

**DIMENSIONAMIENTO DE UNA RED DE ACCESO EPON PARA LA
PRESTACIÓN DE UN SERVICIO IPTV EN COLOMBIA**

ANEXOS



**LILIANA PAREDES OJEDA
ALEXANDER FELIPE ANDRADE FUERTES**

Director: Ing. ALEJANDRO TOLEDO TOVAR

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES
GRUPO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN TELECOMUNICACIONES
POPAYÁN
2008**

TABLA DE CONTENIDO

ANEXO A.....	1
CONCEPTOS RELACIONADOS CON IPTV Y LAS REDES DE ACCESO	1
A.1. Funcionalidades de IPTV	1
A.2. Velocidades máximas en Latinoamérica y el Caribe para conexiones de banda ancha.....	3
A.3. Headend.....	3
A.4. Línea Digital de Abonado (DSL).....	4
A.5. Redes de Televisión de Antena Comunitaria (CATV).....	4
A.6. Crecimiento del tráfico de datos	6
A.7. Elementos de red activos	7
A.7.1. Bastidor de Oficina Central	7
A.7.2. Terminal de red Óptica – ONT	7
A.7.3. Sistema de Gestión de elementos (EMS)	7
ANEXO B.....	8
COMPONENTES UTILIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS EN LA SIMULACIÓN DE UNA RED DE ACCESO EPON PARA PRESTAR UN SERVICIO IPTV REALIZADA MEDIANTE OPTSIM.....	8
B.1. Componentes utilizados en la simulación	8
B.1.1 Generador de señal pseudo aleatoria	8
B.1.2 Generador eléctrico de señales.....	8
B.1.3 Láser directamente modulado	8
B.1.4 Amplificador Óptico de Caja Negra:	10
B.1.5 Fibra Monomodo	10
B.1.6 Receptor Óptico	10
B.1.7 Filtro óptico.....	11
B.1.8 Analizador de señal	11
B.1.9 Analizador del espectro de la señal	11
B.1.10 Multiplot.....	11
B.1.11 Analizador del diagrama del ojo	11
B.2. Resultados obtenidos en la simulación de la red de acceso EPON mediante OPTSim	12
B.2.1 Resultados Escenario 1.....	12
B.2.2 Resultados Escenario 2.....	16
B.2.3 Resultados Escenario 3.....	27
B.2.4 Resultados Escenario 4.....	32
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

LISTA DE FIGURAS

Figura A.1. Guía Electrónica de Programación (EPG) [1].....	1
Figura A.2. Interfaz Gráfica de Usuario para un sistema de menú [1].....	1
Figura A.3. Sistema de VoD [1].....	2
Figura A.4. Caller ID [1].....	2
Figura A.5. Servicio de Web TV. [3].....	2
Figura A.6. Servicio de correo electrónico. [3].....	3
Figura A.7. Arquitectura DSL [7].....	5
Figura A.8. Arquitectura red HFC (Hibrido Fibra – Coaxial) [7].....	5
Figura B.1. Componentes del láser directamente modulado [9].....	8
Figura B.2. Interfaz de establecimiento de parámetros en el DMLáser.....	9
Figura B.3. Propiedades de la fibra monomodo.....	10
Figura B.4. Componentes del Receptor Óptico [9].....	10
Figura B.5. BER para MPEG-4 - HDTV 195.2Mbps.....	16
Figura B.6. BER para MPEG-4 - HDTV 292.8Mbps.....	18
Figura B.7. BER para MPEG-4 - HDTV 36.6Mbps.....	19
Figura B.8. BER para MPEG-4 - SDTV 61Mbps.....	21
Figura B.9. BER para MPEG-4 – HDTV - 390.4Mbps.....	22
Figura B.10. BER para MPEG-4 – HDTV - 585.6Mbps.....	24
Figura B.11. BER para MPEG-4 – SDTV - 73.2Mbps.....	26
Figura B.12. BER para MPEG-4 - HDTV– 268.4 Mbps.....	27
Figura B.13. BER para MPEG-4 - HDTV– 414.8 Mbps.....	29
Figura B.14. BER para MPEG-4 - HDTV– 536.8 Mbps.....	31
Figura B.15. BER para MPEG-4 - HDTV– 427 Mbps.....	32
Figura B.16. BER para MPEG-4 - HDTV– 573.4 Mbps.....	34
Figura B.17. BER para MPEG-4 - HDTV– 854 Mbps.....	36

LISTA DE TABLAS

Tabla A.1. Velocidades Máximas de conexión de banda ancha en Latino América y el Caribe [4].	3
Tabla A.2. Estadísticas de Población y uso de Internet en el Mundo.	6
Tabla A.3. Estadísticas de Población y uso de Internet en Sur América.	6
Tabla B.1. Características de la fibra en EPON [10].	10
Tabla B.2. Gráficas para MPEG-2 - SDTV – 36.6Mbps.	12
Tabla B.3. Gráficas para MPEG-2 - SDTV - 61Mbps.	12
Tabla B.4. Gráficas para MPEG-2 - HDTV - 183Mbps.	13
Tabla B.5. Gráficas para MPEG-2 - HDTV - 366Mbps.	13
Tabla B.6. Gráficas para MPEG-4 - SDTV – 18.3Mbps.	14
Tabla B.7. Gráficas para MPEG-4 - SDTV – 30.5Mbps.	14
Tabla B.8. Gráficas para MPEG-4 - HDTV – 97.6Mbps.	15
Tabla B.9. Gráficas para MPEG-4 - HDTV – 164.4Mbps.	15
Tabla B.10. BER para MPEG-4 - HDTV 195.2Mbps.	16
Tabla B.11. Gráficas para MPEG-4 - HDTV – 195.2Mbps.	17
Tabla B.12. BER para MPEG-4 - HDTV 292.8Mbps.	17
Tabla B.13. Gráficas para MPEG-4 - HDTV - 292.8Mbps.	18
Tabla B.14. BER para MPEG-4 - SDTV 36.6Mbps.	19
Tabla B.15. Gráficas para MPEG-4 - HDTV 36.6Mbps.	20
Tabla B.16. BER para MPEG-4 - SDTV 61Mbps.	20
Tabla B.17. Gráficas para MPEG-4 - SDTV 61Mbps.	21
Tabla B.18. BER para MPEG-4 – HDTV - 390.4Mbps.	22
Tabla B.19. Gráficas para MPEG-4 – HDTV - 390.4Mbps.	23
Tabla B.20. BER para MPEG-4 – HDTV - 585.6Mbps.	24
Tabla B.21. Gráficas MPEG-4 – HDTV - 585.6Mbps.	25
Tabla B.22. BER para MPEG-4 – SDTV - 73.2Mbps.	26
Tabla B.23. Gráficas para MPEG-4 – SDTV - 73.2Mbps.	26
Tabla B.24. BER para MPEG-4 - HDTV– 268.4 Mbps.	27
Tabla B.25. Gráficas para MPEG-4 - HDTV– 268.4 Mbps.	28
Tabla B.26. BER para MPEG-4 - HDTV– 414.8 Mbps.	28
Tabla B.27. Gráficas para MPEG-4 - HDTV– 414.8 Mbps.	29
Tabla B.28. BER para MPEG-4 - HDTV– 536.8 Mbps.	30
Tabla B.29. Gráficas para MPEG-4 - HDTV– 536.8 Mbps.	31
Tabla B.30. BER para MPEG-4 - HDTV– 427 Mbps.	32
Tabla B.31. Gráficas para MPEG-4 - HDTV– 427 Mbps.	33
Tabla B.32. BER para MPEG-4 - HDTV– 573.4 Mbps.	33
Tabla B.33. Gráficas para MPEG-4 - HDTV– 573.4 Mbps.	34
Tabla B.34. BER para MPEG-4 - HDTV– 854 Mbps.	35
Tabla B.35. Gráficas para MPEG-4 - HDTV– 854 Mbps.	36

ANEXO A.

CONCEPTOS RELACIONADOS CON IPTV Y LAS REDES DE ACCESO

A.1. Funcionalidades de IPTV

IPTV cuenta con varias funcionalidades, algunas de las cuales se describen a continuación [1], [13]:

- Guía electrónica de programación (EPG), para facilitar la visualización de la programación, la selección y la búsqueda de programas en los canales en vivo, tal como se en la **Figura A.1**



Figura A.1. Guía Electrónica de Programación (EPG) [1].

- Sistema de menús para la selección, búsqueda y compra de los videos bajo demanda. En la **Figura A.2** se muestra una interfaz gráfica de usuario que contiene un modelo del sistema de menú.



Figura A.2. Interfaz Gráfica de Usuario para un sistema de menú [1].

- Sistema que permite a los usuarios grabar la programación en vivo (PVR) para reproducirla posteriormente.
- Sistema que permite la repetición inmediata y congelado de escenas de un programa en vivo (Time Shift TV - TSTV)
- Capacidad de presentar las señales (de los canales en vivo) en Mosaico o *Picture in Picture*.
- Sistema de control parental, y para compra de servicios como el de Video/Audio bajo demanda, tal como se muestra en la **Figura A.3**.

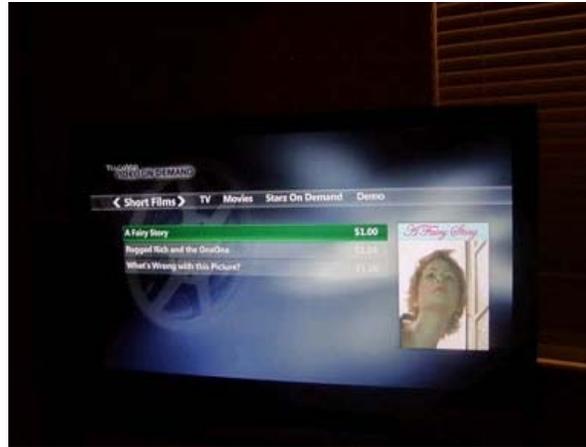


Figura A.3. Sistema de VoD [1].

- Contenido con audio de alta calidad (por ejemplo Dolby estéreo y Dolby 5.1).
- Servicios interactivos desarrollados por el operador o terceras partes que se comunican con el operador por medio de interfaces abiertas.
- Otros servicios interactivos como: multilinguaje (subtítulos y audio), compras, integración con otras plataformas de mensajería, capacidad de navegación por internet en el TV, videoconferencia, etc. Algunos ejemplos como *caller ID*, *Web TV* y correo electrónico se muestran en las Figuras A.4, A.5 y A.6.



Figura A.4. Caller ID [1]



Figura A.5. Servicio de Web TV. [3]

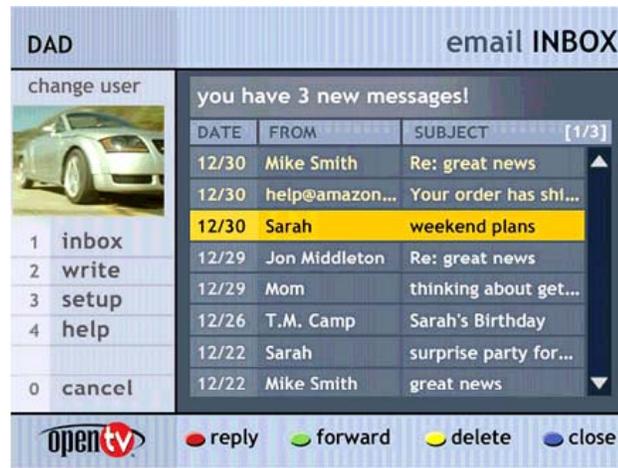


Figura A.6. Servicio de correo electrónico. [3]

A.2. Velocidades máximas en Latinoamérica y el Caribe para conexiones de banda ancha

La **Tabla A.1** que se muestra a continuación hace referencia a las velocidades máximas para conexiones de banda ancha utilizadas en Latinoamérica y el Caribe.

PAÍS	OPERADOR	DOWNLOAD (Mbps) / UPLOAD (kbps)
Argentina	Telecom	5 / 1000
Bermuda	BTC	1,5 / 512
Brasil	Telefónica	2 / 300
Chile	Telefónica del Sur	4 / 512
Colombia	ETB	1 / 512
Costa Rica	ICE	4 / 512
México	Prodigy	2 / 786
Panamá	Inter NET	2 / 512
Perú	Telefónica	2 / 512
República Dominicana	Verizon	1,5 / 512

Tabla A.1. Velocidades Máximas de conexión de banda ancha en Latino América y el Caribe [4].

A.3. Headend

La cabecera de video está constituida por los siguientes elementos [1], [5], [6]:

- **Antenas de satélite:** permiten la recepción de las señales de video requeridas en la cabecera de video, para luego convertirlas en los canales de *Broadcast TV*.
- **IRD:** reciben y decodifican las señales provenientes de las antenas de satélite, y funcionan como demoduladores de éstas señales recuperando los flujos de bits que transportan.
- **Desencriptado:** desencriptan las señales que provengan de los IRD.
- **Codificadores:** permiten la codificación y compresión de las señales de audio y video provenientes de los equipos de recepción satelital y de las señales locales que puedan incorporarse en la cabecera de video, en MPEG-2, MPEG-4 H.264, VC-1. Son imprescindibles para ofrecer servicios de *broadcast TV*, y no son necesarios en el caso de servicios de VoD, salvo si se requiere modificar la codificación de la programación. En algunos casos incluye la función de demultiplexor y en otros casos es implementada en un equipo aparte.
- **Bit Rate Shaping:** es la conformación de los *streams* de video a un modelo comparable a una tasa de bits constante (CBR) con el fin de conformar a partir de una entrada GbE MPEG VBR una salida equivalente a un GbE MPEG CBR. Es

conveniente que en las redes de transporte y acceso IP de IPTV los flujos de *video streaming* sean implementados de forma que puedan asimilarse como una tasa de bit constante, a pesar de que la codificación de las señales de audio y video resulta en flujos de información de ancho de banda variable.

- **Multiplexor:** debe conformar un único flujo IP (que ingresará a la red de agregación para su distribución) a partir de múltiples entradas y armar los grupos *multicast* respectivos.
- **Sistema de inserción de propaganda y sobreimpresos:** del interés de cada operador.

A.4. Línea Digital de Abonado (DSL)

La tecnología DSL utiliza la misma infraestructura de par de cobre de las líneas telefónicas convencionales y requieren de un modem DSL en la ubicación del usuario y un multiplexor de acceso (DSLAM) en la oficina central. La premisa de DSL es la de dividir el espectro de la línea en varias regiones usando la menor región de 4kHz para servicios de telefonía pública conmutada (PSTN o POTS), mientras que las frecuencias superiores son usadas para comunicaciones digitales de alta velocidad. Hay cuatro tipos básicos de conexiones DSL [7].

- **DSL Básico:** Diseñado con compatibilidad para la red digital de servicios integrados RDSI, tiene capacidad de ancho de banda entre 80 y 144 Kbps.
- **DSL de alta velocidad (HDSL):** Con velocidades de 1.544 Mbps, compatible con T1.
- **DSL Asimétrico (ADSL):** Es la solución más implementada, con rangos de velocidad desde 128 Kbps hasta 1.5 Mbps asimétricos, es decir se tiene una mayor velocidad de bajada (*downstream*) que de subida (*upstream*). En distancias cortas se puede alcanzar velocidades de 6Mbps.
- **DSL de muy alta velocidad (VDSL):** Puede ser simétrico o asimétrico tiene mayores velocidades de HDSL y ADSL pero para rangos muy cortos, 13 Mbps para 1300 metros y 52 Mbps para 300 metros.

ADSL es la tecnología más implementada, pero fue desarrollada para la tendencia asimétrica del Internet del pasado, que consistía de simples comandos http en la dirección de subida mientras que en dirección de bajada se necesitaba más ancho de banda para que la apertura de páginas y las descargas fueran más rápidas, adoptando así una relación *downstream/upstream* de 1:10 y en algunos casos de 1:100. Este comportamiento asimétrico es cosa del pasado ya que las nuevas aplicaciones interactivas necesitan mucha más simetría en su ancho de banda, es así que los estudios actuales sugieren una relación de simetría de 1:4 o superior. La **Figura A.7** detalla la arquitectura de las redes DSL.

A.5. Redes de Televisión de Antena Comunitaria (CATV)

Las redes CATV fueron diseñadas para entregar señales de televisión analógicas hacia los equipos de televisión de los usuarios, por lo cual estas redes adoptaron una topología en forma de árbol y asignaron la mayoría de su espectro para la transmisión de canales analógicos. Típicamente, una red de CATV está construida como una red híbrido fibra -coaxial (HFC), con la fibra óptica desde la cabecera hasta el nodo óptico cerca de la ubicación de los usuarios y el tramo final de este nodo al usuario implementado en cable coaxial. La **Figura A.8** ilustra la arquitectura de una red HFC.

Con el fin de competir con los operadores de telefonía que comenzaron a ofrecer servicios de datos, las compañías de televisión por cable respondieron integrando servicios de datos en sus redes HFC para esto tuvieron que reemplazar los amplificadores de una sola dirección por amplificadores bidireccionales y desarrollar un nuevo protocolo, conocido como DOCSIS, para evitar colisiones en las transmisiones de los usuarios. Con un espectro de 740MHz, 400MHz son utilizados para la transmisión de los canales de TV mientras que 300MHz son utilizados para la transmisión de señales de datos en sentido *downstream* y 40MHz para señales *upstream*, resultando en una velocidad efectiva de 36Mbps por nodo, esta pequeña velocidad es compartida entre todos los usuarios del nodo, resultando en baja velocidad durante las horas pico.

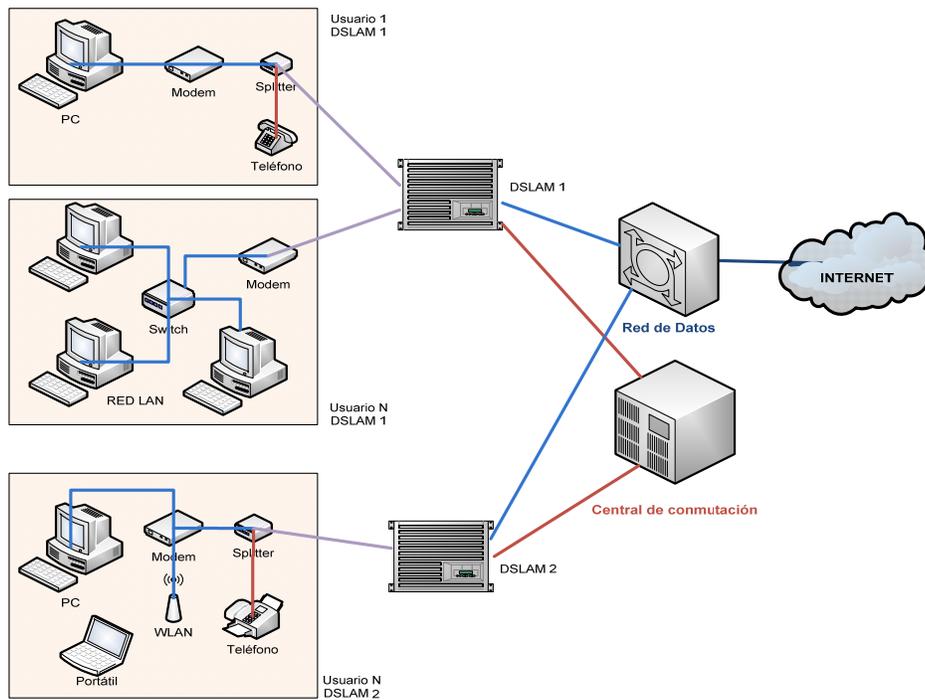


Figura A.7. Arquitectura DSL [7].

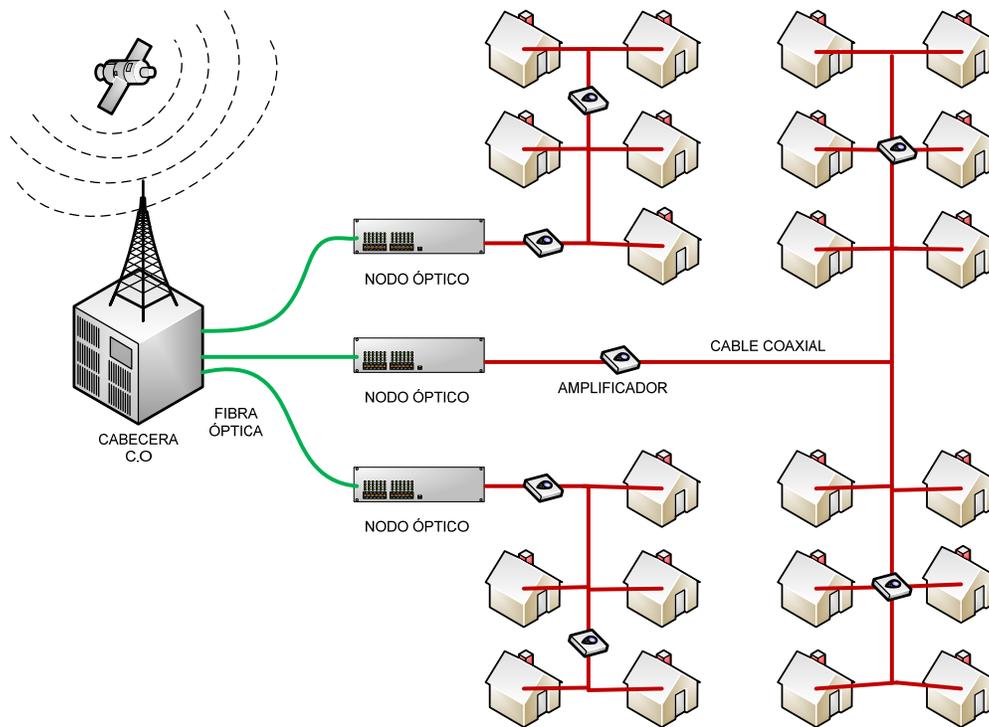


Figura A.8. Arquitectura red HFC (Híbrido Fibra – Coaxial) [7].

A.6. Crecimiento del tráfico de datos

El tráfico de datos ha venido creciendo de una forma sin precedentes, observándose crecimientos cercanos al 100% anual desde 1990. La **Tabla A.2** muestra el número actual de usuarios de Internet, el porcentaje de penetración y el crecimiento desde el año 2000 ordenado por continentes.

Region	Poblacion (Estimada 2007) Millones	% Poblacion Mundial	Usuarios de Internet – Millones	% Penetracion regional	% Uso Mundial	% Crecimiento desde el año 2000
África	955,206,348	14.3 %	51,022,400	5.3 %	3.6 %	1030.2 %
Asia	3,776,181,949	56.6 %	529,701,704	14.0 %	37.6 %	363.4 %
Europa	800,401,065	12.0 %	382,005,271	47.7 %	27.1 %	263.5 %
Medio Este	197,090,443	3.0 %	41,939,200	21.3 %	3.0 %	1176.8 %
Norte América	337,167,248	5.1 %	246,402,574	73.1 %	17.5 %	127.9 %
Latino América/Caribe	576,091,673	8.6 %	137,300,309	23.8 %	9.8 %	659.9 %
Oceanía / Australia	33,981,562	0.5 %	19,353,462	57.0 %	1.4 %	154.0 %
TOTAL MUNDIAL	6,574,666,417	100.0 %	1,173,109,925	17.8 %	100.0%	225.0 %

Tabla A.2. Estadísticas de Población y uso de Internet en el Mundo

En América del Sur y Colombia la tendencia es similar a la del resto del mundo como se puede detallar en la **Tabla A.3**. Según el reporte de la Comisión de Regulación de Telecomunicaciones CRT, en Colombia hay 6,7 millones de usuarios de Internet, de los cuales aproximadamente 466.000 poseen conexión de banda ancha. La información de las **Tablas A.2 y A.3** se ha obtenido de la página www.internetworldstats.com.

País	Poblacion (Estimada 2007) Millones	% Poblacion Mundial	Usuarios de Internet – Millones	% Penetracion regional	% Uso Mundial	% Crecimiento desde el año 2000
Argentina	40,301,927	10.6 %	16,000,000	39.7 %	17.4 %	540.0 %
Bolivia	9,119,152	2.4 %	580,000	6.4 %	0.6 %	383.3 %
Brasil	190,010,647	50.0 %	42,600,000	22.4 %	46.3 %	752.0 %
Chile	16,284,741	4.3 %	7,035,000	43.2 %	7.6 %	300.3 %
Colombia	44,379,598	11.7 %	12,097,000	22.8 %	11.0 %	1,050.0 %
Ecuador	13,755,680	3.6 %	1,549,000	11.3 %	1.7 %	760.6 %
Falkland Islands	2,736	0.0 %	1,900	69.4 %	0.0 %	n/a %
Guyana Francesa	204,932	0.1 %	42,000	20.5 %	0.0 %	2,000.0 %
Guyana	769,095	0.2 %	160,000	20.8 %	0.2 %	5,233.3 %
Paraguay	6,669,086	1.8 %	260,000	3.9 %	0.3 %	1,200.0 %
Perú	28,674,757	7.5 %	7,324,300	25.5 %	8.0 %	193.0 %
Surinam	470,784	0.1 %	32,000	6.8 %	0.0 %	173.5 %
Uruguay	3,460,607	0.9 %	1,100,000	31.8 %	1.2 %	197.3 %
Venezuela	26,023,528	6.8 %	5,297,798	20.4 %	5.8 %	457.7 %
TOTAL SUR AMÉRICA	370,225,923	100.0 %	77,978,800	21.1 %	100.0%	445.6 %

Tabla A.3. Estadísticas de Población y uso de Internet en Sur América

Esta tendencia se debe a diferentes factores, entre los cuales podemos diferenciar factores de tipo cualitativo y factores de tipo cuantitativo, así:

- **Factores cuantitativos:** Incremento del número de usuarios de Internet y de trabajadores a distancia que acceden a grandes volúmenes de información de manera remota.
- **Factores Cualitativos:** Cambio de los patrones de comportamiento de los usuarios, los cuales pasan cada vez más tiempo en línea. Estudios de mercado demuestran que después de migrar hacia una conexión de banda ancha, los usuarios pasan un 35% más de tiempo en línea que antes, estos mismos usuarios dedican su conexión a usar

aplicaciones que necesitan mayor ancho de banda como video - *streaming* y aplicaciones P2P.

El tráfico de voz ha crecido en menor proporción, aproximadamente 8% anual, es por esto que los operadores de telecomunicaciones, quienes diseñaron su redes para transporte de voz, ven como sus redes se están quedando obsoletas para el transporte del tráfico de datos. Tanto la red DSL como la red HFC, que fueron diseñadas sobre infraestructura existente y no optimizada para transporte de datos, no pueden soportar la demanda de nuevos servicios y mayor velocidad por parte de los usuarios.

A.7. Elementos de red activos

A.7.1. Bastidor de Oficina Central

El bastidor es la interfaz entre la red EPON y las redes proveedoras de video, voz, y datos. También es el enlace con el sistema de gestión (EMS). Las interfaces WAN se pueden conectar con diferentes tipos de redes, las cuales incluyen [8]:

- DCS, transporta tráfico TDM hacia la red telefónica de larga distancia.
- Pasarela de voz, que transporta el tráfico TDM hacia la red telefónica local PSTN.
- Enrutadores de borde, para direccionar el tráfico de datos hacia la red de núcleo.
- Elementos de red de video, los cuales transportan el tráfico de video hacia el núcleo de la red de video.

Sus principales funciones son:

- Interfaz multiservicio con la red WAN.
- Interfaz Gigabit Ethernet con la red PON.
- Conmutación y enrutamiento de nivel 2 y 3.
- Manejo de calidad de servicio (QoS) y acuerdos de nivel de servicio (SLA)
- Agregación de tráfico.
- Gestión de usuarios.

A.7.2. Terminal de red Óptica – ONT

La ONT proporciona la unión entre las redes de Video, Datos y Voz de los usuarios con la PON. Su función principal es convertir las señales ópticas a Ethernet, que es el formato utilizado por las aplicaciones de los usuarios [8]. Debido a que la ONU se encuentra en cada una de las ubicaciones de los usuarios en una arquitectura FTTB o FTTH, el costo no está compartido entre varios usuarios, haciendo de ésta la parte más costosa dentro de todo el sistema, un 70% del costo total en FTTB y un 80% en FTTH. Las principales funciones de la ONT son:

- Interfaces dedicadas a los usuarios (100BaseT, IP, CATV, Teléfono).
- Conmutación y enrutamiento de capa 2 y 3.
- Conexión de datos a diferentes velocidades dependiendo del SLA.
- Bajos costos iniciales y expansiones *plug and play*.
- Interfaces Ethernet que eliminan la necesidad de cable modem y enrutadores DSL.

A.7.3. Sistema de Gestión de elementos (EMS)

Se encarga de la gestión de las FCAPS en los diferentes elementos de la PON. Las funciones principales son [8]:

- Gestión de las FCAPS mediante una interfaz gráfica (GUI).
- Manejo de diferentes sistemas PON.
- Soporte para cientos de usuarios.
- Interfaces estándar como CORBA para comunicación con las redes de control del núcleo.

ANEXO B.

COMPONENTES UTILIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS EN LA SIMULACIÓN DE UNA RED DE ACCESO EPON PARA PRESTAR UN SERVICIO IPTV REALIZADA MEDIANTE OPTSIM

B.1. Componentes utilizados en la simulación

A continuación se mencionan los elementos utilizados en la simulación de la red de acceso EPON para la prestación del servicio IPTV. Todas las características de los componentes utilizados en la simulación son extraídas del manual de usuario de OptSim [9].

B.1.1 Generador de señal pseudo aleatoria

Este modelo genera secuencias binarias de diferentes tipos según los requisitos del usuario. Los diferentes patrones de señal se listan a continuación:

- **PRBS:** Produce una secuencia binaria pseudo aleatoria de máxima longitud.
- **Alternante:** Produce una secuencia de bits alterna 1 y 0.
- **Singular:** Produce un bit 1 en el centro de una serie de bits 0.
- **Uno:** Produce una serie de bits 1.
- **Cero:** Produce una serie de bits 0.
- **Usuario:** Produce una secuencia de bits especificada por el usuario en un archivo.

B.1.2 Generador eléctrico de señales

Este modelo convierte una señal binaria de entrada en una señal eléctrica de salida. La señal de salida puede ser especificada en voltaje o corriente. El usuario define los parámetros de la señal de salida entre cuatro tipos posibles:

- **On_Off:** Se genera una señal cuadrada sin *jitter*, el valor de la señal de salida es determinado por el valor de la señal de entrada y el nivel de voltaje es especificado por el usuario, V_{max} para un bit 1 y V_{min} para un bit 0.
- **On_Off_exp:** Se genera una onda cuadrada con un valor de *jitter* especificado por el usuario.
- **On_Off_Ramp:** Una señal eléctrica es generada utilizando un tiempo de elevación y caída determinado por el usuario.
- **RaisedCosine:** Se genera una señal eléctrica utilizando la forma de un coseno ascendente que representa un bit, esta señal incluye información del *jitter*.

B.1.3 Láser directamente modulado

Este bloque modela un láser semiconductor modulado directamente por una señal eléctrica. Este calcula la corriente eléctrica inyectada en la cavidad del láser y resuelve la ecuación del láser para generar la salida óptica. El comportamiento del modelo se puede separar en tres partes que se detallan en la **Figura B.1**. La fuente es la señal eléctrica inyectada al modelo, las parasitancias están conformadas por un circuito LC, la cavidad es modelada por una simple relación corriente/voltaje y la ecuación del láser.

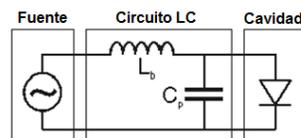


Figura B.1. Componentes del láser directamente modulado [9]

Ecuación del láser

La ecuación del láser semiconductor es el eje de este modelo, esta ecuación determina la respuesta óptica de la cavidad a la corriente de la señal eléctrica. El desarrollo de esta ecuación se muestra a continuación:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{\eta_i I}{qV} - R_{sp}(N) - R_{nr}(N) - G(N, N_p) \cdot N_p$$

$$\frac{dN_p}{dt} = -\frac{N_p}{\tau_p} + \Gamma \beta_{sp} R_{sp}(N) + \Gamma G(N, N_p) \cdot N_p$$

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{\alpha}{2} \cdot \left(\Gamma G(N, N_p) - \frac{1}{\tau_p} + \frac{\epsilon' N_p}{\tau_p} \right)$$

$$P_{out} = c_{fact} \cdot N_p = V \cdot \frac{hc}{\lambda} \cdot \frac{v_g A_{mir}}{\Gamma} \cdot F$$

Donde I es la inyección de corriente, N es la densidad de la portadora, N_p es la densidad fotónica, ϕ es la fase óptica, η_i es la eficiencia de la inyección de corriente, q es la carga del electrón, V es el volumen de la cavidad, τ_p es el tiempo de vida del fotón, Γ es el factor de confinamiento, ϵ' es el factor de saturación de ganancia modificada, h es la constante de *plank*, c es la velocidad de la luz en el vacío, λ es la longitud de onda, v_g es la velocidad de grupo (c/n donde n es el índice del material), A_{mir} es la pérdida por reflexión, F es la fracción de luz que escapa de la cavidad, R_{sp} es la recombinación radiativa, R_{nr} es la recombinación no radiativa y G es la ganancia del láser. Los términos de recombinación son modelados utilizando:

$$R_{sp}(N) = BN^2$$

$$R_{nr}(N) = AN + CN^3$$

Donde A es el coeficiente de recombinación unimolecular, B es el coeficiente de recombinación radiativa y C es el coeficiente de recombinación de Auger. Estos parámetros son introducidos en las propiedades del láser en la herramienta, para cumplir con los requerimientos del estándar IEEE 802.3ah para la PMD 1000BASE PX-20D, los valores se obtuvieron de especificaciones de RSoft con base en parámetros de los fabricantes de componentes. La **Figura B.2** muestra la interfaz para modificar estos parámetros.

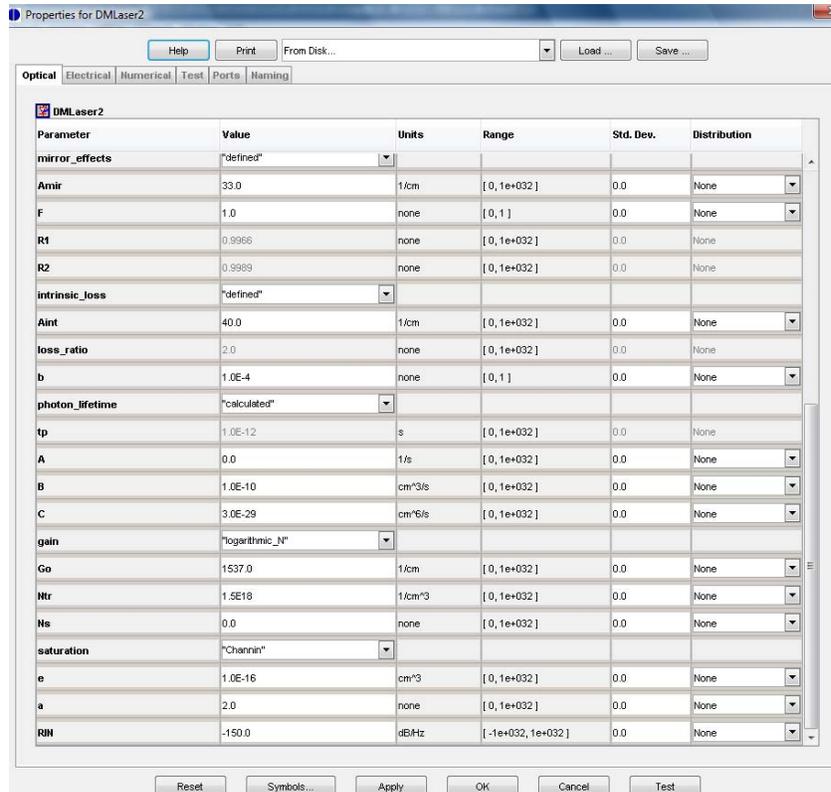


Figura B.2. Interfaz de establecimiento de parámetros en el DMLaser

B.1.4 Amplificador Óptico de Caja Negra:

Este bloque modela un amplificador óptico fibra dopado con Erblio (EDFA). Algunas características típicas de los EDFAs comerciales son:

- **Longitud de onda de operación:** bandas C y L (Aproximada de 1530 a 1605 nm), para el funcionamiento en banda S (Por debajo de 1480 nm) son necesarios otros dopantes.
- **Baja figura de ruido:** Típicamente entre 3-6 dB.
- **Ganancia:** Entre 15-40 dB.
- **Sensibilidad al estado de polarización de la luz de entrada:** Baja.
- **Máxima potencia de salida:** 14 - 25 dBm.
- **Ganancia interna:** 25 - 50 dB.
- **Variación de la ganancia:** +/- 0,5 dB.

B.1.5 Fibra Monomodo

Potencialmente, esta es la fibra que ofrece la mayor capacidad de transporte de información, tiene una banda de paso del orden de los 100 GHz/km. La **Figura B.3** muestra que sólo pueden ser transmitidos los rayos que tienen una trayectoria que sigue el eje de la fibra, por lo que se la denomina fibra monomodo (modo de propagación, o camino del haz luminoso, único). Son fibras que tienen el diámetro del núcleo en el mismo orden de magnitud que la longitud de onda de las señales ópticas que transmiten, es decir, de unos 5 a 8 micrómetros. Los elevados flujos que se pueden alcanzar constituyen la principal ventaja de las fibras monomodo.

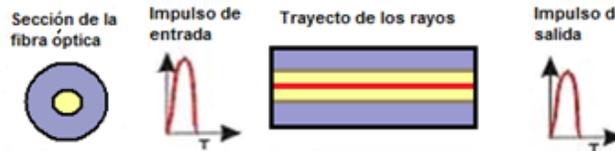


Figura B.3. Propiedades de la fibra monomodo¹

El modelo dentro de la simulación provee una detallada implementación de uno o más canales en una fibra monomodo. Toma en cuenta efectos tales como: Atenuación, dispersión, dispersión de modo polarizado, y no linealidades, incluyendo efecto *Raman*. Este modelo es uno de los más complejos dentro de las librerías de OptSim, se pueden crear fibras especiales o tomar fibras preexistentes que cumplen con los estándares internacionales. Los parámetros de la fibra en el estándar IEEE 802.33ah se describen en la **Tabla B.1**

Descripción	Tipo B1.1, B1.3 SMF	Unidad
Longitud de onda nominal	1310 - 1550	Nm
Atenuación máxima ²	0.35 - 0.4	dB/Km

Tabla B.1. Características de la fibra en EPON [10]

B.1.6 Receptor Óptico

Este modelo representa un receptor óptico y todas sus partes. Está compuesto por bloques individuales, como son: Foto-detector, Pre-amplificador, Post-amplificador y filtro, tal como se puede apreciar en la **Figura B.4**.

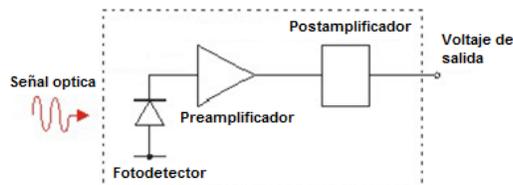


Figura B.4. Componentes del Receptor Óptico [9]

¹ http://es.wikipedia.org/wiki/Cable_de_fibra_óptica

² Definida en la especificación de la ITU-T G.652

El foto-detector convierte la señal óptica en corriente eléctrica, esta corriente pasa luego al preamplificador que la convierte en voltaje. Finalmente el post-amplificador y los filtros pasa-banda forman la forma de onda de salida eléctrica.

B.1.7 Filtro óptico

Éste filtro constituye un bloque importante en una red ya que realiza la selección de un determinado canal en los bloques receptores, también elimina el ruido de emisión espontánea (ASE) generado por los amplificadores ópticos. El desempeño del filtro óptico depende de algunos requerimientos como el número máximo de canales sintonizables, tiempo de acceso en la sintonía del canal, atenuación, entre otros.

B.1.8 Analizador de señal

Este bloque despliega las formas de onda de una señal del nodo conectado a su puerto de entrada. Cuenta con varios parámetros que le permiten al usuario adaptar la visualización de la forma de onda de la señal. El usuario puede determinar el *timing offset* del comienzo del esquema, el título del esquema y el nombre del archivo, y determinar si se muestra o no el ruido de la señal eléctrica o ruido óptico ASE sobre el valor de la señal representada.

Es posible escoger entre varias opciones de representación de la señal: puede ser representada solamente como su magnitud, con esquemas combinados de magnitud y fase, con esquemas combinados de magnitud y variaciones de frecuencia de la señal óptica, con esquemas combinados de magnitud y periodos de ruido de la señal eléctrica, o con componentes reales e imaginarios separados. Por defecto, una señal óptica se muestra en una representación de magnitud, y una señal eléctrica se muestra en una representación real.

B.1.9 Analizador del espectro de la señal

Este bloque presenta el espectro de una señal del nodo conectado a su puerto de entrada. Además de representar la magnitud del espectro (en forma de potencia, valor absoluto del campo de amplitud, partes reales e imaginarias de la amplitud), también representa los retardos de fase y de grupo. Por defecto, representa el espectro de la longitud de onda de una señal óptica y el espectro de banda base de una señal eléctrica. La representación del esquema de potencia esta especificada en unidades de dBm.

Cuando se observa el espectro de la señal óptica (solamente en la representación del espectro de frecuencia) en formato de frecuencia o de longitud de onda, el usuario puede ver los datos del espectro óptico completo contenidos en la representación de la señal de OptSim, o modelar el efecto de un analizador de espectro óptico del mundo real (OSA) sobre el espectro de la señal óptica antes de que ésta sea mostrada.

B.1.10 Multiplot

Éste modelo combina las características de cinco bloques analizadores: el analizador de señal, el analizador del diagrama del ojo, el analizador de espectro, el analizador de variaciones y el “*Optical Autocorrelator*”. Las señales recibidas por éste bloque se muestran utilizando alguno de los cinco analizadores. El Multiplot es, por lo tanto, mucho más flexible que los otros bloques, no hay necesidad de conectar más de un Multiplot a un bloque particular, lo cual conduce a topologías más simples, así como también a un post procesamiento más flexible.

B.1.11 Analizador del diagrama del ojo

Este bloque muestra el diagrama del ojo de una señal del nodo conectado a su puerto de entrada. Por defecto, muestra la magnitud de la señal óptica y el valor real de las señales eléctricas. Éste cuenta con parámetros que permiten al usuario cambiar el centro en la ventana del esquema del diagrama del ojo, y determinar si mostrar o no la señal óptica ASE o el ruido de la señal eléctrica sobre el diagrama del ojo representado

B.2. Resultados obtenidos en la simulación de la red de acceso EPON mediante OptSim

B.2.1 Resultados Escenario 1

B.2.1.1. 36.6Mbps

Gráficas de Señal, Espectro, Diagrama del Ojo y BER para MPEG-2 formato SDTV a 36.6Mbps

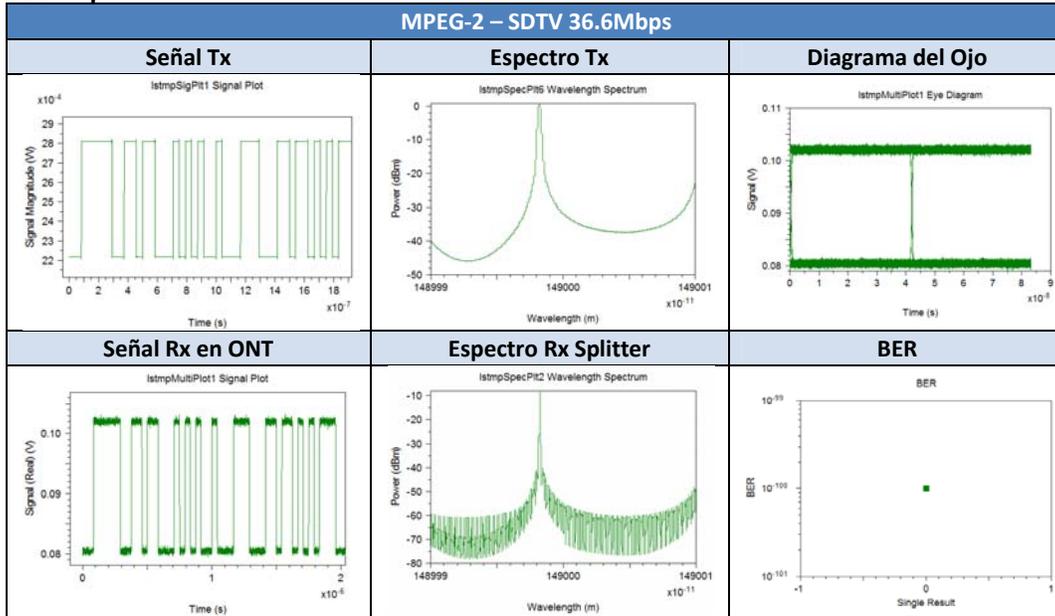


Tabla B.2. Gráficas para MPEG-2 - SDTV – 36.6Mbps

B.2.1.2. 61Mbps

Gráficas de Señal, Espectro, Diagrama del Ojo y BER para MPEG-2 formato SDTV a 61Mbps

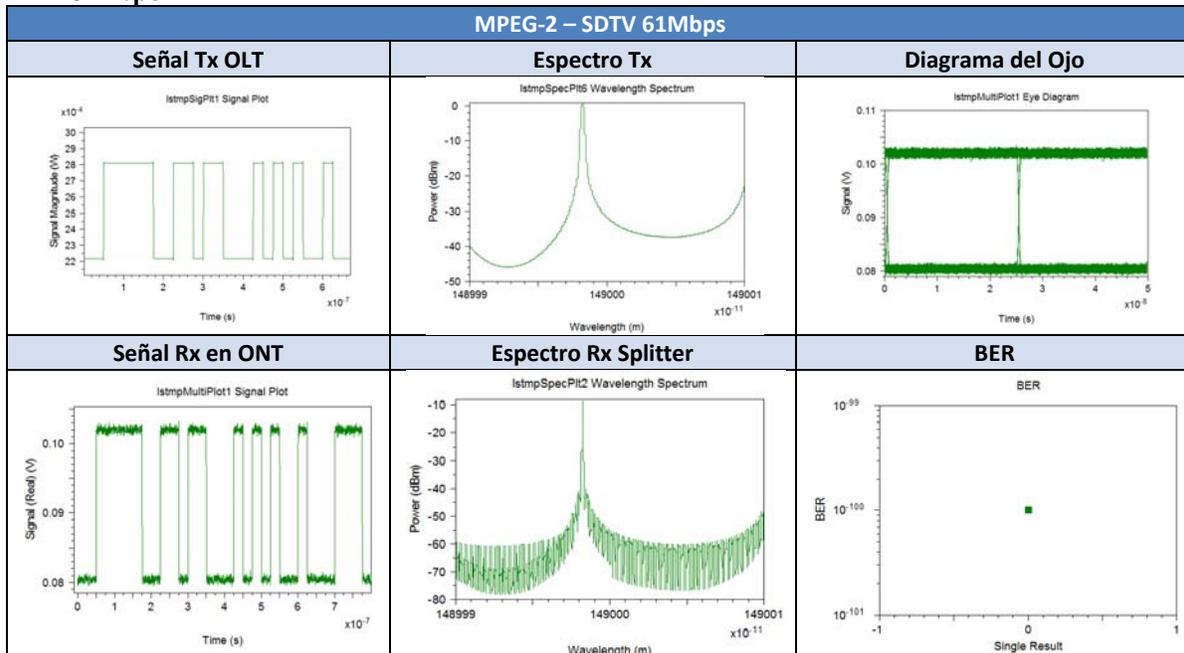


Tabla B.3. Gráficas para MPEG-2 - SDTV - 61Mbps

B.2.1.3. 183Mbps

Gráficas de Señal, Espectro, Diagrama del Ojo y BER para MPEG-2 formato HDTV a 183Mbps

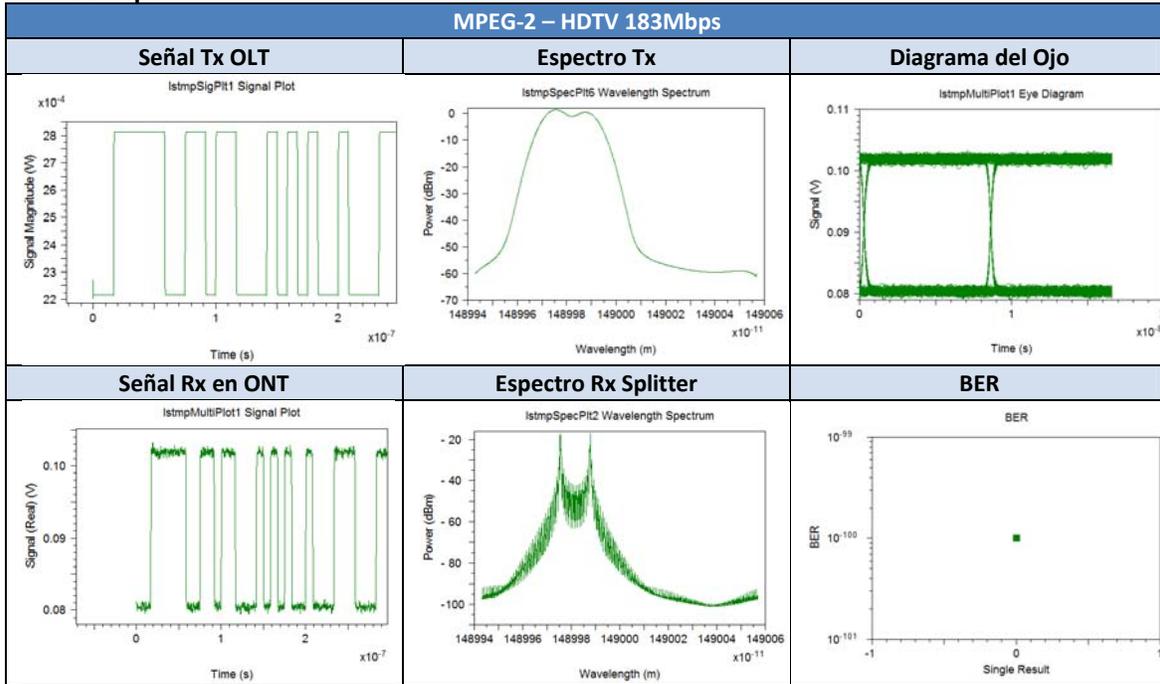


Tabla B.4. Gráficas para MPEG-2 - HDTV - 183Mbps

B.2.1.4. 366Mbps

Gráficas de Señal, Espectro, Diagrama del Ojo y BER para MPEG-2 formato HDTV a 366Mbps

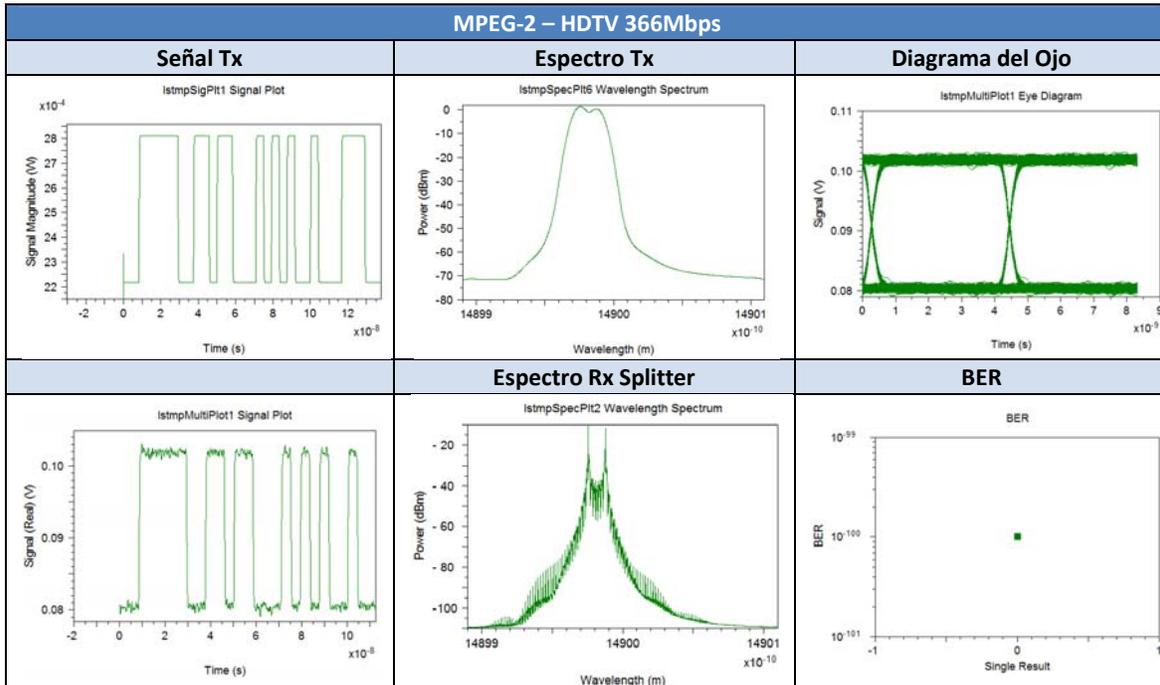


Tabla B.5. Gráficas para MPEG-2 - HDTV - 366Mbps

B.2.1.5. 18.3 Mbps

Gráficas de Señal, Espectro, Diagrama del Ojo y BER para MPEG-4 formato SDTV a 15Mbps

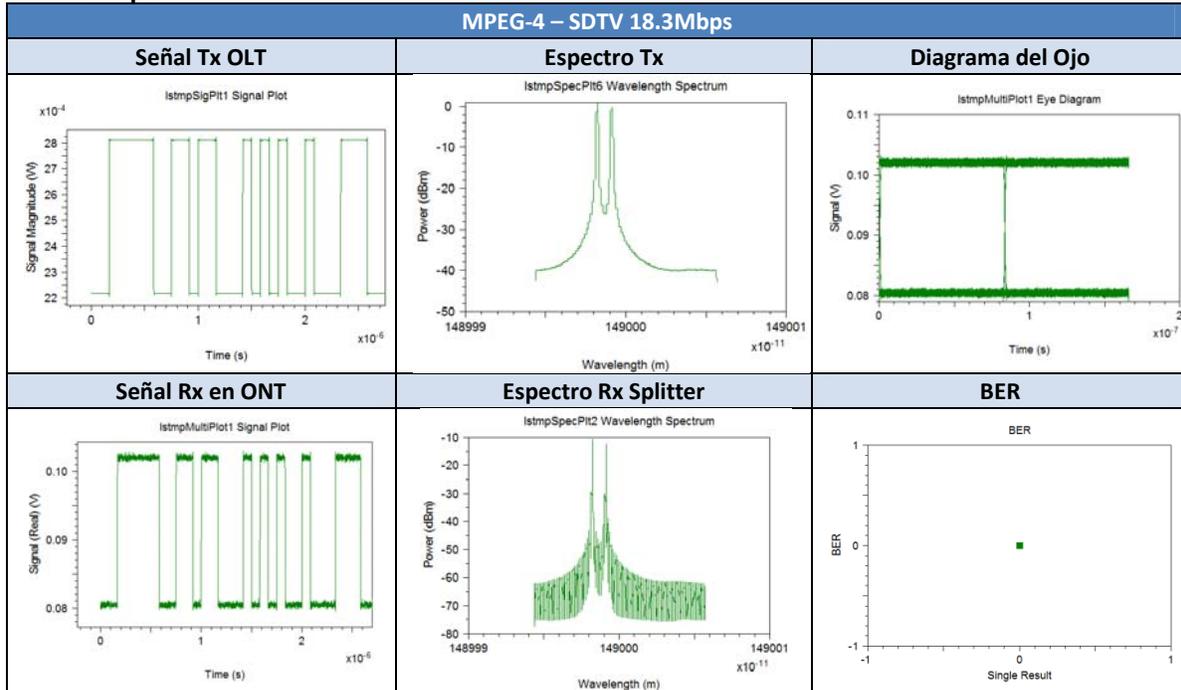


Tabla B.6. Gráficas para MPEG-4 - SDTV – 18.3Mbps

B.2.1.6. 30.5Mbps

Gráficas de Señal, Espectro, Diagrama del Ojo y BER para MPEG-4 formato SDTV a 30.5Mbps

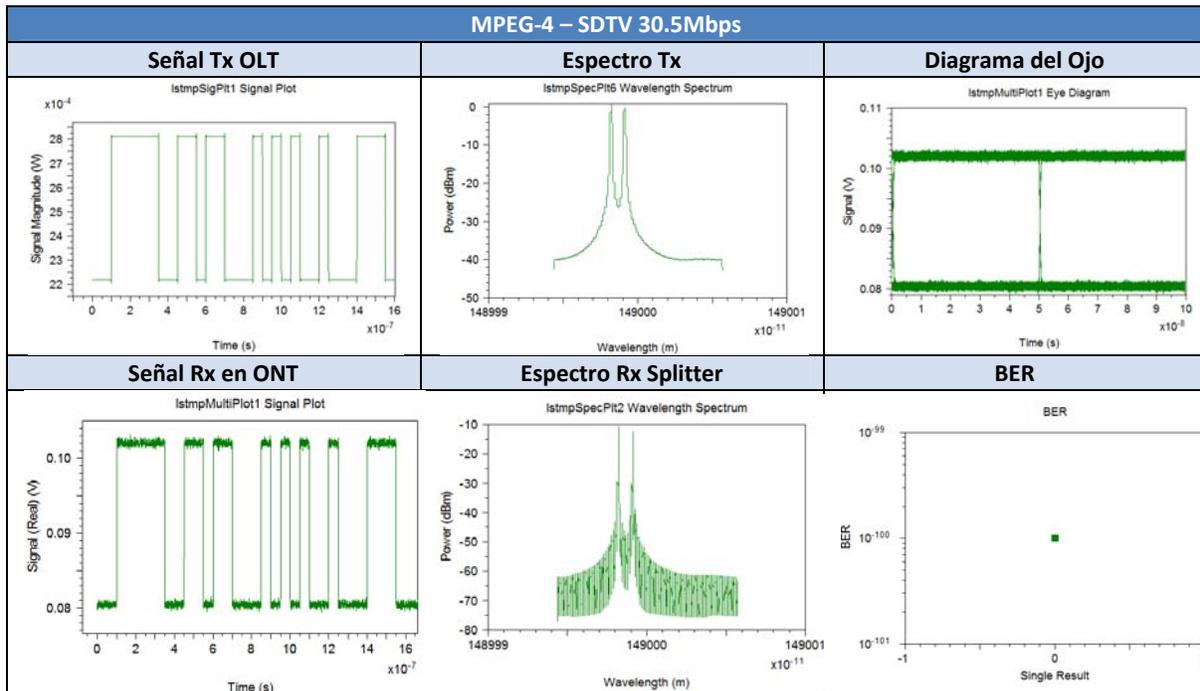


Tabla B.7. Gráficas para MPEG-4 - SDTV – 30.5Mbps

B.2.1.7. 97.6Mbps

Gráficas de Señal, Espectro, Diagrama del Ojo y BER para MPEG-4 formato HDTV a 97.6Mbps

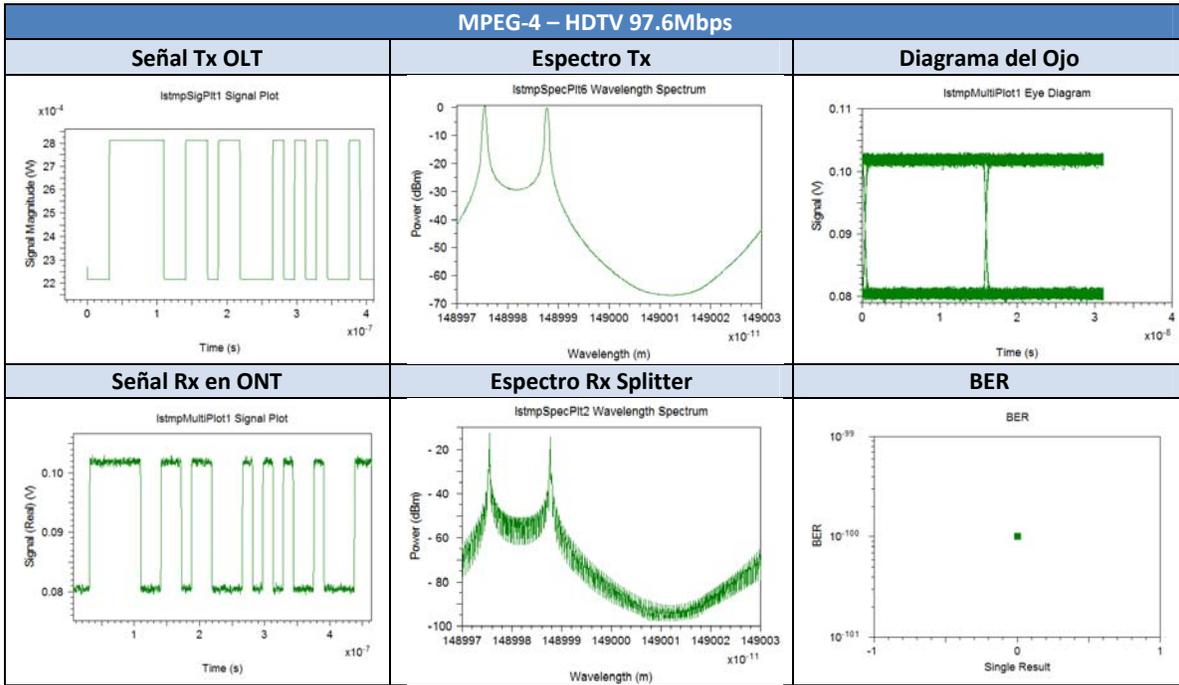


Tabla B.8. Gráficas para MPEG-4 - HDTV – 97.6Mbps

B.2.1.8. 164.4Mbps

Gráficas de Señal, Espectro, Diagrama del Ojo y BER para MPEG-4 formato HDTV a 164.4Mbps

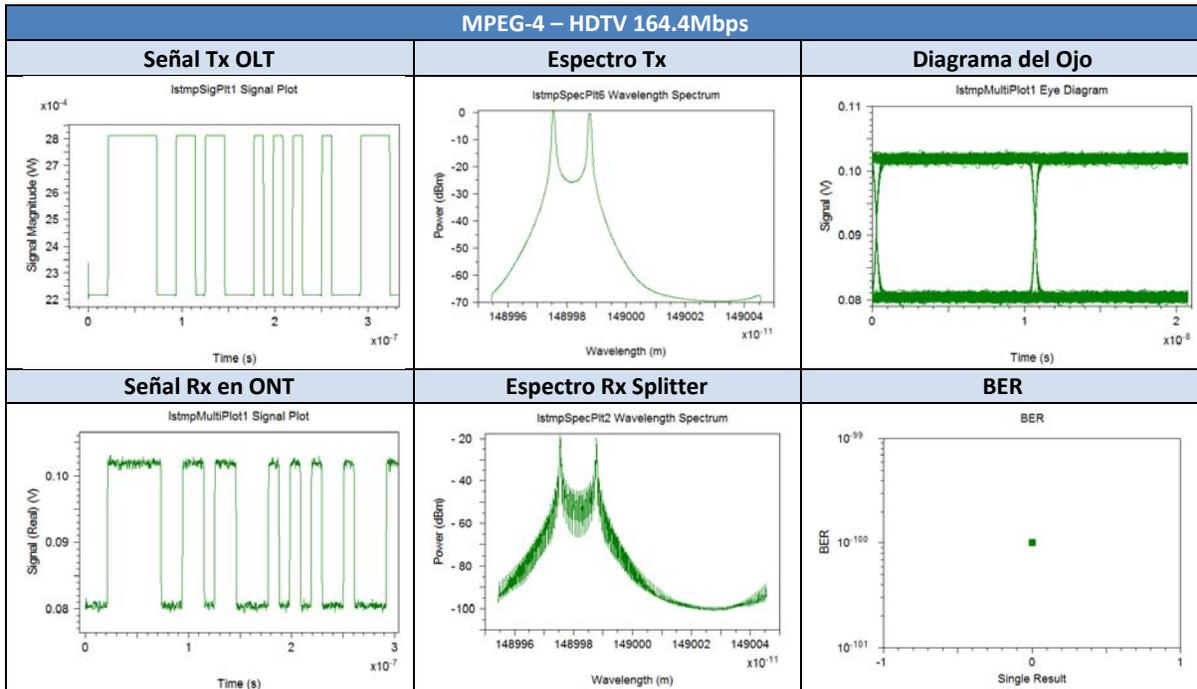


Tabla B.9. Gráficas para MPEG-4 - HDTV – 164.4Mbps

B.2.2 Resultados Escenario 2

B.2.2.1. 195.2 Mbps

BER en el ONT para 16 usuarios, MPEG-4 formato HDTV a 195.2Mbps

MPEG-4 HDTV 195.2Mbps			
Distancia desde el splitter (m)	BER		
	Promedio	Mínima	Máxima
60	4.2755e-073	2.9968e-079	3.5091e-067
120	9.6030e-073	7.2120e-079	7.3824e-067
180	2.1490e-072	1.7287e-078	1.5479e-066
240	4.7917e-072	4.1275e-078	3.2348e-066
300	1.0646e-071	9.8159e-078	6.7379e-066
360	2.3566e-071	2.3253e-077	1.3988e-065
420	5.1979e-071	5.4867e-077	2.8945e-065
480	1.1424e-070	1.2896e-076	5.9697e-065
540	2.5019e-070	3.0194e-076	1.2272e-064
600	5.4596e-070	7.0421e-076	2.5147e-064
660	1.1872e-069	1.6361e-075	5.1362e-064
720	2.5725e-069	3.7867e-075	1.0457e-063
780	5.5547e-069	8.7305e-075	2.1221e-063
840	1.1952e-068	2.0052e-074	4.2927e-063
900	2.5628e-068	4.5882e-074	8.6561e-063
1000	9.0675e-068	1.8077e-073	2.7664e-062

Tabla B.10. BER para MPEG-4 - HDTV 195.2Mbps

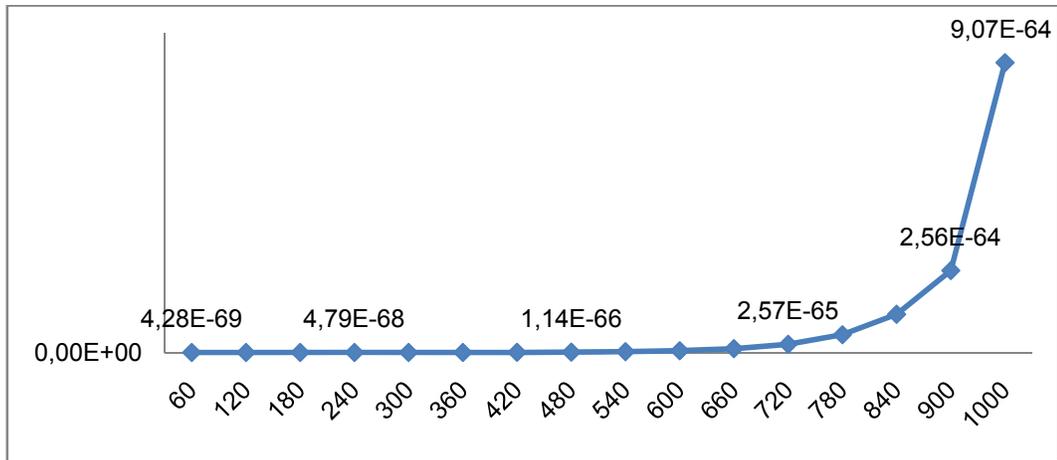


Figura B.5. BER para MPEG-4 - HDTV 195.2Mbps

Gráficas de Señal, Espectro, Diagrama del Ojo y BER para MPEG-4 formato HDTV a 195.2Mbps

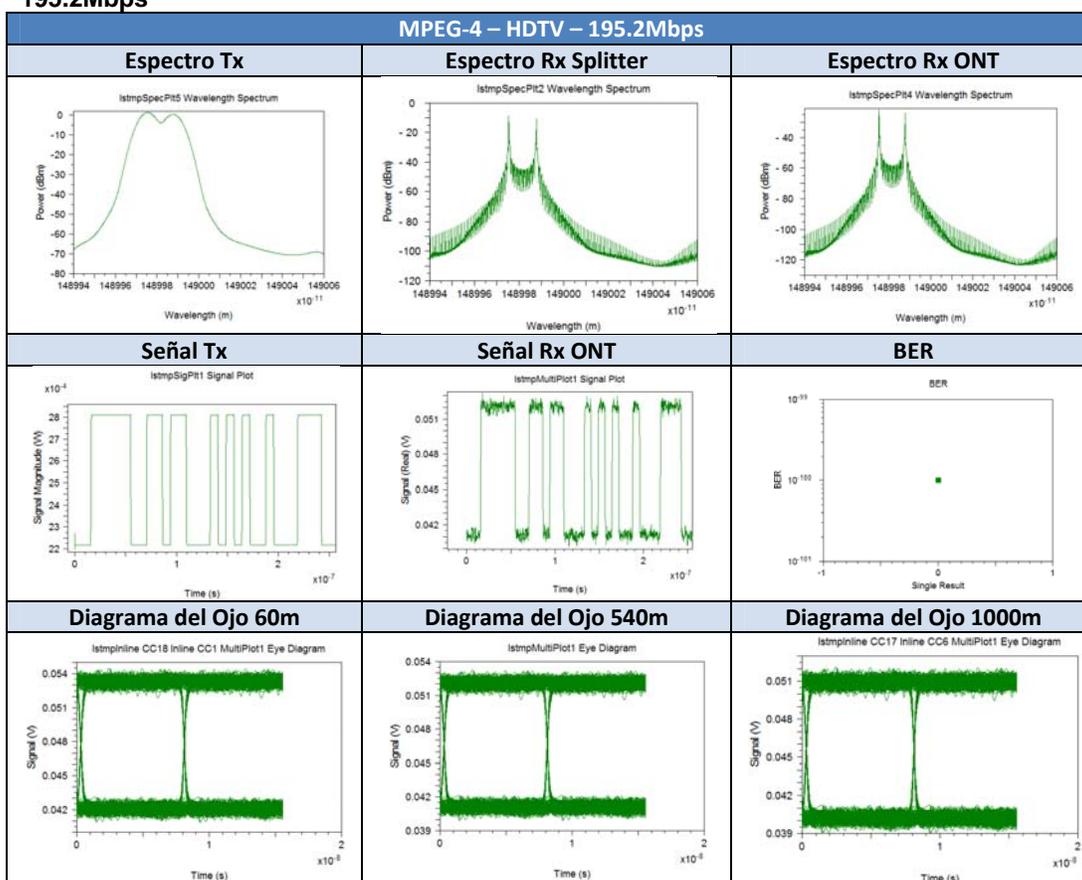


Tabla B.11. Gráficas para MPEG-4 - HDTV – 195.2Mbps

B.2.2.2. 292.8Mbps

BER en el ONT para 16 usuarios, MPEG-4 formato HDTV a 292.8Mbps

MPEG-4 - HDTV– 292.8 Mbps			
Distancia desde el splitter (m)	BER		
	Promedio	Mínima	Máxima
60	4.2755e-073	2.9968e-079	3.5091e-067
120	9.6030e-073	7.2120e-079	7.3824e-067
180	2.1490e-072	1.7287e-078	1.5479e-066
240	4.7917e-072	4.1275e-078	3.2348e-066
300	1.0646e-071	9.8159e-078	6.7379e-066
360	2.3566e-071	2.3253e-077	1.3988e-065
420	5.1979e-071	5.4867e-077	2.8945e-065
480	1.1424e-070	1.2896e-076	5.9697e-065
540	2.5019e-070	3.0194e-076	1.2272e-064
600	5.4596e-070	7.0421e-076	2.5147e-064
660	1.1872e-069	1.6361e-075	5.1362e-064
720	2.5725e-069	3.7867e-075	1.0457e-063
780	5.5547e-069	8.7305e-075	2.1221e-063
840	1.1952e-068	2.0052e-074	4.2927e-063
900	2.5628e-068	4.5882e-074	8.6561e-063
1000	9.0675e-068	1.8077e-073	2.7664e-062

Tabla B.12. BER para MPEG-4 - HDTV 292.8Mbps

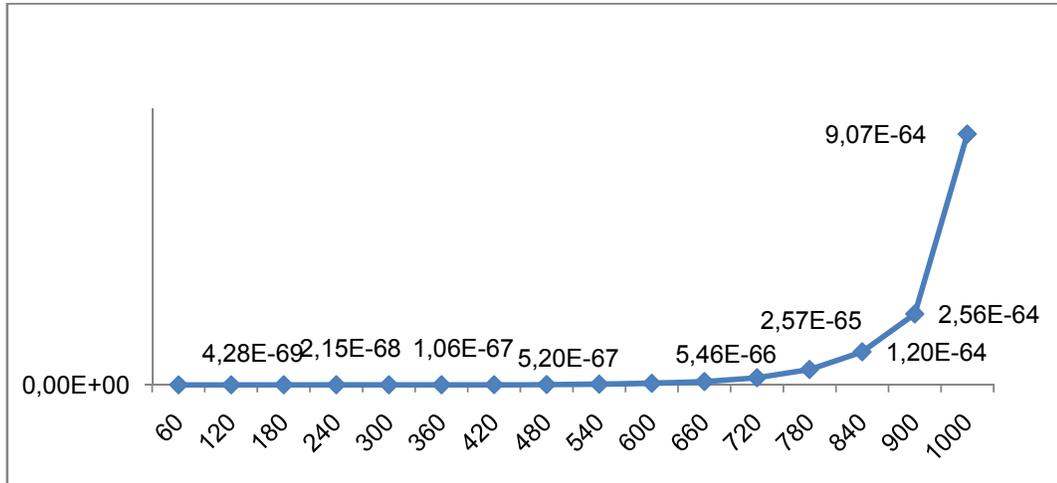


Figura B.6. BER para MPEG-4 - HDTV 292.8Mbps

Gráficas de Señal, Espectro, Diagrama del Ojo y BER para MPEG-4 formato HDTV a 292.8Mbps

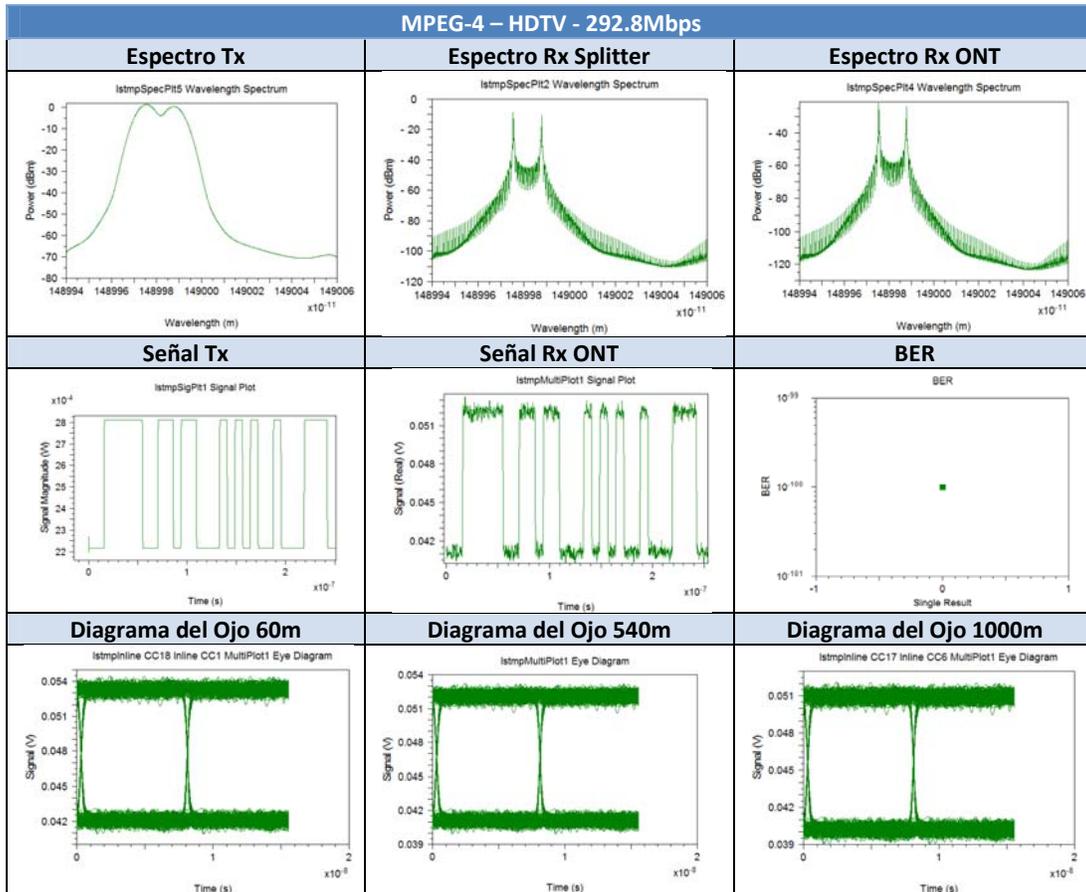


Tabla B.13. Gráficas para MPEG-4 - HDTV - 292.8Mbps

B.2.2.3. 36.6Mbps

BER en el ONT para 16 usuarios, MPEG-4 formato SDTV a 36.6Mbps

MPEG-4 - SDTV 36.6Mbps			
Distancia desde el splitter (m)	BER		
	Promedio	Mínima	Máxima
60	1.0968e-093	1.4573e-101	4.2953e-086
120	2.9704e-093	4.3689e-101	1.0686e-085
180	8.0128e-093	1.3062e-100	2.6481e-085
240	2.1532e-092	3.8955e-100	6.5376e-085
300	5.7640e-092	1.1590e-099	1.6079e-084
360	1.5372e-091	3.4404e-099	3.9395e-084
420	4.0846e-091	1.0191e-098	9.6161e-084
480	1.0814e-090	3.0129e-098	2.3385e-083
540	2.8530e-090	8.8909e-098	5.6659e-083
600	7.5005e-090	2.6190e-097	1.3677e-082
660	1.9652e-089	7.7019e-097	3.2896e-082
720	5.1320e-089	2.2613e-096	7.8833e-082
780	1.3359e-088	6.6287e-096	1.8824e-081
840	3.4664e-088	1.9401e-095	4.4788e-081
900	8.9677e-088	5.6692e-095	1.0619e-080
1000	4.3436e-087	3.3740e-094	4.4416e-080

Tabla B.14. BER para MPEG-4 - SDTV 36.6Mbps

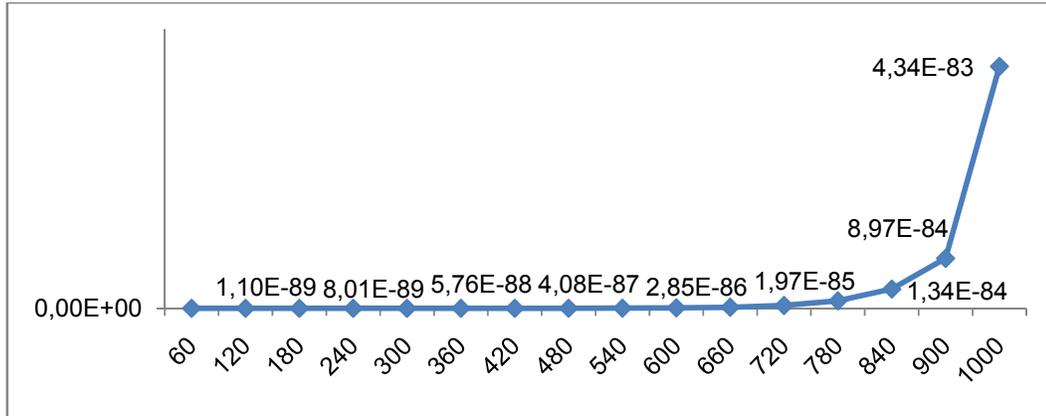
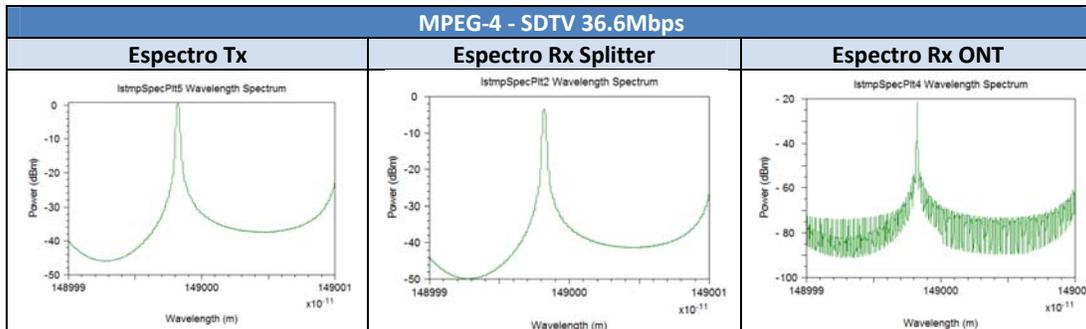


Figura B.7. BER para MPEG-4 - HDTV 36.6Mbps

Gráficas de Señal, Espectro, Diagrama del Ojo y BER para MPEG-4 formato SDTV a 36.6Mbps



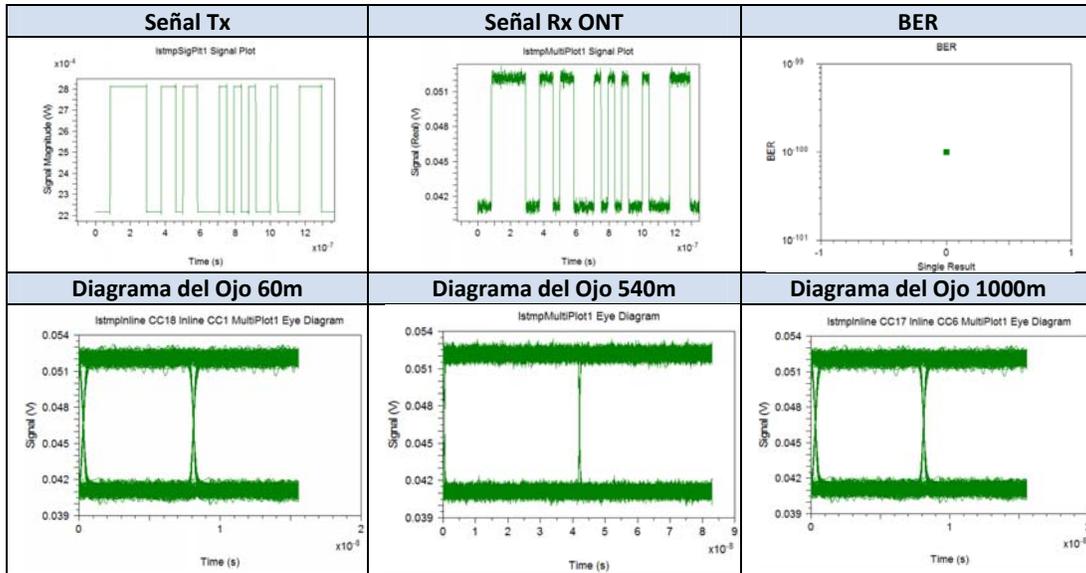


Tabla B.15. Gráficas para MPEG-4 - HDTV 36.6Mbps

B.2.2.4. 61Mbps

BER en el ONT para 16 usuarios, MPEG-4 formato SDTV a 61Mbps

MPEG-4 - SDTV 61Mbps			
Distancia desde el splitter (m)	BER		
	Promedio	Mínima	Máxima
60	4.2683e-083	1.2748e-089	9.3416e-077
120	1.0947e-082	3.5402e-089	2.2073e-076
180	2.7957e-082	9.7849e-089	5.1968e-076
240	7.1094e-082	2.6917e-088	1.2191e-075
300	1.8002e-081	7.3696e-088	2.8496e-075
360	4.5389e-081	2.0082e-087	6.6366e-075
420	1.1396e-080	5.4468e-087	1.5401e-074
480	2.8489e-080	1.4704e-086	3.5608e-074
540	7.0925e-080	3.9510e-086	8.2035e-074
600	1.7582e-079	1.0567e-085	1.8831e-073
660	4.3404e-079	2.8131e-085	4.3069e-073
720	1.0670e-078	7.4545e-085	9.8147e-073
780	2.6121e-078	1.9663e-084	2.2285e-072
840	6.3678e-078	5.1629e-084	5.0419e-072
900	1.5459e-077	1.3494e-083	1.1365e-071
1000	6.7170e-077	6.6248e-083	4.3693e-071

Tabla B.16. BER para MPEG-4 - SDTV 61Mbps

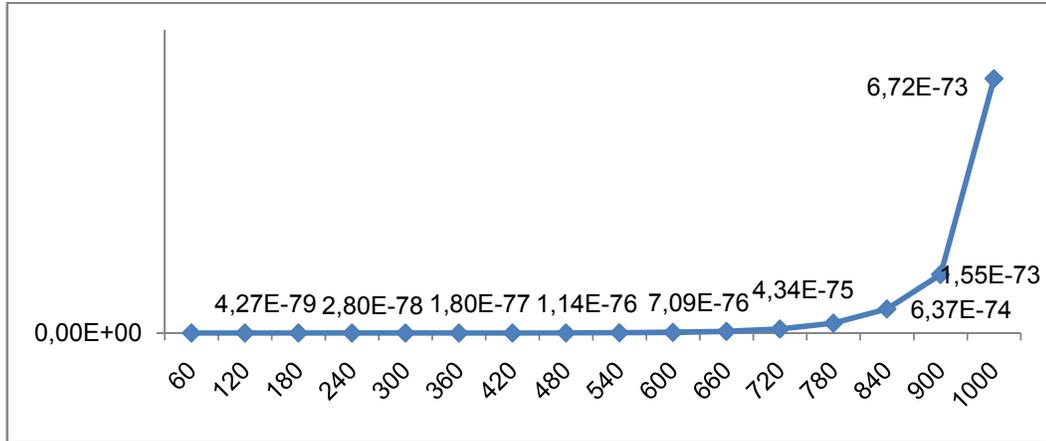


Figura B.8. BER para MPEG-4 - SDTV 61Mbps

Gráficas de Señal, Espectro, Diagrama del Ojo y BER para MPEG-4 formato SDTV a 61Mbps

BER para MPEG-4 - SDTV 61Mbps		
Espectro Tx 	Espectro Rx Splitter 	Espectro Rx ONT
Señal Tx 	Señal Rx ONT 	BER
Diagrama del Ojo 60m 	Diagrama del Ojo 540m 	Diagrama del Ojo 1000m

Tabla B.17. Gráficas para MPEG-4 - SDTV 61Mbps

B.2.2.5. 390.4Mbps

BER en el ONT para 32 usuarios, MPEG-4 formato HDTV a 390.4Mbps

MPEG-4 – HDTV - 390.4Mbps			
IPTV 32 Usuarios			
Distancia desde el splitter (m)	BER		
	Promedio	Mínima	Máxima
30	1.2105e-023	1.1587e-025	1.0392e-021
60	1.3871e-023	1.3442e-025	1.1767e-021
90	1.5889e-023	1.5588e-025	1.3321e-021
120	1.8194e-023	1.8070e-025	1.5074e-021
150	2.0827e-023	2.0939e-025	1.7054e-021
180	2.3831e-023	2.4255e-025	1.9286e-021
210	2.7260e-023	2.8085e-025	2.1805e-021
240	3.1172e-023	3.2508e-025	2.4644e-021
270	3.5633e-023	3.7614e-025	2.7844e-021
300	4.0718e-023	4.3505e-025	3.1450e-021
330	4.6512e-023	5.0300e-025	3.5511e-021
360	5.3113e-023	5.8135e-025	4.0085e-021
390	6.0631e-023	6.7165e-025	4.5233e-021
420	6.9189e-023	7.7570e-025	5.1027e-021
450	7.8927e-023	8.9553e-025	5.7545e-021
480	9.0007e-023	1.0335e-024	6.4876e-021
510	1.0271e-022	2.1041e-024	1.1761e-020
540	1.1693e-022	1.3750e-024	8.2380e-021
570	1.3321e-022	1.5850e-024	9.2788e-021
600	1.5170e-022	1.8266e-024	1.0448e-020
630	1.7271e-022	2.1041e-024	1.1761e-020
660	1.9655e-022	2.4230e-024	1.3234e-020
690	2.2362e-022	2.7891e-024	1.4888e-020
720	2.5433e-022	3.2095e-024	1.6743e-020
750	2.8915e-022	3.6918e-024	1.8824e-020
780	3.2864e-022	4.2451e-024	2.1157e-020
810	3.7339e-022	4.8796e-024	2.3771e-020
840	4.2411e-022	5.6069e-024	2.6701e-020
870	4.8154e-022	6.4403e-024	2.9983e-020
900	5.4658e-022	7.3949e-024	3.3658e-020
930	6.2020e-022	8.4881e-024	3.7772e-020
1000	8.3182e-022	1.1693e-023	4.9378e-020

Tabla B.18. BER para MPEG-4 – HDTV - 390.4Mbps

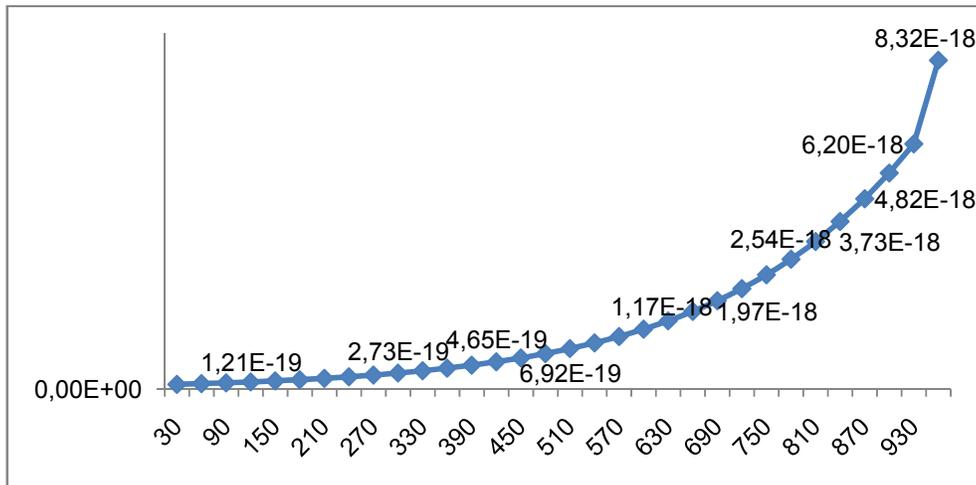


Figura B.9. BER para MPEG-4 – HDTV - 390.4Mbps

Gráficas de Señal, Espectro, Diagrama del Ojo y BER para MPEG-4 formato HDTV a 390.4Mbps

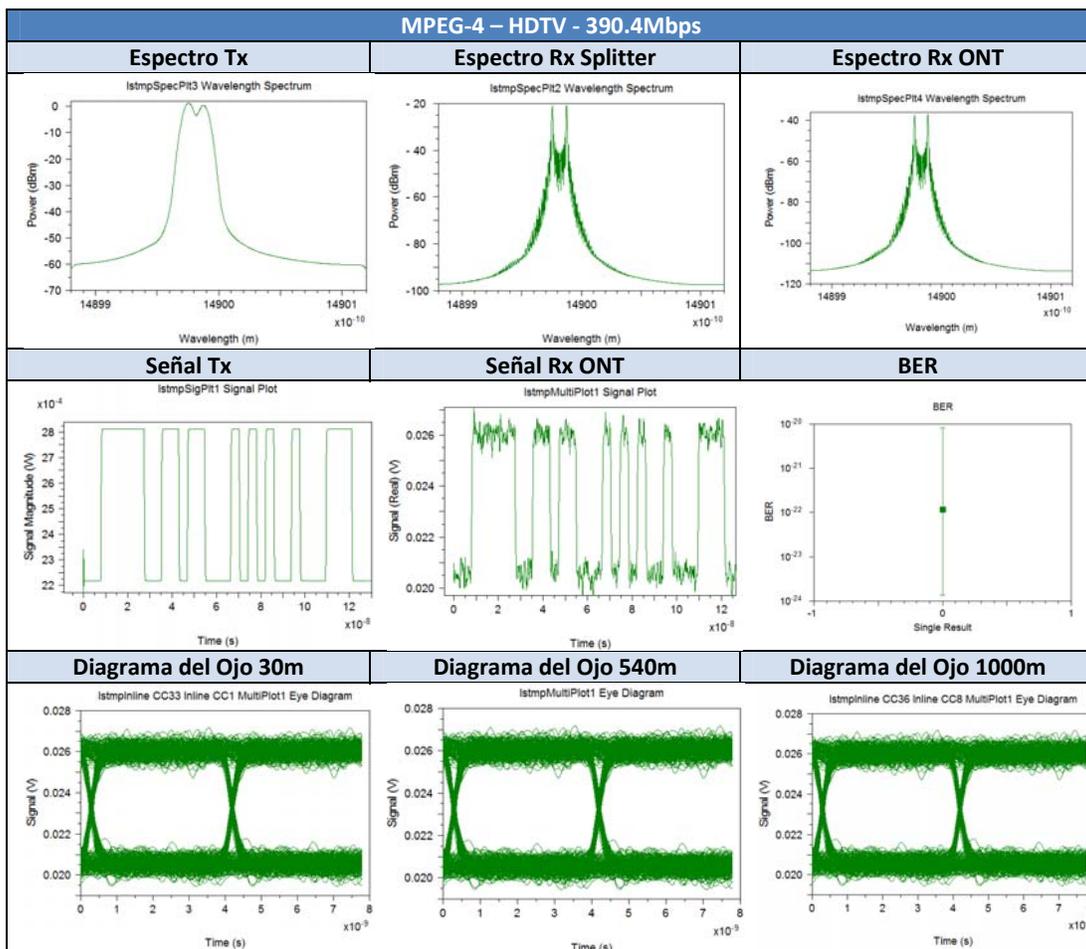


Tabla B.19. Gráficas para MPEG-4 – HDTV - 390.4Mbps

B.2.2.6. 585.6Mbps

BER en el ONT para 32 usuarios, MPEG-4 formato HDTV a 585.6Mbps

MPEG-4 – HDTV - 585.6Mbps			
IPTV 32 Usuarios			
Distancia desde el splitter (m)	BER		
	Promedio	Mínima	Máxima
30	2.5019e-023	2.4139e-025	2.4762e-021
60	2.8622e-023	2.7932e-025	2.7995e-021
90	3.2732e-023	3.2310e-025	3.1637e-021
120	3.7419e-023	3.7361e-025	3.5742e-021
150	4.2763e-023	4.3186e-025	4.0365e-021
180	4.8851e-023	4.9901e-025	4.5571e-021
210	5.5787e-023	5.7640e-025	5.1430e-021
240	6.3685e-023	6.6556e-025	5.8023e-021
270	7.2676e-023	7.6824e-025	6.5438e-021
300	8.2907e-023	8.8645e-025	7.3777e-021
330	9.4545e-023	1.0225e-024	8.3149e-021
360	1.0778e-022	1.1790e-024	9.3681e-021

390	1.2282e-022	1.3590e-024	1.0551e-020
420	1.3991e-022	1.5658e-024	1.1880e-020
450	1.5933e-022	1.8036e-024	1.3371e-020
480	1.8138e-022	2.0767e-024	1.5044e-020
510	2.0497e-022	4.1813e-024	2.6994e-020
540	2.3481e-022	2.7505e-024	1.9026e-020
570	2.6703e-022	3.1637e-024	2.1386e-020
600	3.0356e-022	3.6377e-024	2.4031e-020
630	3.4497e-022	4.1813e-024	2.6994e-020
660	3.9190e-022	4.8045e-024	3.0312e-020
690	4.4506e-022	5.5186e-024	3.4027e-020
720	5.0525e-022	6.3366e-024	3.8185e-020
750	5.7340e-022	7.2735e-024	4.2838e-020
780	6.5051e-022	8.3459e-024	4.8041e-020
810	7.3775e-022	9.5731e-024	5.3859e-020
840	8.3640e-022	1.0977e-023	6.0363e-020
870	9.4793e-022	1.2583e-023	6.7630e-020
900	1.0740e-021	1.4418e-023	7.5749e-020
930	1.2164e-021	1.6515e-023	8.4814e-020
1000	1.6243e-021	2.2643e-023	1.1028e-019

Tabla B.20. BER para MPEG-4 – HDTV - 585.6Mbps

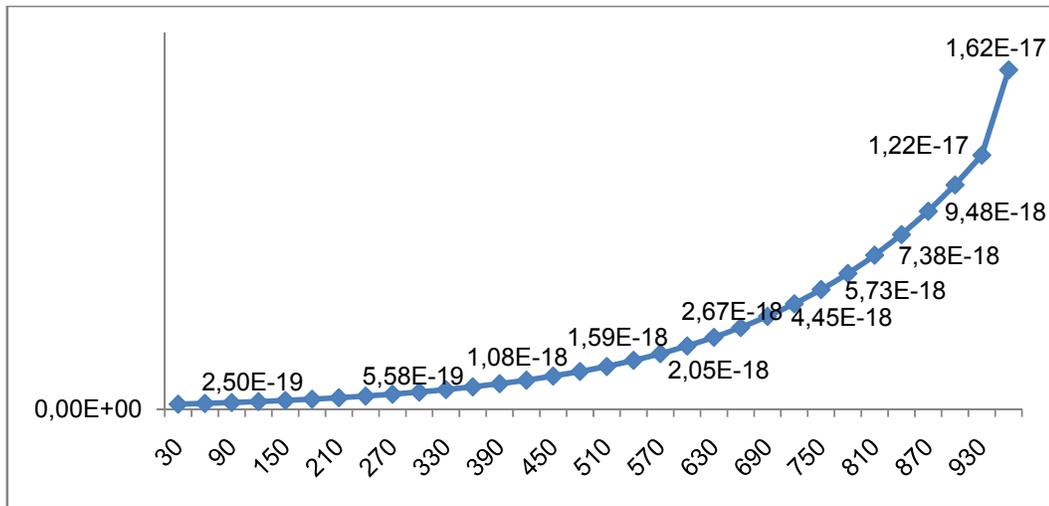
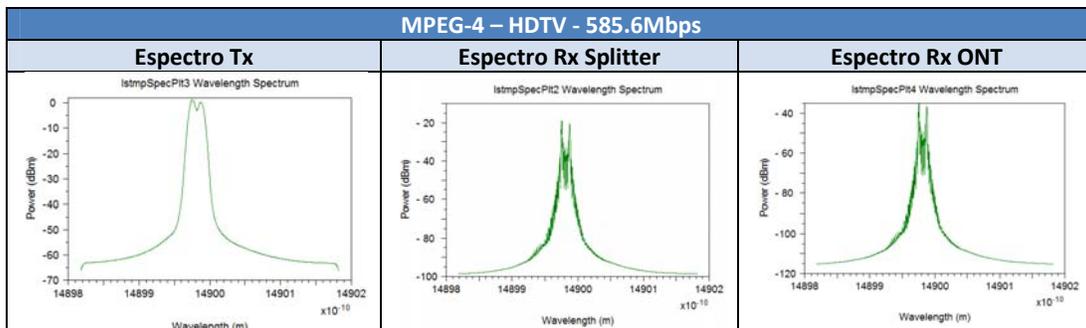


Figura B.10. BER para MPEG-4 – HDTV - 585.6Mbps

Gráficas de Señal, Espectro, Diagrama del Ojo y BER para MPEG-4 formato HDTV a 585.6Mbps



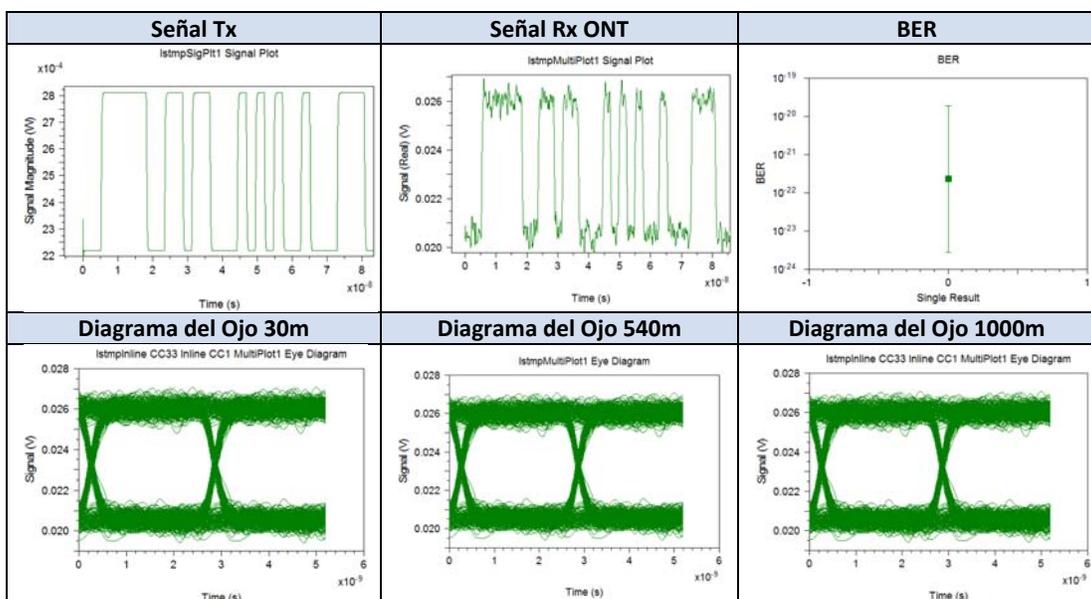


Tabla B.21. Gráficas MPEG-4 – HDTV - 585.6Mbps

B.2.2.7. 73.2Mbps

BER en el ONT para 32 usuarios, MPEG-4 formato SDTV a 73.2Mbps

MPEG-4 – SDTV - 73.2Mbps			
IPTV 32 Usuarios			
Distancia desde el splitter (m)	BER		
	Promedio	Mínima	Máxima
30	1.6945e-022	2.3754e-024	1.0395e-020
60	1.9264e-022	2.7320e-024	1.1686e-020
90	2.1893e-022	3.1411e-024	1.3133e-020
120	2.4872e-022	3.6100e-024	1.4754e-020
150	2.8247e-022	4.1475e-024	1.6571e-020
180	3.2070e-022	4.7634e-024	1.8607e-020
210	3.6399e-022	5.4687e-024	2.0886e-020
240	4.1299e-022	6.2762e-024	2.3437e-020
270	4.6843e-022	7.2005e-024	2.6292e-020
300	5.3114e-022	8.2579e-024	2.9487e-020
330	6.0206e-022	9.4672e-024	3.3060e-020
360	6.8222e-022	1.0850e-023	3.7056e-020
390	7.7282e-022	1.2430e-023	4.1522e-020
420	8.7517e-022	1.4235e-023	4.6514e-020
450	9.9075e-022	1.6297e-023	5.2090e-020
480	1.1212e-021	1.8651e-023	5.8318e-020
510	1.2717e-021	3.6427e-023	1.0214e-019
540	1.4347e-021	2.4403e-023	7.3035e-020
570	1.6221e-021	2.7899e-023	8.1697e-020
600	1.8335e-021	3.1885e-023	9.1361e-020
630	2.0717e-021	3.6427e-023	1.0214e-019
660	2.3402e-021	4.1603e-023	1.1416e-019
690	2.6426e-021	4.7497e-023	1.2755e-019
720	2.9832e-021	5.4208e-023	1.4248e-019

750	3.3666e-021	6.1846e-023	1.5910e-019
780	3.7981e-021	7.0537e-023	1.7762e-019
810	4.2836e-021	8.0421e-023	1.9824e-019
840	4.8297e-021	9.1659e-023	2.2119e-019
870	5.4437e-021	1.0443e-022	2.4673e-019
900	6.1339e-021	1.1895e-022	2.7514e-019
930	6.9095e-021	1.3543e-022	3.0674e-019
1000	9.1114e-021	1.8309e-022	3.9488e-019

Tabla B.22. BER para MPEG-4 – SDTV - 73.2Mbps

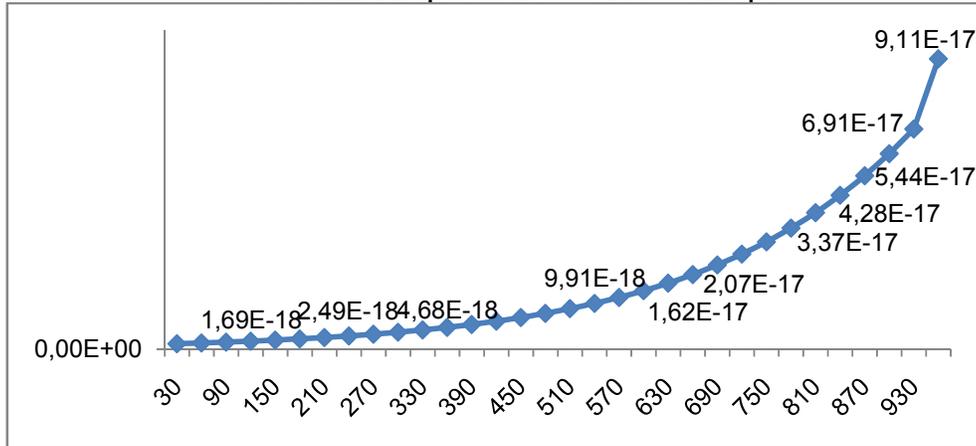


Figura B.11. BER para MPEG-4 – SDTV - 73.2Mbps

Gráficas de Señal, Espectro, Diagrama del Ojo y BER para MPEG-4 formato SDTV a 73.2Mbps

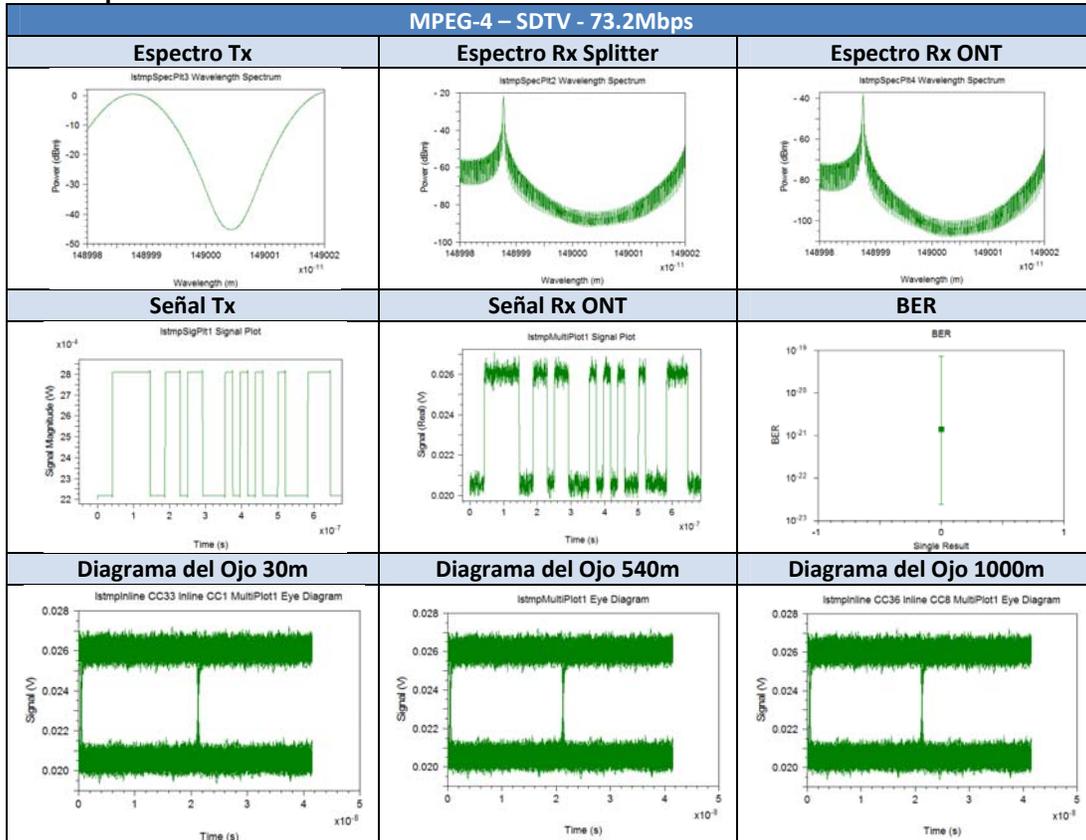


Tabla B.23. Gráficas para MPEG-4 – SDTV - 73.2Mbps

B.2.3 Resultados Escenario 3

B.2.3.1. 268.4Mbps

BER en el ONT para 16 usuarios, MPEG-4 - 1 flujo HDTV y 2 flujos SDTV a 268.4Mbps

MPEG-4 - 1HDTV y 2SDTV– 268.4 Mbps			
Distancia desde el splitter (m)	BER 16 usuarios		
	Promedio	Mínima	Máxima
60	4.8248e-075	3.0482e-081	4.4252e-069
120	1.1258e-074	7.6483e-081	9.6246e-069
180	2.6163e-074	1.9108e-080	2.0858e-068
240	6.0564e-074	4.7530e-080	4.5040e-068
300	1.3964e-073	1.1773e-079	9.6909e-068
360	3.2072e-073	2.9034e-079	2.0777e-067
420	7.3372e-073	7.1300e-079	4.4386e-067
480	1.6720e-072	1.7435e-078	9.4488e-067
540	3.7954e-072	4.2454e-078	2.0043e-066
600	8.5821e-072	1.0294e-077	4.2367e-066
660	1.9331e-071	2.4855e-077	8.9240e-066
720	4.3376e-071	5.9762e-077	1.8732e-065
780	9.6955e-071	1.4309e-076	3.9181e-065
840	2.1589e-070	3.4121e-076	8.1670e-065
900	4.7891e-070	8.1024e-076	1.6965e-064
1000	1.7918e-069	3.3934e-075	5.6932e-064

Tabla B.24. BER para MPEG-4 - HDTV– 268.4 Mbps

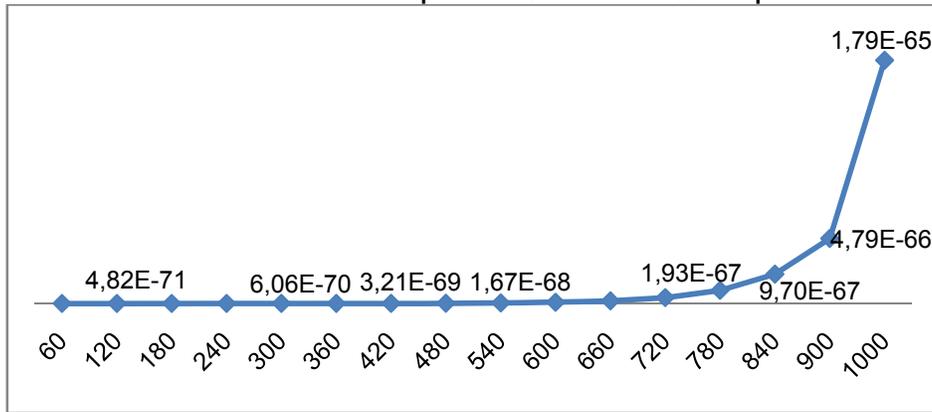
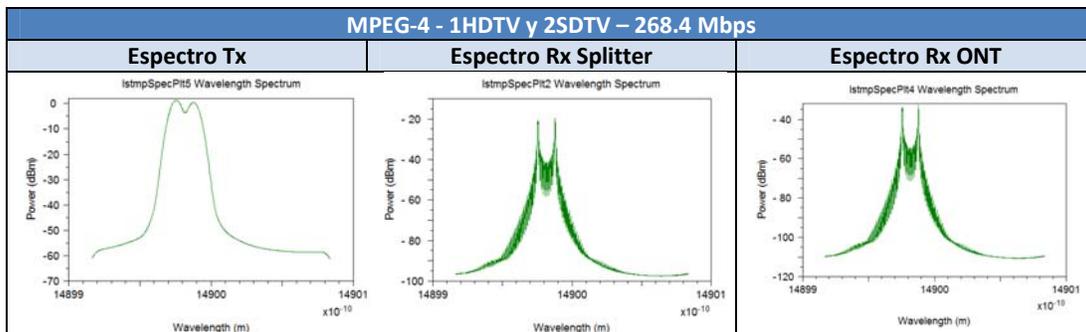


Figura B.12. BER para MPEG-4 - HDTV– 268.4 Mbps

Gráficas de Señal, Espectro, Diagrama del Ojo y BER para MPEG-4 flujos IPTV – 1 HDTV y 2 SDTV a 268.4Mbps para 16 usuarios



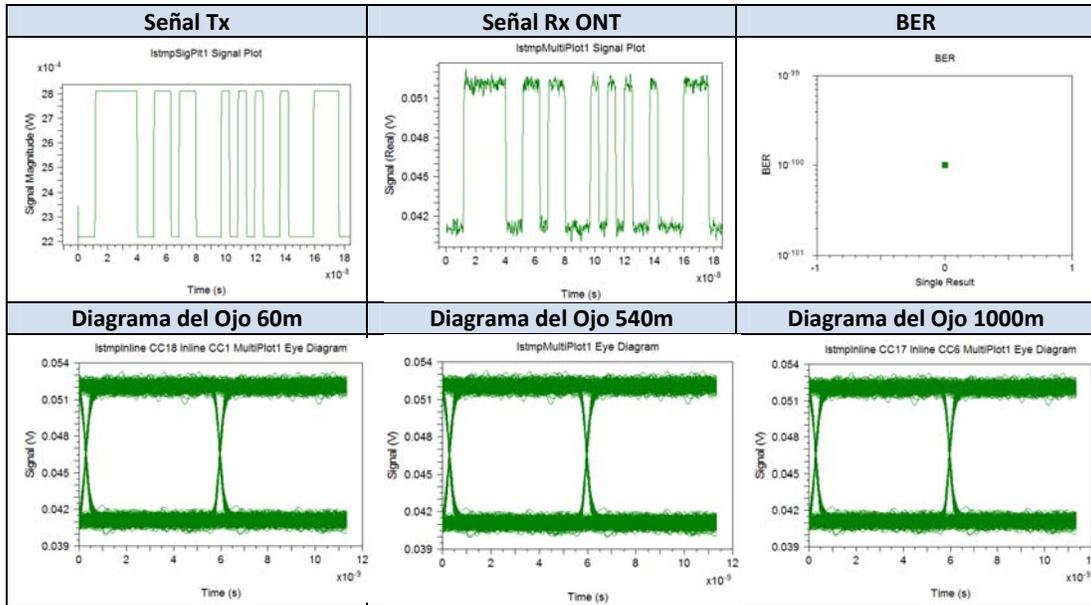


Tabla B.25. Gráficas para MPEG-4 - HDTV- 268.4 Mbps

B.2.3.2. 414.8Mbps

BER en el ONT para 16 usuarios, MPEG-4 - 1 flujo HDTV y 2 flujos SDTV a 414.8Mbps

MPEG-4 - 1HDTV y 2SDTV – 414.8 Mbps			
Distancia desde el splitter (m)	BER 16 usuarios		
	Promedio	Mínima	Máxima
60	9.9858e-078	1.0963e-084	4.5276e-071
120	2.4031e-077	2.8643e-084	1.0075e-070
180	5.7564e-077	7.4455e-084	2.2324e-070
240	1.3725e-076	1.9256e-083	4.9260e-070
300	3.2575e-076	4.9549e-083	1.0824e-069
360	7.6957e-076	1.2686e-082	2.3687e-069
420	1.8097e-075	3.2315e-082	5.1617e-069
480	4.2363e-075	8.1905e-082	1.1202e-068
540	9.8713e-075	2.0655e-081	2.4209e-068
600	2.2897e-074	5.1828e-081	5.2103e-068
660	5.2868e-074	1.2940e-080	1.1168e-067
720	1.2151e-073	3.2146e-080	2.3839e-067
780	2.7803e-073	7.9460e-080	5.0678e-067
840	6.3327e-073	1.9544e-079	1.0729e-066
900	1.4359e-072	4.7832e-079	2.2623e-066
1000	5.5633e-072	2.1028e-078	7.7734e-066

Tabla B.26. BER para MPEG-4 - HDTV- 414.8 Mbps

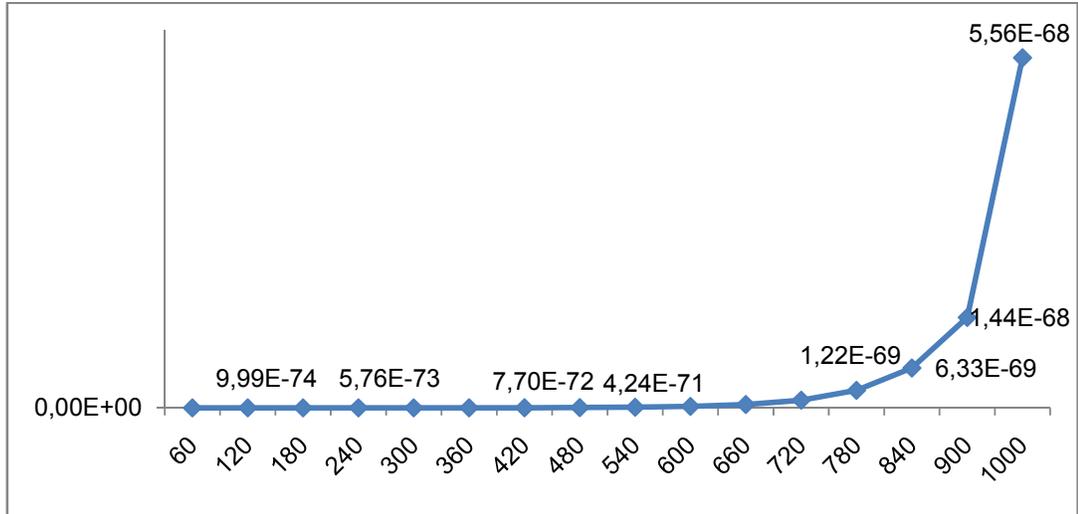


Figura B.13. BER para MPEG-4 - HDTV– 414.8 Mbps

Gráficas de Señal, Espectro, Diagrama del Ojo y BER para MPEG-4 flujos IPTV – 1 HDTV y 2 SDTV a 414.8Mbps para 16 usuarios

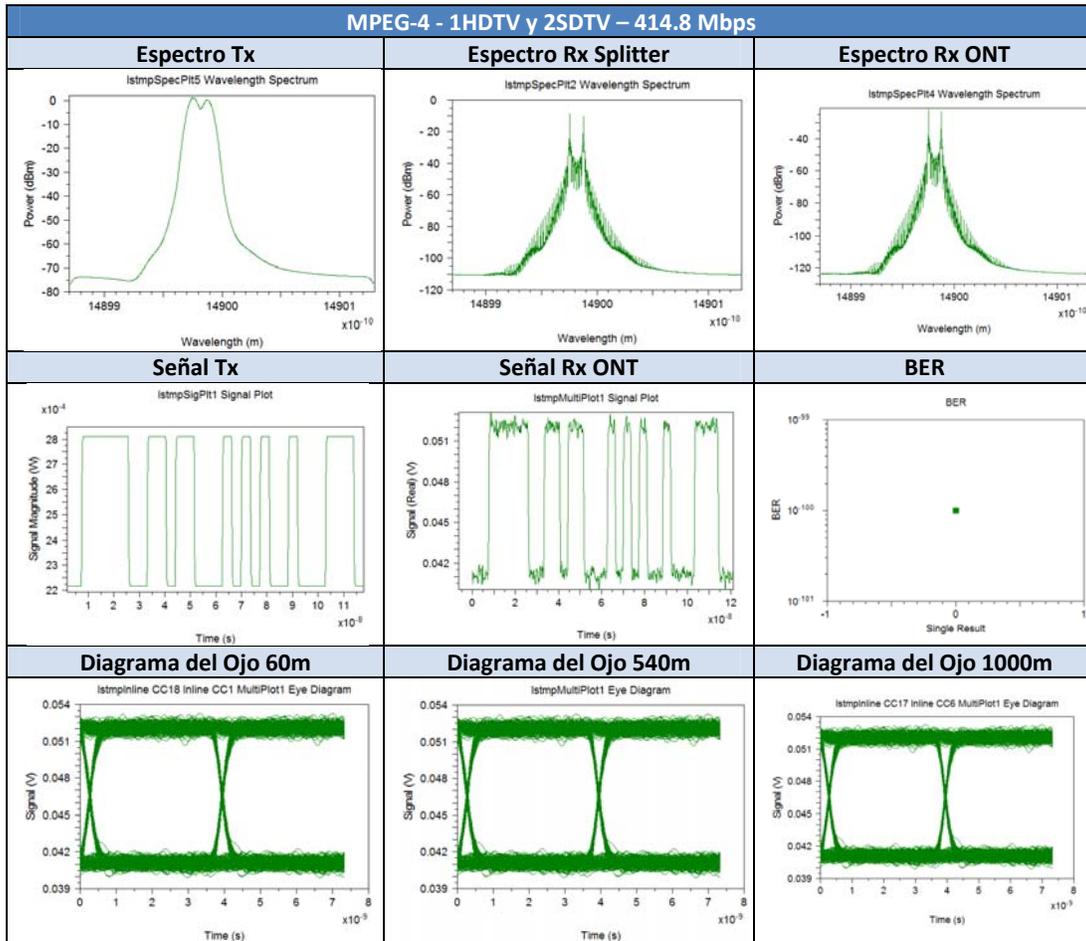


Tabla B.27. Gráficas para MPEG-4 - HDTV– 414.8 Mbps

B.2.3.3. 536.8Mbps**BER en el ONT para 32 usuarios, MPEG-4 - 1 flujo HDTV y 2 flujos SDTV a 536.8Mbps**

MPEG-4 - 1HDTV y 2SDTV – 536.8 Mbps			
IPTV 32 Usuarios			
Distancia desde el splitter (m)	BER		
	Promedio	Mínima	Máxima
30	1.4727e-023	1.3557e-025	1.5926e-021
60	1.6873e-023	1.5707e-025	1.8031e-021
90	1.9325e-023	1.8192e-025	2.0407e-021
120	2.2126e-023	2.1063e-025	2.3088e-021
150	2.5324e-023	2.4378e-025	2.6113e-021
180	2.8973e-023	2.8206e-025	2.9523e-021
210	3.3137e-023	3.2622e-025	3.3367e-021
240	3.7885e-023	3.7717e-025	3.7699e-021
270	4.3299e-023	4.3592e-025	4.2579e-021
300	4.9469e-023	5.0364e-025	4.8074e-021
330	5.6499e-023	5.8169e-025	5.4260e-021
360	6.4504e-023	6.7159e-025	6.1221e-021
390	7.3619e-023	7.7512e-025	6.9052e-021
420	8.3991e-023	8.9430e-025	7.7858e-021
450	9.5792e-023	1.0314e-024	8.7757e-021
480	1.0921e-022	1.1892e-024	9.8882e-021
510	1.2929e-022	1.3101e-024	1.0870e-020
540	1.4181e-022	1.5791e-024	1.2542e-020
570	1.6151e-022	1.8188e-024	1.4117e-020
600	1.8389e-022	2.0940e-024	1.5886e-020
630	2.0929e-022	2.4101e-024	1.7870e-020
660	2.3811e-022	2.7730e-024	2.0095e-020
690	2.7082e-022	3.1894e-024	2.2590e-020
720	3.0791e-022	3.6670e-024	2.5386e-020
750	3.4996e-022	4.2147e-024	2.8519e-020
780	3.9763e-022	4.8426e-024	3.2029e-020
810	4.5163e-022	5.5620e-024	3.5958e-020
840	5.1278e-022	6.3862e-024	4.0357e-020
870	5.8203e-022	7.3300e-024	4.5279e-020
900	6.6040e-022	8.4104e-024	5.0785e-020
930	7.4907e-022	9.6467e-024	5.6943e-020
1000	1.0038e-021	1.3267e-023	7.4279e-020

Tabla B.28. BER para MPEG-4 - HDTV– 536.8 Mbps

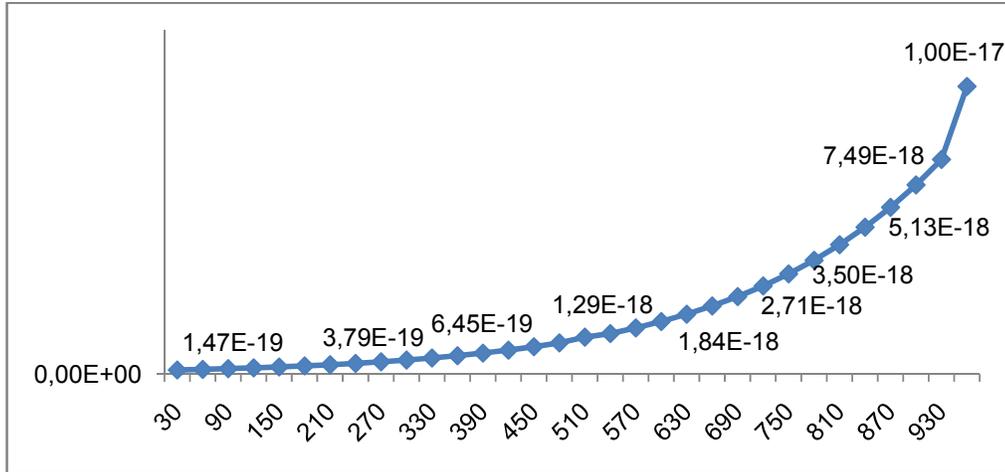


Figura B.14. BER para MPEG-4 - HDTV– 536.8 Mbps

Gráficas de Señal, Espectro, Diagrama del Ojo y BER para MPEG-4 flujos IPTV – 1 HDTV y 2 SDTV a 536.8Mbps para 32 usuarios

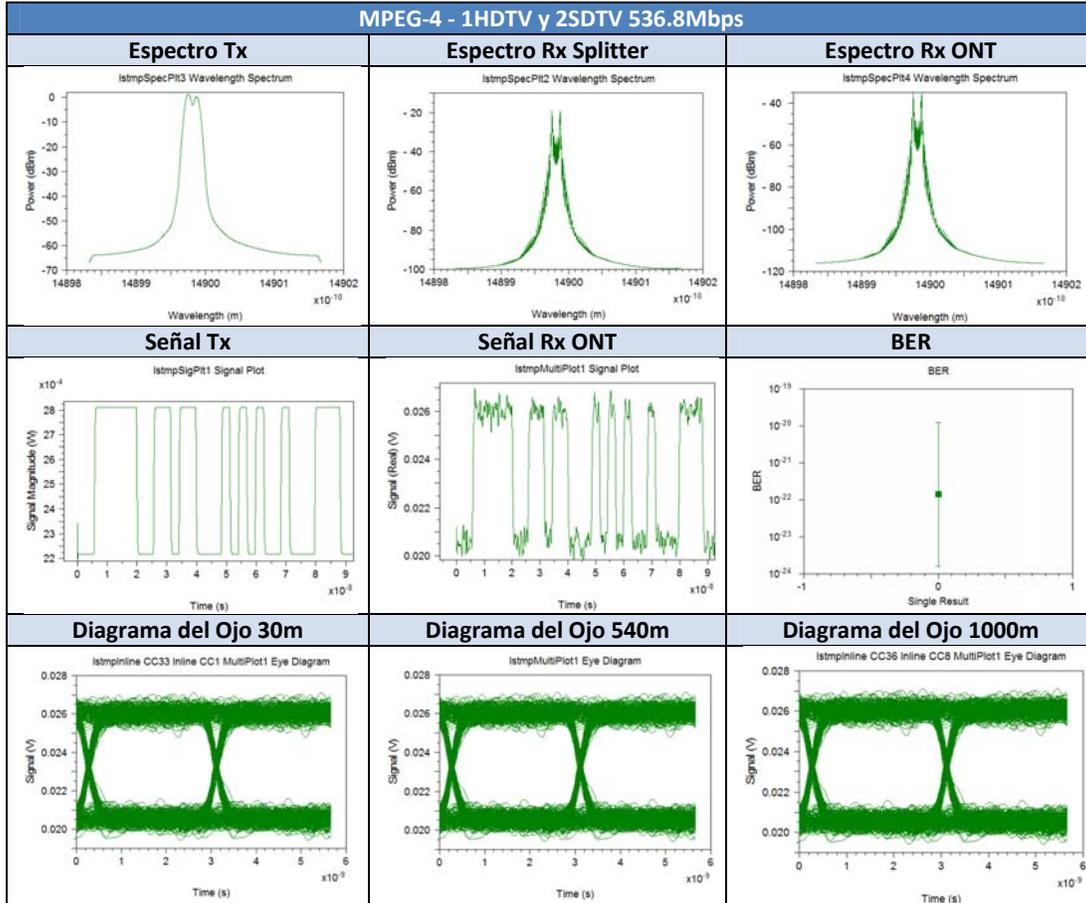


Tabla B.29. Gráficas para MPEG-4 - HDTV– 536.8 Mbps

B.2.4 Resultados Escenario 4

B.2.4.1. 427Mbps

BER en el ONT para 16 usuarios, MPEG-4 - 1 flujo HDTV y 2 flujos SDTV trafico de voz, datos y control a 427Mbps

MPEG-4 - 1 flujo HDTV y 2 flujos SDTV trafico de voz, datos y control a - 427Mbps			
Distancia desde el splitter (m)	BER 16 usuarios		
	Promedio	Mínima	Máxima
60	3.7288e-078	3.2270e-085	2.1776e-071
120	9.1138e-078	8.5829e-085	4.9087e-071
180	2.2183e-077	2.2724e-084	1.1023e-070
240	5.3766e-077	5.9888e-084	2.4660e-070
300	1.2978e-076	1.5711e-083	5.4962e-070
360	3.1196e-076	4.1031e-083	1.2204e-069
420	7.4680e-076	1.0667e-082	2.6997e-069
480	1.7804e-075	2.7607e-082	5.9498e-069
540	4.2273e-075	7.1126e-082	1.3064e-068
600	9.9959e-075	1.8243e-081	2.8579e-068
660	2.3541e-074	4.6582e-081	6.2291e-068
720	5.5215e-074	1.1842e-080	1.3527e-067
780	1.2898e-073	2.9970e-080	2.9268e-067
840	3.0010e-073	7.5514e-080	6.3095e-067
900	6.9543e-073	1.8943e-079	1.3553e-066
1000	2.7971e-072	8.6884e-079	4.8074e-066

Tabla B.30. BER para MPEG-4 - HDTV- 427 Mbps

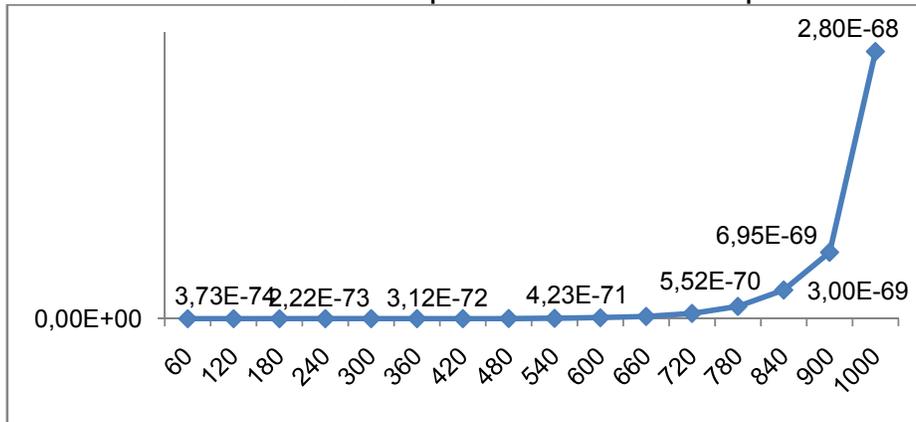
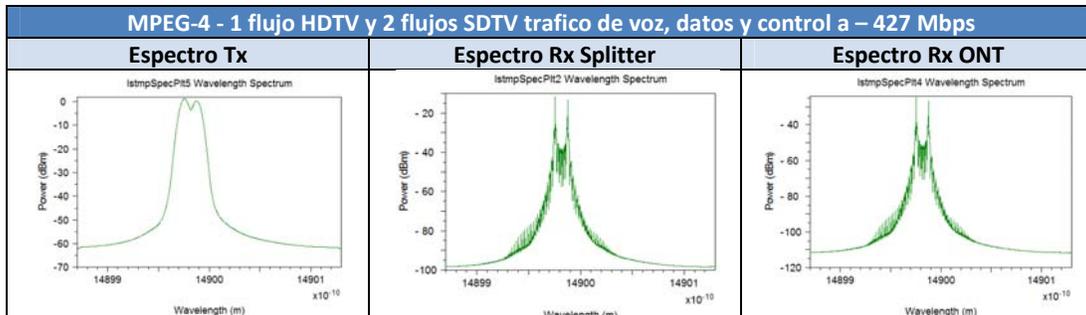


Figura B.15. BER para MPEG-4 - HDTV- 427 Mbps

Gráficas de Señal, Espectro, Diagrama del Ojo y BER para MPEG-4 flujos IPTV – 1 HDTV y 2 SDTV más trafico de voz, datos y control a 427Mbps para 16 usuarios



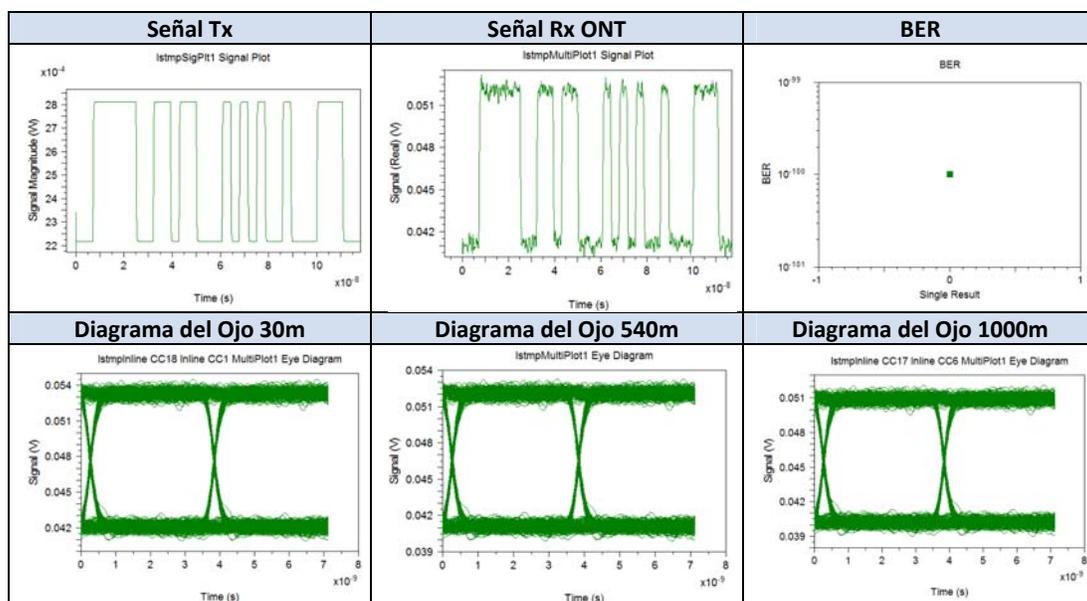


Tabla B.31. Gráficas para MPEG-4 - HDTV– 427 Mbps

B.2.4.2. 573.4Mbps

BER en el ONT para 16 usuarios, MPEG-4 - 1 flujo HDTV y 2 flujos SDTV trafico de voz, datos y control a 573.4Mbps

MPEG-4 - 1 flujo HDTV y 2 flujos SDTV trafico de voz, datos y control a 573.4 Mbps			
Distancia desde el splitter (m)	BER 16 usuarios		
	Promedio	Mínima	Máxima
60	3.8707e-077	1.1397e-083	7.7961e-071
120	8.7070e-077	2.7503e-083	1.6599e-070
180	1.9481e-076	6.5966e-083	3.5238e-070
240	4.3360e-076	1.5726e-082	7.4607e-070
300	9.6018e-076	3.7267e-082	1.5761e-069
360	2.1159e-075	8.7800e-082	3.3236e-069
420	4.6408e-075	2.0567e-081	6.9990e-069
480	1.0133e-074	4.7910e-081	1.4726e-068
540	2.2033e-074	1.1099e-080	3.0971e-068
600	4.7716e-074	2.5578e-080	6.5138e-068
660	1.0296e-073	5.8641e-080	1.3707e-067
720	2.2143e-073	1.3377e-079	2.8870e-067
780	4.7481e-073	3.0370e-079	6.0884e-067
840	1.0155e-072	6.8629e-079	1.2861e-066
900	2.1674e-072	1.5440e-078	2.7216e-066
1000	7.6417e-072	5.9093e-078	9.5358e-066

Tabla B.32. BER para MPEG-4 - HDTV– 573.4 Mbps

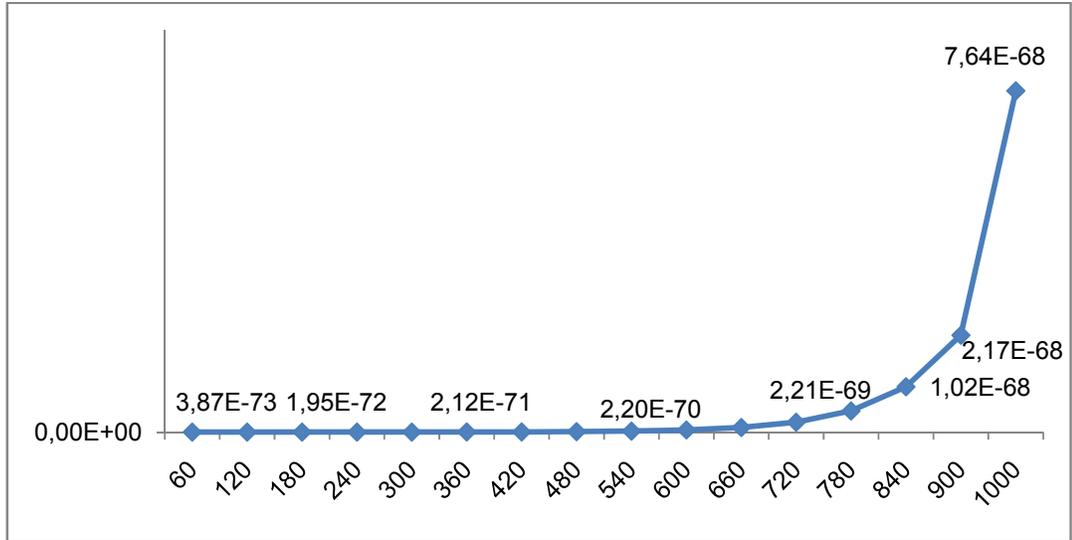


Figura B.16. BER para MPEG-4 - HDTV– 573.4 Mbps

Gráficas de Señal, Espectro, Diagrama del Ojo y BER para MPEG-4 flujos IPTV – 1 HDTV y 2 SDTV más trafico de voz, datos y control a 573.4Mbps para 16 usuarios

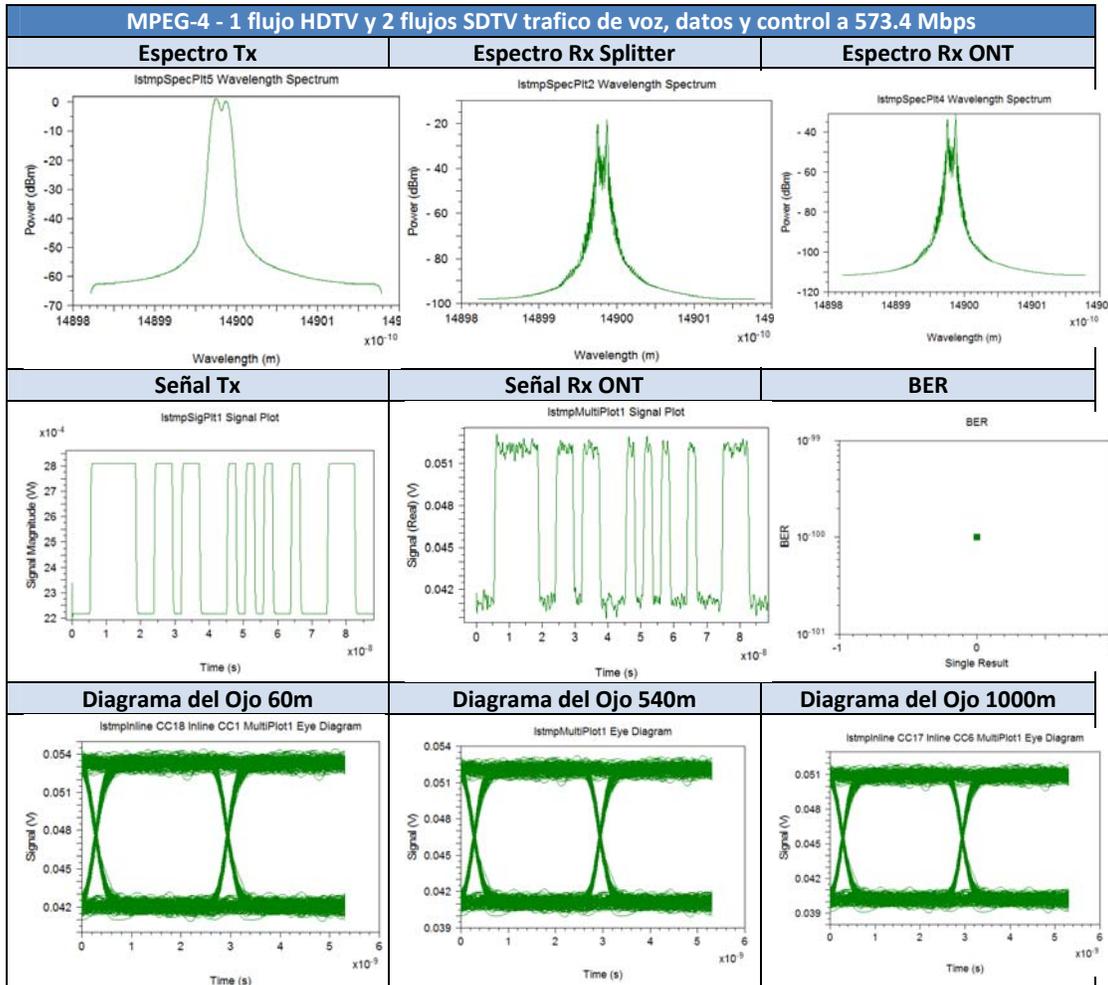


Tabla B.33. Gráficas para MPEG-4 - HDTV– 573.4 Mbps

B.2.4.3. 854Mbps

BER en el ONT para 32 usuarios, MPEG-4 - 1 flujo HDTV y 2 flujos SDTV trafico de voz, datos y control a 854Mbps

MPEG-4 - 1 flujo HDTV y 2 flujos SDTV trafico de voz, datos y control a – 854 Mbps			
IPTV 32 Usuarios			
Distancia desde el splitter (m)	BER		
	Promedio	Mínima	Máxima
30	8.3233e-022	1.4615e-023	4.0637e-020
60	9.4303e-022	1.6742e-023	4.5559e-020
90	1.0681e-021	1.9170e-023	5.1062e-020
120	1.2094e-021	2.1944e-023	5.7213e-020
150	1.3689e-021	2.5110e-023	6.4086e-020
180	1.5489e-021	2.8722e-023	7.1764e-020
210	1.7521e-021	3.2843e-023	8.0338e-020
240	1.9813e-021	3.7542e-023	8.9911e-020
270	2.2398e-021	4.2898e-023	1.0059e-019
300	2.5312e-021	4.9002e-023	1.1252e-019
330	2.8595e-021	5.5954e-023	1.2581e-019
360	3.2295e-021	6.3871e-023	1.4064e-019
390	3.6462e-021	7.2883e-023	1.5717e-019
420	4.1153e-021	8.3137e-023	1.7559e-019
450	4.6433e-021	9.4802e-023	1.9612e-019
480	5.2375e-021	1.0807e-022	2.1898e-019
510	5.9058e-021	1.2314e-022	2.4444e-019
540	6.6573e-021	1.4028e-022	2.7278e-019
570	7.5021e-021	1.5974e-022	3.0432e-019
600	8.4515e-021	1.8185e-022	3.3942e-019
630	9.5181e-021	2.0694e-022	3.7845e-019
660	1.0716e-020	2.3541e-022	4.2185e-019
690	1.2061e-020	2.6771e-022	4.7009e-019
720	1.3571e-020	3.0434e-022	5.2371e-019
750	1.5264e-020	3.4587e-022	5.8328e-019
780	1.7164e-020	3.9293e-022	6.4944e-019
810	1.9295e-020	4.4625e-022	7.2291e-019
840	2.1683e-020	5.0663e-022	8.0446e-019
870	2.4360e-020	5.7500e-022	8.9497e-019
900	2.7359e-020	6.5237e-022	9.9539e-019
930	3.0718e-020	7.3991e-022	1.1068e-018
1000	4.0200e-020	9.9133e-022	1.4160e-018

Tabla B.34. BER para MPEG-4 - HDTV– 854 Mbps

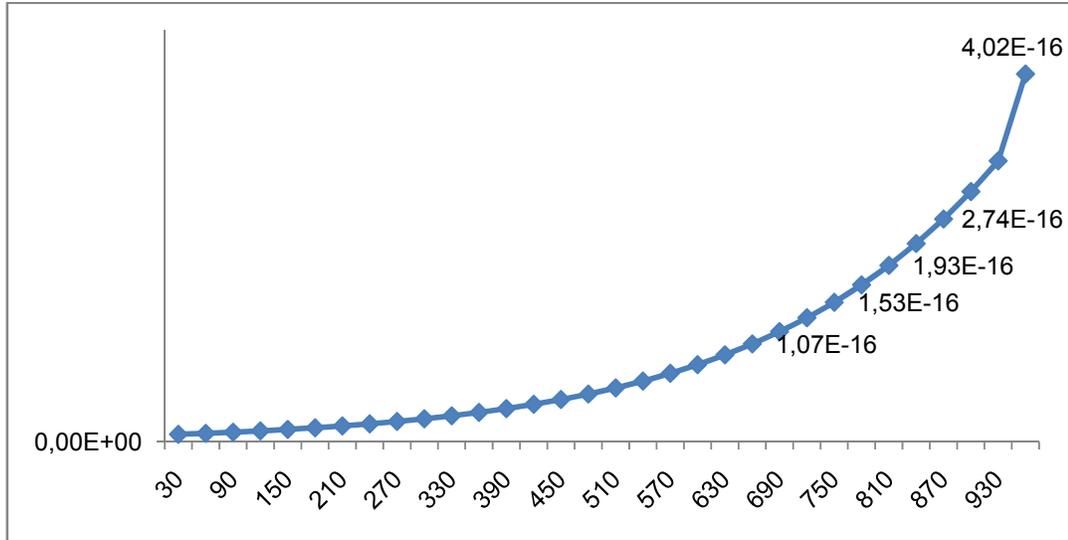


Figura B.17. BER para MPEG-4 - HDTV- 854 Mbps

Gráficas de Señal, Espectro, Diagrama del Ojo y BER para MPEG-4 flujos IPTV – 1 HDTV y 2 SDTV más tráfico de voz, datos y control a 854Mbps para 32 usuarios

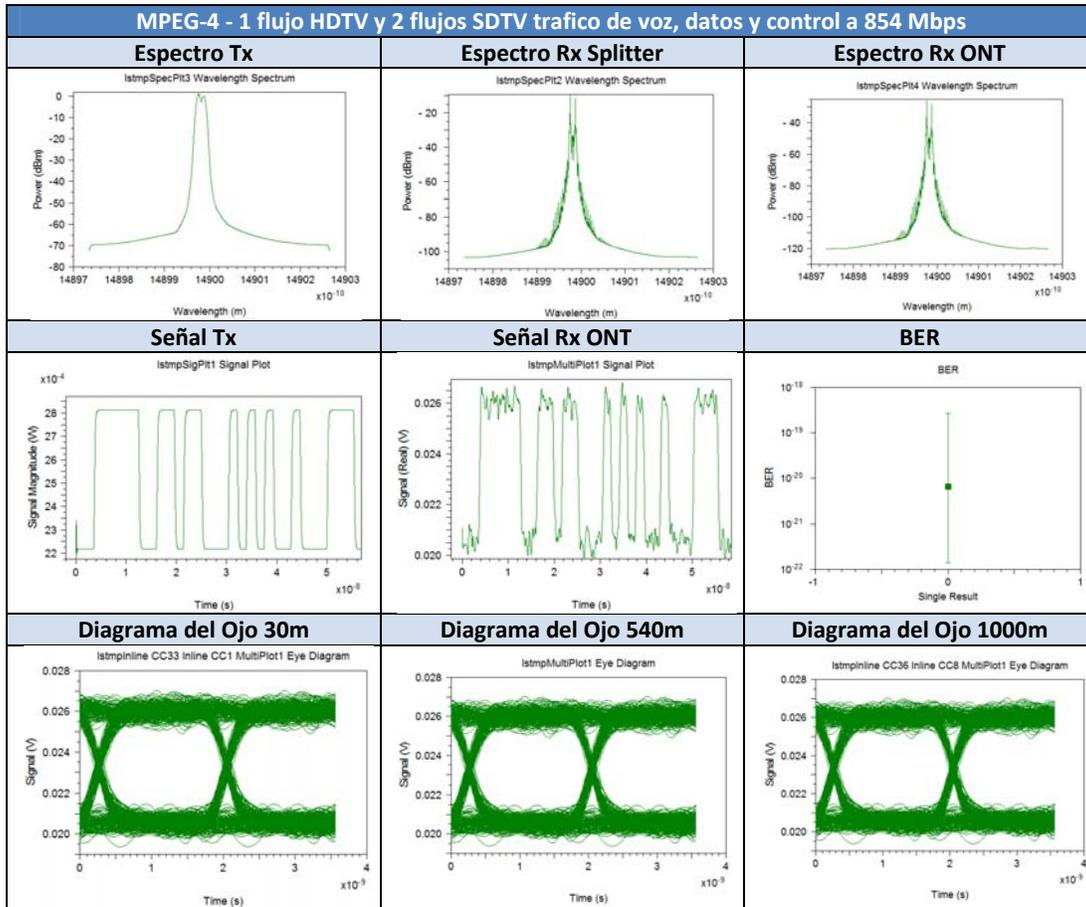


Tabla B.35. Gráficas para MPEG-4 - HDTV- 854 Mbps

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Held, Gilbert. “*Understanding IPTV*”, Auerbach Publications Taylor & Francis Group, 2007.
- [2] Nortel Networks. “*Adding high-value services using an IPTV solution*” 2006. Documento PDF disponible en: <http://www.nortel.com/solutions/iptv/collateral/nn113680.pdf>.
- [3] Open TV. “Open TV IPTV Solutions”, 2006. Documento disponible en <http://www.freshiptvnews.com/television.html>.
- [4] Bubbillo, Diego. “El futuro de IPTV en América Latina y su importancia para el Triple Play”, Signals Telecom Consulting.
- [5] International Engineering Consortium. “*IPTV Explained*”, Enero de 2007. http://www.iec.org/newsletter/jan07_2/broadband_1.html.
- [6] FlexLight Networks. “*Deploying IPTV and Video-on-Demand (VoD) using FlexLight’s GPON Systems*”. Newsletter.
- [7] Kramer, Glem. “*Ethernet Passive Optical Networks*”. San Francisco: Mc Graw Hill, 2005.
- [8] The International Engineering Consortium. “Ethernet Passive Optical Networks EPON”, 2005. Documento disponible en: <http://www.iec.org/online/tutorials/epon/index.html>.
- [9] RSoft Design Group. “*OptSim Models Reference*”. Volume II Block Mode. Ossining NY: RSoft Design (2007).
- [10] IEEE. *IEEE Std 802.3ah-2004, Amendment to IEEE Std 802.3-2002*. New York: IEEE, 2004.