núcleo de simulación de 32 o 64 bits de simulación de eventos discretos con soporte para simulación analítica. Una ventaja es que también dispone de la biblioteca de dispositivos de fabricantes mundialmente conocidos, CISCO, que, debido al código abierto, puede modificarse de acuerdo con las características requeridas. La simulación es ampliamente compatible con estadísticas, gráficos y análisis.

3.2. Características básicas de Opnet Modeler.

El Editor de OPNET Modeler consta de tres editores básicos:

- Editor de proyectos: editor gráfico para el modelado de topologías y la comunicación en red. Puede crear una red desde un nodo utilizando el método de arrastrar y soltar desde la Paleta de objetos, tal como se muestra en la figura 3.1.
- Editor de nodos: el editor de nodos representa una interfaz de nivel inferior que el editor de proyectos. Muestra la arquitectura del dispositivo o sistema de red y las relaciones entre los módulos funcionales y las funciones.
- Editor de procesos: el editor de procesos es una interfaz de bajo nivel, que está diseñado para producir la máquina de estado de última generación de máquinas de estado finito (*Finite State Machines, FSM*), diseñada para detallar detalladamente todos los niveles del modelo de simulación creado. Los estados y las transiciones se definen en el gráfico

generado en la ejecución de la simulación. Cada proceso de estado y modelo contiene un código de programación de alto nivel C/C++ admitido por una biblioteca grande.

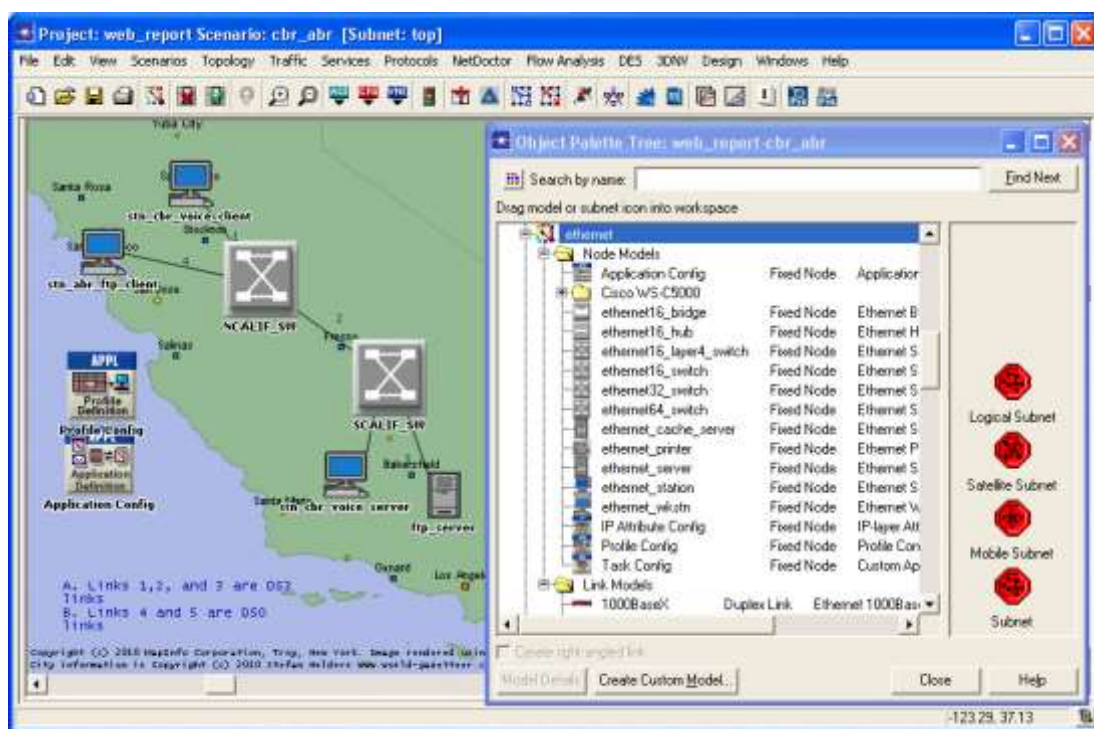


Figura 3. 1: Paleta de objetos del editor de proyectos.
Elaborado por: Autor

3.3. Modelado del tráfico de red

En Opnet Modeler se puede definir el funcionamiento de la red de dos maneras. Como explícito o segundo plano (Background). El tráfico explícito simula la creación de cada paquete y esperando en la cola. Este método de modelado es más preciso, pero tiene mayores exigencias en cuanto a la potencia de cálculo (cómputo), por lo que es más lento.

El tráfico explícito se puede modelar usando los siguientes métodos:

- Simulando la creación de paquetes: cada generador de paquetes de paquetes se asigna a cada nodo de acuerdo con los parámetros especificados por el usuario. Este método está especialmente diseñado para explorar las tecnologías de la segunda capa OSI (Ethernet, ATM, Frame Relay). Se utiliza el generador de paquetes sin procesar (Raw Packet Generator, RPG) e IP_STATION de la biblioteca compartida para generar.

- Modelado de tráfico de aplicaciones: utiliza aplicaciones predefinidas en el objeto de configuración de la aplicación de la paleta de utilidades, se puede simular el comportamiento de algunas aplicaciones, como FTP, HTTP, correo electrónico.
- Requisitos de aplicación de modelado: los requisitos de la aplicación caracterizan el tráfico como el tamaño y la velocidad de las solicitudes entre los dos nodos. En comparación con el modelado de aplicaciones, son más fáciles de configurar. Los requisitos del modelo pueden ser configurados como un explícito puro o la ejecución en segundo plano, o una combinación.

La operación de fondo de línea afecta el tráfico explícito al agregar latencia variable debido a diferentes longitudes de colas de entrada y salida. Este tipo de operación no se incluye en las estadísticas resultantes. A diferencia de la operación explícita, los paquetes individuales no se simulan, por lo que la velocidad de simulación es considerablemente mayor. Las operaciones de línea se pueden modelar de las siguientes maneras:

- Flujos de tráfico: establezca el flujo de datos del modelo de solicitud entre los dos nodos de la red a través de los nodos designados.
- El Modelo de demanda de la aplicación - también puede incluir tráfico de fondo. Más en el modelado de tráfico explícito.
- Cargas de línea base: este tipo de tráfico es una carga de línea o nodo. A diferencia del flujo de flujo, se enlaza con un objeto, línea (carga de línea) o dispositivo (uso de CPU).

3.4. Configuración de aplicaciones y perfiles.

La aplicación de los perfiles y los perfiles se realiza mediante Application Config y Profile Config. Las aplicaciones soportadas son: (a) aplicación personalizada, (b) base de datos, (c) email, (d) FTP, (e) HTTP, (f) impresión, (g) inicio de sesión remoto, (h) videoconferencia, y (i) voz.

Todas estas aplicaciones tienen valores predefinidos en carga baja, carga media, carga alta. Para esto se basará en aplicaciones predefinidas,

que pueden crear su propia aplicación ajustando configuraciones como, Tipo de codificador, Tipo de servicio (ToS) – que se trata en la sección 3.4.1, mezcla de tráfico. La configuración de perfil se utiliza para definir un perfil de aplicación. Los perfiles sirven para utilizar aplicaciones definidas en la configuración de la aplicación.

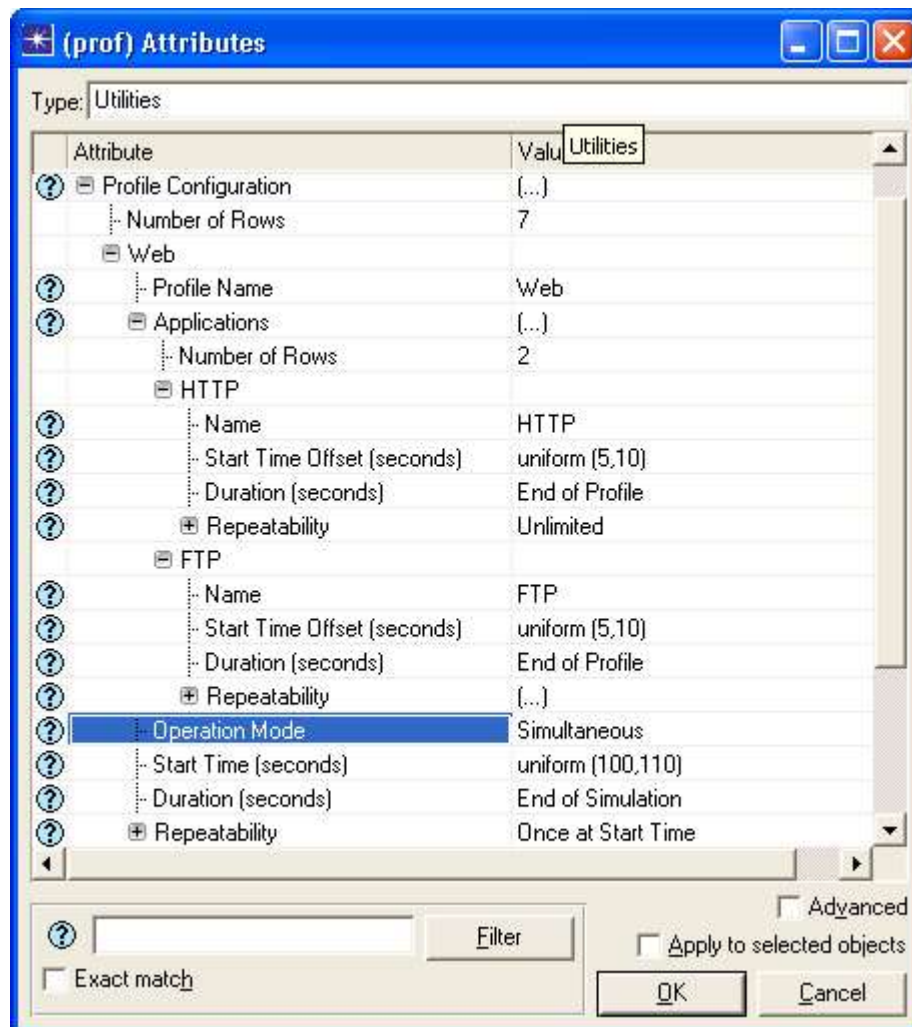


Figura 3. 2: Configurando perfiles de aplicaciones.

Elaborado por: Autor

En este perfil, se puede configurar cómo iniciar aplicaciones desde el perfil (Modo de Operación – Operation Mode) al mismo tiempo (Simultáneo - Simultaneous) o serie (serial), es decir, consecutivamente. También es posible configurar la hora de inicio y la duración (Duration). Además de los perfiles personalizados, también se puede utilizar algunos predefinidos seleccionando la opción perfiles de muestra. Estos perfiles representan tipos seleccionados de usuarios, como ingenieros, investigadores, clientes de comercio electrónico, entre otros.

3.4.1. Establecer tipo de servicio.

Para la calidad de servicio (*Quality of Service, QoS*), se puede utilizar la configuración de tipo de servicio (*Type of Service, ToS*) para cada aplicación. Esta configuración ofrece siete perfiles con requisitos de calidad de transmisión cada vez mayores desde mejor esfuerzo – Best Effort (0) ha reservado – Reserved (7), tal como se muestra en la figura 3.3 (lado izquierdo). Por el tipo de servicio, a cada paquete se le asignan los primeros tres bits (precedencia de IP). Estos bits se encuentran en el encabezado del paquete en el campo ToS, es decir, el etiquetado de la tercera capa.

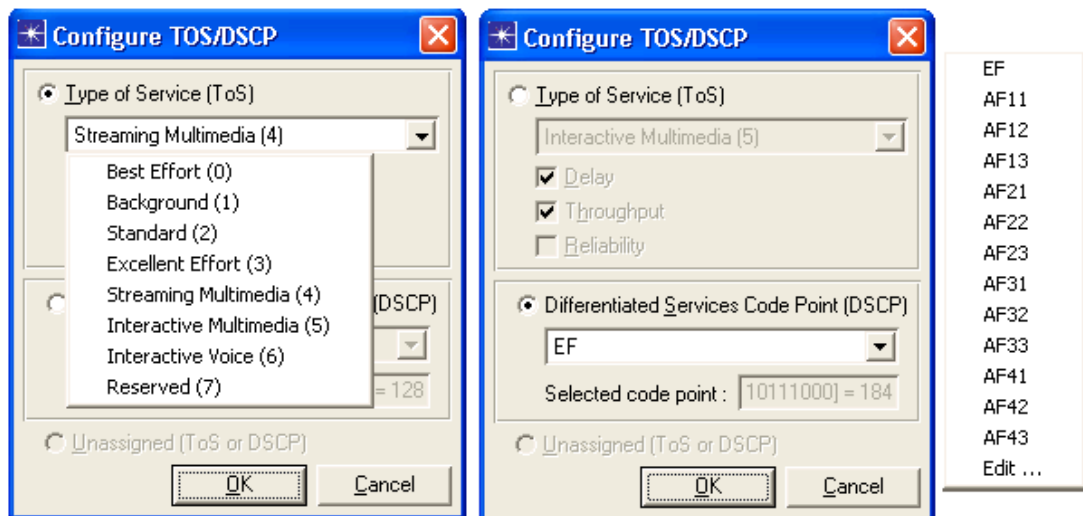


Figura 3. 3: Configuración del tipo de servicio ToS / DSCP.
Elaborado por: Autor

De manera similar a ToS, también se utiliza el punto de código de servicio diferenciado (*Differentiated Services Code Point, DSCP*). Utiliza 6+2bits, en los primeros 6 bits más altos del campo ToS proporciona opciones de clasificación más complejas y progresivas. En las soluciones de hoy, un método preferido es parcialmente compatible con la precedencia de IP.

3.5. Implementación de redes de acceso.

Uno de los objetivos del presente trabajo de titulación fue explorar las posibilidades de implementar redes de acceso en Opnet Modeler. La parte práctica fue implementada en el software Opnet Modeler. Actualmente, existe la versión 18.0 conocida como Riverbed Modeler que está disponible, por lo que es posible que se hayan producido cambios mientras tanto,

especialmente en términos de bibliotecas de hardware o soporte para nuevas tecnologías. Los proyectos creados en la versión anterior son compatibles con los nuevos, pero no al revés.

El presente trabajo se ha dividido en una subred (Backbone), es decir, una red troncal, agregación (o distribución) y una red local. Además, también se utiliza la subred del proveedor de servicio de internet (*Internet Service Provider, ISP*), donde se ubican los servidores y enrutadores para los servicios individuales y las aplicaciones proporcionadas a los clientes finales.

3.6. FTTH sobre GPON.

La compatibilidad con dispositivos y redes ópticas en el software Opnet Modeler es limitada. Si contiene canales de fibra utilizando fibra óptica. Fibre Channel es una tecnología que se utiliza en una red de área de almacenamiento (SAN). Normalmente es una red de alta velocidad de corto alcance con el propósito especial de conectar diferentes tipos de dispositivos de almacenamiento y servidores de datos a la red corporativa. Las bibliotecas de OPNET Modeler en la versión 14.5 no incluyen conmutadores ópticos, terminales de interfaz óptica o redes ópticas pasivas (*Passive Optical Network, PON*). La biblioteca de Fibre Channel no era suficiente para este propósito, por lo que no fue posible crear un modelo de red de acceso.

3.7. Modelamiento de sistemas ADSL.

Para modelar la red DSL, la biblioteca "xDSL toolkit" está designada en OPNET. Incluye un dispositivo terminal para el cliente "módem xDSL" y el proveedor de multiplexores DSLAM, que ofrece líneas simplex de una sola vía tanto en sentido ascendente (upstream) como descendente (downstream).

3.7.1. Topología de acceso y agregación.

La parte principal de la topología de la red de acceso se encuentra en la subred local. Esto incluye el objeto DSLAM y las otras dos subcarpetas Customer1 y Customer2, tal como se muestra en la figura 3.4.

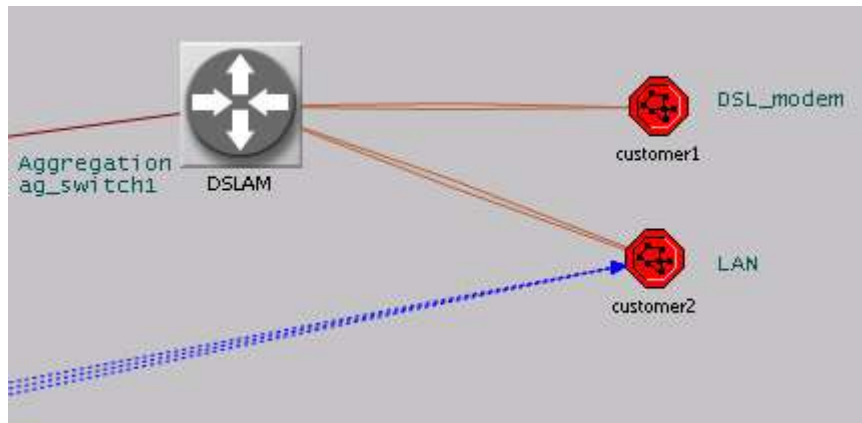


Figura 3. 4: Local_ADSL.
Elaborado por: Autor

Customer1 es una subred que contiene los puntos finales del cliente "VoIP_client", "PC_client" y "TV_client". Estos dispositivos son del tipo "ethernet_wkstn". Los dispositivos están conectados al objeto local_switch1, que es el conmutador de red local en el cliente. Este interruptor está asociado con el objeto DSL_modem, tal como se muestra en la figura 3.5 y que utiliza 100BaseT Ethernet dúplex para vincular todos estos objetos.

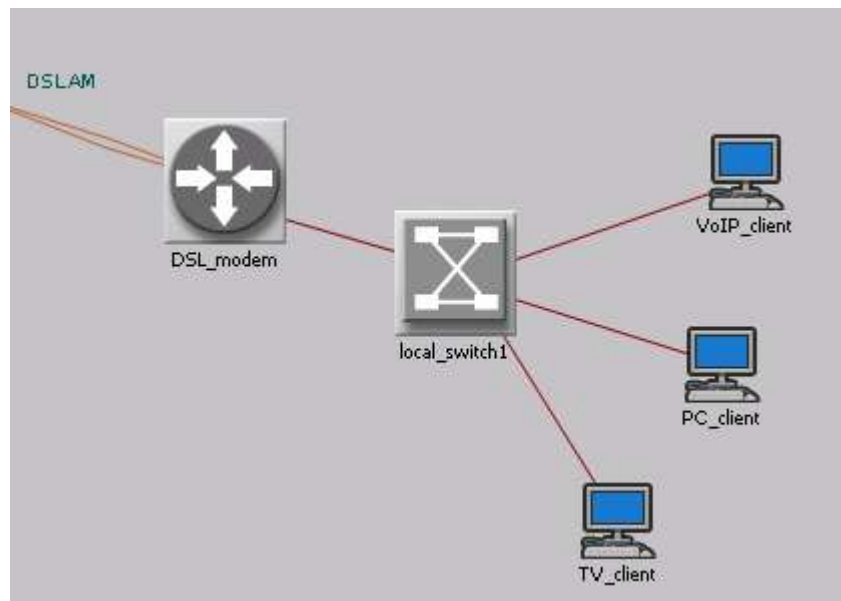


Figura 3. 5: Cliente de subred 1.
Elaborado por: Autor

El objeto de módem DSL se conecta al nodo DSLAM mediante dos líneas unidireccionales ADSL_IP_upstrm y ADSL_IP_dwnstrm. En el caso de la línea ascendente, al editar los atributos se establece en 512 Kbps y la velocidad descendente es 8 Mbps, que es la velocidad máxima de la

tecnología ADSL. Se pueden conectar hasta 32 clientes (módems xDSL) a un objeto DSLAM en la configuración estándar.

Para evaluar el impacto del funcionamiento de la red de acceso en la calidad del servicio al cliente en la subred del Cliente1, se creó una subred Customer2 para simplificarlo. Se reemplaza esta red con otros clientes que se conectaban al mismo DSLAM. La subred Customer2 sirve, así como una carga para el DSLAM y también una línea frente a la red de agregación a la red local.

La red Customer2 incluye un módem DSL, así como Customer1 y un objeto 100BaseT_LAN (véase la figura 3.6), que representa una red Ethernet local con un número ajustable de clientes. La velocidad de línea entre la agregación y el DSLAM es de 100 Mbps, por lo que se estableció la velocidad de 96 Mbps en la salida a la subred del Cliente2. Esta velocidad no es posible en la práctica, pero se puede configurar para modelar la carga. Los subconjuntos Cliente1 y Cliente2 tienen una velocidad de conexión teórica desde DSLAM hasta 104 Mbps, aproximadamente equivalente a la velocidad de entrada DSLAM.

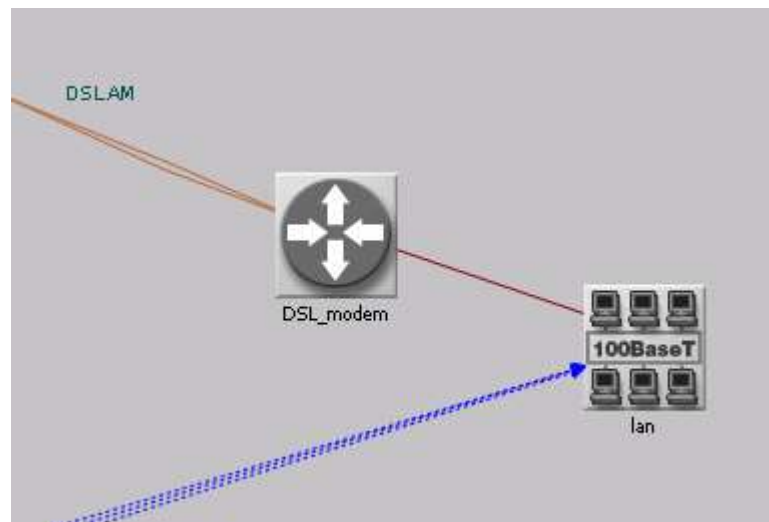


Figura 3. 6: Cliente de subred 2.
Elaborado por: Autor

El DSLAM está conectado al ag_switch1 en la red de agregación mediante 100BaseT dúplex Ethernet (véase la figura 3.7). El conmutador de agregación se conecta a la derecha de la línea DSLAM (en el modelo

desarrollado, una línea) y de la línea de la izquierda a los enrutadores "ag_router1_vod", "ag_router2_voip", "ag_router3_www". Cada enrutador está diseñado para un tipo de video, como VoD, voz (VoIP) y datos (WWW).

Estos enrutadores se conectan aún más a la red troncal mediante líneas de Protocolo Punto a Punto (PPP) con la Velocidad de Edición de Atributos / Datos. En este caso, se configura la velocidad a SONET/OC24, que es 1244.16 Mbps (OC24 = STM8).

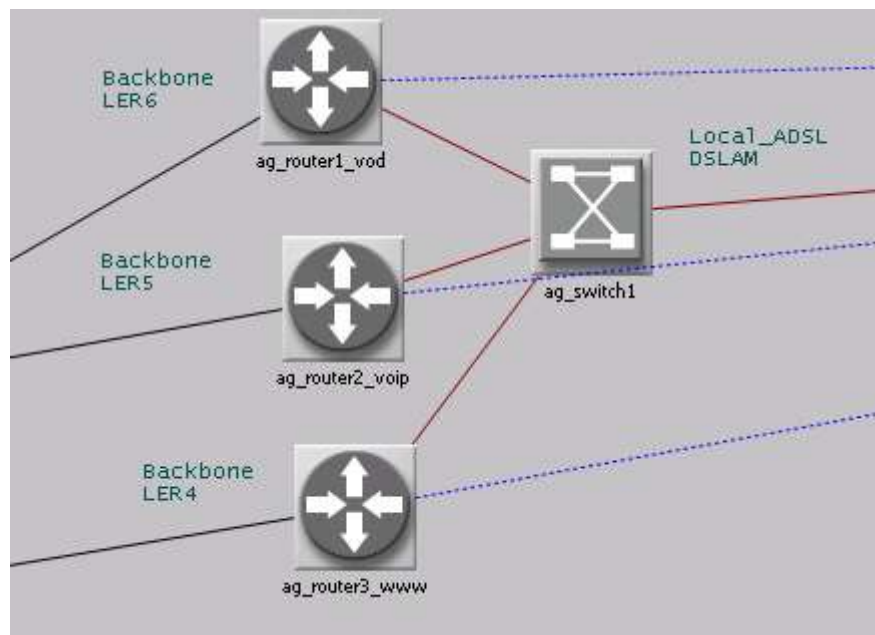


Figura 3. 7: Agregación de subred.
Elaborado por: Autor

3.7.2. Topología en el lado del proveedor de servicios.

Para una mejor explicación del proyecto de titulación, se separan los servidores de cada proveedor de servicios en una subred separada llamada Proveedor. Esta subred incluye un servidor para los servicios de datos "WEB_server", para los servicios de VoIP "VoIP_server" y para el servicio de video a pedido "VoD_src".

Cada servidor está conectado a un enrutador independiente por tipo de servicio mediante una línea dúplex 1000BaseX. WEB_server está conectado a los enrutadores "bb_r3_www", VoIP_server a "bb_r2_voip" y "VoD_src" a "bb_r1_vod". Todos los enrutadores están conectados de manera similar a la

red troncal mediante líneas PPP a una velocidad de SONET/OC24 de 1244.16 Mbps (OC24=STM8), tal como se muestra en la figura 3.8.

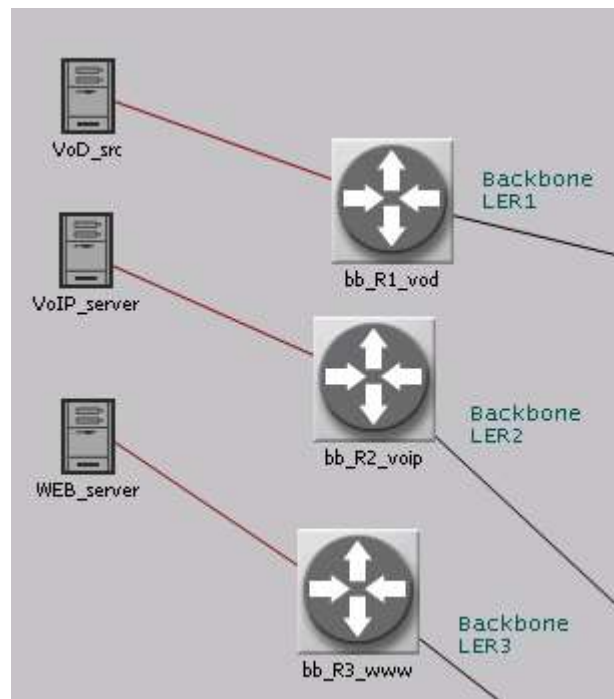


Figura 3. 8: Proveedor de subred.
Elaborado por: Autor

3.8. Ethernet

Las redes Ethernet tienen un amplio soporte para la plataforma de simulación Opnet Modeler para todos los tipos de 10BaseT, 100BaseT, 1000BaseX e incluso 10Gbps_Ethernet. Como otro tipo de red de acceso, se decide modelar 100BaseT Ethernet para el cliente.

3.8.1. Topología de redes de acceso y agregación.

La red de acceso a Ethernet es similar a ADSL, pero implementada en la subred local. Consta de dos conmutadores Customer1, Customer2 y Ethernet local_switch2. La subred del cliente 1 tiene un enrutador de cliente local_router junto con el interruptor "local_switch1". Este interruptor está conectado a los terminales del cliente "VoIP_client", "PC_client" y "TV_client" tipo "ethernet_wkstn".

En la subred del Cliente, hay un objeto llamado "100BaseT LAN", y una red Ethernet local en el cliente. Tanto Customer1 como Customer2 están

subdivididos en el conmutador "local_switch2". Para lo cual se utilizó la línea 100BaseT para vincular todos los objetos en la subred local. La subred Cliente2 es la misma que en el cableado anterior para cargar objetos de red de acceso como "local_switch2" y las líneas entre las subredes de acceso y de agregación. Para conectar el conmutador "local switch 2" y "g switch1" en la subred agregada, se utiliza la línea 100BaseT.

El conmutador en la capa de agregación "ag_switch1" tiene, además de la subred local, también una conexión a la subred troncal a través de los enrutadores "ag_router1_voip", "ag_router2_vod" y "ag_router3_www". Sirven para enrutar paquetes según el tipo de servicio entre la red troncal y la red de agregación. También se utilizó la línea 100BaseT para vincular los enrutadores y el interruptor de simulación. Finalmente, los enrutadores de subred agregados están conectados a la red troncal bajo el tipo de línea SONET/OC24 PPP, que es 1244.16 Mbps (OC24 = STM8).

3.8.2. Topología en el lado del proveedor de servicios

Debido a que el objetivo del modelo de simulación es modelar la red de acceso, para simplificar, también se eligió la misma subred del proveedor de servicios en las conexiones Ethernet, que consiste en servidores para los servicios, enrutadores y conexiones troncales.

3.9. Configuración de servicios en ADSL y Ethernet.

3.9.1. Configurar aplicaciones

Para simular servicios de triple play, voz, imagen y datos, se ha decidido aprovechar Application Traffic Modeling. Este método, permite crear tráfico explícito basado en aplicaciones predefinidas o personalizadas. Las aplicaciones generan tráfico explícito, y dichas aplicaciones fueron editadas desde de tipos de aplicaciones predefinidos.

VoIP

Para el modelado de voz, se ha creado una aplicación llamada VoIP. Esto incluye voz-calidad de voz PCM. Esta configuración está estandarizada por el códec G.711 ("Esquema del codificador") y el tipo de servicio "Interactiva

de voz (6)". Otras configuraciones del sistema se pueden ver en la figura 3.9. El códec utilizado garantiza la máxima calidad de transmisión de voz posible. La aplicación VoIP es un flujo bidireccional de datos entre la llamada de la red de abonado y el que llama.

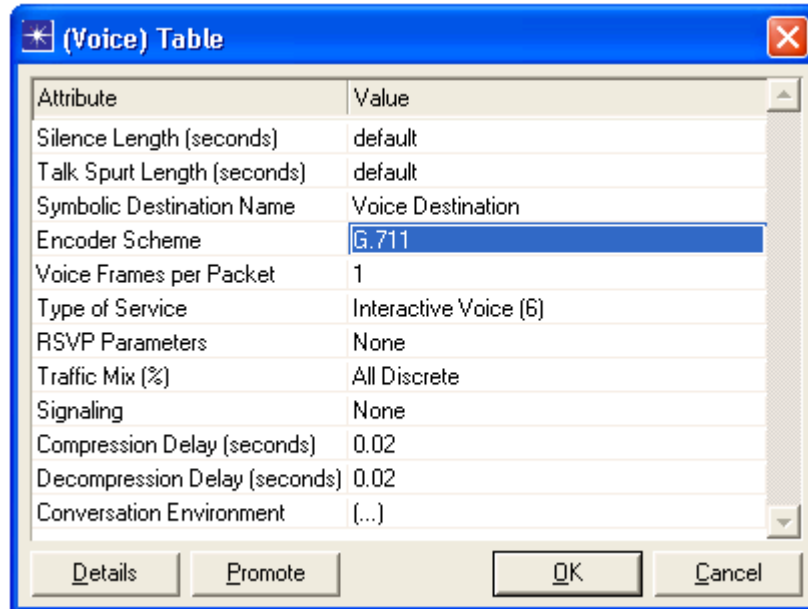


Figura 3. 9: Configurar una aplicación de voz.
Elaborado por: Autor

FTP a HTTP

Se van a utilizar las aplicaciones FTP y HTTP para modelar la transferencia de datos. Estas se basan en las aplicaciones admitidas "Ftp-high load" y "Http-heavy". Para establecer la intensidad de los requisitos de descarga para el archivo "Inter-Request Time", se puede seleccionar una de las particiones. Para esta división, se establece 180 en el campo "Resultado promedio" (véase la figura 3.10), que es el valor de distribución promedio de 180 segundos. El tamaño del archivo se establece en "_Files size (bytes)" a "constante (20,000,000)", que es un tamaño constante de aproximadamente 20 MB. El tipo de servicio es "_Best Effort (0)" de manera predeterminada. Los otros parámetros se pueden ver en la figura 3.10.

La aplicación HTTP se ha modificado la página de tiempo entre llegadas "_Page Interarrival Time (seconds)" a exponencial "exponential (50)", que es una frecuencia de visitas de página generadas por división exponencial con

un valor medio de 50 segundos, tal como se muestra en la figura 3.11. A continuación, se cambian las propiedades de la página ("_Page properties").

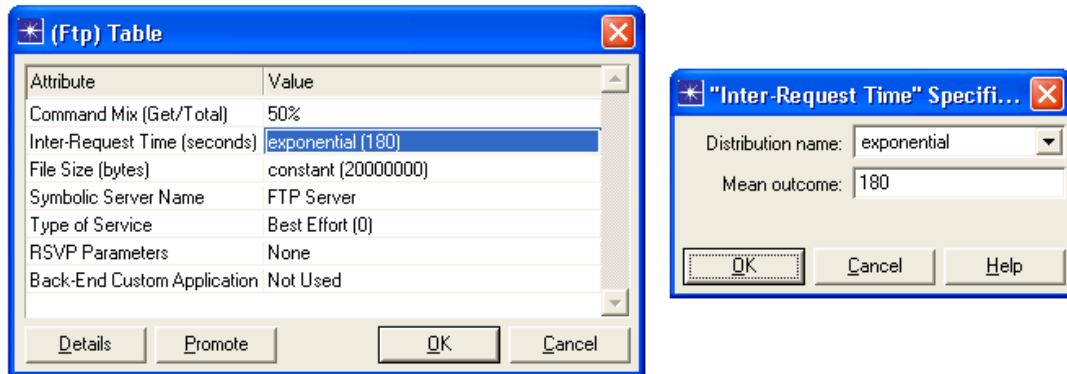


Figura 3. 10: Configurar una aplicación FTP.
Elaborado por: Autor

La página contiene 15 objetos del tamaño de 1000 bytes ("_Number of Objects", y "_Object Size") y 8 imágenes de tamaño mediano. El tipo de imagen se dimensiona en bytes generados por una partición uniforme con parámetros de 4000,75000 (uniform_int 4000,75000).

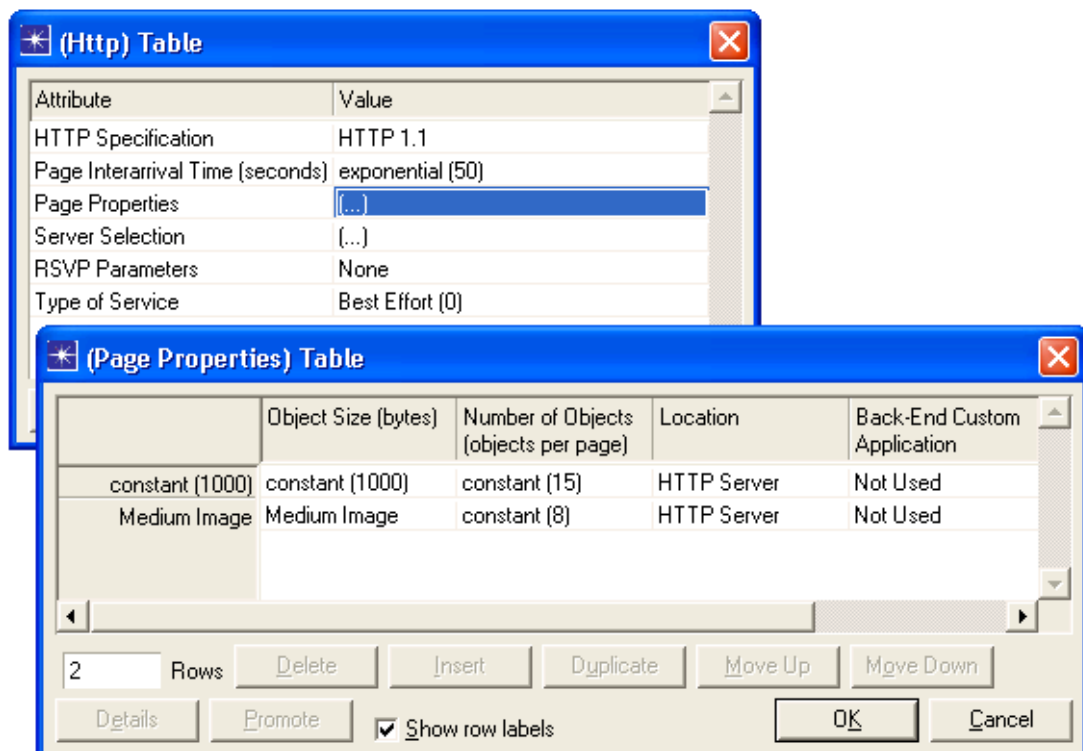


Figura 3. 11: Configurar una aplicación HTTP.
Elaborado por: Autor

VoD_SD a VoD_HD

Los perfiles de video a demanda (VoD) se basan en la aplicación "Video Conferencing". Esta aplicación es una videollamada, pero también la he usado como transmisión de video para usuarios de VoD después de la edición. Se requiere un ancho de banda estándar de 1-2 Mbps para la resolución SD estándar. Mientras, que para alta resolución HD requiere de un ancho de banda entre 4 y 8 Mbps. Por lo tanto, se ha configurado para vídeo SD en 2.5 Mbps y para HD en 6 Mbps.

En el primer atributo de información de tiempo de llegada entre fotogramas (_Frame Interarrival Time Information), se establece la configuración de "30 tramas/s", lo que significa que se generan 30 cuadros por segundo. Se calcula el tamaño del cuadro ("Información del tamaño del cuadro") por el flujo de datos deseado. Al calcular el valor, se descubre que para el flujo descendente funciona con una tasa de bits de 2,5 Mbps, el tamaño del cuadro es 10420 B, por lo que se establece la constante en el atributo "Tamaño de cuadro de flujo entrante" (10420) (véase la tabla 3.1).

Tabla 3. 1: Calcular el flujo de datos para VoD

velocidad de fotogramas por segundo	tamaño de trama [B]	Velocidad de bits [B]	Flujo de datos [b]	Flujo de datos [Mbps]
30	10420	312600	2500800	2,5008
30	25000	750000	6000000	6

Aunque el servicio de vídeo a enviar despacha prácticamente cualquier flujo de vídeo hacia la aplicación de servidor "videoconferencia" y que requiere ajustar el flujo de salida ("Tamaño trama de flujo saliente" (bytes)). Es por eso por lo que se establece el valor constante (1), que a una intensidad de 30 cuadros por segundo represente un flujo insignificante de 17,000 Bps. Se ha configurado el tipo de servicio en "Streaming Multimedia (4)" y otras configuraciones se observan en la figura 3.12.

Para VoD_HD, la diferencia en la configuración del tamaño del flujo entrante se encuentra en el atributo "Tamaño de cuadro de flujo entrante",

donde se configura los bytes de tamaño constante (25000), correspondientes a un ancho de flujo de datos de aproximadamente 6 Mbps (véase la tabla 3.1).

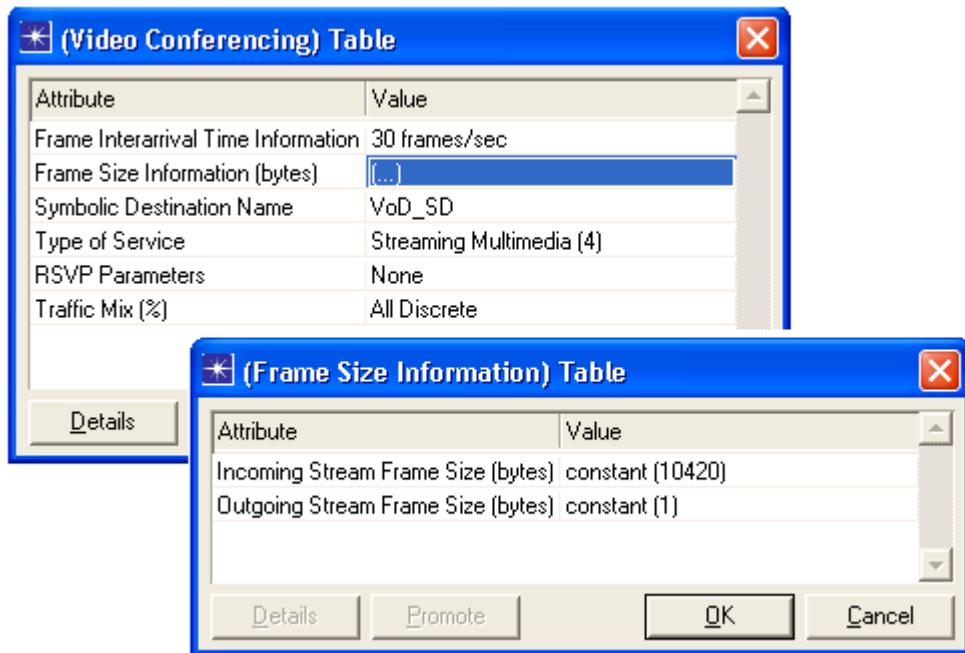


Figura 3. 12: Configurar una aplicación de videoconferencia.
Elaborado por: Autor

3.9.2. Configuraciones de perfil

Para usar aplicaciones, se crearon perfiles utilizando el objeto "Definición de perfil". A continuación, se describen cada uno de los perfiles:

- d. **Web:** el perfil web sirve para la transmisión de datos entre el servidor "WEB_server" y el cliente "PC_client". Consiste en dos aplicaciones HTTP y FTP que se ejecutan simultáneamente (Modo de operación - Simultánea).
- e. **VoIP:** el perfil VoIP sirve para la transmisión de voz entre el servidor "VoIP_server" y el cliente "VoIP_client". Contiene una sola aplicación de VoIP.
- f. **VoD_SD a VoD_2SD:** el perfil VoD_SD contiene una aplicación VoD_SD, un canal de video a pedido. **Representa** la transferencia de información de imagen entre el servidor "VoD_src" y el cliente "TV_client". En el perfil VoD_2SD hay dos aplicaciones VoD_SD, en contraste con el perfil VoD_SD, que representa la transmisión de dos canales de Definiciones estándar.

g. VoD_HD: el perfil VoD_HD, como VoD_SD, sirve para transmitir video a demanda desde el servidor "VoD_src" al cliente "TV_client". Consiste en una aplicación VoD_HD que representa video de alta definición.

3.9.3. Configuración del tráfico.

La carga de línea entre los enrutadores de subred agregadores y la red local se realizó utilizando aplicaciones de Demanda de Aplicación. Se crearon tres corrientes. Todos comienzan en el enrutador apropiado por tipo de tráfico y terminan en un objeto LAN en la subred Local.Customer2. Se calcula el tamaño de los flujos individuales según el tipo de operación del tipo dado para el cliente actual, de la siguiente manera:

Un cliente necesita un ancho de banda de aproximadamente 2.5 Mbps para transferir un canal VoD_SD. Para la transmisión de correo de voz, VoIP necesita aproximadamente 120 kbps. Para servicios de datos (WWW, FTP) se dejará un ancho de banda de aproximadamente 2 Mbps. Para un cliente con estos servicios, se requiere aproximadamente 4,62 Mbps. El ancho total del flujo de datos del modelo viene dado por el múltiplo de los flujos individuales para que no exceda la capacidad de la línea. Para escenarios con un canal SD, voz y datos, esto es, por ejemplo, veinte veces la capacidad de un cliente, es decir, 92.4 Mbps. El ancho de banda restante se utiliza para transferir datos a un cliente de subred Customer1.

3.10. Despliegue de MEN, MPLS

Otro objetivo del trabajo de titulación fue estudiar el modelo de simulación ya completado de la red de agregación y red troncal MEN y MPLS, así como también la de diseñar y realizar su mejora en términos de resistencia de red contra pérdida de líneas, nodos y otros posibles.

3.11. Análisis de redes.

El modelo de simulación original consiste en una red troncal y estaciones de trabajo cliente (véase la figura 3.13) La red backbone consta de enrutadores internos de tipo LSR etiquetados LSR_1 a LSR_8. Además, hay

marcadores de borde LER etiquetados LER_1 a LER_6. Los enrutadores están vinculados por líneas PPP a velocidad DS3.

Los enrutadores de terminal están conectados a estaciones de trabajo de clientes que transmiten o reciben datos a través de la red MPLS. Los flujos de datos de voz, datos y video se definen según los requisitos de la aplicación (solicitudes de aplicación). Los enrutadores definen las siguientes rutas:

- LER1 -> LER2
- LER1 -> LER4
- LER1 -> LER5
- LER3 -> LER1
- LER2 -> LER6
- LER5 -> LER3
- LER6 -> LER4

Los enrutadores están configurados en una QoS de cola justa ponderada (Weighted Fair Queue, WFQ), con valores predeterminados

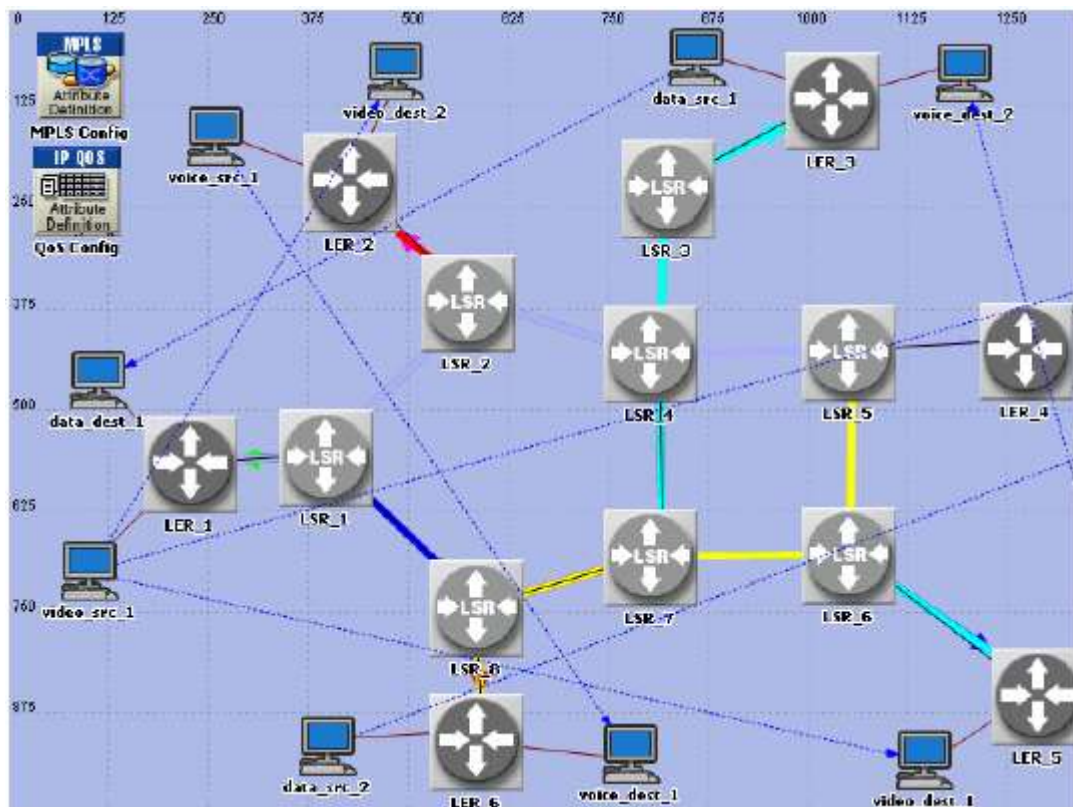


Figura 3. 13: Participación inicial de la red MPLS.
Elaborado por: Autor

3.12. Cambios propuestos.

Aún no se han definido rutas LSP de respaldo para cada flujo, lo que en el caso de una falla del enrutador LSR puede significar que la conexión completa entre los dos enrutadores de borde no funciona. El enrutamiento del enrutador no permite que todas estas rutas de respaldo se creen debido a la falta de conexiones físicas entre ellas. Debido a esto fue necesario implementar este backbone en la primera parte de la entrada, que es la creación de la red de acceso, todos los dispositivos finales, flujos de datos y rutas fueron excluidos del modelo de simulación. Solo se utilizó el enrutador.

En los enrutadores LER_1, LER_2 y LER_3, se vincularon las entradas de datos del proveedor de servicios, la subred del Proveedor. Se utilizaron los enrutadores LER_4, LER_5 y LER_6 como puntos de agregación a la red de agregación, es decir, a los usuarios. Sobre la base de esta participación, se sugieren las siguientes conexiones de dos vías:

- LER3 -> LER4 (LER4 -> LER3) para www
- LER2 -> LER5 (LER5 -> LER2) para VoIP
- LER1 -> LER6 (LER 6 -> LER1) para VoD

Como se ve en la figura 3.13, el enrutador LSR_3 tiene solo una conexión al enrutador LSR_4. Si hubiera una falla de línea entre ellos o un enrutador LSR_4, la secuencia de datos entre LER_3 y LER_4 se interrumpiría. Así que se creó un nuevo enlace entre LSR_3 y LSR_5. De manera similar, si LSR_4 falla, la ruta entre LER_2 y LER_5 sería demasiado larga. Esto podría facilitar el enlace entre LSR_2 y LSR_7.

Cada enrutador LER está conectado a un solo enrutador interno LSR. En caso de una falla de línea entre el LER y el primer LSR o el primer LSR, la ruta completa del LSP fallaría. Por eso he reforzado estos vínculos con otra línea redundante. Todos los cambios propuestos y las nuevas rutas LSP se encuentran en las tablas 3.2 y 3.3.

Tabla 3. 2: Nuevos enlaces físicos en la red troncal MPLS.

Enrutadores internos:
LSR_3 - LSR_5
LSR_2 - LSR_7
Enrutadores de borde:
LER_4 - LSR_6
LER_5 - LSR_5
LER_6 - LSR_6
LER_1 - LSR_8
LER_2 - LSR_1
LER_3 - LSR_2

3.13. Creación de rutas LSP.

El modelo de ruta MPLS_E-LSP-STATIC en la paleta MPLS sirve para crear la ruta LSP. Al igual que con la creación de todas las líneas, se comienza haciendo clic en el primer enrutador de frontera etiquetado (*Label Edge Router, LER*) y continuar con el enrutador de conmutación de etiquetas (*Label Switching Router, LSR*) al siguiente enrutador de frontera etiquetado. Para terminar de crear una ruta, haga clic en el área abierta y seleccione Finalizar definición de ruta. Esto crea todas las conexiones requeridas.

Cuando se ha terminado de crear las rutas, se selecciona Protocolos> Mpls> Actualizar panel de detalles de LSP para crear definiciones para las rutas seleccionadas. Para ver información sobre rutas válidas, se selecciona Protocolos> Mpls> Buscar / Editar información LSP en el panel principal.

Todas las rutas definidas utilizadas en las simulaciones se muestran en la tabla 3.3. La conexión resultante se muestra en la figura 3.14.

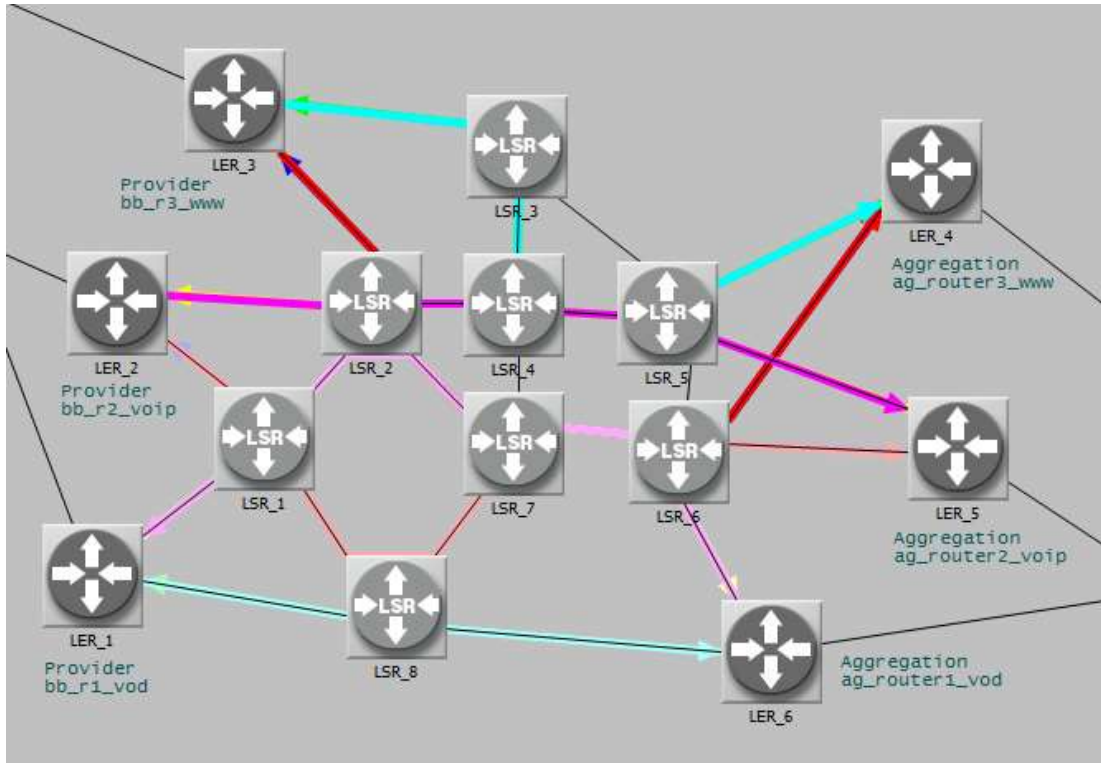


Figura 3. 14: Nueva conexión de red MPLS.
Elaborado por: Autor

Tabla 3. 3: Nuevas rutas LSP

LSP primario	Copia de seguridad de LSP
LER_3 - LER_4	LER_3 - LER_4
LER_4 - LSR_6 - LSR_7 - LSR_2 - LER_3	LER_4 - LSR_5 - LSR_4 - LSR_3 - LER_3
LER_3 - LSR_2 - LSR_6 - LSR_6 - LER_4	LER_3 - LSR_3 - LSR_4 - LSR_5 - LER_4
LER_2 - LER_5	LER_2 - LER_5
LER_5 - LSR_5 - LSR_4 - LSR_2 - LER_2	LSR_6 - LSR_6 - LSR_6 - LSR_6 - LSR_1 - LSR_1
LER_2 - LSR_2 - LSR_4 - LSR_5 - LER_5	LSR_6 - LSR_6 - LSR_6 - LSR_6 - LSR_6 - LSR_6
LER_1 - LER_6	LER_1 - LER_6
LER_6 - LSR_8 - LER_1	LSR_6 - LSR_6 - LSR_6 - LSR_6 - LSR_6 - LSR_6 - LSR_6
LER_1 - LSR_8 - LER_6	LSR_6 - LSR_6 - LSR_6 - LSR_1 - LSR_1 - LSR_1

3.14. Establecer parámetros generales de MPLS.

Los parámetros para MPLS se establecen en el objeto de configuración Mpls de la paleta de MPLS. Aquí se debe definir las especificaciones de la clase de equivalencia de reenvío (*Forwarding Equivalence Class, FEC*) y los

perfiles de troncales de tráfico. La tabla FEC sirve para clasificar los paquetes de modo que todos los paquetes del grupo se reenvíen de la misma manera.

- video – Interactive Multimedia (5)
- datos – Best Effort (0)
- voz – Interactive Voice (6)

Otras configuraciones, como direcciones IP, puertos y protocolo se han dejado vacías, lo que significa que los paquetes solo serán etiquetados por bits de ToS. Los perfiles de troncales de tráfico se utilizan para especificar qué sucede con un flujo que está fuera de los parámetros especificados en ese perfil. Las acciones aplicables son una caída o un reenvío con o sin una presunción. Para Traffic Trunk, es posible establecer diferentes características de tráfico, como la velocidad máxima, la velocidad media, el tamaño máximo y la longitud de onda máxima.

Para fines de simulación, he definido tres perfiles con atributos:

- video_trunk - Clase de tráfico AF41 = ToS (5)
- data_trunk - Clase de tráfico AF11 = ToS (0)
- voice_trunk - Clase de tráfico EF = ToS (6)

Todos los perfiles anteriores también son comunes:

- Velocidad de bits máxima (bps) – 160,000,000
- Velocidad de bits promedio (bps) -100,000,000
- Tamaño máximo de ráfaga (bits) – 96,000
- Tamaño máximo de ráfaga (bits) – 96,000
- Acción fuera de perfil – transmitida
- Precedencia de observación - transmitida sin cambios

Además de la tabla FEC, EXP <-> Drop Precedence y EXP <-> PHB: estos atributos determinan qué mapeo definido en la configuración MPLS se usará para ese enrutador. Para estos ajustes, deje la opción "Asignaciones estándar".

3.15. Configuración del enrutador para MPLS

Se debe realizar la configuración de asignación de tráfico en cada enrutador LER. Cada fila de la tabla de configuración de asignación de tráfico especifica una ingeniería de tráfico (*Traffic Engineering, TE*) diferente. Cada registro TE especifica el valor de la etiqueta que se aplica al paquete utilizando la FEC, la troncal de tráfico y la ruta LSP. Esta configuración se puede aplicar en la ventana de atributos del enrutador. Aquí se selecciona MPLS> Parámetros MPLS> Configuración de asignación de tráfico. En el diálogo se debe establecer los siguientes atributos:

- Interface In - Interface de entrada a la que vendrán los paquetes.
- FEC/Destino prefijo: seleccione uno de los registros FEC definidos
- Tronco de tráfico: elija uno del tronco de tráfico definido
- LSP - LSP primarios - Agregar la ruta LSP primaria
- LSP - Copia de seguridad de LSP - Agregar una ruta de respaldo de LSP

Antes de esta configuración, se deben crear rutas LSP, perfiles de troncales de tráfico y tablas FEC.

3.16. Simulación y análisis de resultados de parámetros de QoS en la red de acceso.

El objetivo de la simulación era medir las estadísticas de demora y pérdida sobre los requisitos de QoS para tipos individuales de escenarios. La calidad de servicio (QoS) afecta la pérdida de paquetes, los retrasos y las fluctuaciones de demora cuando se brindan servicios de triple play. Para cada topología, se crearon seis escenarios con diferentes configuraciones de flujo. La duración de la ejecución de la simulación fue la misma para todos los escenarios, 20 minutos. Para cada estadística, se midieron 1200 muestras (Configurar / Ejecutar DES> Valores por estadística), es decir, una muestra de datos por segundo.

3.16.1. Estadísticas utilizadas

La pérdida de paquetes, el retardo de extremo a extremo y la variación del retardo de paquetes se evaluaron en todos los escenarios.

Retraso: el paquete de extremo a extremo (segundos) se encuentra en la categoría Nodo/Videoconferencia para aplicaciones de video o Aplicación de nodo/voz para aplicaciones de voz. Expresa la diferencia entre el tiempo de envío y el tiempo de recepción de paquetes entre dos dispositivos en la red, como el servidor y el cliente.

Variación de retraso: se pueden registrar la variación de retardo utilizando la variación de retardo de paquete, que también se encuentra en las categorías Nodo/Videoconferencia o Nodo/Voz. Esta estadística representa la diferencia entre el retraso de paquete a extremo de dos paquetes entregados al dispositivo seleccionado, en el caso de nuestro cliente.

Pérdida de paquetes: para la pérdida de paquetes en Opnet, no se crean estadísticas que midan la pérdida de paquetes entre dos dispositivos, de manera similar al retraso o las fluctuaciones de latencia. Sin embargo, la pérdida de paquetes se puede calcular como la diferencia entre los paquetes enviados y recibidos en relación con los paquetes enviados.

3.16.2. Escenarios creados

Para la creación de los escenarios, se consideraron tres opciones para usar el servicio al cliente:

1. El cliente utiliza simultáneamente un flujo de video en resolución VoD SD estándar, transferencia de VoIP y flujo de datos HTTP y FTP.
2. El cliente utiliza dos transmisiones de video estándar VoD SD simultáneamente, una transferencia de VoIP y una transmisión de datos HTTP y FTP.
3. El cliente también utiliza una transmisión de video VoD HD de alta resolución, transferencia de VoIP y transmisión de datos HTTP y FTP.

Para cada escenario, se identifican dos combinaciones de carga de línea y analizar los resultados. La configuración detallada de los escenarios individuales se presenta en la tabla 3.4. Los resultados medidos se muestran en la tabla 3.5.

Tabla 3. 4: Configuración de los flujos medidos y de carga en el modelo de simulación.

Scenar	Flujo medido					Flujo de carga								
	VoD		VoIP		Entre sí Mbps	VoD		VoIP		Datos		Entre sí Mbps		
	Tipo	Mbps	Tipo	Mbps		Tipo	Mbps	Tipo	Mbps	Tipo	Mbps			
ADSL1/Ethernet1	SD	2,5	G.711	0,12	2,62	20xSD	50	20xG.711	2,4	20xBE	40	92,4		
ADSL2/Ethernet2	2SD	5				5,12	21XSD	52,5	21xG.711	2,52	21xBE	42	97,02	
ADSL3/Ethernet3					12x2SD		60	12xG.711	1,44	12xBE	24	85,44		
ADSL4/Ethernet4					HD	6	6,12	13x2SD	65	13xG.711	1,56	13xBE	26	92,56
ADSL5/Ethernet5								11xHD	66	11xG.711	1,32	11xBE	22	89,32
ADSL6/Ethernet6							12xHD	72	12xG.711	1,44	12xBE	24	97,44	

Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 5: Resultados de las métricas obtenidas de la simulación en Opnet Modeler.

Escenar.		Paquetes enviados	Paquetes recibidos	Pérdidas en %	Tiempo min (s)	Tiempo max (s)	Tiempo promedio (s)	Jitter min (s)	Jitter max (s)	Jitter (s)
ADSL1	vod	273505	273504	0,0004	0,0152	0,0479	0,0163	0,000000	0,000019	0,000005
	voip	113920	113920	0,0000	0,0661	0,0999	0,0671	0,000005	0,000032	0,000014
ADSL2	vod	273505	273294	0,0771	0,0152	0,9060	0,3086	0,000000	0,103303	0,021297
	voip	113920	113836	0,0737	0,0661	0,9567	0,3591	0,000005	0,103341	0,021291
ADSL3	vod	547754	547750	0,0007	0,0152	0,0789	0,0197	0,000000	0,000242	0,000047
	voip	113916	113916	0,0000	0,0678	0,1329	0,0721	0,000011	0,000240	0,000059
ADSL4	vod	547754	547750	0,0007	0,0152	0,1099	0,0229	0,000000	0,000620	0,000121
	voip	113916	113916	0,0000	0,0677	0,1626	0,0752	0,000011	0,000628	0,000132
ADSL5	vod	649573	649561	0,0018	0,0301	0,1311	0,0398	0,000000	0,000845	0,000179
	voip	113920	113920	0,0000	0,0643	0,1777	0,0831	0,000044	0,000934	0,000242
ADSL6	vod	649573	313555	51,7291	0,0301	2,0987	0,4295	0,000000	0,228527	0,199882
	voip	113920	97741	14,2021	0,0643	2,1318	2,8534	0,000045	1,234782	1,313839
Ethernet1	vod	273889	273889	0,0000	0,0056	0,0131	0,0070	0,000000	0,000002	0,000001
	voip	114437	114437	0,0000	0,0642	0,0710	0,0649	0,000000	0,000002	0,000001
Ethernet2	vod	273889	273729	0,0584	0,0055	0,7060	0,1384	0,000000	0,034030	0,004455
	voip	114437	114374	0,0551	0,0643	0,7637	0,1961	0,000000	0,033927	0,004425
Ethernet3	vod	547482	547482	0,0000	0,0055	0,0078	0,0066	0,000000	0,000000	0,000000
	voip	114437	114437	0,0000	0,0642	0,0654	0,0646	0,000000	0,000000	0,000000
Ethernet4	vod	547482	547482	0,0000	0,0055	0,0339	0,0102	0,000000	0,000079	0,000022
	voip	114437	114436	0,0009	0,0642	0,0917	0,0682	0,000000	0,000077	0,000022
Ethernet5	vod	650485	650485	0,0000	0,0068	0,0184	0,0101	0,000000	0,000005	0,000002
	voip	114437	114436	0,0009	0,0642	0,0733	0,0657	0,000000	0,000005	0,000002
Ethernet6	vod	650485	316047	51,4136	0,0068	2,3102	0,5023	0,000000	0,243400	0,212375
	voip	114437	93463	18,3280	0,0642	2,3690	2,8794	0,000000	1,357063	1,385990

Elaborado por: Autor.

3.16.3. Evaluación de resultados

El gráfico en la figura 3.15 muestra que el retardo en la cola está aumentando cuando se alcanza el rendimiento máximo entre el agregado y la subred local. Si la carga alcanza el 100% de la capacidad de la línea de forma permanente, el retardo en la cola alcanza valores de hasta 3,5 s. Este retardo afectará adversamente los parámetros medidos en los equipos terminales VoD y VoIP (ver la tabla 3.5). En los escenarios ADSL6 y Ethernet6, el servicio VoIP se retrasa a un promedio de 2,8 s, excediendo varias veces los valores recomendados. Este es también el caso de VoD, donde el retardo promedio es de aproximadamente 500 ms.

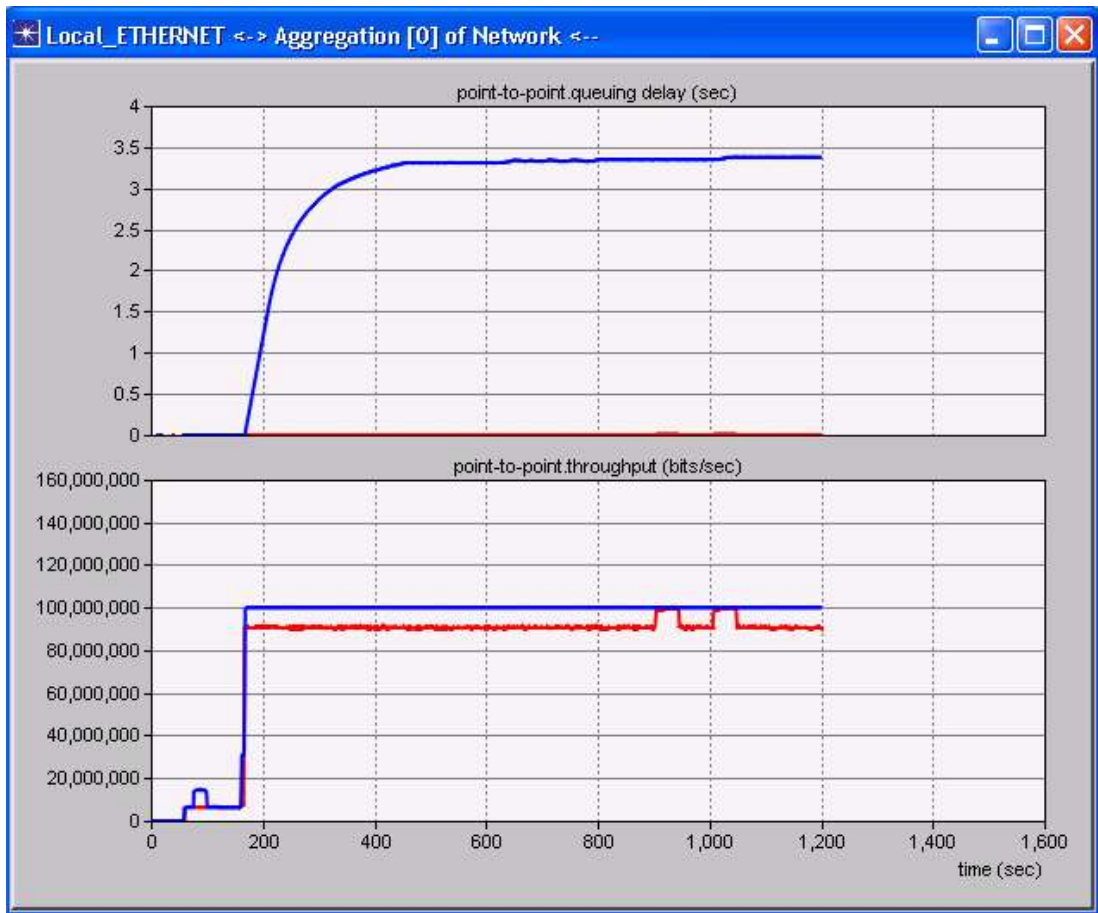


Figura 3. 15: Retardo en la cola en comparación con la carga total entre el agregado y la red local (escenario Ethernet 5 - rojo, Ethernet 6 - azul).
Elaborado por: Autor

En el caso de un escenario con requisitos de permeabilidad más bajos, por ejemplo, ADSL1 en la figura 3.16, se observa que el 100% de uso del rendimiento de línea ocurre solo en un intervalo de tiempo relativamente corto de aproximadamente 100 s. Esto causará un retraso en el terminal VoIP de casi 100 ms y aproximadamente 50 ms para el servicio VoD (véase la figura 3.16). Estos valores pueden causar un deterioro a corto plazo en la calidad del servicio, incluso si cumplen con los valores recomendados.

El aumento deteriorado de la velocidad de transmisión en la línea entre el agregado y la subred local se debe al inicio de la transmisión de FTP al dispositivo terminal PC_client. Esta transferencia no está limitada por el servidor, por lo que utiliza la capacidad disponible de la línea ADSL (en el centro de la figura 3.16).

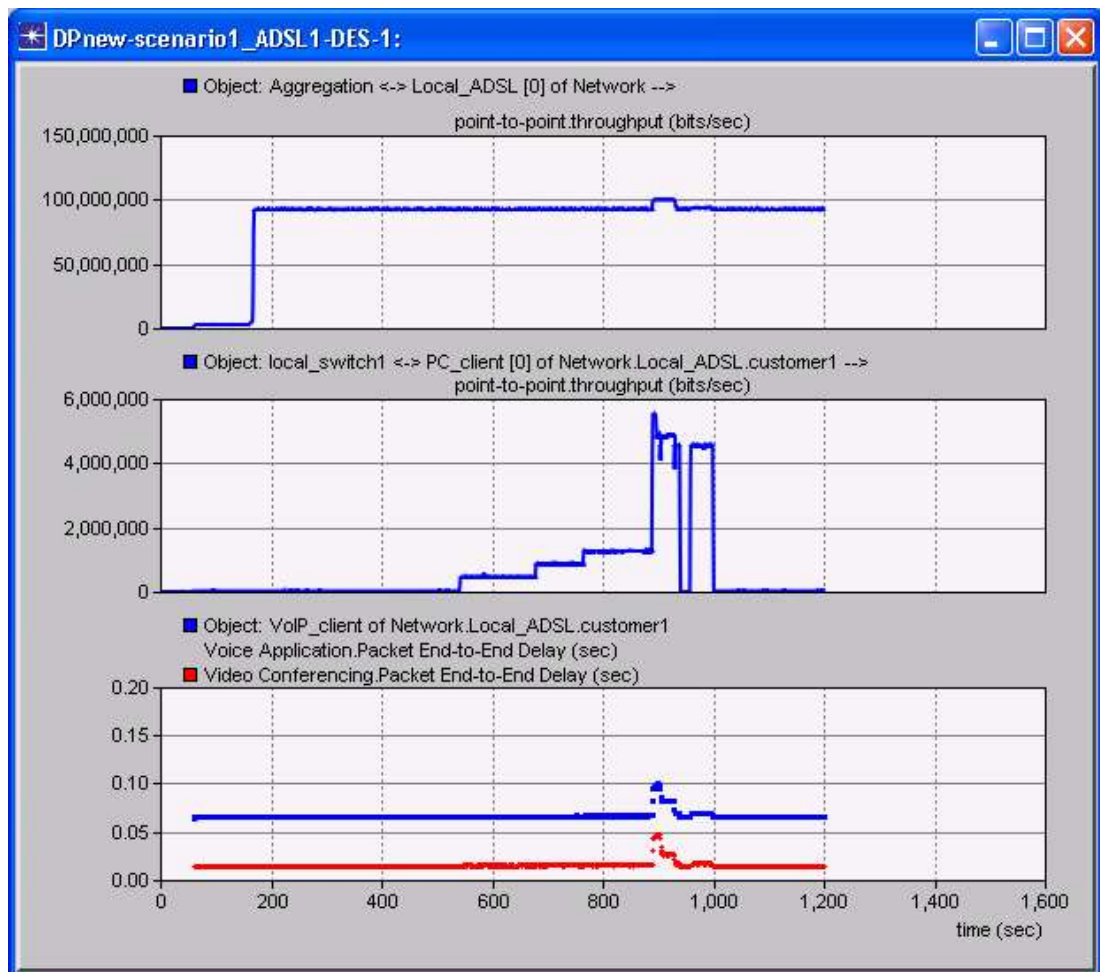


Figura 3. 16: Impacto de la carga de la línea de datos entre el conmutador local y el cliente PC en el retardo del servicio de video y voz y la carga total de la línea entre el agregado y la red local (escenario ADSL1).

Elaborado por: Autor

La carga de línea entre el agregado y la subred local también afecta la variación de retardo de paquetes. Para el escenario Ethernet 4 de la figura 3.17 se observa dos intervalos en los que la transmisión de línea se encuentra en el nivel máximo. Esto hace que la desviación del retardo del paquete salga en el segundo intervalo para VoIP en 77 ms y para VoD en 79 ms. Sin embargo, estos son solo artículos desechables, los valores promedio medidos cumplen con los requisitos de calidad del servicio.

Los escenarios ADSL6/Ethernet6 simultáneamente causan una pérdida significativa de paquetes. Para VoD, es más del 51% y para los servicios de VoIP es 14.2% para ADSL y 18.32% para Ethernet. Estas pérdidas prácticamente impiden la prestación de servicios.

En la tabla 3.4 se observa que el flujo de carga es de 97.14 Mbps en ambos casos, que es casi el ancho de banda total de la conexión entre el agregado y la subred local. En consecuencia, los requisitos para una mayor transferencia de datos son limitados. Enviar el flujo de video y voz en esta línea sobrecargada aumenta la demora de paquetes a unos pocos segundos y también hace que los paquetes se pierdan, tal como en la figura 3.18).

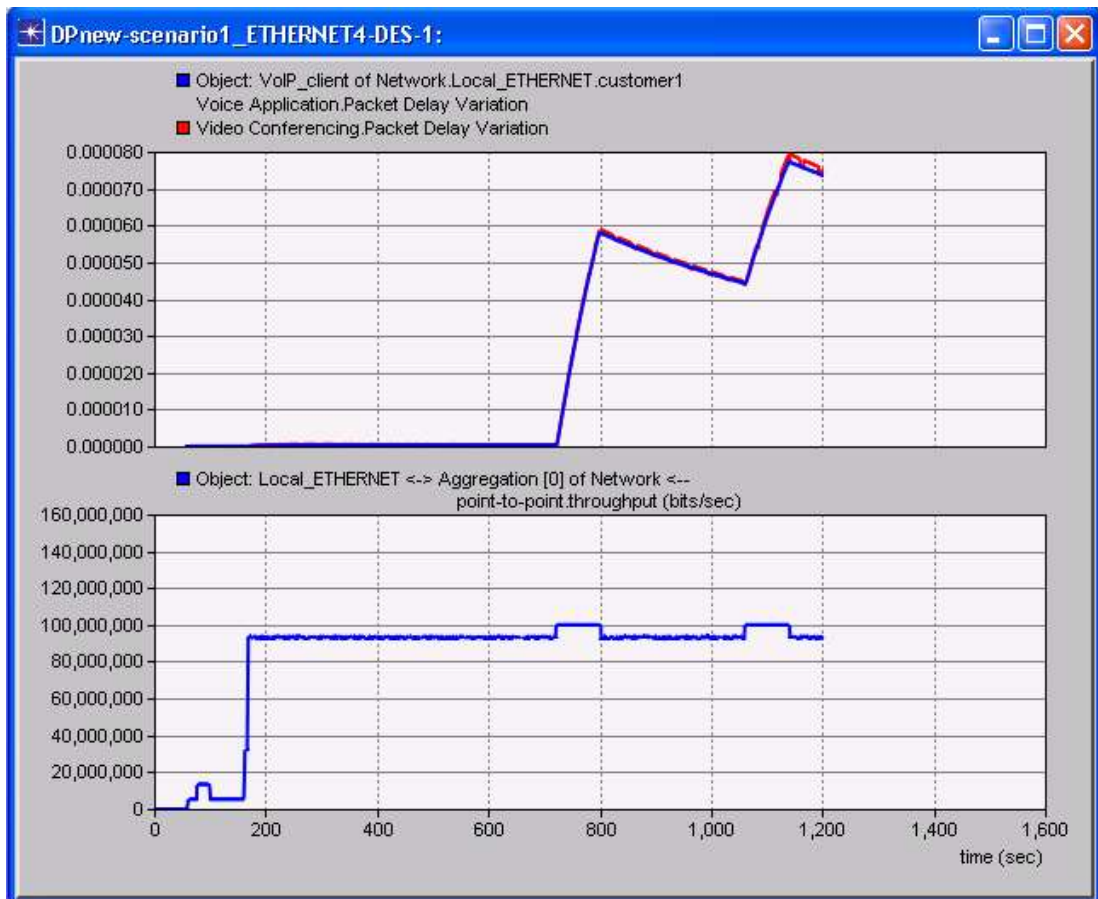


Figura 3. 17: Impacto de la carga de línea entre la agregación y la red de pérdida de voz local para VoIP y VoD (Ethernet 4).

Elaborado por: Autor

Según los resultados medidos, se puede especificar el número máximo de clientes para la configuración. Para la primera opción, se adapta un escenario con 21 clientes (ADSL1/Ethernet1). En este último caso, ambos escenarios (ADSL3, 4/Ethernet3, 4) se encuentran, por lo que se pueden conectar entre 13 o 14 clientes a la red. Para la transmisión en HD, solo es elegible el primer escenario ADSL5 / Ethernet5 con 12 clientes.

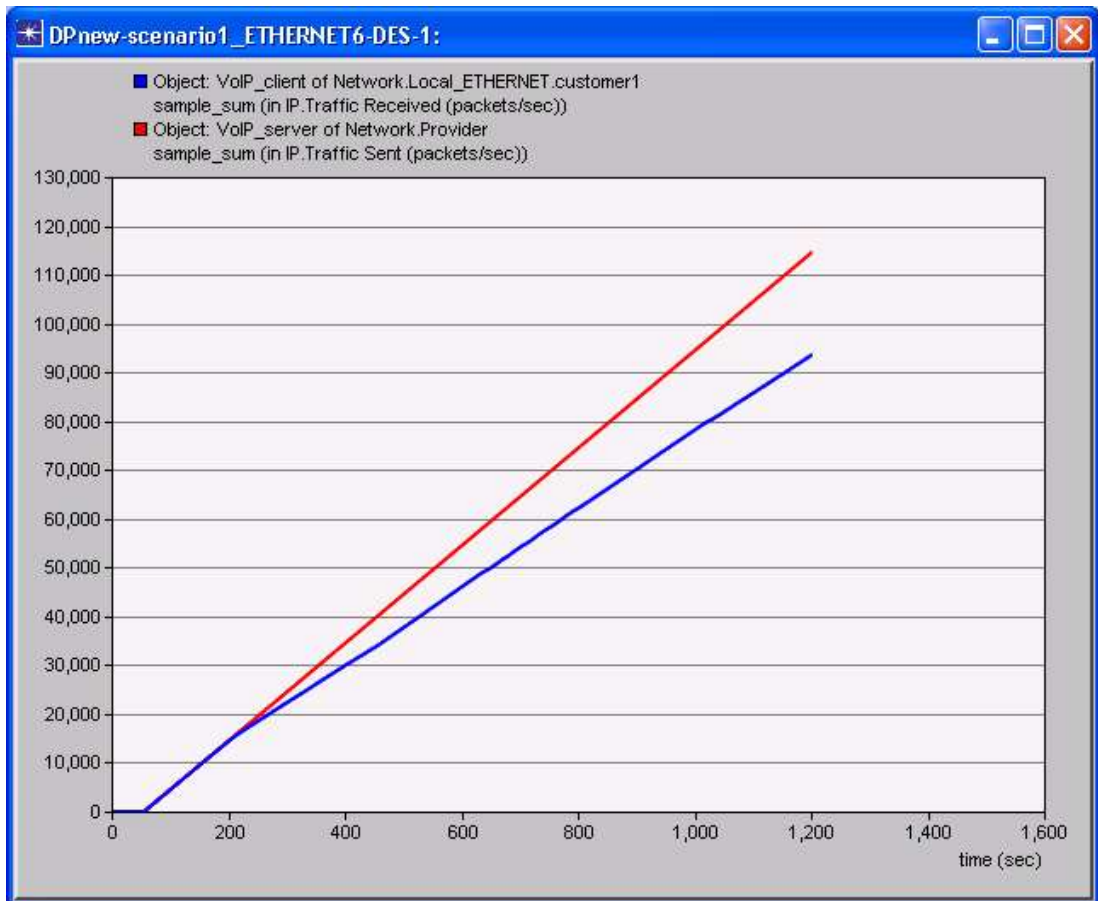


Figura 3. 18: La diferencia entre paquetes enviados y recibidos para VoIP entre VoIP y clientes VoIP (Ethernet6).
Elaborado por: Autor

3.17. Simulación de cortes en la red MPLS.

El propósito de esta simulación fue mejorar la resiliencia del modelo de backbone MPLS existente contra la pérdida de líneas, nodos u otros. Para este propósito, se crearon dos escenarios que se describen en la sección 3.17.2. La simulación de nodos o cortes de líneas se puede simular en Opnet Modeler mediante el objeto "Recuperación de falla" de la paleta utilidades. En él, se pueden programar una falla o restaurar la funcionalidad del dispositivo en cualquier momento.

3.17.1. Estadísticas utilizadas

Las redes MPLS se utilizan para evaluar flujos de datos de Path Statistics / LSP. Se utilizó Traffic In (paquetes / seg) y Traffic Out (paquetes / seg) para mostrar el flujo de datos recibidos y enviados por el enrutador MPLS.

3.17.2. Escenarios creados

Ambos escenarios contienen un modelo de la red backbone, las otras configuraciones de red son las mismas que en el escenario Ethernet5 (según tabla 3.5).

Falla de Ethernet: el escenario Ethernet_failure sirve para simular una falla de nodo, en nuestro caso LSR_2. A través de este enrutador, dos rutas LSP primarias conectan LER_2 con LER_5 y LER_3 con LER_4. El hecho de omitir este enrutador podría interrumpir el flujo de datos desde el servidor WEB al cliente PC_client y al mismo tiempo desde el servidor del servidor VoIP al cliente VoIP. Por lo tanto, se ha propuesto una ruta LSP de respaldo. Este escenario simula el fallo del nodo LSR_2 en los 240 s posteriores al inicio de la simulación.

Falla de Ethernet 2: otro escenario etiquetado como falla de Ethernet2 es simular una falla de línea. Para este tipo de interrupción, se eligió la línea entre LER_1 y LSR_8. Esta es una línea que forma parte de la ruta desde LER_1 hasta LER_6. Después de su interrupción, el flujo de video se interrumpirá desde el servidor VoD_src al cliente TV_client. Para este caso, también se propusieron una ruta LSP de respaldo y una línea física agregada. La falla de línea ocurre en un tiempo de simulación de 240 s.

3.17.3. Evaluación de resultados

En el escenario de falla de Ethernet, se simuló una falla del nodo enrutador LSR2. En el caso de una falla en la ruta LSP, es importante que el enrutador, si es posible, redirija el flujo a la ruta LSP de respaldo. En el gráfico de la figura 3.19, se observa un cambio de flujo después de la ruta "LER_2 - LER_5" (color azul) a la ruta de copia de seguridad "LER_2 - LER_5 1" (color rojo).

Este cambio está ocurriendo en muy poco tiempo, como unos pocos milisegundos. La figura 3.19 a continuación muestra que el cambio de enrutamiento no tiene un impacto aparente en el retardo de extremo a extremo del paquete.

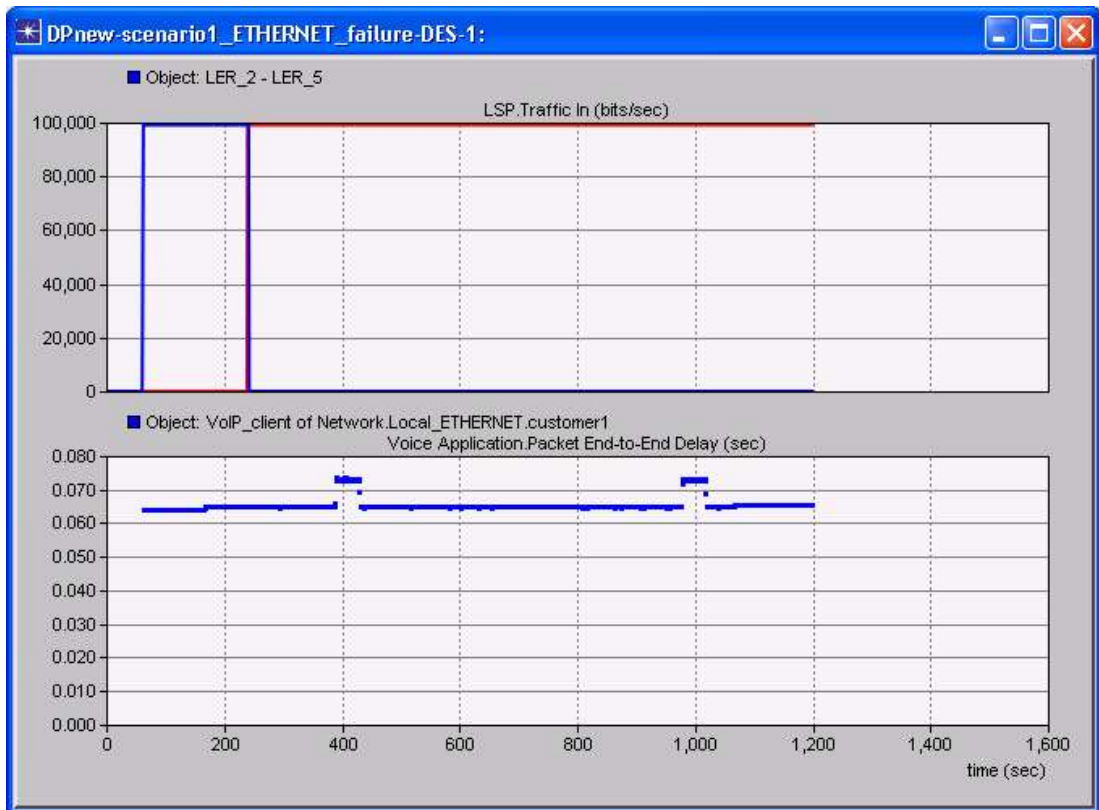


Figura 3. 19: Cambio de ruta LSP entre LER_2 y LER_5 cuando un nodo se rompe e impacta en un retardo de flujo de voz.

Elaborado por: Autor

El escenario Ethernet fail2 simula un salto de línea entre LER_1 y LSR_8 y, por lo tanto, deshabilita la ruta LSP "LER_1 - LER_6". En este caso, el flujo de video se redirige a la ruta de respaldo "LER_1 - LER_6 1". La figura 3.20 muestra que incluso en este caso casi no habrá retrasos, como en el caso del escenario de falla de Ethernet.

El efecto de cambiar la ruta LSP en este caso tampoco tiene un impacto visible en el retraso del flujo de datos entre el servidor VoD_src y el cliente TV_client en la subred local, tal como se muestra en la figura 3.21.

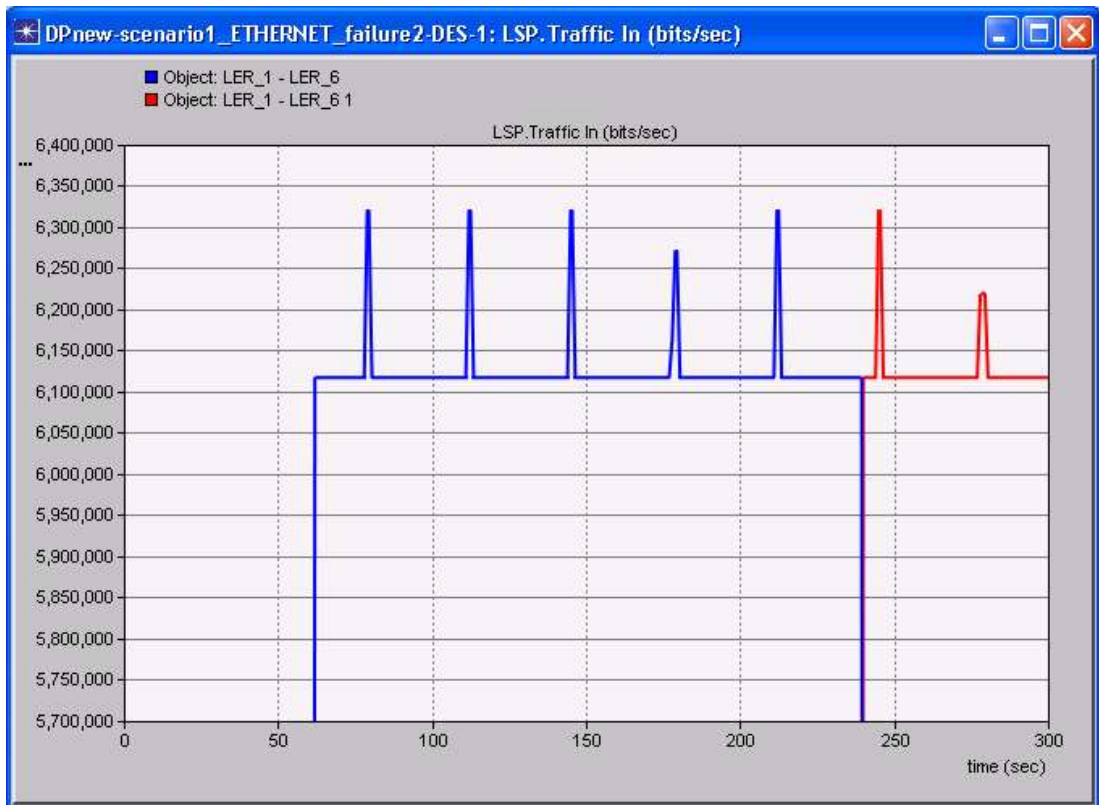


Figura 3. 20: Detalles de cambios de ruta LSP entre enrutadores LER_1 y LER_6.
Elaborado por: Autor

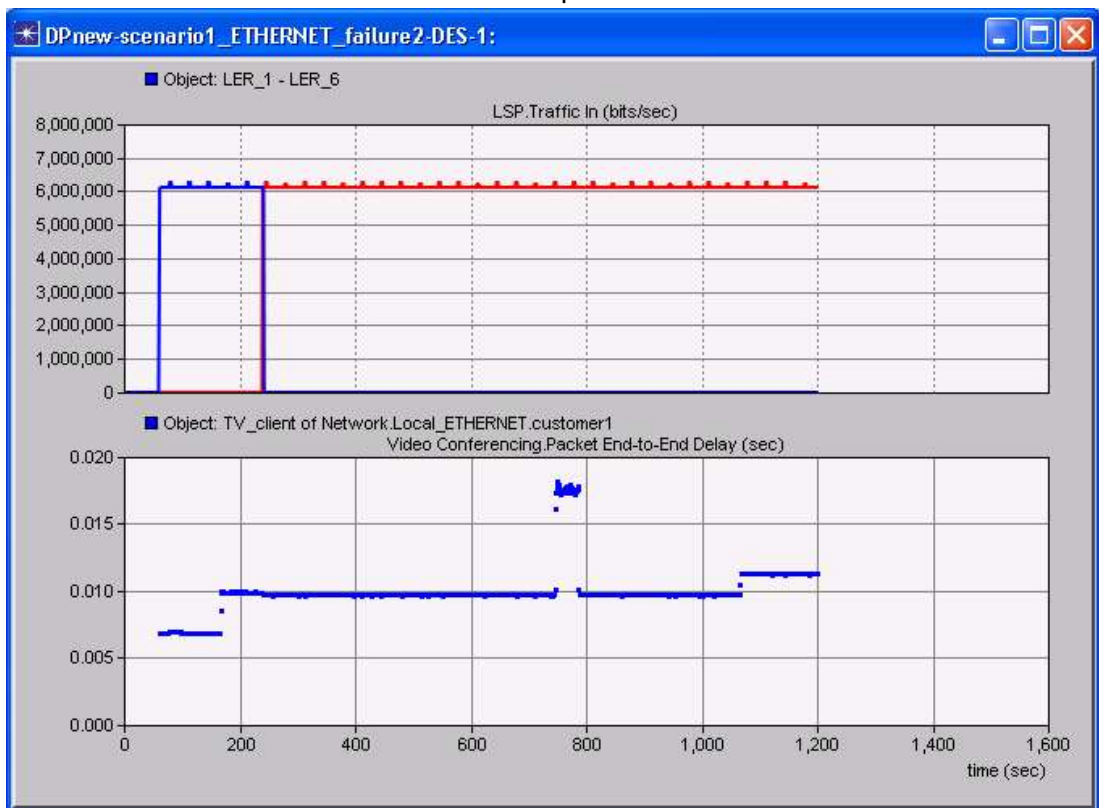


Figura 3. 21: Cambio de ruta LSP entre LER_1 y LER_6 cuando la falla de la línea y su impacto en el retardo del flujo de video.
Elaborado por: Autor

Conclusiones

El presente trabajo de titulación se logró crear un modelo de red de acceso para tecnologías ADSL y Ethernet, que está interconectado con la red troncal existente. En el modelo de red de acceso establecido, se investigó cómo la carga de la línea impacta en el cumplimiento de los requisitos de calidad del servicio. En base a los resultados obtenidos, se determina que los escenarios cumplen con los requisitos de calidad de servicio.

En la red backbone, se sugirió crear las rutas LSP y agregar líneas adicionales para aumentar la resistencia de la red contra las interrupciones. En los intentos realizados se trató de redirigir el tráfico de la ruta LSP principal a la de copia de seguridad después del fallo del nodo o línea y su impacto en la calidad de los servicios en los dispositivos finales en la red de acceso.

Recomendaciones

Con el desarrollo del modelo de simulación sería posible en el futuro extender el trabajo también a las redes de acceso óptico.

También se podría simular, por ejemplo, mediante transmisión de video por multidifusión, usando una red VPN, o explorando el uso de los perfiles de QoS para la calidad del servicio.

Bibliografía

- Abdelsalam, A., Luglio, M., Roseti, C., & Zampognaro, F. (2018). Analysis of bandwidth aggregation techniques for combined use of satellite and xDSL broadband links. *International Journal of Satellite Communications and Networking*. <https://doi.org/10.1002/sat.1242>
- Baliar, V., & Gofaizen, O. (2017). Quality of service for multimedia conte delivery in infocommunication networks based on xDSL technology. En *2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)* (pp. 315–318). Kharkov: IEEE. <https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2017.8246405>
- Gurrola, E. I., McGarry, M. P., Luo, Y., & Effenberger, F. (2014). PON/xDSL hybrid access networks. *Optical Switching and Networking*, 14, 32–42. <https://doi.org/10.1016/j.osn.2014.01.004>
- Jakhar, N., & Vats, K. (2014). OPNET based Performance Evaluation of WIMAX Network with WIMAX Management using Different QoS. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, 3(6), 862–872.
- Khamiss, N. N., & Al-Hussein, S. A. A. (2014). Triple Play Services Transmission over VDSL2 Broadband Access Network in MDU. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 5(3), 3946–3952.
- Namir, Š., Alen, B., Emir, T., & Narcis, B. (2018). On Ability of Troubleshooting by Observing Some Physical Layer Parameters of xDSL Transceivers. <https://doi.org/10.24425/123534>

- Pajda, T., & Roka, R. (2017). Analysis of the new Modulation and Coding Techniques for xDSL. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 8(5), 13–16.
- Poma C., P. (2017). *Análisis y diseño de una red de fibra al hogar FTTH (Fiber To The Home), a la Zona Cusicancha* (Thesis). Recuperado de <http://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/13567>
- Ufoaroh, S. U., Nwalozie, G. C., Onyishi, D. U., & Ejiofor, A. C. (2013). Performance evaluation of wireless local area network (WLAN). *International Journal of Computing Science and Information Technology*, 1(2), 32–43.
- Yoo, K. J., & Ahn, I. S. (2005). Remote Management System for xDSL. En *2005 Asia-Pacific Conference on Communications* (pp. 635–639). Perth, Western Australia: IEEE. <https://doi.org/10.1109/APCC.2005.1554139>
- Zych, P. (2015). MONITORING OF XDSL CPE TYPE FROM DSLAM SIDE. *PRZEGLĄD TELEKOMUNIKACYJNY - WIADOMOŚCI TELEKOMUNIKACYJNE*, 1(8–9), 368–373. <https://doi.org/10.15199/59.2015.8-9.49>



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Vallejo Lalangui, Juan Pablo** con C.C: # 092338660-1 autor del trabajo de titulación: Implementación de escenarios de simulación de redes de acceso utilizando la plataforma Opnet, previo a la obtención del título de **Magister en Telecomunicaciones** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 26 de noviembre del 2018

f. _____

Nombre: **Vallejo Lalangui, Juan Pablo**

C.C: 092338660-1



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Implementación de escenarios de simulación de redes de acceso utilizando la plataforma Opnet		
AUTOR(ES)	Vallejo Lalangui, Juan Pablo		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. Córdova Rivadeneira, Luis Silvio; M. Sc. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo / M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Sistema de Posgrado		
PROGRAMA:	Maestría en Telecomunicaciones		
TÍTULO OBTENIDO:	Magister en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	26 de noviembre de 2018	No. DE PÁGINAS:	76
ÁREAS TEMÁTICAS:	Telecomunicaciones, Ingeniería de Computadores		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Teoría de la Comunicación, Comunicaciones Ópticas, Sistemas de Comunicaciones, Simulación, Sistemas de Redes		
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>El trabajo de grado previo a la obtención del título de Magister en Telecomunicaciones, tuvo como objetivo principal la creación de un modelo de simulación de una red de acceso con tecnologías ADSL y Ethernet utilizando la plataforma Opnet Modeler versión 14.5. Primero se realizó una búsqueda de información en revistas científicas, donde se encontró que Opnet Modeler es una herramienta de simulación muy utilizada por profesionales para publicación de artículos relacionadas a sistemas de comunicaciones. También, se define el problema a investigar, así como el objetivo general y los específicos. Posterior, se presenta el capítulo 2, donde se describe los fundamentos teóricos. Para el capítulo 3, se presenta el diseño del modelo de simulación propuesto. En el modelo creado, se puede medir los retardos y las pérdidas de los servicios de Triple Play (voz, video, internet). Otro objetivo fue diseñar e implementar una mejora del modelo existente de la red Backbone MEN y MPLS en términos de resistencia a la pérdida de líneas, nodos y otros posibles. Se completo la solución para conectar la nueva parte de acceso de la red con la red troncal ya creada. El trabajo también exploró las tecnologías utilizadas para las redes de acceso y los requisitos de calidad del servicio.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 0994112275	E-mail: juanpablo_vallejo@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Manuel Romero Paz		
	Teléfono: 0994606932		
	E-mail: mromeropaz@yahoo.com		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			