



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TÍTULO:

**SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE ESCENARIOS DEL SERVICIO 3PLAY  
MEDIANTE LA TECNOLOGÍA ADSL**

AUTOR:

Alexy Emmanuel Pincay Chévez

Previa la obtención del Título

**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

TUTOR:

MsC. Luis Córdova Rivadeneira

Guayaquil, Ecuador

2015



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr.  
**Alexy Emmanuel Pincay Chévez** como requerimiento parcial para la  
obtención del título de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES.

TUTOR

---

MsC. Luis Córdova Rivadeneira

DIRECTOR DE CARRERA

---

MsC. Miguel A. Heras Sánchez.

Guayaquil, a los 15 del mes de Febrero del año 2015



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Alexy Emmanuel Pincay Chévez**

**DECLARÓ QUE:**

El trabajo de titulación “SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE ESCENARIOS DEL SERVICIO 3PLAY MEDIANTE LA TECNOLOGÍA ADSL” previa a la obtención del Título de Ingeniero en Telecomunicaciones, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 15 del mes de Febrero del año 2015

EL AUTOR

---

ALEXY EMMANUEL PINCAY CHÉVEZ



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **Alexy Emmanuel Pincay Chévez**

Autorizamos a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE ESCENARIOS DEL SERVICIO 3PLAY MEDIANTE LA TECNOLOGÍA ADSL”, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Guayaquil, a los 15 del mes de Febrero del año 2015

LOS AUTORES

---

ALEXY EMMANUEL PINCAY CHÉVEZ

## DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación está dedicado primeramente a Dios, quien supo guiarme por el camino del bien, y darme la fortaleza y voluntad de seguir adelante y no desmayar.

A toda mi familia quienes estuvieron conmigo para levantarme los ánimos y darme fuerzas cuando las necesité. Por ellos soy lo que soy.

A mis padres Carlos Pincay y Nancy Chévez por haberme criado y formado con buenos principios para que en la vida sea una persona respetable y de bien.

“NUNCA CONSIDERES EL ESTUDIO COMO UNA OBLIGACION, SINO COMO UNA OPORTUNIDAD PARA PENETRAR EL BELLO Y MARAVILLOSO MUNDO DEL SABER”

Albert Einstein

EL AUTOR

ALEXY EMMANUEL PINCAY CHÉVEZ

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios profundamente por haberme dado las ideas perfectas para la realización de este trabajo de titulación.

Gracias al apoyo incondicional de mis padres que siempre estuvieron presente apoyándome en lo que fuese necesario para culminar mis estudios, quienes sin escatimar esfuerzo alguno, han sacrificado gran parte de su vida para educarme como un profesional y formarme como ser humano; con valores y principios ya que así como los predicaron los practicaron.

Y a mi hermana Miluska, quien siempre ha estado presente acompañándome en la realización de mis más anhelados sueños.

"UN BUEN PADRE, CONOCE LA ESENCIA DE SUS HIJOS,  
FRENA A AQUEL QUE ES DEMASIADO OSADO Y EMPUJA AL  
QUE NO SABE ANDAR CON SUS PROPIAS PIERNAS"

EL AUTOR

ALEXY EMMANUEL PINCAY CHÉVEZ

## Índice General

Índice de Figuras .....	IX
Índice de Tablas.....	XI
Resumen .....	XII
CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	13
1.1. Antecedentes. ....	13
1.2. Justificación del Problema.....	14
1.3. Definición del Problema.....	15
1.4. Objetivos del Problema de Investigación.....	15
1.4.1. Objetivo General.....	15
1.4.2. Objetivos Específicos. ....	15
1.5. Hipótesis.....	16
1.6. Metodología de Investigación.....	16
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE DE LA TECNOLOGÍA DE COMUNICACIÓN ADSL.....	17
2.1. Introducción a ADSL. ....	17
2.2. Conectividad física de ADSL. ....	19
2.3. Codificación de la señal ADSL. ....	21
2.4. Modulación de Amplitud en Cuadratura, QAM. ....	24
2.5. Pila de Protocolos .....	26
2.6. Encapsulación ATM .....	28
2.7. Sistema de gestión de red.....	30
2.8. Tasa de adaptación.....	30

2.9. El intercambio de Bits.....	32
2.10. Requisitos de planta externa (OSP).....	33
2.11. Activación de servicios.....	35
2.12. Pruebas al ordenador del cliente.....	36
CAPÍTULO 3: SIMULACION Y EVALUACION DEL SISTEMA 3PLAY EN OPNET.....	39
3.1. Introducción.....	39
3.2. Arquitectura de red.....	40
3.3. Simulación del Sistema Triple Play mediante tecnología ADSL.....	40
3.4. Resultados obtenidos del sistema Triple Play.....	59
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	67
4.1. Conclusiones.....	67
4.2. Recomendaciones.....	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69

## Índice de Figuras

### Capítulo 2

Figura 2. 1: Arquitectura estándar de ADSL. ....	17
Figura 2. 2: Señal en las dependencias del cliente.....	19
Figura 2. 3: Las capas de red ADSL. ....	21
Figura 2. 4: Bandas de frecuencias para ADSL. ....	22
Figura 2. 5: Tonos del ancho de banda de datos para ADSL. ....	24
Figura 2. 6: Ejemplo de codificación QAM. ....	26
Figura 2. 7: Pilas de encapsulamiento. ....	29
Figura 2. 8: Representación gráfica del intercambio de bits. ....	33
Figura 2. 9: Capa física para los puntos de acceso de prueba. ....	37

### Capítulo 3

Figura 3. 1: Arquitectura del Sistema Triple Play. ....	40
Figura 3. 2: Topología de la red Triple Play sobre ADSL.....	42
Figura 3. 3: Subred Backbone dentro de la topología de red ADSL. ....	43
Figura 3. 4: Habilitar la multidifusión en routers.....	44
Figura 3. 5: Dirección IP de configuración para el grupo multicast en los routers.....	45
Figura 3. 6: Configuración PIM-SM protocolo multicast en los routers .....	46
Figura 3. 7: Configuración de RP estático. ....	47
Figura 3. 8: Agrupación para canales IPTV en Home_network. ....	47
Figura 3. 9: Arquitectura VLAN de servicios. ....	48

Figura 3. 10: Configuración VLAN individual con múltiples modos. ....	49
Figura 3. 11: Configuración VLAN en el Switch. ....	49
Figura 3. 12: Subred red de agregación dentro de la topología de red ADSL .....	50
Figura 3. 13: Red de acceso dentro de la región de subred en la topología ADSL. ....	52
Figura 3. 14: Dispositivos RG, STB, PC, teléfono IP dentro de cada subred Home_Netwok. ....	53
Figura 3. 15: QoS multidifusión configurados .....	55
Figura 3. 16: La arquitectura de red de los escenarios de Triple-Play considerados sobre ADSL .....	58
Figura 3. 17: El MPEG2 y MPEG4 de vídeo PLR .....	59
Figura 3. 18: El paquete de video jitter de MPEG2 y MPEG4.....	60
Figura 3. 19: Retardo de extremo a extremo del video MPEG2 y MPEG4. .	60
Figura 3. 20: Uso del enlace Multicast IP y Unicast IP.....	61
Figura 3. 21: Uso enlace del core. ....	62
Figura 3. 22: Retraso de variación de paquetes de vídeo.....	63
Figura 3. 23: Retraso de variación de paquete de voz.....	63
Figura 3. 24: Tiempo de respuesta HTTP .....	64
Figura 3. 25: Tiempo de respuesta de descargas FTP. ....	64

## Índice de Tablas

### Capítulo 2

Tabla 2. 1: Valores de bits para QAM.....	25
---	----

### Capítulo 3

Tabla 3. 1: Escenarios de simulación para topología de red ADSL. ....	55
---	----

Tabla 3. 2: Características de la aplicación VoD.....	56
---	----

## **Resumen**

El presente documento del trabajo de titulación permite a los lectores obtener una fuente de consulta mediante el estado del arte de la tecnología ADSL. Esta tecnología fue de gran utilidad para preparar la simulación de escenarios del servicio Triple Play sobre la plataforma de simulación OPNET Modeler. La intención de este trabajo de titulación es de dotar a nuestros compañeros de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones una herramienta para que puedan modelarlo y configurar los escenarios según las necesidades de la red.

## **CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **1.1. Antecedentes.**

Los operadores de telecomunicaciones están ahora empleando nuevas estrategias para ofrecer nuevos servicios a través de Redes Triple Play de última generación. El paquete completo de este servicio incluye: línea telefónica, con una combinación de acceso a Internet, IPTV, VoD, aplicaciones de entretenimiento y, eventualmente, la telefonía celular.

En otras palabras, esto significa: servicios múltiples, múltiples dispositivos, pero una red, con diferentes proveedores y una sola factura. Esta maniobra es mucho más que un nuevo producto comercial. Es una consecuencia de los cambios importantes de la industria está experimentando, como las innovaciones tecnológicas, los cambios sociales y las nuevas regulaciones.

Además, las Redes Triple Play de última generación son capaces de conectar a los suscriptores inalámbricamente y por cable, proporcionando un servicio flexible y rápido, el aprovisionamiento del alto ancho de banda con alta calidad de servicio, y la reducción del coste de servicio en general. Los principales componentes de las redes de telecomunicaciones que se construyen a partir de varios tipos de arquitecturas por cable e inalámbricas para apoyar a los servicios de red Triple Play.

## **1.2. Justificación del Problema.**

El servicio Triple Play es un concepto que permite ofrecer transmisiones digitales de televisión, telefonía y acceso a Internet a las personas a través de una sola conexión de banda ancha. Actualmente, es un término bien conocido en todo el mundo de las telecomunicaciones. La introducción de servicios Triple Play ha permitido a los proveedores obtener más clientes y mantener satisfecho a los existentes.

El acceso de banda ancha es una realidad en muchas partes del mundo y el lanzamiento de servicios Triple Play se están experimentando en muchos países, en Guayaquil estos servicios son ofrecidos hace casi unos 5 años a través de redes HFC. Los servicios Triple Play traerán muchos beneficios a los usuarios finales. Por ejemplo, se pueden disfrutar de películas en alta definición en cualquier momento del día.

De hecho en la mayoría de las principales ciudades, el mercado competitivo entre las empresas de telecomunicaciones de televisión por cable ha llevado a reestructurar los modelos de negocio de Triple Play, obligando a los operadores a empaquetar los paquetes de sus servicios Triple Play con descuentos y promociones que ha llevado a disminuciones significativas de precios.

Una pregunta crítica que enfrenta aquí en el presente trabajo de titulación es si la arquitectura y las capacidades de las redes de acceso por

cable eventualmente convergen. El grado de convergencia determinará que las redes de acceso alámbricas utilizan la alta capacidad de las redes físicas de fibra óptica y la capacidad de uso general de protocolos basados en IP para apoyar a los servicios Triple Play como de voz, video y datos. Para hacer las cosas aún más complicadas, que no siempre es posible proporcionar a los clientes una red de acceso a Internet por cable como DSL o Televisión por cable (CATV).

### **1.3. Definición del Problema.**

Como se describió anteriormente, el área de investigación en redes Triple Play en general es un desafío. Por eso surge la necesidad de diseñar modelos de redes Triple Play mediante la simulación y evaluación de escenario a través de la tecnología ADSL.

### **1.4. Objetivos del Problema de Investigación.**

#### **1.4.1. Objetivo General.**

Realizar la simulación y evaluación de escenarios del servicio Triple Play mediante la tecnología ADSL.

#### **1.4.2. Objetivos Específicos.**

- Discutir con más detalle los servicios Triple Play prestados a través de una red IP y las posibles subservicios ofrecidos con la QoS requerida.
- Estudiar las posibles técnicas y mecanismos eficientes de servicios Triple Play

- Diseñar los modelos o escenarios propuestos para el sistema Triple Play a través del software OPNET Modeler
- Analizar el rendimiento de la red Triple Play probado en diversos escenarios.

### **1.5. Hipótesis.**

Mediante la simulación y evaluación de escenarios del servicio Triple Play mediante la tecnología ADSL se verificará el rendimiento y comportamiento de la red propuesta a través de gráficas comparativas para los servicios que se ofrecen en esta red 3Play.

### **1.6. Metodología de Investigación.**

El trabajo de titulación se basa en la simulación de una red Triple Play, cuyo paradigma investigativo es el empírico-analítico cuyo enfoque es cuantitativo. El método empleado es el “Ex-post-facto”, ya que se evidenciará la relación causa efecto entre los escenarios propuestos en el desarrollo de las simulaciones (capítulo 3).

## CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE DE LA TECNOLOGÍA DE COMUNICACIÓN ADSL

### 2.1. Introducción a ADSL.

La línea de abonado digital asimétrica (ADSL) utiliza líneas telefónicas de par trenzado existentes para crear el acceso para la comunicación de datos a altas velocidades y transmite a velocidades de hasta 8,1 Mbps para un abonado. Esta tecnología está en el proceso de superación de los límites de la tecnología de la red de telefonía pública, al permitir la entrega de acceso a internet de alta velocidad para la inmensa mayoría de abonados a un costo muy accesible.

El presente capítulo del trabajo de titulación muestra una visión general de la tecnología ADSL y una descripción de los procedimientos de prueba utilizados para calificar líneas DSL y verificar el servicio. La figura 2.1 muestra la arquitectura estándar de ADSL.

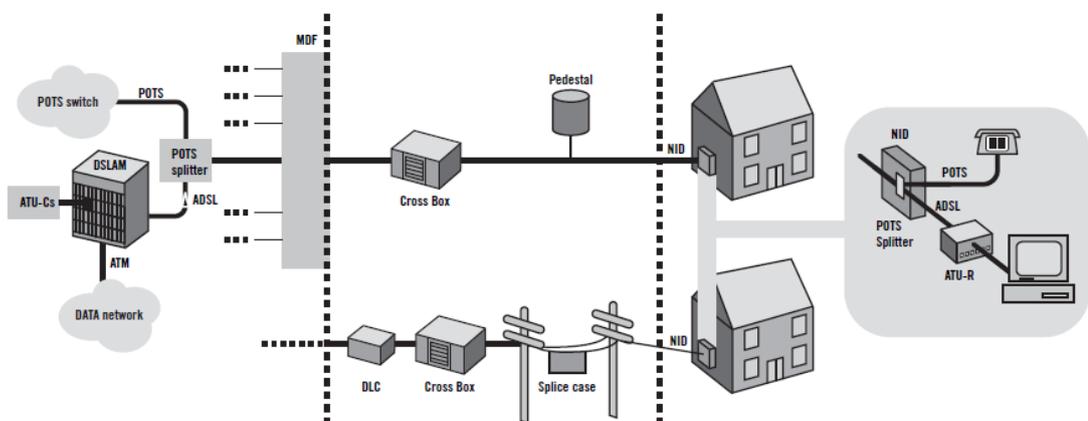


Figura 2. 1: Arquitectura estándar de ADSL.  
Fuente: JDSU (2005)

Para la entrega de ADSL se requiere una única configuración de par de cobre de un circuito de voz estándar con un modem ADSL en cada extremo de la línea, la creación de tres canales de información, un canal descendente de velocidad alta, un canal ascendente de velocidad media, y un servicio de telefonía fija corriente (POTS) canal de voz.

Las velocidades de datos dependen de varios factores, incluyendo la longitud del alambre de cobre, el calibre del alambre, presencia de ramas múltiples, y la interferencia. El desempeño de la línea aumenta cuando se reduce su longitud, cuando aumenta el calibre del alambre, y cuando se eliminan los taps (tomas) y se reduce la interferencia.

El modem situado en las dependencias del abonado, se denomina una unidad de transceptor remoto ADSL (ATU-R), y el modem en la oficina central se llama una unidad de la oficina central de transceptor ADSL (ATU-C). Las ATU-Cs toman la forma de tarjetas de circuitos montada en el DSLAM. Un abonado residencial o comercial conecta su PC y un modem al conector RJ11 de la línea telefónica.

El cableado de la casa existente por lo general lleva la señal ADSL al NID que se encuentra en las instalaciones del cliente (véase las figuras 2.1 y 2.2).

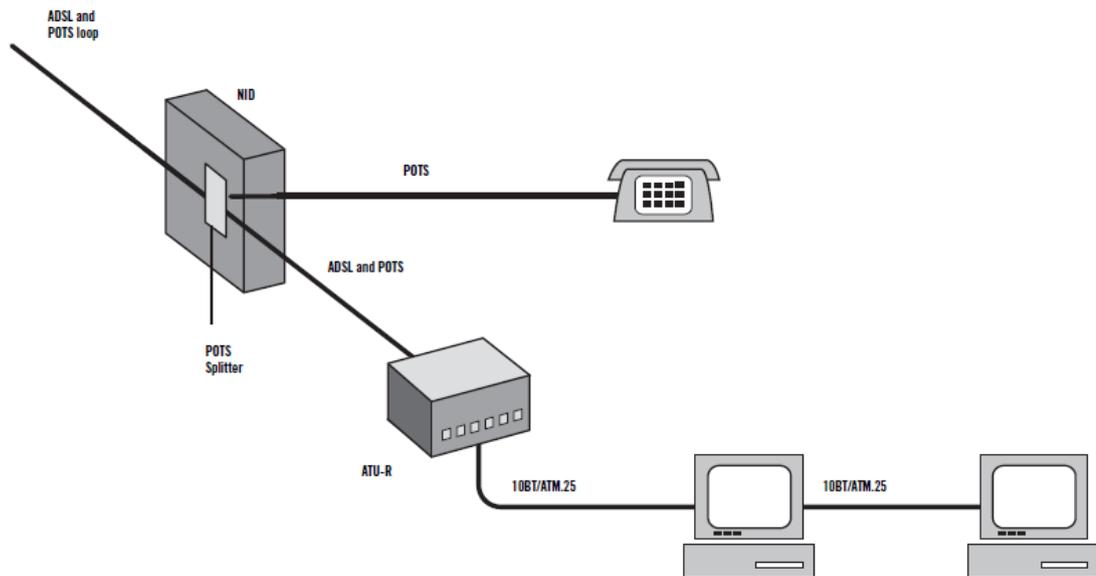


Figura 2. 2: Señal en las dependencias del cliente.  
Fuente: JDSU (2005)

## 2.2. Conectividad física de ADSL.

En la oficina central, un bastidor de distribución principal recoge los cables de muchos de los suscriptores y utiliza un splitter (divisor) para distribuir el tráfico de datos a un DSLAM y las rutas de tráfico telefónico regular sobre un E1/T1 conectada a la red telefónica pública conmutada (PSTN).

El DSLAM mezcla los servicios DSL de diferentes abonados a los circuitos virtuales ATM. A menudo, un concentrador DSLAM contiene ATU-Cs donde las señales ADSL están multiplexadas en una interfaz de alta velocidad conectada por ejemplo a una red de cajero automático. Esta red ATM proporciona acceso a Internet a través de los proveedores de servicio de Internet (ISP).

El proveedor de DSL agrupa el tráfico destinado a un determinado ISP y lo envía a través de un E3/T3 o una conexión STM-1/OC-3c. Un servidor de acceso remoto de banda ancha (BRAS) termina la sesión IP del abonado y lo dirige a la red troncal de internet. En la mayoría de los casos, los divisores (splitter) POTS en el dispositivo de interfaz de red (*Network Interface Device, NID*) y la oficina central permite al circuito de cobre ser utilizado simultáneamente por el servicio de alta velocidad ADSL y POTS.

El canal POTS se separa del canal ADSL mediante un filtro pasa alto/pasa bajo pasivo, que se encarga de separar las señales de baja frecuencia para POTS y de alta frecuencia para ADSL, encaminando cada uno por un cable diferente. El divisor también protege la señal ADSL de POTS transitorios procedentes de los teléfonos que van con el teléfono colgado y descolgado.

El servicio ADSL puede ser instalado sin utilizar un divisor en el NID. En lugar de ello, micro filtros se colocan en línea con la toma del teléfono en cada ubicación del teléfono. Aunque esta configuración sacrifica algún nivel de rendimiento, que permite al cliente auto-instalar el CPE. Típicamente, los micros filtros están empaquetados con el modem ADSL en un kit de auto instalación.

La figura 2.3 muestra varios puntos de prueba para el servicio ADSL.

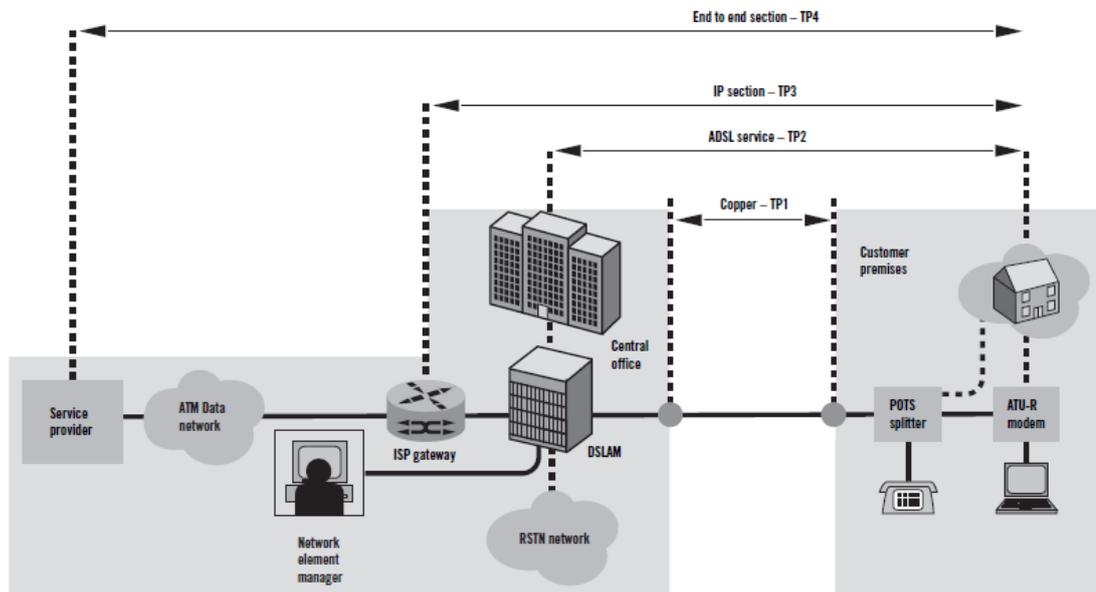


Figura 2. 3: Las capas de red ADSL.  
Fuente: JDSU (2005)

### 2.3. Codificación de la señal ADSL.

Tradicionalmente POTS utiliza una frecuencia de banda base estrecha de 4KHz para transmitir señales de voz analógicas. Esto significa que incluso con técnicas de modulación sofisticados, la tecnología de modem actual solo puede lograr un rendimiento de hasta 56 kbps (enlaces ascendentes de 56Kbps y enlaces descendentes de 32Kbps).

Para alcanzar un rendimiento mucho mayor (hasta 8Mbps), ADSL utiliza un rango de frecuencia de aproximadamente 20 KHz a 1,2 MHz. La multiplicación por división de frecuencia (FDM), crea múltiples bandas de frecuencia para enlaces de datos ascendentes y descendentes. El rango de frecuencia más baja de 0 a 4 KHz está reservado para el servicio POTS. La banda de frecuencia de 25 KHz a 138 KHz se utiliza para transmitir datos de

subida, y la banda de frecuencias más altas de 138 K a 1.1 MHz se utiliza para datos descendentes, tal como se ilustra en la figura 2.4.

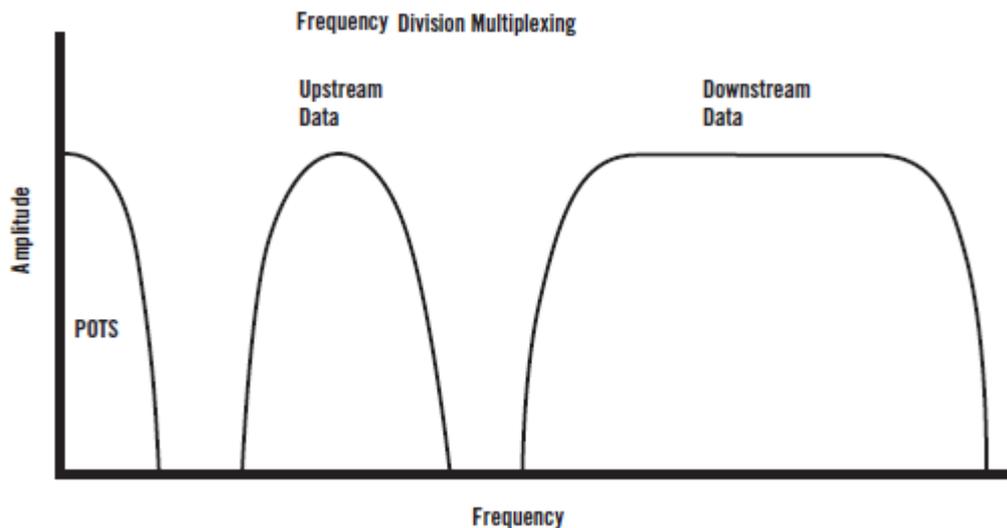


Figura 2. 4: Bandas de frecuencias para ADSL.  
Fuente: Gil Molina, A., & Cárdenas Soto, A. M. (2011).

El Instituto Americano de Estándares Nacionales (ANSI) y la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) eligieron la modulación multimodo discreto (DMT) como el código de línea estándar de ADSL. DMT, como su nombre lo indica, divide el ancho de banda de datos en 256 subcanales, o tonos, que van desde 25 KHz a 1,1 MHz.

Las frecuencias de transferencia de datos ascendentes van desde 25 KHz a 138 KHz, mientras que las frecuencias para datos descendentes van desde 139 KHz a 1,1 MHz (véase las figuras 2.4 y 2.5). Un protector de frecuencia divide las tres bandas de frecuencias. Cada tono tiene un ancho de banda de 4KHz y una separación de 4,3 KHz, soportando cada uno un número máximo de 15 bits, limitada por la relación señal-ruido.

Desde los tonos con mayores frecuencias son más susceptibles a la atenuación y ruido, las frecuencias más altas suelen llevar menos bits por tono de las frecuencias más bajas. Además de los bits de datos normales, un canal de operaciones incrustado (EOC) se ofrece como una parte del protocolo de ADSL para las comunicaciones entre el modem DSL y DSLAM. Este dispositivo se utiliza para proporcionar servicio y quedar fuera de servicio por mantenimiento, recuperando una limitada cantidad de información de estado, y el monitoreo del rendimiento del ADSL. El EOC puede ser utilizado en el futuro para extender el mantenimiento y supervisión del rendimiento.

ADSL es de calidad con BER de  $10^{-7}$ , como servicio de tasa variable. Durante pruebas experimentales, el sistema ADSL (ATU-R y ATU-C) evalúa la calidad de la línea mediante la medición de la relación señal/ruido (SNR) y la atenuación/ganancia por tono. A continuación, se puede decidir sobre la velocidad de datos máxima sostenible en el circuito de cobre y todavía mantener un BER menor a  $10^{-7}$ .

Esto difiere de la mayoría de otras tecnologías de transmisión digital (ATM, RDSI, etc.) que proporcionan tasas fijas y servicios de calidad variables (BER variable). Por lo tanto, para evaluar la calidad de servicio de ADSL, hay que examinar la capacidad de la línea y el margen de ruido. Cuanto menor sea la capacidad y mayor es el margen de ruido, mejor será la señal.

En el modo adaptativo, BER será siempre  $10^{-7}$  o ligeramente inferior, dependiendo del mínimo margen de ruido fijo. Después de evaluar la línea, el ancho de banda máximo se reduce aún más por el margen de ruido mínimo (fijado en el DSLAM). Esto es generalmente 6dB para permitir cambios de SNR y se convierte en el límite superior de velocidad de datos.

Recordemos, que el factor limitante es el BER y mientras el BER permanece menos de  $10^{-7}$ , se cumplen los requisitos del servicio ADSL y la sincronización se producirá. La velocidad de datos puede ser menor que el que se desea, pero aun así cumple con los requisitos de la especificación.

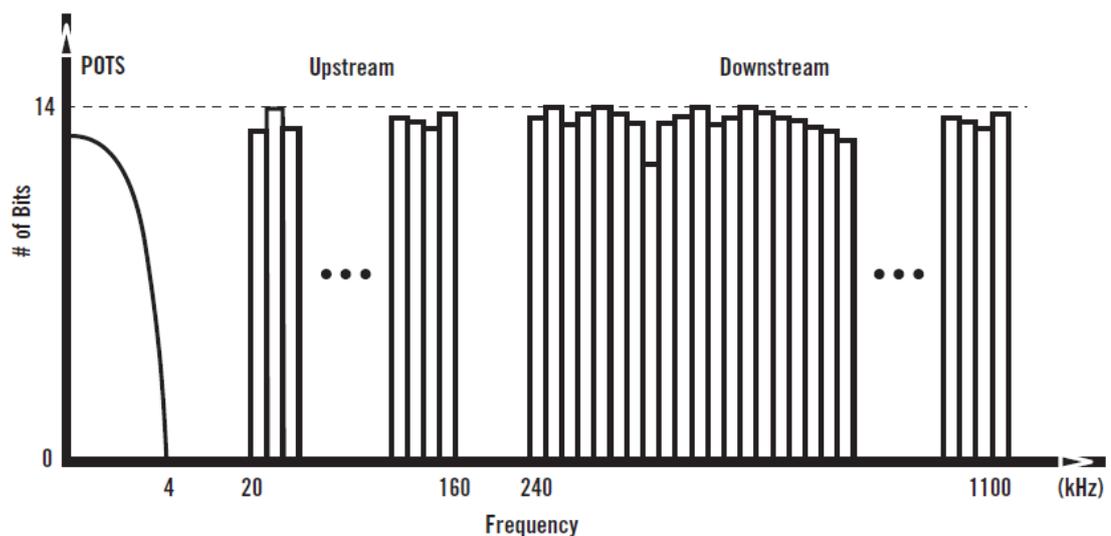


Figura 2. 5: Tonos del ancho de banda de datos para ADSL.  
Fuente: Gil Molina, A., & Cárdenas Soto, A. M. (2011).

#### 2.4. Modulación de Amplitud en Cuadratura, QAM.

ADSL utiliza la modulación de amplitud en cuadratura (QAM) (véase la figura 2.6) para lograr el máximo de 15 bits que se puede llevar a cualquier tono. Esta técnica emplea una combinación de modulación de amplitud y

modulación por desplazamiento de fase. Por ejemplo, una señal que transmite a los tres bits por baudio requiere ocho combinaciones binarias para representar la señal. Este ejemplo supone dos posibles medidas de amplitud y cuatro posibles de desplazamientos de fase, que permiten ocho ondas posibles.

La tabla 2.1 muestra la correspondencia entre cada combinación binaria, la amplitud y el desplazamiento de fase. Utilizando la técnica anterior, un gran flujo de bit puede ser dividido en tramas de tres bits, como se muestra en el siguiente ejemplo:

001-010-100-011-101-000-011-110

Tabla 2. 1: Valores de bits para QAM.

Valor de bits	Amplitud	Desplazamiento de Fase
000	1	None
001	2	None
010	1	1/4
011	2	1/4
100	1	1/2
101	2	1/2
110	1	3/4
111	2	3/4

Fuente: Gil Molina, A., & Cárdenas Soto, A. M. (2011).

La figura 2.6 ilustra señales QAM codificadas de la cadena de bits que se mostraron del ejemplo anterior, donde cada onda se desplaza en relación con la onda que le precede inmediatamente.

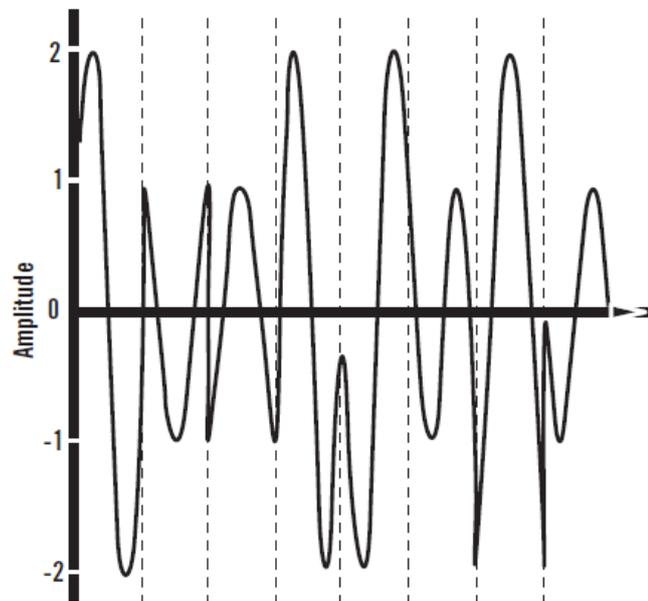


Figura 2. 6: Ejemplo de codificación QAM.  
Fuente: Hidalgo, E., Ayala, C., & Ramos, B. (2010).

## 2.5. Pila de Protocolos

Las comunicaciones de datos entre el CPE, CO e ISP (véase la figura 2.3) se llevará a cabo mediante reglas o protocolos que gobiernan cada aspecto del proceso de comunicación. Los protocolos vienen en pilas hechas de capas, con cada capa que define una parte específica del proceso de comunicaciones. Las capas inferiores, que tratan la transmisión segura de datos desde el origen al destino, son más críticos para ADSL puesto en marcha. Las capas inferiores son de abajo hacia arriba:

1. La capa física se refiere a la creación del circuito físico entre dos dispositivos. La especificación ADSL define la capa física, incluyendo el calibre del cable, longitudes de recorrido, longitud de toma puente aceptables, etc.

2. La capa de enlace de datos es proporcionada para transportar datos a través de la capa física.
3. La capa de red se ocupa del encaminamiento de datos a través de una red global.

ADSL se define como la capa física de destino, y que plantea la cuestión de cómo definir el nivel de enlace a fin de cerrar la brecha entre la capa física y la especificación bien definida de la capa 3, conocido como protocolo de Internet (IP). Los requisitos para un servicio de banda ancha personal incluyen el manejo de temporización de transmisión sensible de vídeo y audio durante la transferencia eficiente de grandes y variables bloques de datos que participan en las tareas tradicionales de comunicaciones de datos, tales como la navegación web y descargas de archivos.

El modo de transferencia asíncrono (ATM), cumple estos requisitos mediante el uso de un corto período de longitud fija llamada célula para contener los datos que pasan desde las capas superiores. Este corto periodo de longitud fija permite que ATM transporte datos e información en tiempo real.

El tráfico de tiempo real tiene que esperar no más de una celda de 53 bytes, para el procesamiento mientras que en las redes de comunicaciones de datos convencionales un paquete en tiempo real podría quedar atrapado

detrás de varios paquetes de datos de gran tamaño. Esto hace que sea posible la transmisión de tráfico en tiempo real metódicamente, deslizándose en un flujo de datos que incorporan células. ATM también ofrece la ventaja de intercalar diferentes flujos de datos de usuario en una conexión común sin ningún impacto en los usuarios individuales.

## **2.6. Encapsulación ATM**

Los 48 bytes de carga disponible en una celda ATM es insuficiente para la mayoría de aplicaciones de modo ATM que utiliza capas de adaptación para tomar los paquetes de un protocolo de nivel superior como IP y llevarlas en células ATM. En casi todos los casos la capa de adaptación ATM 5 (AAL5) se utiliza para transportar el tráfico de Internet.

AAL5 no tiene cabecera, pero tiene un trailer que ofrece corrección de errores. De alguna manera, también sirve para identificar los protocolos que pertenece, se necesitan paquetes en particular de modo que se puede pasar a la aplicación correcta en la capa superior. Tres opciones ampliamente utilizadas son HDLC, VC-Mux y LLC-SNAP, que se describen en RFC1483.

Muchos proveedores han determinado que el método más rentable para la conexión con el dispositivo de acceso local del cliente, es a través de Ethernet, por lo que este protocolo también se ejecuta a menudo en la capa 2. Finalmente, punto a punto (PPP) se utiliza a menudo en la capa 2 debido a su capacidad para conectar una red de trabajo de hosts sobre un

dispositivo de transición de acceso simple a un concentrador de acceso remoto. Con este modelo, cada host utiliza su propia pila de PPP, que presenta al usuario una interfaz familiar, tal como se ilustra en figura 2.7.

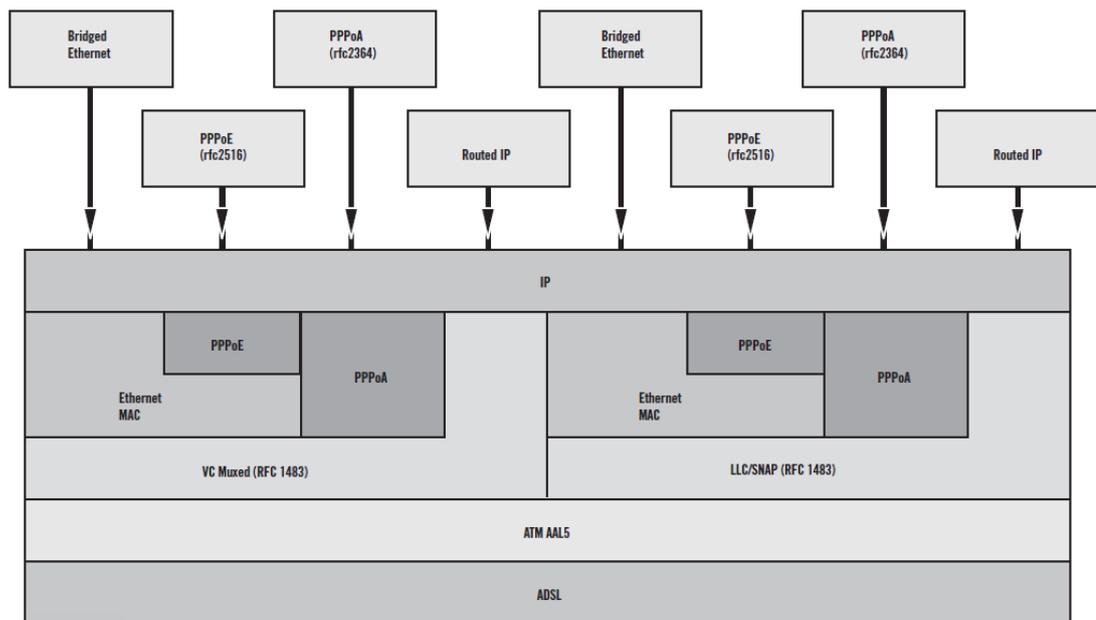


Figura 2. 7: Pilas de encapsulamiento.  
Fuente: Llanga, C., & Fernanda, P. (2011).

La conexión ADSL es siempre, desde el equipo local del cliente al proveedor de servicio de internet; por lo tanto, a diferencia de los módems analógicos o ISDN, ADSL no requiere de acceso telefónico. Cuando un usuario final se convierte en la ATU-R, la sincronización se establece con el ATU-C.

Cuando se realiza la conexión, se establece una conexión virtual permanente (PVC) entre la red de cajeros automáticos y del proveedor de servicios de ATU-R. Cada PVC está configurado para conectar la línea DSL a la red ATM, que se configura para enrutar el tráfico a un ISP. Como

resultado, el usuario final tiene un enlace directo a la Internet a través del ISP siempre que la ATU-R está encendida.

## **2.7. Sistema de gestión de red**

El sistema de gestión de red (NMS) (véase la figura 2.3) actúa como un centro de control para el sistema ADSL. El NMS se utiliza para analizar de calidad y el rendimiento de la red, en base a los parámetros del sistema, tales como las tasas máxima y mínima de bits. Cuando se encargó una nueva línea, el SMN se utiliza para ajustar las configuraciones de los usuarios finales, que incluyen ajustes de velocidad de bits, limitando así el rendimiento.

Por ejemplo, si el usuario final está pagando por un servicio de 1 Mbps, el NMS está ajustado a una velocidad de bits máxima de 1 Mbps. Del mismo modo, si otro usuario final está pagando a 3 Mbps, el NMS en consecuencia se ajusta a la velocidad de bits contratado. El NMS también se utiliza para controlar la configuración del sistema, tales como las tasas de bits intercalados, márgenes de ruido y ajustes de potencia que afectan a la calidad del servicio.

## **2.8. Tasa de adaptación**

Debido a que ADSL se implementa mediante un par trenzado de cobre normal, debe adaptarse a varias condiciones asociadas con la línea de teléfono analógico tradicional. La calidad del bucle local varía drásticamente,

dependiendo del calibre, la proximidad a las influencias de ruido y otros factores. Un sistema de tasa (Rate) adaptativa ADSL (RADSL), intenta entregar el mejor rendimiento mediante el ajuste de la conexión para compensar estos problemas.

Hay tres posibles modos en un sistema ADSL de frecuencia adaptativa, que está aprovisionado por el NMS. Cada modo se ocupa de las operaciones de puesta en marcha y - o sincronización inicial - de una manera diferente, como se describe a continuación:

- a. **Adaptación de velocidad manual**, el NMS especifica desde el inicio la tasa de bits que desee que las ATU pueda soportar. Si las condiciones no son satisfactorias para lograr este paso, la sincronización entre las ATU falla y la resincronización se intenta. Durante ese período, se produce el llamado Showtime después de la sincronización, las ATU mantienen la tasa de bits especificada por NMS.
- b. **Adaptación de velocidad en la inicialización**, el NMS especifica en el arranque del máximo rango de tasa de bits mínima deseada y que la ATU debe admitir. El intento de ATU para maximizar el rendimiento hasta el ajuste máximo de velocidad de bits, si las condiciones no son satisfactorios para lograr la tasa de bits mínima, la sincronización entre el ATU falla y la resincronización se intenta. Una vez establecida la velocidad de bits, las ATU mantienen la tasa de bits especificado por el NMS.

- c. **Adaptación de velocidad dinámica**, las ATU intentan maximizar el rendimiento en el arranque, como es el caso con el modelo anterior. Durante el llamado Showtime, el sistema controla el estado de la línea, y continuamente intenta alcanzar la tasa de bits máxima posible en función de la configuración del NMS.

## **2.9. El intercambio de Bits.**

Cuando se implementa, el intercambio de bits se produce durante el proceso de sincronización en los tres modos de frecuencia adaptativa. El sistema ADSL ajusta parámetros de la señal para compensar los problemas de red, tales como la atenuación, la diafonía o ruido. Como el sistema funciona, la calidad de cada sub-canal de 4 kHz se supervisa constantemente.

Se hacen ajustes a la distribución bits por tono para mantener el rendimiento. Si el margen de ruido para un tono particular se degrada por debajo del margen de ruido mínimo y así compromete el rendimiento del sistema, uno o más bits en ese tono se mueven automáticamente a otro tono que puede soportar bits adicionales.

Este seguimiento da como resultado un mayor rendimiento y una comunicación más robusta, permitiendo al sistema ADSL adaptarse continuamente a los cambios característicos del canal y ruido, tal como se muestra en la figura 2.8.

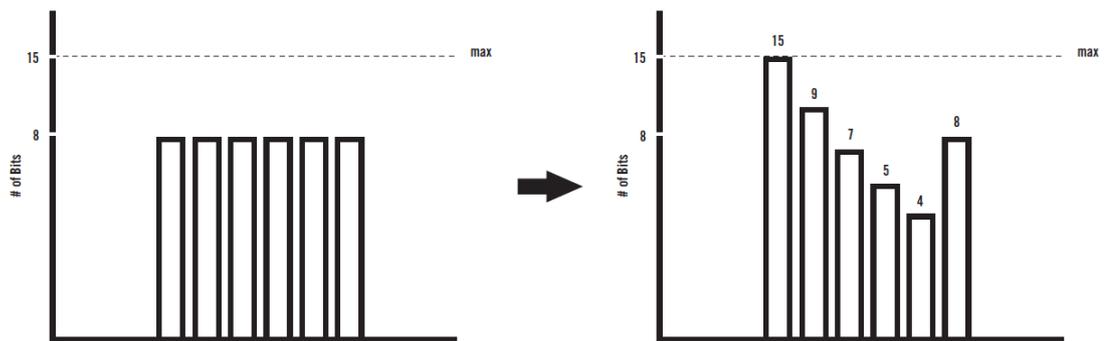


Figura 2. 8: Representación gráfica del intercambio de bits.

Fuente: Gill, R., Farah, T., & Trajkovic, L. (2011).

Las técnicas de transmisión ADSL permiten aprovechar la planta externa (Out-side Plant, OSP) existente para las prestaciones de servicios de alta velocidad de voz y de mayor rapidez de datos. Esto elimina la necesidad de grandes inversiones para modernizar la OSP, como sería necesario para arquitecturas alternativas, como la fibra en el bucle o híbridas (fibra/coaxial). Por otra parte, el servicio ADSL depende de la calidad y el diseño de la planta externa, por lo que es necesaria la precalificación de bucles de cobre para determinar si el bucle es capaz de soportar la transmisión ADSL.

## 2.10. Requisitos de planta externa (OSP).

Implementaciones típicas de ADSL están diseñadas para trabajar en bucle con distancia de hasta 18.000 pies de longitud de 26 AWG con una velocidad de descarga de 1,5 Mbps y a una velocidad dúplex de 128 Kbps. Pero otros factores en el bucle local provocan interferencias en el servicio ADSL. Bobinas de carga causan problemas, porque están diseñadas para

suprimir exactamente la señal que necesitan los módems DSL para transmitir datos de alta velocidad.

El efecto de una bobina de carga es equivalente a la adición de aproximadamente 20.000 pies de longitud de la línea, haciendo que la línea sea inutilizable para el servicio DSL. En la mayoría de los casos, las bobinas de carga deben ser identificadas y eliminadas de líneas de apoyo de ADSL.

Las derivaciones de puente también interfieren con el servicio de DSL porque actúan como un trozo de línea de transmisión con efectos adversos a altas frecuencias. Como regla general, la duración de todas las ramas múltiples sobre el tramo debe totalizar menos de 2.500 pies, sin ningún tap que exceda los 2.000 pies.

Por ejemplo, ocho taps (ramas múltiples) de 60 pies son aceptables, pero un tap de 2.400 pies es inaceptable. Cuanto más cercano del tap de derivación a la ATU-R, lo más probable es que se perjudica el rendimiento devolviendo reflexiones que contienen más energía que los impulsos de datos entrantes de la ATU-C. Si esto ocurre, el circuito es incapaz de distinguir entre los datos y los reflejos no deseados.

Por ejemplo, una tap de derivación entre 300 y 600 pies de un ATU-R puede afectar drásticamente la señal de ADSL. Por estas razones, se

recomienda que los taps múltiples puedan removerse a 1.000 pies de la ATU-R para un mejor rendimiento.

### **2.11. Activación de servicios.**

Antes de que el proveedor le encargue el servicio de DSL, los técnicos tienen que probar todas las conexiones de una red DSL, de la CPE a través de la red. El técnico valida y confirma varias capas de protocolo para confirmar que la red puede transportar cargas útiles de datos y de señal de voz. Dado que la falla de cualquier capa de transporte, red o servicio hace que el servicio falle, sería necesario pruebas completas de servicios del cliente.

Un método eficiente para llevar a cabo esta tarea es con un conjunto de pruebas que simula el módem ADSL y se comunica tanto con el DSLAM y el PC del abonado. Esto valida y confirma todas capas de protocolo de la PC en la nube ATM. Los técnicos pueden utilizar este instrumento para determinar si existe una ruta completa o circuito de extremo a extremo en la capa ATM y si las células ATM se alinean con las capas de protocolo superiores.

Por ejemplo, un equipo como JDSU HST-3000 establece y mantiene la conexión a través de la red mediante la creación de un circuito permanente en la 2da y 3era capa de la red, por lo que es posible comprobar la red de extremo a extremo desde el sitio del cliente a través de la red. El equipo de

prueba también incluye el protocolo punto a punto (PPP) por lo que es posible mirar más allá del DSLAM en la red de cualquier proveedor de servicio y verificar la cartografía y la conectividad correcta.

## **2.12. Pruebas al ordenador del cliente.**

El equipo HST-3000 se utiliza del lado de la red LAN para realizar pruebas de conectividad Ethernet del equipo del abonado. A medida que se encargan más redes ADSL, la experiencia muestra muchos problemas con el resultado de errores de configuración CPE y aprovisionamiento de red. Identificar rápidamente estos problemas e informar al abonado, ahorraría tiempo perdido de otra manera en la solución de problemas de la conexión ADSL.

El aparato de prueba rápidamente y fácilmente confirma el rendimiento de la capa física DSL mediante la emulación de módems unitarios del transceptor DSL. En este modo de operación, el equipo de prueba verifica el tipo de señal DSL real para la conexión actual y la máxima tasa posible de la conexión. Se comprueba el margen de señal a ruido para evaluar la intensidad de la señal DSL sobre el bucle, señalando así las capacidades y limitaciones de rendimiento en el futuro.

Los técnicos sincronizan el equipo de prueba (Tester) para servicios DSL en diferentes puntos en el bucle a los fallos del segmento en la capa física, tal como se muestra en la figura 2.9. El equipo de prueba se conecta

la línea y establece la sincronización con el DSLAM. El probador de ADSL evalúa la calidad de línea por la relación señal a ruido (SNR) y la atenuación/ganancia por tono de medición. A continuación, decide sobre la velocidad de datos máxima sostenible desde el bucle de cobre mientras se mantiene un BER menos de  $10^{-7}$  basado en un margen de ruido mínimo, típico de 6 dB, que se fija en la DSLAM.

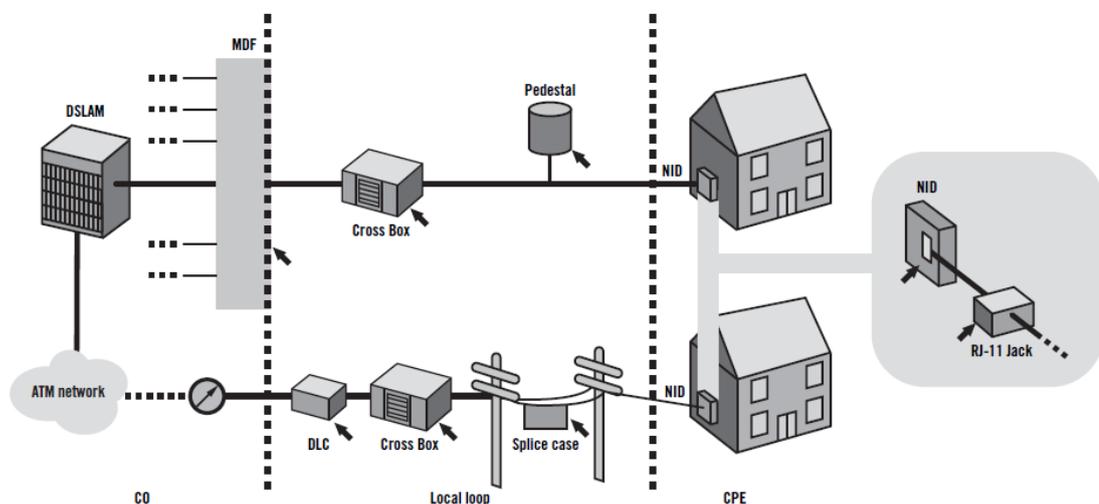


Figura 2. 9: Capa física para los puntos de acceso de prueba.

Fuente: Gill, R., Farah, T., & Trajkovic, L. (2011).

La configuración de prueba, luego, mide las tasas máximas en las que el servicio ADSL puede operar en este bucle, en condiciones de funcionamiento actuales. La capacidad de la línea se calcula comparando las tasas reales y máximas como una indicación de la solidez o la capacidad "de repuesto".

Si la velocidad de datos máxima establecidas por el DSLAM cae por debajo del ancho de banda disponible, el enlace muestra un margen de ruido superior o de menor capacidad. Cuando las tasas máximas superan las

tasas reales por un margen significativo, la línea debe ser inmune a degradaciones futuras y a la vez actualizable. Los valores de capacidad del 95% o más indican una baja tolerancia al ruido, y dan lugar a problemas en el futuro.

## **CAPÍTULO 3: SIMULACION Y EVALUACION DEL SISTEMA 3PLAY EN OPNET.**

### **3.1. Introducción.**

Después de los fundamentos teóricos tratados en el capítulo dos; es el momento de revisar los detalles de la simulación del proyecto de titulación. Uno de los principales objetivos del trabajo de titulación, es examinar el desempeño de la infraestructura de banda ancha y su apoyo a los servicios de Triple Play en operadoras de servicios como TV Cable, TV Claro, etc.

Además, para comparar los resultados de salida del efecto de cableado y conectividad inalámbrica de banda ancha heterogénea bajo una red IP utilizando OPNET Modeler. OPNET, es la mejor plataforma de simulación de comunicaciones que permite integrar nodos de comunicación completos con un modelo de acceso de banda ancha diferente. También, OPNET puede proporcionar una plataforma para crear y probar un modelo analítico y práctico de video, voz e Internet.

Adicionalmente, puede proporcionar la capacidad de integrar el modelo en un entorno diferente. Una aclaración a la arquitectura de red, la estrategia de simulación, topologías modeladas, parámetros y tipos de frecuencias usadas y ancho de banda examinados, así como los resultados obtenidos que son todos tratados en las siguientes secciones.

### 3.2. Arquitectura de red.

La modelación propuesta en el presente trabajo de titulación, consiste en descomponer la arquitectura de entrega del sistema Triple Play, para realizar funciones esenciales de la red Triple Play que incluya la prestación continua de servicios, la entrega de vídeo IP seguro y optimizado, la calidad del servicio: garantía y evitar la congestión. La figura 3.1 muestra la arquitectura del sistema propuesto y que será modelado en OPNET.

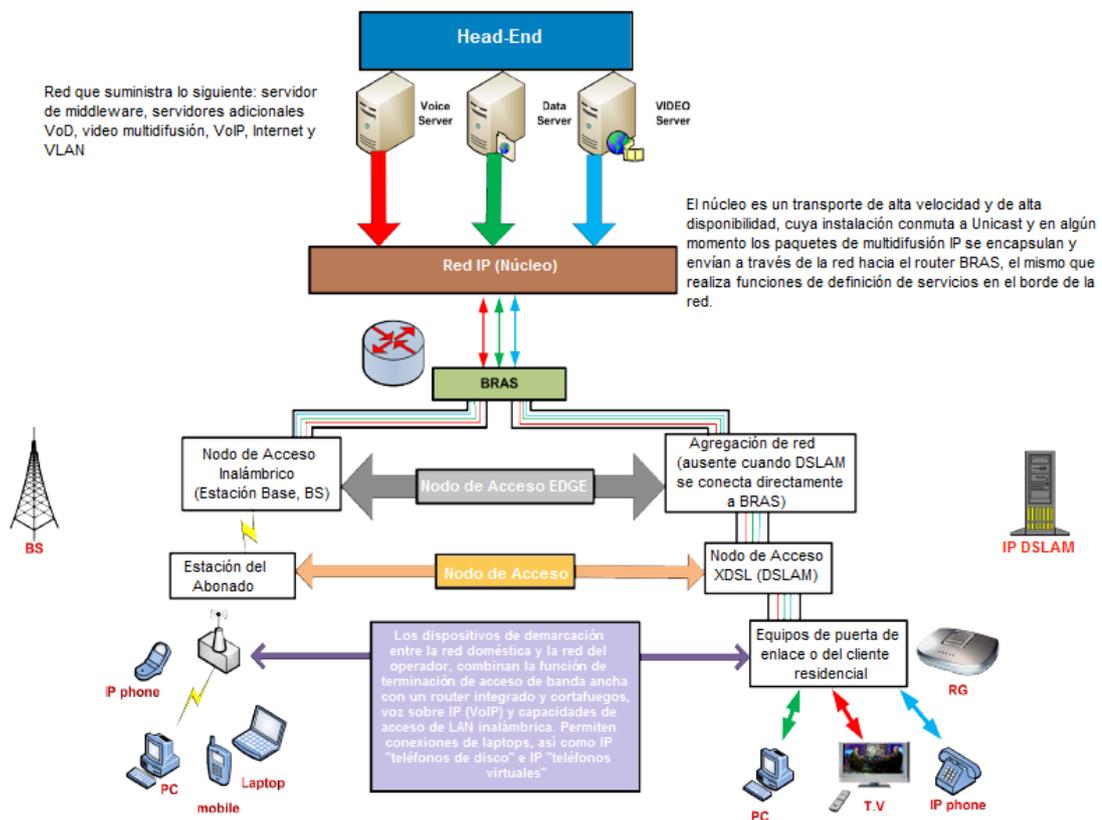


Figura 3. 1: Arquitectura del Sistema Triple Play.

Elaborado por: El Autor

### 3.3. Simulación del Sistema Triple Play mediante tecnología ADSL.

En esta sección, la simulación proporciona una descripción de alto nivel de una topología de red generalizada, así como los protocolos y dispositivos,

que se utilizan en el diseño de servicios Triple Play sobre la tecnología ADSL con velocidades de datos de bajada y de subida de 12 Mbps y 1,3 Mbps respectivamente.

Para el proyecto actual, el rendimiento de diferentes clases de servicio proporcionados en la red cableada son evaluadas por medición de los parámetros de QoS, incluyendo varios jitter promedio, así como la pérdida de paquetes y el retardo de extremo a extremo. Las redes son modeladas para casos en los que aproximadamente la disponibilidad de ancho de banda de red es del 50% (servicios ocupados en cada hogar a la vez, el tráfico en enlaces básicos de 50%), 30% (servicios ocupados en cada casa por una hora, tráfico en enlaces de núcleo de 70 %) y 30% (servicios no ocupados en cada hogar a la vez, el tráfico en enlaces centrales de 70%).

### **Topología de red para ADSL**

Suponemos que el mapa de Guayaquil se toma como un ejemplo de topología de la red, por lo que la red general se aplica a áreas geográficas de Guayaquil y la red secundaria se asigna para cualquier región dentro de Guayaquil, tal como se muestra en la figura 3.2. Los componentes principales son: cabecera del servidor, pares externos en Internet, núcleo IP, (BRAS) de borde, red de agregación Ethernet, DSLAM, bucle local, y la casa del cliente. Aquellos se explican en los siguientes subtemas.

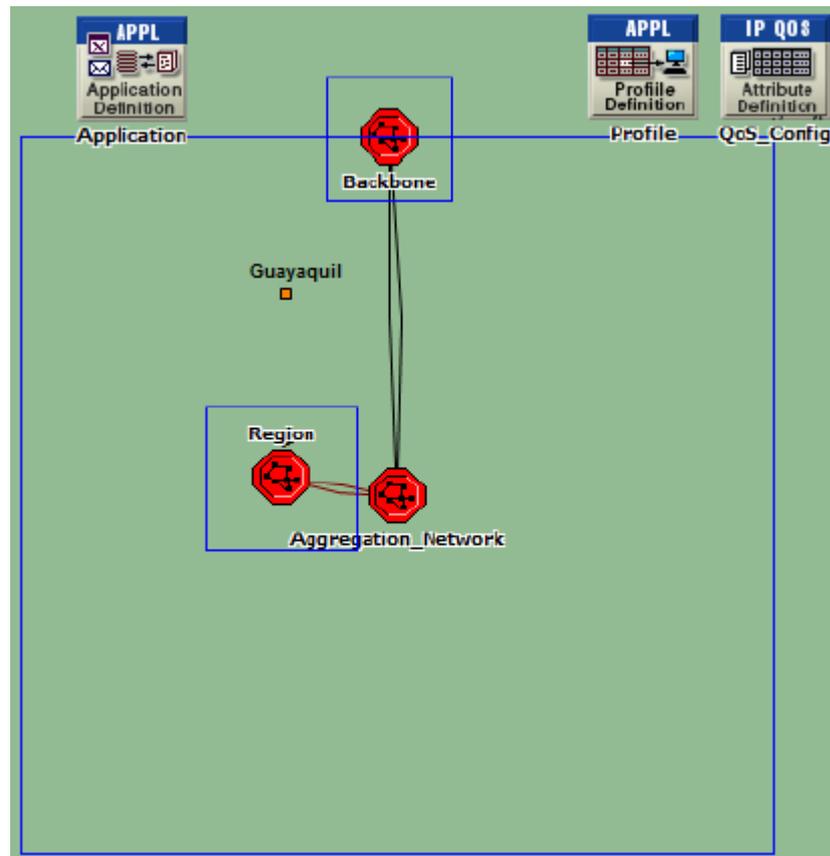


Figura 3. 2: Topología de la red Triple Play sobre ADSL  
Elaborado por: El Autor

**a. Subred de backbone:**

La figura 3.3 muestra la subred "Backbone" que está diseñado con 4 servidores configurados para transmitir audio almacenado y contenidos de vídeo, HTTP y FTP. Contiene una red IP de 100 Mbps y routers, tanto para la carga de tráfico IP multicast (R3, RP, y R4) y la carga de tráfico unicast IP (DSR). Estos routers están conectados a los switches (fuente y PPP), que dividen el tráfico en la VLAN. Entonces, estos routers están conectados al router BRAS en la subred de agregación a través de un PPP con velocidad de datos de 1.244 Gbps para enlaces WAN.

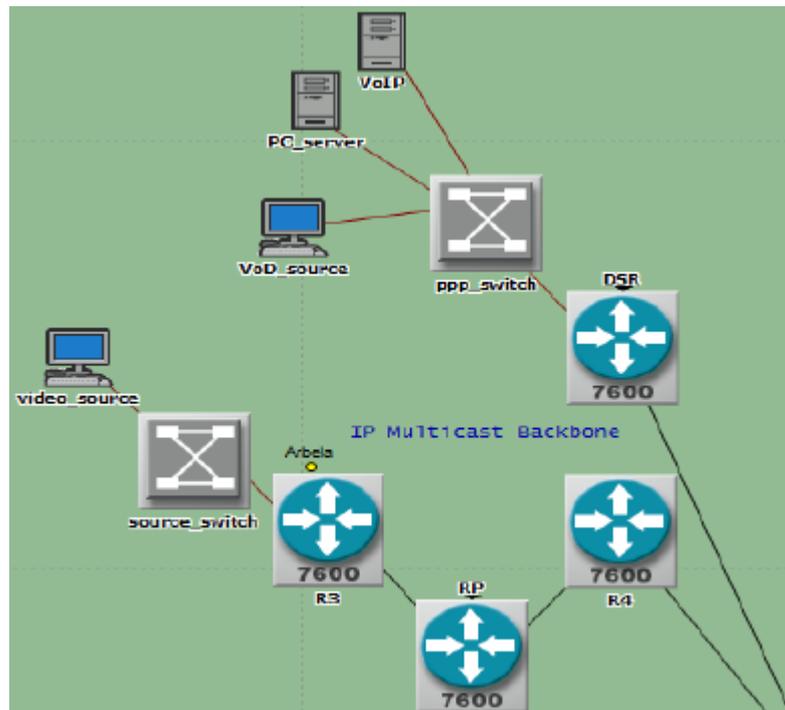


Figura 3. 3: Subred Backbone dentro de la topología de red ADSL.  
Elaborado por: El Autor

La distancia aproximada entre la subred backbone y la subred de agregación es igual a 5.44 km, lo que corresponde a aproximadamente 18.13 ms de retardo de propagación. Las técnicas de multicast y unicast se configuran con los parámetros de VLAN para obtener servicios eficientes de Triple Play; que serán explicados en los siguientes párrafos.

**En primer lugar** la tecnología utilizada Multicast IP permite el apoyo tanto de los servicios de IPTV, de la tecnología multicast y de los protocolos deben ser presentados en las capas de núcleo, de última generación, y de acceso a la red ADSL IP Triple Play. Esto se puede lograr, permitiendo la multidifusión en los routers. La figura 3.4 muestra la configuración de parámetros de multicast IP.

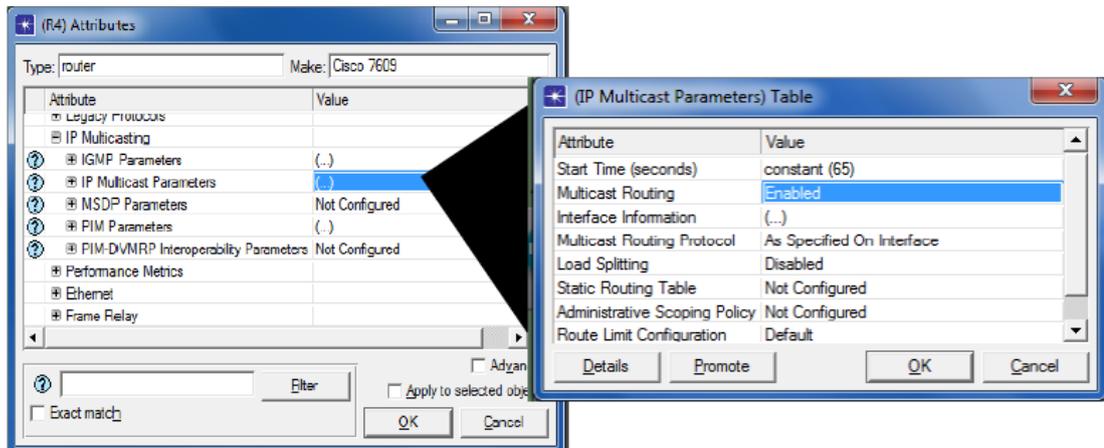


Figura 3. 4: Habilitar la multidifusión en routers  
Elaborado por: El Autor

Entonces, el tráfico multicast se envía, utilizando la dirección del grupo de multidifusión IP. Una dirección de grupo de multidifusión es una dirección IP única tomada de un rango reservado (224.0.0.0/4 para IPv4 y FF00: /8 para IPv6) para identificar un grupo de hosts que deseen recibir cierto tráfico. El remitente (servidor video\_source, véase la figura 3.3) utiliza la dirección IP multicast para establecer una sesión de videoconferencia (IPTV) con todos los receptores.

Mientras, que un router puede escuchar a un grupo en particular mediante el establecimiento de la dirección del grupo en la tabla de información de pertenencia estática IGMP. En este proyecto, se añade la dirección de grupo especificado desde 224.0.6.1 a 224.0.6.6 para seis canales IPTV bajo "IGMP Parameters", tal como se muestra en la figura 3.5.

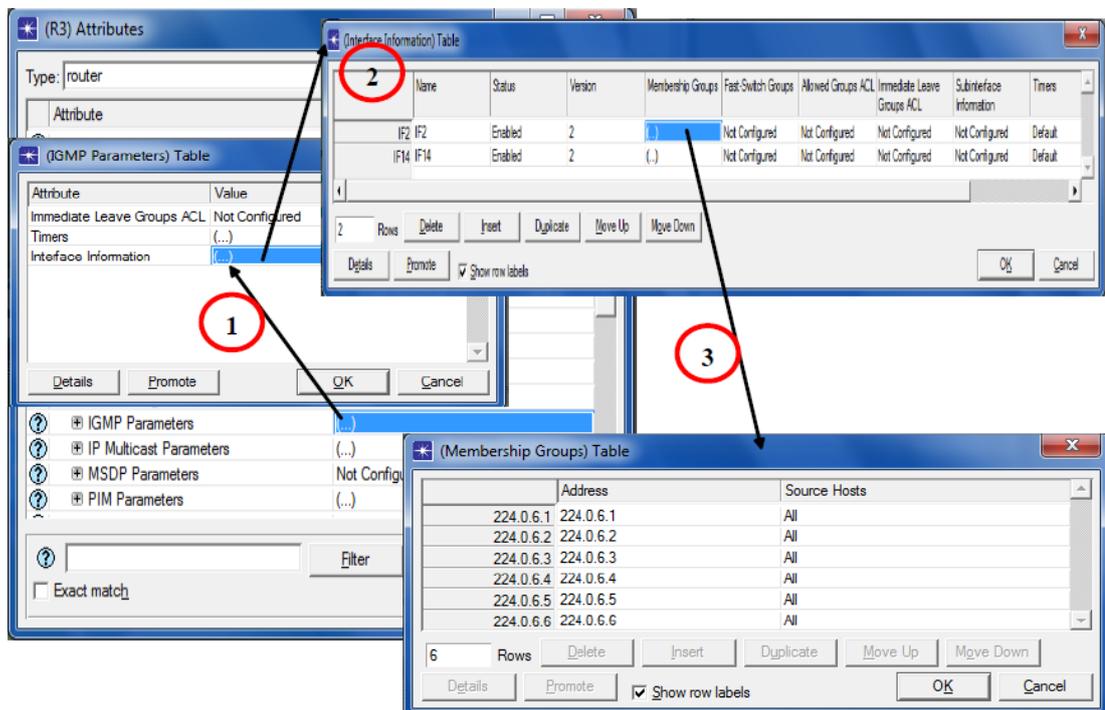


Figura 3. 5: Dirección IP de configuración para el grupo multicast en los routers.  
Elaborado por: El Autor

PIM-SM es un protocolo que distribuye la información de encaminamiento. Este protocolo se llama protocolo independiente, ya que no depende de ningún protocolo de enrutamiento unicast, para el descubrimiento de topología. También, conocido modo disperso, ya que es ideal para grupos, donde un porcentaje muy bajo de los nodos (y sus routers) se suscriben a la sesión de multidifusión.

En cada router, PIM-SM construye explícitamente un árbol de cada emisor a los receptores en el grupo de multidifusión. En cada ruta, PIM-SM es configurada mediante el atributo "IP multicast", tal como se muestra en la figura 3.6.

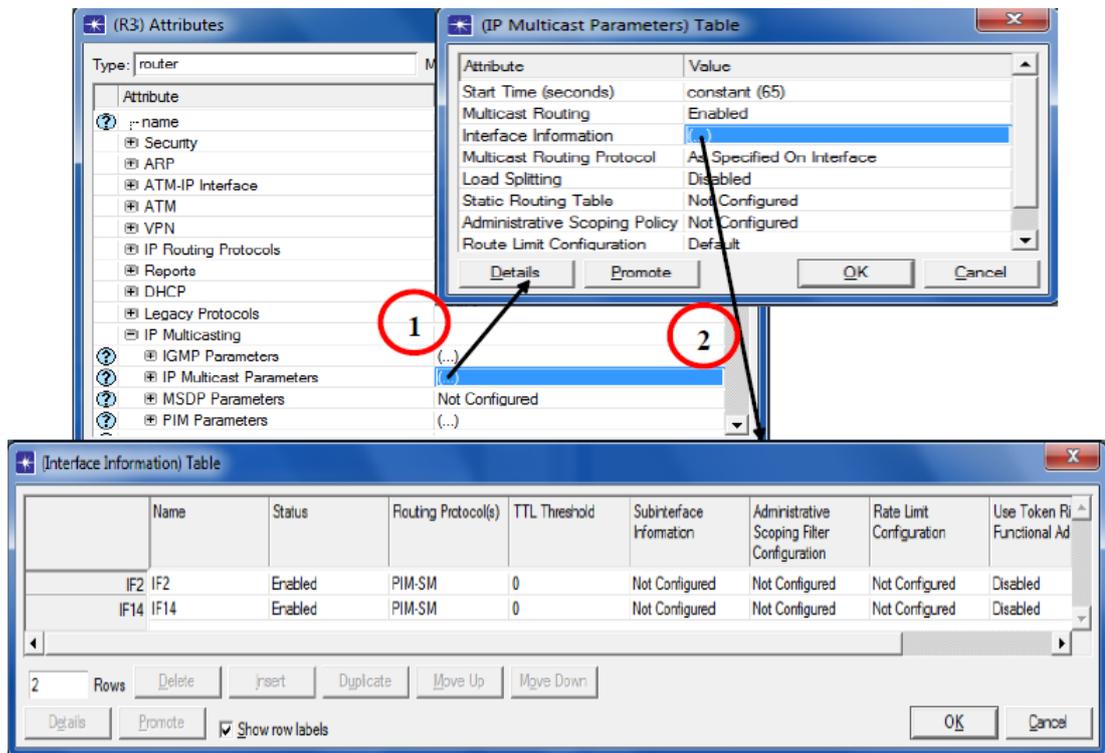


Figura 3. 6: Configuración PIM-SM protocolo multicast en los routers  
Elaborado por: El Autor

El punto de encuentro (RP) del router (ver figura 3.2), es responsable de conocer todas las fuentes de multidifusión que deben añadirse. PIM-SM crea un solo árbol multicast enraizado en el núcleo RP para todos los miembros del grupo de multidifusión dentro de un dominio. Las fuentes envían sus datos al RP reenviando datos para ingresar al árbol compartido de los receptores. Un receptor se une a un grupo de multidifusión a través de IGMPv1 e IGMPv2 y reciben datos enviados por la fuente del grupo multidifusión a través del árbol compartido. RP está configurado ya sea con Auto-RP o protocolo estático. La figura 3.7 muestra la configuración de Parámetros de PIM.

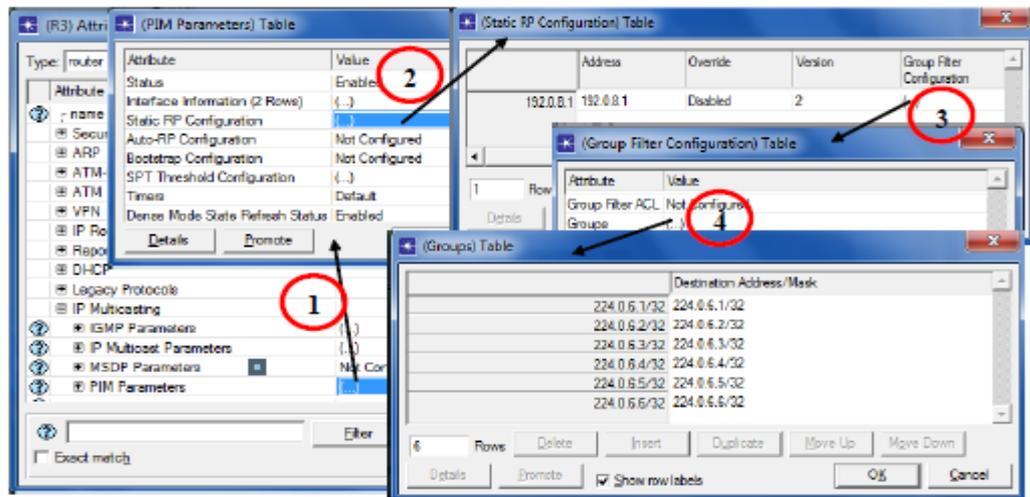


Figura 3. 7: Configuración de RP estático.  
Elaborado por: El Autor

En el extremo de ADSL (casa) se muestra la IP, y la multidifusión se puede activar/desactivar en cada interfaz IP, que se configura mediante <<IP Host Parameters>>. El canal IPTV (CH1 a CH6) combina un grupo de direcciones IP en TV especificando la dirección de grupo desde <<Application: Multicasting Specification>> (véase la figura 3.8), en el cual 2 IPTV soportan los canales CH1 y CH2.

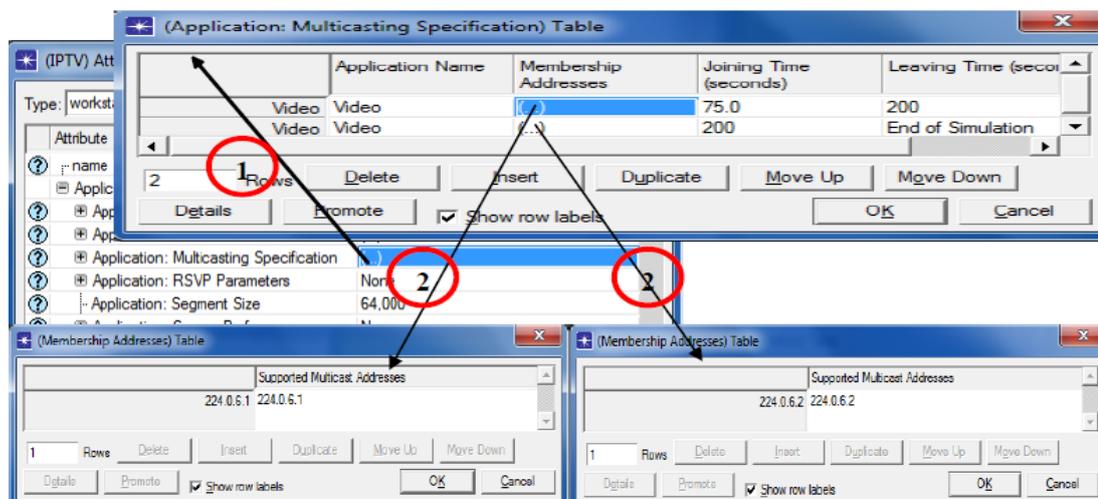


Figura 3. 8: Agrupación para canales IPTV en Home\_network.  
Elaborado por: El Autor

**En segundo lugar** utilizamos la tecnología IP Unicast, el router DSR (véase la figura 3.3) de la subred backbone se utiliza en modo unicast para que la entrega de tráfico unicast (VoIP, Internet y VoD) a la BRAS en la subred de agregación.

**En tercer lugar** utilizamos VLAN por la tecnología de servicio, como una red VLAN independiente se utiliza para cada servicio. Esta arquitectura se utiliza con frecuencia cuando el servicio de IPTV se introduce en una red de banda ancha. Para nuevos servicios en una VLAN diferente disminuye el riesgo de interrumpir el servicio existente. Este enfoque se muestra en la figura 3.9.

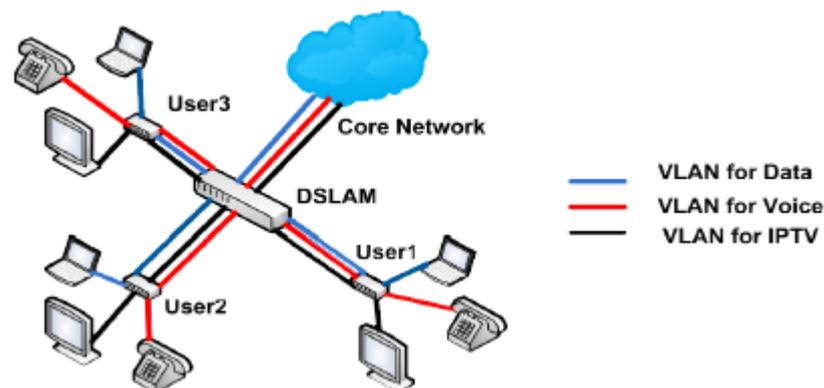


Figura 3. 9: Arquitectura VLAN de servicios.  
Elaborado por: El Autor

Una de las maneras más fáciles de entregar un servicio triple o multiplay, es asignar una única VLAN (VLAN se utiliza con el tráfico de paquetes) con múltiples modos y permitir que todos los clientes compartan la VLAN, tal como se muestran las figuras 3.10 y 3.11. El presente modelo se lo utiliza para estudiar el comportamiento básico de la arquitectura de la red

de comunicaciones multi-servicio y que se puede ampliar fácilmente con VLAN (VLAN de servicios).

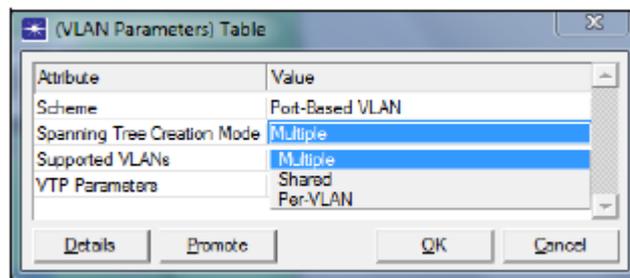


Figura 3. 10: Configuración VLAN individual con múltiples modos.  
Elaborado por: El Autor

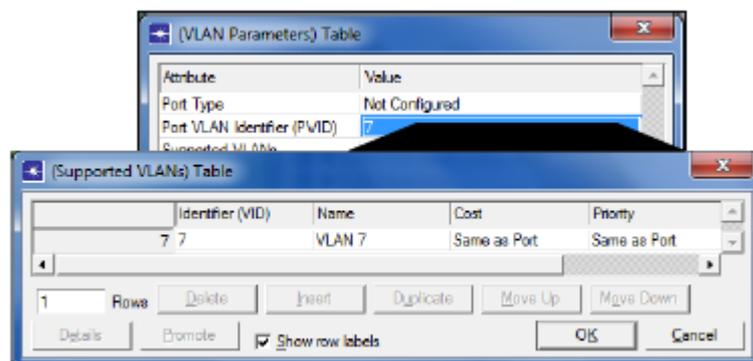


Figura 3. 11: Configuración VLAN en el Switch.  
Elaborado por: El Autor

### b. Subred de la red de agregación:

La subred de agregación, recibe todo el tráfico de la red troncal usando <<PPP\_SONET\_OC24>> con velocidades de datos de 1.245 Gbps. Entonces, lo entrega al acceder a la red en el lado del cliente mediante <<Metro Ethernet Network>>, esta subred tiene varios componentes como los que se muestra en la figura 3.12. Estos componentes se analizan en los siguientes subtemas.

- i. **BRAS (Broadband Remote Access Server):** es un servidor de acceso remoto de banda ancha que envía paquetes entre el núcleo y

el cliente. Es un router complejo que implementa políticas dinámicas por abonado IP, perfiles de QoS, limitadores de tarifas, la manipulación de paquetes, la asignación de direcciones, terminación de la sesión, y el reenvío.

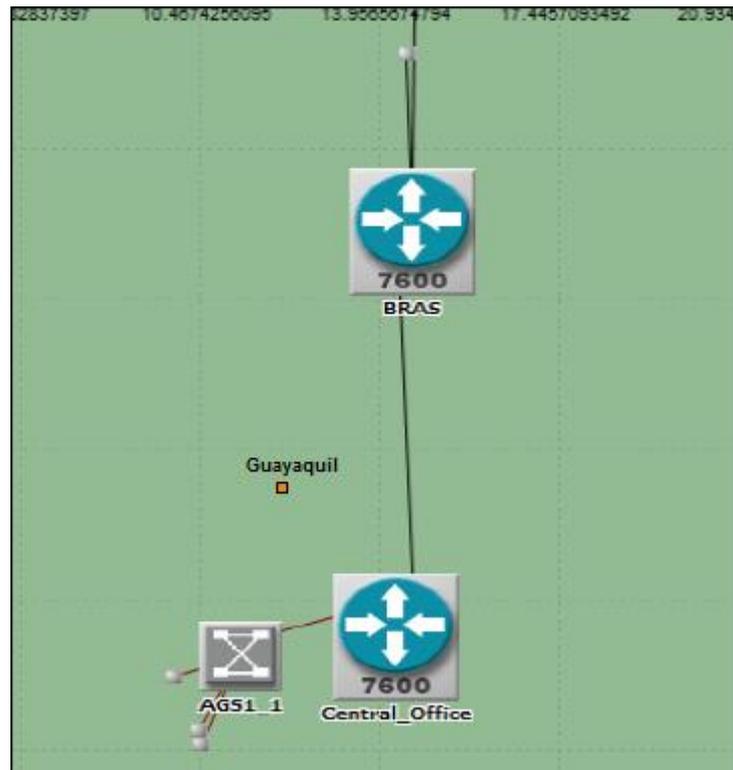


Figura 3. 12: Subred red de agregación dentro de la topología de red ADSL  
Elaborado por: El Autor

- ii. **Central\_Office (CO):** El router CO transmite los datos a la red de acceso, que consiste en DSLAM y DLCs (contenidos de descargas). El router CO y DSLAM remotos se suministran con enlaces "Gigabit Ethernet". La capacidad de este vínculo se establece en 1 Gbps. Un switch de <<Metro Ethernet Network>> (AGS1\_1) se utiliza para separar el tráfico recibido de un BRAS y del router CO mediante la tecnología VLAN.

- iii. **AGS1\_1:** DSLAM se agrega mediante conmutadores de agregación, también conocidos <<Metro Ethernet Network>>. Una <<Metro Ethernet Network>>, es útil cuando la capa de conmutación entre el DSLAM y el router CO ofrecen costo de capacidad de agregación eficaz. Tal escenario se plantea si el ancho de banda utilizado por cada puerto DSL no es suficiente para justificar los DSLAMs directamente conectados a la CO. Esta prestación necesita ser de peso contra las cargas previstas de tráfico hacia y desde los DSLAMs.

Metro Ethernet también reemplaza vínculos "SONET" con enlaces "Gigabit Ethernet", de manera flexible y rentable poder escalar la red para apoyar el aumento de tráfico de vídeo. El ancho de banda disponible se divide entre todos los Servicios Triple Play. Mientras, los servicios de IPTV utilizan enlace Ethernet (1000Basex\_adv) con velocidad de datos establecidos a 1Gpbs en esta red.

### **c. Acceso a la red:**

Simula las comunicaciones de extremo a extremo entre clientes residenciales y red troncal de subred. La figura 3.13 muestra tres subredes (Cabinet) asignadas dentro de la región de la subred, utilizada para la cobertura de las tres áreas a 1Km. Cada uno tiene varios componentes (ver figura 3.13) y discutidas a continuación.

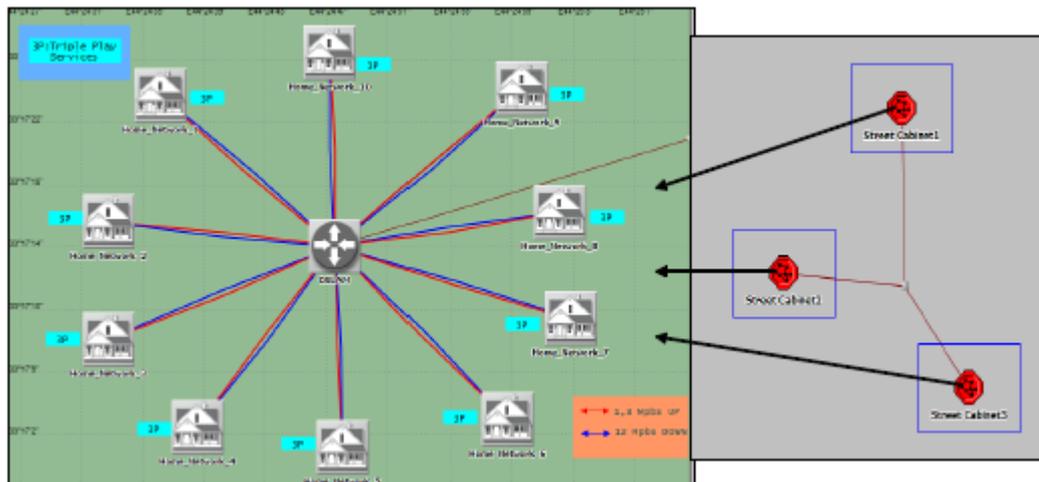


Figura 3. 13: Red de acceso dentro de la región de subred en la topología ADSL.  
Elaborado por: El Autor

- i. **DSLAM:** DSLAM terminan los bucles locales de cobre del abonado y proporciona servicio de modulación DSL al CPE. DSLAM es la capacidad de Ethernet; reenvía el tráfico hacia BRAS como tramas de Ethernet con al menos un nivel de etiquetado VLAN. DSLAM compatible con Ethernet es un aspecto importante de la mayoría de diseños del trabajo de titulación. DSL utiliza términos como Nivel 1, Nivel 2 y Nivel 3 para describir cuántas capas de Upstream de las redes de acceso (ANs) se conectan a un DSLAM. Cuando se utiliza DSLAM Nivel 2, la capacidad se limita sólo a decenas de suscriptores, esto debido a sus tamaños más pequeños.
  
- ii. **Casa del usuario:** El hogar del cliente es el punto de demarcación de red entre el proveedor de servicios y el cliente. Los servicios se prestan al punto de demarcación, que puede ser una parte del equipo gestionado por el proveedor de servicios, o en una

arquitectura más simple, el cliente puede proporcionar su propio hardware. En ambos casos, se les llama la RG, que es el CPE. La mayoría de CPEs son redes multiplay que implican partes complejas de equipos suministrados por el proveedor de servicios que integran un módem DSL y un router. La mayoría de los proveedores hoy en día tienen un único STB (Set-top-box, decodificador y receptor de TV), que está conectado a la RG. STB toma tanto VoD como tráfico IPTV procedente de la red y envía la conexión de televisión a través de compuestos, SCART, HDMI, o salidas de RF. Los STBs son controlados a distancia, para cambiar de canales. Para permitir que otros dispositivos se conecten a la red de banda ancha, un router RG tiene varios puertos Ethernet para conectar PCs, teléfonos y otros dispositivos en el hogar, tal como se muestra en la figura 3.14.

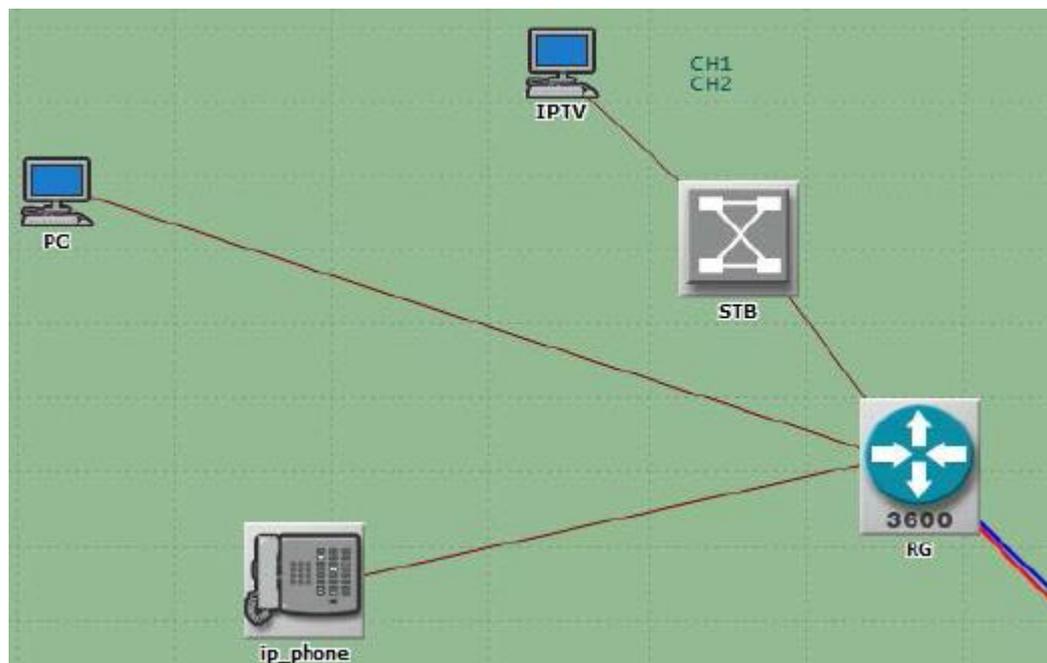


Figura 3. 14: Dispositivos RG, STB, PC, teléfono IP dentro de cada subred Home\_Network.

Elaborado por: El Autor

### **Gestión de calidad de servicio en escenarios de simulación ADSL**

En cuanto a la topología de red ADSL de la arquitectura simulada, los enlaces de acceso entre backbone IP y BRAS, y los vínculos entre el DSLAM y el router BRAS pueden congestionarse. Además, la combinación de vídeo, datos y voz en un solo medio requiere características de QoS más sofisticados. La arquitectura de QoS a simular se basa en la arquitectura IETF de servicios diferenciados (DiffServ) que se describe en el RFC 2475; esto fue utilizado durante la simulación del proyecto de titulación. Por lo tanto, el dominio de servicios diferenciados debe ser incluido en el backbone IP, BRAS, CO y en el lado del abonado.

Por último, proporcionar QoS para el tráfico multicast (el proyecto de titulación propone una solución para soportar el tráfico multicast en tiempo real con las restricciones de QoS sobre servicios diferenciados en redes IP). La solución propuesta permite a los usuarios de multicast a unirse dinámicamente y dejan el árbol multicast. Además, esto permite que un usuario multicast quien ya ha negociado período de sesiones de mejor esfuerzo para actualizar a una sesión de QoS habilitada.

Esta solución es compatible con el esquema de PIM-SM. En este sentido, se combinan dos ideas. En primer lugar, la disponibilidad de recursos a lo largo de un camino nuevo de QoS se verifica a través de un enfoque basado en sondeo. En segundo lugar, QoS se mantiene mediante el marcado de paquetes replicados con un especial valor de DSCP (punto de

código de servicios diferenciados), antes de enviarlos en el camino de QoS para especificar esta información. Esto se puede configurar mediante <<IP QoS Parameters>> tal como se muestra en la figura 3.21.

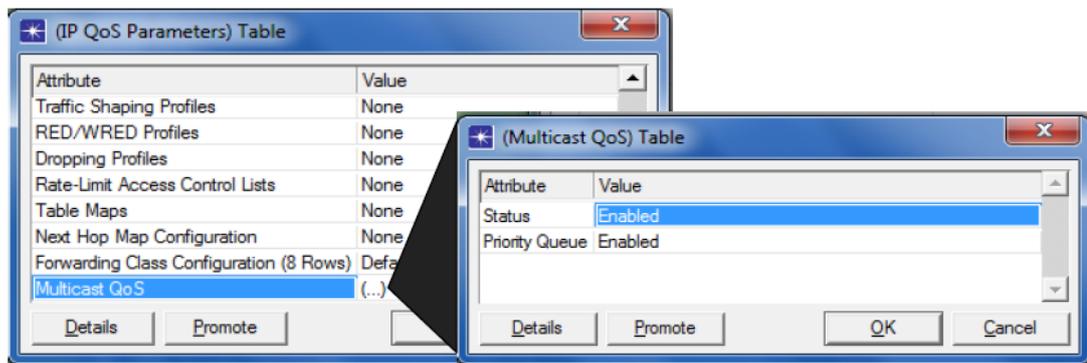


Figura 3. 15: QoS multidifusión configurados  
Elaborado por: El Autor

**Escenarios de simulación para ADSL:**

La topología de red anterior se utiliza para proporcionar cinco escenarios diferentes (casos hipotéticos) que se muestran en la tabla 3.1. El proceso de ejecución es de 500 segundos para cada escenario para que OPNET pueda simular todas las capas subyacentes. Las directrices de calidad de servicio y las recomendaciones de desempeño objetivas en estos escenarios se presentan de acuerdo con el contexto descrito anteriormente en la gestión de QoS. El resultado y el análisis se dan en la sección 3.4.

Tabla 3. 1: Escenarios de simulación para topología de red ADSL.

No.	Nombre del escenario	Simulation Duration
1	30 home users with 100 availability_MPEG4	500 s
2	30 home users with 100 availability_MPEG2	500 s
3	30 home users with 50 AvL_Full Services	500 s
4	30 home users with 30 AvL_Full Services	500 s
5	30 home users with 30 AvL_No Full Services	500 s

**Escenarios # 1, 2:** En estos escenarios las redes se ponen a prueba con una configuración de dos flujos de vídeo: MPEG-2 1280x720 a 30 fps que tiene un formato de alta resolución y velocidad de fotogramas de codificación, y MPEG-4 352x288 a 25 fps. Las tasas medias y máximas para ambos flujos de vídeo se muestran en la tabla 3.2 que son más realistas para la red de acceso de modelado de vídeo streaming. Además, se realiza una comparación para los servicios de entrega de vídeo usando multicast IP y unicast IP. En estos escenarios, el número total de hogares al cliente es de 30 casas; todos han recibido servicios completos de Triple Play de forma simultánea en 100% de disponibilidad de ancho de banda con calidad de servicio garantizada.

Tabla 3. 2: Características de la aplicación VoD.

<b>Parameters</b>	<b>T2</b>	<b>Matrix III</b>
Resolution	<b>1280x720</b>	<b>352x288</b>
Codec	MPEG-2	MPEG-4 Part 2
Frame Compression Ratio	58.001	47.682
Minimum Frame Size (bytes)	627	8
Maximum Frame Size (bytes)	127036	36450
Mean Frame Size (Bytes)	23833.792	3189.068
Display Pattern	<b>IBBPBBPBBPBB</b>	<b>IBBPBBPBBPBB</b>
Transmission Pattern	<b>IPBBPBBPBBIB</b>	<b>IPBBPBBPBBIB</b>
Group of Picture Size	12	12
Frame Rate (frames/sec)	<b>30</b>	<b>25</b>
Number of Frames	324,000	180,000
Peak Rate (Mbps)	30.488	7.290
Mean Rate (Mbps)	<b>5.720</b>	<b>0.637</b>
DCSP	<b>AF33</b>	<b>AF33</b>

**Escenarios # 3, 4, 5:** El objetivo de estos escenarios es comparar el rendimiento de las aplicaciones Triple Play sobre ADSL en casos de aproximadamente el 50% y el 30% de la disponibilidad de las redes de acceso de banda ancha a los usuarios finales con todos los servicios a la

vez. En el escenario # 1, cuando la disponibilidad de la red es 100% (0% del tráfico en enlaces de núcleo), muchos de los datos de IPTV y conexiones de voz se soportan simultáneamente a 30 casas ADSL con una QoS garantizada. Pero este no es el caso real; compartir el ancho de banda que necesita ser gestionado puede crear problemas de escalabilidad y de administración.

Los parámetros de estos escenarios se organizan de una manera similar al caso anterior con una diferencia relacionada con el desempeño de la red, que ha sido observado por el supuesto de que todos los enlaces de la red tienen una carga del 50% (50% de disponibilidad) y una carga del 70% (30% de disponibilidad), en ambos casos (servicios completos a la vez y no a la vez) simulando una alta utilización de la red central.

En resumen, los escenarios de simulación de redes para la prestación de Triple Play a través de ADSL se presentan en la figura 3.16. Esta figura ilustra brevemente los componentes de la red ya descritos anteriormente (subsección anterior). Los rangos se extienden desde la cabecera del servidor a la central IP y de la red de agregación a la BRAS. Acercarse a una red multiplay desde una perspectiva de servicio en lugar de ser promovidos únicamente por la capacidad técnica, que resulta ser de suma importancia para implementaciones exitosas.

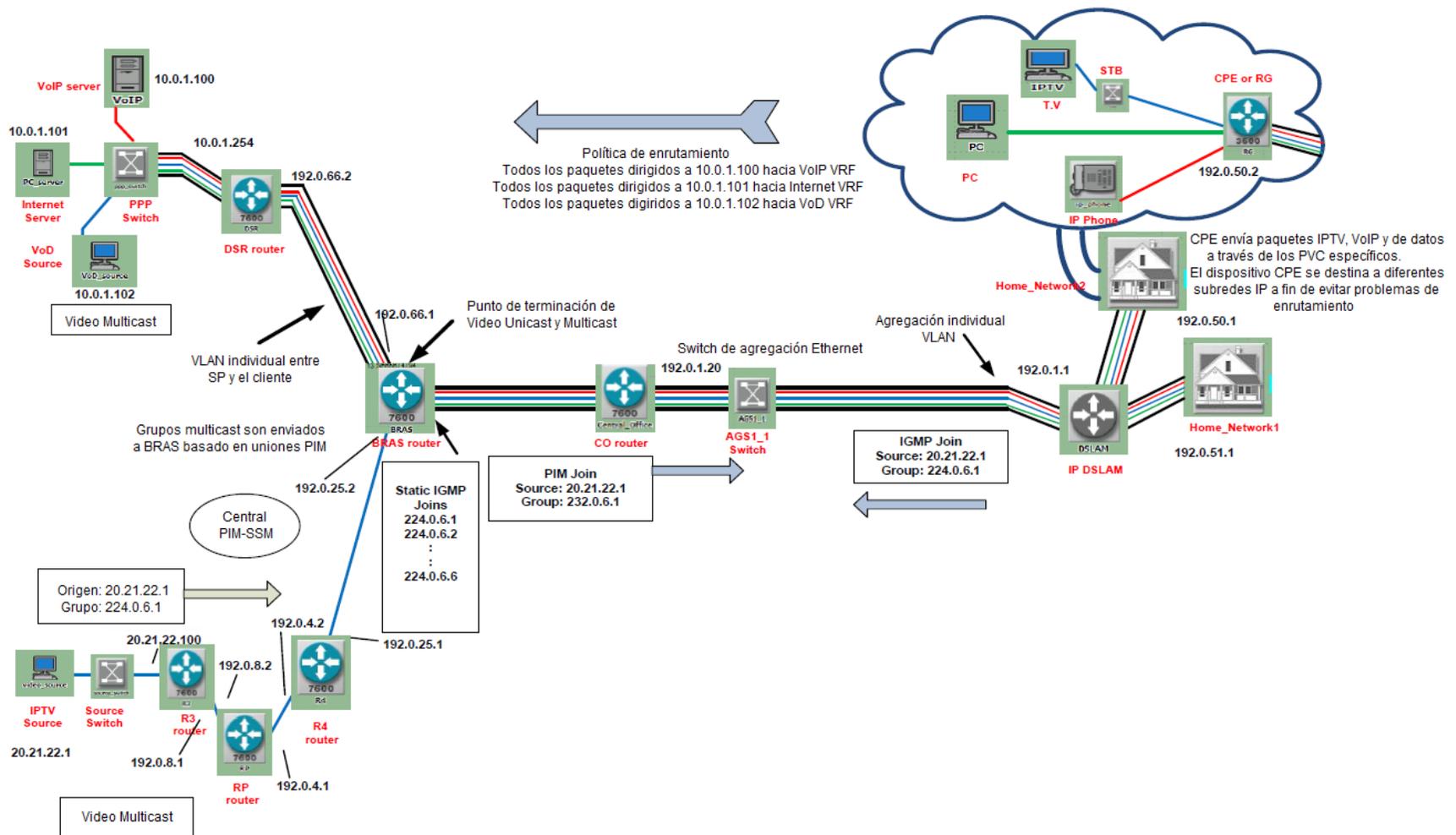


Figura 3. 16: La arquitectura de red de los escenarios de Triple-Play considerados sobre ADSL  
 Elaborado por: El Autor

### 3.4. Resultados obtenidos del sistema Triple Play.

El proceso de simulación se divide en 5 escenarios que se representan en la tabla 3.1. Los resultados relacionados con estos escenarios se presentan y analizan en los apartados siguientes.

#### 1. Escenarios # 1, 2

Para estos dos escenarios, el tráfico de video es un aspecto fundamental del estudio así como su intensivo ancho de banda inherente y propiedades de retardo sensibles, destacando los enlaces de acceso más allá que la mayoría de otros tipos de tráfico de las aplicaciones como voz y datos.

Las figuras 3.17, 3.18 y 3.19 muestran los parámetros de rendimiento de la tasa de pérdida de paquetes, del cambio indeseado y abrupto (jitters) de los paquetes y el retardo de extremo a extremo, respectivamente, que se utiliza para cuantificar la transmisión de vídeo comprimido mediante el formato MPEG-2 y MPEG-4.

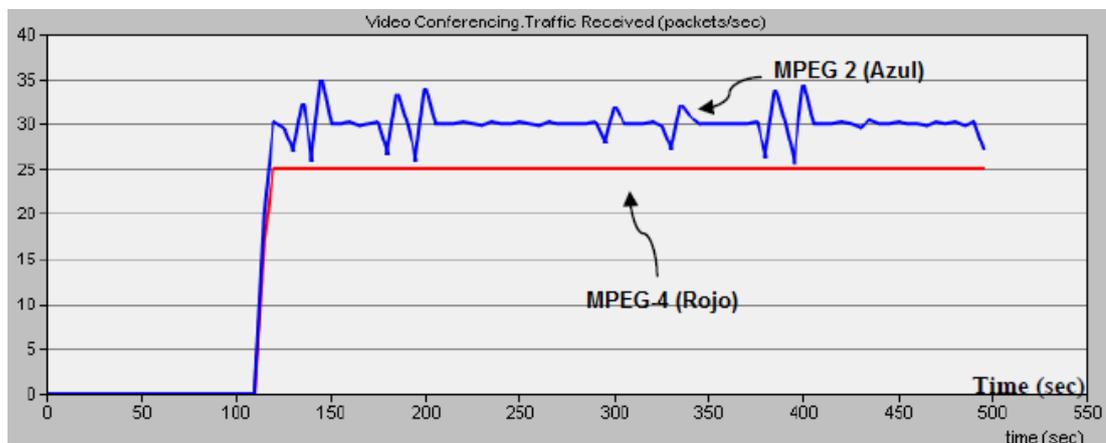


Figura 3. 17: El MPEG2 y MPEG4 de vídeo PLR  
Elaborado por: El Autor

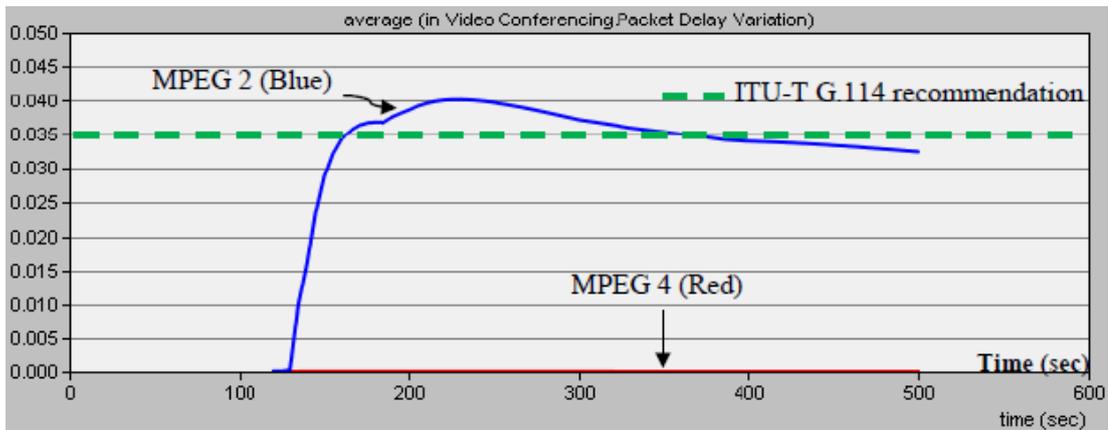


Figura 3. 18: El paquete de video jitter de MPEG2 y MPEG4.  
Elaborado por: El Autor

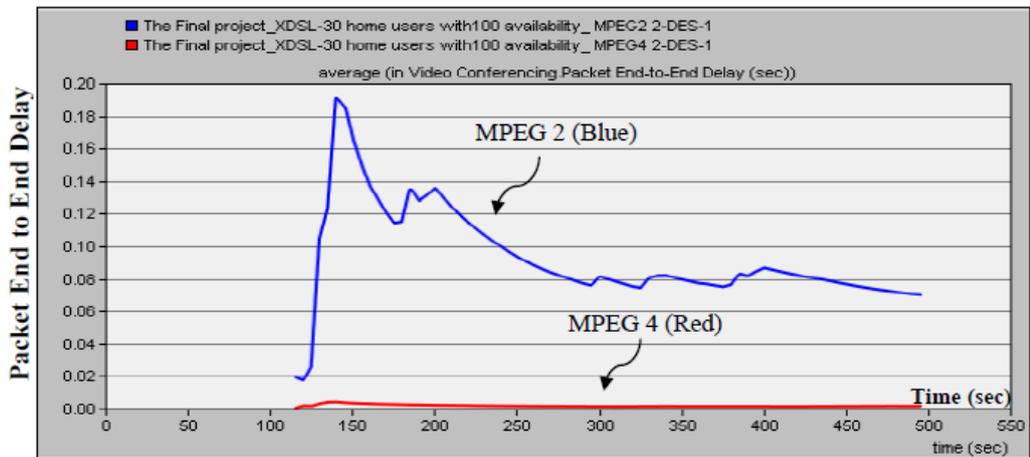


Figura 3. 19: Retardo de extremo a extremo del video MPEG2 y MPEG4.  
Elaborado por: El Autor

En estos escenarios, también remitente utiliza la tecnología de multidifusión IP para establecer una sesión de videoconferencia para los servicios de IPTV con todos los receptores. En multidifusión, sólo una sola sesión se establece para todos los receptores. Por lo tanto, el emisor envía solamente una copia de cada paquete de video. La figura 3.4 muestra el nivel de interfaz como un ejemplo que destaca la utilización del enlace con y sin multidifusión IP.

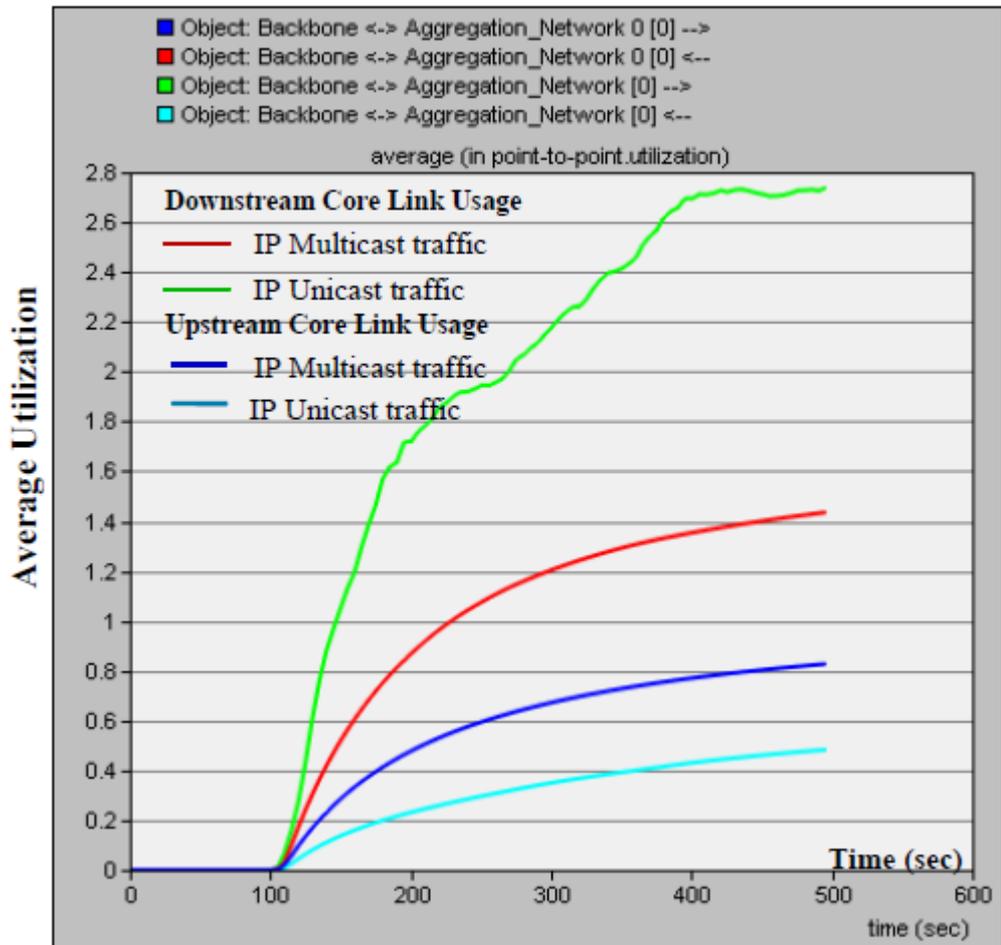


Figura 3. 20: Uso del enlace Multicast IP y Unicast IP.  
Elaborado por: El Autor

## 2. Escenarios # 3,4,5

En estos escenarios, la red se prueba para los casos en que la disponibilidad de la red es de aproximadamente 50% (servicios completos en cada hogar a la vez, el tráfico del 50% en los vínculos básicos), 30% (servicios completos en cada hogar a la vez , 70% del tráfico en enlaces de núcleo) y 30% (servicios no está lleno en cada hogar a la vez, el tráfico de 70% en enlaces principales), como se muestra en la figura 3.21. Además, el número de abonados para todos los casos es la misma para estas

topologías de red. Los mismos servicios, los perfiles se aplican con el fin de comparar entre esta disponibilidad de la red en las diferentes pruebas.

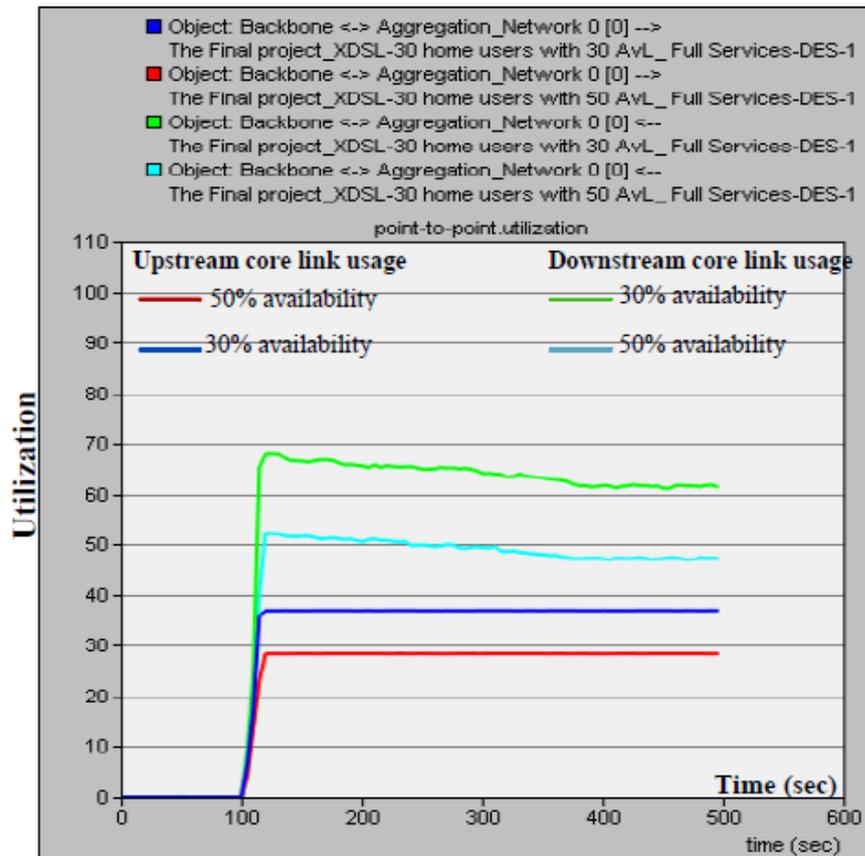


Figura 3. 21: Uso enlace del core.  
Elaborado por: El Autor

Las figuras 3.22 y 3.23 muestran el retraso de variación media (Jitter). Estos resultados representan la primera medida de rendimiento utilizada para cuantificar los servicios de voz y vídeo de contenido de tráfico a través de ADSL para los tres casos de la disponibilidad de ancho de banda.

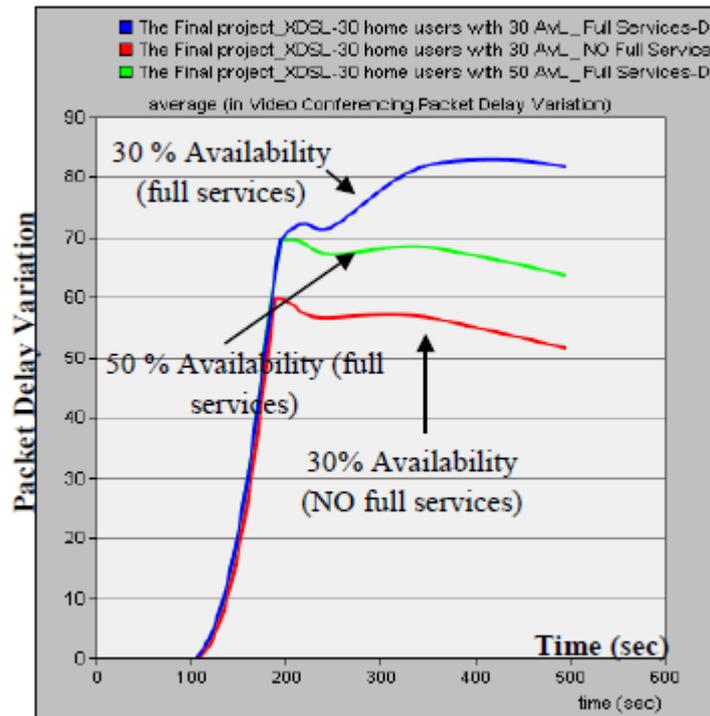


Figura 3. 22: Retraso de variación de paquetes de vídeo.  
Elaborado por: El Autor

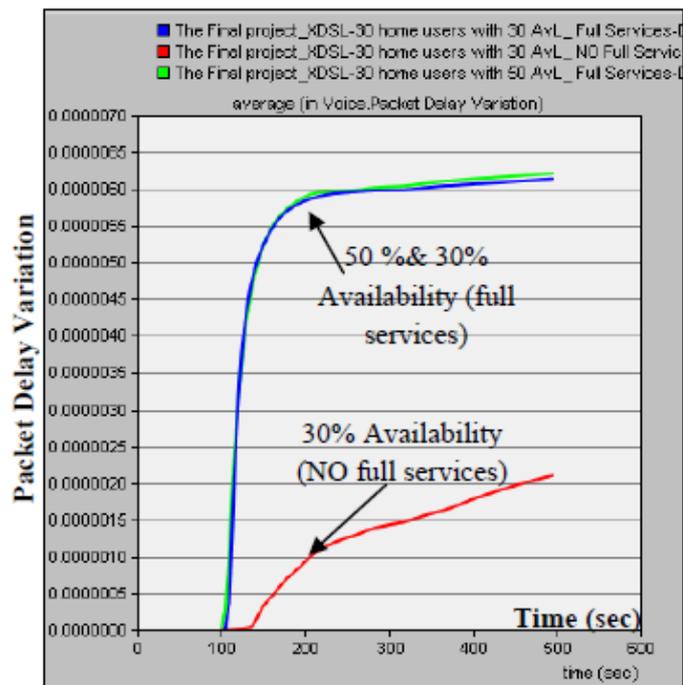


Figura 3. 23: Retraso de variación de paquete de voz.  
Elaborado por: El Autor

Los Tres Casos de la Disponibilidad de ancho de banda se muestran en las figuras 3.24 y 3.25.

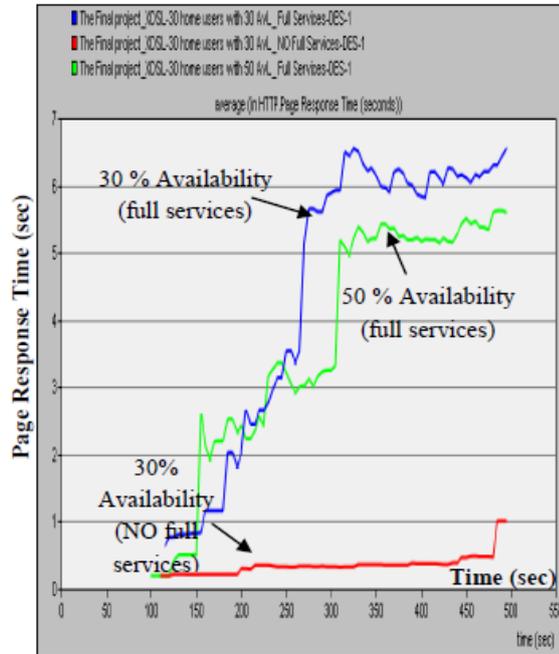


Figura 3. 24: Tiempo de respuesta HTTP  
Elaborado por: El Autor

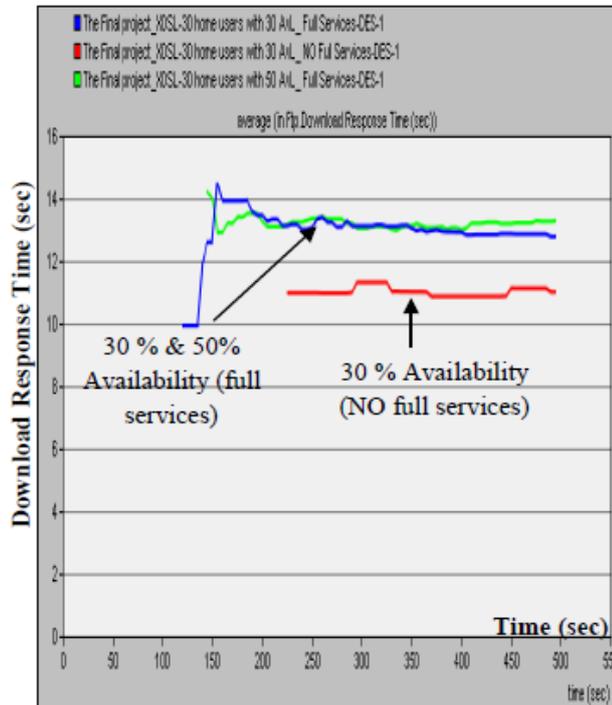


Figura 3. 25: Tiempo de respuesta de descargas FTP.  
Elaborado por: El Autor

### 3. discusión

En esta sección, lo que se entiende a partir de estos resultados es que:

- ✓ Debido a la alta demanda de ancho de banda de servicios de video, es importante utilizar el formato de compresión más activo, es decir, MPEG-4. Se desprende de los resultados, el efecto del tipo de vídeo en los parámetros de red, como los problemas de pérdida de paquetes, jitter y reordenamiento, detecta más problemas cuando se utiliza formato códec MPEG-2. En consecuencia, MPEG-2 el contenido de vídeo está abandonado y en lugar de centrado en el contenido de vídeo MPEG-4 que se adopte.
  
- ✓ En tal sistema, que consiste en diferentes tipos de servicios, cuando se utiliza la tecnología unicast la transmisión de los mismos datos varias veces que se logra transmitir una gran cantidad de recursos mediante el uso de la tecnología de multidifusión en el que sólo una única de datos está configurado para todos receptores.
  
- ✓ Los resultados también muestran que, cuando la disponibilidad de la red es de 50% (servicios completos en cada hogar) retraso de variación es baja. Cuando el ancho de banda disponible se reduce a 30% retraso de variación para los servicios de voz y vídeo se incrementa exponencialmente. Por el mismo ancho de

banda disponible, pero sin servicios completos en cada hogar, retraso de variación se considera excelente y mejor escenario de realizar se puede lograr. Como se observa, se requiere HTTP para ser descargado al terminal del usuario a partir de (6.5 s a 5.5 s) cuando la disponibilidad de la red es de 30% y 50% (servicios completos en cada hogar), mientras que si el ancho de banda disponible es del 30%, pero no hay servicios completos en cada hogar requiere (1 s).

También, FTP tiempo de respuesta de descarga tiene un tiempo de descarga a partir de (13 a 14 s) cuando la disponibilidad de la red es 30% y 50%, el tiempo de descarga se convirtió en (10.5 s) cuando la disponibilidad de la red es 30% sin servicios completos en cada hogar, pero esto no serán tenidos en cuenta por el usuario final. Sin embargo, si el servidor sirve a más usuarios o ubicado en las instalaciones del otro ISP, este valor aumentará más, probablemente alcanzando un valor de retardo estimado en minutos.

## **CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

### **4.1. Conclusiones.**

- A través del estado de arte de la tecnología de comunicación ADSL se pudieron establecer las bases fundamentales para el desarrollo de la simulación de los escenarios que se propusieron en el aporte del trabajo de titulación.
- En este trabajo de titulación, se encuentra desde la prueba inicial del sistema que el códec H.264 (MPEG-4) debe ser utilizado en lugar del códec MPEG-2 para servicios Triple Play mediante la tecnología de acceso ADSL. Para disminuir el consumo en la red de streaming de vídeo, el vídeo se envía ya sea a través de multidifusión IP en el caso de IPTV o a través de IP unicast en caso de vídeo bajo demanda.
- La congestión del enlace debe ser evitado a toda costa, y los enlaces deben funcionar al 75% de su capacidad total (25% de disponibilidad), con el fin de evitar la degradación de los servicios Triple Play, entonces se deben programar actualización de la red ADSL, con el fin de disminuir su disponibilidad de ancho de banda de la red y mantener la QoS.

## 4.2. Recomendaciones.

- Realizar un análisis exhaustivo sobre todos los servicios Triple Play y el encapsulamiento del tráfico de video, además, de modelar con mayor precisión la sobrecarga de protocolo real asociado con los servicios de streaming de vídeo.
  
- Incluir en este trabajo de titulación contenido de audio, por consiguiente, si se incorporan datos de audio se tendría un modelo más realista.
  
- Implementación del escenario simulado de forma práctica y comparar el resultado práctico con el resultado de la simulación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvarado, C., Reyes, C., & Córdova, H. (2010). *Model and simulation of a System Tx/Rx VDSL2*. Artículo de Tesis de Grado de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Computación, ESPOL, Guayaquil.

Boronat, F., García, M., & Lloret, J. (2008). *IPTV, la Televisión por Internet*. Editorial Vértice. ISBN 9788492647224.

Ghe. Voinea, J. (2011). *Redes de Comunicaciones, Administración y Gestión, Redes Wimax*. Lulu.com. ISBN 9781471008306.

Gil Molina, A., & Cárdenas Soto, A. M. (2011). Comparación del desempeño de los algoritmos de balanceo de espectro para el Downstream de sistemas ADSL. *Revista en Telecomunicaciones e Informática*, 1(1).

Gill, R., Farah, T., & Trajkovic, L. (2011). *Comparison of WiMAX and ADSL performance when streaming audio and video content*. School of Engineering Science of the Simon Fraser University.

Hidalgo, E., Ayala, C., & Ramos, B. (2010). *Análisis Estratégico de la Difusión de la Tecnología ADSL en Guayaquil*. Centro de Investigación científica y Tecnológica, ESPOL, Guayaquil.

Ibraheem, O. W., & Khamiss, N. N. (2008). *Design and simulation of asymmetric digital subscriber line (ADSL) modem*. In Information and Communication Technologies: From Theory to Applications. ICTTA 2008. 3rd International Conference on (pp. 1-6). IEEE.

Jun, Z., Xin, G., Dejun, Y., & Peng, W. (2010). *Improvement and validation of ADSL driving simulator dynamic model [J]*. Journal of Jiangsu University (Natural Science Edition), 3, 009.

Llanga, C., & Fernanda, P. (2011). *Análisis y Simulación de Transmisión de Datos bajo Tecnología ADSL utilizando Labview*. Tesis de Grado en Ingeniería Electrónica y Computación de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.

Salgado Rojas, M. R. (2009). *Rediseño del Proceso de Atención a los Técnicos y Soporte a la PGI en Telefónica CTC Chile*.

Salih, S. M. (2011). *BER reduction for DMT-ADSL based on DMWT*. Cankaya University Journal of Science and Engineering, 8(2).

Sallent R., O., & Pérez R., J. (2012). *Fundamentos de diseño y gestión de sistemas de comunicaciones móviles celulares*. Universidad Politécnica de Cataluña, Iniciativa Digital Politécnica.

Valdiviezo, G., & Mauricio, W. (2009). *Estudio técnico/económico comparativo entre la tecnología PLC (Powerline communications) y la tecnología ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) para el servicio de Internet.*