



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
VICERRECTORADO ACADÉMICO
ESTUDIOS DE POSTGRADO
ÁREA DE INGENIERÍA
POSTGRADO INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**FACTIBILIDAD DE CONVERGENCIA DE REDES DE ACCESO DE PROXIMA
GENERACIÓN EN REDES FTTX USANDO TECNOLOGIA DE LA
FAMILIA XPON SOBRE REDES HEREDADAS**

Presentado por:

Perez Segredo, Estefany Carolina

Para optar al título de:

Especialista de Telecomunicaciones

Asesor:

Berardo DiAttanasio

Caracas, Marzo de 2019

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
VICERRECTORADO ACADÉMICO
ESTUDIOS DE POSTGRADO
ÁREA DE INGENIERÍA
POSTGRADO INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**FACTIBILIDAD DE CONVERGENCIA DE REDES DE ACCESO DE PROXIMA
GENERACIÓN EN REDES FTTX USANDO TECNOLOGIA DE LA
FAMILIA XPON SOBRE REDES HEREDADAS**

Presentado por:

Perez Segredo, Estefany Carolina

Para optar al título de:

Especialista de Telecomunicaciones

Asesor:

Berardo DiAttanasio

Caracas, Marzo de 2019

Evaluación de Trabajo Especial de Grado de Especialista

TÍTULO DEL TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: "FACTIBILIDAD DE CONVERGENCIA DE REDES DE ACCESO DE PRÓXIMA GENERACIÓN EN REDES FTTX USANDO TECNOLOGÍA DE LA FAMILIA XPON SOBRE REDES HEREDADAS"	Autor del Trabajo Especial de Grado: ESTEFANY PÉREZ C.I. Nro. 19.826.906
Postgrado: INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES	ESPECIALISTA

Instrucciones: Esta es una lista de chequeo para facilitar la expresión de la opinión de los árbitros en relación con los Trabajos de Grado que le son dados a evaluar. Si tiene dudas en relación al sentido de las cuestiones, en el reverso se da una breve explicación de cada rubro. Por favor, responda a todas las cuestiones propuestas, marcando la nota en la casilla que mejor refleje su impresión.

A EVALUAR SÓLO POR EL ASESOR		0-20 pts
Calidad del trabajo		19
Cumplimiento de tareas		19
Planificación y Organización		18
Puntualidad y asistencia		17
A EVALUAR POR EL ASESOR Y POR EL JURADO		
Claridad del título		20
Relación entre el título y el contenido		20
Adecuación de la formulación del problema / objetivo (s)		20
Congruencia del problema/objetivo(s) con el grado al cual opta		20
Relevancia del problema / objetivo(s)		20
Grado de relación entre el problema/objetivo(s) y el marco teórico		19
Consistencia entre la hipótesis y el problema		19
Vigencia de las referencias bibliográficas		19
Cobertura y adecuación de la revisión bibliográfica		19
Pertinencia del tipo de investigación seleccionado		20
Conveniencia de la definición de variables		20
Pertinencia del procedimiento		20
Adecuación de la muestra		19
Propiedad del modo de levantamiento de información		20
Procedencia de las(s) técnica(s) para el análisis de la información		19
Adecuación de la forma de presentar los resultados		20
Logro de la redacción		19
Cumplimiento de los aspectos formales del manuscrito		19
Apego a la forma de elaborar las referencias bibliográficas		19
Conveniencia de la estructura del manuscrito		20
Promedio simple (valor entero) de las notas colocadas en las casillas		19

Nombre del Evaluador: BERARDO D. ATIENZA	Firma: 	Fecha: 07/03/2019
---	--	----------------------

CARTA DE ACEPTACIÓN DEL ASESOR

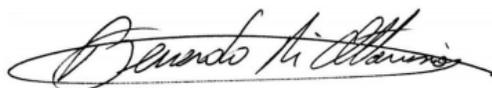
Universidad Católica Andrés Bello

Dirección de Postgrado de Ingeniería

Presente.-

Por medio de la presente, hago constar que he leído el Trabajo Especial de Grado presentado por **Perez Segredo, Estefany Carolina**, para optar al grado de **“Especialista de Telecomunicaciones“**, cuyo título es **“FACTIBILIDAD DE CONVERGENCIA DE REDES DE ACCESO DE PROXIMA GENERACIÓN EN REDES FTTX USANDO TECNOLOGIA DE LA FAMILIA XPON SOBRE REDES HEREDADAS”**; y manifiesto que cumple con los requisitos exigidos por la Dirección General de los Estudios de Postgrado de la Universidad Católica Andrés Bello; y que, por lo tanto, lo considero apto para ser evaluado por el jurado que se decida designar a tal fin.

En la ciudad de Caracas, a los 31 días del mes de Febrero de 2019.



Prof. Berardo DiAttanasio

C.I: 5.418.846

LISTA DE ACRÓNIMOS Y SIGLAS

- ADS** Servicio digital adicional
- ADSL** Línea asimétrica de abonado digital (basada en cobre)
- APC** Contacto físico en ángulo/ conector pulido en ángulo
- APD** Fotodiodo de avalancha (detector)
- ATM** Protocolo de modo de transferencia asíncrona
- BER** Velocidad de transferencia de bits erróneos
- BLEC** Portadora de cambio local de edificios
- BPON** Red óptica pasiva de banda ancha
- CANTV** Compañía Anónima Nacional Teléfonos de Venezuela
- CD** Dispersión cromática
- CDMA** Acceso múltiple con detección de colisión
- CLEC** Portadora de cambio local competitiva
- CO** Oficina central
- CONATEL** Comisión Nacional de Telecomunicaciones
- CVD** Deposición química de vapor
- CWDM** Multiplexación por división de longitud de onda gruesa
- DBS** Servicio de retransmisión directa
- DFB** Repuesta distribuida (láser)
- DOSIS** Especificación de Interfaz para Servicios de Datos por Cable
- DSL** Línea de abonado digital (basada en cobre)

DSLAM Multiplexor digital de acceso a la línea de abonado

DUT Dispositivo sometido a pruebas

DWDM Multiplexación densa de división de longitud de onda

EDFA Amplificador de fibra dopada de erbio

EFM Ethernet en la primera milla

EFMA Alianza Ethernet en la primera milla

EPON Red óptica pasiva preparada para Ethernet

FBT Fused biconic taper (acoplador/divisor de fibra)

FC Colector de fibra

FCC Comisión Federal de Comunicaciones (EE. UU.)

FDH Concentrador de distribución de fibra

FDT Terminal de distribución de fibra

FEC Corrección de errores de transmisión

FO Fibra óptica

FP Fabry-Perot (láser)

FSAN Red de acceso de servicio completo

FTTB Fibra hasta el edificio

FTTC Fibra hasta la acera

FTTCab Fibra hasta la estructura

FTTH Fibra hasta el hogar

FTTN Fibra hasta el nodo

FTTP Fibra hasta las instalaciones

FTTx Fibra hasta x, donde x = (H)ome (hogar), (C)urb (acera), (B)uilding (edificio), (N)ode (nodo), (P)remises (instalaciones), etc.

FUT Fibra sometida a pruebas

GEM Modo de encapsulado GPON

GPON Red óptica pasiva con capacidad de 1 Gigabit

HDD Perforación horizontal dirigida

HDSL Línea de abonado digital de alta velocidad de bits (basada en cobre)

HDTV Televisión de alta definición

HFC Redes híbridas fibra coaxial

IEC Comisión Electrotécnica Internacional

IEEE Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

ILEC Portadora de cambio local preexistente

IP Protocolo de Internet

IPTV Protocolo de televisión por Internet

ITU Unión Internacional de Telecomunicaciones

ITU-T Unión Internacional de Telecomunicaciones. Sector de para la estandarización de las telecomunicaciones

LFD Detector de fibra activa

MAN Red de área metropolitana

MDU Unidad de múltiples viviendas

MFD Diámetro de campo modal

MLM Modo multi-longitudinal (láser)

MM Multi-modo

MMF Fibra multi-modo

MWM Medidor de longitud de onda múltiple

NF Figura de ruido (ruido de un amplificador óptico en dB)

OC Portadora óptica (velocidad de transporte)

ODN Red de distribución óptica

ODU Unidad de distribución óptica

OLT Terminación/Terminal de línea óptica

OLTS Equipo de pruebas de pérdida óptica

ONT Terminación/Terminal de red óptica

OTN Redes de transporte óptico

ONU Unidad de red óptica (ONT no transmisor)

OPM Medidor óptico de potencia

ORL Pérdida de retorno óptico

OSA Analizador de espectro óptico

OSC Canal de servicio óptico

OSNR Tasa de señal a ruido óptica

OSP Planta exterior

OTDR Reflectómetro de dominio temporal óptico

PDH Jerarquía digital plesiócrona

P2MP Punto a multipunto

P2P Punto a punto

PBX Cambio de derivación privada

PC Conector pulido

PIN Positivo-Aislante-Negativo (detector)

PLC Circuito de onda de luz (o guía de luz) planar

PMD Dispersión de modo de polarización o dependiente del medio físico

PON Red óptica pasiva

POTS Sistema de telefonía ordinario tradicional

PSB Caja de supresión de pulsos

PSTN Red de telefonía pública conmutada

QoS Calidad del servicio

RBOC Compañía Bell de operación regional

Rec Recomendación de la ITU-T

RLEC Portadora de cambio local rural

RT Terminal remoto

Rx Receptor SC Canal de supervisión o canal de servicio

SDH Jerarquía digital sincronizada

SM Mono-modo

SMF Fibra mono-modo

SNR Tasa de señal a ruido SONET Red óptica sincronizada

STM Modo de transferencia sincrónica (velocidad de transferencia SDH)

TDM Multiplexación por división de tiempo

TDMA Acceso múltiple por división de tiempo

TIA Asociación del sector de las telecomunicaciones

Tx Transmisor

UIT Unión Internacional de Telecomunicaciones

UPC Conector ultra-pulido

VDSL Línea de abonado digital de muy alta velocidad (basada en cobre)

VFL Localizador visual de fallos

VOD Vídeo bajo demanda

VoIP Protocolo de voz a través de Internet

WDM Multiplexación de división de longitud de onda

xDSL Línea genérica de abonado digital (basada en cobre)



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
VICERRECTORADO ACADÉMICO
ESTUDIOS DE POSTGRADO
POSTGRADO INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

FACTIBILIDAD DE CONVERGENCIA DE REDES DE ACCESO DE PROXIMA GENERACIÓN EN REDES FTTX USANDO TECNOLOGIA DE LA FAMILIA XPON SOBRE REDES HEREDADAS

Autor: Perez Segredo, Estefany Carolina

Asesor: Berardo DiAttanasio

Año: 2019

RESUMEN

La presente investigación está enfocada en el análisis de la factibilidad de convergencia de redes de Acceso de próxima generación (NGA) en redes FTTx usando tecnología XPON sobre redes heredadas que logre garantizar mejoras en la velocidad y ancho de banda. Se apoya en una investigación de campo, ya que se opta por un escenario real con redes heredadas a fin de particularizar la coexistencia de redes de nueva generación con estas, por ello fueron analizados diferentes despliegues que permitan la inclusión de estándares y tecnologías de última generación de la familia FTTx y XPON. La recolección de información fue realizada por medio de entrevistas no estructuradas para los datos primarios que permitan describir los diferentes escenarios en el que se desarrollan los despliegues de redes ópticas en Venezuela, a fin de definir el escenario a particularizar, y en revisiones bibliográficas, dado estos datos se escogió un escenario específico, tanto para una ciudad en especial, como para una red heredada existente, además de la utilización topología FTTH y la tecnología GPON, como los escogidos de acuerdo a los estándar y recomendaciones internacionales, que mantengan coexistencia y presenten mejoras la nueva generación. Se corroboró viabilidad técnica, económica y operativa a través de criterios de evaluación de proyectos, fundamentados en recomendaciones internacionales, que permiten evaluar la escalabilidad, equipos, sincronización y otros aspectos técnicos. Por último, se genera una propuesta de diseño que presente mayor rapidez para enviar y recibir información, abriendo un nuevo escenario de cultura de consumo digital donde el abonado prácticamente es un devorador de ancho de banda con una avidez escalable en el tiempo.

Palabras Clave: XPON, FTTH, redes de acceso, NGN.

Línea de Trabajo: Nuevas Tecnologías

ÍNDICE GENERAL

	pp.
RESUMEN.....	vii
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE CUADROS.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULOS	
I. EL PROBLEMA.....	4
Planteamiento del problema.....	4
Objetivos de la investigación.....	12
Objetivo general.....	12
Objetivos específicos.....	12
Justificación e importancia.....	12
Alcances.....	15
Limitaciones.....	15
II. MARCO TEÓRICO.....	16
Antecedentes de la investigación.....	16
Fundamentos teóricos.....	18
Red de telecomunicaciones.....	19
Red de acceso.....	19
Red NGN.....	20
Arquitectura NGN.....	21
Capas de redes de nueva generación.....	22
Redes de acceso de fibra óptica.....	26
Redes PON.....	28
Características de las redes PON.....	28
Estructura y funcionalidades de las redes PON.....	28
Estándares XPON.....	29
GPON.....	30

XGPON.....	33
NG PON 2.....	34
Redes FTTx.....	35
FTTH.....	36
FTTE.....	37
FTTB.....	37
FTTC.....	38
FTTN.....	39
FTTP.....	39
FTTD.....	40
FTTA.....	40
Medios de transmisión	40
Cable de cobre.....	40
Cable par de cobre.....	41
Fibra óptica.....	41
Redes híbridas.....	42
Bases legales.....	43
Definición de términos básicos.....	46
III. MARCO METODOLÓGICO.....	48
Tipo de investigación.....	48
Diseño de la investigación.....	49
Unidad de análisis.....	50
Técnicas e instrumentos recolección de datos.....	50
Fases de la investigación.....	51
Factibilidad operativa.....	52
gFactibilidad técnica.....	52
Factibilidad económica.....	53
Procedimientos por objetivos.....	53
Operacionalización de los objetivos.....	55
Aspectos éticos.....	56
Cronograma.....	57

Recursos.....	62
IV. ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS.....	64
Escenarios en el que se desarrolla el despliegue de redes ópticas en Venezuela	64
Tecnologías FTTx y XPON en coexistencia con sistemas regulados por los estándares legados y sistemas basados en los estándares de nueva generación	73
Viabilidad técnica del proyecto desde el punto de vista conceptual, fundamentada por las especificaciones o recomendaciones internacionales.....	80
Viabilidad económica y operativa para la convergencia en relación a la adaptación de la red heredada fundamentada en recomendaciones internacionales a través de criterios de evaluación de proyectos.....	115
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	125
Conclusiones.....	125
Recomendaciones.....	129
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	130

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		pp.
1	Arquitectura de red NGN.....	22
2	Modelo de capas de la arquitectura NGN.....	24
3	Esquema de redes NGN.....	25
4	Redes de Acceso de Fibra óptica.....	26
5	Arquitectura básica de una red PON.....	29
6	Estándares PON.....	30
7	Representación de redes FTTx.....	36
8	Arquitectura de una red PSTN bajo tecnología ADSL.....	70
9	Arquitectura de una red HFC.....	72
10	Arquitectura de redes ópticas activas.....	73
11	Topología de una red PON.....	81
12	Panorámica de las ciudades de Caracas, Valencia y Barquisimeto.....	86
13	Ubicación de las oficinas CANTV e Inter en la ciudad de Caracas.....	87
14	Ubicación de las oficinas CANTV e Inter en la ciudad de Valencia.....	87
15	Ubicación de las oficinas CANTV e Inter en la ciudad de Barquisimeto.....	88
16	Delimitación de áreas en la ciudad de Barquisimeto.....	98
17	Ruta para el área 4.....	99
18	Ruta para el área 5.....	100
19	Aplicación para redes GPON.....	109

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		pp.
1	Operacionalización de variables.....	55
2	Cronograma.....	57
3	Matriz de recursos.....	62
4	Usuarios de servicios de internet por Estado.....	83
5	Características de la serie MA5600T.....	91
6	Características de la serie MA5800T.....	93
7	Características de la serie ZXA10C.....	96
8	Ubicación de los equipos y distancias para el área 4.....	99
9	Ubicación de los equipos y distancias para el área 5.....	101
10	Características de la serie de ONT HG8000H.....	104
11	Parámetros ópticos de una red GPON- Equipos OLT y ONT.....	110
12	Calculo de longitud del segmento.....	111
13	Lista de equipos de red FTTH - GPON.....	116
14	Personal necesario para la ejecución de la obra.....	117
15	Presupuesto total estimado del proyecto.....	118

INTRODUCCIÓN

Las redes fijas de acceso de nueva generación que están en el territorio venezolano, se basan en la transmisión fundamentalmente hasta las inmediaciones del hogar, pero no todas permiten alcanzar velocidades y ancho de banda suficientes para soportar los servicios y aplicaciones que actualmente se requieren, a parte de la interconexión de todas las redes existentes para garantizar un despliegue que satisfaga la demanda.

Aunque las ventajas son amplísimas para el futuro, aún no existe un modelo claro para dicho despliegue, tanto en la instalación de las infraestructuras de cable como en la operación y gestión bajo un marco de regulación, para cada país y cada operador están implementadas de forma distinta. Las redes acceso de nueva generación, ya sea en la definición del tramo troncal, del tramo de distribución urbano, el del interior del edificio o el de los equipos opto reguladores y operadores deben acabar ciñéndose a las directivas de la Comisión Nacional de Telecomunicaciones CONATEL y cumplir los objetivos establecidos en lo que a materia de banda ancha se refiere.

En esta investigación se analizarán distintas soluciones factibles de acceso, e incorporación de nuevas técnicas y estándares FTTx y XPON, permitiendo la posibilidad de compartir la infraestructura de red en el dominio óptico con una gestión apropiada de las longitudes de onda en fibra, a través de la valoración de diversos factores: tecnológicos, económicos, escalabilidad, impacto urbano, seguridad y apertura a la competencia del bucle de abonado, tanto para entornos urbanos como rurales necesarios para afrontar los costes de los despliegues por parte de los operadores y, al mismo tiempo, abrir una ventana de opción hacia una red abierta con inversión compartida y un operador neutral de gestión de recursos ópticos.

Se espera que este proyecto sirva de guía para organismos reguladores y operadores de red en los despliegues futuros de infraestructura y su regulación, asegurando un aprovechamiento máximo de la infraestructura ya existente, favorecer un mercado de las telecomunicaciones que fomente la inversión en despliegue de competencias en infraestructuras entre los distintos agentes y actuales líneas de trabajo de la distintos escenarios y posibles estrategias a llevar a cabo por situaciones de mercado ante las que pueden verse para, a posteriori, poder aplicar la regulación más adecuada para favorecer el libre acceso al bucle de abonado por parte de cualquier operador.

Este documento está estructurado de cinco (5) capítulos y un apartado de referencias los cuales se especifican a continuación:

Capítulo I: El problema: hace referencia al problema con su planteamiento, luego se muestra el objetivo general y los objetivos específicos, la justificación del estudio culminando con el alcance y las limitaciones que la investigación involucra.

Capítulo II: Marco teórico: está constituido por los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y la definición de términos básicos.

Capítulo III: Marco metodológico: se lleva a cabo la naturaleza de la investigación y las fases del proyecto presentadas por la Universidad Católica Andrés Bello, presentando el estudio del diagnóstico y el estudio de aplicabilidad considerando aspectos: económicos, técnicos operativos.

Capítulo IV: Análisis de los resultados: presenta los resultados que da respuesta a cada uno de las interrogantes planteadas, que permiten discriminar las tecnologías y despliegues utilizados en el país, a fin de identificar los elementos a cambiar, que permita la coexistencia de una infraestructura con las tecnologías FTTx y xPON con las heredadas.

Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones: ofrece las conclusiones que se desprenden del desarrollo del trabajo, y del que el autor se permite expresar su análisis, además de las recomendaciones necesarias que permitan darle valor al presente trabajo y se desliguen investigaciones a futuro. Finalmente, se presentan las referencias bibliográficas que han sido consultadas, sirviendo de base para fundamentar la investigación, así como los anexos que se consideren necesarios presentar.

CAPITULO I: EL PROBLEMA

Los problemas son inconvenientes o fallas que surgen en distintos contextos y que requieren de una solución. Puede entenderse que un problema es una barrera que debe ser sorteada para alcanzar un objetivo. Para Balestrini (2016), un problema de investigación, por lo tanto “es aquello que se desea explicar a partir de la tarea del investigador” (p.6). Su acepción como “problema” se vincula a que, por lo general, la finalidad de una investigación es brindar una solución: lo que se investiga, de este modo, supone un problema a resolver. Se trata, en otras palabras, del por qué de la investigación, que aparece tras el diagnóstico que el investigador realiza acerca de un fenómeno, un proceso o un hecho que no puede explicar o que desconoce sus causas y/o efectos.

Fundamental y necesario es que los responsables de un estudio o proyecto lleven a cabo la determinación del problema de investigación. Y es que de este dependerá lo que es la calidad de las respuestas obtenidas, es decir, del resultado en cuestión. De ahí que el mismo tenga que determinarse basándose en criterios tales como la observación, la deducción, las hipótesis, la inducción o incluso las predicciones. En este capítulo se presenta el planteamiento del problema, su formulación y sistematización; los objetivos de la investigación; así como la justificación y alcance.

1.1 Planteamiento del Problema

Con la aparición de internet como servicio de libre acceso al público a finales del siglo XX, hubo un impulso de gran relevancia en la conceptualización del mercado de servicios tecnológicos. La capacidad de poder digitalizar cualquier contenido o información a transmitir hizo que los servicios orientados con conexión de paquetes se convirtieran, en poco tiempo, en la piedra angular en

la infraestructura tecnológica necesaria para proveer todo un abanico de servicios multimedia.

Es por ello, que este nuevo esquema en las redes de telecomunicaciones, combinado con el rápido crecimiento de la telefonía móvil y su conectividad asociada, han puesto literalmente en la palma de la mano del usuario una oportunidad de disfrute a éstas redes con una disponibilidad casi inmediata, es decir, se ha abierto una cultura de consumo digital donde el abonado prácticamente es un devorador de ancho de banda con una avidez escalable en el tiempo.

En este orden de ideas, las grandes operadoras de telecomunicaciones han visto en internet un marco ideal para desarrollar nuevos modelos de negocios que han ido creciendo exponencialmente con el tiempo, ofreciendo nuevos servicios o incluso servicios que ya ofrecían, pero condicionados constantemente a migrar a tecnologías que si bien les brinda un valor añadido a éstos, deben enfrentarse a un escenario de disponibilidad y diversidad aunado a una acelerada y poca madurez técnica en los criterios de diseño presentes en los medios de transmisión y protocolos de operación y control de los mismos, haciendo que estos operadores se enfrenten a muchos problemas técnicos relacionados a la introducción de nuevos servicios, ampliación y adecuación de sus redes convergentes y a la aparición de redes totalmente IP.

Además de ello, debido al manejo independiente de las redes de servicios de voz y de transmisión de datos, se tiene un gasto económico alto para mantener cada red y sus servicios activos, lo cual no resulta muy conveniente. En la actualidad existe una gran cantidad de servicios de video y datos, cuya demanda va en aumento, según la empresa Brandwatch Analytics encargada de llevar las estadísticas sobre el uso de las redes sociales por internet en el mundo, en el año 2017 la población mundial era de 7,5 mil millones. Internet

tenía 3,7 mil millones de usuarios, de los cuales hay 2,7 mil millones de usuarios activos en redes sociales y se registra la existencia de 8 mil millones de usuarios móviles.

Partiendo de esto, CONATEL como ente rector de la explotación y uso del espectro electromagnético en Venezuela, presenta anualmente una serie de informes que tienen como finalidad dar cumplimiento a lo establecido en el artículo 60 de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, publicada en Gaceta Oficial 39.610, de fecha 7 de febrero de 2011, el cual indica:

“La Comisión Nacional de Telecomunicaciones deberá elaborar y hacer público un informe anual sobre los aportes realizados al fondo para su financiación y los montos de los subsidios del Servicio Universal que se hubiesen otorgado, pudiendo requerir tales fines toda la información que estime necesaria a los operadores implicados”

El último informe registrado corresponde al tercer trimestre del 2017, en la cual se destaca que las inversiones del sector han aumentado en 294 % con respecto al trimestre anterior, teniendo una distribución del mercado móvil en 81 líneas activas por cada 100 habitantes, de los cuales el 57,53 % son usuarios de terminales inteligentes con sistema operativo Android, 10,89 % Blackberry y el restante diferentes sistemas operativos, lo que permite afirmar que el uso de internet móvil ha aumentado, a 80,96 % suscriptores de banda ancha móvil normalizada, y solo el 13,53 % son suscriptores de banda ancha fija sobre el total de suscriptores de internet en el país, lo que representa un aumento del 1,63 %. Al mismo tiempo, CONATEL indica la disponibilidad de acceso a servicios de internet en una penetración estimada de 62 usuarios por cada 100 habitantes.

Dentro de esta perspectiva, desde la promulgación de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones en el Año 2000, en Venezuela, se ha desplegado 6.886,22 Km de fibra óptica e instalado más de 34 puntos de acceso a zonas

desasistidas, información presentada por CONATEL en diciembre de 2017 como parte de los proyectos de distribución equitativa de las telecomunicaciones en Venezuela.

En lo esencial, hoy en día la fibra óptica es considerada como el medio de transmisión que está evolucionando de manera vertiginosa y está siendo puesta a prueba, ya que constituye el sistema circulatorio que alimenta a la actual sociedad de la información y el conocimiento. La creciente capacidad de comunicación soportada por la fibra óptica ha permitido la evolución de tecnologías de banda ancha hacia mayores velocidades debido a su despliegue, parcial o total, en el tramo de acceso a servicios digitales para el abonado o usuario final.

Además, se realizan regularmente proyectos orientados a obligación de servicio universal de telecomunicaciones, desarrollados a través de la empresa CANTV, la cual busca mantenerse como empresa pionera en las telecomunicaciones del país, es por ello que se ha visto en la necesidad de introducir nuevas tecnologías en las redes de acceso.

Estos proyectos tienen como objetivo la planificación, instalación, operación y mantenimiento de la infraestructura de telecomunicaciones necesaria para la prestación del servicio de transporte y de un conjunto de facilidades adicionales a los operadores presentes en el país, con el fin de cubrir redes de acceso en todo el ámbito geográfico nacional, lo que ha permitido un despliegue de 213 puntos de presencia (nodos), y un Centro de Operaciones de la Red dotado de un centro de datos y de una plataforma telefónica de próxima generación, que permite la operatividad de los servicios de transporte de datos, procesamiento de llamadas (señalización, enrutamiento, facturación), acceso a centros de datos (hospedaje web, e-mail, respaldo de datos), multidifusión de video-contenidos encapsulados en IP, entre otros.

La Red Nacional de Transporte llega a 18 estados del país contando con un despliegue de redes de acceso, servicios de telefonía e internet, permitiendo una amplia gama de servicios de telecomunicaciones, el despliegue de nuevos proyectos orientados a la automatización a través de mapas con programas especializados, con lo cual se ha podido generar un atlas de telecomunicaciones donde se observa la evolución del sector durante los últimos años.

Visto de esta forma, la apertura de las telecomunicaciones a nivel nacional, abre una libre competencia entre las operadoras por ofrecer un mayor ancho de banda debido a la demanda cada vez mayor de usuarios de productos y servicios multimedia, lo cual genera un replanteamiento de las redes existentes. Esta carrera entre operadores por brindar la mayor velocidad al mejor precio, utiliza diferentes tecnologías que compriman la información cada vez más para ocupar el menor ancho de banda. Dentro de estas tecnologías que explotan el bucle de abonado de cobre está ADSL; sin embargo, ADSL cuenta con una limitación técnica importante, en la cual el máximo ancho de banda que puede ofrecer no puede superar los 8 Mbps para el despliegue del enlace de bajada y los 4 Mbps para el enlace de subida.

En este mismo orden de ideas, estos valores disminuyen drásticamente a medida que el usuario se aleja de la central. Posteriormente se crearon otras tecnologías más avanzadas que permitían mayores velocidades como ADSL2 (hasta 11 Mbps); ADSL2+ (hasta 24 Mbps); VDSL (hasta 52 Mbps); VDSL2 (hasta 100 Mbps). Sin embargo, aunque estas tecnologías aportan un aumento en el ancho de banda ofrecido a los usuarios, las limitaciones de distancia a la central, que disminuyen el ancho de banda, siguen presentes. Es a este problema al que se le denominó “Problema de la última milla”.

En efecto, la infraestructura óptica es fundamental para las telecomunicaciones. En menos de medio siglo, la industria del transporte

óptico ha evolucionado desde tecnología PDH, a través de las SDH y WDM, a tecnología coherente WDM 100G basada en OTN, que potencia la velocidad de la red desde el nivel megabit al nivel terabit, y avanza desde una configuración puramente manual a una moderada automatización. En este sentido se comprende, con la llegada de nuevos servicios, como la computación en la nube, el *streaming* multimedia y el ancho de banda móvil, se requiere de una mayor capacidad de transmisión de datos y de redes ópticas más inteligentes.

Dentro de este marco, el problema de la última milla se ve reflejado en el acceso a internet, porque para esto ya no sólo son necesarios los elementos de hardware y software convencional, sino también una gran dosis de paciencia por los tiempos de latencia en los enlaces de subida y bajada de la información. Las velocidades actuales disponibles tanto para voz, datos y video dentro del mundo del internet son relativamente bajas. Esto se debe principalmente a que las líneas telefónicas, el medio utilizado por la mayoría de usuarios para conectarse a internet, no fueron creadas para el transporte de servicios multimedia y otras aplicaciones que coexisten en la red.

Es por ello la importancia de desplegar redes de banda ancha que interconecten al usuario final para cubrir las demandas del servicio. Para el despliegue de estas redes se optó por usar redes FTTH con el estándar GPON. Esta tecnología está diseñada con la esperanza de abaratar los costos para así cubrir la demanda existente a precios accesibles.

Las principales plataformas consideradas en dicho debate incluyen las redes de fibra hasta el hogar (FTTH) o hasta el edificio (FTTB), la evolución de las redes de cobre a redes de fibra hasta el nodo (FTTN) y la evolución de las redes híbridas de fibra óptica y coaxial (HFC) mediante tecnología DOCSIS jugaran un papel importante en la prestación de servicios de acceso a banda ancha en zonas urbanas y rurales.

A este mecanismo de reemplazar el cobre por fibra en la última milla se le conoce como FTTx, que engloba varios términos dentro de los cuales el principal es FTTH o fibra hasta el hogar. Entre las arquitecturas FTTH cabe resaltar la arquitectura PON, que es una arquitectura pasiva que permite emplear elementos que no requieren de una alimentación externa como en el caso de los divisores ópticos. Además, cubre distancias de hasta 20 km desde la central hasta el abonado; soporta un mayor ancho de banda, y debido al empleo de la fibra óptica, se incrementa la calidad de servicio por la característica de la misma, pues es inmune a las interferencias electromagnéticas.

Asimismo, existen varias tecnologías PON como APON, BPON, GPON, EPON y GEPON, de las cuales las que se usan actualmente son EPON y GEPON por sus características de ser compatibles con la tecnología Ethernet, hay que destacar que lo que se busca para efectos de la presente investigación es la evaluación de éstas tecnologías siempre y cuando soporten servicios orientados a conexión.

Ahora bien, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) finalizó la primera etapa para nuevos estándares de banda ancha ultrarrápida, tanto a nivel de acceso como de transporte. El organismo emitió las recomendaciones para accesos ópticos de hasta 10 Gbps simétricos (XGS-PON). El estándar, basado en los anteriores estándares de la UIT, permite reutilizar los componentes existentes de 10 Gbit.

La nueva serie de estándares permiten a los operadores contar con tecnologías comunes para soportar la demanda de accesos ópticos, *backhaul* y *fronthaul* móvil y otras aplicaciones. La típica solución consiste de ocho longitudes de onda bidireccionales, alcanzando una tasa máxima de 80 Gbps en cada dirección. Cada longitud de onda es capaz de

proveer a un suscriptor con acceso óptico de hasta 10 Gbps. La distancia entre la terminal óptica y la unidad de red óptica en este caso es de 40 kilómetros. Cada terminal es capaz de soportar hasta 256 unidades. La especificación, de nombre NG-PON2, se convierte así en la sucesora de G-PON y XG-PON1.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, se pretende realizar un trabajo orientado al análisis de la convergencia entre las redes heredadas y la mejora de prestación de servicios multimedia, con un ancho de banda y una velocidad de redes de nueva generación sobre cualesquiera de la familia FTTx apoyadas por GPON, XGS PON o NG PON 2, que permita establecer criterios de factibilidad a futuras implementaciones.

Adicionalmente, la situación actual del sector de las telecomunicaciones en Venezuela, alienta a un panorama apto para la inversión de nuevas tecnologías como servicios, que es un entorno aun explotable y un mercado sumamente rentable.

Sobre la base de lo antes expuesto surgen las siguientes interrogantes:

1.1.2 Formulación del problema

¿Cuál es la factibilidad de convergencia de Redes de Acceso de próxima Generación (NGA) en redes FTTx usando tecnología XPON sobre redes heredadas?

1.1.3. Sistematización del Problema

¿Cuáles son los escenarios en el que se desarrolla el despliegue de redes ópticas en Venezuela?;

¿Qué parámetros y arquitecturas son las necesarias para redes FTTH y XPON que mantengan la coexistencia entre sistemas regulados por los estándares legados con sistemas basados en los estándares de nueva generación?;

¿Es viable técnicamente el proyecto desde el punto de vista conceptual, partiendo de las especificaciones o recomendaciones internacionales?

¿Es viable económica y operativamente la convergencia en relación a la adaptación de la red heredada fundamentada en recomendaciones internacionales a través de criterios de evaluación de proyectos?

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo General

Analizar la factibilidad de convergencia de Redes de Acceso de Próxima Generación (NGA) en redes FTTx usando tecnología XPON sobre redes heredadas que garantice mejoras en la velocidad y ancho de banda.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Describir los diferentes escenarios en el que se desarrolla el despliegue de redes ópticas en Venezuela.
- Justificar las tecnologías FTTX y XPON escogidas que mantengan la coexistencia entre sistemas regulados por los estándares legados con sistemas basados en los estándares de nueva generación.
- Verificar la viabilidad técnica del proyecto desde el punto de vista conceptual, fundamentada por las especificaciones o recomendaciones internacionales.
- Estudiar la viabilidad económica y operativa para la convergencia en relación a la adaptación de la red heredada fundamentada en recomendaciones internacionales a través de criterios de evaluación de proyectos.

1.3 Justificación e Importancia de la Investigación

La transición de las redes de banda ancha tradicionales hacia las redes de acceso de próxima generación se ha situado en los últimos años como una de

las principales prioridades políticas y estratégicas de la mayor parte de las regiones desarrolladas del mundo. El impacto de la crisis económica ha puesto de manifiesto la necesidad de impulsar mejoras en la competitividad y la capacidad de innovación en la industria que investigan, desarrollan e impulsan el despliegue y la disponibilidad de acceso a redes de alta velocidad al ecosistema de internet para abrirse un nicho en el mercado, tal escenario tiene una tendencia futurista que se puede apreciar actualmente.

En esta perspectiva, la evolución hacia la próxima generación de redes de acceso, capaz de proporcionar mayores niveles de ancho de banda y una nueva gama de servicios, implicaba la sustitución parcial o total de segmentos de fibra óptica, involucrando inversiones elevadas en el tramo de acceso y una compleja transición para los distintos agentes, cuyos riesgos podían derivar en la transformación del círculo virtuoso basado en la innovación.

El despliegue de las redes de acceso de próxima generación impacta en cuatro líneas diferenciadas:

- Desarrollo de nuevas aplicaciones y servicios, ofreciendo mayor capacidad de ancho de banda y calidad de servicio, beneficiando a la industria de los contenidos digitales, proveedores de servicios y por supuesto al usuario final.
- Impacto en la productividad de innovación; agregando mejoras en las aplicaciones orientadas a la telepresencia, la optimización de los procesos, así como también en la contribución de los sectores industriales y aplicaciones de gran cobertura en espacios de acceso remoto.
- Cambios en la estructura del sector de telecomunicaciones: permitiendo el fortalecimiento y robustez de sus redes, haciéndolas escalables de acuerdo a las necesidades de los abonados con una mayor penetración en el mercado donde se pueda mantener el control, evidenciando evolución y mejora en tecnologías de última milla, con capacidad de prestar servicios gestionados y con factores de calidad de servicio bien diferenciados.

Se quiere con ello significar, que la presente investigación adquiere gran relevancia desde el punto de vista teórico debido a que proporcionará información y contenidos fundamentales para analizar la factibilidad de convergencia de redes de acceso de próxima generación en redes FTTx usando tecnología XPON sobre redes heredadas, asimismo, desde el punto de vista social los avances tecnológicos en materia de telecomunicaciones, ameritan de una formación de alto nivel y una rigurosa exigencia que incluye contenidos y conocimientos fundamentales en esta área, con el objetivo de cubrir las necesidades comunicacionales de la humanidad, ahora y en el futuro inmediato.

Con respecto, al punto de vista económico, la evolución de esta tecnología hace que el mercado de las telecomunicaciones sea competitivo en cuanto a sus ofertas de servicios y redes, ya que la tecnología orientada a redes de acceso evoluciona rápidamente y, por lo tanto, se ve mayor cantidad de equipos que manejan videos, datos y voz, lo que hace necesario integrar estos servicios con el fin de satisfacer las necesidades de los usuarios.

De acuerdo, al punto de vista tecnológico, permitirá que las redes operen de manera más flexible y de bajo costo con una evolución persistente. Finalmente, la presente investigación según el modelo de investigación de la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB) se ubica en identidad y multiculturalismo en un mundo globalizado, que tiene como finalidad estudiar las propuestas en un mundo de las organizaciones, la comunicación y la información generada por el fenómeno de la globalización y su incidencia en la identidad cultural del venezolano.

En cuanto a la línea de investigación se ubica en el uso de las nuevas tecnologías. Igualmente se ubica en el eje de las nuevas tecnologías debido a que está fundamentado en sistemas avanzados de comunicación.

1.4 Alcances y Limitaciones

Esta investigación tiene como alcance definido el análisis de la factibilidad de convergencia de redes de acceso de próxima generación en redes FTTx usando tecnología XPON sobre redes heredadas, se enfocará en estudiar y describir los aspectos teóricos y por ultimo presentar los beneficios que traería realizar la implementación tecnológica de esta coexistencia.

En esta perspectiva, se debe describir primeramente los diferentes escenarios en el que se desarrolla el despliegue de las redes ópticas en Venezuela, el estudio de su coexistencia con sistemas basados en los estándares de nueva generación, la verificación de su viabilidad técnica fundamentada en las especificaciones y recomendaciones internacionales y estudiar la factibilidad económica y operativa de esta convergencia usando criterios ingenieriles para la evaluación de proyectos de esta índole.

De acuerdo al manual de normas para la presentación del trabajo de grado de la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB) (2017), “Las limitaciones por su parte, son obstáculos o restricciones enfrentadas en cualquiera de las etapas del desarrollo de la investigación, que sea relevante para los resultados.” (p.7). Como hasta ahora no existen limitaciones, estas se expondrán cuando se obtengan los mismos.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

La teoría constituye la base donde se sustentará cualquier análisis, experimento o propuesta de desarrollo de un trabajo de grado. El desarrollo teórico lógicamente permite la interpretación de resultados y, finalmente, la formulación de conclusiones.

2.1. Antecedentes

Los antecedentes son la revisión de las investigaciones previas que de manera directa o indirecta abordan nuestro tema de investigación. Por otro lado, los antecedentes van a ayudar a justificar dicho estudio poniendo en evidencia la ausencia de análisis como los que se proponen en nuestro trabajo.

Osorio (2016), en su Trabajo de Grado: **Redes GPON-FTTH, Evolución y puntos críticos para su despliegue en Argentina** para optar al título de Magíster en Ingeniería de Telecomunicaciones, en el Instituto Tecnológico de Buenos Aires, concluyó que además de que el despliegue de Redes basadas totalmente en fibra óptica disminuye los costos operativos, también permiten alcanzar distancias las cuales el abonado de cobre no abarca, pudiendo así ofrecer servicios a poblaciones en las cuales no se alcanzaba llegar por esta limitante. Palabras clave: GPON, UIT, fibra óptica, ancho de banda.

Rodríguez (2016), en el Trabajo de Grado: **Evolución de las Redes de Telecomunicaciones y Calidad de Servicio en Redes de Nueva Generación NGN en el Ecuador** para optar al título de Master en Redes de Comunicación en la Universidad Pontificia Universidad Católica del Ecuador, determinó que, el desarrollo y despliegue de la NGN es importante para los operadores de redes públicas ya que para ellos podría ser una forma innovadora y eficaz para diferenciarse, ofreciendo un número de diversos servicios de valor agregado a un costo más bajo, y por lo tanto sobrevivir e

incluso prosperar en un mercado altamente competitivo. Palabras clave: *softswitch*, NGN, servicios, redes.

Añazco (2013), en su Trabajo de Grado de Maestría: **Diseño Básico de Redes de Acceso FTTH utilizando el estándar GPON** para optar al título de Magíster en Telecomunicaciones, en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, analizó 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 este tipo de redes. En donde determinó 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.

Dicha investigación, aporta elementos de interés para el acceso mediante fibra óptica a una red FTTH, utilizando el estándar GPON para clientes masivos y corporativos que permita brindar servicios convergentes como Triple Play (telefonía, internet y televisión), que permitan realizar comparaciones en base a las bondades ofrecidas por estos. Palabras clave: internet, banda ancha, GPON, datos.

Luna (2013), en su Trabajo de Grado de Maestría: **Migración de las redes de conmutación de circuitos a la Red de Próxima Generación, desde una perspectiva de la Ingeniería de Trafico** para optar al título de Maestro en Tecnologías de la Información, describió que, los costos de implementación para Redes NGN representaran un elevado gasto de inversión inicial, para los proveedores de servicios, al igual que para los usuarios finales. Sin embargo, el retorno de la inversión se reflejará en mayor calidad de servicios (QoS, seguridad, estabilidad, mayor ancho de banda, convergencia de múltiples servicios tecnológicos, entre otros), representando así una buena inversión para el operador puesto que su objetivo principal es satisfacer las demandas de los usuarios. Palabras clave: Ancho de banda, servicios, NGN.

Cohen (2007), en *GSR Discussion Paper, Next Generation Networks (NGN) Regulation Overview*; comprobó que la instalación de **Redes de Próxima Generación (NGN) que utilizan el Protocolo IP**, ofrecerá nuevas oportunidades de aumentar la oferta a los consumidores. Especificando que la empresa de Telecomunicaciones BT en Reino Unido en noviembre de 2006, transfirió las primeras líneas de abonado a su red NGN, la cual ofreció servicios de voz, video y datos de manera más rápida por contar con un mayor ancho de banda, ofreciéndole a los usuarios servicios más personalizados y de mayor calidad. Palabras clave: IP, Protocolos, NGN, ancho de banda.

2.2. Fundamentos Teóricos

Según Bavaresco (2006):

Las bases teóricas tienen que ver con las teorías que brindan al investigador el apoyo inicial dentro del conocimiento del objeto de estudio, es decir, cada problema posee algún referente teórico, lo que indica, que el investigador no puede hacer abstracción por el desconocimiento, salvo que sus estudios se soporten en investigaciones puras o bien exploratorias (p.35).

Ahora bien, en los enfoques descriptivos, experimentales, documentales, históricos, etnográficos, predictivos u otros donde la existencia de marcos referenciales es fundamental y los cuales animan al estudioso a buscar conexión con las teorías precedentes o bien a la búsqueda de nuevas teorías como producto del nuevo conocimiento.

En el presente trabajo de investigación se plantea y analizan la fundamentación teórica sobre los cuales se basa la misma, se presentarán las ideas consideradas en el capítulo I de una manera más detallada, también se estudiará las consideraciones del sistema sobre los cuales se basará este estudio.

2.2.1 Red de Telecomunicaciones

Las redes de telecomunicaciones son infraestructuras que proporcionan comunicación entre múltiples entidades, interconectadas entre sí en pro de satisfacer las necesidades de los usuarios que las utilizan. Aponte (2000) señala que “una red de telecomunicaciones es un sistema de medios interconectados diseñado para transmitir voz, datos, e imágenes entre otras unidades de información entre una multiplicidad de usuarios y localidades” (p.47). “la descripción técnica de la red implica varios niveles de interconexión”.

Las redes de telecomunicaciones pueden diferenciarse en función de los servicios soportados y del tipo de información a transmitir, es por esto que, la mayoría de las redes se configuran en torno a unos elementos o dispositivos comunes, por lo que, desde el punto de vista técnico, se distinguen (3) tres componentes básicos: los terminales, la red de conmutación y transporte, o núcleo de red, y la red de acceso. (García y Guadarrama, 2012, p.7).

De acuerdo a lo explicado anteriormente, cualquier red de telecomunicaciones exige la utilización de diferentes tipos de equipos, distintas capacidades en la red de acceso o distintos tipos de conmutación en el núcleo de la red, a fin de poder cubrir las diferentes necesidades y/o servicios, con un buen ancho de banda, velocidad de transmisión y calidad de servicio.

2.2.2. Red de acceso

La red de acceso se conecta a los terminales de usuario, de forma individual, con el núcleo de red. En redes fijas, dado que los abonados deben conectarse de forma individual y que el nodo de conmutación correspondiente puede estar lejos de sus domicilios, la red de acceso es la parte de mayor inversión en una red de telecomunicaciones, típicamente superior al 60 % del costo total de una red de telecomunicaciones. (Figueiras, 2002, p.77).

Las redes de telecomunicaciones, han evolucionado en relación a la velocidad de transmisión que no ha dejado de aumentar desde el inicio del protocolo IP, permitiendo el desarrollo de la sociedad digital, haciendo necesario mejoras

en cada uno de sus componentes, que incluye terminales con sistemas operativos capaces de permitir diversas aplicaciones, servicios multimedia y alta capacidad de procesamiento; una red de conmutación y transporte, con planes de señalización y enrutamiento óptimos, distintivos y convergentes, con uso de protocolos y subsistemas que permitan la comunicación entre diversas redes; y la red de acceso, que soporten alta velocidades de datos, grandes anchos de banda y aplicaciones y/o servicios en tiempo real de calidad.

Las redes de acceso con mayor proliferación en los últimos 30 años han sido las de cobre, pero dado el incremento del número y la calidad de los servicios que se prestan, requieren un cambio o adaptación con otro tipo de medio guiado o fijo, como la fibra óptica, lo que genera mejoras drásticas alcanzando velocidades muy superiores a las de cobre.

La Comisión Europea (2006) “define las redes de acceso cableadas como aquellas que consisten total o parcialmente en elementos ópticos y son capaces de prestar servicios de acceso de banda ancha con características mejoradas” (p.83), también llamadas redes de acceso de nueva o próxima generación, reemplazando los tramos de cobre de las redes tradicionales por fibra óptica hasta el usuario final. El despliegue de fibra óptica actual, en su inicio ha sido con redes híbridas fibra-coaxial llamadas HFC, y más recientemente, las redes FTTx, que serán las estudiadas y utilizadas en la consecución de este trabajo de investigación.

2.2.3. Redes de Nueva Generación (NGN)

Las redes de próxima o nueva generación son, según la ITU-T Y.2001 (2004):

Red basada en paquetes que permite prestar servicios de telecomunicación y en la que se pueden utilizar múltiples tecnologías de transporte de banda ancha propiciadas por la QoS, y en la que las funciones relacionadas con los servicios son independientes de las tecnologías subyacentes relacionadas con el transporte. Permite a los usuarios el acceso sin trabas a redes y a proveedores de servicios y/o

servicios de su elección. Se soporta movilidad generalizada que permitirá la prestación coherente y ubicua de servicios a los usuarios. (p.2)

Por lo antes expuesto, Vergara (2011), indica que:

Estas redes son caracterizadas por tres elementos fundamentales: la conectividad IP extremo a extremo, la separación entre las plataformas de servicios y de conectividad para proporcionar accesibilidad a los usuarios a diferentes proveedores de aplicaciones, así como la modernización de las redes de acceso de nueva generación para posibilitar velocidades crecientes de comunicación.(p.45)

Dos características primordiales de la NGN según la ITU-T Y.2091 (2007) son, “la movilidad generalizada, que permite una prestación coherente de servicios al usuario, y la convergencia de servicios”, que de acuerdo a la ITU-T Y.2011 (2004):

Es la capacidad de suministrar una gran variedad de servicios, incluidos voz, vídeo, audio y datos visuales, basándose en la separación de los servicios y transporte. La convergencia se centra en las técnicas de transmisión y las funciones de red y no en la definición de contenido, asimismo, es posible utilizar indistintamente tecnologías alámbricas e inalámbricas para la entrega de servicios.(p.15)

2.2.3.1 Arquitectura NGN

“La arquitectura distribuida de los sistemas de comunicación sobre paquetes NGN está conformada por una combinación de plataformas de software y hardware” (Triviño, 2014, p.26), que se presentan en la figura No. 1.

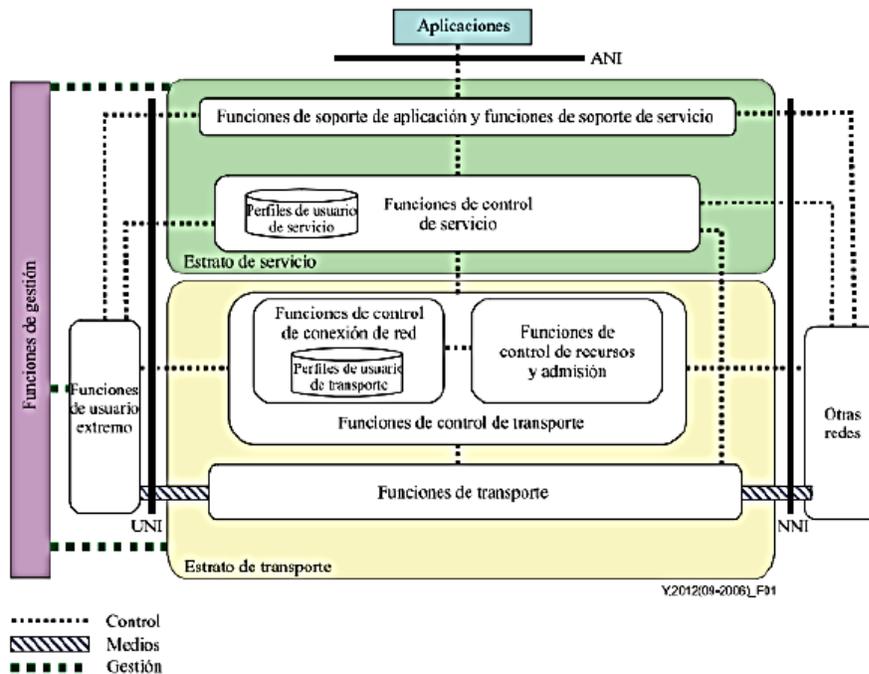


Figura 1. Arquitectura de Red NGN.

Fuente: UIT-T Y.2012 (04/2010)

2.2.3.2 Capas de Redes de Nueva Generación

Capa de acceso: “Combina todas las tecnologías de acceso, tales como: TPBC, RDSI, GSM/UMTS, HFC, IMDS, ADEL, incluye las tecnologías para conectar los clientes finales” (Mendioroz y Rendón, 2015, p.17).

Capa de transporte:

Según informe publicado por la Unipanamericana en Colombia, 2018:

En la actualidad la función de la capa de transporte es proporcionar conectividad para todos los componentes y funciones físicamente separadas dentro de la NGN. Así, la capa del transporte proporcionará conectividad IP para los equipos de usuario final que se encuentren fuera y dentro del NGN. También es responsable de proporcionar QoS extremo a extremo, la cual es una característica deseable del NGN. Físicamente, la capa del transporte se divide en redes de acceso y núcleo de red, con una función de enlace entre las dos partes, las funciones de la capa de transporte son:

- Funciones de Acceso A *access Functions*)
- Funciones de Transporte de Acceso (*Access Transport Functions*)
- Funciones de Borde (*Edge Functions*)
- Funciones de Transporte en el Núcleo (*Core Transport Functions*)
- Funciones de Control de Acceso a la Red (*Network Attachment Control Functions*)
- Funciones de Control de Recursos y de Admisión (*Resource and Admission Control Functions*)
- Funciones de Transporte del Perfil de Usuario (*Transport User Profiles Functions*).
- Funciones de entrada (*Gateway Functions*)
- Funciones de Manejo del Medio (*Media Handling Functions*).(p.1).

Capa de control: “Controla la gestión de llamadas, comprende los equipos que manejan la señalización (sg, *signaling gateway*) y el procesamiento de llamadas (mgc, *media gateway controller*), el MGC es llamado también *softswitch*, servidor de llamadas o agente de llamadas” (Unipanamericana, 2018, p.1).

Capa de servicio: Es la responsable del OSS/BSS (*Operations/Business Support Systems*). Se prestarán servicios mejorados a los usuarios con la ayuda de servidores de aplicaciones. (Unipanamericana, 2018, p.1).

Capa de gestión: Se extiende sobre todas las otras capas, integrando todos los equipos de gestión. (Unipanamericana, 2018, p.1).

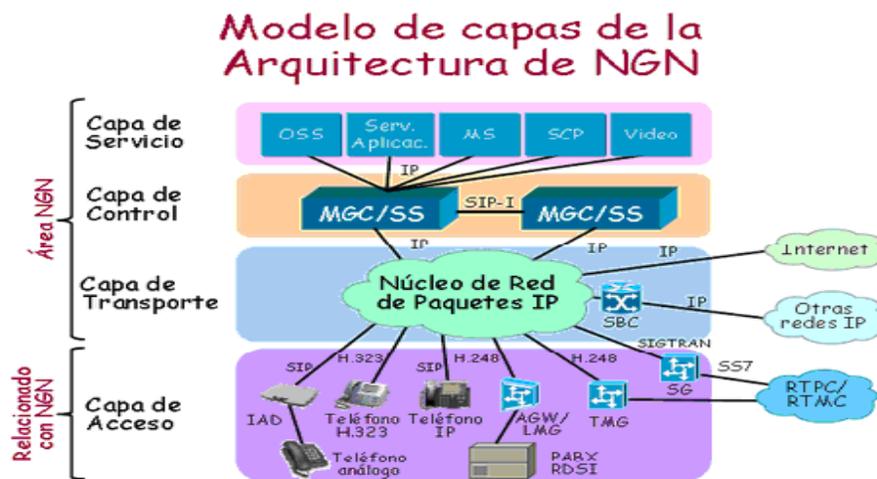


Figura 2. Modelo de capas de la arquitectura NGN.

Fuente: Huawei Technologies (2017)

La arquitectura permite la descomposición de la NGN en conjuntos de entidades que proveen cada uno una sola función, como se observa en la figura No. 2. Según la UIT-T Y.2001 (12/2004):

Las arquitecturas funcionales deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Consideración del uso de técnicas de modelización de referencia genéricas.
- Funciones de interfuncionamiento que soporten terminales tradicionales.
- Determinación de cómo pueden soportarse servicios de extremo a extremo, control de llamada y movilidad de usuario a través de redes heterogéneas.
- Funcionalidades de terminales, en términos de mecanismos de mejora del soporte lógico, redundancia y evolución. (p.5)

A manera de ilustración se presenta la figura No. 3, en la cual se puede apreciar como marco de referencia las tres capas de la NGN que afrontan problemáticas distintas: el segmento de acceso, el núcleo de red y; el segmento de servicios y aplicaciones.

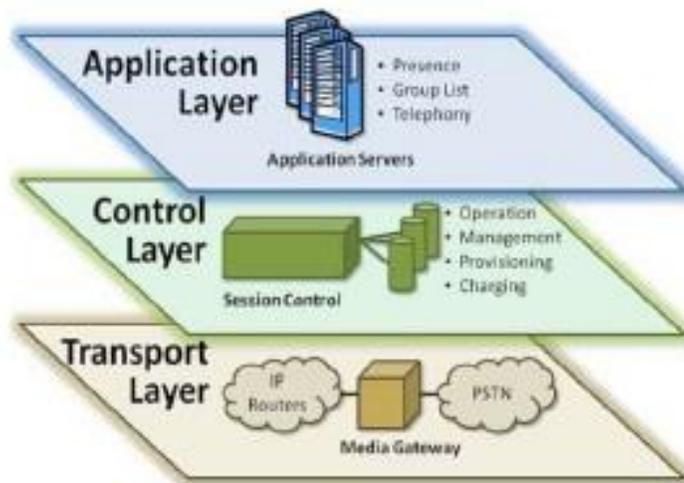


Figura 3. Esquema de Redes NGN

Fuente: Cipagauta, Ferro (2012)

Segmento de servicios y aplicaciones: Los servicios y aplicaciones finales en un entorno NGN se caracterizan por estar basados en tecnología IP, por la posibilidad de ser ofrecidos con calidad de servicio de forma separada al transporte y por la existencia de una amplia diversidad de proveedores.

Núcleo de Red: El concepto de este tipo de redes puede ser aplicado a los elementos que configuran el núcleo y la gestión de la red, esto se traduce en el uso de tecnologías IP (MPLS; IMS, PacketCable 2.0, entre otros) extremo a extremo, con la capacidad de soportar múltiples servicios convergentes sobre las mismas infraestructuras y plataformas, y la separación de la capa de transporte y la de servicios.

Acceso: El concepto de red de próxima generación puede ser aplicado al segmento de acceso en lo que se conoce como redes de acceso de próxima generación (NGA). Estas redes se caracterizan por el incremento del ancho de banda, una mayor simetría del mismo y la capacidad de ofrecer servicios IP extremo a extremo con calidad de servicio. El despliegue del segmento de

acceso supone el principal cuello de botella debido a las grandes inversiones necesarias para alcanzar un grado elevado de capilaridad y disponibilidad.

2.2.4 Red de acceso de fibra óptica

La red óptica es aquella que se basa en tecnologías y componentes ópticos, la cual proporciona gran alcance y ancho de banda dadas las características intrínsecas del medio de transmisión. Como se puede observar en la figura No. 4, una red de acceso de fibra, es definida por Fortiz (2013) como:

Conjunto de equipos e instalaciones que conectan los elementos terminales de la red de transporte con los terminales de los usuarios, se distinguen las partes siguientes: Terminal de Línea (TLO), red de distribución de fibra óptica, Terminal de red óptica (TRO) y acometida.(p.1)

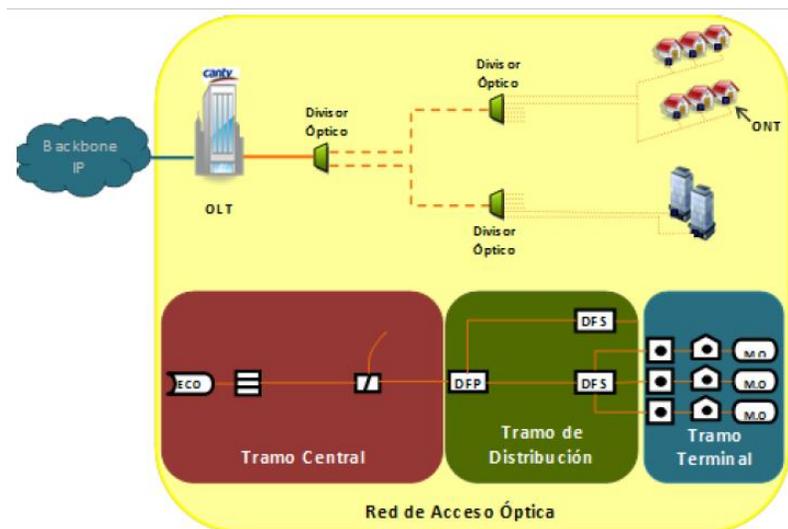


Figura 4. Red de Acceso de Fibra Óptica

Fuente: Moreno (2012)

La arquitectura que contemplan las redes de acceso de fibra óptica se clasifican de acuerdo a su cercanía al abonado o usuario, o según el empleo de elementos activos y/o pasivos en ella. La primera clasificación hace

referencia al medio de transporte en el acceso a la última milla pudiendo ser éste, cobre, fibra óptica, o ambos; mientras que la segunda clasificación hace referencia a los elementos que conforman la red pudiendo ser estos últimos, elementos activos o pasivos.

Dentro de este marco, las redes de telefonía tradicional, por ejemplo, incluye redes de fibra óptica troncal y redes de cable de cobre, además la frontera entre la red de transporte y la de acceso está constituida por las centrales de conmutación local, esta red de distribución o planta externa se caracteriza porque un conjunto de cables salen del edificio de la central y se van ramificando hasta llegar a los denominados equipos terminales de red que, normalmente, pero no siempre, constituye el final de la red de fibra.

De acuerdo con Moreno, (2008):

Entre los terminales de red y lo de usuario suele existir un tramo adicional de planta, la acometida, generalmente constituida por cables de pares de cobre o coaxiales, aunque en algunos casos puede ser también de fibra o incluso una interfaz de radio. Dependiendo del lugar donde se instale el terminal de red, da lugar a una clasificación de las redes de acceso de fibra óptica en función de su punto de terminación. (p.28)

En este sentido, estas redes son líneas de acceso dedicado que utilizan fibra óptica como medio de transporte para la interconexión de nodos, teniendo como ventaja una gran fiabilidad en la transmisión de datos; y brindan una comunicación bidireccional full-dúplex.

Sin embargo, su gran inconveniente es su elevado precio, por lo que sólo llega a usuarios finales corporativos, a diferencia de las redes pasivas llamadas redes PON.

2.2.5 REDES PON

Las redes PON (del inglés *Passive Optical Network*) o Redes Ópticas Pasivas son redes de fibra óptica que no utilizan componentes activos en el despliegue de la red; por el contrario, de acuerdo con Pacheco, (2016):

Las redes PON, utilizan componentes pasivos que no necesitan de una alimentación externa como es el caso del *splitter* óptico pasivo, el cual es el elemento principal en una red de fibra óptica que permite guiar el tráfico de la red en una topología árbol-rama. (p.5)

2.2.5.1 Características de las redes PON

Las redes ópticas pasivas tienen diversas características que son importantes mencionar, según lo expresado por Martín, (2017):

- Permiten incrementar la cobertura de la red hasta los 20 km desde la central, lo cual es una ventaja sobre otras tecnologías sobre cobre como DSL que sólo cubre hasta 5.5 km.
- Ofrecen mayor ancho de banda por usuario, debido a la naturaleza propia de la fibra óptica en comparación con las redes basadas en cobre.
- Minimiza el despliegue de la fibra óptica en el bucle local por utilizar una topología de árbol-rama, lo cual simplifica la densidad del equipamiento de central, reduciendo el consumo.
- Mejora la calidad de servicio y mantenimiento de la red al emplear una arquitectura simplificada punto-multipunto.
- Permite incrementar el ancho de banda superponiendo longitudes de onda adicionales.(p.9)

2.2.5.2 Estructura y funcionamiento de las redes PON

Una red óptica pasiva está formada por tres componentes, de acuerdo con Moreno, (2008):

- Un módulo OLT (del inglés *Optical Line Terminal*) o Terminal óptico de línea que se ubica en la central.
- Un *splitter* óptico.
- Varios ONUs (del inglés *Optical Network Unit*) o Unidad óptica de red que se ubica en el domicilio del abonado.(p.35)

Teniendo en cuenta esta conformación de arquitectura, como se puede ver en la figura No. 5, Sotomayor, (2014) expresa:

Todas las transmisiones de una red PON se realizan entre la unidad OLT, que se encuentra en el nodo óptico o central; y la ONU, localizada en el domicilio del abonado. Generalmente la unidad OLT se interconecta con una red de transporte que recoge los flujos procedentes de varias OLTs y los encamina a la cabecera de la red.(p.24)

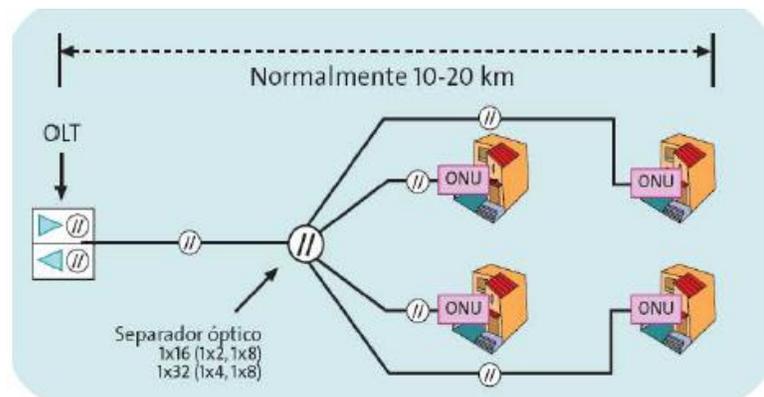


Figura 5. Arquitectura básica de una red PON

Fuente: Moreno (2012)

2.2.6 Estándares XPON

Los estándares XPON son un conjunto de documentos que definen la estructura técnica y lógica de las distintas maneras de implementar una red PON dependiendo de las tecnologías utilizadas. En esta perspectiva, se utiliza el denominador común XPON, y todos los fabricantes deben cumplir las recomendaciones indicadas para cada estándar para garantizar la interoperabilidad. Los estándares XPON se dividen en: APON, BPON, GPON, 10G-EPON, XGPON y NGPON2, tal como se muestra en la siguiente figura No. 6.



Figura 6. Estándares PON

Fuente: Perez (2019)

Moreno, (2018) indica que:

Respecto a APON (ATM PON), fue concebido como el primer sistema de ancho de banda definido por un grupo de operadores de telecomunicaciones. Su transmisión en el canal descendente está compuesta por ráfagas de celdas ATM (Modo de transferencia asíncrono), la desventaja de éste estándar definido por la UIT-T G.983 es que carecía de soporte a servicios de video, partiendo de velocidades máximas de 155 Mbps, repartidas entre todas las unidades de redes ópticas (ONUs) hasta que logró velocidades de 622 Mbps.

Por otro lado, BPON (*Broadband PON*), está basado en APON con la ventaja de presentar canales simétricos de hasta 622 Mbps y canales asimétricos de 155 Mbps para el canal ascendente y 622 Mbps para el descendente, por lo tanto, fue concebido con la particularidad de brindar soporte de banda ancha. Sin embargo, mientras su despliegue se popularizaba en EEUU y Japón, aparecieron los estándares EPON y GPON.

Tanto APON como BPON presentaban costes elevados y limitaciones técnicas que frenaron su expansión, por lo que la mayoría de los operadores actualmente se han decantado por GPON y sus sucesores.(p.16)

2.2.7 GPON

Según la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T, 2003), las redes GPON se definen como: “las redes de fibra óptica pasiva con capacidad de Gigabit (*Gigabit-Capable Passive Optic Network*, Red De Fibra Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit)” (p.i), cuyo estándar, determinado por el UIT-T G.984 y ampliamente usado en la industria de telecomunicaciones, da soporte a todos los servicios actuales como voz, datos y video con tasas de

transferencia para tráficos del siguiente tipo según (UIT-T G.984.1, 2003):

- Simétrico de 622 Mbit/s,
- Simétrico de 1.25 Gbit/s, y
- Asimétrico de 2.5 Gbit/s en sentido descendente y 1.25 Gbit/s en sentido ascendente. (p.7)

De acuerdo con artículo publicado por Telecons (2014), determina que:

Este estándar, que es una evolución de las redes de fibra óptica PON, proporciona mayor velocidad sobre el mismo medio físico, y tiene grandes ventajas sobre redes de telecomunicaciones predecesoras como lo son:

- Aumenta los límites de ancho de banda y supera la distancia de los tendidos de fibra óptica. El estándar GPON reduce el CAPEX o las inversiones de bienes capitales (*CAPital EXpenditures*) ya que, sobre una fibra óptica pueden sumarse más usuarios.
- Debido a que la fibra óptica transmite servicios de voz, datos y videos, es posible suprimir la red de par telefónico (cobre) y cable coaxial. Las redes ópticas GPON disponen de un modelo de Calidad de Servicio o QoS (*Quality of Service*), que garantiza el ancho de banda necesario para cada aplicación y usuario.
- Para aumentar la seguridad, la información transmitida a través de la fibra óptica viaja cifrada por medio del Estándar Avanzado de Encriptación (AES por sus siglas en inglés). De manera nativa, la red GPON cuenta con un modelo de gestión que facilita al operador la administración remota de los equipos de usuario, lo que implica una reducción del costo de operación u OPEX (*OPerating EXpense*).
- El estándar actual es el GPON (2,5 Gbps para 64 usuarios), sin embargo, ya se habla de la evolución del mismo, para ofrecer más velocidades y escalabilidad utilizando la misma infraestructura de fibra (Redes PON de Nueva Generación).(p.1)

2.2.7.1 Ventajas de GPON

Son varias las ventajas que ofrece esta tecnología, Josan (2017) sostiene que:

- Permite conexiones de fibra de hasta 20 Km entre el OLT y el ONT. Esto es una gran ventaja ya que las antiguas conexiones xDSL sólo alcanzaban como máximo los 5,5 Km y la velocidad de la conexión caía rápidamente al incrementar la distancia. Este es el motivo por el que aquellos usuarios que vivían lejos de la centralita sufrían una penosa conexión en comparación con la velocidad contratada con su ISP (Proveedor de Internet).
- Provee anchos de banda muy grandes que permiten alcanzar hasta los 2,4 Gbps de bajada y 1,2 Gbps de subida. El incremento de velocidad respecto a las conexiones xDSL es notable. También se pueden alcanzar los 2,4 Gbps simétricos, pero se utiliza el 2,4/1,2 Gbps.
- Simplifica mucho el despliegue de la fibra, ya que no necesita equipos intermedios activos entre el OLT y el ONT, además permite tipologías de red mucho más sencillas y baratas.
- Se obtiene una importante reducción de costes para el operador porque permite el envío de muchos servicios a la vez por una misma conexión de fibra. Es decir, a través de la multiplexación del canal, el operador puede enviar simultáneamente: Voz (Teléfono VoIP), datos (Internet), TV y vídeo (*Multicast*), televisión digital en alta definición (IPTV), vídeo bajo demanda (VOD), *broadcast* analógico mediante RF.
- Brinda una calidad de servicio razonable para garantizar que cada usuario y cada servicio funcionen correctamente.
- Provee seguridad, ya que la información en una red de fibra viaja cifrada mediante un encriptado AES (*Advanced Encryption Standard*).
- Permite la gestión remota de la red, brinda servicios de operatividad y mantenimiento de los ONT, descarga de actualizaciones, parámetros de funcionamiento, entre otros.(p.1)

2.2.7.2 Desventajas de GPON

Josan (2017), indica que:

Realmente las ventajas son mayores que los inconvenientes, aunque también las tiene. Los instaladores deben tener cuidado con los empalmes mecánicos para no sufrir pérdidas y atenuaciones. Necesitan personal especializado.

Es importante el cuidado con los conectores sucios o dañados porque pueden originar muchos problemas. Asimismo, identificar y corregir la reflexión tanto en el canal descendente (*downstream* desde el OLT al ONT del usuario) como en el ascendente (*upstream* desde el ONT hasta la centralita con el OLT).

No se puede colocar el hardware que se desee. Con las líneas xDSL se podía comprar el *router* neutro que se deseara y colocarlo. En las conexiones de fibra el ONT debe estar registrado en la OLT, por lo tanto, no podría tratarse de cualquier *hardware*.(p.1)

2.2.7.3 Arquitectura GPON

Las redes GPON soportan un esquema de multiplicación de dos longitudes de onda para los servicios digitales en el *upstream* y el *dowstream*, además reserva un tercer lambda en el canal de bajada para servicio de *broadcast*. La tasa de tráfico se estableció de 2.488Gbps de bajada y 1.244Gbps de subida.

Se caracteriza por poseer la capa G-PON TC, la cual define dos métodos de adaptación de los datos del usuario en la capa dependiente de los medios físicos, como lo son ATM y GEM. Debido a la convergencia actual, el método GEM es el más utilizado, ya que permite la adaptación de varios protocolos manteniendo un bajo *overhead*. Esta capa adicionalmente, proporciona la función de acceso al medio controlando el entrelazado de transmisiones de subida para múltiples ONUs (Cadena y Pozo, 2014).

Parte importante de su arquitectura, es que utiliza componentes electrónicos que proporcionan balance de potencia e implementan un rango de división de 1:32 y 1:64.

2.2.8 XG PON

Definida por la Recomendación Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T G.987), como “un sistema PON que admite velocidades de transmisión nominales del orden de 10 Gbit/s en al menos una dirección”. Se caracteriza por especificar un acceso asimétrico XG PON1 con 10 Gbps de bajada y 2,5 Gbps de subida y un acceso simétrico XG PON2 de 10 Gbps (Millan, 2013). Presenta la bondad de que el sistema de red de acceso local puede ser activa o pasiva (como GPON), con arquitectura tanto punto a punto como punto a

multipunto.

No obstante, “este estándar permite ampliar las capacidades heredadas de los estándares anteriores para producir un margen de potencia adicional con la finalidad de lograr mayor distancia en sus comunicaciones o permita un factor de división de potencia superior” (Moreno, 2018, p.29), además proporciona mayor ancho de banda de GPON. Las mejores presentaciones de XG PON sobre GPON, se originan debido a la sustitución de los elementos activos de GPON, principalmente los OTL y ONU, por sus versiones mejoradas.

Entre sus características se encuentra que admite una distancia máxima de 20Km utilizando fibra diferencial y una segunda variante opcional de 40Km y su máximo retardo medio de transferencia de señal es de 1,5ms. (Cáceres,2014).

2.2.9 NG-PON2

NG-PON2 es “el primer estándar de la industria basado en redes ópticas pasivas que usa múltiples longitudes de onda en cada sentido y es compatible con redes ópticas de distribución basadas en divisores de potencia” (Barranquero, 2016, p.10), y definido con la finalidad de habilitar redes de acceso fijo mediante configuraciones TWDM. Este nuevo estándar es retrocompatible con los anteriores en muchos aspectos para poder asegurar la reutilización y convivencia con los sistemas PON heredados.

La Recomendación UIT-T G.989.1 (2013), describe los sistemas NG-PON2, como “aquellos que soportan una capacidad descendente agregada capaz de 40 Gbit/s para aplicaciones residenciales, comerciales, de *backhaul* móvil y otras”(p.i). El estándar NG-PON2 soporta una capacidad agregada mínima de 40Gbps de bajada y 10 Gbps en subida.(p.4).

Desde la perspectiva de canal por longitud de onda, Barranquero (2016), expresa que:

TWDM ofrece tres combinaciones, de bajada y subida, de tasa de línea: el caso base con 10/2.5 Gbps y velocidades simétricas opcionales de 10/10 y 2.5/2.5 Gbps. Para punto a punto WDM se especifican tres tasas de línea (1, 2.5 y 10 Gbps) para transportar servicios Ethernet y SDH/OTN. Agregado a todo esto, cada sistema NG-PON2 soporta un mínimo de 256 ONUs direccionables por ODN, además que tienen la capacidad de soportar ODN con divisores de potencia y de longitud de onda, así como híbridos de ambos.(p.10)

Otro aspecto novedoso es la capacidad de sintonización, debido a que cada ONU integrante del sistema está equipada con un transmisor y un receptor sintonizables. Permiten alcanzar distancias máximas de enlace del orden de 40Km y 60Km.

2.2.10 REDES FTTX

Fibra hasta la o el “x” (*Fiber To The “x”*) es definido por Miralles (2015), como:

“Término genérico para cualquier banda ancha utilizando la arquitectura de red de fibra óptica para reemplazar todo o parte del metal, habitual bucle local utilizado para la última milla de las telecomunicaciones. El acrónimo FTTx es conocido ampliamente como *Fiber-to-the-x*, donde x puede denotar distintos destinos”.(p.57)

Por lo tanto, “las redes de acceso de nueva generación acercan la fibra óptica a los usuarios finales, lo que permite velocidades muy superiores a las que se pueden alcanzar mediante el tradicional ADSL” (Guecha, 2012, p.4). El acceso de los abonados a este medio en diversas topologías es lo que se conoce como FTTx, donde “un caso específico es FTTH o fibra hasta el hogar, en el que se reemplaza el cobre de la última milla por fibra óptica para llegar desde la central hasta el abonado con un único medio”. (Ojeda, 2009, p.17).

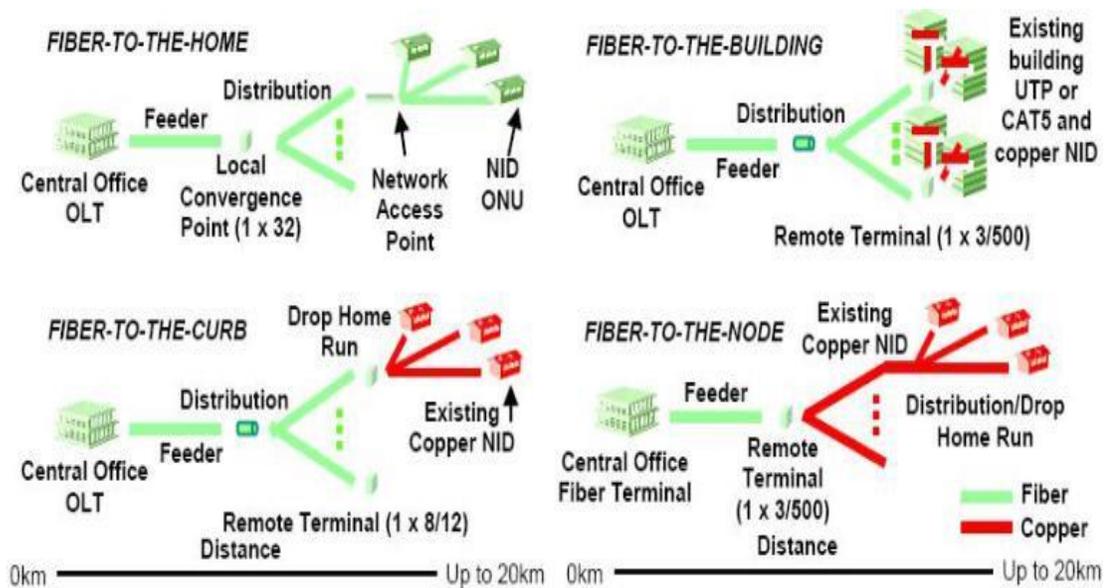


Figura 7. Representación de Redes FTTx

Fuente: <http://www.fabila.com/ftth/tipologias.html> (2018)

Según la distancia entre la fibra y el usuario final se pueden distinguir varios tipos de despliegue, denominados de manera general como FTTx, como se observa en la figura No. 7, al respecto, se identifican:

2.2.10.1 FTTH

Conocida como fibra hasta el hogar, Calderon (2018), expresa que:

Se basa en la utilización de cables de fibra óptica y sistemas de distribución ópticos adaptados a esta tecnología para la distribución de servicios avanzados, como el *Triple Play*: telefonía, internet de banda ancha y televisión, a los hogares y negocios de los abonados.(p.11)

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, permite alcanzar velocidades superiores a los 100 Mbps.

Asimismo, según Bojorquez (2011):

La tecnología FTTH propone la utilización de fibra óptica hasta el domicilio del usuario. La red de acceso entre el abonado y el último nodo de distribución puede realizarse con una o dos fibras ópticas dedicadas a cada usuario (una conexión punto-punto que resulta en una topología en estrella) o una red óptica pasiva (del inglés *Passive Optical Network*, PON) que usa una estructura arborescente con una fibra en el lado de la red y varias fibras en el lado usuario.(p.1)

2.2.10.2 FTTE

FTTE es definida por Ilbay (2016), como:

Arquitectura compatible con los estándares del sistema de cableado estructurado que se extiende la red troncal de fibra de la sala de equipos, a través de la sala de telecomunicaciones, y directamente a un recinto de telecomunicaciones (TE) instalado en un espacio común para servir a un número de usuarios en un área de trabajo. Su aplicación se basa en la TIA/EIA-569-B "Caminos y Espacios", la cual define el recinto de Telecomunicaciones (TE), y TIA/EIA-568-B.1 Addendum 5, que define el cableado cuando un TE es utilizado.(p.42)

La arquitectura permite FTTE para cualquier elección, los medios de comunicación de la TE en el área de trabajo, ya que puede ser de cobre de par trenzado balanceado, fibra óptica multimodo o monomodo de fibra óptica o inalámbrica, incluso si un punto de acceso está instalado en o cerca de la TE.

2.2.10.3 FTTB

FTTB (Fibra hasta el Edificio, también llamada fibra hasta el sótano) de acuerdo con Lanchi (2015):

Es una forma de prestación de comunicación de fibra óptica que

necesariamente se aplica sólo a aquellas propiedades que contienen múltiples espacios de trabajo. La fibra óptica termina antes de que realmente llegue a los suscriptores que viven o trabajan el espacio en sí, es decir, que se extiende a la propiedad que contiene ese espacio que viven o trabajan.

De esta manera, la señal se transmite a la instancia final utilizando todos los medios no ópticos, incluyendo par trenzado, cable coaxial, conexión inalámbrica, la comunicación o la red eléctrica. (p.54)

En este caso la fibra óptica llega hasta el exterior del edificio y luego se utiliza cobre para llegar hasta el domicilio de cada usuario final. Las velocidades que se pueden alcanzar con este tipo de acceso pueden llegar a los 100 Mbps. (Ganuza y Perca, 2016, p.5)

2.2.10.4 FTTC

FTTC de acuerdo con Miralles (2015) "es un método de servicios de banda ancha de alta velocidad para negocios y hogares, acortando la distancia que viaja la conexión de la línea de cobre. Esto se logra mediante la instalación de "DSLAM de la calle" (p.58), el cual actúa como un cambio pequeño cerca de la casa o negocio. La conexión entre estos DSLAM Street y la central telefónica es de fibra (por lo tanto, de fibra hasta el gabinete). El resto de la distancia entre el DSLAM calle y las instalaciones del cliente es de cobre, pero la distancia es lo suficientemente corto como para usar la tecnología VDSL (*Very-high-bitrate* de línea de abonado digital), que tiene una velocidad máxima de carga teórica de 10 Mbps y una velocidad de descarga de 40Mbps.

Según Ganuza y Perca (2016):

En estos accesos la fibra llega hasta un nodo cercano al usuario final y a partir de allí la red continúa mediante cobre. Debido a que el último tramo es de cobre, con estos accesos se pueden alcanzar velocidades bastante inferiores a las correspondientes a FTTH o FTTB.(p.5)

2.2.10.5 FTTN

Fibra hasta el nodo (FTTN), también llamada fibra para el barrio o la fibra hasta el armario (FTTCab), es definida por López (2017), como:

Una arquitectura de telecomunicaciones basados en cables de fibra óptica para ejecutar un armario que sirve un barrio. Normalmente, los clientes se conectan a este aparato con cable coaxial tradicional o el cableado de par trenzado.

El área servida por el gabinete es por lo general menos de 1.500m de radio y puede contener varios cientos de clientes. Si el gabinete atiende un área de menos de 300 m de radio luego de la arquitectura que se suele llamar la fibra hasta la acera. Fibra hasta el nodo, permite el suministro de servicios de banda ancha, como internet de alta velocidad.

Protocolos de comunicaciones de alta velocidad, tales como acceso de banda ancha por cable (DOCSIS general) o alguna forma de línea de abonado digital (DSL) se utilizan entre el gabinete y los clientes. Las tarifas de datos varían de acuerdo con el protocolo exacto utilizado y de acuerdo con lo cerca que el cliente es el gabinete. FTTC 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.(p.4)

2.2.10.6 FTTP

Espinoza, Valenzuela y Álava (2015), determinaron que una red FTTP es:

La fibra óptica hasta las instalaciones (FTTP) se refiere a un tipo de tecnología de telecomunicaciones donde se utilizan cables de fibra óptica para conectar el equipo de distribución que se encuentra más cercano al usuario destinatario de la conexión directamente a la red principal de telecomunicaciones.

La diferencia entre FTTP y FTTH (*Fiber To The Home*) radica en que la conexión FTTH tiene un alcance directo hasta el espacio físico donde se encuentra el destinatario final de la conexión (hogar, negocio, entre otros) mientras que la conexión de tipo FTTP se realiza hasta "el equipo distribuidor más cercano" al destinatario, llegando hasta el lugar físico donde se encuentra el destinatario de la conexión por otros medios como pueden ser cable coaxial o par trenzado de cobre, entre otros.(p.23)

2.2.10.7 FTTD

Está definida como “conexión de fibra óptica se instala desde la sala de ordenadores principales de un terminal o un convertidor de fibra media, cerca de la mesa de los usuarios” (Chayña, 2017, 33).

2.2.10.8 FTTA

FTTA “diferente del modelo FTTB, la señal óptica transmitida por la prestadora de servicios pasa por un *splitter* óptico ubicado en la sala de equipos del edificio de atención, dividiéndose y transmitiéndose individualmente a cada departamento/oficina” (Álava, 2015, 25).

2.2.11 Medios de transmisión

El medio de transmisión de acuerdo con González (2016):

Constituye el soporte físico a través del cual emisor y receptor pueden comunicarse en un sistema de transmisión de datos. Distinguimos dos tipos de medios: guiados y no guiados. En ambos casos la transmisión se realiza por medio de ondas electromagnéticas. Los medios guiados conducen las ondas a través de un camino físico.(p.1)

“Los medios no guiados proporcionan un soporte para que las ondas se transmitan, pero no las dirigen, ejemplo de esto serían el vacío y el agua”. (Campos, 2012, p.5).

2.2.11.1 Cable de Cobre

Los cables de cobre han sido el material conductor más utilizado en Telecomunicaciones en los últimos 50 años. Comenzando desde las líneas telefónicas tradicionales en 1876, creó la demanda adicional para el alambre

de cobre como conductor eléctrico hasta la reciente fibra óptica, está presente como insumo básico.

Los cables de cobre pueden estar desnudos o pueden ser chapados para reducir la oxidación con una fina capa de otro metal, la mayoría de las veces estaño, pero a veces oro o plata. El revestimiento puede prolongar la vida del cable y facilitar la soldadura. Este material consta de dos o más cables de cobre que van de lado a lado y unidos, o trenzados para formar un solo conjunto. Los cables eléctricos pueden hacerse más flexibles al trenzar los cables.

2.2.11.2 Cable par de cobre

El cable telefónico de par de cobre es uno de los muchos medios de transmisión de señales usados en telecomunicaciones. La unidad básica que constituye un cable es el par telefónico, el cual está formado por dos hilos de cobre aislados entre sí por un material de plástico o papel y con colores diferentes para facilitar su identificación.

En el caso de los cables de papel o pulpa el principal elemento de aislamiento es el aire seco que se encuentra en su interior. En los cables con aislamiento de plástico, este es el principal elemento aislante, por lo que también suelen ser denominados "de aislamiento sólido". Un cable puede contener desde 10 hasta 2400 pares, en una variedad de calibres (0.4 mm a 0.9 mm) que dependen de los requerimientos del sistema. (García, 2013, p.1)

2.2.11.3 Fibra óptica

Regalado y Romero (2018), determinan que:

Un cable de fibra óptica consta de tres secciones concéntricas. La más interna, el núcleo, consiste en una o más hebras o fibras hechas de cristal o plástico. Cada una de ellas lleva un revestimiento de cristal o plástico

con propiedades ópticas distintas a las del núcleo. La capa más exterior, que recubre una o más fibras, debe ser de un material opaco y resistente.

Un sistema de transmisión por fibra óptica está formado por una fuente luminosa muy monocromática (generalmente un láser), la fibra encargada de transmitir la señal luminosa y un fotodiodo que reconstruye la señal eléctrica.(p.22)

En relación a lo especificado por, Anónimo (2017):

Hay dos tipos de cable que son comúnmente usados: los cables monomodo y los cables multimodo, ambos tienen un conducto en el centro llamado núcleo a través el cual la luz viaja en línea recta o rebotando en las paredes del revestimiento, un material óptico que hace rebotar la luz.

El cable de conexión monomodo tiene la peculiaridad de que, dentro de su núcleo, la data viaja sin rebotar en sus paredes lo que permite mantener velocidades de transferencia más altas, mientras que el cable de conexión multimodo permite que los haces de luz reboten en las paredes del *cadding* o revestimiento, lo cual se traduce en una mayor cantidad de haces de luz viajando al mismo tiempo a través del núcleo. (p.1)

2.2.12 Redes Híbridas

“En la terminología de redes, una red híbrida (también llamada topología de red híbrida) combina las mejores características de dos o más redes diferentes. Se puede decir que las topologías híbridas son confiables y versátiles” (Gilani, 2012, p.1), ya que se toman las cualidades de otras redes para crear una mejor. Estas proporcionan un gran número de conexiones y caminos de transmisión de datos para los usuarios.

2.3. Bases Legales

LEY DE COMUNICACIÓN DEL PODER POPULAR

TÍTULO I DISPOSICIONES FUNDAMENTALES

Objeto

Artículo 1. Esta Ley tiene por objeto impulsar, desarrollar y consolidar la comunicación del Poder Popular, como derecho humano fundamental, así como normar la organización, funcionamiento y articulación de las iniciativas de las comunidades organizadas, los movimientos y organizaciones sociales, para la comunicación participativa, protagónica y emancipadora. Comunicación del Poder Popular.

Artículo 2. La comunicación que regula esta ley, como ámbito del Poder Popular, es un proceso colectivo, sin fines de lucro, que transmite los valores humanos, sociales, democráticos y de equidad; creando una nueva conciencia social y un nuevo modelo comunicacional bajo formas de gestión popular, que impulsa la comunicación liberadora para la construcción del estado comunal.

TÍTULO V COBERTURA, TECNOLOGIA E INFRAESTRUCTURAS

Áreas de cobertura

Artículo 25. El área de cobertura de los medios de comunicación del poder popular será determinada de acuerdo a las condiciones sociales, culturales, geográficas propias de la zona de influencia correspondiente a la comunidad organizada, tomando en cuenta el proyecto presentado ante el Consejo Nacional de Comunicación Popular, el cual realizará los estudios pertinentes y tramitará todo lo concerniente en coordinación con el órgano rector en materia de telecomunicaciones. Los medios de comunicación sectorial podrán tener una zona de cobertura correspondiente al territorio nacional, previo estudio realizado del Consejo Nacional de Comunicación Popular y el órgano rector en materia de las telecomunicaciones.

Acceso a la radio y televisión por suscripción

Artículo 26. Los prestadores de servicios de difusión por suscripción incluirán de manera gratuita en su oferta de programación a los medios de comunicación del Poder Popular de acuerdo a la zona de cobertura asignada por el órgano rector en materia de telecomunicaciones, independientemente del medio de transmisión utilizado por el prestador del servicio. El Consejo Nacional de Comunicación Popular velará por el fiel cumplimiento de esta norma.

Al igual que lo reflejado anteriormente, fue necesario analizar las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) para tal fin, las cuales han sido desarrolladas en base a parámetros y estándares ya calificados, para la implementación de equipos y sistemas para el monitoreo y gestión del espectro radioeléctrico, pudiendo mencionar las siguientes:

Recomendación técnica UIT-R SM.1048 (Directrices para el diseño de un sistema básico automatizado de gestión del espectro): Esta recomendación en su alcance señala que se deben elaborar y mantener programas lógicos destinados a la creación de un Sistema Básico Automatizado de Gestión del Espectro (*Basic Automated Spectrum Management System* – BASMS, por sus siglas en inglés), según las características que recomienda y con disponibilidad en el menor tiempo posible, también plantea la forma como debe comenzarse la creación del BASMS, partiendo desde sistemas disponibles en el mercado hasta el autodesarrollo del sistema, tomando en cuenta todos los pasos para su implementación.

Asimismo plantea los requerimientos de disponibilidad, almacenaje y respaldo de la información, como paso previo para la implementación de un Sistema Perfeccionado de Gestión del Espectro (*Advanced Spectrum Management System* – ASMS, por sus siglas en inglés).

Recomendación técnica UIT-R SM.1370-1 (Directrices de diseño para la elaboración de sistemas avanzados de gestión automática del espectro): Esta recomendación en sus objetivos señala como se debe elaborar y mantener los programas lógicos destinados a la implementación de un Sistema Perfeccionado de Gestión del Espectro (*Advanced Spectrum Management System* – ASMS, por sus siglas en ingles), incluyendo todos los procesos y cálculos necesarios en la administración del espectro, de la misma forma, como el ASMS debe permitir múltiples usuarios y poseer las características de seguridad de datos acorde a su importancia, además de incluir características de cálculo de ingeniería avanzada para servicios radioeléctricos, así como disponer de una base de datos topográficos para determinados cálculos de ingeniería. Plantea los requisitos necesarios en la capacitación y apoyo del personal, para la implantación y puesta en marcha del sistema.

Recomendación técnica UIT-R SM.1537 (Automatización e integración de los sistemas de comprobación técnica del espectro con la gestión automática del espectro): Plantea la implementación de un sistema integrado y automatizado que emplee una base de datos relacional común entre ambos sistemas, que contenga las funcionalidades expresadas en la norma (acceso remoto a los recursos del sistema, detección automática de infracción, asignación de frecuencia, medición automática de los parámetros de la señal y de la ocupación junto con radiogoniometría, moderna interfaz de usuario gráfica, entre otras).

Señala la bondad que deben tener los equipos de medición para procesar las señales analógicas o digitales, las áreas principales de interacción entre los sistemas, garantizando una coherencia de los datos administrativos y el control del espectro, en estricto cumplimiento de las normas y comprobación técnica. Asimismo, que permita la asignación de tareas a distancia en las estaciones fijas o remotas, soportando el proceso de informes desde las mismas, incluyendo la recopilación de datos de comprobación y verificación técnica,

para soportar la resolución de reclamaciones y denuncias.

2.4. Definición de Términos Básicos

Cabecera (Header): “Este campo contiene información sobre sincronización de la trama”. (Bell Labs, Alcatel-Lucent Technologies, 2017, p.30).

Calidad de Servicio QoS: (*Quality of Service*, en inglés) “Efecto global de la calidad de funcionamiento de un servicio, que determina el grado de satisfacción de los usuarios”. (Rec. UIT-T E.800).

Carga útil (Payload): “Son los datos a enviar”. (Fabrice Bourgart, France Telecom, 2017, p.58).

CRC: “Que permite conocer si la información enviada ha llegado correctamente y sin errores a su destino”. (Fabrice Bourgart, France Telecom, 2017, p.18).

IMS: “Arquitectura concebida para ofrecer servicios multimedia, que además permite a operadores brindar servicios de valor agregado sobre una infraestructura IP existente, sin importar el tipo de red de acceso a estos servicios (Celular, Wireless, redes cableadas y redes de banda ancha)”. (Bell Labs, Alcatel-Lucent Technologies, 2017, p.90).

Internet: “Red integrada por múltiples redes de ordenadores que se usan como soporte para la comunicación las redes de telecomunicaciones públicas y privadas de los países donde se encuentran y que utilizan un protocolo específico de comunicación denominado TCP/IP”. (Bell Labs, Alcatel-Lucent Technologies, 2017, p.130).

NGN: “Modelo de arquitectura de redes de referencia que permite desarrollar

toda la gama de servicios IP multimedia de nueva generación”. (Bell Labs, Alcatel-Lucent Technologies, 2017, p.300).

Red Telefónica: “Es una red de telecomunicaciones utilizada para llamadas telefónicas entre dos o más partes”. (Bell Labs, Alcatel-Lucent Technologies, 2017, p.10).

Telefonía IP: “Es una tecnología que permite integrar en una misma red basada en protocolo IP, en las comunicaciones de voz y datos muchas veces se utiliza el término de redes convergentes o convergencia IP, aludiendo a un concepto un poco más amplio de integración en la misma red de todas las comunicaciones (voz, datos, video, entre otros)”. (Bell Labs, Alcatel-Lucent Technologies, 2017, p.11).

Televisión IP: (IPTV en sigla ingles) [UIT-T Y.1901]: Televisión por el protocolo internet (*Internet Protocol Television*). (Bell Labs, Alcatel-Lucent Technologies, 2017, p.12).

VoIP: “También llamado Voz sobre IP, Voz IP, VozIP, (VoIP por sus siglas en inglés, *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)”. (Bell Labs, Alcatel-Lucent Technologies, 2017, p.13).

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

Este capítulo describe la metodología utilizada en el trabajo de investigación, con el propósito de alcanzar los objetivos mencionados y poder analizar la factibilidad de convergencia de redes de acceso de próxima generación (NGA) en redes FTTx usando tecnología XPON sobre redes heredadas que garantice mejoras en la velocidad y ancho de banda.

Bajo esta premisa, el marco metodológico incluye los diversos tipos de paradigmas, investigaciones, métodos y técnicas con el objeto de ofrecer una comprensión integral del proceso indagatorio que tienen valor en la práctica de la investigación pero, de ningún modo asegura el éxito de la misma, por ende, sirve para esbozar el camino de los obstáculos que pueden entorpecer el desarrollo emprendido en la dinámica exploratoria. Para Carrera y Vásquez (2007), “la metodología es un plan que se traza el investigador compuesto por las estrategias, métodos y procedimientos que considera necesarios para alcanzar los objetivos propuestos” (p. 82).

3.1 Tipo de Investigación

El fundamento metodológico de este trabajo, está sustentado en una investigación descriptiva, la cual permite la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, y la composición o proceso de los fenómenos. Es por ello, que Arias, F (2000) define la investigación descriptiva como “aquella que consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento”. (p.24)

Según Sabino (2002):

La investigación de tipo descriptiva trabaja sobre realidades de hechos, y su característica fundamental es la de presentar una interpretación correcta. Para la investigación descriptiva, su preocupación primordial

radica en descubrir algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos, utilizando criterios sistemáticos que permitan poner de manifiesto su estructura o comportamiento. De esta forma se pueden obtener las notas que caracterizan a la realidad estudiada. (p. 51)

De lo antes expuesto, se tiene como objetivo llegar a conocer las situaciones, costumbres y actitudes predominantes a través de la descripción exacta de las actividades, procesos y personas que permitan analizar la factibilidad de convergencia de redes de acceso de próxima generación en redes FTTx usando tecnología XPON sobre redes heredadas que garantice mejoras en la velocidad y ancho de banda. Su meta no se limita a la recolección de datos, sino a la predicción e identificación de las relaciones que existen entre dos o más variables.

3.2 Diseño de la Investigación

Ramírez (citado por Palella y Martins, 2010), indica que la investigación de campo “consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos sin manipular o controlar las variables”. (p.97); señala además, que este tipo de investigación comprende diversos niveles. Este trabajo tiene un nivel de investigación descriptivo donde “el propósito de este nivel es interpretar realidades de hecho. Incluye descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, composición o procesos de los fenómenos”. (p.86).

Expone a su vez, el análisis sistemático de problemas reales, con el propósito de describirlos, interpretarlos, además de entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos característicos de cualquier de los paradigmas o enfoque de investigación conocidos o en desarrollo.

3.3 Unidad de Análisis

En el presente estudio, se presenta como unidad de análisis el garantizar mejoras en la velocidad y ancho de banda como parte de la factibilidad de convergencia de redes de Acceso de próxima generación (NGA) en redes FTTx usando tecnología XPON sobre redes heredadas.

3.4 Técnicas e Instrumentos Recolección de Datos

Los datos que se recolectarán serán obtenidos de diversas fuentes secundarias, lo que en opinión de Arias (2006), “son aquellas informaciones que se logran recopilar de revisiones bibliográficas y documentales, con la finalidad de encauzar el estudio hacia un rumbo asertivo y con la facilidad de darle al investigador las herramientas necesarias para su indagación”.(p.15)

Por lo tanto, para la obtención de los datos se utilizará la revisión bibliográfica en revistas especializadas y publicaciones editadas por institutos de información del Continente Americano, a su vez, serán efectuadas consultas en libros y documentos de estudios de casos sobre la temática planteada.

Durante la revisión del material serán seleccionados aspectos de interés a ser utilizados, por ello, para recoger esta información en forma organizada será utilizada la técnica del fichaje, que según Balestrini (2006), “es la acumulación de manera metódica y ordenada de los diversos datos e ideas de las fuentes localizadas, las cuales sirven de apoyo para la realización de cualquier trabajo de investigación, con rapidez y eficiencia” (p.9).

Definida la técnica de recolección de datos a ser aplicada en la investigación, se procederá a la revisión documental que será la técnica de recolección de datos a seleccionar para aproximarse al material relacionado con el tema objeto de estudio y extraer de ellos la información que se necesitará conseguir,

siendo su propósito primordial el empleo de técnicas e instrumentos propios de la investigación documental tales como; observación documental, presentación resumida de textos, resumen analítico y resumen crítico.

Una vez efectuada la búsqueda y obtenida la información necesaria considerada pertinente para la investigación, se realizará la observación documental a partir de la lectura general de los textos clasificados en dos (2) fases: lectura inicial y lectura detenida de los documentos, a fin de sacar provecho a las informaciones de mayor utilidad para la investigación.

Sobre la base de los señalamientos expuestos, Balestrini (ob.cit) expresa:

La lectura inicial es de gran utilidad para el investigador porque lo sitúa en el marco conceptual de lo que se quiere investigar. La lectura detenida se hace más compleja porque el investigador debe cumplir con todos y cada uno de los requisitos que conlleva una lectura en su forma amplia y rigurosa (p.98).

En atención a lo planteado, puede precisarse que mediante la lectura inicial y detenida se pueden alcanzar estándares de calidad en el aprovechamiento de distintos documentos a interpretar.

3.5 Fases de la Investigación

Según Gómez (2000). “La factibilidad, indica la posibilidad de desarrollar un proyecto, tomando en consideración la necesidad detectada, beneficios, recursos humanos, técnicos, financieros, estudio de mercado y beneficiarios”. (p.24). Por ello, una vez culminado el diagnóstico y la factibilidad, se procede a la elaboración de la propuesta, lo que conlleva necesariamente a una tercera fase del proyecto.

3.5.1 Factibilidad Operativa

Hernández (2014) define la Factibilidad Operativa como aquella que:

Permite predecir, si se pondrá en marcha el sistema propuesto, aprovechando los beneficios que ofrece, a todos los usuarios involucrados con el mismo, ya sean los que interactúan en forma directa con este, como también aquellos que reciben información producida por el sistema. (p.16).

Se determinará que el proyecto es operativamente factible, si se comprueba la forma en que el sistema pudiera ser implementado en la vida real, en este caso, se comprobará si todas aquellas actividades que intervienen para definir, además del equipamiento necesario, la capacidad del sistema, su forma de operación y de interconexión entre todos los componentes del sistema, de tal manera que permitan lograr el objetivo.

Los resultados del estudio deben confirmar sí es posible que el sistema funcione de manera satisfactoria y sea utilizado por las personas que así lo requieran si se llegase a implementar.

3.5.2 Factibilidad Técnica

Con relación a la factibilidad técnica el Instituto Latinoamericano de Planificación, Económica y Social (ILPES) (1999) señala: “Se refiere a la existencia y disponibilidad de todos los elementos cuya movilización y utilización son indispensable para que el proyecto se realice. Estos elementos pueden ser de tipo material o humano”. (p.46).

Al detallar el *hardware* que existe y tomando en cuenta la configuración mínima necesaria, se requerirá hacer una inversión inicial para la adquisición de nuevos equipos, así como repotenciar o actualizar los equipos que existen, ya que los mismos retribuyen los requerimientos establecidos para el desarrollo y puesta en funcionamiento del sistema que se desea proponer, se podría decir

que estos componentes se encuentran en el mercado actualmente a unos precios nada accesibles.

3.5.3 Factibilidad económica

Según lo define Hernández (2004):

La factibilidad económica es un indicativo netamente cuantificable porque parte de elementos técnicos y financieros. Incluye el análisis del escenario donde se ejecutará el proyecto, su viabilidad y rentabilidad dentro de este contexto. Está en función de los criterios de política económica o social adoptado por las autoridades públicas que aprobaron el proyecto y determinan los gastos que implican la implantación de la propuesta. (p.125.).

Por lo tanto, la factibilidad económica quedará determinada con base a estimaciones de: materiales, equipos y dispositivos que serán necesario para el análisis de la factibilidad de convergencia de redes de acceso de próxima generación en redes FTTx usando tecnología XPON sobre redes heredadas.

3.6 Procedimiento por Objetivos

- Describir los diferentes escenarios en el que se desarrolla el despliegue de redes ópticas en Venezuela.
 - Investigar las operadoras de telecomunicaciones que laboran en el país que poseen redes de fibra óptica en Venezuela.
 - Discriminar las tecnologías y despliegues utilizados en la redes de fibra óptica en el país.
 - Definir el escenario sobre el cual se particularizará la convergencia de redes de acceso de próxima generación, que disponga de la infraestructura heredada necesaria para compatibilizar con las tecnologías FTTx y XPON.
- Justificar las tecnologías FTTx y XPON escogidas que mantengan la coexistencia entre sistemas regulados por los estándares legados con sistemas basados en los estándares de nueva generación.

- Comparar las características de las variantes de la familia FTTx a fin de escoger la mejor que pueda coexistir con las redes de estándares legados.
- Identificar los elementos a cambiar parcialmente o totalmente de la red heredada.
- Analizar la familia de tecnología XPON que ofrezca mejores bondades para garantizar mejoras de velocidad y ancho de banda sobre estándares de nueva generación.
- Verificar la viabilidad técnica del proyecto desde el punto de vista conceptual, fundamentada por las especificaciones o recomendaciones internacionales.
 - Diseñar una red basada en las tecnologías seleccionadas que permita la convergencia de las redes de nueva generación en el escenario escogido.
 - Analizar técnicamente el funcionamiento de la red partiendo de las características de velocidad, ancho de banda y prestación de servicios de última milla.
- Estudiar la viabilidad económica y operativa para la convergencia en relación a la adaptación de la red heredada fundamentada en recomendaciones internacionales a través de criterios de evaluación de proyectos.
 - Evaluar a través del diseño realizado los costos asociados.
 - Analizar a través del diseño realizado la factibilidad operativa.
 - Presentar conclusiones basadas en criterios de evaluación de proyectos la viabilidad del uso de redes de nueva generación, FTTx y XPON a fin de exponer la factibilidad de convergencia de estas tecnologías para mejoras en las redes actuales en Venezuela.

3.7 Operacionalización de los Objetivos

La definición operacional de una variable, en opinión de Balestrini, (2002) implica "seleccionar los indicadores de contenidos, de acuerdo al significado que se le ha otorgado a través de sus dimensiones a la variable de estudio" (p.114).

Un aspecto importante a considerar en algunas investigaciones es la conceptualización operacional de las variables en estudio, o como algunos autores llaman la Operacionalización de las Variables y la cual es definida por Korn (Citado por Balestrini, 2006) plantea que se deben seguir procedimientos como los que se mencionan a continuación: "Definición nominal de la variable a medir, definición real: en la que se listan las dimensiones y la definición operacional en la que se seleccionan los indicadores" (p.89).

Cuadro 1. Operacionalización de Variables.

Variable	Dimensiones	Indicadores	Fuente	Técnica/ Instrumento
Despliegue de redes de acceso de fibra óptica heredadas	Medio de transporte de acceso en la última milla	Fibra óptica	Gerente empresas Operadoras de Telecomunicaciones	Entrevista no Estructurada Observación Directa
		Fibra óptica-cable coaxial	Documentación de proyectos	
		Fibra óptica-cobre		
	Tipo de elementos empleados en la Arquitectura	Arquitectura Pasiva		
		Arquitectura Activa		
	Redes NGN	Arquitectura		

Convergencia de redes de acceso de nueva generación, redes FTTx y Redes XPON		Capas	Recomendaciones, Normas Internacionales, Libros de Texto, Trabajos arbitrados, Disposiciones de Homologación Nacional	Revisión Bibliográfica Análisis del investigador
		Funcionalidades y Servicios		
		Equipos		
	Redes FTTx	Arquitectura		
		Topologías		
		Protocolos		
		Equipos		
		Servicios		
	Redes XPON	Características		Análisis Documental Cuadros Comparativos Análisis del investigador
		Estándares de última generación		
		Servicios		
		Equipos		

3.8 Aspectos Éticos

Se tendrá en cuenta la veracidad de resultados; el respeto por la propiedad intelectual; el respeto por las convicciones políticas, religiosas y morales; respeto por el medio ambiente y la biodiversidad; responsabilidad social, política, jurídica y ética; respeto a la privacidad; proteger la identidad de los individuos que participan en el estudio; honestidad, entre otros. (Universidad Católica Andrés Bello (UCAB, 2017).

El investigador se compromete a respetar la veracidad de los resultados, la confiabilidad de los datos suministrados por la empresa y la identidad de los individuos que participan en el estudio.

3.9 Cronograma

Cuadro 2. Cronograma de Actividades

Nombre de la Tarea	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Preliminares del Proyecto	X					
Capitulo I. El problema	X					
• Planteamiento del Problema	X					
• Objetivos de la Investigación	X					
• Preparación y Entrega No. 1 del material	X					
• Justificación de la Investigación	X					
• Alcances y Limitaciones	X					
• Preparación y Entrega No. 2 del material	X					
• Ajuste de correcciones	X					
• Preparación y Entrega No. 3 del material	X					
Capitulo II. Marco teórico	X					
• Antecedentes	X					
• Preparación y Entrega No. 4 del material	X					

• Fundamentos Teóricos	X					
• Preparación y Entrega No. 5 del material	X					
• Bases Legales	X					
• Términos básicos	X					
• Preparación y Entrega No. 6 del material		X				
• Ajuste de correcciones		X				
• Preparación y Entrega No. 7 del material		X				
Capítulo III. Marco Metodológico		X				
• Tipo de Investigación		X				
• Diseño de Investigación		X				
• Unidad de Análisis		X				
• Preparación y Entrega No. 8 del material		X				
• Técnicas e instrumentos de recolección de datos		X				
• Fases de la Investigación		X				
• Preparación y Entrega No. 9 del material			X			

• Procedimientos por objetivos			X			
• Operacionalización de los objetivos			X			
• Aspectos éticos			X			
• Preparación y Entrega No. 10 del material			X			
• Cronograma			X			
• Recursos			X			
• Preparación y Entrega No. 11 del material			X			
• Ajuste de correcciones			X			
• Preparación y Entrega No. 12 del material			X			
• Revisión, preparación y entrega de los Capítulos I, II y III			X			
Capítulo IV. Análisis e Interpretación de los Resultados				X		
• Investigar las operadoras de telecomunicaciones que laboran en el país que poseen redes de fibra óptica en Venezuela.				X		
• Discriminar las tecnologías y				X		

despliegues utilizados en la redes de fibra óptica en el país.						
<ul style="list-style-type: none"> Definir el escenario sobre el cual se particularizará la convergencia de redes de acceso de próxima generación, que disponga de la infraestructura heredada necesaria para compatibilizar con las tecnologías FTTx y XPON. 				X		
<ul style="list-style-type: none"> Comparar las características de las variantes de la familia FTTx a fin de escoger la mejor que pueda coexistir con las redes de estándares legados. 					X	
<ul style="list-style-type: none"> Identificar los elementos a cambiar parcialmente o totalmente de la red heredada. 					X	
<ul style="list-style-type: none"> Analizar la familia de tecnología XPON que ofrezca mejores bondades para garantizar mejoras de velocidad y ancho de banda sobre estándares de nueva generación. 					X	
<ul style="list-style-type: none"> Diseñar una red basada en las tecnologías seleccionadas que 					X	

permita la convergencia de las redes de nueva generación en el escenario escogido.						
<ul style="list-style-type: none"> Analizar técnicamente el funcionamiento de la red partiendo de las características de velocidad, ancho de banda y prestación de servicios de última milla. 					X	
<ul style="list-style-type: none"> Evaluar a través del diseño realizado los costos asociados. 						X
<ul style="list-style-type: none"> Analizar a través del diseño realizado la factibilidad operativa. 						X
<ul style="list-style-type: none"> Presentar conclusiones basadas en criterios de evaluación de proyectos la viabilidad del uso de redes de nueva generación, FTTx y XPON a fin de exponer la factibilidad de convergencia de estas tecnologías para mejoras en las redes actuales en Venezuela. 						X
<ul style="list-style-type: none"> Preparación y Entrega No. 13 del material 						X
Capitulo V: Conclusiones y Recomendaciones						X
<ul style="list-style-type: none"> Preparación y Entrega No. 14 del material 						X

• Ajuste de correcciones						X
• Revisión, preparación y entrega de los Capítulos I, II, III, IV y V						X

3.10 Recursos

Recursos humanos: Personal que participa en el trabajo de investigación: Personal técnico, administrativo y de servicio, asesores, entre otros.

Materiales y equipos: se mencionan los materiales, reactivos, equipos e instrumentos, especificando calidad, y cantidad que se utilizarán en el trabajo de investigación. (Universidad Católica Andrés Bello (UCAB), 2017). Ver cuadro N° 3

Cuadro 3. Matriz de Recursos.

Recursos	Característica	Cantidad	Costo
Humanos	Inscripción del Seminario de TEG	1	50.000,00
	Asesor metodológico	1	200.000,00
	Inscripción del TEG	1	80.000,00
	Asesor especialista	1	300.000,00
	Investigador	1	150.000,00
Materiales y equipos	Laptop TOSHIBA	1	17.000.000,00
	Correctores	3	8.000,00
	Resaltadores	4	32.000,00

	Lapiceros	6	30.000,00
	Viajes urbanos	200	140.000,00
	Meses de servicio de teléfono internet	10	90.000,00
	Impresión	3	300.000,00
	Empastados	1	60.000,00
	CDs	1	5.000,00
Total			18.445.000,00

El presupuesto estimado para realizar el análisis de factibilidad de convergencia de redes de Acceso de próxima generación en redes FTTx usando tecnología XPON sobre redes heredadas fue de 18.445.000,00 Bs.

CAPITULO IV: ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

Este capítulo presenta un análisis detallado de los datos recolectados por medio de revisión bibliográfica, entrevistas no estructuradas y observación directa, con el objeto de estudiar e identificar la situación real expresada en mediciones cuantitativas y cualitativas de las premisas propuestas como objetivos específicos a fin de estudiar la factibilidad de convergencia de redes de acceso de próxima generación (NGA) en redes FTTx usando tecnología XPON sobre redes heredadas que garantice mejoras en la velocidad y ancho de banda.

A continuación, se describirán aspectos como, los posibles escenarios en el que se desarrolla el despliegue de redes ópticas en Venezuela, para luego, comparar las Tecnologías FTTx y XPON en coexistencia con sistemas regulados por los estándares legados y sistemas basados en los estándares de nueva generación y escoger las más adecuadas que permitan verificar la viabilidad técnica del proyecto desde el punto de vista conceptual, fundamentada por las especificaciones o recomendaciones internacionales, además de la viabilidad económica y operativa para la convergencia en relación a la adaptación de la red heredada fundamentada en recomendaciones internacionales a través de criterios de evaluación de proyectos, generadas a partir de un diseño general de la red basada en las tecnologías escogidas y discriminadas por los escenarios analizados.

4.1 Escenarios en el que se desarrolla el despliegue de redes ópticas en Venezuela.

Las empresas operadoras de servicios de Telecomunicaciones en el país se encuentran comprometidas en el desarrollo de nuevas redes de transporte y acceso, que permitan cumplir con las expectativas de los usuarios no sólo del acceso a internet, sino de la interconexión de equipos de uso diario, a fin de

adecuar las redes existentes al advenimiento de la 5ta Generación tecnológica. CONATEL en su última actualización de empresas operadoras de internet publicado a finales de 2017, referencia 100 empresas de las cuales más de un 25% son empresas de televisión por cable (operadoras de cable), un 20% son proveedores de internet por redes alámbricas, y el resto tienen prestaciones mixtas, internet alámbrico e inalámbrico y servicios por sistemas satelitales, ofreciendo un despliegue variado de medios de transmisión, estándares y tecnologías, identificando como la fibra óptica el medio de transmisión más utilizado porque ofrece mejores prestaciones y servicios.

El despliegue de redes de fibra óptica en Venezuela, es amplio y en este último año se ha consolidado debido al robo de cables aéreos de cobre, situación que se ha intensificado a lo largo del año 2018, permitiendo mayor confiabilidad debido a instalaciones subterráneas, y/o aéreas de cables que no presentan atracción a la situación de delincuencia que ha afectado a operadoras como CANTV, y operadoras de cable, que tienen una red de distribución de cable de cobre o cable coaxial.

Por otra parte, el estado ha desarrollado la llamada red de fibra óptica nacional como parte del Octavo Proyecto de Servicio Universal de Telecomunicaciones (Opsut), el cual es instalado y operado por CANTV, y promovido por CONATEL. Esta red tiene como norte la interconexión del país con nodos de Nueva Generación (NGN) ofreciendo servicios de telefonía fija e Internet permitiendo llegar a zonas remotas desasistidas en el área de comunicaciones, con el fin de comunicar a toda Venezuela. Para el cierre del primer semestre del 2018, el proyecto Opsut habría superado los 8700 km de tendido de fibra óptica para la interconexión de 19 estados, además de la puesta en funcionamiento de 203 nodos a nivel nacional que permiten prestar servicio a aproximadamente 15,2 millones de venezolanos.

A estos más de 8000km de fibra por Opsut se suman los 16mil km que CANTV ha construido, estimando más de 24mil km de fibra en todo el país que garantiza servicios de telecomunicaciones y sirve como eje transversal para el desarrollo productivo de Venezuela. Como parte del despliegue técnico de esta red nacional, ha sido posible la migración a fibra óptica de radio bases de Movilnet, para mejorar y potenciar la cobertura móvil que brindan a los usuarios una mejor experiencia de navegación, de igual forma se desarrollaron zonas de servicio Wifi libre para 32 nuevas comunidades en diferentes regiones del país.

La empresa del estado, CANTV, como la principal proveedora de servicios de comunicaciones, ofrece a sus clientes a través de una red de cable de cobre, además de servicio de telefonía básica, ha comercializado servicio de internet sobre Banda Ancha (ABA) que funciona con la familia de tecnologías xDSL, siendo el más común ADSL (Línea Digital Asimétrica suscriptora). Esta tecnología multiplexa la línea telefónica en tres canales digitales, siendo uno para voz, y los otros dos, para transporte ascendente y descendente de datos de alta velocidad con tasas diferentes. La mayor desventaja de esta tecnología es que al tratarse de un servicio compartido, la navegación puede ser más lenta en horario pico, cuando muchos usuarios utilizan Internet simultáneamente, además soporta distancias y velocidades limitadas, y es sensible al ruido e interferencias.

Al respecto, la red troncal de CANTV es a través de fibra óptica, al igual que parte de las redes de distribución basadas en redes de nueva generación (NGN), que permiten la interconexión de mini centrales llamadas nodos hasta las centrales locales a fin de cubrir zonas desasistidas y alejadas. Dadas las bondades de las tecnologías sobre fibra óptica dicha empresa ha incluido entre sus planes, servicios de internet sobre fibra óptica directamente a abonados corporativos, y ha incursionado en el estudio y prueba de redes GPON que

permitan un mayor aprovechamiento de los recursos, pero hasta ahora no han presentado formalmente planes basados en redes pasivas.

Las operadoras de telefonía móvil presentan un gran despliegue de redes de fibra óptica de transporte e interconexión entre sus estaciones y centrales, y ofrecen planes corporativos a través de fibra óptica dedicada en algunas ciudades, basadas en tecnologías activas y realizando transporte de *carrier* de internet no sólo para ellas, sino para las diferentes empresas mucho más pequeñas que conviven en el área y ofrecen servicios de internet a nivel local.

Otras empresas, como las cableras u operadoras de cable que ofrecen televisión por cable principalmente, basadas en redes Híbridas Fibra Coaxial (HFC), han incluido entre sus paquetes el servicio de internet. Estas redes fueron creadas a fin de mejorar el medio de transmisión, formadas a partir de una red troncal y de distribución de fibra óptica para finalmente llegar al abonado a través de cable coaxial, permitiendo que la señal permanezca óptima hasta los nodos más cercanos a los abonados a fin de ofrecer un servicio de calidad a través del estándar no comercial DOCSIS (Especificación de Interfaz de Servicio de Datos sobre Cable), que define los requisitos de la interfaz de comunicaciones y operaciones para los datos sobre sistemas de cable.

Además, la operadora de cable conocida comercialmente como Inter, posee un despliegue de fibra óptica de más de 4mil km en el país, cubriendo más de 100 ciudades, lo que representa una infraestructura de transporte robusta entre locaciones. Ofrece servicios de televisión por cable, telefonía e internet a través de redes HFC, e internet por fibra óptica para clientes corporativos a través de enlaces dedicados. Y actualmente está estudiando la posibilidad de ofrecer servicios a través de redes GPON, a fin de brindar mejores velocidades y capacidades.

En relación a esto, una operadora de cable de la región andina ha realizado investigaciones para el uso de redes PON, y llevó a cabo una distribución para FTTH, lo que le permitió mejorar en la velocidad y ancho de banda, acción que repercute en la calidad de los servicios prestados, por otro lado, en el estado Lara, otra operadora de cable del oeste de la ciudad que posee una despliegue de fibra óptica en la zona, está migrando parte de su red a GPON y FTTH para ofrecer servicio de internet a las zonas industriales, por otro lado, realizando una revisión de las demás empresas operadoras de cable y prestadoras de servicio de internet, se ha constatado que en sus página web tienen como objetivos el despliegue de redes GPON y FTTH en la región capital y central para el año 2019.

De lo anterior, se concluye que las empresas del sector de telecomunicaciones están evaluando la migración y/o despliegue de tecnologías pasivas de fibra óptica que les permita distribuir sus servicios con mejores y mayores prestaciones de recursos, para ello se han inclinado por GPON y FTTH, aunque se podrían comparar con XG-PON y FTTC o FTTB, a fin de describir y evaluar las ventajas y desventajas de cada opción.

Analizando más a fondo las tecnologías, estándares y estructuras antes descritas, que conforman las redes de servicios de telecomunicaciones en el país, se evidencia que la polémica está en el envejecimiento de la red provista de cables de cobre, debido a las prestaciones que actualmente se necesitan y ofrecen otras redes como las basadas en fibra óptica, por lo que el cambio a estándares VDSL/VDSL2 puede ofrecer mejorar con respecto a los estándares xDSL más antiguos existentes.

Lo indicado anteriormente, no genera una solución a futuro, ya que día a día se alcanzan mejoras que solo son comparables con tecnologías o estándares transportados a través de fibra óptica, por lo que estas tecnologías sobre cable de cobre no pueden hacer frente a la competentes redes de fibra, pero pueden

ayudar a las empresas de telecomunicaciones a extender la vida útil de las redes actuales hasta que implementen los servicios FTTH en toda la red.

Las operadoras de cable utilizan, como se ha indicado antes, el estándar DOCSIS que entre sus últimas versiones incluye codificación LDPC, altos esquemas de modulación (por ejemplo, 4096 QAM), por encima de 1 GHz de espectro utilizable, soporte de QoS y baja latencia, entre otras características; estas mejoras del estándar permiten generar alternativas viables a FTTH ya que las velocidades son competitivas con la de fibra óptica. FTTH es una arquitectura de red punto a multipunto mientras que DOCSIS es un mecanismo de transporte. Aunque las nuevas actualizaciones de DOCSIS que presentan mejores prestaciones, son costosas y para aprovechar al máximo las capacidades se requiere la conversión de transmisión analógica a digital, y despliegues de fibra adicionales para acercar los nodos al suscriptor.

Se concluye, que en Venezuela existen diversos contextos, protocolos, redes y tecnologías que proveen de servicios de internet a la población, pero principalmente se encuentran los siguientes escenarios:

- Redes PSTN bajo tecnología xDSL, servicio de internet a través de cable de cobre.
- Redes HFC bajo DOCSIS, con servicio de internet con medio de transmisión de última milla cable coaxial.
- Redes de interconexión entre cabeceras para operadoras de cable, grandes operadoras de telefonía celular y centrales PSTN, basadas en fibra óptica.
- Redes de fibra óptica activas dedicadas hasta el abonado, desde las cabeceras operadoras de cable, centrales de telefonía y proveedores de servicios hasta clientes corporativos.
- Nuevas aplicaciones con tecnología PON de operadoras de cable para clientes corporativos.

Independientemente de los escenarios descritos anteriormente, puede observarse que las empresas poseen una red de fibra óptica desplegada en diferentes ciudades, sectores y áreas de interés que permiten una migración no muy irreflexiva a redes de la familia xPON con aplicaciones para FTTx, y proporcionar en cualquier opción mejoras en la capacidad, ancho de banda, velocidad y capacidad de prestaciones de servicios para sus clientes. Los escenarios que a continuación se describen, representaran las tres (3) opciones de estudio y análisis de la factibilidad de las redes de acceso para la planificación y diseño de redes FTTx usando tecnología XPON.

1. Redes PSTN bajo tecnología xDSL, servicio de internet a través de cable de cobre. (figura No. 8).

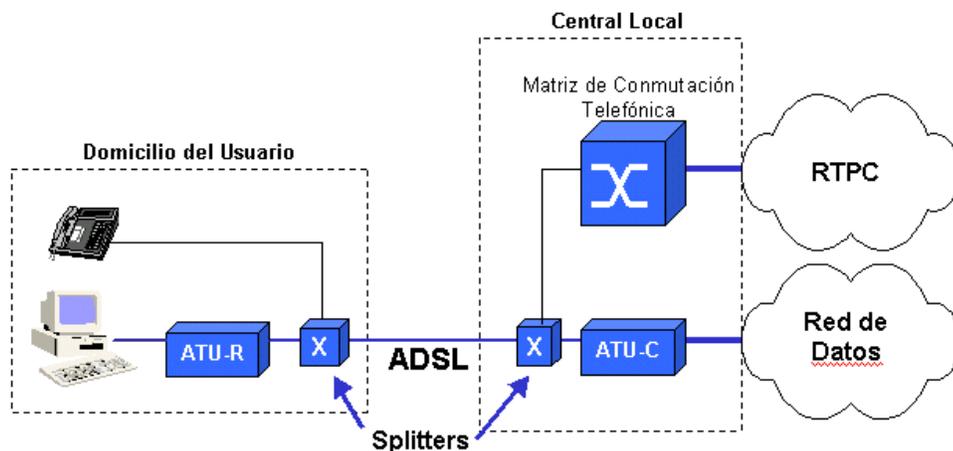


Figura 8. Arquitectura de una red PSTN bajo tecnología ADSL.
Fuente: http://enriquezsantiago.blogspot.com/2012/11/blog-post_9.html

Se toma en cuenta el despliegue de ADSL, como la tecnología más utilizada a nivel nacional e internacional, que permite el transporte de TCP/IP, ATM y datos X.25 para ello es necesario un canal telefónico con conexión analógica o ISDN, con un canal ascendente con una capacidad máxima de 640kbps y un canal descendente con una capacidad de 8Mbps.

Adicionalmente se tiene un divisor tanto del lado del usuario como en la central, capaz de separar las señales de voz y datos, que una vez separadas las señales de voz son procesadas en la central de conmutación, y los datos se envían directamente a una red de procesamiento de información. En el extremo receptor (abonado) se requiere un modem o ARU-R que analiza el estado de la red de cobre, convierte las celdas ATM y evalúa la calidad de servicio.

Del lado de la central o ATU-C, recibe los datos del divisor instalado en la central y gestiona la red, convierte las celdas y evalúa el servicio, debe trabajar a diferencia del ATU-R con más subportadoras. El despliegue de la tecnología se simplifica gracias al uso de DSLAM (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*) equipo que agrupa un gran número de tarjetas, cada una de las cuales consta de varios módems ATU-C, concentrando el tráfico de los enlaces ADSL hacia una red troncal WAN.

2. Redes HFC bajo DOCSIS, con servicio de internet con medio de transmisión de última milla con cable coaxial. (figura No. 9).

La cabecera de red alimenta varios nodos de red (NRs), los cuales son típicamente anillos síncronos, estos nodos incluyen una serie de amplificadores y divisores ópticos para atender a cientos de miles de hogares. Cada nodo de red alimenta a varios nodos locales (NLs), conformados por elementos que amplifican y distribuyen la señal, estos nodos pueden atender decenas de miles de hogares.

Para el enlace de última milla hacia los usuarios, se tienen los terminales de redes ópticas (TRO) que realizan la conversión electro-óptica que alimentan la red de dispersión tipo árbol-rama de tipo coaxial con múltiples ramificaciones, cada una de las cuales ofrece servicio a los usuarios. Los usuarios finalmente se conectan a la red HFC en el punto terminal de red (PTR) instalado en el domicilio, desde el último elemento de la red llamado tap.

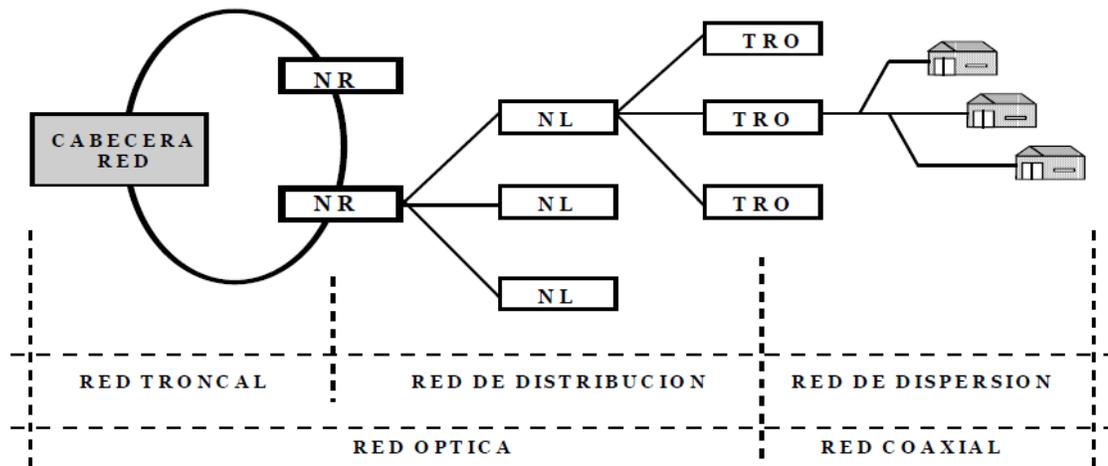


Figura 9. Arquitectura de una red HFC
Fuente: Sistemas de Acceso ópticos. (2011)

Por otro lado, el estándar DOCSIS define los requerimientos de la interfaz de soporte de comunicaciones y operaciones para los sistemas de datos por cable, esta especificación detalla muchas de las funciones básicas del cable modem de un cliente (modulación de frecuencias en el cable coaxial, aplicación del protocolo SNMP, encriptación de datos, entre otros).

3. Redes de fibra óptica dedicadas hasta el abonado, desde las cabeceras operadoras de cable, centrales de telefonía y proveedores de servicios hasta clientes corporativos.

Son por lo general redes ópticas activas (AON), que requieren energía eléctrica de los equipos ubicados entre la central y el usuario, soportan Ethernet para proporcionar la agregación de enlaces por fibra. Utiliza una conexión de fibra o longitud de onda dedicada entre la OLT (Terminal de Línea Óptico) ubicado en la cabecera y el equipo final, ofreciendo un área de cobertura superior a las de las redes pasivas, independiente del número de usuarios conectados, debido a que la cantidad de usuarios se limita al número de puestos del *switch*. Se

consideran dos tipos de AON: estrella activa y home run, como pueden observarse en la figura No. 10.

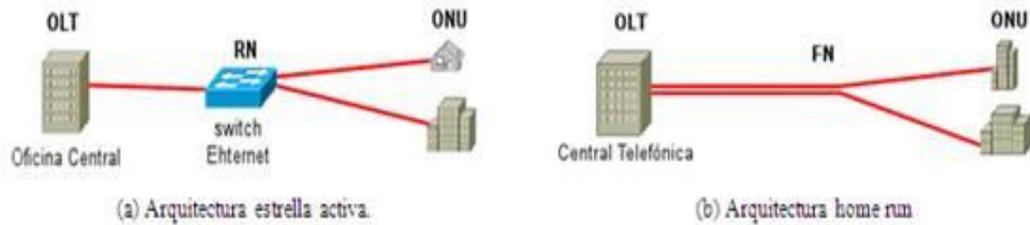


Figura 10. Arquitecturas de redes ópticas activas

Fuente: Fitzgerald (2012)

La arquitectura estrella activa utiliza fibra desde el *switch* en la central hasta el *switch* Ethernet ubicado en el punto de distribución, permitiendo la comunicación de una ONU con el resto a través del *switch* sin acceder a la OLT. Esta red se caracteriza por ser de uso compartido, tiene alto grado de flexibilidad, soporta 10Gpbs por interfaz Ethernet y alcanza distancias de hasta 100km.

Para el caso de la arquitectura home run, se utiliza como portador de servicios en la red de acceso al Ethernet, emplea una fibra dedicada entre la central y cada ONU sin dispositivo intermedio y se caracteriza por presentar una topología punto a punto, menos compleja y más segura, ofrece velocidades y distancias iguales a la estrella activa, pero el costo es superior por cliente, y requiere una despliegue denso. Actualmente se utilizan para clientes corporativos y sus costos son muy elevados.

4.2 Tecnologías FTTx y XPON en coexistencia con sistemas regulados por los estándares legados y sistemas basados en los estándares de nueva generación.

Las empresas operadoras de servicios de comunicaciones de todo el mundo están en constante evolución, orientadas a la transformación de las redes de telecomunicaciones existentes a redes de próxima, siguiente o nueva

generación como son llamadas en muchos países, basadas en conmutación de paquetes utilizando el Protocolo de Internet IP, lo que lleva implicaciones de orden público, económico y técnico.

Las aplicaciones de estas nueva generación no necesitan conocer las características físicas de las redes que transportan los datos, excepto por el destino de cada paquete y todos los requisitos necesarios para su transporte, debido a la estratificación conceptual en relación a la información y capacidades, además de la clara separación entre aplicaciones e instalaciones de transmisión que generan un valor agregado permitiendo su rápida proliferación y aceptación.

Como es bien sabido, en el pasado las redes existentes están diseñadas para transportar un solo servicio, pero actualmente estamos inmersos en redes que pueden entregar un servicio o la combinación de servicios debido a estándares o tecnologías con mejores prestaciones en capacidad y ancho de banda, que implican el uso de diferentes tipos de medios de transmisión, capacidad de *software* o robustez de las capacidades de dispositivo final y la convergencia de diferentes tecnologías en las centrales o cabeceras, lo que en oportunidades traduce una inversión alta y un mercado compartido entre proveedores, operadores y prestadores de servicios muy marcado.

La tecnología NGN, se ha estado desarrollando en diversas empresas del país principalmente en CANTV que provee de nodos NGN para la interconexión de zonas alejadas, y posee un *softswitch* central nacional con redundancia tipo espejo, de igual forma Inter, opera en su cabecera con un *softswitch* nacional para sus servicios de telefonía.

La penetración de esta tecnología se ha presentado en diferentes fases, la primera reemplazo en tránsito, la cual es usada en el núcleo de la red y reemplaza la parte de tránsito de la red PSTN, permite un alcance tanto nacional como internacional, para ello es necesario la instalación de media

gateways para proporcionar la interconectividad entre la red IP y la PSTN, administrados por *softswitches* a través del protocolo MGCP (*Media Gateway Control Protocol*), protocolo de control de dispositivos.

Este contexto permite la reducción del costo de llamadas nacionales y/o internacionales, y los costos de operación se consideran moderados, ya que se despliegan *routers* en el núcleo con capacidad de rendimiento superior a los conmutadores previos o a reemplazar.

Por otro lado, el redireccionamiento del tráfico PSTN a una infraestructura NGN en convergencia con la red tradicional, implementada más cerca del borde de la red, permite la interconectividad entre la red IP y la PSTN a través de media *gateways* realizando un reemplazo de agregación y tránsito, donde puede interconectarse a otra red en el nivel IP, debido a que los *softswitches* proporcionan el soporte de la señalización de voz.

Para soluciones en la cuales el operador desee desarrollar servicios de valor añadido, y continúa con tránsito en la red PSTN, se puede desplegar una red NGN basada en IP paralela, es decir, una red superpuesta, proporcionando su propio conjunto de servicios sin dependencia de acceso por la PSTN, pero interconectadas por medio de media *gateways* para proporcionar interoperabilidad.

En efecto, si esta red superpuesta presenta un despliegue suficientemente amplio geográficamente, puede usarse para redireccionar parte o todo el tráfico de la PSTN, así se podría generar una estrategia de migración paulatina que vaya gradualmente generando nuevos ingresos y ofreciendo servicios más actuales, con mayores capacidades e interoperabilidad y convergencia con las demás redes existentes.

El reemplazo total, corresponde a una red que proporcione al usuario acceso completamente integrado basado en IP, solución que brinda servicios IP

extremo a extremo, con la salvedad que el usuario posea dispositivos que soporten IP, debido a esto, no es la solución por ahora pensada para Venezuela, ya que los cambios a nivel de servicios de comunicaciones deben ser paulatinos sin afectar bruscamente al usuario comprometiendo su permanencia como cliente, o el cambio o compra de nuevos equipos, validados sobre la base económica y la penetración de nuevos equipos, que soporten IP, en el mercado nacional.

Con un reemplazo total, se eliminarían los conmutadores PSTN locales por *softswitch*, y por tanto, se opaca la convergencia con las redes heredadas y la interconectividad con redes de otros operadores, además los costos y complejidad serían muy altos.

En Venezuela, la migración a NGN puede ser vista de forma compleja y en fases distintas, dadas las condiciones socio políticas y económicas del país, para ello la principal operadora de telefonía pública, en primer lugar ha comenzado con un reemplazo del tránsito en el núcleo, además incluir agregaciones y redes superpuestas en algunas localizaciones, a fin de ir migrando la red de acceso y los dispositivos de usuario final en el borde de la red, debido a la penetración del servicio de internet que ameritaba una red con mejores y mayores prestaciones en relación a velocidades y ancho de banda, y prevé seguir con la migración hasta generar un reemplazo total en un futuro, lo que originaría, por ahora una práctica compleja, además invertir en adecuar la red de transporte y acceso que garantice el soporte de los nuevos servicios y capacidades.

Generalizando las características de las redes NGN, se tiene que la red núcleo se establece a nivel nacional, lo que permite la interconexión con otras redes, a servicios centrales y aplicaciones, a través de *routers* conectados de forma redundante, *gateways* a otras redes y servidores que alojan los servicios. Por su parte, la red de agregación robustece el tráfico de los conmutadores del

núcleo hacia la red *backbone* por medio de *switches* Ethernet. Por último, la red de acceso soporta diferentes tecnologías, con la condición de que puedan soportar servicios de banda ancha de conmutación de paquete basados en IP.

Las necesidades actuales de consumo de datos ameritan que la fibra óptica esté más cerca del abonado, por ello se ha creado un término genérico FTTx, fibra hasta x, el cual hace referencia a diversas configuraciones de dispositivos conectados en la última milla directamente a la red de fibra óptica lo más cercano al abonado, ya sea un nodo, acera, casa, edificio, entre otros. De acuerdo a los escenarios escogidos, el despliegue de FTTx se puede estudiar tomando en cuenta la naturaleza del sitio donde se realizará el diseño, pudiendo denotarse tres casos como lo son: *greenfield* o red en explotación, *brownfield* y por último, *overbuild* o exceso de construcción.

En el primer caso de *greenfield* o red en explotación, la red se construirá al mismo tiempo que las edificaciones, para el segundo caso *brownfield*, existen edificios ya construidos, además de una infraestructura de comunicaciones de cobre o HFC, y el tercer caso, *overbuild* o exceso de construcción, en el que se realizar una nueva red sobre la infraestructura existente.

De acuerdo a los escenarios presentados en el apartado 4.1., se tiene una red totalmente de cable de cobre, la cual representaría un reemplazo total por una red de fibra óptica, o en su defecto, una red paralela a la existente hasta los gabinetes o armarios de distribución más cercano a los abonados, con un esquema FTTC y luego continuar con la red de cobre, lo que haría de esta opción, una red mixta en la cual las bondades o capacidades estarían restringidas o limitadas por la última milla de cobre.

Por otra parte, el escenario presentado por las redes HFC, permitirían un reemplazo a nivel de red de dispersión, pudiendo tomar en consideración un primer nivel de *splitter* en la ubicación física de los nodos opto-eléctricos, y de allí desarrollar una red de fibra para un segundo nivel de *splitter* que permitiría

llegar al abonado con fibra óptica, adaptándose a un esquema FTTH, y por último, tomar en consideración la ubicación de abonados corporativos de forma estratégica, a fin de generar un primer nivel de *splitter* en estos, y luego realizar la red de distribución de acuerdo a las necesidades del mercado de servicios de internet en la zona, pudiendo optar por las arquitecturas FTTH y FTTB.

Dado esto, la posibilidad de uso de FTTx permite la provisión de servicios de datos de alta velocidad con disponibilidad de ancho de banda de hasta el orden de los Gbps, para ello se tiene que las topologías más notorias, de acuerdo a los escenarios escogidos, son: FTTC, fibra hasta el gabinete /acometida junto con la utilización de algún estándar de la familia xDSL, FTTH junto a un estándar de la familia XPON y FTTH P2P punto a punto.

La opción FTTC, la fibra llega hasta los armarios exteriores o ubicaciones cercanas a los usuarios, para distribuir la señal con el cable de cobre existente basado en tecnología xDSL. La central constará de un conmutador Ethernet y un ODF, y en el gabinete de calle estará ubicado el DSLAM, para esto los armarios exteriores necesitan energía adicional e instalaciones adecuadas para óptima disipación de calor. La capacidad de la red, en relación al ancho de banda depende de la longitud de la red de cobre hasta el abonado, por lo que a mayor longitud menor será el ancho de banda disponible, por lo que se recomienda que la distancia no sea mayor a 500 metros.

Como se puede inferir, el despliegue para FTTC/xDSL requiere un reemplazo o sobre construcción de la red entre el MDF y el gabinete de cobre a fibra óptica, por lo que la cantidad de gabinetes, armarios de distribución tanto primarios como secundarios, cualquiera que sea el caso permanecen constantes, pero se le deben añadir nuevos equipos como NG-DSLAM que proporcionarán voz, video y datos en forma integrada. Otra opción, es realizar sobre recorridos de fibra óptica a clientes corporativos dedicados y colocar en

el extremo final un gabinete con el DSLAM para la interconexión con la red de cobre más cercana.

Este escenario es híbrido: fibra óptica - cable de cobre, y junto con tecnologías como g.fast pueden mejorarse sus características, pero no se necesita el despliegue de XPON, por lo que este escenario visto desde este punto de vista no ofrece las garantías de una red convergente con arquitectura o topología FTTx y tecnología xPON con redes de nueva generación.

De acuerdo a lo descrito en relación a los estándares PON en el capítulo 2, se elige para el diseño el estándar GPON de la familia UIT-T G.984, dados los beneficios que provee al área en estudio, entre las que se encuentran:

- Ofrece cobertura para una distancia máxima de 20Km, y por ser un entorno urbano la distancia está dentro del rango para su uso.
- Permite una máxima división de canales de comunicación (1/64) frente a sus otras variantes, cuya capacidad máxima es 1/32, permitiendo la expansión del servicio para cubrir zonas más amplias.
- Soporta cualquier tipo de servicio o protocolo bajo el mismo esquema de transporte, debido al uso de encapsulamiento GEM (GPON *Encapsulation Method*) estandarizado en UIT –T G.984.3.
- Potencializa la gestión de servicios extremo a extremo, debido a que incorpora un avanzado sistema de OAM (*Operation, Administration, Maintenance*).

Es importante mencionar que, de acuerdo al estándar UIT-T G.984, GPON tecnología escogida, la máxima tasa de transferencia es 2.5Gbit/s, lo que permite por ejemplo que operando a una tasa de división óptica de 64 equipos ONT (aunque no es la máxima, es la utilizada hasta el momento con prestaciones adecuadas en diferentes escenarios latinoamericanos) a cada uno les corresponde una fracción de 40Mbit/seg, para el caso en el que todos estén simultáneamente utilizando el canal, y dada la necesidad superior a 5MB

para ofertar servicios multimedia, la capacidad por usuario está más que soportada para las aplicaciones de telefonía IP, ver videos o películas, carga de archivos, además de las nuevas aplicaciones producto de 5G que permitirá aprovechar.

Aunado a esto, se consiguen ofrecer servicios dedicados de banda ancha, para clientes, por ejemplo, corporativos, debido a que la recomendación UIT-T G.984.3, describe que la OLT está en capacidad de controlar o asignar el ancho de banda de cada ONT a través de un mapa de asignación de ancho de banda en *upstream*, lo cual permite la posibilidad de que para un determinado cliente se pueda ofrecer un canal con más de 40Mb/seg, si la red dispone de esa capacidad.

Por otra parte, la topología FTTH es la idónea para los escenarios presentados, al ser zonas urbanas las que presentan mayormente el despliegue de fibra óptica más cerca de los abonados, pues garantiza un servicio de calidad de banda ancha directamente a los usuarios. Se descartan las FTTN y FTTC, las cuales aplican para conjuntos multi habitacionales o acoplamientos para redes ya existentes, por lo que planteará un despliegue enteramente de fibra óptica, y al tener un escenario común con clientes finales domésticos y corporativos, en menor escala, se decantó por la configuración FTTH como la mejor opción para el sector en estudio.

4.3 Viabilidad técnica del proyecto desde el punto de vista conceptual, fundamentada por las especificaciones o recomendaciones internacionales.

Las redes de la familia PON se destacan por la ausencia de elementos activos a largo del trayecto desplegado hasta los usuarios, básicamente partiendo de cuatro nodos o niveles, los cuales indican el orden cómo avanza la transmisión de datos. El primer nivel o nodo se ubica en la oficina central o cabecera de la operadora o empresa, representada por una fuente de datos caracterizada con

los servicios que se van a transmitir y estos ingresan a un OLT que es un terminal de línea óptica, elemento activo situado en el inicio de la red pasiva, como puede verse en la figura No. 11.

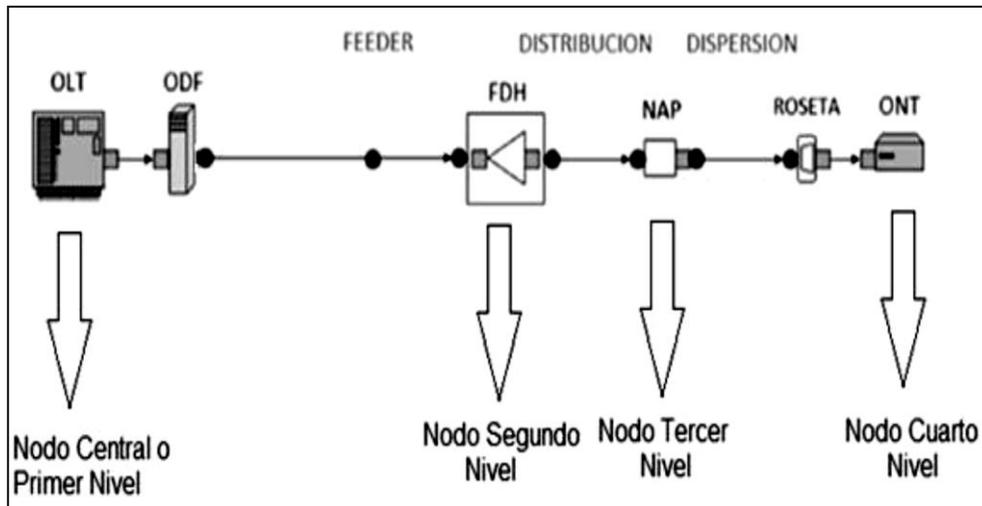


Figura 11. Topología Red GPON.

Fuente: Bolaños (2017)

Cada OLT, adquiere datos de dos o tres fuentes diferentes de información, funcionando como un concentrador de todas ellas, estas fuentes son: servicios de voz, generado de redes PSTN y conectado a través de un *router* o un *gateway* mediante MGCP; servicios de datos a través de proveedores de internet, conectado a un *router* o *gateway* IP/ATM de voz, mediante encapsulamiento IP; y servicios de video difusión, a través de video *broadcast* o video bajo demanda, el cual se conecta directamente a la cabecera o a través de un *router* o *gateway* ATM.

Los datos recogidos son enviados por medio del cable de fibra óptica que se conectan mediante un ODF (Distribuidor de Fibra Óptica) hasta el nodo de segundo nivel, por medio de paquetes de datos que se transmiten a una velocidad muy rápida hasta un FDH (Concentrador de Distribución de Fibra), que no es más que un nodo de distribución que reparte la señal hacia los abonados, posterior a esto, la señal ingresa a una caja terminal NAP (*Network*

Access Point), que pertenece a los nodos de tercer nivel y finalmente se unen mediante una ROSETA (o punto terminal óptico) para obtener el cuarto nivel donde se tienen a la ONT ubicados en cada uno de los clientes.

La selección del área de estudio o de diseño que se presenta para la verificación de la viabilidad de las redes GPON con arquitectura FTTH en convergencia con las redes de nueva generación y en coexistencia con las heredadas, se basa en el estudio de las diferentes características topográficas y dimensiones de las principales ciudades del país que presentan una mayor penetración o mercado de servicios de internet, a fin de generar una plantilla de diseño genérica tomando en consideración un escenario específico para ser replicada y adaptada a cualquier área geográfica, partiendo de las consideraciones técnicas y de las necesidades observadas en la colectividad.

Partiendo de lo anterior y de acuerdo al Informe de Cifras del Sector de Telecomunicaciones del II Trimestre de 2018 publicado en Junio 2018 por CONATEL, la penetración de internet es de aproximadamente un 60 %, con lo cual se tiene que 60 de cada 100 habitantes hacen uso del servicio de internet, en relación a la población a partir de los 7 años de edad, por lo que se estima que 17.690.440 habitantes del territorio nacional son suscriptores del servicio de internet, de estos el 3.764.715 son suscriptores de internet tradicional, representado el 21,28 % del total de suscriptores de internet.

La distribución del mercado de internet tradicional está compartida en un 66,21% para CANTV, 13,52 % para Digitel, 6,65 % para Telefónica, 7,83 % para Inter, entre otros. Además, la distribución de los suscriptores del Servicio de Internet por tipo de abonado, refiere un 78,72 % de suscriptores de banda ancha móvil normalizada (teléfonos celulares), mientras que el 14,44 % es de tipo residencial, el cual es el escenario escogido como punto focal, y descartando el 1,64 % de usuarios de tipo no residencial, se tienen 2.753.547 suscriptores residenciales de internet tradicional en estudio.

A nivel de distribución geográfica, el estado Miranda presenta la mayor cantidad de usuarios de internet, seguido del Distrito Capital, y los estados Zulia, Carabobo, Lara y Aragua, que superan el millón de usuarios conectados, mientras que los estados Delta Amacuro y Amazonas no superan ambos los 70mil usuarios, información que se muestra a detalle en el cuadro No. 4.

Cuadro 4. Usuarios de Servicios de Internet por estados

Estado	Usuarios Totales	Usuarios de Internet Tradicional (21,28%)	Usuarios CANTV	Usuarios INTER
Miranda	3.186.958	678.185	449.026	53.102
Distrito Capital	2.124.639	452.123	299.351	35.401
Zulia	1.697.275	361.180	239.137	28.280
Carabobo	1.495.412	318.224	210.696	24.917
Lara	1.071.630	228.043	150.987	17.856
Aragua	1.057.570	225.051	149.006	17.621
Anzoátegui	884.289	188.177	124.592	14.734
Bolívar	791.506	168.432	111.519	13.188
Táchira	689.973	146.826	97.214	11.496
Mérida	412.148	87.705	58.070	6.867
Monagas	394.764	84.006	55.620	6.578
Barinas	368.526	78.422	51.923	6.140
Nueva Esparta	362.831	77.210	51.121	6.046
Falcón	352.719	75.059	49.696	5.877
Portuguesa	337.847	71.894	47.601	5.629

Sucre	308.318	65.610	43.440	5.137
Guárico	277.430	59.037	39.088	4.623
Trujillo	271.519	57.779	38.256	4.524
Vargas	234.124	49.822	32.987	3.901
Yaracuy	205.508	43.732	28.955	3.424
Cojedes	168.735	35.907	23.774	2.812
Apure	130.365	27.742	18.368	2.172
Delta Amacuro	44.407	9.450	6.257	740
Amazonas	23.605	5.023	3.326	393

Fuente: Conatel (2018), modificada por Perez (2019)

Partiendo de esto, y tomando en consideración las cifras antes mencionadas, se delimita en dicho cuadro, los suscriptores, a nivel estadístico, de internet tradicional tanto para CANTV como INTER, a fin de realizar una comparación y propuesta de red básica para el estudio de su factibilidad de implementación.

La migración a redes pasivas ópticas, se espera sea paulatina, conservando los costos para los suscriptores accesibles y competitivos a fin de poder jugar con el OPEX y el CAPEX, y mantener las inversiones del sector de telecomunicaciones en Venezuela altas, como se han presentado en los últimos trimestres, apreciando un aumento del 3650,87 % en el segundo trimestre del 2018 en relación con las cifras del primer trimestre del 2018.

Tomando en consideración, la tasa poblacional por operador de servicio descrito en el cuadro No. 4, y suponiendo que el 60 % de los abonados están ubicados en la capital del estado, y con una penetración inicial de un 30 %, se puede dimensionar un diseño con el cual se permita realizar un estudio de la viabilidad. Partiendo del estimado de suscriptores presentado, representaría

un aumento del 5 % de suscriptores de banda ancha, pasando del 78,8 % al 83,39 %, lo que representa una buena cifra para permitir un cimiento para el desarrollo tecnológico en miras de una 5ta generación.

Por otro lado, las necesidades que los usuarios actualmente tienen en relación a los servicios de internet son: conexión sin fallas las 24 horas del día, ya que los usuarios se conectan a diario y pasan mucho tiempo navegando en la web, por lo que la red de distribución y acceso debe ser robusta y sin ningún tipo de falla, como las presentadas por las redes inalámbricas debido a condiciones ambientales, para que entregue un servicio continuo, además de planes superiores a 5Mbps, como plan básico, debido a las diferentes herramientas y aplicaciones que se ofrecen actualmente, a sabiendas que los planes ofrecidos en Venezuela, por las diferentes empresas no superan los 20Mbps.

Dadas estas necesidades, se analizarán las distribuciones de empresas como CANTV e Inter, a fin de que los escenarios escogidos puedan simbolizar los desafíos que las empresas se enfrenten al realizar la migración o adecuación de sus redes a arquitecturas o topologías FTTH basadas en tecnología GPON, y orientadas a la convergencia redes de nueva generación.

Las principales ciudades que presentan mayor cantidad de suscriptores de internet permiten por sus dimensiones realizar una red de 10km aproximados, desde el área física donde estará ubicada la OLT hasta los abonados posible, como se puede observar en la figura No. 12, la cual ofrece una panorámica de 3 de las ciudades escogidas al azar, Caracas, Valencia y Barquisimeto, cuyas dimensiones transversales mayores son 33,94Km, 16,75Km y 23,84Km respectivamente.

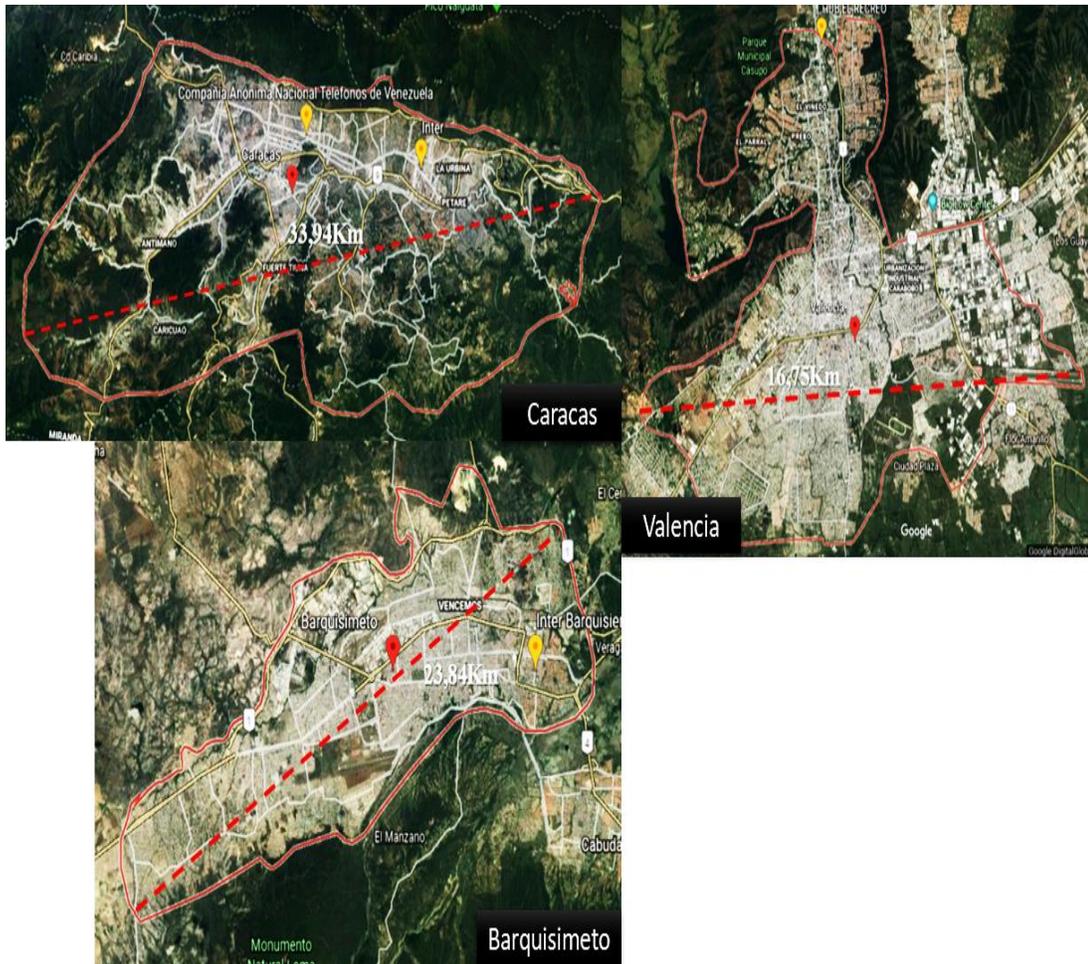


Figura 12. Panorámica de las ciudades Caracas, Valencia y Barquisimeto.

Fuente: Pérez (2019), extraído de GoogleEarth.

Por otro lado, se ubicaron las oficinas principales tanto de CANTV como Inter, que se ven identificadas en forma de globos amarillos y rojos. En la ciudad de Caracas, figura No. 13, se encuentra una central principal de CANTV ubicada en la Av. Libertador, edificio NEA, urbanización Maripérez, y en la Av. Ernesto Blohm se encuentra la sede principal de Inter, las cuales pueden ser surtidoras del servicio de internet, además de ubicar una OLT.

Para las ciudades de Valencia y Barquisimeto, se ubicaron igualmente las oficinas principales de ambas operadoras, como se observan en la figuras No. 14 y 15.



Figura 13. Ubicación de las oficinas principales de CANTV e Inter en la Ciudad de Caracas.
Fuente: Pérez (2019), extraído de GoogleEarth.



Figura 14. Ubicación de las oficinas principales de CANTV e Inter en la Ciudad de Valencia.
Fuente: Pérez (2019), extraído de GoogleEarth.



Figura 15. Ubicación de las oficinas principales de CANTV e Inter en la Ciudad de Barquisimeto.

Fuente: Pérez (2019), extraído de GoogleEarth.

Es importante resaltar que, CANTV posee centrales desplegadas por áreas locales en las ciudades en las cuales pudiesen ubicarse las OLT, permitiendo cubrir toda el área geográfica y los usuarios a los que se desea prestar el servicio. La identificación de suscriptores corporativos con enlaces de fibra óptica, podrían generar una infraestructura base para colocar un primer nivel de *splitter*, de acuerdo a las fibras disponibles en esta, pero el cambio de la red tanto rígida como flexible podría representar un reto para la principal empresa del estado, en cuanto a inversión

De acuerdo a lo descrito anteriormente y la disposición de la empresa Inter por la incorporación de tecnología xPON en su red, se selecciona dicha empresa para realizar el diseño, y a su vez, se toma la ciudad de Barquisimeto como caso estudio, por ser esta la principal cabecera a nivel nacional donde está ubicado el *softswitch* de telefonía, y en la cual se concentran todas las acciones técnicas a nivel nacional. Por esto, se realiza una descripción de un

despliegue para el centro de la ciudad de Barquisimeto (área escogida) para la empresa Inter, que permita beneficiar el 30 % de los usuarios del estado. Por último, dado lo analizado se identifican los siguientes parámetros para el diseño:

- Topología FTTH, punto a multipunto basado en el estándar o tecnología GPON
- Red de tendido aéreo.
- Velocidad por usuario de 20Mbps.
- Beneficiarios, aproximadamente 30 % del total de suscriptores indicados en el informe presentado por CONATEL, estimado en 9500suscriptores.

El área delimitada en la ciudad de Barquisimeto, será ubicada hasta el sector Obelisco (oeste de la ciudad), desde la oficina principal de Inter ubicada en la Av. Los Leones al este de la ciudad. El cálculo para el diseño, se realiza para el mayor segmento o distancia desde la OLT y el punto final, convirtiendo la red punto a multipunto en un punto a punto para facilidad de análisis.

Definiendo el lugar de ubicación de la OLT, en las oficinas principales de Inter al este de la ciudad, la red será dividida de forma centralizada, en 5 áreas que permitan ofrecer servicio a 2000 suscriptores, para un total de 10000 suscriptores aproximadamente. Estas áreas deberán estar distribuidas en la ciudad siguiendo la ruta hacia los nodos ópticos que ya la empresa posee en la ciudad, es conveniente acotar que dichas rutas que por condiciones de información sensible a la empresa, no son suministradas y se desconoce con exactitud la ubicación de estos, pero durante las entrevistas no estructuradas, se pudo conocer que la ciudad está dividida en sectores y cada sector posee un nodo y partiendo de este la red de distribución en cable coaxial, por ello se

sugiere seguir con este tipo de distribución inicial de fibra óptica, como la red rígida, y ajustar la red de distribución o red flexible en 4 sub áreas que soporten 500 suscriptores cada una, a fin de generar una topología tipo árbol.

Dada las necesidades o dimensionamiento de la red, se procede a analizar los diferentes fabricantes y modelos de los equipos que la conformarán a fin de garantizar el cumplimiento de dichos parámetros. Uno de los fabricantes por excelencia de equipos para FTTH y GPON es la empresa Huawei proveedor global líder en la industria de las soluciones de tecnología de la información y comunicaciones (TIC), que presenta dos series, la SmartAX5600T y la SmartAX MA5800.

La primera ofrece una solución con capacidad de gigabit (GPON) con nivel de operador para establecimiento de redes de acceso y de agregación a gran escala, con capacidad de conmutación de 960Gbps, 512.000 direcciones MAC, además de una reducción del gasto de operación y mantenimiento, y la serie 5800 una nueva generación de OLT (NG-OLT) con arquitectura distribuida que admite servicios inteligentes de convergencia móvil y fija de banda ultra ancha y funciones inteligentes como virtualización basada en SDN.

La serie MA5600T, posee una alta confiabilidad, múltiples métodos de acceso, evolución simple y un diseño ecológico con eficiencia energética. Entre las principales características, se tiene una redundancia inmediata de clústeres de dos nodos OLT, actualización sin pérdidas de datos, inclusión de líneas privadas E1, TDM nativa, E-LAN y acceso de usuarios IPTV no convergente, permite una evolución sin inconvenientes dado que comparte las redes GPON, PON 10G y PON 40G.

La serie presenta 3 modelos MA5600T (ETSI)/(IEC), MA5603T y MA5608T, cuyas características se observan en el cuadro No. 5. La capacidad de acceso de la serie presenta 224-256 puertos GPON para MA5600T, 48 puertos GPON

tanto para MA5603T y MA5608T, con relación de separación máxima de 1:128 usuarios por puerto.

Cuadro 5. Características de la serie MA5600T

Especificaciones	MA5600T(ETSI)	MA5600T(IEC)	MA5603T	MA5608T
Dimensiones (altura x ancho x profundidad)	490 mm x 275.8 mm x 447.2 mm	442 mm x 275.8 mm x 441.7 mm	442 mm x 283.2 mm x 263.9 mm	442 mm x 244.5 mm x 88.1 mm
Ambiente de funcionamiento	-25 °C a 55 °C		-40 °C a 65 °C	-40 °C a 65 °C
	Humedad relativa de 5% a 95%		Humedad relativa 5% a 95%	Humedad relativa de 5% a 95%
Alimentación	Protección de suministro de energía doble			Protección de suministro de energía doble
	Rango de voltaje de operación de 38.4 V a -72 V			Alimentación CC: -38.4 V a -72 V
				Alimentación CA: 100 V a 240 V
Capacidad de conmutación: bus del panel de conmutación posterior	3.2 Tbit/s		1.5 Tbit/s (H801MABO)	720 Gbit/s
			2 Tbit/s (H802MABO)	
Capacidad de acceso	1,024 x ADSL2+	896 x ADSL2+	384 x ADSL2+	16 x 10G GPON
	1,024 x VDSL2	896 x VDSL2	384 x VDSL2	48 x GPON
	512 x EFM SHDSL	448 x EFM SHDSL	192 x EFM SHDSL	96 x P2P FE
	256 x TDM SHDSL	224 x TDM SHDSL	96 x TDM SHDSL	96 x P2P GE

	1,024 x POTS	896 x POTS	384 x POTS	
	512 x ISDN BRA	448 x ISDN BRA	192 x ISDN BRA	
	64 x ISDN PRA	56 x ISDN PRA	64 x ISDN PRA	
	128 x 10G GPON	112 x 10G GPON	96 x 10G GPON	
	256 x GPON	224 x GPON	48 x GPON	
	768 x P2P FE	672 x P2P FE	288 x P2P FE	
	768 x P2P GE	672 x P2P GE	288 x P2P GE	
Tipos de puertos	Puertos de enlace ascendente: puertos ópticos 10 GE y puertos ópticos eléctricos GE			
	Puertos de servicios: puertos ópticos 10G GPON, puerto óptico GPON, puerto óptico P2P FE, puerto óptico P2P GE y puerto óptico Ethernet, puerto ADSL2+, puerto VDSL2, puerto SHDSL, puerto POTS y puerto ISDN			
Rendimiento del sistema	Transmisión de velocidad de línea de capa 2 y capa 3			
	Ruta estática, RIP, OSPF y MPLS			
	Esquemas de sincronización de reloj: BITS, E1, STM-1, sincronización de reloj Ethernet, 1588v2 y 1PPS + ToD			
	Relación de separación máxima de GPON de 1:128			
	Relación de separación máxima de 10G PON de 1:256			
	Distancia lógica máxima entre dispositivos GPON: 60 km			
	Distancia lógica máxima entre dispositivos XG PON: 100 km			

Fuente: <https://e.huawei.com/mx/products/fixed-network/access/olt/ma5600t>

Los modelos de la serie SmartMA5800, garantiza acceso sin bloqueos para XG-PON y 40GPON de alta densidad. La serie presenta 4 modelos MA5800-X17, MA5800-X15, MA5800-X7T y MA5800-X2, cuyas características se

observan en el cuadro No. 6, con capacidad de acceso de 272, 240, 112 y 32 puertos GPON/EPON respectivamente, y capacidad de 262.143 direcciones MAC.

Cuadro 6. Características de la serie MA5800T

Modelo	MA5800-X17	MA5800-X15	MA5800-X7	MA5800-X2
Dimensiones (altura x ancho x profundidad)	493 mm x 287 mm x 486 mm	442 mm x 287 mm x 486 mm	442 mm x 268.7 mm x 263.9 mm	442 mm x 268.7 mm x 88.1 mm
Cantidad máxima de puertos en un sub-bastidor	272 x GPON/EPON	240 x GPON/EPON	112 x GPON/EPON	32 x GPON/EPON
	816 x GE/FE	720 x GE/FE	336 x GE/FE	96 x GE/FE
	136 x 10G GPON/10G EPON	120 x 10G GPON/10G EPON	56 x 10G GPON/10G EPON	16 x 10G GPON/10G EPON
	136 x 10G GE	120 x 10G GE	56 x 10G GE	16 x 10G GE
	544 x E1	480 x E1	224 x E1	64 x E1

Capacidad de conmutación del sistema	7 Tbit/s	480 Gbit/s
Cantidad máxima de direcciones MAC	262,143	
Cantidad máxima de ARP/entradas de enrutamiento	64	
Temperatura ambiente	-40 °C a 65 °C	
	Nota: el modelo MA5800 puede iniciarse a una temperatura de -25 °C y funcionar a -40 °C. Los 65 °C de temperatura hacen referencia a la máxima temperatura registrada en la entrada de aire.	
Rango de voltaje de funcionamiento	-38.4 V CC a -72 V CC	Fuente de alimentación CC:
		-38.4 V a -72 V

		Fuente de alimentación CA:
		100 V a 240 V
Características de capa 2	Reenvío VLAN + MAC, reenvío SVLAN + CVLAN, PPPoE+ y DHCP option82	
Características de capa 3	Ruta estática, RIP/RIPng, OSPF/OSPFv3, IS-IS, BGP/BGP4+, ARP, retransmisión DHCP y VRF	
MPLS y PWE3	MPLS LDP, MPLS RSVP-TE, MPLS OAM, MPLS BGP IP VPN, conmutación de protección para el túnel, TDM/ETH PWE3 y conmutación de protección PW	
IPv6	Pv4/IPv6 dual stack, reenvío IPv6 L2 y L3 y retransmisión DHCPv6	
Multicast	IGMP v2/v3, IGMP proxy/snooping, MLD v1/v2, MLD Proxy/Snooping y multicast IPTV basado en VLAN	
Calidad de servicio	Clasificación del tráfico, procesamiento prioritario, control de tráfico basado en trTCM, WRED, moldeado de tráfico, HqoS, PQ/WRR/PQ + WRR y ACL	
Confiabilidad del sistema	Protección GPON tipo B/tipo C, protección 10G GPON tipo B, BFD, ERPS (G.8032), MSTP, intra-board e inter-board LAG, In-Service Software Upgrade (ISSU) de la placa de control, 2 placas de control y 2 placas de alimentación para protección de redundancia, rectificación y detección de fallos en la placa en uso y control de la sobrecarga de servicio	

Fuente: <https://e.huawei.com/mx/products/fixed-network/access/olt/ma5800>

Los modelos caracterizados de Huawei están en el orden de los 800\$ a 2000\$ aproximadamente, los que poseen mayor capacidad como el SmartAX5600T y el MA5800-X17 y X15, son los más costos, de estos la serie MA5600T tiene un costo aproximado de 1000\$, mientras que los MA5800 se encuentran entre los 1500\$ a 1800\$, por lo que, dadas las características de estos modelos, se escoge como opción el SmartAX MA5600T.

Por otro lado, ZTE Corporation en colaboración con la empresa OFA s.r.o, ofrece componentes y equipos de fibra óptica, especialmente GPON y componentes activos para redes FTTx. Productos como ZXA10 C300 y ZXA10 C320, son las soluciones ofrecidas para OLT, con costos entre los 1500\$ y los 2600\$, respectivamente.

El equipo ZXA10 C320 es una plataforma óptica de acceso de diseño compacto con poca capacidad. Soporta el acceso xPON y la evolución fluida, permitiendo conectar hasta 4096 ONT / ONU con consumo de energía inferior a 200W, con capacidad de 2 slot para tarjetas, y tarjetas con capacidad de 8 y 16 puertos GPON, y el ZXA10 C300 es la primera plataforma de acceso óptico, con potentes funciones y alto rendimiento para despliegues masivos de FTTx, ofrece en su chasis de 21" 16 slot para tarjetas y el de 19" 14 slot, dichas tarjetas pueden tienen capacidades de 8 y 16 puertos GPON, por lo que este modelo es la opción ZTE para el estudio, ya que ofrece una buena capacidad y bondades adicionales como las que se observan en el cuadro No. 7.

Cuadro 7. Características de la serie ZXA10 C

Modelo	ZXA10 C300	ZXA10 C320
Dimensiones (altura x ancho x profundidad)	449,2mm x 535mm x 270mm	86,1mm x 482,6mm x 270mm
Cantidad máxima de puertos	16 - 14 slot para tarjetas universales	2 slot para tarjetas universales

	8/16 puertos por tarjeta GPON	8/16 puertos por tarjeta GPON
	24/48 puertos por tarjeta P2P	24/48 puertos por tarjeta P2P
	8 puertos por tarjeta XG PON1	8 puertos por tarjeta XG PON1
Capacidad de conmutación del sistema	800 Gbit/s	84 Gbit/s
Maximo de Suscriptores GPON	16.384	4096
Interfaces de Gestión	CLI, SSH, SNMP, telnet	

Fuente: <http://www.ztegon.com/index.php?page=olt>

La OLT elegida es el modelo SmartAX MA5600T de la empresa Huawei, cuya capacidad es adecuada y es la de menor costo, la cual posee 16 slots para tarjetas de servicios, estas tarjetas pueden conseguirse en el mercado de 8 o 16 puertos GPON, por lo que se pueden realizar diversas configuraciones para poder cubrir la demanda estimada de la primera fase de implementación con un solo equipo OLT.

Se sugieren 10 tarjetas de 16 puertos, con soporte de 64 usuarios por puerto para velocidades de 20Mbps, lo que se tienen 10240 usuarios en total, dejando 6 slots libre para crecimiento, que corresponden a 6144 usuarios si se mantienen los 20Mbps, o menos usuarios si el plan es ofrecer enlaces dedicados a mayores velocidades. Otra configuración podría ser, 8 tarjetas de 8 puertos GPON que soportan 4096 usuarios, y 6 tarjetas de 16 puertos para cubrir 6144 usuarios, que garantizan 10240 usuarios, dejando sólo 2 slots libres, que con tarjetas de 16 puertos podrían soportan 2048 usuarios con las condiciones dadas, o menos si se ofrecen planes de mayores capacidades.

ubicación de los *splitters* de primer y segundo nivel, y el usuario final más alejado con sus respectivas distancias respecto a la OLT, representando el caso más crítico.

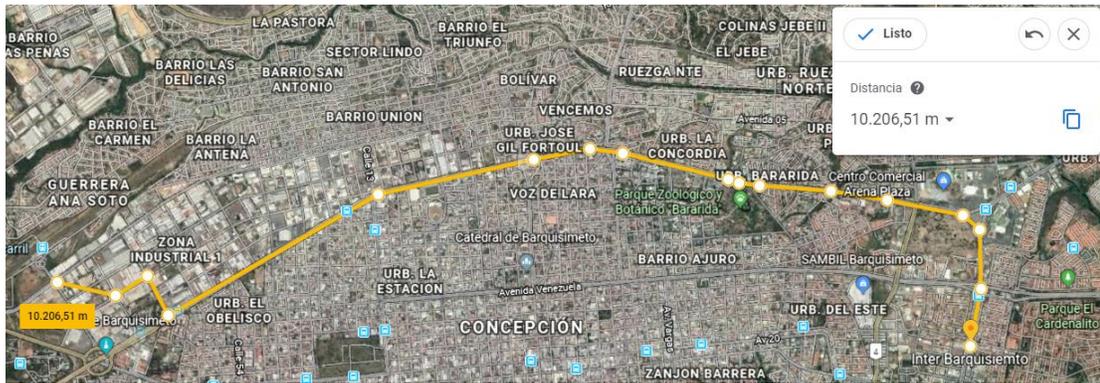


Figura 17. Ruta para el área 4.
Fuente: Pérez (2019), extraído de GoogleEarth.

Cuadro 8. Ubicación de los equipos y distancias para el área 4.

Ubicación	Coordenadas geográficas Geográfico	Distancia a la OLT	Distancia al <i>splitter</i> de primer nivel	Distancia al <i>splitter</i> de segundo nivel
OLT	10°04´04"N 69°17´03"W			
<i>Splitter</i> 1er nivel	10°04´13"N 69°21´03"W	8.923,05m		
<i>Splitter</i> 2do Nivel	10°04´19"N 69°21´19"W	9.665,93m	742,88m	
Usuario final	10°04´23"N 69°21´36"W	10.206,51m	1.283,46m	540,58m

De igual forma, para el área 5 el usuario más alejado está a aproximadamente 10.178,12metros, es decir 10.18Km, con un recorrido realizado por el centro de esta, de forma similar a la del área 4, que concuerda con la Av. 20 o carrera 20 que luego de la calle 42 se convierte en la Av. Pedro León Torres, y recorre la ciudad desde el este hasta el oeste, para la zona centro y oeste de la ciudad, como puede observarse en la figura No. 18, y el cuadro No. 9 presenta la ubicación de los *splitters* de primer y segundo nivel, y el usuario final más alejado con sus respectivas distancias respecto a la OLT, representando el caso más crítico.

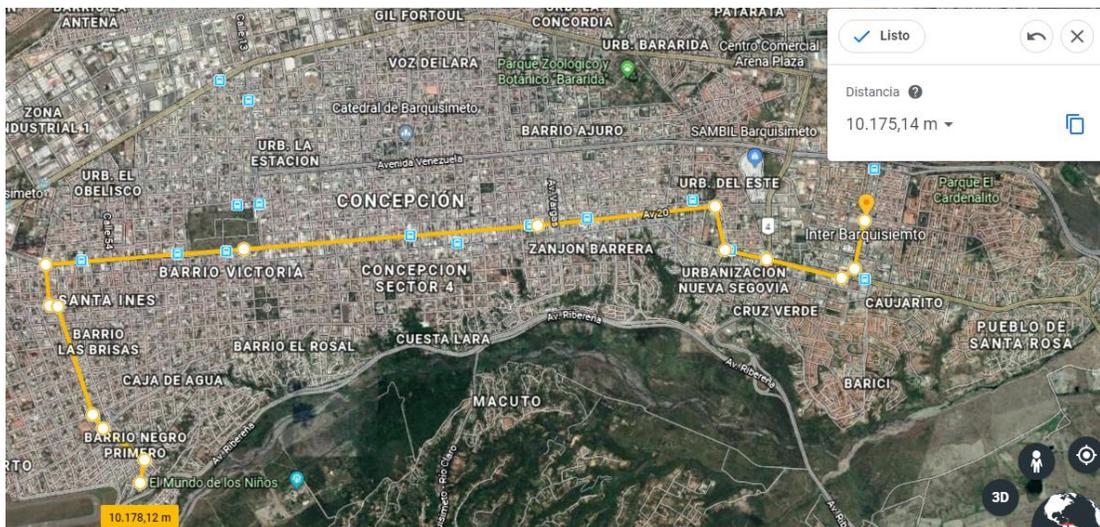


Figura 18. Ruta para el área 5.
Fuente: Pérez (2019), extraído de GoogleEarth

Cuadro 9. Ubicación de los equipos y distancias para el área 5.

Ubicación	Coordenadas geográficas Geográfico	Distancia a la OLT	Distancia al <i>splitter</i> de primer nivel	Distancia al <i>splitter</i> de segundo nivel
OLT	10°04'04"N 69°17'03"W			
<i>Splitter</i> 1er nivel	10°03'05"N 69°21'03"W	9.525,19m		
<i>Splitter</i> 2do Nivel	10°02'56"N 69°20'32"W	9.969,25m	444,06m	
Usuario final	10°02'49"N 69°20'33"W	10.178,12m	652,93m	208,87m

Para el estudio, además se requieren de *splitters*, armarios y ONT que garanticen el funcionamiento eficiente de la red, de manera que sean compatibles y permitan el aprovechamiento de las bondades o capacidades ofrecidas por esta. Para ello, se sugieren los *splitters* PLC (*Planar Lightware Circuits*), circuitos de ondas de luz planas, debido a que ofrecen una solución mejor para aplicaciones en las que se requieren configuraciones de división mayores que los FBT (*Fusionado Biconical Taper*). Apoyan longitudes de onda de 1260 a 1650 nm, una amplia gama apropiada para la adjudicación de la longitud de onda. Además, el rango de temperatura (-40 a 85 °C) es viable para los divisores PLC, lo que permite su utilización en climas extremos

En el mercado se puede conseguir *splitter* de fibra óptica de empresas como Yingfeng, la cual tiene un despliegue de diferentes productos de fibra óptica, especializándose por los *splitters* PLC, basados en una placa de cuarzo plana que se usa en el lado local o terminación de la red óptica pasiva (EPON, BPON, GPON, entre otros) para la división de la señal óptica. Puede ser

ampliamente utilizado en transmisión óptica, transmisión de larga distancia, bucle de abonado, FTTH, telecomunicaciones, CATV, dispositivos de prueba, sensor de fibra óptica, comunicación de datos y WAN. Ofrece características como: tamaño pequeño y altamente integrado, baja pérdida de inserción, alta pérdida de retorno, buena uniformidad canal a canal, anti-oxidante, anti-corrosión, excelente estabilidad del medio ambiente, con trabajo en temperatura de -40 °C a 85 °C.

El modelo ofrecido para una división 1x8 es el 1*8 PLC mini *splitter*, producto 1x8 *optical coupler* plc 1x8 sc/apc *splitter* 1*8, con una pérdida menor a 10,7dB por inserción para longitudes de onda 1260-1650nm, con un costo de 4,3\$ a 6,3\$ de acuerdo a las cantidades a adquirir.

Otro *splitter* comercial es el modelo PL-M-1008-09-SCA-SCA, de la marca Hxcomm, de tipo divisor PLC tipo tubo de acero de 0,9mm, de alto rendimiento, con división uniforme de las señales ópticas presente en los puertos de entrada a varios puertos de salida. Presenta una pérdida de inserción de 10,2 a 10,5dB para división 1x8, con un costo de 6\$ a 9\$.

Por otro lado, la empresa Huawei, presenta *splitter* de los modelos 1x2, 1x4, 1x8, 1x16, 1x32 y 1x64, donde se consideró la selección del FDH 1x8 con conector SC, con una pérdida de inserción (dB) (S/P grado) de 10,3dB, una uniformidad de pérdida (dB) de 0,8, una polarización de pérdida dependiente (dB) de 0.2 y longitud de onda de pérdida dependiente (dB) de 0.5, de tipo PLC, con costos entre los 3,5\$ y 6\$. Dadas las características y costos de los tres modelos de *splitter* descritos, se decanta el diseño por los *splitters* de la empresa Huawei, el cual presenta la menor pérdida por inserción, además de un costo promedio de 6\$ máximo (el fabricante indica que el costo depende de la cantidad de productos solicitados).

Entre los equipos terminales se tienen los modelos, EchoLifeHG8546M, *gateway* residencial de gama alta en la solución FTTH de Huawei. Proporciona

acceso ultra-banda ancha para usuarios domésticos y SOHO, debido a la tecnología GPON, cuenta con capacidades de reenvío de alto rendimiento para garantizar una excelente experiencia con servicios de vídeo, VoIP, internet y HD.

Posee módulo óptico clase B+, con modo de autenticación de seguridad, funciones NAT, funciones de voz y señalización SIP y H.248. Su costo oscila entre los 22\$ y 28\$. Presenta además las siguientes características:

- Interfaz GPON, SC monomodo / fibra única, enlace ascendente 1.25Gbps, enlace descendente 2.5Gbps.
- Usuario Interfaz Ethernet 4 * FE / GE interfaces de adaptación automática de Ethernet, conectores RJ45, 1 * WIFI Interfaz de energía.
- Fuente de alimentación de CC 12V Un adaptador de alimentación externo de 12V 1A CA / CC.
- PON Óptico, parámetro longitud de onda: Tx1310nm, Rx1490nm. Potencia óptica de Tx: -1 ~ 4dBm, Sensibilidad Rx: -28dBm, Potencia óptica de saturación: -3dBm.
- Tipo de conector: SC Fibra óptica: fibra monomodo 9 / 125um.
- Rendimiento de PON: aguas abajo 950Mbps; *upstream* 930Mbps, Ethernet: 4 * 100Mbps.
- Administración de redes Monitor de estado, gestión de configuración, gestión de alarmas, gestión de registros.

Adicionalmente, se analizaron las características de los modelos HG8010H, HG8040H, HG8110H, HG8240H, HG8242H, HG8045Q mostrados en el cuadro comparativo No. 10 de la empresa Huawei, donde se consideró la selección del modelo HG8110H por poseer unas dimensiones de 220 mm x 160 mm x 32 mm y unos puertos de usuario 4 GE + 2 POTS + 1 USB + Wi-Fi + 1 CATV, permitiendo múltiples aplicaciones, con un costo por unidad que oscila entre 28\$ y 36\$.

Cuadro 10. Características de la serie de ONT HG8000H

Especificaciones	HG8010H	HG8040H	HG8110H	HG8240H	HG8242H	HG8045Q
Dimensiones (altura x ancho x profundidad)	90 mm x 82 mm x 27 mm	176 mm x 138.5 mm x 28 mm	134 mm x 115 mm x 27 mm	176 mm x 138.5 mm x 28 mm	220 mm x 160 mm x 32 mm	230 mm x 190 mm x 30 mm
Puertos de red	GPON	GPON	GPON	GPON	GPON	GPON
Puertos de usuario	1 GE	4 GE	1 GE + 1POTS	4 GE + 2 POTS	4 GE + 2 POTS + 1 CATV	4 GE + 1 USB + 2.4G and 5G Wi-Fi
Especificaciones	HG8245H	HG8245Q	HG8247H	HN8055Q	HN8245Q	
Dimensiones (altura x ancho x profundidad)	176 mm x 138.5 mm x 28 mm	285 mm x 174 mm x 70 mm	220 mm x 160 mm x 32 mm	238 mm x 190 mm x 26 mm	238 mm x 190 mm x 26 mm	
Puertos de red	GPON	GPON	GPON	XG-PON	XG-PON	
Puertos de usuario	4 GE + 2 POTS + 1 USB + Wi-Fi	4 GE + 2 POTS + 2 USB + 2.4G and 5G Wi-Fi	4 GE + 2 POTS + 1 USB + Wi-Fi + 1 CATV	4 GE + 1 x 10 GE + 2.4G and 5G Wi-Fi + 2 USB	4 GE + 2 POTS + 2.4G and 5G Wi-Fi + 2 USB	

Fuente: <https://e.huawei.com/es/products/fixed-network/access/ont/optical-terminal>

Por último, se consideró el ONT-ONU GOCM *technology* GN2000-04GS-2VW, que ofrece servicios de *Triple Play* al abonado en fibra hasta el hogar, incorpora interoperabilidad, los requisitos específicos de los clientes clave y la

rentabilidad. Equipado con 2.5G compatible UIT-T G.984. Cumple con la definición estándar de OMCI, es manejable en el lado remoto y soporta las funciones de rango completo FCAPS incluyendo la supervisión, control y mantenimiento, con un costo de 30\$. La opción elegida es el EchoLifeHG8546M, por tener características básicas y funcionales, permitiendo un buen acople con la red, y un costo menor.

Es importante destacar que, la instalación de acceso de fibra FTTH es simple y rápida, debido a que si la red está en funcionamiento, el instalador solo debe conectar el cable proveniente de la OLT al equipo terminal y listo, por lo que se debe cuidar dadas las condiciones atmosféricas y seguridad el contenido de la roseta y su instalación, para mantener el desempeño del sistema óptimo, para ello la roseta debe contener un sistema de doble brida, de tal forma que para golpes, arrastres o tirones del cable, no afecte la conexión interior. Por otro lado, la roseta debería disponer de entrada del cable de alimentación por la parte posterior, evitando cableados en el hogar, y por consiguiente, manipulaciones y posibles averías.

Dado lo anterior, se tiene la roseta terminal de fibra óptica CTB50, de la empresa KeyFibre, la cual permite el almacenamiento de dos conectores ópticos, dos *pigtails* mecánicos o dos empalmes, con doble brida y se fija a la pared mediante tornillos o se puede colocar en una caja empotrada para mayor protección. Sus dimensiones son similares a las cajas de electricidad estándar. Por otro lado, se pueden conseguir cajas de distribución o rosetas de 1 puerto de fibra, ligera y compacta, puede ser instalada en pared u otras construcciones similares, posee protección mínima.

Por último, la roseta GPZ-D02, posee dos núcleos, está diseñada especialmente para conectar y proteger el cable de fibra, se puede montar sobre pared o en poste, adicionalmente posee 2 entradas de puertos de cable y 2 tomas de cable de caída. El costo de las rosetas descritas oscilan entre los

1\$ y 1,5\$, por lo que si se cumplen las condiciones descritas podrían utilizarse cualquiera de ellas, para el caso estudio se tomara en consideración la GPZ-D02 y su costo es de 1\$ la unidad por presentar montaje tanto en pared como en poste.

Las empresas operadoras en Venezuela, importan los cables de fibra óptica tomando en consideración las características ideales para el tipo de instalación y las condiciones de esta, por ello, se sugiere el uso de cables G.652D estándar debido a su funcionalidad para la transmisión de las longitudes de onda, y su adaptación a las recomendaciones indicadas por las UIT-T G.984.x.

Los cables troncales o red rígida, deben ser de más de 48 FO, mientras que para la red de distribución pueden ser menores a 48 FO de acuerdo las diferentes configuraciones o despliegues realizados, cables de tipo holgados, unitubos o multitubos, con protecciones. Para el interior de la vivienda se sugiere el uso de cables ajustados, debido que no poseen gel hidrófugo, son flexibles, delgados, y livianos, libres de halógenos, de baja emisión de humos, y no propagadores de incendio, en cumplimiento con las UNE-EN 50267, 50268 y 50266.

Las fibras que se encuentran en el mercado son los modelos GYXTW de la marca Shuanglin que cumple con la certificación ISO9001, de la empresa Yuantong la GJXH, que están caracterizadas de acuerdo a la norma G.652D, y sus costos oscilan en los 0,5\$/metro. Por otro lado, la fibra tipo drop, se tienen de la empresa Shuanglin el modelo G652A, con autoportante de dos fibras, de igual forma, ofrece el modelo GJXFH de tipo mariposa plana de dos núcleos.

La marca Crepúsculo presenta el modelo TW-CD-FTTH, de tipo plana, mariposa o con soporte automático, impermeable, y cumple con caro halógeno, retardante de llama, de diámetro pequeño, estructura simple, ligera y de alta practicidad, por ser de baja sensibilidad proporciona transmisión de

datos de gran ancho de banda. Los costos de los cables drop entre 0,07\$ a 0,2\$ /metro. EL cable escogido es el modelo TW-CD-FTTH tipo mariposa con un costo de 0,12\$/metro.

Dadas las condiciones de subdivisión de áreas, y ejemplificando el diseño en el área 4, se tiene que un armario óptico puede almacenar un máximo de 9 divisores de relación 1x8, pero por sub área se espera tener 8 *splitters*. Si se realiza el dimensionamiento de 8 *splitters* por armario, y cada división puede soportar 64 usuarios, se tendrían aproximadamente 256 usuarios por armario, con 4 armarios por área se da servicio a más de 2000 abonados, como se ha explicado anteriormente.

Es muy importante dejar reservas en los divisores ópticos y en las NAP, con la intención de tener espacio para futuros clientes. La conexión entre la OLT y los FDH se realiza mediante canalización aérea, por lo tanto, se ubicaron los armarios en puntos estratégicos, que por observación directa pudiese ser la canalización existente, de forma de poder aprovecharla y que el diseño sea lo más real posible. Y finalmente las NAP y ONTs serán ubicadas en cada sector cubierto con la nueva red de distribución o red flexible GPON.

En primer lugar, se debe realizar la adecuación en la cabecera o central, a fin de colocar un *router* o *gateway*, entre la señal que alimentará la red y la OLT, es importante tomar en cuenta, que al colocar equipos como *switches* o *routers* se permiten las interconexiones entre las redes existentes y estos nuevos sistemas.

En relación a esto, los *routers* de borde son importantes ya que enlazan sistemas autónomos con redes troncales, deben estar equipos con una buena memoria para manejo de protocolo BGP y enrutado, además de limitación de la capacidad por abonado, a fin de caracterizar el acceso a internet, debido a que define las características para el tráfico saliente y entrante, haciéndose a

partir de la selección de las rutas donde se va a propagar la información o servicio en una red.

La recomendación de la UIT-T G.984.1 establece que la máxima tasa de transferencia es de 2,488Gbps tanto para *uplink* como *downlink*, sin embargo, algunos terminales permiten solamente 1,244Gbps en *uplink* y 2,488Gbps en *downlink*. Básicamente, la GPON está prevista para velocidades mayores o iguales a 1,2 Gbps, sin embargo, en el caso de FTTH o FTTC con línea de abonado digital (xDSL, *Digital Subscriber Line*) asimétrica, como la identificada en la operadora CANTV, es posible que no sea necesaria alta velocidad en sentido ascendente. Para ello, GPON identifica diversas combinaciones de velocidades de transmisión, como se enumeran a continuación:

- 155 Mbit/s sentido ascendente, 1,2 Gbit/s sentido descendente.
- 622 Mbit/s sentido ascendente, 1,2 Gbit/s sentido descendente.
- 1,2 Gbit/s sentido ascendente, 1,2 Gbit/s sentido descendente.
- 155 Mbit/s sentido ascendente, 2,4 Gbit/s sentido descendente.
- 622 Mbit/s sentido ascendente, 2,4 Gbit/s sentido descendente.
- 1,2 Gbit/s sentido ascendente, 2,4 Gbit/s sentido descendente.
- 2,4 Gbit/s sentido ascendente, 2,4 Gbit/s sentido descendente.

De lo anterior tenemos que, GPON ofrece una estructura de trama escalable de 622 Mbps hasta 2,5 Gbps, así como soporte de tasas de bits asimétricas. La velocidad más utilizada por los actuales suministradores de GPON es de 2,488 Gbps *dowstream* y 1,244 Gbps *upstream*, por lo que la capacidad de los usuarios estará proyectada en 20Mbps, para terminales que sólo permiten 1,244Gbps, pero si la transferencia es simétrica a 2,488Gbps, sería por lo menos 40Mbps por usuario, lo que es suficiente para garantizar los servicios y aplicaciones demandada por los usuarios existentes. De acuerdo a lo anterior, para garantizar 20Mbps por usuario, se permiten 64 usuarios por puerto GPON en la OLT.

Otra de las especificaciones que define la norma, indica que la distancia máxima a nivel lógico es de 60km, mientras que la distancia física es de 10km a 20km, debido a que la ONU puede utilizar un diodo laser FP-LD (Fabry-Perot) en una distancia máxima de 10km para altas velocidades como 1,25Gbps o superiores, por lo que el diseño se limita a una distancia máxima de 10km. Asimismo describe que, el retardo máximo de transferencia de la señal es de 1,5ms, por lo que debe dar cabida a servicios que requieran un valor medio máximo con respecto a este.

Es conveniente aclarar que los sistemas GPON se utilizan principalmente para dos aplicaciones, como se describe en la UIT-T G.984.2-200602-Amd1, para sistemas de pleno servicio con superposición de video y para sistemas digitales, de voz y datos. Para los primeros sistemas se utilizan 3 longitudes de onda, y para sistemas puramente digitales sin superposición de video dos longitudes de onda, como se observa en la figura 19.

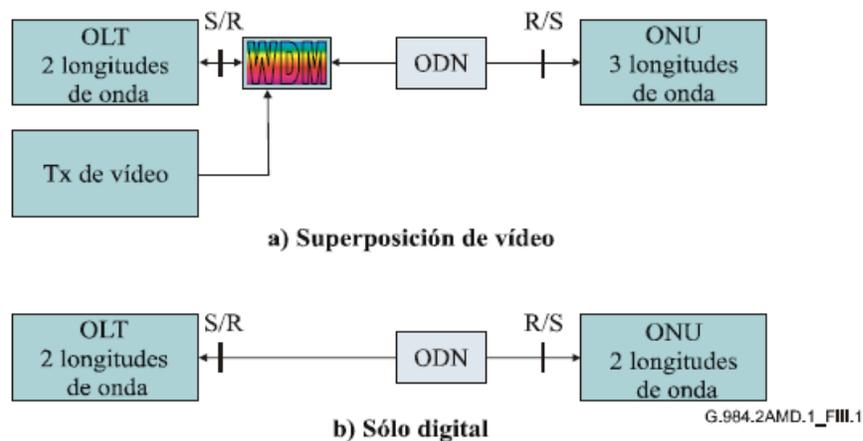


Figura 19. Aplicaciones para redes GPON
Fuente: ITU-T G.984.2 (2006)

Por esta razón, el diseño sólo se realizará para el sistema digital sin superposición de video, es decir, para voz y datos ya que la premisa del

estudio se basa en el servicio de internet, por ende, serán utilizadas las dos longitudes de onda, 1310nm y 1490nm.

GPON define diferentes parámetros o consideraciones de diseño, como las observadas en el cuadro No. 11. La atenuación máxima soportada viene dada por la potencia máxima garantizada por la OLT en relación a la potencia mínima que es capaz de recibir la ONT. La potencia de transmisión medida en dBm, se define de acuerdo a los tipos de láseres utilizados, decantándose los expertos por el tipo B+, el cual indica como potencia media mínima de +1dBm, así la atenuación debe asegurarse para que el servicio funcione en 28dBm, dada la sensibilidad de recepción parametrizada.

Cuadro 11. Parámetros ópticos de una red GPON-Equipos OLT y ONT

Parámetros de GPON	ONT	OLT
Potencia de transmisión mínima	0,5dBm	1,5dBm
Potencia de transmisión máxima	5dBm	5dBm
Sensibilidad mínima	-27dBm	-28dBm

Fuente: ITU-T G.984.2 (2003)

La atenuación total, se calcula sumando las atenuaciones por distancia en la fibra óptica, la producida por los divisores ópticos, empalmes y conectores, de acuerdo a la distancia del recorrido de la red de distribución hasta la dispersión hacia el abonado, como se describe en la ecuación No. 1, a continuación:

$$Atenuación\ Total\ (AT) = (Ad) + (Ac) + (As) + (Ae) + (Apc) \quad (ec\ 1)$$

Donde (Ad) atenuación por distancia en la fibra óptica, (Ac) atenuación por conectores, (As) atenuación por divisores ópticos; (Ae) atenuación por empalmes, y (Apc) atenuación por *patchcord*.

El alcance de un equipo viene dado por la máxima atenuación que es capaz de soportar el sistema sin pérdida de servicio, y tomando en cuenta las especificaciones internacionales se tiene que, la atenuación del cable de fibra a 1310nm (*upstream*) presenta una pérdida por norma de 0,4dB/km, mientras que la fibra a 1490nm (*downstream*) de 0,3dB/km. La recomendación UIT- T G.671-200206, ofrece un valor de pérdida de inserción por conector óptico de 0,5dB por conector, mientras que los empalmes por fusión a 0,1dB, y los *patchcord* 0,3dB se atenuación.

Es conveniente tomar en cuenta que, al utilizarse tendido aéreo como principal técnica, dadas las consideraciones de las redes PSTN o HFC, el cable de fibra se fijará sobre los postes de tendido eléctrico a una altura aproximada de 5m, ya que los postes son de 10m, generalmente.

Se recomienda tomar en consideración los descensos del cable que pueden llegar a representar aproximadamente entre 15 y 20 metros, tomando como valor 20 metros más de longitud y adicional a esto se añade un porcentaje producto de los efectos de la curvatura en el tendido de este sobre los postes de un 20 %, calculo que se observa en el cuadro No. 12.

Cuadro 12. Cálculo de longitud del segmento

Segmento	Distancia 1er Nivel	Distancia 2do Nivel	Descensos	Corrección por curvatura 20%	Longitud total del segmento	Distancia cable drop al usuario
OLT- Usuario	8923,05m	742,88m	20m	1.933,19m	11.619,12 m	540,58m

La atenuación del cable de fibra a 1310nm (*upstream*) dada una pérdida por norma de 0,4dB/km, y del cable de fibra a 1490nm (*downstream*) dada una pérdida por norma de 0,3dB/km, es:

$$Ad_{1310nm} = 11,619Km * \frac{0,4dB}{Km} = 4,65dB$$

$$Ad_{1490nm} = 11,619km * \frac{0,3dB}{Km} = 3,49dB$$

Adicionalmente a esto, se incluyen 540,58m de cable drop con una pérdida de 0,4dB/km, por lo que se tiene 0,216dB de atenuación por cable drop. La interconexión de los equipos terminales tanto ONT como OLT requieren el uso de conectores, por lo que en un segmento punto a punto se utilizan 4 conectores.

$$Ac = 4 \text{ conectores} * \frac{0,5dB}{conector} = 2dB$$

El diseño planteado emplea dos niveles de división óptica de 1x8 ambos, y dada la tabla descrita anteriormente la perdida introducida por cada *splitter* de 1x8 es 10,3dB.

$$\begin{aligned} As &= 10,3dB(\text{splitter primer nivel}) * 10,3dB(\text{splitter segundo nivel}) \\ &= 20,6dB \end{aligned}$$

Las fusiones originadas por la incorporación de los *splitters* (cada uno origina un par de fusiones) y adicionalmente se tiene una fusión en los puntos terminales para la conexión de la fibra, por lo que la pérdida por fusión para los 6 empalmes, pero por lo largo del trayecto, se estima en 10 empalmes es:

$$Ae = 10 \text{ empalmes} * \frac{0,1dB}{empalme} = 1dB$$

Para finalizar, se tienen dos *patchcord* a cada extremo del enlace, donde las pérdidas generadas por cada *patchcord* son de 0,3dB.

$$Apc = 2 \text{ patchcord} * 0,3dB/\text{patchcord} = 0,6dB$$

Dadas las atenuaciones calculadas se tiene para el segmento más largo y diferentes longitudes de onda:

$$\begin{aligned} \text{Atenuación Total (1310nm)} &= 4,65\text{dB} + 2\text{dB} + 20,6\text{dB} + 1\text{dB} + 0,6\text{dB} + 0,216\text{dB} \\ &= 29,006\text{dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Atenuación Total (1490nm)} &= 3,49\text{dB} + 2\text{dB} + 20,6\text{dB} + 1\text{dB} + 0,6\text{dB} + 0,216\text{dB} \\ &= 27,906\text{dB} \end{aligned}$$

Para verificar el diseño en relación con las atenuaciones calculadas, se evalúa el nivel óptico, tomando en consideración los ambos sentidos, *upstream* y *downstream*, de acuerdo a los datos de la tabla No. 11, se tiene:

$$\text{Nivel óptico}(1310\text{nm}) = (5 \text{ dBm}) - (-27 \text{ dBm}) = 32 \text{ dB}$$

$$\text{Nivel óptico}(1490\text{nm}) = (5 \text{ dBm}) - (-28 \text{ dBm}) = 33 \text{ dB}$$

Para este caso de 1310nm el nivel óptico es de 32 dB, el cual no debe ser superado por las atenuaciones, y las atenuaciones para el caso de estudio son de 28,006 dB, lo que ofrece un margen del sistema de 3dB, y en el caso de 1490nm, el nivel óptico es 33dB y las atenuaciones 27,906dB, ofreciendo un margen del sistema de 5,1dB, los cuales se consideran un nivel óptimo para realizar el diseño de la red. Es probable que estos datos puedan fluctuar durante la medición, dependiendo de la calidad de la instalación, pero ya tienen una buena referencia para comparar, cuando realicen las mediciones de la red en el campo.

A fin de concluir, se tiene que la cabecera o central GPON consta de la OLT donde se realiza la interconexión con la red de alimentación, el suministro eléctrico al equipo, se tomará del cuadro eléctrico existente, se debe tener en cuenta el respaldo necesario para evitar cortes del servicio. La red de alimentación, se denomina al tramo entre la cabecera y la Red de distribución definida por el primer nivel de *splitter*, es decir, las troncales de fibra que llevarán las fibras ópticas. Este recorrido se realizará por tendido aéreo, el cual

por excelencia es el utilizado para enlaces metropolitanos en áreas urbanas, donde ya se disponga de postiería existente.

Será utilizado un cable plano monomodo G.652D. La topología de la red troncal es en estrella, para conseguir cubrir diferentes áreas debido a la dispersión de los abonados. Las fibras procedentes de la red de alimentación serán las entradas a los divisores de primera etapa que se alojarán en las cajas de distribución, las ventajas de la solución escogida son: menor ocupación del cable de fibra óptica de red urbana, ocupándose menos fibras ópticas activas que si se hubiera realizado la división en la central, una mayor reserva de las fibras para futuros servicios, mayor facilidad de manipulación dado que el número de cables terminados es menor, frente a una mayor complejidad en el excesivo número de cables a terminar en un único punto.

Con el objeto de minimizar el costo de la instalación como el impacto en las calles, se ha sugerido una red de alimentación donde las troncales pasan por la postiería existente y tomar en consideración la red de fibra óptica hasta los nodos ópticos. La red de distribución, denominada al tramo de red desde los *splitters* de primer nivel hasta las cajas terminales ópticas donde se ubican los *splitters* de segundo nivel, los que se conectarán a la acometida de los abonados o clientes. Los *splitters* utilizados para este proyecto serán de división 1:8 (en las cajas de distribución y en las cajas de abonado).

Generalmente las cajas de distribución, son cajas estancadas para exteriores, con bandejas de 12 empalmes, que se caracterizan por presentar un armazón hecho de chapa metálica y admite el transporte horizontal de tableros en gabinete, su estructura plegable facilita la protección de los puertos ópticos, de fácil mantenimiento, como las mangas utilizadas presurizadas y selladas actualmente.

Por otro lado, se tienen las cajas de abonado, las cuales son cajas murales y de distribución de varias salidas, adosadas a muro, poste o interior. Es

importante verificar que contengan materiales como porta empalmes, protectores de empalmes, organizador con bridas y accesorios, además de elementos de fijación. Por último, se tiene la red de dispersión, que es el tramo de red que va desde la caja de abonado hasta la entrada al hogar del usuario, la cual está formada por cables de acometida y la roseta óptica. El cable a utilizar es monotubo de acometida exterior, tipo drop aéreo, que permita conectar la caja de derivación interior con la roseta óptica del cliente, por su menor diámetro permite una fácil manipulación.

Para el abonado, cliente o usuario final se utilizarán los ONT, los cuales deben tener capacidades de transmisión de alto rendimiento para garantizar calidad en los servicios ofrecidos. Para cada cliente es necesario una instalación en el interior del hogar, la cual se compone de una terminal de red óptica, roseta óptica, donde se conecta por un lado la acometida y por el otro la ONT mediante un latiguillo.

4.4 Viabilidad económica y operativa para la convergencia en relación a la adaptación de la red heredada fundamentada en recomendaciones internacionales a través de criterios de evaluación de proyectos.

Toda inversión en un proyecto para una organización generalmente está llena de oportunidades con un abanico de amplios resultados, ya que la inversión no solo involucra el inicio de un nuevo negocio sino hay que tomarla como inversiones dinámicas que se pueden ir realizando en marcha y así poder desarrollar nuevos productos o adquirir nuevos equipos.

Por ello se establece un procedimiento de evaluación con base en la escala de operación planeada, donde se identifican las inversiones requeridas, sus unidades, sus precios unitarios y su vida útil. Es importante aclarar que, los precios de los servicios ofertados por la empresa del caso de estudio serán estimados, considerando los planes ya ofrecidos por la empresa, manteniendo los precios competitivos.

A continuación, se presenta el cuadro No.13 que contiene la lista de equipos necesarios para la red. Se tomó en cuenta que la llegada a los nodos ópticos donde serán colocados los *splitters* de primer nivel será realizada con la red existente, y sólo se contarán los metros restantes de fibra óptica para la distribución a los *splitters* de segundo nivel.

La red ha sido dimensionada para que la distribución sea lo más uniforme posible, se sugiere este tipo de distribución para mantener los valores de atenuación constantes, es por ello, que la distancia entre el *splitter* de primer nivel y el de segundo nivel es en promedio 1km, mientras que de estos hasta el abonado se espera en promedio 400metros. Se estima un total de 20km en promedio de fibra óptica para distribución, y 5km de cable drop en promedio para los abonados.

Cuadro 13. Lista de equipos de red FTTH-GPON.

EQUIPO	CANTIDAD	PRECIO POR UNIDAD (\$)	TOTAL (\$)
OLT MA5600T de Huawei	1	1000	1.000
Tarjetas de 16 puertos compatible con MA5600T	10	500	5.000
<i>Splitters</i> Huawei 1x8	1440	6	8.640
NAP/armarios de distribución	100	1,5	150
Roseta FO 2 puertos	10.000	1	10.000

ONT	10.000	25	250.000
Cable Fibras Óptica	20.000 m	0,5	10.000
Cable drop	4.000.000 m	0,12	480.000
TOTAL (\$)			764.790

El cuadro No. 13 está referido en moneda extranjera, debido a que los equipos no se encuentran en el mercado nacional, por ende, y de acuerdo al promedio de la tasa de cambio del Dicom, se estima a BsS 1.572,55 por dólar para mediados del mes de Enero de 2019, fecha de última revisión de dicho sistema de mercado cambiario. Dado esto, el costo total de los materiales es de BsS. 1.202.670.514.

El personal necesario para la ejecución de la obra se detalla en el cuadro 14, en la cual se referencia el costo del salario por mes de acuerdo al tabulador del colegio de ingenieros de Venezuela, actualización a diciembre 2018, se estiman que la red este completamente en funcionamiento en un plazo no mayor a 6 meses.

Cuadro 14. Personal necesario para la ejecución de la obra.

PERSONAL	CANTIDAD	SALARIO POR MES (BS)	TOTAL (BS)
Ingenieros	2	24.933,00	49.866,00
Supervisores	5	21.467,00	107.335,00
Obreros	10	18.000,00	180.000,00

Administrativo control de obra	5	19.733,00	98.655,00
TOTAL (BS)			435.866,00
TOTAL POR EL TIEMPO DEL PROYECTO (BS)			2.615.196,00

Los egresos totales, adicionalmente a los costos de los materiales, y la mano de obra, el costo del tendido de fibra y la colocación de los elementos en la red, parte de este costo está cubierto por los sueldos y salarios de las cuadrillas internas, pero de igual forma generan gastos adicionales debido a diferentes conceptos, estos costos se estipulan en un 15% del costo total. El cuadro No. 15 presenta el presupuesto total estimado.

Cuadro 15. Presupuesto total estimado del proyecto.

Área o Inversión	Presupuesto parcial en (BsS)
Materiales	1.202.670.514,00
Personal (mano de obra)	2.615.196,00
Presupuesto del Proyecto	1.205.285.710,00
Adecuación y Colocación de Equipos	180.792.856,00
Presupuesto total del Proyecto	1.386.078.566,00

Los precios de los planes actualmente de los servicios de internet medido 20Mbps/1536k, no se encuentra disponible en todos los sectores del país, y presenta un costo de BsS 220,01 mensuales, mientras que el plan 10Mbps/768k internet ilimitado cuesta BsS 110,00, costos extraídos de la página web de la empresa Inter, para usuarios residenciales. La red diseñada

garantiza los 20Mbps para el usuario, de internet ilimitado, por lo que se proyecta un costo de BsS 300, que es un poco mayor al actual, pero presenta mejores bondades y capacidades.

La red se dimensiona para aproximadamente 10.000 abonados, por ende, la proyección de ingresos se estima en el primer año se llegue a un 40% de usuarios servidos, se tendría un ingreso aproximado de 4000 suscriptores, que corresponden a BsS.14.400.000,00 el primer año, sin ningún tipo de ajuste por inflación.

Para evaluar la viabilidad del proyecto, se analizarán criterios de evaluación de proyectos como escalabilidad, conocimiento del mercado, ventajas competitivas, equipo, entre otros. En primer lugar, la escalabilidad es usada para referirse a la propiedad de crecimiento manteniendo la calidad de servicio ofrecido, que le permita generar más ingresos con los recursos disponibles. Este concepto atrae la atención, dado que la red permite generar diversas opciones de capacidad del servicio de internet con la misma inversión, con solo realizando una configuración interna en el equipo central OLT, lo que permite enfrentar la demanda de nuevos servicios solicitados por usuarios existentes, o nuevos usuarios, a la par de ofrecer servicios dedicados para grandes empresas, lo que indica una mayor rentabilidad, sin disminuir la calidad del servicio para el resto de los suscriptores, ni la realización de una nueva red.

En consecuencia a lo anterior, se considera que la progresión de ingresos puede ser exponencial, y ligada directamente con la creación de un abanico de productos y servicios que generen una expansión de mercado, donde los usuarios puedan balancear costos más altos que los actuales, pero con beneficios diferenciables con los demás prestadores de servicios.

Por otro lado, al ser una red sobre la existente, se permite una expansión del mercado dado que la empresa cuenta con una larga trayectoria en el mercado.

Este mismo punto de interés lo tienen las diferentes operadoras mencionadas que ofrecen servicios de internet tradicional en el país, por lo que el conocimiento del mercado, la competencia y la cultura de mercado está inmersa en el desarrollo del proyecto, contribuyendo positivamente al compromiso con la sociedad venezolana, que aporte servicios de nueva generación con inversiones progresivas, sostenibles y adecuadas a los objetivos globales como por ejemplo la eficiencia energética.

Cabe mencionar que, los equipos escogidos cumplen con esta última ventaja competitiva ya que, los equipos activos como la OLT y la ONT contribuyen al ahorro energético. Para el caso de la OLT, se caracteriza por que apaga automáticamente cualquier tarjeta inactiva, además cuenta con ajuste inteligente de la velocidad del ventilador y reduce el consumo de energía de las tarjetas inactivas de manera eficaz, y la ONT por su parte, posee un ajuste dinámico del consumo de energía, y realiza una selección flexible de los servicios debido a su batería de respaldo.

En general, al producirse la transmisión de datos entre el equipo terminal de línea óptica (OLT) ubicado en la cabecera, central o sala de equipos y el equipo terminal de red óptica (ONT) con elementos intermedios pasivos, que dividen las señales ópticas permitiendo la entrega de los datos a diversos ONT llamados *splitters*, que no requieren alimentación por energía eléctrica, que contribuyen al ahorro energético, ofreciendo criterios descritos en las recomendaciones UIT-T Y.3021 y UIT-T *Supplement 45* en referencia al ahorro de energía en las redes futuras y la conservación de potencia GPON.

En dichas recomendaciones, se observan escenarios de solución potencial en el rendimiento del equipo y en la longevidad del servicio de baterías, así como la conservación de energía en las operaciones regulares y la minimización de las emisiones de CO₂ generadas por las TICs en general, basadas en la

profundidad de impacto en la capa de convergencia de transmisión GPON (GTC).

El marco de ahorro energético se clasifica de acuerdo al impacto ambiental tomando en cuenta la ecología mediante las redes futuras y las redes ecológicas. Las redes futuras ofrecen un panorama orientado en reducir el impacto ambiental de sectores distintos a las TIC utilizando redes futuras, mientras que las redes ecológicas persiguen la reducción del impacto ambiental de las redes de comunicaciones, con la utilización de topologías o arquitecturas o tecnologías que presenten el menor consumo, o la sustitución de redes actuales por las que reduzcan el consumo de energía de los dispositivos en la red, como lo hace las tecnologías xPON.

Las redes ópticas, han avanzado en la introducción de elementos y tecnologías eficientes en el consumo energético, ya que la capacidad de los nodos de red que ofrecen velocidades del orden de los Gbps, es mucho mayor que los nodos electrónicos, que para ofrecer esta capacidad necesita más energía. Esta tecnología ofrece eficiencia energética debido al gran volumen de tráfico que soportan.

Con la utilización de FTTH, se mejora aún más la eficiencia energética ya que no es preciso realizar la conversión óptica eléctrica en los nodos intermedios, sino al final de red óptica, lo que requiere menor energía. Por otro lado, al poder ejecutar modos de reposo de los equipos en la red GPON, el ahorro de energía depende solo de la dinámica del tráfico, y cuanto mayor sea la diferencia entre el máximo y el mínimo de este, mayor será el ahorro, dado que el consumo de los equipos sin control de modo reposo se mantiene constante y depende del tráfico máximo, pero al realizar el control, si el que circula por trayectos paralelos en un determinado periodo es menor que el máximo, los flujos pueden combinarse dinámicamente en un solo trayecto y los equipos de los demás trayectos asociados pueden pasar a modo reposo,

por lo que la reducción de energía en este modo depende de la cantidad de circulación mínima de paquetes.

Las consideraciones especificadas por la UIT presentan propuestas efectivas que promueve el sueño sincronizado y periodos activos en las ONT, que se logra gracias a comandos en la OAM, con la transmisión de mensajes junto con el método de señalización que administra el modo de suspensión rápida, aplicando transiciones individuales de las ONT, por otro lado, es posible el ahorro por medio del apagado del transceptor óptico mientras que las ONT entran en una suspensión más profunda, mientras que las funciones de detección de tiempo y actividad permanecen activas preferiblemente, para ello la OLT debe suprimir las alarmas de la red xPON hacia las ONT, y ofrecer un envío de datos descendente y proporcional asignaciones en sentido ascendente, pero debe considerar la ausencia del tráfico en sentido ascendente como normal, con el fin de ayudar a la recuperación o despertado de la ONT.

Continuando con los criterios de evaluación de proyectos, se tiene como factor de éxito, el *timing* o sincronización, del que se desligan una serie de preguntas como: ¿por qué ahora?, ¿es necesario?, la cuales fundamentan la toma de decisiones para el proyecto. Los proyectos tecnológicos por su parte, poseen un *timing* definido por la oleadas tecnológicas y la apertura de nuevas generaciones, es por ello que la implementación de redes FTTH basadas en GPON son necesarias en este momento dada la preparación para el soporte de nuevas aplicaciones y capacidades para la 5ta generación tecnológica, que permitirá un aumento de las capacidades en cuanto a ancho de banda y velocidad, además de la interconexión de hasta ahora equipos convencionales a la red de redes, presumiendo 7 dispositivos conectados a la red por cada habitante en el planeta.

Entonces, es el momento oportuno para que las operadoras nacionales realicen inversiones y adapten sus redes progresivamente para este nuevo cambio, además fomentar el mercado de los servicios de internet tradicional que ha sido relegado por el internet móvil de banda ancha, con servicios de banda ancha y precios más competitivos. El mercado nacional permite una sana y controlable competencia como ha sido hasta ahora, y con preferencias marcadas entre los usuarios, por lo que el conocimiento de criterios de penetración del mercado, y el dominio de técnicas de *marketing* ya están en el día a día presente en los proyectos o despliegues de estas empresas.

Por último, para realizar una inversión se debe efectuar una evaluación de los factores que influyen de manera directa en la oferta y demanda la fibra óptica. Esto es estudiar el mercado y se realiza para determinar hacia donde se enfocará el proyecto, para el caso de estudio, en el mercado de los servicios de internet tradicionales. Es por ello que la inversión, en definitiva, es un plan al que se le asigna capital e insumos materiales, humanos y técnicos. Su objetivo es generar un rendimiento económico a un determinado plazo de tiempo. Para esto, será necesario inmovilizar recursos a largo plazo.

Es recomendable para esta inversión buscar alianzas y ofrecer ofertas de servicios para buscar modificar el perfil de consumo de los usuarios y desplegar de manera rentable la infraestructura necesaria para llevar a cabo este avance tecnológico al mercado. Una estrategia es fomentar los contratos postpago ya que consolidan el ingreso medio por cliente y genera mayor uso de la red; además se pueden ofrecer mayor flexibilidad de los pagos y servicios, todo con la idea de obtener un importante incremento de ingresos de capitales.

Por lo tanto, el crecimiento de las comunicaciones también ha llevado a los operadores de telecomunicaciones a modificar obligatoriamente sus modelos de negocio y la infraestructura de su red a manera de adecuarse a las

exigencias de hoy en día; es por ello la importancia de la aplicación de este proyecto en la ciudad de Barquisimeto la cual ha sido por excelencia el epicentro de lanzamiento de productos debido a la ubicación geográfica en el país y presentar una estructura de clientes demandantes de calidad de servicio a bajos costos.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Una vez realizado este trabajo de investigación podemos mencionar las siguientes conclusiones:

Como punto inicial, se realiza un diagnostico en relación a las redes existentes en referencia a 100 empresas proveedores de servicios de internet que hacen vida en el país, dada la última actualización de CONATEL, de las cuales más de un 25 % son empresas de televisión por cable (operadoras de cable), un 20 % son proveedores de internet por redes alámbricas, y el resto tienen prestaciones mixtas, internet alámbrico e inalámbrico y servicios por sistemas satelitales, que ofrece un despliegue amplio de redes de fibra óptica en Venezuela.

Por otra parte, se estiman más de 24mil km de fibra en todo el país, instalados por la principal empresa del estado del sector de telecomunicaciones, que garantiza servicios de telecomunicaciones y sirve como eje transversal para el desarrollo productivo de Venezuela, y permite la interconexión de las diferentes empresas que hacen vida en el país.

Se observa, que las empresas del sector de telecomunicaciones están evaluando la migración y/o despliegue de tecnologías pasivas de fibra óptica que les permita distribuir sus servicios con mejores y mayores prestaciones de recursos, para ello se han inclinado por GPON y FTTH, por lo que se escogen estas opciones tecnológicas, aunado a las bondades y capacidades que ofrecen para las necesidades que presentan los usuarios actuales.

De acuerdo a lo anterior, en Venezuela existen diversos contextos, protocolos, redes y tecnologías que proveen de servicios de internet a la población, pero principalmente se encuentran los siguientes escenarios: redes PSTN bajo

tecnología xDSL, servicio de internet a través de cable de cobre, redes HFC bajo DOCSIS, con servicio de internet con medio de transmisión de última milla cable coaxial, redes de interconexión entre cabeceras para operadoras de cable, grandes operadoras de telefonía celular y centrales PSTN, basadas en fibra óptica, redes de fibra óptica activa dedicada hasta el abonado, desde las cabeceras operadoras de cable, centrales de telefonía y proveedores de servicios hasta clientes corporativos y nuevas aplicaciones con tecnología PON de operadoras de cable para clientes corporativos.

En referencia a los escenarios descritos, se escogen para comparación y estudio las redes PSTN, redes HFC, y enlaces de fibra activa dedicada para abonados corporativos. La red totalmente de cable de cobre (PSTN), representa una opción que necesitaría un reemplazo total por una red de fibra óptica, o en su defecto, una red paralela a la existente hasta los gabinetes o armarios de distribución más cercano a los abonados, con un esquema FTTC y luego continuar con la red de cobre, lo que representa una gran inversión.

Los enlaces activos presentan una opción interesante, y de las cual se puede aprovechar los puntos de llegada a los abonados para realizar una distribución a partir de allí, pero se podrían perder suscriptores debido a que no están desplegadas por toda el área urbana, y el escenario redes HFC, presenta la opción más segura y la escogida, dado que sólo se necesita un reemplazo a nivel de red de dispersión, pudiendo tomar en consideración un primer nivel de *splitter* en la ubicación física de los nodos opto-eléctricos, y de allí desarrollar una red de fibra para un segundo nivel de *splitter* que permitiría llegar al abonado con fibra óptica, adaptándose a un esquema FTTH.

Con respecto a las redes de nueva generación, se tiene que la tecnología NGN, se ha estado desarrollando en diversas empresas del país principalmente en CANTV que provee de nodos NGN para la interconexión de zonas alejadas, y posee un *softswitch* central nacional con redundancia tipo

espejo, de igual forma Inter, opera en su cabecera con un *softswitch* nacional para sus servicios de telefonía, por lo que es una ventaja sobre el diseño, ya que se realizaría en convergencia con redes de nueva generación, y en coexistencia con tecnologías heredadas.

En cuanto a la tecnología GPON, se tiene que su máxima tasa de transferencia es 2,5Gbit/s y 1,2 Gbit/s, de acuerdo a lo especificado en el estándar UIT-T G.984, lo que permite por ejemplo, que operando a una tasa de división óptica de 64 equipos ONT para 1,2 Gbit/s (aunque no es la máxima, es la utilizada hasta el momento con prestaciones adecuadas en diferentes escenarios latinoamericanos), a cada uno les corresponde una fracción de 20Mbit/seg, para el caso en el que todos estén simultáneamente utilizando el canal, y dada la necesidad superior a 5MB para ofertar servicios multimedia.

Para el diseño de la red, se selecciona el área de estudio, que se presenta para la verificación de la viabilidad de las redes GPON con arquitectura FTTH en convergencia con las redes de nueva generación y en coexistencia con las heredadas, se basa en el estudio de las diferentes características topográficas y dimensiones de las principales ciudades del país que presentan una mayor penetración o mercado de servicios de internet, por lo que son escogidos los estados Miranda, Distrito Capital, Zulia, Carabobo, Lara y Aragua, que superan el millón de usuarios conectados, de estos se toman aleatoriamente 3 ciudades principales, Caracas, Valencia y Barquisimeto.

El diseño de la red de estudio, se realizó en la ciudad de Barquisimeto, para la empresa Inter, que permita el beneficio del 30 % de los usuarios del estado de servicios de internet tradicional, adicionalmente se consideran los parámetros: topología FTTH, punto a multipunto basado en el estándar o tecnología GPON, red de tendido aéreo, velocidad por usuario de 20Mbps y 9500suscriptores, como estimación inicial.

En cuanto a los equipos y distribución se tiene que, la OLT se ubica en las oficinas principales de Inter al este de la ciudad, la red será dividida de forma centralizada, en 5 áreas que permitan ofrecer servicio a 2000 suscriptores, ubicando 32 *splitters* de 1x8 de primer nivel por área, para un total de 10000 suscriptores aproximadamente, y la red de distribución o red flexible en 4 sub áreas, ubicando 8 *splitters* de 1x8 de segundo nivel por sub área, que soporten 500 suscriptores cada una, a fin de generar una topología tipo árbol.

Los equipos activos escogidos, OLT y ONT, son modelos robustos y escalables del fabricante por excelencia de equipos para FTTH y GPON, Huawei, proveedor global líder en la industria de las soluciones de tecnología de la información y comunicaciones (TIC).

Se concluye que el diseño es viable, dado que el margen óptico tanto para longitudes de onda de 1310nm y 1490nm, se considera óptimo ya que no supera el nivel de la atenuación y se ubica entre los 3dB y 5dB, además se sugiere la adecuación de la cabecera o central, con un *router* o *gateway*, entre la señal que alimentará la red y la OLT, que permite las interconexiones entre las redes existentes y estos nuevos sistemas.

Por último, la evaluación del proyecto se cristaliza con la valoración de criterios de evaluación de proyectos como escalabilidad, conocimiento del mercado, ventajas competitivas, equipo, entre otros. Datos que ofrecen una visual amplia de los retos que representa un despliegue como el diseñado, que permita generar más ingresos con los recursos disponibles y enfrentar la demanda de nuevos servicios solicitados por usuarios existentes, o nuevos usuarios, a la par de ofrecer servicios dedicados para grandes empresas, lo que indica una mayor rentabilidad, sin disminuir la calidad del servicio para el resto de los suscriptores, ni la realización de una nueva red.

Este mismo punto de interés lo tienen las diferentes operadoras mencionadas que ofrecen servicios de internet tradicional en el país, por lo que el

conocimiento del mercado, la competencia y la cultura de mercado está intrínseca en el proyecto, que aporte servicios de nueva generación con inversiones progresivas, sostenibles y adecuadas a los objetivos globales como por ejemplo la eficiencia energética.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda que, para realizar una inversión se debe efectuar una evaluación de los factores que influyen de manera directa en la oferta y demanda, en las diferentes ciudades en donde se desea expandir las redes a pasivas de fibra óptica, para ello un estudio del mercado es necesario, que al implementarse la red genere un rendimiento económico a un determinado plazo de tiempo.

Por otro lado, se recomienda generar alianzas y ofrecer ofertas de servicios para buscar modificar el perfil de consumo de los usuarios y desplegar de manera rentable la infraestructura necesaria para llevar a cabo este avance tecnológico al mercado.

Asimismo, el modelo de negocio, debe ser modificado de manera que se adecue a las exigencias de los actuales usuarios, es por ello la importancia de la aplicación de este proyecto en la ciudad de Barquisimeto la cual ha sido por excelencia el epicentro de lanzamiento de productos debido a la ubicación geográfica en el país y presentar una estructura de clientes demandantes de calidad de servicio a bajos costos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aponte, R. (2000). **Redes de comunicación**. Primera Edición. Venezuela. Editorial Limusa.

Arias, F. (2006). **La Investigación Científica**. Segunda Edición. Venezuela. Editorial Limusa.

Álava (2015), **Definición de las redes FFTA**. Recuperado de http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3859/T012_41528456_T.pdf?sequence=1

Balestrini, M. (2016). **Metodología de la Investigación**. Tercera edición Chile. Editorial McGraw-Hill Interamericana.

Banco Central de Venezuela (BCV) (2017). Caracas, Venezuela.

Barranquero (2016), **Definición Tecnología NG2-PON**. Recuperado de <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/53563/8/mbarranqueroTFM0616memoria.pdf>

Bavaresco, A. (2006). **Metodología Formal de la Investigación Científica**. Segunda Edición. Venezuela. Editorial Limusa.

Brandwatch Analytics (2016). Bogotá, Colombia. Mc Graw Hill.

Bojorquez (2011), **Usos de FTTH**. Recuperado de <http://comunidad.ingenet.com.mx/ftth/2011/03/02/ftt/>

Cáceres (2014), **Características de la Tecnología XG PON**. Recuperado de <https://es.slideshare.net/ivandarklife/redes-opticas-pasivas-xpon-39658803>

Cámara Venezolana Americana de Comercio e Industria (Venamcham) (2017). Capítulo Caracas, Venezuela.

Campos (2012), **Medios de Transmisión no guiados**. Recuperado de <https://es.slideshare.net/mscamposl/medios-de-comunicacin-guiados-y-no-guiados>

Cipagauta y Ferro (2012) **Sistemas multimedia basados en protocolo IP IMS aplicados a servicios LTE de 4G**. <https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/REDES/article/view/6386/7911>.

Calderon (2018), Definición de redes **FTTH**. Recuperado de <https://prezi.com/gikyheskkbh8/untitled-prezi/>

Decreto 1.826 Gaceta Oficial Nro. 34.801 de 18 de septiembre de 1991, que crea la Comisión Nacional de Telecomunicaciones.

Espinoza, Valenzuela y Álava (2015), **Definición de FTTP**. Recuperado de <https://edoc.site/gpon-3-pdf-free.html>

García (2013), **Partes de un Cable de Par de Cobre**. Recuperado de <http://plantaexternatelefonica.blogspot.com/2013/04/el-par-de-cobre.html>

Gilani (2012), **Definición de Redes Híbridas**. Recuperado de https://techlandia.com/son-redes-hibridas-sobre_43945/

Gómez, A. (2000). **Metodología de la Investigación Científica**. Segunda

Edición. Venezuela: Editorial Limusa.

Ganuza y Perca (2016), **FTTC**. Recuperado de
<https://docplayer.es/2863990-Las-redes-de-nueva-generacion-un-nuevo-modelo-para-las-telecomunicaciones-en-espana.html>

González, V. (2009). **Metodología de la Investigación Científica**. Cuarta Edición. Venezuela: Editorial Limusa.

González (2016), **Definición de Medios de Transmisión**. Recuperado de
<http://mdtviridianaggr.blogspot.com/>

Guecha, (2012). **Definición de Tecnología FTTx**. Recuperado de
https://issuu.com/andresguecha/docs/redes_de_nueva_generacion

Hernández, J. (2014). **Metodología Formal de la Investigación Científica**. Bogotá, Colombia. Mc Graw Hill.

Huawei Technologies (2017). **Red NGN**. Bogotá, Colombia. Mc Graw Hill.

Ilbay (2016), **Definición de FTTE**. Recuperado de
<https://docplayer.es/73925320-Escuela-superior-politecnica-de-chimborazo.html>

Informe de cifras del sector del Telecomunicaciones, II Trimestre 2018.
<http://www.conatel.gob.ve/informe-cifras-del-sector-segundo-trimestre-2018/>.

Instituto Latinoamericano de Planificación, Económica y Social (ILPES) (1999).

Ley de comunicación del poder popular (2014).

Josan (2017), **Ventajas de GPON**. Recuperado de <https://naseros.com/2017/03/13/como-funciona-una-conexion-de-fibra-gpon-y-ftth/>

Josan (2017), **Desventajas de GPON**. Recuperado de <https://naseros.com/2017/03/13/como-funciona-una-conexion-de-fibra-gpon-y-ftth/>

Lanchi (2015), **Definición de FTTB**. Recuperado de <https://docplayer.es/96140478-Universidad-nacional-de-loja.html>

Millan (2013), **Tecnología XG PON**. Recuperado de <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/74205/7/jmmmTFM0118memoria.pdf>

Manene, L. (2017). **Mercado: Concepto, Tipos, Estrategias, Atractivo Y Segmentación**. <http://www.luismiguelmanene.com/2012/04/04/el-mercado-concepto-tipos-estrategias-atractivo-y-segmentacion/>.

Miralles (2015), **Definición de FTTC**. Recuperado de <https://docplayer.es/10735364-Universidad-de-san-carlos-de-guatemala-facultad-de-ingenieria-escuela-de-ingenieria-mecanica-electrica.html>

Palella, L. y Martins, M., (2010) **Metodología Formal de la Investigación Científica**. Segunda Edición. Venezuela. Editorial Limusa.

Recomendación técnica UIT-R SM.1537 (Automatización e integración de los sistemas de comprobación técnica del espectro con la gestión automática del espectro),

Recomendación técnica UIT-R SM.1048 (Directrices para el diseño de un sistema básico automatizado de gestión del espectro).

Regalado y Romero (2018), **Definición de Fibra Óptica**. Recuperado de <https://beyondtech.us/blogs/beyondtech-en-espanol/diferencias-entre-cables-de-fibra-optica-monomodo-y-multimodo>

Sabino, C. (2002). **Metodología Formal de la Investigación Científica**. Segunda Edición. Venezuela. Editorial Limusa.

Sistemas de accesos ópticos. Universidad Politécnica de Madrid. http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/sistemas-de-telecomunicacion/Contenidos/Material-de-consulta/4_apuntes_sistemas_hfc.pdf

Unión Internacional de Telecomunicaciones (International Telecommunications Union): ITU-T Y.2001 (2004), **Redes NGN**.

Unión Internacional de Telecomunicaciones (International Telecommunications Union): ITU-T G.987 (06/2012) **Redes ópticas Pasivas Capacidad de 10 Gigabit (XG-PON)**.

Unión Internacional de Telecomunicaciones (International Telecommunications Union): ITU-T G.989.1 (03/2013) **Redes ópticas pasivas capacidad de 40 Gigabit (NG-PON2): Requerimientos generales**.

Universidad Católica Andrés Bello (2017). Manual de Trabajos de Grado y Maestría Tesis Doctorales de la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB) (2017).

Trabajos de Grado

Añazco, P. (2013), **Diseño Básico de Redes de Acceso FTTH utilizando el estándar GPON**. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Ecuador.

Cohen, W. (2007), **GSR Discussion Paper, Next Generation Networks (NGN) Regulation Overview**.

Luna, I. (2013), **Migración de las redes de conmutación de circuitos a la Red de Próxima Generación, desde una perspectiva de la Ingeniería de Trafico**. Instituto Tecnológico de Buenos Aires. Argentina.

Moreno, K. (2012), **Validación de normas y procedimientos de construcción para su incorporación en despliegues de FTTH**. Universidad Católica Andrés Bello. Caracas, Venezuela.

Moreno, M. (2012), **Estudio técnico económico de factibilidad para el diseño de redes PON y GPON**. Escuela Politécnica del Ejército. Sangolqui, Ecuador.

Osorio, A. (2016), **Redes GPON-FTTH, Evolución y puntos críticos para su despliegue en Argentina**. Instituto Tecnológico de Buenos Aires. Argentina.

Rodríguez, C. (2016), **Evolución de las Redes de Telecomunicaciones y Calidad de Servicio en Redes de Nueva Generación NGN en el Ecuador**. Universidad Pontificia Universidad Católica del Ecuador.