



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TÍTULO DE LA TESIS:

**“Diseño Básico de Redes de Acceso FTTH utilizando el estándar  
GPON.”**

Previa la obtención del Grado Académico de Magíster en  
Telecomunicaciones

ELABORADO POR:

ING. CRISTHIAN OSWALDO AÑAZCO AGUILAR

TUTOR:

Dr. HÉCTOR RAMÓN SÁNCHEZ PAZ

Guayaquil, a los 22 días del mes de Mayo año 2013



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

## SISTEMA DE POSGRADO

### CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por Magíster Cristhian Oswaldo Añezco Aguilar como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de Magíster en Telecomunicaciones.

Guayaquil, a los 22 días del mes de Mayo año 2013

#### DIRECTOR DE TESIS

---

Dr. Héctor Sánchez

#### REVISORES:

---

MsC. Luzmila Ruilova Aguirre

---

MsC. Edwin Palacios Meléndez

#### DIRECTOR DEL PROGRAMA

---

MsC. Manuel Romero Paz



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

## SISTEMA DE POSGRADO

### DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

YO, CRISTHIAN OSWALDO AÑAZCO AGUILAR

#### DECLARO QUE:

La tesis “Diseño Básico de Redes de Acceso FTTH utilizando el estándar GPON” previa a la obtención del grado Académico de Magíster, ha sido desarrollada en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

Guayaquil, a los 22 días del mes de Mayo año 2013

EL AUTOR

---

Cristhian Oswaldo Añezco Aguilar



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

## SISTEMA DE POSGRADO

### AUTORIZACIÓN

YO, CRISTHIAN OSWALDO AÑAZCO AGUILAR

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución de la Tesis de Maestría titulada: “Diseño Básico de Redes de Acceso FTTH utilizando el estándar GPON”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 22 días del mes de Mayo año 2013

EL AUTOR

---

Cristhian Oswaldo Añezco Aguilar

## **AGRADECIMIENTO**

El agradecimiento imperecedero a mis padres, fuente de apoyo incondicional, que con su aliento constante impulsaban los deseos de superación necesarios para salir adelante en los diferentes escenarios de mi vida, gracias por incentivar y por haberme guiado en esta travesía de estudio superior y por permitirme cumplir una gran meta como lo es el título de Magíster en Telecomunicaciones, el mejor legado que nos pueden dejar nuestros padres es el estudio.

Un agradecimiento especial al personal docente y docente de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil que permitieron llevar nuestros conocimientos a un grado superior.

Ing. Cristhian Añezco Aguilar.

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo a las personas que siempre confiaron en mi capacidad y esfuerzo, especialmente a mis hijos, fuente de inspiración y esperanza; y a todas las personas que cada día se superan de una u otra manera, que a pesar de las adversidades buscan una forma de surgir, pero sobre todo a los que ven en el estudio una forma de sobresalir por sí mismo, sin oprimir a los demás.

Ing. Cristhian Añezco Aguilar.

## RESUMEN

En el presente documento se detalla el proceso de diseño de una red de acceso de fibra óptica que llegue hasta el usuario final y que permita brindar servicios convergentes, independientemente de la infraestructura civil. Los servicios convergentes o también llamados servicios *Triple Play*, no es más que la convergencia de los principales servicios comunicacionales de la actualidad, como son la telefonía fija, internet y televisión.

Para hacer posible esta hipótesis, esta investigación describe las diferentes tecnologías que intervienen en los servicios llamados *Triple Play*, donde convergen a través de un mismo medio los servicios de voz, datos y televisión. En el Ecuador, actualmente se brindan estos servicios pero utilizando diferentes medios de comunicación, lo que más bien es conocido como un combo comercial que como un servicio *Triple Play*.

Finalmente, el presente estudio especifica cómo realizar el diseño, cálculo y presentación de una red de acceso de fibra óptica FTTH (Fiber To The Home) utilizando el estándar GPON (Gigabit-Capable Passive Optical Network) para uso de clientes masivos y corporativos. Este documento es una guía importante y práctica para quienes deseen diseñar o implementar redes de acceso de fibra óptica hasta el usuario final; también es una herramienta útil para quienes desean conocer de una manera clara y concisa el funcionamiento de las redes FTTH-GPON.

## ÍNDICE GENERAL

|  |      |
|--|------|
| CERTIFICACIÓN .....                                  | II   |
| DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD .....                 | III  |
| AUTORIZACIÓN .....                                   | IV   |
| AGRADECIMIENTO .....                                 | V    |
| DEDICATORIA .....                                    | VI   |
| RESUMEN.....   | VII  |
| ÍNDICE GENERAL.....                                  | VIII |
| ÍNDICE DE FIGURAS. ....                              | XII  |
| ÍNDICE DE TABLAS.....                                | 13   |
| CAPÍTULO I .....                                     | 14   |
| INTRODUCCIÓN .....                                   | 14   |
| 1.1 ANTECEDENTES. ....                               | 15   |
| 1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA. ....                 | 16   |
| 1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....                     | 16   |
| 1.4 HIPÓTESIS. ....                                  | 16   |
| 1.5 OBJETIVO GENERAL.....                            | 17   |
| 1.6 OBJETIVOS ESPECIFICOS. ....                      | 17   |
| 1.7 TAREAS.....                                      | 18   |
| 1.8 METODOLOGÍA.....                                 | 18   |
| CAPÍTULO II .....                                    | 20   |
| CONVERGENCIA DE SERVICIOS Y <i>TRIPLE PLAY</i> ..... | 20   |
| 2.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.-.....                      | 21   |
| 2.2 FUNDAMENTOS TÉCNICOS Y ESTRUCTURA.- .....        | 23   |
| 2.3 REDES DE ACCESO. ....                            | 25   |
| 2.3.1 PAR DE COBRE (xDSL). ....                      | 25   |
| 2.3.2 FIBRA ÓPTICA (FTTH - GPON). ....               | 26   |
| 2.3.3 <i>CABLE MODEM</i> . ....                      | 27   |
| 2.3.4 <i>PACKETCABLE</i> . ....                      | 28   |
| 2.3.5 HYBRID FIBRE COAXIAL (HFC). ....               | 28   |
| 2.3.6 <i>POWER LINE COMUNICATION</i> (PLC).....      | 29   |
| 2.3.7 GRUPO DE TECNOLOGÍAS 3G.....                   | 30   |
| 2.3.8 GRUPO DE TECNOLOGÍAS 4G.....                   | 32   |
| 2.3.9 Wi-Fi y WiMAX.....                             | 33   |

|   |    |
|---|----|
| 2.4 TECNOLOGÍAS ESPECÍFICAS.....                        | 34 |
| 2.4.1 TV DIGITAL.....                                   | 34 |
| 2.4.2 IPTV.....   | 36 |
| 2.4.3 VoIP.....   | 37 |
| 2.5 VENTAJAS DE <i>TRIPLE PLAY</i> .....                | 38 |
| 2.6 DESVENTAJAS DE <i>TRIPLE PLAY</i> .....             | 39 |
| CAPÍTULO III.....                                       | 41 |
| TELEVISIÓN DIGITAL.....                                 | 41 |
| 3.1 PRINCIPIOS FUNDAMENTALES.....                       | 42 |
| 3.1.1 DIGITALIZACIÓN.....                               | 43 |
| 3.1.2 CODIFICACIÓN.....                                 | 44 |
| 3.1.3 COMPRESIÓN.....                                   | 46 |
| 3.1.4 MODULACIÓN.....                                   | 47 |
| 3.2 ESTÁNDARES.....                                     | 49 |
| 3.2.1 ATSC.....   | 50 |
| 3.2.2 DVB.....  | 52 |
| 3.2.3 ISDB.....   | 54 |
| 3.3 IPTV.....   | 55 |
| 3.3.1 FUNCIONAMIENTO.....                               | 56 |
| 3.3.1.1 PROCESAMIENTO DE VIDEO.....                     | 56 |
| 3.3.1.2 EMPAQUETAMIENTO IP.....                         | 57 |
| 3.3.1.3 TRANSPORTE Y MANEJO DEL VIDEO.....              | 58 |
| 3.3.2 ARQUITECTURA IPTV.....                            | 60 |
| 3.3.2.1 NÚCLEO DE CONTENIDO.....                        | 61 |
| 3.3.2.2 RED DE TRANSPORTE.....                          | 64 |
| 3.3.2.3 RED DE ACCESO.....                              | 65 |
| CAPÍTULO IV.....  | 67 |
| REDES DE ACCESO DE FIBRA ÓPTICA FTTH – GPON.....        | 67 |
| 4.1 DEFINICIÓN FTTx.....                                | 69 |
| 4.2 TOPOLOGÍAS FTTx.....                                | 70 |
| 4.2.1 FTTN ( <i>Fiber To The Node</i> ).....            | 71 |
| 4.2.2 FTTLA ( <i>Fiber To The Last Amplifier</i> )..... | 72 |
| 4.2.3 FTTC ( <i>Fiber To The Curb</i> ).....            | 73 |
| 4.2.4 FTTP ( <i>Fiber To The Premises</i> ).....        | 73 |

|  |    |
|--|----|
| 4.2.5 FTTH ( <i>Fiber To The Home</i> ).....                       | 74 |
| 4.2.6 FTTB ( <i>Fiber To The Building</i> ).....                   | 74 |
| 4.3 REDES PON.....   | 75 |
| 4.4 ELEMENTOS DE UNA RED PON.....                                  | 75 |
| 4.4.1 OAN ( <i>Optical Access Network</i> ).....                   | 76 |
| 4.4.2 ODN ( <i>Optical Distribution Network</i> ).....             | 76 |
| 4.4.3 OLT ( <i>Optical Line Terminal</i> ).....                    | 77 |
| 4.4.4 ONT ( <i>Optical Network Termination</i> ).....              | 77 |
| 4.4.5 ONU ( <i>Optical Network Unit</i> ).....                     | 77 |
| 4.4.6 MDU ( <i>Multi-Dwelling Unit</i> ).....                      | 78 |
| 4.4.7 <i>SPLITTERS</i> (Divisores Ópticos Pasivos).....            | 78 |
| 4.4.8 ODF ( <i>Optical Distribution Frame</i> ).....               | 78 |
| 4.5 ESTÁNDARES PON.....  | 79 |
| 4.5.1 APON ( <i>ATM Passive Optical Network</i> ).....             | 79 |
| 4.5.2 BPON ( <i>Broadband PON</i> ).....                           | 79 |
| 4.5.3 GPON ( <i>Gigabit-Capable PON</i> ).....                     | 79 |
| 4.5.4 EPON ( <i>Ethernet PON</i> ).....                            | 80 |
| 4.5.5 GEPON ( <i>Gigabit Ethernet PON</i> ).....                   | 80 |
| 4.6 ESTANDAR GPON ( <i>Gigabit-Capable PON</i> ).....              | 81 |
| 4.7 RED GPON.....  | 82 |
| 4.8 TECNOLOGÍAS Y PROTOCOLOS UTILIZADOS POR LAS REDES<br>GPON..... | 84 |
| 4.8.1 DBA ( <i>Dynamic Bandwidth Allocation</i> ).....             | 84 |
| 4.8.2 ATM ( <i>Asynchronous Transfer Mode</i> ).....               | 85 |
| 4.8.3 GEM ( <i>GPON Encapsulation Method</i> ).....                | 85 |
| CAPÍTULO V.....  | 86 |
| DISEÑO DE LA RED DE ACCESO DE FIBRA ÓPTICA GPON.....               | 86 |
| 5.1 DESCRIPCIÓN DE LA RED GPON.....                                | 87 |
| 5.2 MODELO DE LA INFRAESTRUCTURA GPON.....                         | 88 |
| 5.3 CÁLCULOS DE ENLACE GPON.....                                   | 90 |
| 5.4 CRITERIOS DE DISEÑO.....                                       | 95 |
| 5.4.1 LARGO DE LA FIBRA ÓPTICA.....                                | 95 |
| 5.4.2 <i>SPLITTERS</i> .....                                       | 95 |
| 5.4.3 PROTECCIÓN Y SEGURIDAD.....                                  | 96 |

|   |     |
|---|-----|
| 5.5 ANÁLISIS INVERSIÓN-RENTABILIDAD. .... | 97  |
| 5.6 PRESENTACIÓN DEL DISEÑO. ....         | 99  |
| 5.6.1 DISEÑO MASIVO-MULTIACCESOS. ....    | 99  |
| 5.6.2 DISEÑO MASIVO-EDIFICIOS. ....       | 100 |
| 5.6.3 DISEÑO CORPORATIVO-EDIFICIOS. ....  | 101 |
| CONCLUSIONES. ....                        | 102 |
| RECOMENDACIONES ....                      | 103 |
| BIBLIOGRAFÍA.....                         | 104 |
| GLOSARIO.....                             | 107 |
| TERMINOLOGÍA.....                         | 112 |

## ÍNDICE DE FIGURAS.

|  |          |
|--|----------|
| 3.1 Modelo OSI para IPTV.              | Pag. 59  |
| 3.2 Arquitectura IPTV.                 | Pag. 60  |
| 4.1 Arquitectura FTTx.                 | Pag. 69  |
| 4.2 Topología FTTx.                    | Pag. 71  |
| 4.3 Elementos de una red GPON.         | Pag. 76  |
| 4.4 Red de Acceso GPON.                | Pag. 83  |
| 5.1 Modelo de la Infraestructura GPON. | Pag. 88  |
| 5.3 Anillos <i>Feeder</i> .            | Pag. 94  |
| 5.5 Redundancia Óptica.                | Pag. 96  |
| 5.6 CAPEX.                             | Pag. 97  |
| 5.7 Ubicación <i>Splitter</i> .        | Pag. 98  |
| 5.8 Diseño Masivo Multiacceso.         | Pag. 100 |
| 5.10 Diseño Masivo Edificios.          | Pag. 100 |
| 5.12 Diseño Corporativo Edificios.     | Pag. 101 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |          |
|---|----------|
| 2.1 Velocidades de Datos de las Tecnologías 3G. | Pag. 30  |
| 2.2 Características de las Tecnologías 4G.      | Pag. 33  |
| 2.3 Velocidades requeridas para IPTV.           | Pag. 36  |
| 5.2 Atenuación <i>splitters</i> .               | Pag. 92  |
| 5.4 Planilla de Cálculo GPON.                   | Pag. 94  |
| 5.9 Cálculo del Diseño Masivo Multiacceso.      | Pag. 100 |
| 5.11 Cálculo del Diseño Masivo Edificios.       | Pag. 100 |
| 5.13 Cálculo del Diseño Corporativo Edificios.  | Pag. 101 |

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

En la actualidad la tecnología avanza a pasos agigantados afectando en el más mínimo detalle a la sociedad en que vivimos, debido a esto las Telecomunicaciones también han ido desarrollándose a la par de los avances tecnológicos. Hoy en día es tan fácil comunicarse desde cualquier punto del planeta, así como enviar y recibir información (correos, fotos, videos, etc.) en cuestión de segundos, esto ha sido posible ya que la comunicación ha evolucionado, ha pasado a ser de una simple conversación vía telefónica a una conferencia en la que se incluye audio y video, todo esto gracias a los constantes avances en las redes de comunicación.

La necesidad insaciable por obtener la mayor cantidad de información en el menor tiempo posible, ha provocado que las personas requieran una mejor calidad en la transmisión de datos y obtener la mayor cantidad de servicios a través de un mismo medio o un solo proveedor. Es así como nace el servicio *Triple Play* que no es más que la convergencia o unificación de los servicios de Televisión, Voz y Datos (Internet).

Brindar el servicio *Triple Play* no es algo sencillo, depende del medio de transmisión que se va utilizar, las redes actuales de cobre no soportarían una tecnología como esta, ya que tienen un pobre ancho de banda y cubren distancias relativamente pequeñas. Se ha demostrado que la forma óptima de ofrecer servicios de banda ancha es a través de fibra óptica, la cual garantiza una transmisión de datos más veloz, segura y de excelente calidad.

Por tal motivo, las redes de acceso que se utilizan hoy en día son redes de fibra óptica de última generación que utilizan un estándar llamado GPON (*Gigabit-Capable Passive Optical Network*), tecnología que permite llegar con fibra óptica hasta el usuario final para la comercialización de servicios de banda ancha como el *Triple Play* (Telefonía, Internet y Televisión).

## 1.1 ANTECEDENTES.

La arquitectura GPON consiste en una red óptica pasiva (PON) que permite a varios clientes compartir la misma conexión, sin ningún tipo de componentes activos, lo que se utiliza en este caso son los llamados *splitters*, que no es más que un divisor pasivo que permite conectar hasta 32 o 64 clientes. A través de los *splitters* se puede llevar la fibra óptica de alimentación desde un terminal de línea óptica OLT (*Optical Line Terminal*) ubicado en una central de servicio hasta el usuario final u ONT (*Optical Network Terminal*), a toda esta red de fibra se la llama ODN (*Optical Distribution Network*).

En una red GPON, se asigna una longitud de onda para el tráfico de datos *downstream* (1.490 nm) y otra para el tráfico *upstream* (1.310 nm). Además, a través del uso de WDM (*Wavelength Division Multiplexing*), se asigna una tercera longitud de onda (1.550 nm) que está dedicada para el *broadcast* de vídeo en radio frecuencia (*broadcast* analógico, digital, alta definición y vídeo bajo demanda), de este modo, el vídeo o señal de televisión puede ser ofrecido mediante dos métodos distintos simultáneamente: RF (radio frecuencia) e IPTV (*Internet Protocol Television*).

## **1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.**

El diseño de una red FTTH (*Fiber To The Home*) utilizando el estándar GPON permitirá principalmente entender el funcionamiento de las redes ópticas pasivas, conocer las tecnologías que intervienen y determinar su buen uso para brindar servicios *Triple Play* (telefonía fija, internet y televisión) o *Quadruple Play* (telefonía fija, internet, televisión y telefonía móvil).

Los beneficios que ofrece este diseño son varios, el usuario podrá contar con una mejora significativa en la calidad de servicio que reciba y disminuir los costos de consumo al utilizar una sola red de acceso, un solo proveedor o un compilado de servicios; los proveedores de servicios de telecomunicaciones podrán optimizar recursos al llegar con fibra óptica hasta el usuario final y utilizar un solo medio de transmisión, lo que significa también disminuir los costos de operación y mantenimiento, así como los costos de implementación de red de acceso, ya que la fibra óptica ha reducido sus costos en la actualidad.

## **1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.**

En el Ecuador actual las redes de fibra óptica llegan hasta el Nodo de comunicaciones, aun no se han implementado redes de acceso que permitan llegar con fibra óptica hasta el usuario final y así poder brindar telefonía, internet y televisión a través de un solo medio, independientemente de la infraestructura civil existente.

## **1.4 HIPÓTESIS.**

La presentación de un diseño de una red de acceso FTTH basada en la tecnología GPON permitirá llegar con fibra óptica hasta el usuario final y

así poder brindar un servicio *Triple Play* (Televisión, Voz e Internet) de alta calidad para clientes masivos y corporativos, lo que representa un avance considerable con respecto a las redes de acceso convencionales y la prestación óptima de servicios de banda ancha.

### **1.5 OBJETIVO GENERAL.**

Diseñar una red de acceso de fibra óptica FTTH utilizando el estándar GPON para clientes masivos y corporativos que permita brindar servicios convergentes como *Triple Play* (telefonía, internet y televisión).

### **1.6 OBJETIVOS ESPECIFICOS.**

- Definir los principios y parámetros fundamentales de los servicios *Triple Play*.
- Especificar los fundamentos técnicos y teóricos de la Televisión Digital.
- Describir los fundamentos técnicos y teóricos de las tecnologías FTTH.
- Justificar el desempeño de la solución FTTH-GPON en las redes de acceso de fibra óptica.
- Evidenciar que se puede ofrecer servicio *Triple Play* utilizando FTTH-GPON.
- Presentar un diseño que sirva como manual de usuario para quienes deseen una ilustración práctica en el diseño de redes FTTH-GPON.

## 1.7 TAREAS.

- Estudiar los principios fundamentales de los servicios convergentes como *Triple Play*.
- Investigar las diferentes tecnologías existentes que permiten brindar servicios de Televisión Digital.
- Estudiar el funcionamiento de las redes de fibra óptica FTTH.
- Describir el funcionamiento de las redes ópticas pasivas GPON.
- Calcular los parámetros básicos de una red de acceso FTTH-GPON.
- Diseñar una red de acceso de fibra óptica FTTH utilizando la tecnología GPON para clientes masivos y corporativos.

## 1.8 METODOLOGÍA.

### **Método de Análisis Histórico y Lógico:**

- **Método Histórico.-** Está vinculado al conocimiento de las distintas etapas de los objetos en su sucesión cronológica; para conocer la evolución y desarrollo del objeto o fenómeno de investigación se hace necesario revelar su historia.
- **Método Lógico.-** Investiga las leyes generales y esenciales del funcionamiento y desarrollo de los fenómenos.

**Método Hipotético - Deductivo.-** En las diferentes ciencias que han alcanzado determinado desarrollo teórico metodológico, la hipótesis cumplen una función importante en el desarrollo del conocimiento, al convertirse en punto de partida de nuevas deducciones que después se pueden comprobar experimentalmente.

**Método de Investigación Científico - Experimental.-** El método científico - experimental es el conjunto ordenado de procedimientos lógicos que sigue la investigación científica para obtener la extensión de nuestros conocimientos y demostración de la verdad.

**Análisis y Síntesis.-** Consiste en recabar información de fabricantes, tecnologías y demás recursos de investigación, para proceder a analizarlos y sintetizar todo el contenido existente en la presente tesis con la finalidad de contribuir y aportar nuevos conocimientos.

## **CAPÍTULO II**

### **CONVERGENCIA DE SERVICIOS Y *TRIPLE PLAY***

#### **INTRODUCCIÓN**

Los múltiples y constantes avances tecnológicos en los que se han visto envueltos los sistemas de telecomunicaciones actuales han permitido al ser humano estar a la vanguardia de la comunicación; estar en permanente contacto con el mundo y bien informado, es un elemento clave para el desarrollo económico y social de los pueblos, porque contribuyen a elevar la eficiencia de producción y comercialización de un país.

La industria tecnológica de las telecomunicaciones y sus servicios progresan rápidamente, de tal forma que hace tan solo un par de décadas solo existía servicios de voz, mientras que ahora el usuario puede tener acceso a procesos de comunicación tales como: mensajes de voz, mensajes de texto, transferencias de datos, video sobre demanda, voz sobre IP, video conferencia y muchos más servicios que tienden a unificarse sobre un mismo medio para mejorar la calidad de servicio y versatilidad de las comunicaciones.

En la sociedad en que vivimos se precisa de información al instante sobre cualquier contenido, venga de donde venga y estar fuera de su alcance deriva como resultado un atraso tecnológico tanto al ser humano como a la comunidad en la que se desenvuelve. Existen aún muchas ciudades o países que no poseen acceso a servicios multimedia, debido a la falta de infraestructura tecnológica de los sistemas de telecomunicaciones de dichos países (en su mayoría países subdesarrollados) donde tener una computadora con conexión a Internet todavía es un sueño.

En la actualidad la tecnología está al alcance del usuario, los medios de acceso al mundo de las telecomunicaciones, ya sea por cable, fibra óptica o sistema inalámbrico, se encuentran disponibles para brindar conectividad y suplir con esa necesidad de comunicarse o mantenerse informado.

Esta revolución tecnológica en las telecomunicaciones ha provocado hoy en día que los servicios básicos de comunicación (telefonía, televisión e internet) se unifiquen y puedan ser brindados al usuario a través de un medio único de forma simultánea, esta convergencia de servicios a través de un solo medio es llamada *Triple Play* y permite al usuario unificar recursos comunicacionales utilizando una única infraestructura de acceso, independientemente de la tecnología o proveedor. El servicio *Triple Play* es el futuro cercano para el desarrollo integral de los servicios de telecomunicaciones para usuarios masivos y corporativos.

## **2.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.-**

Existe en la actualidad un desarrollo tecnológico enfocado a la real integración de las comunicaciones, se lo llama *Triple Play*, y consiste en la convergencia de los servicios de televisión, telefonía fija y transmisión de datos o Internet, a través de una misma red basada en protocolos de comunicación IP (*Internet Protocol*) y otros auxiliares, utilizando el mismo medio para poder satisfacer las tres necesidades diferentes en el momento y en el lugar que desee el usuario y con las mejores condiciones. (Ezequiel Chan, 2010).

En Telecomunicaciones, el concepto *Triple Play*, se define como la convergencia de servicios de voz (telefonía fija), banda ancha (comunicación de datos o Internet) y televisión CATV (*Community Antenna Television*). Es decir, es la comercialización de los servicios

telefónicos de voz junto al acceso de banda ancha, añadiendo además los servicios de canales de Televisión y pago por evento (PPV o *Pay Per View*) a través de una misma red basada en protocolos de comunicación IP y otros auxiliares, utilizando la misma infraestructura de red. (Hintze, 2012).

La digitalización de la información generada por las aplicaciones *Triple Play* se codifica y se comprime para que pueda ser fácilmente identificada por los equipos de transmisión y recepción. El acceso de banda ancha a Internet requiere de la capacidad de procesamiento de datos digital, lo que significa que la información analógica se convierte en digital (codificación) y, en algunos casos, se comprime para ocupar menos ancho de banda. Así, la voz, los datos y el vídeo pueden viajar por las redes en forma de bits y tener un tratamiento similar, independiente de cuál sea la fuente de información, con transporte y enrutamiento realizado por los mismos equipos. Al final, será el equipo de usuario, en recepción, el que decodifique y vuelva la señal a su formato original. (Ezequiel Chan, 2010).

El servicio *Triple Play* es el presente y futuro cercano para el desarrollo integral de las Telecomunicaciones, las empresas proveedoras de servicios relacionadas a cualquier tipo de envío de información o transmisión de datos (empresas de telecomunicaciones, televisión por cable, televisión satelital, eléctricas, etc.) han buscado la manera de unificar los diferentes servicios que brindan de tal forma que el servicio telefónico, televisión interactiva y acceso a Internet se presentan como todo en un mismo servicio. La diferencia que distingue a esta nueva categorización de tecnología consiste en que todos los servicios se sirven por un único soporte físico, ya sea cable coaxial, fibra óptica, cable de par trenzado, red eléctrica o bien medios inalámbricos.

Además el *Triple Play* posibilita un servicio más personalizado al usuario debido a que el cliente dispone de los servicios y contenidos que él desea utilizar en el momento idóneo, se mejora la calidad de los servicios llegando hasta los hogares con la nueva tecnología digital y brindar nuevas posibilidades en telefonía, así como un abaratamiento en el acceso a Internet. (Hintze, 2012).

## 2.2 FUNDAMENTOS TÉCNICOS Y ESTRUCTURA.-

Este salto tecnológico que permite compartir eficazmente y sin perturbación los datos de Internet, la voz y el vídeo puede ser suministrado por proveedores de cable o empresas de telefonía. Los proveedores de telefonía entregan el servicio utilizando una combinación de fibra óptica FTTH (*Fiber To The Home*) y xDSL (*Digital Subscriber Line*), valiéndose del primero cuando necesitan recorrer grandes distancias y del segundo en el último tramo de la conexión también conocido como última milla.

Por otro lado los proveedores de televisión utilizan un híbrido entre fibra óptica y cable coaxial (HFC), en el caso que se brinde acceso a estos servicios de forma inalámbrica se habla de *Quadruple Play*. Tanto el servicio telefónico como la televisión por cable son servicios dedicados de alta disponibilidad y fueron pensados para usar una infraestructura con fin específico. En el caso de una estructura compartida, se pueden describir los principales componentes en común que comparten para brindar estos servicios, estos son: Equipos de cabecera, Red principal, Red de acceso y Equipo cliente. (Ezequiel Chan, 2010).

- **Equipos de cabecera.-** Es el origen de todos los contenidos de video tanto el que proviene de emisoras como el que es requerido bajo demanda. Decodificadores especiales convierten el *stream* en

una señal MPEG (*Moving Pictures Expert Group*), luego que son codificados se les asigna un identificador de canal y son pasados a los enrutadores de multidifusión para su posterior distribución.

- **Red principal.**- Compuesto por centrales de conmutación y líneas de transmisión. Estas redes poseen gran ancho de banda y permiten la entrega de los datos a las redes de distribución.
  
- **Red de acceso.**- También llamada última milla, no es más que la red entre la oficina central en la región del usuario y el abonado, este enlace puede ser de cobre, par trenzado o fibra.
  
- **Equipo cliente.**- Entre los cuales se destacan:
  - STB (*Set Top Boxes*).- Es un aparato que se coloca encima del televisor y cumple la función de decodificar la señal y entregarla a la tv.
  - *Middleware*.- Es el *software* que reside dentro del STB y permite manejar varios aspectos relacionados a la televisión interactiva como gestión de clientes (anulación o activación de un abonado) y paquetes de servicios (personalizar canales o alquilar películas).
  - Teléfonos IP.- Son teléfonos que poseen un interfaz Ethernet para conectarse a un *router* y tienen tanto el *software* como el *hardware* para manejar VoIP (*Voice over IP*). (Ezequiel Chan, 2010).

## **2.3 REDES DE ACCESO.**

El servicio de *Triple Play* puede implementarse sobre variadas tecnologías de acceso, los soportes físicos aptos para los servicios convergentes son básicamente: Par de Cobre (xDSL), Fibra Óptica (FTTH – GPON), Cable Coaxial (*Cable Modem – Packet Cable - HFC*), Comunicación sobre Líneas de Potencia (PLC), Wi-Fi (*Wireless Fidelity*), WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), 3G (Tercera Generación), 4G (Cuarta Generación), LMDS (*Local Multipoint Distribution Service*).

### **2.3.1 PAR DE COBRE (xDSL).**

El par de cobre es un medio físico comúnmente usado en diferentes países del mundo para brindar tradicionalmente telefonía fija, sin embargo, su capacidad de transporte de información no es suficiente para las etapas más avanzadas en que se necesitan decenas de Mbps. De cualquier manera es muy importante en el momento de implementar tecnología xDSL de un considerable ancho de banda, incluyendo la posibilidad de prestar servicio de IPTV (*Internet Protocol Television*), muy aparte del servicio de telefonía y datos que se brinda por el par de cobre.

Existen varios estándares dentro de la transmisión asimétrica de datos sobre el bucle de abonado, producto de la evolución tecnológica desde 1998 en que se publicó la primera norma de ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*), 1,5 Mbps./512 Kbps. hasta 3 a 5 km, en general las velocidades indicadas son estimativas ya que dependen mucho de la calidad de la planta externa, de la cantidad de servicios conectados sobre el mismo cable troncal de pares de cobre, etc.

Con los nuevos estándares se llega a velocidades teóricas de hasta 12/2 Mbps. en ADSL2 y 24/3,5 Mbps. en ADSL2+ en distancias de hasta 1 km

cada uno de estos flujos puede llegar hasta las velocidades teóricas de 24/3,5 Mbps. Complementando esta línea tecnológica se encuentra el VDSL2 que permite velocidades teóricas muy altas de hasta 100/100 Mbps. en distancias de menos de 500 m. Para distancias mayores a 2 km. su rendimiento comienza a ser similar al ADSL2+. Esta tecnología permite a los operadores de telecomunicaciones competir con los operadores cable ya que en ambos casos es necesario llegar con fibra óptica hasta cerca del cliente. (de León, 2009).

### **2.3.2 FIBRA ÓPTICA (FTTH - GPON).**

La Fibra Óptica es el mejor de los medios físicos para redes de acceso, incluso ha bajado mucho su precio en la última década por lo que ya existen despliegues de fibra óptica incluso hasta el domicilio del usuario (FTTH), lo que antes era exclusivo de las empresas hoy se expande al sector residencial para entretenimiento y trabajo. Este medio de acceso fijo es la nueva tendencia de los operadores debido a la confiabilidad, estabilidad, mayor ancho de banda y demás beneficios que brinda la fibra óptica sobre los tipos de acceso tanto alámbricos como inalámbricos.

La tecnología llamada PON (*Passive Optical Network*) es la más usada y de menor costo e implica la distribución de las señales sin usar elementos activos en la red hasta el cliente. Usan divisores ópticos, divisores por longitud de onda, etc. Cuando la fibra llega hasta el edificio en general termina con fibra hasta el terminal del cliente a través de un divisor final. En otros casos se usa el acceso final por par de cobre y VDSL2 o cable coaxial y enlaces DOCSIS (*Data Over Cable Service Interface Specification*) en las redes de los operadores de TV.

La transmisión en sentido descendente es mediante división por longitud de onda y difusión con codificación sobre cada longitud de onda para

obtener la recepción individual. En el sentido ascendente la multiplexación es por división en el tiempo (TDMA), en que cada equipo terminal transmite en el *slot* de tiempo que le indica el equipo central. (de León, 2009).

### **2.3.3 CABLE MODEM.**

El acceso a servicios de televisión por cable CATV o vía cable modem fue implantado en base a tecnologías propietarias. *CableLabs* es un consorcio formado por empresas prestadoras de televisión por cable, que luego crearon otro consorcio llamado *PacketCable* el cual define los estándares actuales de internet por cable como DOCSIS y protocolos y tecnologías asociadas para acercar servicios integrados a los clientes en base a una red HFC. El cable coaxial se encuentra en su mayoría en los accesos para proveer servicios de televisión por cable, pero también es capaz de soportar *Triple Play*.

Los estándares DOCSIS fueron aprobados en 1997, antes que los estándares ADSL, y se comenzaron a usar antes de 1998, cuando fueron oficialmente aprobados por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) en su versión DOCSIS 1.0. La versión DOCSIS 1.1 ya permitió la VoIP, QoS (Calidad de Servicio) y autenticación. La velocidad de datos que se obtiene depende de los anchos de banda asignados y de la modulación. Los canales de bajada son de 6 MHz en el estándar americano y desde 0,2 MHz a 3,2 MHz en la subida. Típicamente las velocidades de bajada son de 38 Mbps en la bajada por canal de 6 MHz y de 9 Mbps en la subida para el canal de 3,2 MHz. Posteriormente el DOCSIS 2.0 permitió 30 Mbps por canal de 6,4 MHz en la subida.

El protocolo DOCSIS 3.0 (2006) permite multiplexar canales (*Channel Bonding*) pudiendo alcanzar hasta 40 Mbps en cada canal de bajada y hasta 120 Mbps totales en la subida, este estándar soporta IPv6 e IPTV pudiendo de esta forma competir con los operadores de telecomunicaciones en la prestación de servicio de televisión bajo demanda. En el estándar europeo (euro-DOCSIS) las capacidades son mayores por cuanto se usan canales de 8 MHz y el espectro reservado para la subida es desde 5 MHz hasta 65 MHz Se puede llegar a 52 Mbps por canal de 8 MHz con modulación 256 QAM. (de León, 2009).

#### **2.3.4 PACKETCABLE.**

El *PacketCable* es un consorcio liderado por *CableLabs*, que ha desarrollado varias especificaciones y versiones para prestar servicios multimedia sobre la red HFC y los enlaces bajo protocolo DOCSIS. Las versiones *PacketCable* 1.0 y 1.5 estaban orientadas a la prestación de VoIP con excelente Calidad de Servicio. La plataforma más importante es la *PacketCable* 2.0 que tiende a la prestación convergente de servicios de voz, datos y video sobre una plataforma convergente con las de las redes fijas y móviles.

#### **2.3.5 HYBRID FIBRE COAXIAL (HFC).**

HFC es un término que define el uso de una red híbrida que incorpora tanto fibra óptica como cable coaxial para crear una red de banda ancha. Esta tecnología permite el acceso a internet de banda ancha utilizando las redes CATV existentes. Son comunes las ofertas convergentes de televisión, datos y telefonía por precios muy convenientes. Presenta dificultades físicas en el canal de subida debido al escaso ancho de banda reservado para ese uso, y que es compartido por todos los clientes conectados al mismo nodo de cable coaxial. Por ello es necesario llegar con fibra óptica hasta nodos próximos a los clientes.

La particularidad de estas redes es que ya transportan señales analógicas de televisión y progresivamente digitales, usando casi todo el ancho de banda disponible en el descenso. En el ascenso del usuario al operador el sistema tiene previsto un ancho de banda compartido de 5 MHz a 42 MHz en la norma americana de 6 MHz. por canal, pero solo es aprovechable una parte de este ancho de banda debido al ruido que entra en cuanto terminación esté abierta, por efecto de los electrodomésticos y similares. Junto al xDSL son las dos tecnologías más difundidas para la banda ancha alámbrica.

### **2.3.6 POWER LINE COMUNICATION (PLC).**

PLC o BPL (*Broadband over Power Lines*) son redes que utilizan las líneas de potencia o líneas de energía eléctrica para transmitir señales de radio o transportar datos. La tecnología PLC utiliza la red eléctrica convencional convirtiéndola en una línea digital de alta velocidad con propósitos de comunicación como el acceso a Internet. Las comunicaciones PLC han sido utilizadas desde hace más de una década, aunque no existen despliegues comerciales importantes en cuanto al acceso y muchos han fracasado. Hay despliegue en cuanto a redes domésticas que usan la red interna de baja tensión para transmisión de datos. Se entiende que existen dos razones principales para el fracaso de esta tecnología hasta el momento actual.

En primer lugar no existe aún un estándar que regule el mecanismo de acceso a las redes. La IEEE está trabajando sobre la norma P1901 (Banda Ancha sobre Redes de Potencia: control de acceso al medio y especificaciones de capa física) la que aún no pudo aprobarse hasta la última reunión de Kyoto en Diciembre de 2008. Esta norma se refiere tanto a la transmisión interna al recinto (*in house*) como al Acceso (BPL) empleando frecuencias de hasta 100 MHz para distancias de hasta 1,5 km esperando llegar a 100 Mbps.

Por otra parte, las pruebas que se han realizado usando protocolos propietarios en cuanto a BPL han sufrido problemas de diversos tipos, obligando a gran cantidad de empresas a cerrar sus operaciones. No obstante ello, reiteradamente se observan empujes optimistas sobre esta tecnología. Por todo lo anterior, considerando el despliegue de otras tecnologías que se han descrito y el avance de los accesos inalámbricos se entiende que esta tecnología no ha de despegar más que para transmisión en el recinto pero no en los accesos. (de León, 2009).

### 2.3.7 GRUPO DE TECNOLOGÍAS 3G.

En esta categoría se incluyen varias tecnologías definidas en la iniciativa y estandarización IMT-2000 de la UIT, las que se sub-agrupan a su vez en dos grandes corrientes, las del Grupo 3GPP: (*3rd Generation Partnership Project*) creado en 1998 para coordinar las tecnologías GSM (*Global System for Mobile communications*), EDGE (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*), UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), etc. y las del Grupo 3GPP2: CDMA2000, EV-DO, etc. sucesores directos del CDMA (*Code Division Multiple Access*) de segunda generación. Observe en la tabla 1.1 un cuadro resumen de las diferentes tecnologías 3G con sus respectivas velocidades de subida y bajada.

| TECNOLOGÍA            | BAJADA     | SUBIDA    |
|-----------------------|------------|-----------|
| EDGE                  | 474 Kbps   | 474 Kbps  |
| Enhanced EDGE         | 1.9 Mbps   | 947 Kbps  |
| UMTS                  | 2.048 Mbps | 768 Kbps  |
| CDMA 2000             | 307 Kbps   | 307 Kbps  |
| CDMA 2000 EV-DO Rev.0 | 2.4 Mbps   | 153 Kbps  |
| CDMA 2000 EV-DO Rev.A | 3.1 Mbps   | 1.8 Mbps  |
| CDMA 2000 EV-DO Rev.B | 14.7 Mbps  | 4.9 Mbps  |
| HSDPA                 | 14.4 Mbps  | 384 Kbps  |
| HSDPA/HSUPA           | 14.4 Mbps  | 5.76 Mbps |
| HSPA+                 | 42 Mbps    | 11.5 Mbps |

Tabla 2.1: Velocidades de Datos de las Tecnologías 3G.

Fuente: (de León, 2009).

GSM a fines de 2008 alcanzó 3.500 millones de suscriptores sobre un total de 4.000 millones, o sea el 89%, marcando un liderazgo importante de las tecnologías del 3GPP, dentro de este despliegue existen también 278 redes UMTS/HSPA (*High-Speed Packet Access*) (3.5G) en servicio en 121 países.

La transmisión de datos de banda ancha se inicia con el GPRS (*General Packet Radio Service*) en que se usaban los *slots* de tiempo de la voz para transmitir datos, pasando luego a usar varios *slots* optimizando su uso con la tecnología EDGE. Junto con la *Evolved* EDGE, con la cual se llega a tasas de transferencia mucho mayores, se inicia de esta manera la 3G.

EDGE es la primera tecnología considerada como parte de la 3G por la UIT, aunque también a veces se la denomine 2.5G. En el año 2001 se comienza a desplegar W-CDMA (UMTS versión 99), utilizando canales de 5 MHz, (con GSM la canalización es de 200 KHz), para el acceso de voz y datos. Esta tecnología se empleó en redes superpuestas a las de GSM y su uso dio lugar al crecimiento de un mercado que justifica en este momento el despliegue de HSDPA (*High-Speed Downlink Packet Access*) y HSUPA (*High-Speed Uplink Packet Access*) (HSPA). (de León, 2009).

Recientemente se están desplegando redes HSPA+ (HSPA *Evolved*) definidas en la versión 7 del 3GPP, totalmente IP y que llega a velocidades cercanas a las esperadas de 4G. Continuando la tendencia hacia la 4G el 3GPP está desarrollando otras versiones que usan HSPA+ en más de un canal de 5 MHz. mejorando las prestaciones. En este mismo camino del 3GPP las redes de 4G usarán la tecnología LTE (*Long Term Evolution*) de concepción distinta de las anteriores y que está captando el interés en la migración directa de HSPA a LTE.

Se espera que la evolución sea hacia HSPA+ antes que LTE, varias razones justifican esta evolución: dificultades iniciales para obtener terminales, requerimiento de bandas nuevas de espectro, grandes inversiones para un mercado que todavía debe madurar en las tecnologías ya comercializadas, la HSPA+ puede compartir recursos con las redes WCDMA/HSPA, usa la mismas bandas de frecuencia, tiene menos latencia debido a mejoras en la capa de enlace de datos, tiene la misma arquitectura y la opción para IP Plano, etc. (de León, 2009).

### **2.3.8 GRUPO DE TECNOLOGÍAS 4G.**

La UIT ha establecido lo que se llama *International Mobile Telecommunications–Advanced (IMT-Advanced* ó 4G), analizando varias tecnologías para su inclusión. En dicho proceso, la UIT estableció los requisitos que deben poseer las tecnologías para formar parte de la familia 4G:

- Un alto rango de funcionalidades comunes alrededor del mundo.
- Compatibilidad de servicios dentro del IMT y de las redes fijas.
- Compatibilidad de interoperabilidad con otros sistemas de acceso de radio.
- Servicios móviles de alta calidad.
- Terminales compatibles a nivel mundial.
- Equipos, servicios aplicaciones amigables.
- *Roaming* global.
- Velocidades de pico para servicios y aplicaciones avanzadas establecidas como objetivos de 100 Mbps. para alta velocidad y 1 Gbps. para enlaces fijos.
- Adicionalmente deberán ser sistemas totalmente IP y convergentes con las redes fijas.

Existen tres tecnologías consideradas como parte del grupo 4G que son el estándar 802.16m, LTE y UMB. El estándar 802.16m es la nueva generación del 802.16e, el cual se lo considera como WiMAX. Si bien en el mundo han subsistido hasta ahora las tecnologías 3G gestionadas por los dos grupos 3GPP y 3GPP2, se observa que LTE está liderando las expectativas del mercado, por lo que parece que la UMB no verá finalmente el servicio comercial. Observe en la tabla 2.2 un cuadro resumen de las tecnologías consideradas 4G. (de León, 2009).

| LTE                           | UMB                           | (802.16m)                          |
|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| 3GPP                          | 3GPP2                         | WiMAX Forum                        |
| Sucesor de HSPA               | Sucesor CDMA 2000             | Sucesor 802.16e                    |
| OFDMA                         | OFDMA                         | OFDMA                              |
| 2x2 MIMO                      | 2x2 MIMO                      | 2x2 MIMO                           |
| Ancho de banda: 1.25 a 20 Mhz | Ancho de banda: 1.25 a 20 Mhz | Ancho de banda: 5 a 20 Mhz         |
| 173/58 Mbps con 20 Mhz        | 140/34 Mbps con 20 Mhz        | Hasta 30 Mbps de bajada con 20 Mhz |

Tabla 2.2: Características de las Tecnologías 4G.

Fuente: (de León, 2009).

### 2.3.9 Wi-Fi y WiMAX.

La tecnología Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) surge por la necesidad de disponer de accesos de banda ancha inalámbricos en recintos cerrados, como es el caso de las oficinas y el hogar. Luego se fue extendiendo a lugares públicos como aeropuertos, restaurantes, cafeterías, etc. Actualmente es una de las tecnologías, que en combinación con otras, se ha comenzado a emplear para la banda ancha rural en sitios dispersos. Las versiones existentes más comunes son las siguientes:

- 802.11b. Opera en la banda de 2.4 GHz, lo que le da un alcance de hasta 100 metros en el interior y hasta una velocidad de 11 Mbps.
- 802.11g. Trabaja también en la banda de 2.4 GHz pero permite hasta 54 Mbps.

- 802.11n. Puede operar en ambas bandas de frecuencia (2,4 GHz y 5 GHz) y alcanzar tasas de transmisión de datos de hasta 600 Mbps. De esta manera puede operar hasta 10 veces a más velocidad de datos que sus antecesores y usar la banda de 5 GHz que se encuentra más descongestionada. Surgió de una propuesta del *Enhanced Wireless Consortium* aprobada en 2006 por el grupo de trabajo del 802.11 de la IEEE.

De los estándares anteriores, el que tuvo un mayor despliegue es el 802.11g gracias a su mayor alcance y velocidad de transmisión. Si bien WiMAX y WiFi podrían llegar a ser, en algunos casos, tecnologías que compitan entre sí, en muchos otros casos se las ve como tecnologías complementarias. La configuración sería utilizando WiMAX como *backhaul* y WiFi como tecnología de distribución en distancias cortas.

Solo WiMax 802.16m, así como LTE *Advanced* son consideradas como tecnologías 4G, que usan OFDMA (Acceso con división por frecuencias ortogonales) y MIMO (múltiples antenas), que en conjunto proveen enlaces más robustos que WiFi y que la 3G, permitiendo mayores velocidades, más estabilidad en movimiento y acceso en zonas difíciles con muchas reflexiones. Por lo tanto WiFi y WiMax, son tecnologías no comparables. (de León, 2009).

## **2.4 TECNOLOGÍAS ESPECÍFICAS.**

### **2.4.1 TV DIGITAL.**

Existen tres estándares principales de Televisión Digital impulsados por Europa (DVB: *Digital Video Broadcasting*), EEUU (ATSC: *Advanced Television System Committee*) y Japón (ISDB: *Integrated Services Digital Broadcasting*) a través de los cuales se codifica digitalmente el vídeo

antes de su emisión al aire. Cada uno de estos estándares son en realidad un conjunto de normas que abarcan diversos aspectos de la modulación, transmisión, recepción e interacción con el equipo terminal.

Para cada uno de estos estándares existen varias versiones para la televisión abierta terrestre (TDT), la televisión móvil, la televisión por cable y por satélite, por ejemplo, para el DVB se tienen el DVB-T (terrestre), DVB-H (*handheld*), DVB-C (cable) y DVB-S (satelital) respectivamente. En la Región, Colombia y Uruguay adoptaron el DVB, Brasil el ISDB con *middleware* propio (Ginga-J), México el ATSC, Perú adoptó el sistema ISDB brasileño y Ecuador está probando el ISDB. Recientemente el Proyecto DVB emitió el estándar DVB-T2 que representará una mayor eficiencia en el uso del espectro. La UIT ha definido la HDTV (televisión en alta definición) en la ITU-R BT.709 bajo las siguientes características:

- HDTV23 (Alta definición total o "Full HD"): 1080 x 1920.
- HDTV (Alta definición): 720 x 1280.
- EDTV (*Enhanced Definition Television*) apareció con la finalidad de solventar las carencias del SD (*standard definition*) y tiene la misma cantidad de líneas que el PAL (*Phase Alternating Line*) o el NTSC (*National Television System Committee*) pero de aspecto 16:9 y con barrido progresivo.
- SD NTSC: 480 x 640.
- SD PAL: 576 x 768.

La identificación de las diferentes definiciones de imagen sigue un estándar en que por ejemplo 1080p25 corresponde a una definición de 1080 líneas (1920 pixeles por línea) en que los cuadros se presentan progresivamente uno tras otro y a 25 cuadros por segundo, es decir se reproducen a razón de un cuadro (*frame*) por cada 0,04 segundos. De la misma forma 720p25 es de una imagen de 720 líneas (y por tanto 1280 pixeles por línea) a la misma velocidad que el anterior.

El formato 720i50 es similar al 720p25 salvo que como es entrelazado (i por *interlaced*) se reproduce la mitad de las líneas (campo) en cada barrido y la otra mitad en el siguiente. De esta forma se barre totalmente la imagen a  $50/2=25$  Hz. Usualmente se omite la velocidad de barrido en la nomenclatura. (de León, 2009).

#### 2.4.2 IPTV.

La tecnología IPTV, Televisión sobre el Protocolo de Internet, ha evolucionado mucho en los últimos años tanto para los operadores fijos como para los móviles. Básicamente esta tecnología dispone de servidor de gestión y de dos tipos de servidores de contenidos: para el video *streaming* de contenidos difundidos en directo y para el video bajo demanda o VoD. En cuanto a los anchos de banda, estos son variables según el tipo de contenido, siendo necesarios mayores anchos de banda para deportes o películas de acción con muchos cambios de imagen. Observe en la tabla 2.3 las velocidades correspondientes a los estándares MPEG2 y MPEG4 para IPTV.

| Columna1                | MPEG2   | MPEG4    |
|-------------------------|---------|----------|
| STANDAR DEFINITION (SD) | 4 Mbps  | 1.5 Mbps |
| HIGH DEFINITION (HD)    | 15 Mbps | 8 Mbps   |

Tabla 2.3: Velocidades requeridas para IPTV.

Fuente: (de León, 2009).

Estas velocidades de datos hacen necesario disponer de acceso adecuados por lo que en general se debe recurrir a tecnologías avanzadas como puede ser el ADSL2+ que permite tasas teóricas de transferencia de hasta 20 Mbps en distancias cortas, la combinación de Fibra y VDSL2 o FTTN/VDSL2 como es el caso de AT&T en EEUU o inclusive, directamente FTTH.

Últimamente también los operadores de cable han empezado a prestar servicios de IPTV sobre redes con DOCSIS 3.0. El IPTV permite facilidades adicionales sobre la TV de radiodifusión o *broadcasting*, como por ejemplo personalizar el contenido a demanda, permitiendo a los usuarios seleccionar, por ejemplo, una película determinada y comenzar a verla en ese mismo instante, pudiendo adelantar, retroceder o inclusive hacer pausa en el momento que más lo desee. (de León, 2009).

### **2.4.3 VoIP.**

Voz sobre Protocolo de Internet, proviene del vocablo en inglés *Voice over IP*, de donde se derivan sus siglas VoIP, Voz sobre IP no es más que un grupo de recursos que permiten que la señal analógica de voz se convierta en una señal digital y pueda viajar a través de Internet empleando un protocolo IP, es decir, se envía la señal de voz en forma digital, en paquetes de datos, en lugar de enviarla en forma analógica a través de circuitos utilizables sólo por la Red de Telefónica Pública Conmutada RTPC. Las funciones básicas que debe realizar un sistema de voz sobre IP son: digitalización de la voz, paquetización de la voz y enrutamiento de paquetes, esto permitirá que el tráfico de Voz sobre IP puede circular por cualquier red IP, incluyendo aquellas conectadas a Internet, como por ejemplo las redes de área local (LAN).

Es muy importante saber diferenciar entre Voz sobre IP (VoIP) y Telefonía sobre IP; VoIP es el conjunto de políticas, dispositivos, protocolos, en definitiva es la plataforma tecnológica que permite transmitir voz sobre el protocolo IP; en cambio, Telefonía sobre IP es el servicio telefónico disponible al público. Algunos de los beneficios que ofrece VoIP son: comunicaciones de voz a través de sitios Web de compras, PTT (*Push to talk*) sobre Celular, *Roaming* inter redes por ejemplo entre redes GSM y redes WiFi, etc.

## **2.5 VENTAJAS DE *TRIPLE PLAY*.**

La principal ventaja del servicio *Triple Play* es el costo, tanto el operador como el usuario podrán obtener beneficios en la implementación del este servicio, ya que produce un ahorro en los costos de producción y mantenimiento de redes debido a que el proveedor en lugar de utilizar una red por cada servicio, implementa una sola red abarcando los tres tráficos. En cuanto al usuario, esta simplificación en los costos del proveedor genera una reducción en el monto de la factura final al concentrar todos los servicios en uno solo. Otra de las ventajas importantes es el ahorro en ancho de banda, ya que estas redes al estar basadas en IP, permiten la comprensión de voz y datos. (Ezequiel Chan, 2010).

La convergencia de redes y servicios ofrece ventajas a los países en los cuales es implementado el *Triple Play*, dinamiza el mercado ya que cualquier red es capaz de proporcionar cualquier servicio y promueve el avance de nuevas tecnologías más eficientes, pero también genera cambios en los sistemas de telecomunicación lo que hace que las economías deban adaptar sus estructuras legales a esta innovación.

Para implementar estos servicios se necesitan cambios en las redes actuales, los servicios como voz y video son en tiempo real por lo cual se debe tener mucha consideración a las restricciones estrictas con el tiempo de retraso y ancho de banda. La convergencia de redes de *Triple Play* trae como consecuencia cambios en los modelos de Telecomunicación y Radiodifusión vigentes en las diferentes economías, por lo que hace necesario adaptar las regulaciones existentes o bien crear unas nuevas a fin de permitir su aplicación. El desarrollo de la tecnología involucrada permite realizar esta configuración de red con capacidades para *Triple Play*, el desafío surge en los acuerdos de entre las empresas y resolver los problemas con las legislaciones vigentes.

En los marcos regulatorios de cada país tradicionalmente existe una normativa específica por cada servicio en particular de telefonía, televisión y transmisión de datos, pero para que pueda implementarse el *Triple Play* es necesario su unificación para maximizar la creación de valor y solucionar las fallas del mercado favoreciendo a la libre competencia. (Julio Alba Soto, 2006).

En nuestro país se comienza a vislumbrar el mercado *Triple Play*, pero no como una consolidación de tecnologías sino como asociaciones de empresas o marcas para formar un combo, que no es lo mismo a una solución de *Triple Play* integral. El objetivo técnico a conseguir es que estos servicios y cualquier otro que pudiera surgir en el futuro puedan funcionar sobre una única infraestructura y a su vez todos funcionen dentro de unos parámetros de calidad aceptables. De esta forma sólo es necesario invertir en una única infraestructura para disfrutar de varios servicios distintos que hasta ahora solían tener infraestructuras propias.

## **2.6 DESVENTAJAS DE TRIPLE PLAY.**

No son muchas las desventajas que puede presentar la implementación de Triple Play, pero hay una que se centra básicamente en los problemas técnicos que puedan surgir provocando la caída simultánea de los servicios por estar concentrados los mismos en un solo proveedor. Además que para la integración o convergencia digital se requiere una actualización completa de las redes, para soportar altas velocidades de transferencia de datos.

La utilización de *Triple Play* impone como condición que los servicios ofrecidos tengan la misma o mejor calidad que los servicios tradicionales. Ofrecer QoS no es tarea sencilla debido a que en una infraestructura compartida, se pueden encontrar defectos como insuficiente ancho de

banda, fallo de enlace, fallos inherentes al protocolo como pérdida de paquetes, congestión en la red, *jitter* (variación en cuanto a la cantidad de latencia entre paquetes de datos que se reciben), o partes analógicas que no están controladas por los prestadores. Los problemas citados previamente pueden repercutir de diversas maneras en cada uno de los servicios ofrecidos como se verá en los siguientes puntos:

**En VoIP.-** Tanto *jitter* como la pérdida de paquetes provoca problemas en la señal y por lo tanto menor calidad en la comunicación. El retraso dificulta el flujo normal de la conversación. Si estos retrasos son grandes pueden provocar eco. Las restricciones de ancho de banda limita la tasa de bit y por lo tanto la calidad de voz.

**En IPTV.-** *Jitter* provoca que se descarten y pierdan paquetes y por consiguiente notables degradaciones en la imagen. La pérdida de *frames* puede causar que se pierda la imagen. Al utilizar un ancho de banda reducido se limitara la calidad de la imagen por la baja tasa de bit utilizada. Para minimizar estos comportamientos no deseados se debe:

- Monitorear toda la red por parte de los proveedores de servicios.
- Aquellos que fabrican dispositivos para los consumidores deben permitir seguir la funcionalidad en los sistemas finales.
- El punto de acceso debe proporcionar seguimiento e informes de capacidades de la red.

## **CAPÍTULO III**

### **TELEVISIÓN DIGITAL**

#### **INTRODUCCIÓN**

La Televisión Digital o DTV (Digital TV) se refiere al conjunto de tecnologías de transmisión y recepción de imagen y sonido, a través de señales digitales. En contraste con la televisión tradicional, que codifica los datos de manera analógica, la televisión digital codifica sus señales de forma binaria, habilitando así la posibilidad de crear vías de retorno entre consumidor y productor de contenidos, abriendo la posibilidad de crear aplicaciones interactivas, y la capacidad de transmitir varias señales en un mismo canal asignado, gracias a la diversidad de formatos existentes.

La puesta en práctica del tratamiento digital de la señal de televisión y el desarrollo de estándares de codificación y transmisión permiten el establecimiento de una nueva tecnología con muchas ventajas y potenciales frente a la TV analógica actual. Las ventajas que ofrece un sistema digital de TV como: mayor eficiencia espectral o mayor número de canales en el mismo ancho de banda y la superior robustez en la señal frente a ruido e interferencias de las trayectorias múltiples hacen de este avance tecnológico una herramienta atractiva y comercial.

Todos estos desarrollos se unifican en diferentes proyectos o normas que han estandarizado la transmisión de señales digitales de TV por todos los medios conocidos (satélite, cable, terrestre, telefonía móvil, etc.) y la han preparado para posibles sistemas futuros. En dichos proyectos se adoptaron estándares de comprensión como MPEG-1 y MPEG-2 para la codificación de audio y vídeo, cuyo resultado es la señal fuente a transmitir en TV digital.

### **3.1 PRINCIPIOS FUNDAMENTALES.**

En transmisión digital la información a transmitir está constituida por un flujo de datos, cuya naturaleza, es decir, vídeo, audio o de otro tipo, no está determinada por la forma de onda, sino por la codificación que permite identificar la naturaleza de la información. El tipo de información a transmitir es uniforme, en el sentido de que el transmisor no sabe si se trata de vídeo, audio u otra cosa, pues toda la información se le entrega en la misma forma para su transmisión.

En el caso de transmisión digital no se requieren dos transmisores, o multiplexar en frecuencia las señales (audio + vídeo) para amplificarlas en un esquema común, en transmisión digital no se puede hablar estrictamente de portadoras de vídeo y audio, sino de una portadora única o de un vestigio de ésta, que permita la sintonía adecuada del canal deseado, para la subsecuente detección y decodificación de la información. En la transmisión de señales digitales de televisión, igual que en cualquier otro sistema digital de comunicaciones, el caudal binario recibido debe ser, en la medida posible, igual que el transmitido, por lo que la información debe protegerse al máximo contra las degradaciones que inevitablemente introduce el medio de transmisión. (Pérez Vega, Introducción a los Sistemas Transmisores de TV, 2005).

Los sistemas de comunicaciones por cable y satélite son menos hostiles que los de radiodifusión terrestre, ya que los primeros utilizan un medio de transmisión muy estable, cable o fibra óptica, en que el principal problema es la atenuación, fácilmente predecible y cuyos efectos pueden compensarse con relativa facilidad y en el caso de comunicaciones por satélite el comportamiento del medio de propagación también está sujeto a variaciones bastante predecibles y por consecuencia, sus efectos también pueden compensarse.

Por el contrario, los sistemas de radiodifusión terrestre presentan los problemas más complejos a causa de los diversos mecanismos que intervienen en la propagación y que contribuyen considerablemente a la degradación de la señal. En los sistemas terrestres los efectos de las trayectorias múltiples desempeñan un papel importante en la atenuación y retardo de la señal recibida y los desvanecimientos de la señal causados por la variabilidad del entorno de propagación producen tanto atenuación variable, como dispersión temporal y frecuencial de la señal, que se traduce en destrucción de la información transmitida o en interferencia entre símbolos con el consecuente aumento en la tasa de errores. (Pérez Vega, Introducción a los Sistemas Transmisores de TV, 2005).

En el presente capítulo se pretende dar una idea básica del funcionamiento de los diversos sistemas de transmisión de televisión digital con fines de distribución, es decir, la transmisión cuyo objeto es poner las señales de televisión al alcance del público en general, independientemente del medio de transmisión (Satélite, Cable, IP, Terrestre, Móvil) y considerando los estándares más importantes implantados por diferentes países a nivel mundial.

### **3.1.1 DIGITALIZACIÓN.**

Para conseguir una señal digital a partir de una señal analógica es preciso realizar un proceso de muestreo de la señal, en el cual, siguiendo una cierta frecuencia en el tiempo, se irán recogiendo valores precisos de la señal analógica, con ello, se consigue una serie de datos discretos o discontinuos. Es sabido, por el criterio de *Nyquist*, que la frecuencia de muestreo debe ser mayor o igual que el doble de la frecuencia máxima de la señal continua, cumpliendo esta premisa será posible reconstruir la señal original a partir de la muestreada.

Tras el muestreo, el valor de la señal obtenido en cada muestra (aún en un rango continuo) se codifica digitalmente. La codificación se inicia con una cuantificación, que asigna el valor muestreado a un valor de entre un grupo finito de posibilidades. La elección de la cuantificación depende del tipo de señal y de la calidad deseada, ya que este proceso produce un error en cada muestra que se conoce globalmente como ruido de cuantificación.

Existen dos alternativas en la elección de las señales a digitalizar para representar la señal de TV color: digitalizar la señal de vídeo compuesto (SVC) o digitalizar cada componente. La señal de vídeo compuesto es la señal que es capaz de tratar nuestros televisores de siempre, la composición de la señal en video compuesto se utilizó sobre todo para poder establecer una compatibilidad entre la televisión a color y la televisión en blanco y negro, ya que esta última solo recibía la luminancia y por lo tanto no habría sido capaz de reconocer las componentes por separado de rojo, verde y azul (RGB) que son los colores primarios de la luz. La señal de vídeo compuesto se pudo realizar gracias a que existe una relación entre la luminancia de un punto y su correspondiente cantidad de cada color primario.

### **3.1.2 CODIFICACIÓN.**

Se describe en este capítulo una norma mundial que se ha convertido en estándar para codificación de vídeo y que, como resultado, constituye también la base para la televisión digital. La norma se conoce como Recomendación 601 del CCIR o de la UIT y consta de una familia de normas con diferentes niveles dependiendo de las aplicaciones de la codificación digital propuesta. En esta norma se trata siempre de una digitalización en componentes, contemplando los siguientes aspectos:

**Muestreo.-** Como ya se ha expuesto, es necesario fijar una frecuencia de muestreo para digitalizar las tres componentes analógicas de la señal. La frecuencia de muestreo deberá cumplir dos requisitos fundamentales:

- Criterio de *Nyquist*:  $f_s > 2f_{max}$ . Para que esta frecuencia de muestreo tenga una aplicación universal, se debe buscar la mayor frecuencia máxima de todos los estándares conocidos. Concretamente, hay algunas variantes del SECAM que emplean  $f_{max} = 6$  MHz, luego se deberá escoger  $f_s > 12$  MHz.
- Para favorecer la uniformidad y el funcionamiento de las memorias digitales, el muestreo deberá ser ortogonal, es decir, que todas las líneas contengan el mismo número de muestras. Esto se traduce en que  $f_s = n f_H$ . Esta segunda condición debe cumplirse también para todos los sistemas existentes. Las frecuencias de línea conocidas son dos:  $f_H = 15625$  Hz (sistemas de 625 líneas) y  $f_H = 15734$  Hz (sistemas de 525 líneas). El mínimo común múltiplo de ambas es 2,25 MHz (con un error mínimo). Atendiendo conjuntamente a ambas condiciones, la frecuencia mínima que las cumple es  $f_s = 6 \times 2,25 = 13,5$  MHz.

Cuando se muestrean las tres componentes con  $f_s = 13,5$  MHz se está llevando a cabo el llamado muestreo 4:4:4. Estos dígitos nos permitirán definir todo el conjunto de posibles muestreos de la norma, según el tipo de servicio. El muestreo 4:4:4 no tiene en cuenta que el ojo humano exhibe una sensibilidad menor al color que a la luminancia. La recomendación 601 prevé otros muestreos, como 4:2:2, 4:1:1, 4:2:0, 2:1:1, 8:4:4, etc. que se corresponderán con diferentes niveles de calidad.

**Margen Dinámico.-** El margen dinámico de las tres señales debe ser 1 V, yendo de 0 a 1 V la luminancia, y de -0,5 a 0,5 V las componentes en diferencia de color.

**Niveles de cuantificación.-** La recomendación propone una cuantificación con 8 bits por muestra para las tres componentes. Con ello se obtienen 256 niveles equidistantes para cada señal (de 0 a 255). Por norma se decidió que los niveles 0 y 255 se ocuparan para datos, y el resto para vídeo.

**Tasa binaria y ancho de banda.-** Atendiendo al muestreo y a la cuantificación elegida se puede calcular la tasa binaria que se produce para esta norma de codificación. Si se elige el muestreo 4:2:2 se tiene una tasa binaria de valor  $R_b = 13,5 \text{ MHz} \times 8 \text{ bits} + 6,75 \text{ MHz} \times 8 \text{ bits} + 6,75 \text{ MHz} \times 8 \text{ bits} = 216 \text{ Mbps}$ .

El muestreo escogido en el estándar convencional de TV digital es el 4:2:0, que aprovecha aún más la poca sensibilidad al color del sistema visual humano y por cada línea sólo manda información de una de las dos componentes de color. Con este muestreo el régimen binario es:  $R_b = 13,5 \text{ MHz} \times 8 \text{ bits} + 6,75 \text{ MHz} \times 8 \text{ bits} = 162 \text{ Mbps}$ .

### **3.1.3 COMPRESIÓN.**

El interés en comprimir la información de la señal de vídeo se aprecia no sólo en la reducción de la tasa binaria para su transmisión sino también en posibilitar el tratamiento y almacenamiento de un volumen de información tan grande. Este interés ha motivado el desarrollo de técnicas sofisticadas de compresión que han derivado en varios estándares internacionales. Los estándares más empleados son una familia desarrollada por el organismo llamado *Moving Pictures Expert Group* (MPEG).

La tarea básica de cualquier método MPEG es tomar las señales de audio y vídeo y convertirlas en paquetes de información digital, de forma que puedan ser enviadas a través de redes de comunicaciones con mayor eficiencia de recursos. MPEG comprime las señales de audio y vídeo, desechando gran parte de la información redundante de las mismas, consumiendo menos ancho de banda y manteniendo la calidad de la transmisión desde la generación de la señal hasta su descodificación y representación en el destino. MPEG determina la estructura que debe poseer la información de vídeo digital, audio y datos asociados.

En TV digital se ha adoptado el estándar MPEG-2, que es la continuación del primer estándar emitido MPEG-1. La codificación establecida en el MPEG-1 reducía los estándares a un formato único con muestreo 4:2:0. La aplicación fundamental de dicho estándar es el denominado Vídeo CD (VCD), con una tasa binaria de 1,5 Mbps. Anteriormente ya se había desarrollado un estándar para compresión de imágenes fijas (fotografía electrónica) conocido como JPEG (*Joint Photographies Expert Group*).

MPEG-2 está optimizado para transmisión de TV porque consigue velocidades entre 1,5 y 6 Mbps con baja degradación en la calidad de imagen. Además, soporta diferentes relaciones de aspecto (4:3, 16:9), formatos de vídeo (barrido entrelazado y progresivo), mejoras de la señal, etc. (Perez Vega, *La Señal Digital de Video*, 2005).

### **3.1.4 MODULACIÓN.**

Para que la TV digital represente una mejora respecto a la analógica se debe emplear una modulación robusta frente a las trayectorias múltiples, que permita incorporar nuevos servicios y que aproveche al máximo el espectro. Todo esto se consigue con la modulación COFDM (*Coded*

*Orthogonal Frequency Division Multiplex*), que también se ha implantado en el estándar de radio digital (DAB).

COFDM modulación empleada en Televisión Digital, fundamentalmente es lo mismo que OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*). El principio básico de esta modulación consiste en utilizar un número grande de portadoras equiespaciadas en frecuencia y moduladas cada una de ellas en QAM o QPSK, de modo que la información a transmitir se reparte entre todas ellas. El conjunto de todas las portadoras ocupa el ancho de banda del canal. El espectro de las subportadoras se superpone, con lo que se consigue una alta eficiencia espectral.

Como el régimen binario se reparte entre las portadoras, cada una de ellas transmitirá a una velocidad más lenta de lo habitual. La velocidad de símbolo de cada portadora se hace coincidir con la distancia entre portadoras. Dicha velocidad dependerá de la separación entre portadoras o, para un ancho de banda del canal dado, del número de portadoras. Al aumentar el número de portadoras, cada símbolo tiene mayor duración temporal y esto repercute positivamente ya que no afectará los ecos de las trayectorias múltiples (como se mantiene cada símbolo más tiempo, los ecos traen la misma información, por tanto en lugar de interferir con la señal, la refuerzan). Adicionalmente, se introduce el llamado intervalo de guarda que protege al sistema frente a ecos por las trayectorias múltiples.

Otro aspecto importantísimo que se consigue con COFDM es la compartición de un mismo canal por diferentes emisores operando en el mismo territorio, siempre que estén sincronizados. A esta configuración (que ahorra espectro notablemente) se le denomina red de frecuencia única. (Perez Vega, *La Señal Digital de Video*, 2005).

### 3.2 ESTÁNDARES.

En el presente capítulo se pretende resumir los estándares de transmisión de televisión digital que se han adoptado a nivel mundial:

- ATSC (*Advanced Television Standards Committee*) en los Estados Unidos, Canadá, México y Corea del Sur
- DVB (*Digital Video Broadcasting*), en los países de la Unión Europea, Australia, Nueva Zelanda y varios países de Iberoamérica y Asia.
- ISDB (*Integrated Services Digital Broadcasting*), en Japón.

Aunque los tres estándares comparten algunas cosas como la codificación de fuente, el sistema de transporte y la codificación de canal, no son compatibles entre sí. Los tres sistemas emplean el mismo estándar de codificación de fuente para vídeo (MPEG-2), sin embargo, en el sistema estadounidense, ATSC, la longitud del paquete MPEG es de 187 bytes con 20 bits de redundancia, en tanto que en DVB e ISDB, es de 188 bytes de datos, con 16 bits de redundancia.

Para el audio, ATSC utiliza la codificación *Dolby AC-3*, en tanto que los sistemas DVB y el ISDB utilizan el estándar MPEG para audio. En transmisión, ATSC utiliza modulación de 8 niveles en banda lateral vestigial, designada como 8VSB, en tanto que DVB e ISDB emplean Modulación Ortogonal por División de Frecuencia Codificada (COFDM). La parte del transmisor que más se ve afectada por la implementación de estos estándares es el excitador, es decir la parte del transmisor que incluye al modulador. (Pérez Vega, Introducción a los Sistemas Transmisores de TV, 2005).

### 3.2.1 ATSC.

ATSC cuyas siglas en inglés corresponden a *Advanced Television Systems Committee*, fue el primer sistema de televisión digital y fue adoptado por la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) de los Estados Unidos en noviembre de 1995, a la fecha ha sido adoptado en los Estados Unidos, Canadá, México y Corea del Sur. El estándar describe las características de una amplia variedad de subsistemas requeridos para originar, codificar, transportar, transmitir y recibir audio, vídeo y datos digitales por los sistemas de radiodifusión terrestre de televisión, sobre canales de 6 MHz de ancho de banda y transmitir información digital a una tasa de 19.39 Mbps.

Esta señal digital de entrada al sistema ATSC es un caudal o flujo de transporte en serie con codificación de fuente para vídeo en MPEG2 y para audio en *Dolby AC-3*, que puede incluir datos adicionales, bien sean complementarios al servicio de televisión, o de otra índole. El flujo de datos en serie se compone de paquetes de información de 187 bytes de longitud, más un byte de sincronismo. El flujo binario llega al excitador del transmisor a través de un cable coaxial de 75  $\Omega$  con conector BNC y la señal de reloj está contenida en la propia carga de datos.

La señal de salida del modulador es una señal modulada, con vestigio de banda lateral (VSB), con ocho niveles de amplitud, designada como 8-VSB, por lo general, esta señal se modula a una frecuencia intermedia y posteriormente, mediante un conversor ascendente, se traslada a banda correspondiente al canal de RF. La frecuencia intermedia, nivel de la señal y otras características, dependen de la elección de los fabricantes.

En el modulador del transmisor se realizan dos funciones: primero, la codificación de canal y luego, la modulación propiamente dicha; entre otras cosas, la codificación de canal, que no debe confundirse con la codificación de fuente, tiene por objeto agregar información redundante al flujo de transporte a fin de detectar y corregir errores en el receptor, causados por el canal de transmisión. Sin codificación de canal, el receptor sería incapaz de decodificar y mostrar la señal correctamente, excepto en ubicaciones en que la relación señal a ruido fuera muy alta y con un mínimo de efectos de las trayectorias múltiples en la trayectoria de propagación. (Pérez Vega, Introducción a los Sistemas Transmisores de TV, 2005).

El sistema de modulación de ATSC planteó en su inicio bastantes problemas de recepción en condiciones de propagación en zonas en que los efectos de trayectoria múltiple son considerables, esto dio lugar a que se mejoraran los receptores ecualizando la señal recibida. Los receptores de ATSC han sido mejorados, pero la tecnología puede considerarse cerca del límite, pues se han desarrollado ya cinco generaciones, buscando mejorar la recepción.

Esta debilidad del sistema ATSC respecto al estándar DVB dio lugar a que se produjera una seria controversia sobre su adopción en USA, planteando que se adoptara el sistema DVB, que emplea modulación COFDM, bastante más robusta ante efectos de trayectoria múltiple que la 8VSB, sugerencia que no tuvo acogida. El sistema ATSC fue adoptado por Canadá y por México, ya que sus fronteras con los Estados Unidos son muy extensas y una parte importante de sus poblaciones reciben gran cantidad de emisiones de los Estados Unidos en esas zonas fronterizas. Adoptar otro sistema habría obligado a esos habitantes a tener que disponer de dos decodificadores diferentes.

El único otro país que adoptó el sistema estadounidense fue Corea del Sur. En algunos países se hicieron pruebas exhaustivas antes de tomar una decisión sobre el sistema de televisión digital a adoptar, entre ellos Australia, Nueva Zelanda y Brasil, decidieron finalmente adoptar el sistema DVB o el sistema japonés, similar en algunos aspectos a éste. (Pérez Vega, Transmisión de Televisión Digital, 2005).

Es importante tomar en cuenta que, aunque la estructura de campos y cuadros se asemeja a la de la televisión analógica, no debe asumirse que un campo de datos corresponde a un campo de vídeo. Cada campo de datos puede incluir información de vídeo, audio u otros datos, de modo que por lo general no hay correspondencia entre los campos de datos y los campos de vídeo.

### **3.2.2 DVB.**

DVB cuyas siglas en inglés corresponden a *Digital Video Broadcasting*, fue desarrollado en Europa e incluye varias versiones dependiendo del medio de transmisión: DVB-C (cable) adoptado en 1994, DVB-S (satélite) adoptado en 1995 y DVB-T (terrestre) adoptado en 1997. Recientemente se han desarrollado DVB-S2, para transmisión más eficiente por satélite que su predecesor y DVB-H, para transmisión terrestre, más robusta y con el que se pretende la recepción por equipos portátiles y móviles con reducida capacidad de procesado. También está en desarrollo una versión mejorada de DVB-T (DVB-T2).

El estándar DVB-T ha sido adoptado en más de cuarenta países en el mundo de los que en buena parte se mantienen ya transmisiones regulares de televisión digital, paralelamente con las de televisión analógica. Este estándar ha sido adoptado por todos los países miembros de la Unión Europea, Australia, Nueva Zelanda y algunos países

iberoamericanos. En muchos aspectos, es similar al estándar ATSC adoptado en los Estados Unidos, pero hay diferencias importantes en el ancho de banda, codificación de canal y modulación, que los hacen incompatibles.

En tanto que el sistema ATSC utiliza modulación 8-VSB con portadora única, DVB emplea COFDM por dos razones principales: primera, el sistema COFDM ha demostrado ser más robusto contra los efectos de propagación multicamino, que predominan en todos los sistemas terrestres a frecuencias de VHF y superiores; segunda, la posibilidad de que con COFDM es posible implementar redes de radiodifusión de frecuencia única (SFN), de especial interés en Europa, donde el espectro radioeléctrico está prácticamente saturado en las bandas de radiodifusión sonora y televisión.

La implementación de redes de frecuencia única, se viene ya utilizando en la radiodifusión sonora digital (radio digital). De manera similar al sistema ATSC, la parte del transmisor que más se ve afectada por la transición de analógico a digital es el excitador, en el que los cambios más importantes son el procesado en banda base y la modulación. (Pérez Vega, Introducción a los Sistemas Transmisores de TV, 2005).

En común con el sistema ATSC, la señal digital de entrada al sistema de transmisión DVB-T es un flujo binario síncrono de transporte que incluye paquetes de datos de 187 bytes más un byte de sincronismo. La carga útil de cada paquete puede ser, bien de vídeo digital codificado en MPEG-2, audio digital MPEG o datos de otra índole. El flujo de transporte, en paralelo, se aplica a la entrada del modulador, mediante un conector hembra, tipo DB25.

La línea que conduce la señal de reloj va separada de las líneas de datos. La señal de salida del modulador es una señal modulada del tipo COFDM, usualmente generada a alguna frecuencia intermedia, inferior a la frecuencia de la portadora del canal de RF. Tanto la frecuencia intermedia empleada, como el nivel de la señal y otras características, suelen ser elegidas por los diversos fabricantes de equipos y no están estandarizadas. (Pérez Vega, Introducción a los Sistemas Transmisores de TV, 2005).

### **3.2.3 ISDB.**

ISDB cuyas siglas en inglés significan *Integrated Services Digital Broadcasting*, fue desarrollado en Japón y es similar en algunos aspectos a DVB. Contempla también versiones para satélite (ISDB-S), cable (ISDB-C) y terrestre (ISDB-T). Las transmisiones en este estándar comenzaron en Diciembre del 2003 y tiene ciertas características que lo hacen más flexible que DVB. En ISDB-T, uno o varios flujos de transporte se remultiplexan para generar un flujo único de transporte (TS). Este TS se somete a procesos múltiples de codificación de canal, de acuerdo con los objetivos del servicio y se transmite finalmente como una señal OFDM única.

En ISDB-T también es posible el entrelazado en tiempo con el objeto de proporcionar una codificación de canal más potente para recepción móvil, en que las considerables variaciones de nivel de la señal recibida son inevitables. Para transmisión de televisión, el espectro consiste de 13 bloques sucesivos OFDM, también designados como segmentos OFDM, en que el ancho de banda de cada segmento es igual a 1/14 del ancho de banda de un canal de televisión. Esta configuración en segmentos permite el uso del mismo receptor tanto para televisión como para recepción de señales de radiodifusión de audio digital.

La codificación de canal se realiza en términos de segmentos, de modo que una parte de un canal de televisión puede utilizarse para servicio fijo el resto para servicios móviles en una forma designada como transmisión jerárquica. Cada capa de la jerarquía consiste de uno o más segmentos y para cada una se pueden especificar parámetros tales como el esquema de modulación de portadoras, tasa de codificación interna (picado) y longitud del intercalado en tiempo. Se tienen hasta tres capas jerárquicas en que el segmento empleado para recepción parcial, también cuenta como capa jerárquica. (Pérez Vega, Transmisión de Televisión Digital, 2005).

### **3.3 IPTV**

IPTV (*Internet Protocol Television*) se ha convertido en la denominación más común para los sistemas de distribución por suscripción de señales de televisión o vídeo usando conexiones de banda ancha sobre el protocolo IP. Pero más que una simple distribución de video, IPTV conlleva a una convergencia de los servicios de alta tecnología (VoIP, IPTV, servicios de banda ancha de Internet), estos tres servicios, son los que se conocen como *Triple Play*, más que una unificación de partes, se debe interpretar como una integración de los tres servicios en uno solo o también llamado convergencia de servicios, donde al estar recibiendo video, se pueda recibir y contestar llamadas, así como obtener acceso a Internet (páginas Web, transferencia de archivos, compras en línea, etc.).

El IPTV se ha convertido en el nuevo método digital de transmitir datos, incluyendo señales de TV tanto para transmisión de radiodifusión (*broadcasting*, señales en tiempo real), así como video bajo demanda (*Video on Demand, VoD*), donde el usuario recibe lo que él quiere recibir y cuando lo quiera recibir.

### **3.3.1 FUNCIONAMIENTO.**

El funcionamiento básico de la implementación de video sobre protocolos IP, se basa en puntos importantes como lo son, la codificación del video y audio basada principalmente en tecnología MPEG, luego la paquetización de los datos para ser enviada sobre la red IP, su transporte sobre la misma y por último la presentación que se le puede dar a los mismos al destino o usuario final, por medio de algún dispositivo. La forma de llevar el contenido hasta el usuario, recorre todo un proceso, este viene desde el núcleo de contenido donde se puede tener almacenado el contenido en servidores VoD o desde contenido que se recibe en vivo por medio de *broadcasting*, hasta llevarlo a la red de transporte y posteriormente hasta la red de acceso hasta llegar al usuario final.

#### **3.3.1.1 PROCESAMIENTO DE VIDEO.**

El procesamiento de señales de video sobre una red IP, se basa en el tratamiento de señales analógicas como las que se obtienen de transmisiones en tiempo real o en vivo, que al no encontrarse directamente almacenadas en algún medio digital, como suele ocurrir en el video bajo demanda, deben ser procesadas, lo cual indica que se deben codificar de alguna manera para así aplicarle su respectiva digitalización.

Como la situación actual se perfila a obtener video de alta resolución, la codificación y compresión de video por excelencia se encuentra en el uso de los estándares MPEG-2 y MPEG-4. El MPEG (*Motion Picture Experts Group*), es un grupo de estándares para la codificación y el proceso del video digital, así como para la transmisión en múltiples formas de contenido multimedia. Estos estándares especifican los procesos de compresión y descompresión de los datos y como estos son llevados hasta los sistemas de transmisión digitales. La codificación MPEG recibe

video y audio por separado, estos se codifican y comprimen, se sincronizan y se multiplexan en un solo grupo de datos, luego de ser transportados, el proceso se invierte, los datos son demultiplexados para regresarlos a su formato original (video y audio).

El sistema MPEG ha evolucionado a gran escala desde 1991, cuando se introdujo el almacenamiento de datos sobre discos compactos. La primera versión fue el MPEG-1, diseñado para almacenamiento de baja velocidad. Luego apareció el MPEG-2, el cual permitió que la transmisión televisiva (cable, satélite, aérea), pudiera convertir las señales análogas en sistemas de televisión digital, siendo estos mucho más eficientes. Esta especificación, fue suficiente para realizar la codificación y compresión de sistemas de televisión de alta definición (HDTV), el siguiente progreso tecnológico de MPEG, fue la especificación MPEG-4, esta añade a sus antecesores, la viabilidad de transmisión de televisión en datos empaquetados sobre redes de banda ancha de Internet. (Gutiérrez Vargas, 2007).

### **3.3.1.2 EMPAQUETAMIENTO IP.**

Para realizar un mejor manejo de estos *streams* de audio y video, estos se dividen en paquetes de diferentes tamaños, según las características de la aplicación y del decodificador. Al proceso de partición de estos paquetes se le llama paquetización o empaquetar, así a un *stream* elemental (video o audio), se le llama PES (*Packetized Elementary Stream*). El PES por si solo presenta toda la información temporal para poder decodificar una señal de audio o de video según sea el *stream* elemental.

Usualmente es necesario transmitir al menos 2 señales en conjunto (una de audio y otra de video), para ellos se utilizan técnicas de sincronización

y transporte, generalmente es necesario combinar varios PES, al menos uno de audio y otro de video para crear un contenido multimedia que posteriormente será reproducido. Dentro de las posibilidades de tratamiento existe la de almacenar el contenido para posterior reproducción o transmisión, en el caso de almacenarlo existen técnicas o formatos de compresión, que no se profundizan en este documento como lo son MP3 para audio y AVI o MOV para video. (Gutiérrez Vargas, 2007).

### **3.3.1.3 TRANSPORTE Y MANEJO DEL VIDEO.**

El sistema IPTV, al igual que otros servicios que se manejan y transportan a través de una red IP, necesitan de protocolos que le permitan al contenido ser transportado así como un control sobre el mismo tanto para su acceso y gestión. En la transmisión de video las técnicas usadas son conocidas como *streaming*, que se define como la transmisión en vivo tanto de video como de audio sobre una red.

Las técnicas de transmisión de datos usadas anteriormente dentro del Internet eran, primero descargar el contenido y luego reproducirlo; al contrario de esto, con la técnica de *streaming* es posible visualizar el contenido a medida que se es transferido. Dentro de estas técnicas tanto de transporte como de *streaming*, existen varios protocolos importantes en el contexto de IPTV, siendo que, el protocolo subyacente es el protocolo de red IP; de igual manera se deben de citar otro protocolo de transporte importante para la tecnología como lo es UDP (*User Datagram Protocol*).

Ya dentro de las técnicas de *streaming*, la tecnología IPTV utiliza protocolos de tiempo real como lo son RTP (*Real-Time Transport Protocol*), RTCP (*Real Time Control Protocol*) y RTSP (*Real Time Streaming Protocol*). Además de estos protocolos, existe dos importantes

para el transporte y manejo de contenido multimedia y datos; estos son el IGMP (*Internet Group Management Protocol*) y el SIP (*Session Initiation Protocol*), conjuntamente con una técnica de transporte conocida como MPLS (*Multiprotocol Label Switching*).

A estas técnicas de transmisión, también se debe de agregar las formas posibles en las que se puede transmitir como lo son el *Unicast* y el *Multicast*. Los cuales surgen como formas de entregar el contenido de maneras similares hacia el cliente, los cuales también hacen uso del protocolo IGMP para realizar tales funciones. Comparando estas técnicas de transmisión con el modelo OSI (*Open System Interconnection*), es posible asociarles, tal como se muestra en la figura 3.1 (Gutiérrez Vargas, 2007).



Figura 3.1: Modelo OSI para IPTV.

Fuente: (Gutiérrez Vargas, 2007).

### 3.3.2 ARQUITECTURA IPTV.

La arquitectura IPTV está compuesta por 3 componentes principales entre ellos están, el núcleo de contenido, que es el cerebro de la arquitectura, donde se maneja la gestión y acceso de los usuarios, también se encuentra incluida la plataforma en la que se controla el servicio IPTV por medio de un *Middleware*.

Luego de que el contenido se encuentra listo y empaquetado para ser enviado a través de una red IP, este es trasladado sobre una red de transporte, que consiste en equipos que direccionan el tráfico por medio de una red IP/MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) hacia los distintos nodos o lugares donde se concentra el contenido para su posterior distribución.

Finalmente por medio de una red de acceso, que puede ser xDSL o FTTH, el contenido es llevado hasta donde se encuentra el cliente, pero que a su vez necesita un equipo CPE, que para la tecnología IPTV es un STB, que es un tipo de demodulador de la señal de IPTV para poder ser integrada a un televisor convencional y así recibir el servicio. Para una mejor representación de la arquitectura de una red IPTV ver la Figura 3.2.

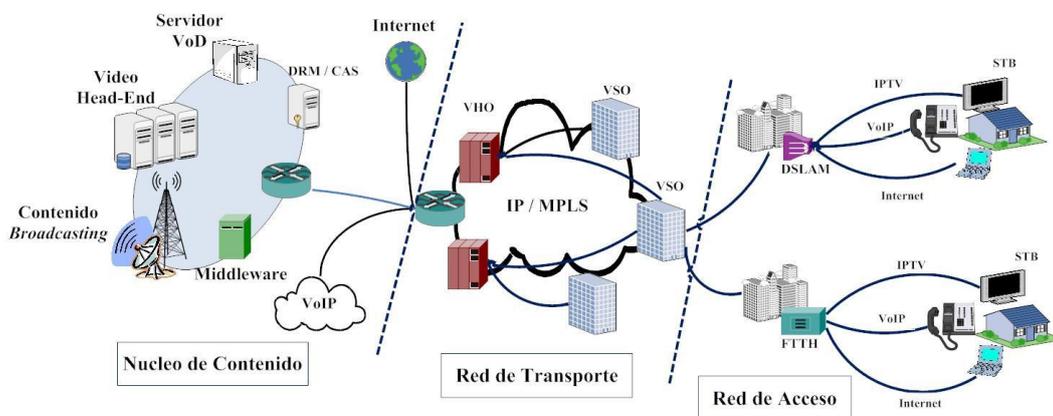


Figura 3.2: Arquitectura IPTV.

Fuente: (Gutiérrez Vargas, 2007).

### **3.3.2.1 NÚCLEO DE CONTENIDO.**

Dentro del núcleo se encuentra el cerebro de gestión de un sistema IPTV, entre los aspectos más importantes se puede destacar el equipo *Head-End*, el *Middleware*, los servidores de contenido VoD y protección de contenido. En el Núcleo se maneja el contenido proveniente desde la televisión de *broadcasting*, mediante codificadores de tiempo real, así como los sistemas de distribución principales de VoD, que son prácticamente servidores que almacenan contenido, también la gestión sobre el acceso a la información de los usuarios del sistema IPTV (clientes), como un control general sobre el núcleo de la red, por medio de mecanismos de *software* conocidos como *Middleware*, usado para controlar tanto permisos de acceso del contenido, como facturación y control de algún otro servicio brindado como lo puede ser los PVR (*Personal Video Recorder*).

#### **HEAD-END.**

Es el equipo más usual presente en las soluciones IPTV, ya que conforma un conjunto de elementos que incluyen las funciones de recibir las señales en vivo (las transmitidas localmente, así como las vía satélite u algún otro medio de difusión de señales) y convertirlas en el formato requerido para que se puedan transmitir por la red para luego ser recibido por los STB. De manera general, se pueden considerar como las antenas de recepción satelital (en su mayoría casi todo los contenidos actualmente se distribuyen vía satélite), el equipo receptor, el equipo de codificación y compresión (tanto para MPEG-2 como MPEG-4) y el equipo necesario tanto para ajustar el flujo de anchos de banda, como los que se utilizan para insertar (encapsulamiento) el contenido en la red de datos (mediante protocolos RTP y UDP), para finalmente ser transportada a través de la red.

## **MIDDLEWARE.**

Es un *software* de conectividad que ofrece un conjunto de servicios que hacen posible el funcionamiento en aplicaciones distribuidas sobre plataformas heterogéneas, es el que dictamina y controla cuales funciones se realizan o no en un sistema IPTV, se encuentra ubicado principalmente en el equipo de cabecera o *Head-End* y puede ser perfectamente separado del fabricante que implemente la solución de IPTV (tanto *hardware* como contenido).

El *middleware* es una plataforma de gestión de aplicaciones que interactúa con la red de acceso, el *Head-End* y los terminales STB. Como su función es asegurar la completa interoperabilidad del servicio, se debe encargar tanto de que el sistema opere, como ejercer gestión sobre los servidores VoD, para controlar solicitudes y sesiones de acceso a este por parte del usuario.

Otra función relevante al *middleware*, es su función de autenticación de los usuarios y el manejo de cobro o facturación según el servicio requerido por cada cliente, pero ya de una manera integrada y en tiempo real. La manera en que el *middleware* logra una interacción satisfactoria con el usuario es a través de una interfaz gráfica y amigable, con el fin de controlar los servicios y funciones antes mencionadas.

## **SERVIDOR DE CONTENIDO BAJO DEMANDA VoD.**

Uno de los mayores atractivos del sistema IPTV es la posibilidad de entregar al usuario el contenido que realmente desea ver y no uno impuesto por el proveedor del servicio. Los servidores de contenido bajo demanda o VoD son los que permiten al usuario personalizar el contenido que desea ver y viene a sustituir los sistemas antiguos de PPV, los cuales

ofrecen poca interacción y su respuesta de adquisición es relativamente baja con respecto a un servidor de VoD, donde la entrega se puede hacer inmediata.

Recibir VoD en tiempo real tiene como consecuencia el aumento en el consumo de ancho de banda por parte del cliente, al ser un contenido exclusivo y dedicado a un solo suscriptor, el ancho de banda es mucho mayor que un servicio promedio, ya que además del contenido usual se debe añadir este servicio único, esto aplicado a un número de abonados considerable, propone un aumento considerable en el tráfico de las redes de datos, por lo que se sugiere la implementación de redes de gran ancho de banda como ADSL2 o FTTH, para poder enviar mayor cantidad de información en el menor tiempo posible.

Dentro de la funcionalidad de un servidor de VoD, se da la posibilidad de guardar el contenido solicitado para un posterior acceso, se trata de la presencia de una grabadora personal de video PVR (*Personal Video Recorder*). Esta función viene a ser más que un grabador de contenido como los existentes actuales (DVD, VHS, etc.), esta se puede tomar como un servidor personal, donde no necesariamente se tiene que tener acceso directo a la base de datos de contenidos (películas, series, etc.), sino que según solicitud del cliente, el contenido se guarda en su grabadora personal, dándole la posibilidad de tener posteriormente a su disposición inmediata, el contenido de su gusto, sin necesidad de esperas de acceso al servidor VoD, haciendo también que el consumo de ancho de banda sea mucho menor y una mejor eficiencia en el servicio.

En algunos casos esta funcionalidad ha sido relegado a los STB, de manera que lo integren, así, en caso de querer algún contenido a una hora específica, este se programa y los datos son recibidos por el PVR

(ya sea local o externo), dándole la posibilidad de que en el momento justo el contenido se reciba sin retraso alguno.

### **PROTECCIÓN DE CONTENIDO.**

El contenido al ser transportado sobre una red con conexión a Internet (siendo una red pública) está expuesto a manipulación externa, por tal motivo se deben tomar las precauciones del caso, de ahí que se hace uso de los sistemas de acceso condicional CAS (*Conditional Access System*) y de gestión sobre los derechos de autor digitales DRM (*Digital Management Rights*).

Estos sistemas para una mayor protección de contenido, debería de ser aplicado tanto a servicios VoD (almacenados o en tiempo real), como los de *broadcasting*, a los cuales se les quiera reservar sus derechos de autor, prever que no se obtengan copias de la información digital para su posterior distribución y controlar el acceso de cada suscriptor del servicio, para que este reciba y tenga acceso únicamente al contenido por el que está pagando.

### **3.3.2.2 RED DE TRANSPORTE.**

La red de transporte es la encargada de llevar o transportar el contenido IPTV desde el núcleo de contenido hasta los nodos de acceso donde se realiza la distribución de contenido hacia cada cliente (por medio de DSLAM y/o Red de Fibra Óptica). El transporte hacia estos nodos de acceso se realiza mediante *switches* y *routers* a través una red IP/MPLS.

### **3.3.2.3 RED DE ACCESO.**

Es la red que permite que la información llegue hasta el usuario o cliente, ya sea mediante servicio xDSL de banda ancha, así como fibra óptica hacia la casa (FTTH), estos equipos permiten ofrecer un acceso o vínculo a la red de transporte, capaz de transmitir más de una señal de video, audio, voz y datos a alta velocidad en tiempo real y con alta calidad, al igual que debe poseer la cualidad de estar siempre online. Las partes más importantes que componen esta última sección de la arquitectura es lo que se conoce como Última Milla que interconecta al nodo más cercano con el cliente (STB).

### **STB (SET TOP BOXES).**

Son el equipo terminal del cliente, estos están denominados generalmente como CPE (*Customer Premises Equipment*). En este caso particular, los CPE son los que deben de decodificar las señales provenientes de la red de datos en flujos de información multimedia para que pueda ser compatible con televisor convencional. Los STB deben de presentar una interfaz *Ethernet*, que se utiliza para conectarse a la red de datos, generalmente hacia un modem (ADSL 2) o en algunos casos puede encontrarse de manera integrado. Para lograr la integración hacia un televisor convencional, estos equipos por lo general están provistos de interfaces RCA o coaxiales, en algunos casos estos cuentan con interfaces de datos hacia el usuario con tal de lograr una mayor interacción entre el resto de los equipo del hogar (mayoritariamente la PC).

Esta terminal tiene la posibilidad de interactuar con el *Middleware*, de hecho internamente posee *software* compatible con el mismo, para ejercer sus funciones y comandos, principalmente las de petición de contenido en el servicio VoD, uso del EPG y soporte a aplicaciones de

facturación y suscripción de canales, control de acceso, etc. El STB realiza la función como clave, para identificar a cada cliente como único y así sus preferencias de contenido.

Como se ha mencionado anteriormente, los STB pueden poseer la capacidad de integrar un PVR. Esto conlleva a incluir un disco duro dentro del mismo, esto con el fin de almacenar el contenido con anterioridad para su futura reproducción, de igual manera posee la funcionalidad de detener o rebobinar películas de contenido de VoD, esta característica particular, incrementa directamente el costo de un equipo STB con disco duro incluido.

## CAPÍTULO IV

### REDES DE ACCESO DE FIBRA ÓPTICA FTTH – GPON

#### INTRODUCCIÓN

Desde las primeras instalaciones de redes de fibra óptica (FO) a finales de los años setenta, el objetivo principal ha sido la instalación de la FO hasta llegar al usuario final. Desde un punto de vista económico, la fibra fue un elemento rentable en las redes de larga distancia. En comparación con el cobre o la radio digital, la FO ofrece mayor ancho de banda y baja atenuación pero aumenta su costo. En comparación con el alambre de cobre utilizado en la telefonía, la fibra puede llevar miles de conversaciones telefónicas más, haciendo que el costo de una conexión telefónica a través de fibra sólo sea un pequeño porcentaje de la transmisión a través de del cobre.

La fibra óptica está ganando aceptación en las redes telefónicas de nueva generación, el acceso mediante FO a usuarios finales o lo que comúnmente es conocido como última milla es un hecho. Muchos hogares siguen conectados con el cable de cobre de bajo rendimiento, el cable de teléfono convencional no es compatible con velocidades de conexión de acceso de banda ancha.

Las compañías telefónicas y los proveedores de servicios comerciales se están dando cuenta de que la mejor opción para la optimización de las conexiones de abonado es la fibra óptica. La posibilidad de ofrecer nuevos servicios como *Triple Play*, telefonía, Internet, video, etc. a través de nuevas arquitecturas de red de fibra como FTTH, hacen económicamente atractiva esta nueva tecnología de acceso. Las empresas multinacionales están comprometiendo miles de dólares para conectar a millones de hogares y oficinas con fibra óptica. Empresas de

televisión por cable están considerando reemplazar el cable coaxial por la FO, ya que el costo es razonable y el rendimiento sin límites.

La demanda de contenidos, mayor velocidad y nuevos protocolos de comunicación están revolucionando la mayoría de los mercados globales. Servicios tales como telefonía, Internet de alta velocidad, Voz sobre IP (VoIP), TV, HDTV, video dúplex en tiempo real, juegos online, video bajo demanda, etc. representan nuevas oportunidades de negocio para los proveedores de servicios de Telecomunicación y los proveedores de red. Cada vez más proveedores de servicios reconocen en la fibra hasta el hogar FTTH es la solución ideal frente a los retos de gran ancho de banda para todos los usuarios de forma económica y fiable.

Los Gobiernos de todas las naciones reconocen la necesidad de desplegar redes de fibra óptica para mejorar la competitividad de sus economías. Los principales operadores de telecomunicaciones del mundo también han comenzado el despliegue de GPON. Los principales proveedores de equipos de telecomunicación (*Alcatel-Lucent, Ericsson, Huawei, Nokia-Siemens, ZTE, etc.*) ofrecen soluciones GPON. Todo esto da muestras del prometedor futuro de esta tecnología.

A finales de los años 90, PON comenzó a ser considerado tanto por las operadoras como por los proveedores como una interesante solución para ofrecer acceso de fibra óptica hasta los usuarios residenciales. Su naturaleza punto a multipunto, resultaría en ahorros significativos en la instalación de la fibra óptica y en interfaces ópticos. Además, PON no requiere de dispositivos electrónicos u optoelectrónicos activos para la conexión entre el abonado y el operador y, por lo tanto, supone una inversión y costos de mantenimiento considerablemente menores.

A medida que la fibra se abarataba y los distintos organismos regulatorios de cada país se interesaban más por las conexiones de redes de fibra óptica, los operadores y fabricantes comenzaron a impulsar las tecnologías PON. En 1995 se formó el FSAN (*Full Service Access Network*), con el fin de promover estándares mediante la definición de un conjunto básico de requerimientos y, de este modo, mejorar la interoperabilidad y reducir el precio de los equipos.

#### 4.1 DEFINICIÓN FTTx.

La tecnología de telecomunicaciones FTTx (*Fiber to the X*) es un término genérico para designar cualquier acceso de banda ancha sobre fibra óptica que sustituya total o parcialmente al cobre del bucle de acceso. El acrónimo FTTx se origina como generalización de las distintas configuraciones desplegadas (FTTN, FTTC, FTTB, FTTH), diferenciándose por la última letra que denota los distintos destinos de la fibra (nodo, acera, edificio, hogar). Se puede observar en la figura 4.1 una descripción de las diferentes arquitecturas FTTx.

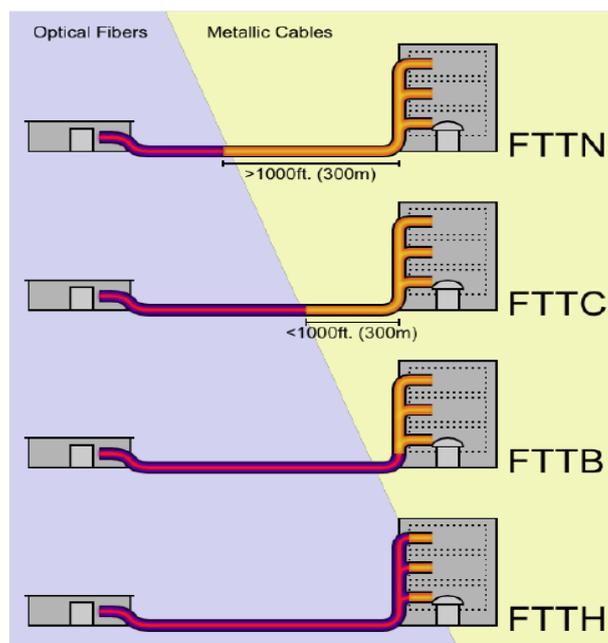


Figura 4.1: Arquitectura FTTx.

Fuente: (Furukawa, 2012).

La red de acceso de fibra óptica es el conjunto de elementos tecnológicos que conectan los terminales de los usuarios finales hasta los equipos terminales de la red de transporte, comúnmente denominado tramo de última milla. Dependiendo del punto de terminación de la fibra óptica, el tipo de red recibe un nombre u otro distintivo. Para abarcar todas las topologías posibles se utiliza el denominador común FTTx. Esta tecnología necesita de una red óptica pasiva PON para su desarrollo. (FOA, 2012).

Entre las diferentes arquitecturas se encuentran:

- FTTN (*Fiber To The Node*, Fibra hasta el nodo).
- FTTLA (*Fiber To The Last Amplifier*, Fibra hasta el último amplificador).
- FTTC (*Fiber To The Curb*, Fibra hasta ela).
- FTTP (*Fiber to the Premises*, Fibra hasta las instalaciones).
- FTTH (*Fiber to the Home*, Fibra hasta el hogar).
- FTTB (*Fiber to the Building*, Fibra hasta el edificio).

#### **4.2 TOPOLOGÍAS FTTx.**

La fibra óptica es, en la actualidad, la guía de onda comercial con mayor capacidad de transmisión en términos de ancho de banda y resistencia al ruido electromagnético. El término FTTx (*Fiber To The X*) denomina a las distintas posibilidades de despliegue de fibra óptica que varían de acuerdo al alcance de la fibra y la proximidad al usuario final, tal como se muestra en la figura 4.2.

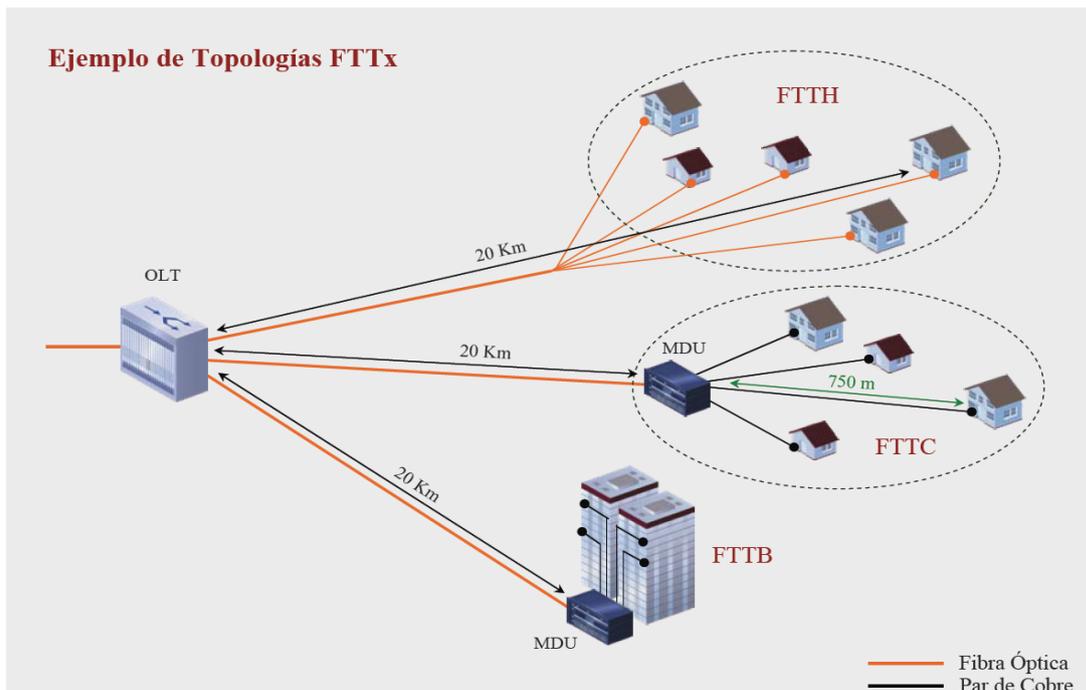


Figura 4.2: Topología FTTx.

Fuente: (Furukawa, 2012).

#### 4.2.1 FTTN (*Fiber To The Node*).

Este tipo de arquitectura se la conoce como fibra óptica hasta el nodo o también fibra óptica hasta el vecindario. FTTN es un diseño de telecomunicaciones donde la fibra termina en una cabina o en un armario de la calle, más lejos de los abonados que en FTTH y FTTB, típicamente en las inmediaciones del barrio. El último tramo hasta el usuario es a través de cable coaxial o par trenzado (xDSL). Habitualmente el área que cubre es de menos de 1500 metros de radio, puede dar servicio a unos cuantos miles de clientes (Si el radio es menor de 300 metros entonces la arquitectura es FTTC).

Fibra hasta el nodo permite la entrega de servicios de banda ancha, tales como Internet y protocolos de comunicaciones de alta velocidad como el acceso a banda ancha por cable coaxial (DOCSIS) o alguna forma de xDSL que normalmente se utiliza entre el nodo y los clientes. Las tarifas

de datos varían según el protocolo exacto utilizado y de acuerdo a qué tan cerca del cliente está el nodo. FTTN a menudo utiliza la infraestructura de par trenzado o cables coaxiales existentes para proporcionar un servicio de última milla. Por esta razón, la fibra hasta el nodo es menos costosa de implementar. Sin embargo, a largo plazo, su potencial de ancho de banda es limitado en relación con las implementaciones que aporta la fibra a los abonados. (Furukawa, 2012).

#### **4.2.2 FTTLA (*Fiber To The Last Amplifier*).**

FTTLA son las iniciales de fibra hasta el último amplificador. Los cables de la red pueden utilizar varios amplificadores, FTTLA tiene por objeto sustituir el cable coaxial hasta el último amplificador (con respecto al abonado) por fibra óptica. Actúa como una nueva tecnología destinada a la reutilización de los cables de red existentes, en particular en la parte final última milla durante la instalación de fibra óptica hacia los abonados.

Fibra hasta el último amplificador (FTTLA) es una herramienta eficaz para desplegar la arquitectura de la red de televisión por cable y mejorar los aspectos de escalabilidad (rendimiento y fiabilidad), que son necesarios para implementar nuevos servicios como: *Triple Play*, video bajo demanda y juegos online. FTTLA es una tecnología que ayuda a las redes híbridas de televisión por cable coaxial de fibra (HFC) para ofrecer a sus clientes mayor ancho de banda. Se reemplazan todos los equipos activos como el cable coaxial por nodos o receptores ópticos con una salida de alta potencia (hasta 117 dBuV), manteniendo el cable coaxial desde el nodo al cliente sin ningún tipo de equipos activos en el medio. (Furukawa, 2012).

#### **4.2.3 FTTC (*Fiber To The Curb*).**

Este tipo de tecnología se la conoce como fibra hasta la acera, FTTC es un sistema de telecomunicaciones en el cual la fibra óptica llega hasta una plataforma que sirve para algunos cuantos abonados, cada uno de estos abonados está conectado a la plataforma a través de cable coaxial o par trenzado. Esto es muy parecido a FTTN, pero la mayor diferencia es que el nodo está mucho más cerca al usuario, normalmente a menos de 300 metros. La tendencia de todas maneras es de no utilizar esta forma de conexión (excepto en zonas con poca densidad de población) y pasar directamente de FTTN a FTTB o incluso FTTH.

FTTC permite la entrega de servicios de banda ancha, tales como Internet y protocolos de comunicaciones de alta velocidad como el acceso a banda ancha por cable (DOCSIS) o alguna forma de xDSL normalmente utilizada entre el nodo y los clientes. Las tarifas de datos varían según el protocolo exacto utilizado y de acuerdo a qué tan cerca del cliente está el nodo. FTTC es sutilmente diferente de FTTN o FTTP, la principal diferencia es la ubicación de la caja. FTTC difiere de FTTN que es colocada lejos de los clientes y FTTP que está situada justo en el lugar de servir. FTTC puede utilizar la infraestructura existente de cable de par trenzado o coaxial para proporcionar un servicio de última milla. Por esta razón, la fibra hasta la acera es menos costosa de implementar. Sin embargo, también tiene menor potencial de ancho de banda que FTTP. (Furukawa, 2012).

#### **4.2.4 FTTP (*Fiber To The Premises*).**

Topología conocida como fibra hasta los locales, FTTP es una forma de entrega de comunicaciones en la que la fibra óptica va desde la oficina central hasta el final a los locales ocupados por el suscriptor. FTTP se puede clasificar según el lugar donde termina la FO en: FTTH y FTTB.

#### **4.2.5 FTTH (*Fiber To The Home*).**

FTTH son las iniciales de fibra óptica hasta el hogar, esta arquitectura es una forma de entrega de comunicaciones en la que la fibra se extiende desde la oficina central hasta la casa u oficina del abonado, también se la conoce como FTTA (*Fiber To The Apartment*). Una vez en la casa del abonado la señal puede ser transmitida a través del espacio utilizando cualquier medio, incluyendo par trenzado, cable coaxial, comunicación inalámbrica, línea eléctrica o fibra óptica. (Furukawa, 2012).

#### **4.2.6 FTTB (*Fiber To The Building*).**

Fibra hasta el edificio es una arquitectura de red de transmisión óptica, donde la FO termina en un punto de distribución intermedio en el interior o inmediaciones del edificio de los abonados (comercial o residencial). FTTB necesariamente se aplica sólo a aquellas propiedades que contienen múltiples espacios donde habitan o trabajan los usuarios. Desde este punto de distribución intermedio, se accede a los abonados finales del edificio o de la casa mediante la tecnología VDSL2 sobre par de cobre o *Gigabit Ethernet* sobre par trenzado. De este modo, el tendido de fibra puede hacerse de forma progresiva, en menos tiempo y con menor costo, reutilizando la infraestructura del abonado.

Para asegurar el consenso, especialmente cuando se comparan los niveles de penetración de FTTH entre países, los tres Consejos de FTTH de Europa, Norte América y el Pacífico Asiático acordaron las definiciones para FTTH Y FTTB. Estos tres Consejos no dan definiciones formales para FTTC Y FTTN. Vale la pena señalar que la fibra a la caja de telecomunicaciones FTTE (*Fiber To The Enclosure*) no se considera ser parte del grupo de tecnologías FTTx, a pesar de la similitud en el nombre. FTTE es una forma de cableado estructurado que suele utilizarse en la red corporativa de área local, donde la fibra se utiliza para vincular la sala

de ordenadores principal con el terminal de la estación de trabajo o escritorio. (Furukawa, 2012).

### **4.3 REDES PON.**

Una red óptica pasiva permite eliminar todos los componentes activos existentes entre la central y el cliente, introduciendo en su lugar divisores ópticos pasivos (*splitters*) para guiar el tráfico por la red. La utilización de estos sistemas pasivos reduce considerablemente los costos y son utilizados comúnmente en las redes FTTH. En conclusión, FTTH es una red de FO, donde la fibra de alimentación se lleva desde un terminal de línea óptica (OLT) a un centro de distribución de fibra (ODN), cerca de un grupo de clientes. A partir de ese momento, un divisor pasivo (*splitter*) se utiliza normalmente para conectar hasta 32 o 64 clientes a la fibra de conexión. Luego, cada establecimiento del cliente dispone de un terminal de red óptica (ONT) conectado a cada rama de división.

Esta arquitectura de punto a multipunto reduce drásticamente el costo de la instalación, gestión y mantenimiento de la de red. Las redes ópticas pasivas contemplan el problema de la distancia entre usuario y central; de tal manera, que un usuario cercano a la central necesitará una potencia menor de la ráfaga de contenidos para no saturar su fotodiodo, mientras que un usuario lejano necesitará una potencia más grande. Esta condición está contemplada dentro de la nueva óptica. (EXFO, 2012).

### **4.4 ELEMENTOS DE UNA RED PON.**

Los principales elementos que conforman una red PON se describen en la figura 4.3.

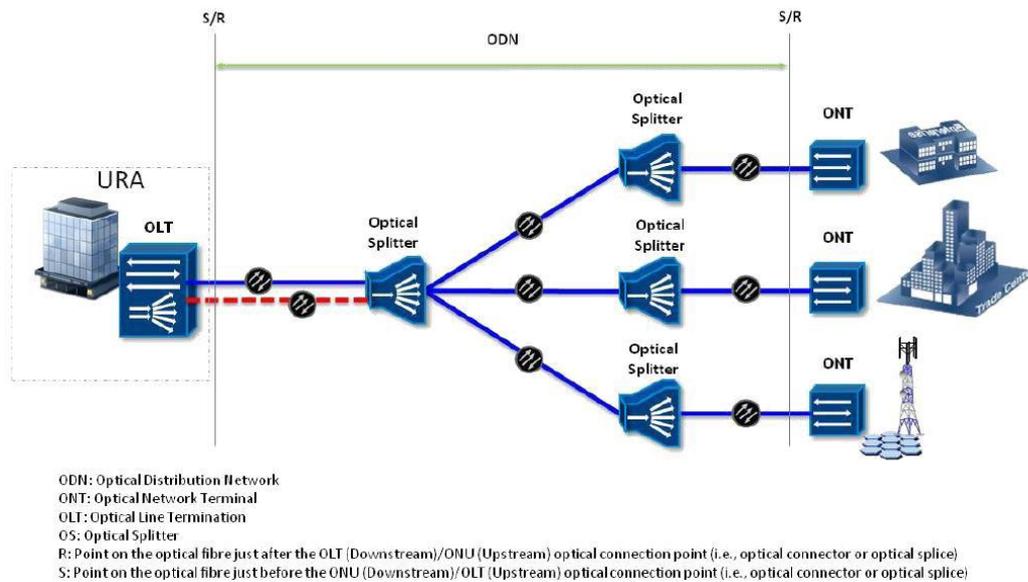


Figura 4.3: Elementos de una Red PON.

Fuente: (Furukawa, 2012).

#### 4.4.1 OAN (*Optical Access Network*).

La OAN (*Optical Access Network*) o Red Óptica de Acceso, se la considera como el conjunto de enlaces de acceso que coinciden con iguales interfaces del lado de la red, admitidos por los sistemas de transmisión de tipo óptico.

#### 4.4.2 ODN (*Optical Distribution Network*).

La ODN (*Optical Distribution Network*) o Red de Distribución Óptica brinda la comunicación entre un OLT (*Optical Line Terminal*) y el usuario y viceversa, y consta de fibra óptica, *splitter* (divisor óptico pasivo), empalmes y conectores.

#### **4.4.3 OLT (*Optical Line Terminal*).**

OLT es un elemento activo situado en el nodo central del cual parten las redes de fibra óptica hacia los usuarios, los OLT tienen una capacidad para dar servicio a miles de consumidores conectados al servicio que se desea prestar. Una de las funciones más importantes que desempeña el OLT es de hacer las veces de enrutador para ofrecer todos los servicios demandados por el usuario.

Este elemento de la red PON está ubicado en las dependencias del operador y consta de varios puertos de línea PON, cada uno soportando hasta 64 ONT. Aunque depende del suministrador, existen sistemas que pueden alojar hasta 7.168 ONT en el mismo espacio que un DSLAM (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*).

#### **4.4.4 ONT (*Optical Network Termination*).**

El ONT es el elemento que se sitúa en el usuario final donde termina la fibra óptica y ofrece las interfaces al usuario. Las ONT deben estar fabricadas de manera tal que soporten las peores condiciones ambientales y generalmente vienen equipadas con baterías. En las arquitecturas FTTN (*Fiber To The Node*), las ONT son sustituidas por MDU (*Multi-Dwelling Units*), reutilizando así el par de cobre instalado pero, a su vez, consiguiendo las mínimas distancias necesarias para alcanzar velocidades simétricas de hasta 100 Mbps por abonado.

#### **4.4.5 ONU (*Optical Network Unit*).**

La ONU o Unidad de Red Óptica se define como el elemento que actúa como vínculo entre el usuario y la OAN, conectada a la ODN.

#### **4.4.6 MDU (*Multi-Dwelling Unit*).**

Es un importante elemento que a diferencia de las ONT ofrecen servicio a múltiples usuarios. La ventaja fundamental que presentan las MDU frente a los ONT, es que permiten aprovechar las redes de cobre existentes. Las desventajas que tienen son las mismas que presentan la tecnología xDSL (*Digital Subscriber Line*), es decir, no está diseñado para transmisiones de alta velocidad, a mayor distancia peores son las prestaciones del sistema.

#### **4.4.7 SPLITTERS (Divisores Ópticos Pasivos).**

El *splitter* es un dispositivo que retransmite la señal óptica sin necesidad de alimentación externa multiplexando y/o demultiplexando la señal, es decir, permite la derivación de la señal óptica a su ingreso, hacia dos o más fibras distintas a sus salidas. Los *splitters* pueden clasificarse en primarios y secundarios, de acuerdo al uso o ubicación del mismo en la red.

#### **4.4.8 ODF (*Optical Distribution Frame*).**

Elemento pasivo que permite la conexión y terminación de un segmento de fibra mediante el uso de conectores con el fin de mejorar la manipulación, organización, mantenimiento y protección de dicho segmento. En su interior se dispone del espacio físico adecuado para el almacenamiento de reservas de fibra. La principal ventaja que brinda a la red, es la posibilidad de lograr la escalabilidad de los elementos a éste conectado, en un crecimiento adecuado y en orden.

## **4.5 ESTÁNDARES PON.**

### **4.5.1 APON (*ATM Passive Optical Network*).**

Fue la primera red PON que definió la FSAN, un grupo formado por 7 operadores de telecomunicaciones con el objetivo de unificar las especificaciones para el acceso de banda ancha a las viviendas. APON basa su transmisión en canal descendente en ráfagas de celdas ATM (*Asynchronous Transfer Mode* o Modo de Transferencia Asíncrona) con una tasa máxima de 155 Mbps que se reparte entre el número de las ONU que estén conectadas. Su inconveniente inicial era la limitación de los 155 Mbps que más adelante se aumentó hasta los 622 Mbps. Su principal desventaja constituye en la incapacidad de manejo de video, debido a la carencia en longitud de onda asignada para este efecto.

### **4.5.2 BPON (*Broadband PON*).**

Red Óptica Pasiva de Banda Ancha, se basa en las redes APON pero con la diferencia que pueden dar soporte a otros estándares de banda ancha. Originalmente estaba definida con una tasa de 155 Mbps fijos tanto en canal ascendente como descendente, pero más adelante se modificó para admitir tráfico asimétrico en canal descendente de 622 Mbps y Canal ascendente de 155 Mbps; y tráfico simétrico en canal descendente y ascendente de 622 Mbps, no obstante presentaban un costo elevado y limitaciones técnicas.

### **4.5.3 GPON (*Gigabit-Capable PON*).**

Está basada en BPON en cuanto a arquitectura pero además ofrece:

- Soporte global multiservicio en voz, *Ethernet* 10/100 y ATM.
- Cobertura hasta 20 Km.

- Seguridad a nivel de protocolo.
- Soporte de tráfico de transferencia: Simétrico de 622 Mbps y 1.25 Gbps.; y asimétrico descendente de 2.5 Gbps y asimétrico ascendente de 1.25 Gbps.

#### **4.5.4 EPON (*Ethernet PON*).**

Especificación realizada por el grupo de trabajo EFM (*Ethernet in the First Mile* - Ethernet en la última milla) constituido por la IEEE para aprovechar las características de la tecnología de fibra óptica y aplicarlas a *Ethernet*. La arquitectura de una red EPON se basa en el transporte de tráfico Ethernet manteniendo las características de la especificación 802.3. Las velocidades de transmisión se manejan en forma simétrica, siendo una restricción sobre su estándar similar GPON, así en valores, la capacidad que soporta EPON es: 1.25 Gbps/1.25 Gbps y 2.5 Gbps/2.5 Gbps.

Las ventajas que presenta respecto los anteriores estándares son:

- Trabaja directamente a velocidades de Gigabit (que se tiene que dividir entre el número de usuarios).
- La interconexión de islas EPON es más simple.
- La reducción de los costos debido a que no utilizan elementos ATM y SDH.

#### **4.5.5 GEPON (*Gigabit Ethernet PON*).**

La IEEE aún está trabajando en la revisión de la especificación EPON para obtener un ancho de banda 10 veces más grande que recogerá el nuevo estándar GEPON.

#### **4.6 ESTANDAR GPON (*Gigabit-Capable PON*).**

El estándar GPON (*Gigabit Passive Optical Network*) resulta de la mejora en varias de las características de las recomendaciones de redes basadas en la tecnología PON. Básicamente una red PON (*Passive Optical Network*) es una tecnología de acceso mediante la implementación de una red de fibra óptica con elementos pasivos, es decir, que no requieren de alimentación externa para su funcionamiento al distribuir la información a través de la red.

El propósito de tales componentes, es la reducción del costo de equipos que van dirigidos directamente al usuario final. Aunque se suponga un elevado gasto por el tendido de fibra entre la central de servicio y el hogar del usuario, se puede considerar el hecho de que el mantenimiento compensará tal inversión gracias a la cantidad de servicios que se vayan a ofrecer.

GPON es una red óptica pasiva con capacidad de gigabit que permite manejar amplios márgenes de ancho de banda para prestar servicios a nivel comercial y residencial, mejorando sus prestaciones en el transporte de servicios IP y con una nueva capa de transporte diferente. El envío de la señal es en forma ascendente y descendente con rangos de 1.25 Gbps y 2.5 Gbps para el primer caso y de 2.5 Gbps para el segundo ya sea de forma simétrica o asimétrica llegando bajo ciertas configuraciones a entregar hasta 100 Mbps por usuario.

Entre las principales diferencias que se presentan sobre otros estándares, están:

- Soporte completo para voz (*TDM Time Division Multiplexing*, *SONET Synchronous Optical Network* y *SDH Synchronous Digital*

*Hierarchy*), *Ethernet* (10/100 Base T), *ATM* (*Asynchronous Transfer Mode*).

- Alcance nominal de 20 Km con un presupuesto de 60 Km dentro de las recomendaciones establecidas.
- Soporte de varias velocidades, las indicadas para APON/BPON y EPON.
- Alto nivel de funciones de Operación, Administración, Mantenimiento y Suministro, de principio a fin, en el manejo de los servicios.
- Seguridad en el tráfico, debido a la operación en modo de radiodifusión para la transmisión en modo descendente heredado del estándar PON2.

#### **4.7 RED GPON.**

GPON cuenta con los mismos elementos de una red óptica pasiva (PON): OLT, ONT, *splitters*, etc.; estos elementos trabajan de la siguiente forma: la transmisión se realiza entre la OLT y la ONU que se comunican a través del divisor, cuya función depende de si el canal es ascendente o descendente. La operación en el envío de la señal se cataloga en dos sentidos, ascendente y descendente, para la primera se utiliza el protocolo de acceso TDMA, para combinarlas y hacer más segura la transmisión ya que hay que recordar que se trata de una división pasiva o carente de fuentes de alimentación, mientras que para la segunda se aplica el esquema de radiodifusión (*broadcasting*).

Cuando el canal es descendente, la red GPON funciona como una red punto-multipunto donde la OLT envía una serie de contenidos que recibe el divisor y que se encarga de repartir a todas las unidades ONU, cuyo objetivo es el de filtrar y sólo enviar al usuario aquellos contenidos que vayan dirigidos a él. En este procedimiento se utiliza TDM (*Time Division Multiplexing*) para enviar la información en diferentes instantes de tiempo.

Cuando el canal es ascendente, la red GPON funciona como una red punto a punto donde las diferentes ONU transmiten contenidos a la OLT. Por este motivo también es necesario el uso de TDMA (*Time Division Multiple Access*) para que cada ONU envíe la información en diferentes instantes de tiempo, controlados por la unidad OLT. Al mismo tiempo, todos los usuarios se sincronizan a través de un proceso conocido como *ranging*. En la figura 4.4 se puede observar una descripción del funcionamiento de una red GPON.

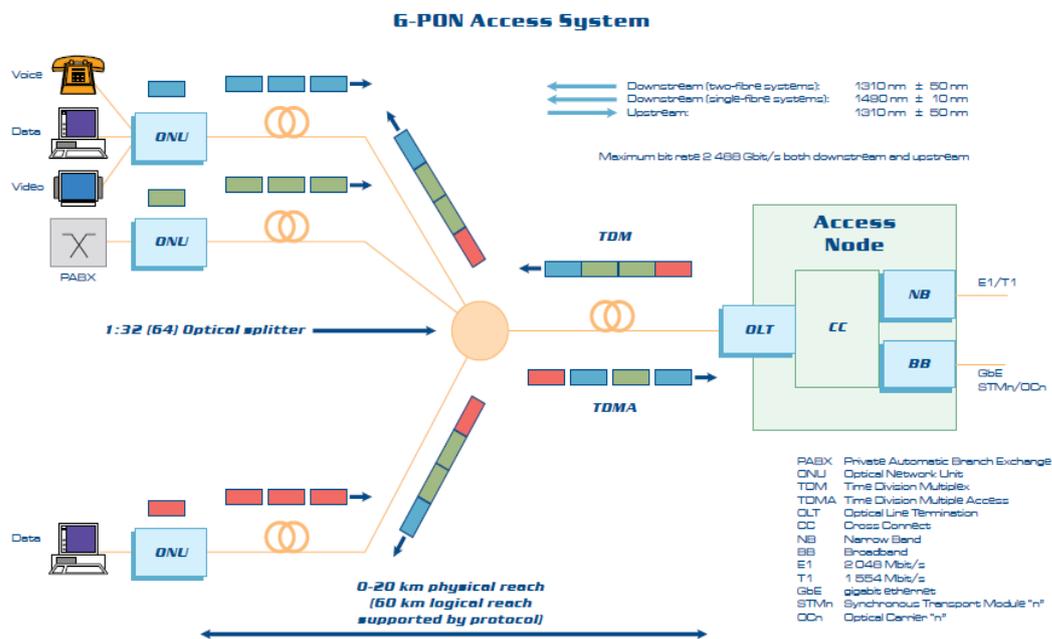


Figura 4.4: Red de Acceso GPON.

Fuente: (UIT, Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2012).

Para que no se produzcan interferencias entre los contenidos del canal descendente y ascendente se utilizan dos longitudes de onda diferentes superpuestas utilizando técnicas WDM (*Wavelength Division Multiplexing*). Al utilizar longitudes diferentes es necesario, por lo tanto, el uso de filtros ópticos para separarlas después. (Conectrónica, 2009).

## **4.8 TECNOLOGÍAS Y PROTOCOLOS UTILIZADOS POR LAS REDES GPON.**

En la transmisión de la información se cuenta con la aprobación del uso de la tecnología TDM (*Time Division Multiplexing*) para el envío descendente de la información con períodos de transmisión fijos y TDMA (*Time Division Multiple Access*) en sentido ascendente, que posibilita la ausencia de colisiones. Debido a la topología en árbol de la red GPON, se utiliza *broadcasting* para enviar la señal a todos los miembros de la red, que cuentan con la capacidad de discriminar los datos hacia el correspondiente ONT, utilizando técnicas de seguridad como el Estándar de Encriptación Avanzada AES (*Advanced Encryption Standard*), brindando mayor confiabilidad.

Además, utiliza de forma eficiente el ancho de banda al disponer de éste en los instantes en el cual hay tráfico y ampliando la capacidad de los usuarios en forma individual gracias a la técnica conocida como Asignación Dinámica del Ancho de Banda DBA (*Dynamic Bandwidth Allocation*). En el transporte de datos, se ha optado por la aplicación de protocolos usados en estándares previos a GPON como lo es ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) Modo de Transferencia Asíncrona y GEM (*GPON Encapsulation Method*).

### **4.8.1 DBA (*Dynamic Bandwidth Allocation*).**

La Asignación Dinámica de Ancho de Banda (DBA), es una técnica por la cual el ancho de banda de un medio de comunicación compartido puede ser asignado de forma adecuada y dependiendo de la necesidad entre diferentes usuarios. Su funcionalidad rescata algunas de las opciones de redes compartidas cuando varios usuarios pertenecientes a una red no se hallen conectados, aquellos que si lo están se benefician

con una mayor capacidad para la transmisión de datos, dando cabida a esa información en los intervalos no utilizados del ancho de banda.

#### **4.8.2 ATM (*Asynchronous Transfer Mode*).**

ATM es una tecnología de transmisión de datos digital, implementado como un protocolo de red por conmutación de paquetes de tamaño fijo, con la ventaja sobre IP o *Ethernet* en el aprovechamiento de las cualidades de la conmutación de circuitos y de paquetes para la transmisión en tiempo real de la información, en un modelo de conexión orientada con el establecimiento de un circuito virtual entre los puntos de enlace previo al intercambio de datos. Se considera a este protocolo, como base de funcionamiento en tecnologías como SONET y SDH en la estructura central (*backbone*) de la red pública conmutada de telefonía PSTN (*Public Switched Telephone Network*).

#### **4.8.3 GEM (*GPON Encapsulation Method*).**

Este protocolo de encriptación define las maneras de encapsular la información de longitud variable de diversas señales, para transportarlas por redes SDH (Jerarquía Digital Síncrona) u OTN (*Oracle Technology Network*). El método de encapsulación que emplea GPON permite soportar cualquier tipo de servicio (*Ethernet*, TDM, ATM, etc.) por lo que es un protocolo de transporte sincrónico basado en tramas periódicas de 125 ms. Sirve para optimizar las tecnologías PON de manera que no sólo ofrece mayor ancho de banda, sino también más eficiencia y la posibilidad de permitir a las redes continuar ofreciendo sus servicios tradicionales sin tener que cambiar los equipos instalados en las dependencias de sus clientes.

## **CAPÍTULO V**

### **DISEÑO DE LA RED DE ACCESO DE FIBRA ÓPTICA GPON**

#### **INTRODUCCIÓN**

En vista de la necesidad de proveer una documentación consistente y completa donde se especifique la solución, diseño y especificaciones técnicas de la tecnología GPON (*Gigabit Passive Optical Network*), surgió la idea de desarrollar un documento que reúna la información necesaria para la realización de proyectos, implementación y despliegue de redes de fibra óptica GPON para diferentes infraestructuras civiles o requerimientos puntuales.

El presente capítulo está orientado en el requerimiento de especificar las características técnicas necesarias y suficientes para desplegar una red de acceso FTTH con tecnología GPON cubriendo los aspectos de diseño, distribución de la fibra óptica y el despliegue de elementos pasivos. Además, este documento servirá como base de diseño, instalación, puesta en marcha, provisión y mantenimiento de este tipo de redes, en el mercado masivo y empresarial.

El presente texto proporciona criterios básicos de diseño de redes GPON para diferentes escenarios e intereses diversos, entre los cuales se tiene: modelos masivos, modelos multiacceso, modelo corporativo, etc., pero principalmente se pretende definir la arquitectura y conceptos básicos de GPON, beneficios y desventajas, pero sobre todo establecer parámetros de diseño para un correcto funcionamiento de esta tecnología.

## 5.1 DESCRIPCIÓN DE LA RED GPON.

El tendido de fibra óptica en un sistema de red de acceso local puede ser activo o pasivo y su arquitectura puede ser punto a punto, o punto a multipunto. Se dispone de arquitecturas que utilizan fibra óptica hasta el hogar (FTTH, *fiber to the home*), pasando por la fibra hasta el edificio/acometida (FTTB/C, *fiber to the building/curb*), hasta el armario (FTTCab, *fiber to the cabinet*). Uno de los intereses comerciales actuales de las empresas de Telecomunicaciones es llegar con fibra óptica hasta el usuario final FTTH, para lo cual se ha creado una de las tecnologías más importantes dentro de las redes de acceso de fibra óptica que se llama GPON.

GPON (*Gigabit-passive Optical Network*) es una red flexible de acceso con fibra óptica, capaz de soportar requisitos de amplitud de servicios comerciales y corporativos, con tasas nominales en la dirección del flujo de bajada *downstream* de 2,4 Gbits y 1,2 Gbits en la dirección del flujo de subida *upstream*. GPON tiene un costo efectivo menor que las redes punto a punto, esto implica mucho más que un costo atractivo, permitiendo satisfacer una mayor cantidad de demandas por servicios y atender potenciales demandas hasta entonces no atendidas en vista de sus necesidades en banda ancha.

GPON consiste principalmente de una OLT situado en una URA o *Central Office* Interconectada a una ONT a través de una red pasiva conocida como ODN, en el camino las señales de la fibra son distribuidas a través de la utilización de *splitters* que son elementos pasivos que forman parte del tendido de fibra óptica. Al elegir una ubicación para la instalación de los *splitters*, hay que tener en cuenta la relación división/eficiencia de desarrollo, principalmente para dejar preparada la red para el surgimiento de futuras adaptaciones de esta tecnología. La aparición de las futuras migraciones tecnológicas, implica que el sistema tendrá potencial de ser

reconfigurado para aceptar nuevos tipos de transmisión, sin necesidad de reconstrucción de las redes de distribución óptica (ODN).

## 5.2 MODELO DE LA INFRAESTRUCTURA GPON.

La figura 5.1 muestra una red de acceso GPON, la que consiste principalmente en un Terminal de Línea Óptico (OLT) situado en una Oficina Central (CO) interconectado por una Red de Distribución Óptica (ODN) a un determinado nodo y que tiene su terminación en un Terminal de Red Óptico (ONT). La OLT (Terminal de Línea Óptico) es el equipo que interconecta la red ODN con la red MPLS a través de las puertas de *uplink*, que en un principio tienen una capacidad de 1 Gbps, las puertas de *uplink* agrupan el tráfico de todas las ONT que se configuren.

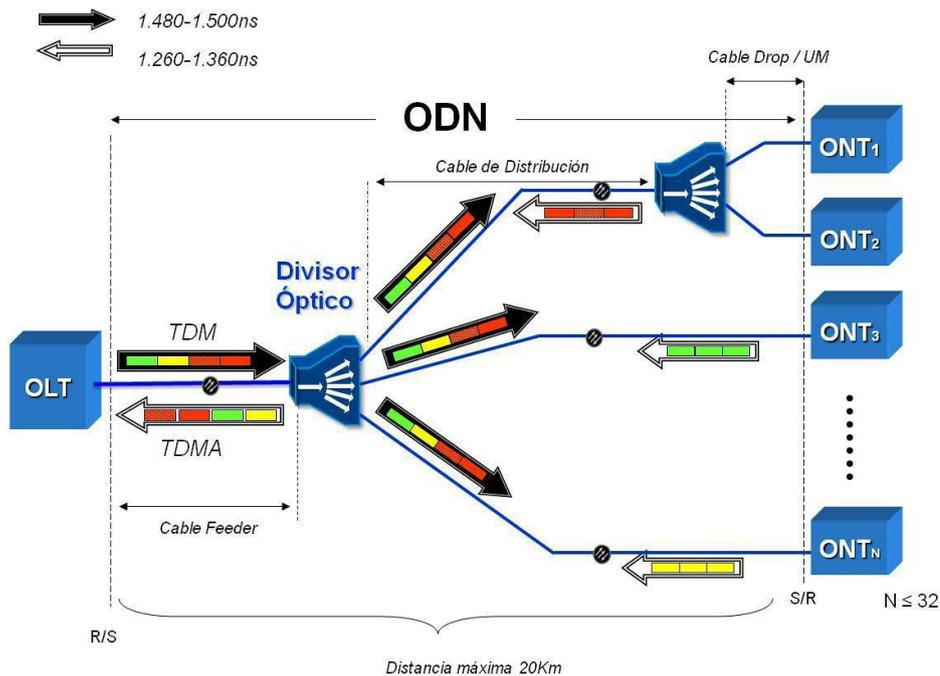


Figura 5.1: Modelo de la Infraestructura GPON.

Fuente: (Furukawa, 2012).

Las OLT a su vez son las encargadas de administrar y sincronizar el tráfico que va hacia las ONT en modalidad TDM; tráfico que se transmite

por la red ODN y se replica por todas las puertas de los *splitter* que estén asociados a la puerta PON. Así mismo, la OLT es la encargada de gestionar, sincronizar y administrar el tráfico que viene desde las ONT en modo TDMA. Ráfagas de tráfico sincronizado que permite compartir el canal de retorno por varias ONT. Una OLT está compuesta por un chasis, una tarjeta de ventiladores (*fan tray*), tarjetas de poder, tarjetas de gestión y control, tarjetas de *uplink*, y tarjetas de servicios. La interconexión de la ruta principal y respaldo de un *splitter* primario a la OLT, se hace en tarjetas distintas.

La ODN (Red de distribución óptica) corresponde a un anillo de fibra óptica o cable *feeder* (alimentación) que conecta la puerta principal y le da respaldo a los *splitters* primarios; y si el nivel de atenuación lo permite, a través de cables de distribución se conectan *splitters* secundarios para llegar a las ONT a través de una caja de distribución y cables *drop* o acometida.

La ODN está compuesta por los ODF, terminales de los cables de FO *feeder* que están asociados a la red GPON (ruta principal o de trabajo y ruta de respaldo o protección), *splitters* primarios y secundarios con sus cajas de distribución, cables de distribución y por último los cables de acometida o cables *drop* que conectan las ONT. La ODN es pasiva, no tiene elementos activos o energizados, la OLT y las ONT son las encargadas de inyectar las señales ópticas a esta red.

El cable *feeder* corresponde al cable o grupos de cables que interconectan las puertas PON de la OLT con el *splitter* primario. El cable de distribución corresponde al filamento de fibra óptica que alimenta un *splitter* secundario, en el caso de edificios se recomienda utilizar fibra *riser*. Los *splitters* son elementos pasivos que dividen la señal óptica de

entrada, *splitter* primario es aquel que tiene ruta de respaldo, y *splitter* secundario es aquel que carece de ruta de respaldo.

### 5.3 CÁLCULOS DE ENLACE GPON.

La incorporación de los *splitters* a la red de FO, elementos que dividen la señal óptica, introduce un concepto que es crítico al momento del despliegue de la red GPON, esto es la atenuación que se puede presentar en la red ODN. Los elementos que aportan a la atenuación de la señal son: los *splitters*, cuya atenuación depende del número de puertas en que se divida la señal; los empalmes, los ODF, los conectores y la fibra óptica como tal.

El modelo que se plantea es independiente a la topología de red a implementar, a las características individuales de los anillos de FO de *feeder*, a la longitud del tramo de distribución y de la última milla o cable *drop*. Se considera la longitud total del ODN, a la suma del *feeder* + distribución + última milla, esto con el objeto de que el modelo sea aplicable a la generalidad de los casos que se puedan presentar.

El diseño que se presenta en este documento se basa en valores teóricos obtenidos de los proveedores de los elementos que componen la red ODN. La idea es presentar un diseño que sirva como modelo para todo aquel que quiera implementar una red de acceso de fibra óptica FTTH-GPON en zonas de servicio: masivas, corporativas o multiacceso. Los valores umbrales usados se basan en las Normas ITU-T que definen GPON. Las principales Normas son:

- **G.984.1:** *Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): General characteristics.*

- **G.984.2:** *Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification ITU-T.*
- **G.984.3:** *Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): Transmission convergence layer specification.*
- **G.984.4:** *Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): ONT management and control interface specification.*
- **G.984.5:** *Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): Enhancement band ITU-T”,*

Para el alcance particular de este Diseño, las definiciones se encuentran en las Normas G.984.1 & G.984.2. En base a lo anterior se definen los siguientes valores:

- Longitud de Onda del flujo de bajada *Downstream*: 1.490 [nm]  
Longitud de Onda del flujo de subida *Upstream*: 1.310 [nm]
- Pérdida Promedio del flujo de bajada *Downstream* por kilómetro de F.O.: 0,25 [dB]
- Pérdida Promedio del flujo de subida *Upstream* por kilómetro de F.O.: 0,31 [dB]

Es importante aclarar que en la conexión entre OLT y ONT, la norma G.984.2 define umbrales Mínimos y Máximos de Potencia Óptica, por lo que estos valores son los que determinarán los puntos de corte, tanto para establecimiento y caída de conexión, como de saturación. En definitiva lo que hará el Modelo de Cálculo es relacionar la Potencia Emitida con la Sensibilidad y la Atenuación (Pérdidas de Potencia Óptica entre ambos extremos).

#### VALORES DE UMBRAL EN OLT:

- Potencia Mínima de Emisión: +1,5 [dBm]
- Potencia Máxima de Emisión: +5 [dBm]
- Sensibilidad Mínima: -28 [dBm]
- Saturación en Rx: Para Potencia recibida mayor a -8 [dBm]

#### VALORES DE UMBRAL EN ONT:

- Potencia Mínima de Emisión: +0,5 [dBm]
- Potencia Máxima de Emisión: +5 [dBm]
- Sensibilidad Mínima: -27 [dBm]
- Saturación en Rx: Para Potencia recibida mayor a -8 [dBm]

En la tabla 5.2 se puede observar las pérdidas promedio por *splitter* de acuerdo a número de vías:

| <i>Splitter</i> | Atenuación (dB) |
|-----------------|-----------------|
| 1:2             | 4,3             |
| 1:4             | 7,6             |
| 1:8             | 11,1            |
| 1:16            | 14,1            |
| 1:32            | 17,5            |
| 1:64            | 20,8            |
| 2:4             | 7,9             |
| 2:8             | 11,5            |
| 2:16            | 14,8            |
| 2:32            | 18,5            |
| 2:64            | 21,3            |

Tabla 5.2: Atenuación *splitters*.

Fuente: (UIT, Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2012).

Para el margen de resguardo, se establece un valor de 3 dB, este margen tiene por objeto absorber las posibles modificaciones que se presenten a futuro en el tendido de la red y que impliquen aumento en la atenuación de las ODN. Pérdidas adicionales por Inserción, estas pérdidas corresponden a valores promedios para cada uno de estos componentes ópticos pasivos:

- Empalmes: 0,15 [dB]. Se considera un promedio de 1 empalme por cada 2 km.
- Conectores: 0,5 [dB].
- ODF: 0,5 [dB].

**La distancia máxima entre OLT y ONT no debe superar los 20 Km:** la suma de la longitud de FO *feeder*, más la FO Distribución, más la FO de última milla no debe ser mayor a 20 km, para el *feeder* se debe considerar la ruta de mayor longitud en el cálculo, ya sea la ruta principal o la de respaldo. Esta restricción obedece a la necesidad que tiene la OLT de absorber las diferencias de retardo que se pueden presentar entre las ONT instaladas a distintas distancias y/o atenuaciones, para una misma puerta PON.

**La atenuación máxima de la red ODN no debe superar los 28 dB.** Esta restricción obedece a los umbrales de trabajos de los equipos OLT y ONT. Para cumplir con el objetivo planteado, se considera para estos efectos el peor caso en cuanto a niveles de atenuación. Las especificaciones anteriores son consideradas para enlaces en línea de cable *feeder*, pero que sucede cuando el enlace es tipo anillo, en relación a la longitud de los anillos del *feeder*, se debe tener presente que mientras más largo es el anillo, se reduce el rango de acción donde se pueden instalar los *splitter*, con un tope máximo de 40 Km, tal como se muestra en la figura 5.3:

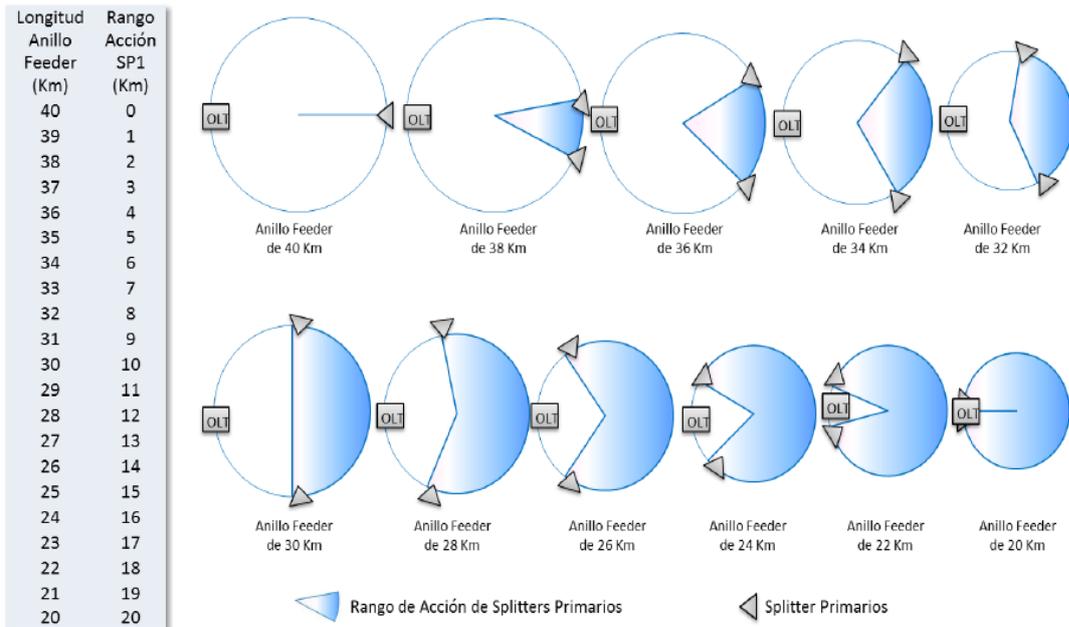


Figura 5.3: Anillos Feeder.

Fuente: (ASETA, 2012).

Basándose en las consideraciones previamente indicadas, se genera una plantilla de cálculo a partir de la cual se obtienen resultados que se resumen en la tabla 5.4:

| Longitud ODN (Km): Feeder + Distribución + Ultima Milla |       |       |      |       |              |              |         |
|---|-------|-------|------|-------|--------------|--------------|---------|
| 2   | 5     | 10    | 15   | 20    |              |              |         |
| ATENUACIÓN ODN (dB)                                     |       |       |      |       | 1er Splitter | 2do Splitter | Accesos |
| 14,4  | 15,05 | 16,75 | 18,3 | 20,14 | 2:4          |              | 4       |
| 18,7  | 19,35 | 21,05 | 22,6 | 24,44 |              | 1:2          | 8       |
| 22  | 22,65 | 24,35 | 25,9 | 27,74 |              | 1:4          | 16      |
| 25,5  | 26,15 | 27,85 |      |       |              | 1:8          | 32      |
| 18  | 18,65 | 20,35 | 21,9 | 23,74 | 2:8          |              | 8       |
| 22,3  | 22,95 | 24,65 | 26,2 | 28,04 |              | 1:2          | 16      |
| 25,6  | 26,25 | 27,95 |      |       |              | 1:4          | 32      |
|   |       |       |      |       |              | 1:8          | 64      |
| 21,3  | 21,95 | 23,65 | 27,2 | 27,04 | 2:16         |              | 16      |
| 25,6  | 26,25 | 27,95 |      |       |              | 1:2          | 32      |
|   |       |       |      |       |              | 1:4          | 64      |
|   |       |       |      |       |              | 1:8          | 128     |
| 25  | 25,65 | 27,35 |      |       | 2:32         |              | 32      |
|   |       |       |      |       |              | 1:2          | 64      |
|   |       |       |      |       |              | 1:4          | 128     |
|   |       |       |      |       |              | 1:8          | 256     |

Tabla 5.4: Plantilla de Cálculo GPON.

Fuente: El Autor.

La lectura de ésta tabla nos indica la distancia máxima en kilómetros que puede tomar la ODN, así como los niveles de atenuación por distancia de acuerdo a la cantidad de vías de salida que se desea obtener en el diseño, salidas que vienen condicionadas por la cantidad de los *splitters* que se deban utilizar.

## **5.4 CRITERIOS DE DISEÑO.**

### **5.4.1 LARGO DE LA FIBRA ÓPTICA.**

La distancia máxima del *feeder* de FO (entre OLT y *splitter* Primario) quedará definida por el cálculo del presupuesto del proyecto, este valor no debe superar los 28 dB de pérdidas, incluido 3 dB de margen de seguridad. Como recomendación se permiten hasta 3 empalmes en su extensión, en la práctica la red existente puede presentar mayor número de empalmes. La longitud de fibra óptica entre *splitters* quedará determinada por un nuevo cálculo entre el punto de concentración de Demanda (ubicación del *splitter* secundario) y el *splitter* primario. En lo que concierne al cable de fibra óptica para la acometida desde caja de distribución óptica, la longitud máxima será de 300 metros.

### **5.4.2 SPLITTERS.**

Para los diferentes modelos de la topología GPON planteados, se recomiendan hasta dos niveles de *splitter*, ya que con la instalación de un 3° nivel aumentan las pérdidas, lo que reduce la longitud de la fibra, para cumplir el umbral de pérdidas. La razón de división dependerá de la demanda y ubicación del *splitter* óptico.

El *splitter* Óptico Primario será del tipo fusionado en algunos escenarios y modular en otros. Siempre será modular el *splitter* de 1° Nivel cuando sea

instalado en un Edificio de Oficinas. El *splitter* Óptico de 2° Nivel, será siempre fusionado para demanda horizontal, como por ejemplo en parques industriales.

La razón de división de los *splitters* primarios será de baja razón en los casos de ambientes comerciales e industriales. Como por ejemplo, 2:4, 2:8, en cambio para ambiente móvil el *splitter* primario debe ser de razón 2:8 y en casos excepcionales de razón 2:16.

### 5.4.3 PROTECCIÓN Y SEGURIDAD.

Se definen en función del tipo de cliente y los perfiles de usuarios potenciales que se atenderán con determinada topología. La recomendación de protección se basa en redundancia óptica en el sistema de alimentación primaria (cable *feeder*). Para alta demanda en ambiente Corporativo (Edificios y Parque Industriales) y Móvil, la recomendación de protección queda definida con la utilización de *splitter* de redundancia primaria interconectados, de tal modo que al coexistir muchos *splitter* de 1° Nivel, queden interconectados en anillos ópticos. Un ejemplo de redundancia óptica se muestra en la figura 5.5.

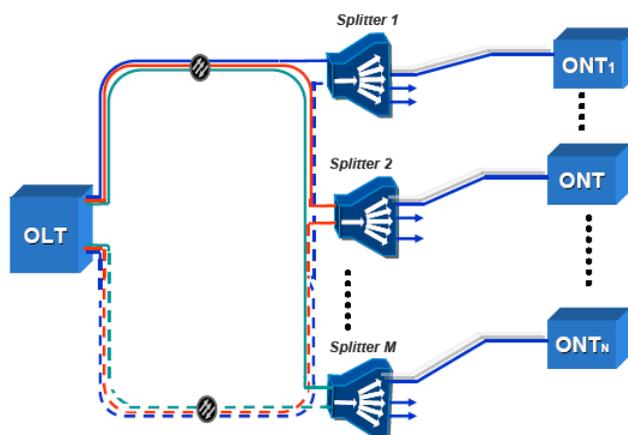


Figura 5.5: Redundancia óptica.

Fuente: (UIT, Recomendación G.984.1, 2012).

## 5.5 ANÁLISIS INVERSIÓN-RENTABILIDAD.

Lo primero que se debe tomar en cuenta al momento de diseñar y construir una red de acceso de fibra óptica es la ODN y la ubicación de la OLT, de manera que la inversión de Capital (CAPEX) cumpla la norma de 60% una inversión anticipada de la OLT (que incluye las tarjetas PON) y un complemento de la inversión de un 40% contra demanda confirmada, que incluye la acometida de FO al cliente y el terminal ONT. La ODN puede diseñarse y construirse en forma totalmente independiente del fabricante de equipos activos (OLT, Tarjetas y ONT), pero siempre que se pueda deberá construirse en forma aérea en lugar de subterránea, para disminuir su CAPEX. Obviamente al existir redes subterráneas disponibles estas deberá preferirse a la red aérea. Detalles de las etapas del CAPEX de una red GPON se muestran en la figura 5.6.

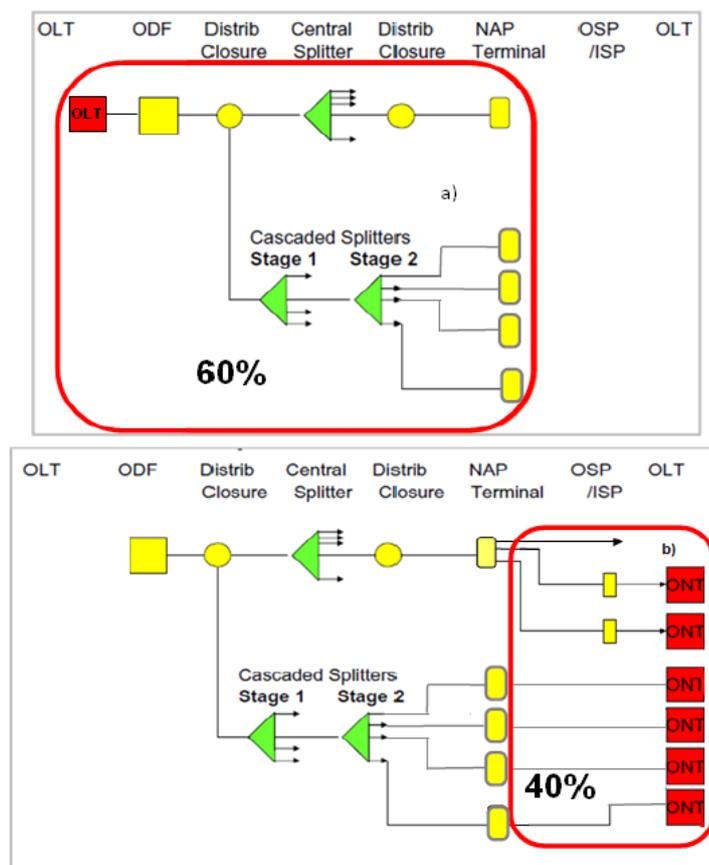


Figura 5.6: CAPEX.

Fuente: (UIT, Recomendación G.984.1, 2012).

Desde el punto de vista de las pérdidas (dB), da lo mismo que el divisor óptico esté cercana a la URA, en la ODN o muy cerca del cliente. Sin embargo, siempre que se pueda, se debe colocar el divisor óptico o la última de las etapas de división óptica (segundo *splitter*), lo más cerca del cliente posible a fin de minimizar la cuenta de fibras-kilómetro en la ODN, reducir el costo de cables y simplificar su manejo.

En caso de tratarse de un edificio de oficinas, el divisor óptico o la última etapa de división óptica, puede colocarse en el subterráneo del edificio. En este caso, se debe alojar el divisor óptico en un gabinete hermético o armario. La ubicación recomendada del divisor óptico o *splitter* se muestra en la figura 5.7.

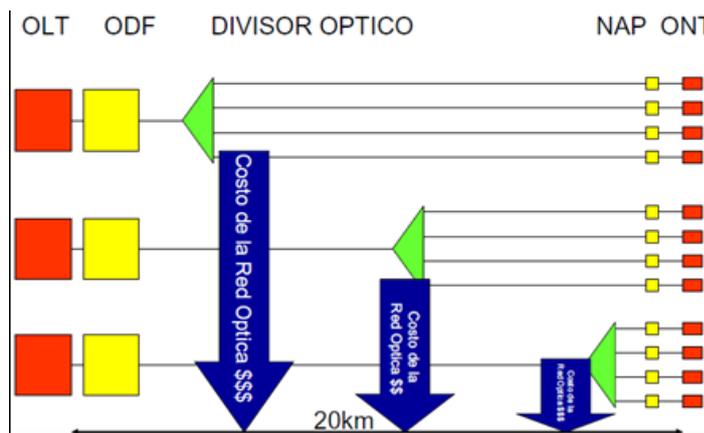


Figura 5.7: Ubicación *Splitter*.

Fuente: (UIT, Recomendación G.984.1, 2012).

En los casos en que se provea redundancia óptica según lo admitido en ITU-T- G 984.1, se recomienda optar por el modelo OLT *Only Duplex*, para minimizar costos del CAPEX en el ODN y tarjetas de OLT y ONT. Esto se debe definir en función de la cantidad de tráfico que agregue la OLT, el número de clientes y el tipo de SLA (*Service Level Agreement*) contratado.

## 5.6 PRESENTACIÓN DEL DISEÑO.

En este capítulo se presenta el esquema básico de diseño de redes de acceso de fibra óptica hasta el usuario final (FTTH) utilizando el estándar GPON para clientes masivos y corporativos bajo los siguientes parámetros predeterminados:

- Fibra Óptica *Feeder* o Alimentación: G.652D.
- Fibra Óptica de Distribución (*Riser* en edificios): G.652D.
- Fibra Óptica *Drop* o Acometida o Última Milla: G.657A
- Atenuación Fibra Óptica G.652D y G.657A: 0.35 dB/Km.
- Perdida por fusión: 0.3 dB.
- Perdida por conector: 0.5 dB.
- Longitud máxima de fibra óptica ODN (*Feeder* + Distribución + Última Milla): de acuerdo al cálculo establecido en la Figura 5.4 considerando no rebasar el nivel de umbral permitido 28 dB.
- *Splitters* primarios y secundarios: de acuerdo al modelo, requerimiento del usuario o cantidad de abonados, atenuación ver Figura 5.2.

### 5.6.1 DISEÑO MASIVO-MULTIACCESOS.

En el esquema de la figura 5.8 se detalla una red GPON para clientes Masivos tomando en consideración el cálculo respectivo que se muestra en la tabla 5.9. La red cuenta con una OLT, un ODF, un solo *splitter* primario de 32 vías, una caja terminal, una roseta óptica y una ONT, la ONT y la roseta se ubican en el usuario final, la OLT y el ODF se ubican en una central de servicio.

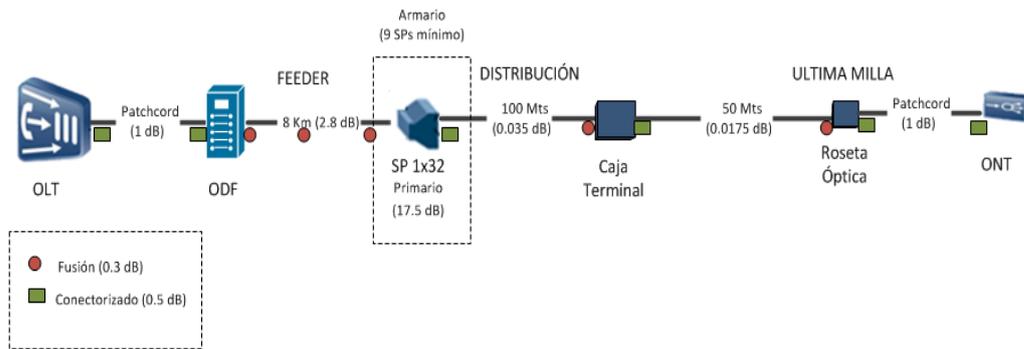


Figura 5.8: Diseño Masivo-Multiaccesos.

Fuente: El Autor.

| CALCULO FTTH - DISEÑO MASIVOS-VILLAS |       |            |                      |       |            |                 |               |       |            |               |
|--------------------------------------|-------|------------|----------------------|-------|------------|-----------------|---------------|-------|------------|---------------|
| Splitter Primario: 1x32              |       |            | Splitter Secundario: |       |            | ODN             |               |       |            | TOTAL AT (dB) |
| AT SP (dB)                           | KM FO | AT FO (dB) | AT SP (dB)           | KM FO | AT FO (dB) | Conectores (dB) | Fusiones (dB) | KM FO | AT FO (dB) |               |
| 17,5                                 | 8     | 2,8        | 0                    | 0     | 0          | 3               | 1,5           | 0,15  | 0,0525     | 24,8525       |

Tabla 5.9: Cálculo del Diseño Masivo-Multiaccesos.

Fuente: El Autor.

### 5.6.2 DISEÑO MASIVO-EDIFICIOS.

En el esquema de la figura 5.10 se describe una red GPON para clientes Masivos, ubicados en edificios, tomando en consideración el cálculo respectivo que se muestra en la tabla 5.11. La red cuenta con una OLT, un ODF, un solo *splitter* primario de 32 vías, una caja de piso, una roseta óptica y una ONT, la ONT y la roseta se ubican en el departamento del usuario final, la OLT y el ODF se ubican en un cuarto de telecomunicaciones dentro del edificio.

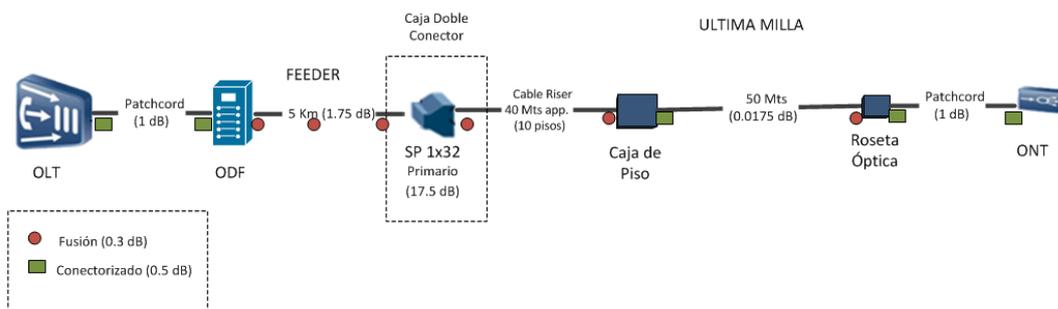


Figura 5.10: Diseño Masivo-Edificios.

Fuente: El Autor.

| CALCULO FTTH - DISEÑO MASIVOS-EDIFICIOS |       |            |                      |       |            |                 |               |       |            |               |
|---|-------|------------|----------------------|-------|------------|-----------------|---------------|-------|------------|---------------|
| Splitter Primario: 1x32                 |       |            | Splitter Secundario: |       |            | ODN             |               |       |            | TOTAL AT (dB) |
| AT SP (dB)                              | KM FO | AT FO (dB) | AT SP (dB)           | KM FO | AT FO (dB) | Conectores (dB) | Fusiones (dB) | KM FO | AT FO (dB) |               |
| 17,5                                    | 5     | 1,75       | 0                    | 0     | 0          | 2,5             | 1,8           | 0,09  | 0,0315     | 23,5815       |

Tabla 5.11: Cálculo del Diseño Masivo-Edificios.

Fuente: El Autor.

### 5.6.3 DISEÑO CORPORATIVO-EDIFICIOS.

En el esquema de la figura 5.12 se representa una red GPON para clientes Corporativos tomando en consideración el cálculo respectivo que se muestra en la tabla 5.13. La red cuenta con una OLT, un ODF, un *splitter* primario de 4 vías, un *splitter* secundario de 8 vías, una caja de piso, una roseta óptica y una ONT, la ONT y la roseta se ubican en el departamento u oficina del usuario final, la OLT y el ODF se ubican en un cuarto de telecomunicaciones dentro del edificio.

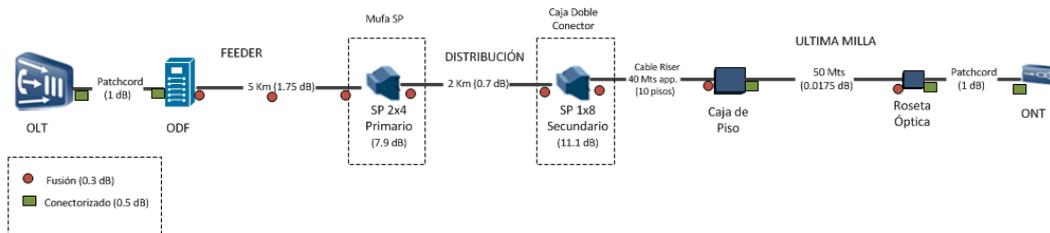


Figura 5.12: Diseño Corporativo-Edificios.

Fuente: El Autor.

| CALCULO FTTH - DISEÑO CORPORATIVO-EDIFICIOS |       |            |                          |       |            |                 |               |       |            |               |
|---|-------|------------|--------------------------|-------|------------|-----------------|---------------|-------|------------|---------------|
| Splitter Primario: 2x4                      |       |            | Splitter Secundario: 1x8 |       |            | ODN             |               |       |            | TOTAL AT (dB) |
| AT SP (dB)                                  | KM FO | AT FO (dB) | AT SP (dB)               | KM FO | AT FO (dB) | Conectores (dB) | Fusiones (dB) | KM FO | AT FO (dB) |               |
| 7,9   | 5     | 1,75       | 11,1                     | 2     | 0,7        | 2,5             | 2,4           | 0,09  | 0,0315     | 26,3815       |

Figura 5.13: Cálculo del Diseño Corporativo-Edificios.

Fuente: El Autor.

## CONCLUSIONES.

- Se realizó exitosamente el diseño de una red de acceso de fibra óptica FTTH (hasta el usuario final) utilizando el estándar GPON para clientes masivos y corporativos que permite brindar servicios convergentes como *Triple Play* (telefonía, internet y televisión).
- Se describió los principios de funcionamiento y parámetros fundamentales de los servicios convergentes *Triple Play*.
- Se detalló los fundamentos técnicos y teóricos de la Televisión Analógica y Digital.
- Se especificó los principios de funcionamiento y parámetros principales de la redes de acceso de fibra óptica hasta el usuario final FTTH.
- Se Justificó el uso del estándar GPON en las redes de acceso de fibra óptica FTTH, permitiendo llegar con fibra el usuario final y poder brindar servicios convergentes *Triple Play* de buena calidad.
- Se llegó a la conclusión de que el diseño propuesto, así como el cálculo respectivo y los parámetros establecidos, son criterios aplicables en redes de acceso de fibra óptica para casas, edificios, urbanizaciones y otras diferentes infraestructuras civiles que requieran fibra óptica hasta el usuario final.
- Finalmente, se concluyó y justificó que se ha cumplido con entera satisfacción los objetivos principales de la presente tesis que deriva en un documento que permite ampliar los conocimientos de las redes FTTH-GPON y que sirva como manual a los proyectistas de redes de accesos que deseen diseñar redes de fibra óptica hasta el usuario final.

## RECOMENDACIONES

- La distancia máxima de la red ODN, es decir, la distancia o longitud de tendido de fibra óptica entre la OLT y ONT no debe superar los 20 Km. La medida de 20 Km es un valor definido para el estándar GPON, sin embargo, la longitud de fibra óptica depende del cálculo de la atenuación máxima del enlace, que no debe sobrepasar el de 28 dB, esta restricción obedece a los umbrales de trabajos de los equipos OLT y ONT.
- El cable de fibra óptica de distribución entre el “splitter” primario y secundario siempre debe ser nuevo y exclusivo para la red GPON, de tal modo que nunca se mezcle con enlaces de fibra óptica punto a punto., con la finalidad de mantener un óptimo funcionamiento de la red.
- Para la presente investigación sólo se permiten dos niveles de “splitters”, un tercer nivel de “splitters” aumenta las pérdidas y reduce la distancia del enlace de fibra óptica.
- Con el fin de no introducir pérdidas adicionales no consideradas, se recomienda tener los cuidados propios de la manipulación y operación de fibra óptica, por ejemplo, limpieza de conectores, cortes de fibra compatibles, etc.
- Se debe tener mucho cuidado el momento de realizar fusiones o empalmes, la correcta implementación del tendido de fibra óptica deriva en una red que funcione correctamente.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ASETA. (2012). *Asociación de Empresas de Telecomunicaciones de la Comunidad Andina*. Recuperado el 2012, de <http://www.aseta.org/>
2. Burguete, C. G. (2002). *Sistemas de Televisión por Cable*. Recuperado el 2011, de CINIT: <http://www.cinit.org.mx/>
3. Cervantes, M., Pesantez, D., Rosales, G., & Aranda, A. I. (2011). *Diseño de seguridad en una Red GEPON orientada a servicios X-Play*. Recuperado el 2012, de <http://www.dspace.espol.edu.ec>
4. CNT. (2012). Corporación Nacional de Telecomunicaciones E.P. *Normativa de Diseño de la ODN*. Ecuador.
5. CNT. (2012). Corporación Nacional de Telecomunicaciones E.P. *Normativa de Construcción de la ODN*. Ecuador.
6. Conectronica. (2009). *Tecnología y Elementos de Conexión y Conectividad*. Recuperado el 2011, de <http://www.conectronica.com>
7. Constantino Perez Vega, J. M. (2003). *Fundamentos de Televisión Analógica y Digital*. Universidad de Cantabria.
8. de León, O. (2009). *Perspectivas de las tecnologías de telecomunicaciones y sus implicancias en los mercados y marcos regulatorios en los países de América Latina y el Caribe*. Recuperado el 2012, de <http://www.eclac.org>
9. EXFO. (2012). *Telecom Test and Service Assurance*. Recuperado el 2012, de <http://www.exfo.com/en/index.aspx>
10. Ezequiel Chan, E. L. (2010). *Redes para "Triple Play"*. Recuperado el 2011, de [svn2.assembla.com/svn/UNLu/TyR/.../3\\_T\\_2010\\_redes\\_para\\_tipleplay.pdf](svn2.assembla.com/svn/UNLu/TyR/.../3_T_2010_redes_para_tipleplay.pdf)
11. FOA. (2012). *The Fiber Optic Association Inc*. Recuperado el 2012, de <http://www.thefoa.org>
12. Furukawa. (2012). Recuperado el 2012, de [http://www.furukawa.com.br/portal/page?\\_pageid=813,1&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://www.furukawa.com.br/portal/page?_pageid=813,1&_dad=portal&_schema=PORTAL)
13. Gutiérrez Vargas, E. (2007). *Análisis de la tecnología IPTV, articulación de propuesta para la implementación de un plan piloto*. Recuperado el 2012, de [http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb07\\_II/pb0720t.pdf](http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb07_II/pb0720t.pdf)

14. Hintze. (2012). *Hintze ITC S.A.* Recuperado el 2012, de [www.hintzeitc.com/tripleplay.pdf](http://www.hintzeitc.com/tripleplay.pdf)
15. IEEE. (2012). *The IEEE Standards Association.* Recuperado el 2012, de <http://standards.ieee.org>
16. Julio Alba Soto, R. J. (2006). *Triple Play.* Recuperado el 2011, de Ramón Millán: <http://www.ramonmillan.com/tutoriales/tripleplay.php>
17. Millán Tejedor, R. J. (2010). *Tecnologías de banda ancha por fibra óptica.* Recuperado el 2012, de Ramón Millán: <http://www.ramonmillan.com/tutoriales/bandaanchafibraoptica.php>
18. Panos Kampanakis, M. K. (s.f.). *Triple Play – A survey.* Recuperado el 2011, de <http://www4.ncsu.edu/~mgkallit/files/3PReportTechnical1.4.pdf>
19. Perez Vega, C. (2005). *Compresión de Video.* Recuperado el 2012, de <http://personales.unican.es/perezvr/pdf/Compresion%20de%20video.pdf>
20. Pérez Vega, C. (2005). *Introducción a los Sistemas Transmisores de TV.* Recuperado el 2012, de <http://personales.unican.es/perezvr/pdf/Introduccion%20a%20los%20sistemas%20transmisores%20de%20TV.pdf>
21. Perez Vega, C. (2005). *La Señal Digital de Video.* Recuperado el 2012, de <http://personales.unican.es/perezvr/pdf/Se%C3%B1al%20digital%20de%20video.pdf>
22. Pérez Vega, C. (2005). *Transmisión de Televisión Digital.* Recuperado el 2012, de <http://personales.unican.es/perezvr/pdf/Estandares%20de%20transmision%20digital.pdf>
23. Televes. (2012). Recuperado el 2012, de <http://www.televes.com>
24. TFO, T. e. (2011). *Solución integral de despliegue de redes FTTH.* Recuperado el 2012, de <http://www.tfosolutions.com>
25. UIT. (2012). *Recomendación G.984.1.* Recuperado el 2012, de Redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits: Características generales: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1/es>
26. UIT. (2012). *Recomendación G.984.2.* Recuperado el 2012, de Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.2/es>
27. UIT. (2012). *Recomendación G.984.3.* Recuperado el 2012, de Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa de convergencia de transmisión: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.3/es>

28. UIT. (2012). *Recomendación G.984.4*. Recuperado el 2012, de Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la interfaz de control y gestión de la terminación de red óptica: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.4/es>
29. UIT. (2012). *Recomendación G.984.5*. Recuperado el 2012, de Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Banda de ampliación: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.5/es>
30. UIT. (2012). *Unión Internacional de Telecomunicaciones*. Recuperado el 2012, de <http://www.itu.int/es/Pages/default.aspx>

## **GLOSARIO.**

**ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*).**- Consiste en una transmisión analógica de datos digitales apoyada en el par de cobre que lleva la línea telefónica convencional o línea de abonado, siempre y cuando la longitud de línea no supere los 5,5 km medidos desde la central telefónica, o no haya otros servicios por el mismo cable que puedan interferir.

**ATM (*Asynchronous Transfer Mode*).**- Es una tecnología de telecomunicación desarrollada para hacer frente a la gran demanda de capacidad de transmisión para servicios y aplicaciones.

**ATSC (*Advanced Television System Committee*).**- Es el grupo encargado del desarrollo de los estándares de la televisión digital en los Estados Unidos.

**CDMA (*Code Division Multiple Access*).**- Es un término genérico para varios métodos de multiplexación o control de acceso al medio basados en la tecnología de espectro expandido.

**DOCSIS (*Data Over Cable Service Interface Specification*).**- Se trata de un estándar no comercial que define los requisitos de la interfaz de comunicaciones y operaciones para los datos sobre sistemas de cable, lo que permite añadir transferencias de datos de alta velocidad a un sistema de televisión por cable.

**DVB (*Digital Video Broadcasting*).**- Es una organización que promueve estándares aceptados internacionalmente de televisión digital, en especial para HDTV y televisión vía satélite, así como para comunicaciones de datos vía satélite.

**EDGE (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*).**- Es una tecnología de telefonía móvil celular, que actúa como puente entre las redes 2G y 3G.

EDGE se considera una evolución del GPRS (*General Packet Radio Service*). Esta tecnología funciona con redes GSM.

**FTTH (*Fiber To The Home*).**- Esta tecnología de telecomunicaciones se basa en la utilización de cables de fibra óptica y sistemas de distribución ópticos adaptados para la distribución de servicios avanzados, como el *Triple Play*: telefonía, Internet de banda ancha y televisión, a los hogares y negocios de los abonados.

**GPON (*Gigabit-capable Passive Optical Network*).**- Se trata de las estandarizaciones de las redes PON a velocidades superiores a 1 Gbps, fue aprobada en 2003-2004 por ITU-T en las recomendaciones G.984.1, G.984.2, G.984.3, G.984.4 y G.984.5.

**HFC (*Hybrid Fiber Coaxial*).**- Es un término que define una red que incorpora tanto fibra óptica como cable coaxial para crear una red de banda ancha. Esta tecnología permite el acceso a internet de banda ancha utilizando las redes CATV existentes.

**HSPA (*High-Speed Packet Access*).**- Es la combinación de tecnologías posteriores y complementarias a la tercera generación de telefonía móvil (3G).

**IGMP (*Internet Group Management Protocol*).**- Es un protocolo de red que se utiliza para intercambiar información acerca del estado de pertenencia entre enrutadores IP.

**IPTV (*Internet Protocol Television*).**- Se ha convertido en la denominación más común para los sistemas de distribución por suscripción de señales de televisión o video usando conexiones de banda ancha sobre el protocolo IP.

**ITU (*International Telecommunication Union*).**- Son las siglas de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, organismo especializado de la Organización de las Naciones Unidas encargado de regular las telecomunicaciones a nivel internacional entre las distintas administraciones y empresas operadoras.

**ISDB (*Integrated System Digital Broadcasting*).**- Es un conjunto de normas creado por Japón para las transmisiones de radio digital y televisión digital.

**LMDS (*Local Multipoint Distribution Service*).**- Es una tecnología de conexión vía radio inalámbrica que permite, gracias a su ancho de banda, el despliegue de servicios fijos de voz, acceso a Internet, comunicaciones de datos en redes privadas, y video bajo demanda.

**MPLS (*Multiprotocol Label Switching*).**- Es un protocolo diseñado para unificar el servicio de transporte de datos para las redes basadas en circuitos y las basadas en paquetes. Puede ser utilizado para transportar diferentes tipos de tráfico, incluyendo tráfico de voz y de paquetes IP.

**OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*).**- La Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales, es una multiplexación que consiste en enviar un conjunto de ondas portadoras de diferentes frecuencias, donde cada una transporta información, la cual es modulada en QAM o en PSK.

**OSI (*Open System Interconnection*).**- Es el modelo de red descriptivo, que fue creado por la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) en el año 1984. Es un marco de referencia para la definición de arquitecturas en la interconexión de los sistemas de comunicaciones.

**PLC (*Power Line Communications*).**-, Son comunicaciones mediante cable eléctrico y que se refiere a diferentes tecnologías que utilizan las líneas de energía eléctrica convencionales para transmitir señales de radio para propósitos de comunicación. La tecnología PLC aprovecha la red eléctrica para convertirla en una línea digital de alta velocidad de transmisión de datos, permitiendo, entre otras cosas, el acceso a Internet mediante banda ancha.

**STB (Set Top Box).**- Es el nombre con el que se conoce el dispositivo encargado de la recepción y opcionalmente decodificación de señal de televisión analógica o digital (DTV), para luego ser mostrada en un dispositivo de televisión.

**TDM (Time Division Multiplexing).**- La multiplexación por división de tiempo es una técnica que permite la transmisión de señales digitales y cuya idea consiste en ocupar un canal, normalmente de gran capacidad, de transmisión a partir de distintas fuentes, de esta manera se logra un mejor aprovechamiento del medio de transmisión.

**TDMA (Time Division Multiple Access).**- El Acceso múltiple por división de tiempo es una técnica de multiplexación que distribuye las unidades de información en ranuras (*slots*) alternas de tiempo, proveyendo acceso múltiple a un reducido número de frecuencias.

**UMTS (Universal Mobile Telecommunications System).**- Es una de las tecnologías usadas por los móviles de tercera generación, sucesora de GSM, debido a que la tecnología GSM propiamente dicha no podía seguir un camino evolutivo para llegar a brindar servicios considerados de tercera generación.

**VoIP (Voice over IP).**- Es un grupo de recursos que hacen posible que la señal de voz viaje a través de Internet empleando un protocolo IP (Protocolo de Internet). Esto significa que se envía la señal de voz en forma digital, en paquetes de datos, en lugar de enviarla en forma analógica a través de circuitos utilizables sólo por telefonía convencional como la Red Telefónica Pública Conmutada.

**xDSL (Digital Subscriber Line).**- Es un término utilizado para referirse de forma global a todas las tecnologías que proveen una conexión digital sobre línea de abonado de la red telefónica básica o conmutada.

**WDM (*Wavelength Division Multiplexing*).**- La multiplexación por división de longitud de onda es una tecnología que multiplexa varias señales sobre una sola fibra óptica mediante portadoras ópticas de diferente longitud de onda, usando luz procedente de un láser o un LED.

**WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*).**- Es una norma de transmisión de datos que utiliza las ondas de radio en las frecuencias de 2,3 a 3,5 GHz y puede tener una cobertura de hasta 60 km.

**Wi-Fi (*Wireless Fidelity*).**- Es una tecnología de comunicación inalámbrica desarrollada por *Wi-Fi Alliance*, organización comercial que adopta, prueba y certifica que los equipos cumplan los estándares 802.11 relacionados a redes inalámbricas de área local.

## **TERMINOLOGÍA.**

ADSL.- Asymmetric Digital Subscriber Line.

ATM.- Asynchronous Transfer Mode.

ATSC.- Advanced Television System Committee.

CATV.- Community Antenna Television.

CDMA.- Code Division Multiple Access.

DBA.- Dynamic Bandwidth Allocation.

DOCSIS.- Data Over Cable Service Interface Specification.

DVB.- Digital Video Broadcasting.

EDGE.- Enhanced Data rates for GSM Evolution.

FTTH.- Fiber To The Home.

GEM.- GPON Encapsulation Method.

GPON.- Gigabit-capable Passive Optical Network.

GPRS.- General Packet Radio Service.

GSM.- Global System for Mobile communications.

HFC.- Hybrid Fiber Coaxial.

HSDPA.- High-Speed Downlink Packet Access.

HDTV.- High Definition Television.

HSPA.- High-Speed Packet Access.

HSUPA.- High-Speed Uplink Packet Access.

IGMP.- Internet Group Management Protocol.

IP.- Internet Protocol.

IPTV.- Internet Protocol Television.

ISDB.- Integrated System Digital Broadcasting.

LTE.- Long Term Evolution.

LMDS.- Local Multipoint Distribution Service.

MPEG.- Moving Picture Experts Group.

MPLS.- Multiprotocol Label Switching.

ODF.- Optical Distribution Frame.

ODN.- Optical Distribution Network.

OLT.- Optical Line Terminal.

ONT.- Optical Network Terminal.

OSI.- Open System Interconnection.

PLC.- Power Line Communications.

PPV.- Pay Per View.

RTP.- Real-Time Transport Protocol.

RTCP.- Real Time Control Protocol.

RTSP.- Real Time Streaming Protocol.

SIP.- Session Initiation Protocol.

STB.- Set Top Box.

TDMA.- Time Division Multiple Access.

UDP.- User Datagram Protocol.

UIT.- Unión Internacional de Telecomunicaciones.

UMTS.- Universal Mobile Telecommunications System.

VoD.- Video On Demand

VoIP.- Voice Over IP.

xDSL.- Digital Subscriber Line.

WDM.- Wavelength Division Multiplexing.

WiMAX.- Worldwide Interoperability for Microwave Access.

Wi-Fi.- Wireless Fidelity.