

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA DE SISTEMAS**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
Ingeniera de Sistemas**

**TEMA:
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA SOLUCIÓN DE
TELECOMUNICACIONES EN AMBIENTE DE LABORATORIO QUE
INTEGRE EL ESTÁNDAR VDSL2 VECTORING BAJO UNA
ARQUITECTURA DE ACCESO FTTC.**

**AUTORA:
EVELYN MARGOTH ESCOBAR CASTILLO**

**TUTOR:
MANUEL RAFAEL JAYA DUCHE**

Quito, febrero del 2017

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Evelyn Margoth Escobar Castillo, con documento de identificación N°171759992-0, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del trabajo de grado intitulado: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA SOLUCIÓN DE TELECOMUNICACIONES EN AMBIENTE DE LABORATORIO QUE INTEGRE EL ESTÁNDAR VDSL2 VECTORING BAJO UNA ARQUITECTURA DE ACCESO FTTC”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERA DE SISTEMAS, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....
EVELYN MARGOTH
ESCOBAR CASTILLO
CI: 171759992-0

Quito, febrero del 2017

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, con el tema: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA SOLUCIÓN DE TELECOMUNICACIONES EN AMBIENTE DE LABORATORIO QUE INTEGRE EL ESTÁNDAR VDSL2 VECTORING BAJO UNA ARQUITECTURA DE ACCESO FTTC”, realizado por Evelyn Margoth Escobar Castillo, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, febrero del 2017



MANUEL RAFAEL JAYA DUCHE
CI: 171063103-5

CARTA DE AUTORIZACIÓN



Oficio No. GATH-JRBL-749-2016

Quito, 25 JUL 2016

Arquitecto
Reinaldo Torres Jaramillo
GERENTE NACIONAL DE DESARROLLO ORGANIZACIONAL
Presente

De mi consideración:

En virtud de la delegación realizada por el Sr. César Regalado, Gerente General de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP, mediante Resolución No. CNTEP-GG-020-2011, en la cual le faculta la suscripción de los convenios de confidencialidad con el personal de la CNT EP, con el objeto de salvaguardar la información confidencial, reservada o sensible de la empresa, remito para su firma en dos ejemplares el Convenio de Confidencialidad a celebrarse con la colaboradora Evelyn Margoth Escobar Castillo, alumna de la Universidad Politécnica Salesiana, quien realizará su proyecto de Tesis previo a la obtención de su título de tercer nivel.

Cabe indicar que por el desarrollo del proyecto, la referida tendrá acceso a información confidencial de la CNT EP, motivo por el cual es necesario la celebración del citado Convenio, de esta manera se precautela los intereses de la empresa.

Atentamente,


Francisco Delgado Cordero
GERENTE DE ADMINISTRACION DEL TALENTO HUMANO



www.cnt.gob.ec



DEDICATORIA

El presente proyecto está dedicado a mi hija Emily Vivar a quien amo infinitamente, el motivo y fuente de inspiración para culminar con los estudios de tercer nivel y para seguir trabajando cada día hacia un futuro mejor.

También para mi madre Adriana Castillo por su sacrificio y esfuerzo, por creer siempre en mí, para mi hermano Mauricio Escobar y mis abuelitos Alicia y Aníbal que han estado presentes en cada etapa de mi vida brindándome su comprensión, cariño e incondicional apoyo.

Evelyn Margoth Escobar Castillo

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	2
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	2
1.1. Antecedente	2
1.2. Importancia	3
1.3. Alcance	4
1.4. Objetivo General – Específicos	5
CAPÍTULO 2	6
MARCO CONCEPTUAL.....	6
2.1. Redes de Telefonía fija.....	6
2.1.1. Equipos y elementos de las redes telefónicas.....	7
2.1.2. Parámetros delimitados por criterios físicos.....	8
2.1.3. Medios de transmisión.....	9
2.1.3.1. <i>par trenzado</i>	9
2.1.3.2. <i>fibra óptica</i>	9
2.2. Redes de Banda Ancha	10
2.3. Redes xDSL.....	10
2.3.1. ADSL / ADSL2 / ADSL2+ (Asymmetric Digital Subscriber Line).	10
2.3.2. VDSL / VDSL2 (Very High Bit Rate Digital Subscriber Line).	11
2.3.3. VDSL2 Vectoring.....	12
2.4. Esquema de Red xDSL	13
2.4.1. DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer).....	13
2.4.3. Filtros divisores (splitters).....	14
2.4.4. Los cables.....	14
2.5. Redes de Fibra Óptica (FTTX).....	15
2.6. Esquemas de Red Fibra Óptica (FTTX).....	16
2.6.1. Configuración punto a punto.....	16
2.6.2. Configuración punto a multipunto.....	16
2.6.3. Los Splitters.....	18
CAPÍTULO III	19
DISEÑO E INSTALACIÓN DEL LABORATORIO	19
3.1. Metodología	19

3.2.	Etapa de Inicio.....	20
3.2.1.	Equipos y elementos de red existentes en Laboratorios CNT EP.	20
3.2.2.	Equipos de acceso en stock.....	21
3.3.	Etapa de Planificación	22
3.3.1.	Criterios de Diseño.....	22
3.3.2.	Diseño en bloques de la Arquitectura FTTC.....	23
3.3.3.	Identificación de equipos y elementos requeridos.....	23
3.3.4.	Análisis de selección de equipos.....	24
3.3.4.1.	<i>OLT</i>.....	24
3.3.4.2.	<i>DSLAM</i>.....	24
3.3.4.3.	<i>módems</i>.....	25
3.3.5.	Características de los equipos seleccionados.	26
3.3.5.1.	<i>Huawei SmartAX MA5603T</i>.....	26
3.3.5.2.	<i>terminales VDSL2 FiberHome HG150-U</i>.....	31
3.3.6.	Materiales necesarios para la implementación.	31
3.4.	Etapa de Ejecución	32
3.4.1.	Instalación de equipos y elementos del laboratorio.	32
3.4.1.1.	<i>instalación DSLAM</i>.....	33
3.4.1.2.	<i>instalación bucle de abonado</i>.	35
3.4.1.3.	<i>interconexión red óptica pasiva y el DSLAM</i>.	38
3.4.2.	Proceso de Configuración de equipos.	38
3.4.2.1.	<i>configuración OLT</i>.	39
3.4.2.2.	<i>configuración DSLAM</i>.	39
3.5.	Etapa de Cierre	41
	CAPÍTULO IV.....	42
	EJECUCIÓN DE PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	42
4.1.	Protocolo de pruebas	42
4.2.	Información del Sistema bajo pruebas	42
4.3.	Medición de Temperatura y Humedad.....	44
4.4.	Medidas de Bucles de pruebas.....	45
4.5.	Entorno de pruebas.....	45
4.5.1.	Configuración de Prueba.	46
4.5.2.	Configuración del perfil de línea.....	47

4.6.	Requerimientos de equipos para pruebas.....	48
4.7.	Pruebas de Funcionamiento Vectoring.....	49
4.7.1.	Medición de velocidad de datos en diferentes longitudes de bucles de abonado y estándares DSL.....	49
<i>4.7.1.1.</i>	<i>medición de velocidad de datos con VDSL2 Vectoring.....</i>	<i>50</i>
<i>4.7.1.2.</i>	<i>medición de velocidad de datos con ADSL2+ y VDSL2.....</i>	<i>51</i>
<i>4.7.1.3.</i>	<i>comparativa de la velocidad de datos alcanzados.....</i>	<i>51</i>
<i>4.7.1.4.</i>	<i>análisis de resultados.....</i>	<i>53</i>
4.7.2.	Medición de Relación Señal a Ruido (SNR) y atenuación.....	54
<i>4.7.2.1.</i>	<i>medición de SNR del grupo VDSL2 Vectoring.....</i>	<i>54</i>
<i>4.7.2.2.</i>	<i>medición de SNR y atenuación del grupo ADSL2+ y VDSL2.....</i>	<i>55</i>
<i>4.7.2.3.</i>	<i>comparativa de SNR.....</i>	<i>55</i>
<i>4.7.2.4.</i>	<i>comparativa de atenuación.....</i>	<i>56</i>
<i>4.7.2.5.</i>	<i>análisis de resultados.....</i>	<i>56</i>
4.7.3.	Coexistencia entre VDSL2 Vectoring y ADSL2+.....	57
<i>4.7.3.1.</i>	<i>comparativa de coexistencia.....</i>	<i>59</i>
<i>4.7.3.2.</i>	<i>análisis de resultados.....</i>	<i>59</i>
	CONCLUSIONES	61
	RECOMENDACIONES	63
	GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	64
	LISTA DE REFERENCIAS	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Perfiles de frecuencia G.993.2	12
Tabla 2. Estándar FTTX.....	16
Tabla 3. Procesos de Diseño e Implementación	20
Tabla 4. Equipos existentes en laboratorio y sus características.....	21
Tabla 5. Equipos disponibles en stock y sus características.	22
Tabla 6. Equipos y elementos requeridos	24
Tabla 7. Parámetros de selección DSLAM	25
Tabla 8. Parámetros de selección Módems	26
Tabla 9. Especificaciones técnicas Huawei SmartAX MA5603T	27
Tabla 10. Especificaciones MA5603T en VDSL2.....	28
Tabla 11. Descripción de las tarjetas MA5603T.....	29
Tabla 12. Especificaciones Ópticas Módulos xPON	30
Tabla 13. Estándares Ópticos ITU-T que soportan los módulos GPON	30
Tabla 14. Especificaciones Técnicas Módems VDSL FiberHome HG150-U	31
Tabla 15. Sumario de equipos y materiales utilizados en la instalación del DSLAM.....	32
Tabla 16. Materiales utilizados para construir los bucles.	32
Tabla 17. Conversión de resistencia a distancia.....	37
Tabla 18. Cálculos distancia de bucle de pruebas.....	38
Tabla 19. Información DSLAM.....	43
Tabla 20. Información CPEs	43
Tabla 21. Ajustes de configuración.....	44
Tabla 22. Temperatura y Humedad del laboratorio	44
Tabla 23. Clasificación de bucles y rangos de atenuación.....	45
Tabla 24. Características bucles de prueba.	45
Tabla 25. Valores de velocidad de datos obtenidos con VDSL2 Vectoring.....	50
Tabla 26. Valores de velocidad de datos obtenidos con ADSL2+ y VDSL2.	51
Tabla 27. Comparación de velocidad de datos alcanzados con diferentes estándares.....	52
Tabla 28. Valores de SNR y atenuación con VDSL2 Vectoring.	54
Tabla 29. Valores de SNR y atenuación en ADSL2+ y VDSL2.	55
Tabla 30. Valores de velocidad de datos 50% VDSL2 Vectoring y 50% ADSL2+ ..	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ejemplo de red de telefonía	7
Figura 2. Ilustración de FEXT y NEXT	13
Figura 3. Arquitectura de las redes XDSL	14
Figura 4. Arquitectura FTTX y mixtas con xDSL	18
Figura 5. Metodología de diseño e implementación.	19
Figura 6. Esquema del escenario de investigación.....	23
Figura 7. Estructura MA5603T	28
Figura 8. Puertos VDSL2 Instalados en laboratorio	34
Figura 9. MA5603T implementado en laboratorio.	35
Figura 10. Resistencia bucle de abona	36
Figura 11. Escenario de investigación implementado.	38
Figura 12. Configuración de reconocimiento de hardware	39
Figura 13. Configuración de Vlans de gestión y servicios.....	40
Figura 14. Configuración de direccionamiento de gestión	40
Figura 15. Configuración de interfaces de uplink	41
Figura 16. Activación funcionalidades Vectoring	41
Figura 17. Configuración de prueba.....	46
Figura 18. Configuración velocidad perfil de línea.	48
Figura 19. Configuración niveles de SNR permitidos para el perfil de línea.	48
Figura 20. Pruebas con módems vectorizados.	50
Figura 21. Comparación de velocidad de bajada de datos con VDSL2 vectoring, VDSL2 y ADSL2+.....	52
Figura 22. Comparación de velocidad de subida de datos con VDSL2 vectoring y VDSL2.	53
Figura 23. Comparación de SNR entre VDSL2 vectoring, VDSL2 y ADSL2+.	56
Figura 24. Comparación de Atenuación entre VDSL2 vectoring, VDSL2 y ADSL2+.	56
Figura 25. Pruebas de coexistencia.	58
Figura 26. Comparación de Coexistencia.	59

Resumen

El presente proyecto tiene por objetivo verificar el funcionamiento de la técnica de vectorización aplicada a VDSL2 para esto, se implementó un escenario de investigación en ambiente de laboratorio que consta de una red de fibra (FTTC) y cobre (VDSL2), a través del cual se simuló bucles de abonado de diferente longitud para observar el comportamiento de ancho de banda, relación señal a ruido (SNR) y atenuación, dicha experimentación se realizó con el estándar ITU-T G.992.5, ITU-T G993.2, ITU-T G993.5, con un protocolo de pruebas bajo el modelo TR-249 y el respectivo análisis.

Los resultados muestran que el máximo rendimiento de la técnica de vectorización se obtiene en un bucle de abonado de hasta 500 [m] alcanzando anchos de banda superiores a los 100 [Mbps], además la relación señal a ruido (SNR) mejora en un 19% y se tiene un canal menos atenuado en un 16% con respecto al VDSL2 cuando todas las líneas que provienen de un DSLAM están vectorizadas.

Abstract

This project aims to verify operation of the vectorization technique applied to VDSL2. For this objective was implemented a research environment in a laboratory that consisting of a fiber (FTTC) and copper (VDSL2) network. Through this laboratory subscriber, loops with different length were simulated in order to observe bandwidth, SNR and attenuation behavior. Such experimentation was performed with ITU-T G.992.5, ITU-T G993.2 and ITU-T G993.5 standards, with a test protocol using TR-249 model and its respective analysis.

Results show that maximum performance of the vectorization technique is obtained in a subscriber loop of up to 500 meters reaching bandwidths above 100 [Mbps], in addition the signal-to-noise ratio (SNR) improves by a factor of 19 % and we have a less attenuated channel by 16% with respect to VDSL2 when all lines that come from a DSLAM are vectorized.

INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de comunicación a través de redes de acceso de par de cobre están evolucionando a una topología híbrida fibra-cobre que proporcionan cada vez mayores velocidades de datos para banda ancha (Umek, 2012).

Las 2/3 partes de las conexiones a banda ancha a nivel mundial son DSL y aproximadamente 1,25 millones de hogares están conectados por una línea de cobre (Nokia, 2016).

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) aprobó en enero del 2015 las últimas revisiones del estándar VDSL2 Vectoring (G.vector) en las Recomendaciones ITU-T G.993.2 y ITU-T G.993.5 (International Telecommunication Union, 2015).

La tecnología DSL es utilizada en redes híbridas FTTX (Umek, 2012) y de acuerdo al artículo publicado por Cioffi, Ginis, Nuzman, & Peeters (2010), el VDSL2 Vectoring llegaría a velocidades de conexión de hasta 100 Mbps a distancias más allá de los 500m desde el punto de terminación de la fibra.

Considerando la cantidad sustancial de conexiones DSL existentes, junto con la demanda de servicios de datos actual y futura, optar por la tecnología VDSL2 Vectoring constituye una nueva oportunidad de negocio para los operadores y ayuda a los gobiernos a cumplir con los objetivos nacionales de banda ancha (Nokia, 2016).

En este proyecto se implementará una solución de telecomunicaciones en ambiente de laboratorio con tecnología híbrida simulando una conexión de fibra FTTC y distintos bucles de abonado de cobre para el acceso final, los resultados serán expuestos para evaluar el impacto de utilizar VDSL2 Vectoring.

CAPÍTULO 1

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En este capítulo, se describe la problemática de la velocidad de datos que permiten alcanzar las actuales redes de acceso por cobre, por tanto, se describe la importancia, el alcance y los objetivos del presente proyecto de investigación.

1.1. Antecedente

Se han producido cambios importantes en los mercados de las telecomunicaciones (Silva, 2015), las tendencias actuales demandan de nuevos servicios como: IPTV de próxima generación y la secuenciación de vídeo (streaming) de ultra alta definición (Ultra-HD) ‘4K’ u ‘8K’, el almacenamiento avanzado en la nube y la comunicación por vídeo HD (ITU, 2014).

Los operadores deben planificar estrategias para adoptar soluciones que transformen sus redes, solo así los usuarios podrán acceder a los nuevos servicios que requiere un mayor ancho de banda (Silva, 2015).

Dentro de la oferta comercial de Internet Fijo- Banda Ancha de la CNT EP para el segundo semestre del 2015 fue entregar al cliente final mayor capacidad de transmisión de datos en sus hogares de esta manera ser competitiva dentro del mercado ecuatoriano en esta línea de negocio.

Con el propósito de dar cumplimiento a la nueva oferta comercial la CNT EP contempló la ampliación de puertos basados en plataformas de baja capacidad de los cuales se consideró alrededor del 50% de nuevo equipamiento VDSL y también la reducción del bucle de abonado para un valor de 25.000 puertos.

Para diciembre del 2015 la CNT EP mediante el proceso No. REGEN-SIECNT-2710-15 adquirió 50.000 unidades de modem VDSL2, los cuales incluyen el estándar ITU-T G.993.2 profile 8b/8c/12a/17a, y ITU-T G.993.5 Vectoring.

En la actualidad la CNT EP ofrece planes con tecnologías puras DSL de hasta 15Mbps y hasta 100Mbps con acceso FTTH (CNT EP, 2016).

1.2. Importancia

Con los antecedentes antes expuestos, considerando que la CNT EP ya cuenta con una infraestructura VDSL que soporta la técnica Vectoring, podría ser una solución para aumentar la disponibilidad de ancho de banda y mejorar el rendimiento de las actuales redes de acceso por cobre.

De acuerdo al artículo de Attanasio, y otros (2016), las implementaciones por fibra óptica especialmente las FTTH (Fibra hasta el hogar) son soluciones de largo plazo y con una inversión significativa entonces las soluciones tecnológicas como FTTC (Fibra hasta el Gabinete) deben ser consideradas como un paso intermedio hacia FTTH.

Según los datos estadísticos proporcionados por la ARCOTEL (2014) se tenía 1.322.802 suscriptores de Internet Fijo de banda ancha de los cuales 915.000 acceden por tecnología ADSL que representa el 69%, mientras que la participación de las redes de acceso por fibra hasta el hogar en relación al total de suscriptores de banda ancha en el mismo año fue del 4.9%.

Desde esa perspectiva la cantidad de líneas ADSL existentes podrían transformarse en VDSL2 y con una inversión que equivale aproximadamente a 1/3 del costo de la implementación con fibra óptica (Nokia, 2016).

Por otro lado, el Gobierno ha creado el “Plan Nacional de Telecomunicaciones y Tecnología de la Información del Ecuador 2016 – 2021” que contiene los programas y proyectos para conseguir una mayor inclusión digital y competitividad del país, entre los cuales está el proyecto “Incentivar el despliegue de infraestructura última milla” cuyo objetivo es aumentar el porcentaje de hogares que

se encuentran a menos de 1.5 km de la red de fibra (MINTEL, 2016), por tanto, este proyecto sería uno de los mecanismos que contribuyan al cumplimiento de este objetivo.

1.3. Alcance

El presente proyecto se desarrollará mediante la recopilación, análisis y estudio de tecnologías xDSL, así como también las arquitecturas FTTx. La información obtenida mediante libros, artículos técnicos y manuales de fabricantes de equipos de acceso, será presentada, sintetizada destacando los aspectos más importantes para sustentar el diseño de un laboratorio que cumpla con las normas y recomendaciones de organismos Nacionales e Internacionales a fin de evaluar equipos y terminales que cumplan con el estándar VDSL2 Vectoring.

Se analizará la situación actual de los laboratorios de pruebas existentes en la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP, con la finalidad de establecer que es necesario instalar y configurar para el diseño e implementación de un laboratorio con arquitectura FTTC que permita evaluar las características principales del estándar.

Se instalará y configurará un DSLAM con su respectivo cableado, regletas de conectividad hacia bucles de abonados simulados y los equipos terminales.

Finalmente se ejecutará pruebas siguiendo un protocolo en el laboratorio implementado para obtener información precisa del estándar en parámetros como: ancho de banda, SNR, atenuación en los siguientes bucles de abonado de 100, 200, 300, 400, 500, 1.000 y 1.500 metros.

Y se obtendrán los resultados que serán presentados, analizados y comparados con la información teórica del estándar, con el propósito de evaluar el impacto de utilizar VDSL2 Vectoring en distintos escenarios.

1.4. Objetivo General – Específicos

Objetivo General

Diseñar e implementar una solución de telecomunicaciones en ambiente de laboratorio que integre el estándar VDSL2 Vectoring bajo una arquitectura de acceso FTTC para determinar los parámetros ideales que permitan a futuro implementar la solución en una red en producción.

Objetivos Específicos

Realizar el estudio de las tecnologías xDSL y la interoperabilidad con las redes FTTX para conocer el fundamento teórico y sustento que permitirá diseñar un laboratorio que permita evaluar el estándar VDSL2 Vectoring.

Analizar las características actuales de los equipos de acceso DSLAM y GPON del laboratorio existente en la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP para el diseño de una solución que integre estas dos tecnologías bajo la arquitectura de acceso FTTC.

Implementar en ambiente de laboratorio, la infraestructura necesaria para la ejecución de pruebas que permitan conocer el comportamiento del estándar con bucles de abonados simulados.

Analizar e interpretar los valores de las pruebas realizadas comparando con los estándares antecesores y VDSL2 Vectoring para determinar los parámetros que permitan a futuro implementar la solución en una red en producción.

CAPÍTULO 2

MARCO CONCEPTUAL

En este capítulo, se realizará el estudio de las redes telefónicas, su constitución básica, los parámetros que causan la variación de la señal inicial, las distintas tecnologías cableadas que se han empleado para transmitir señales de voz y datos y las redes de telecomunicaciones que combinan el cobre con la fibra óptica.

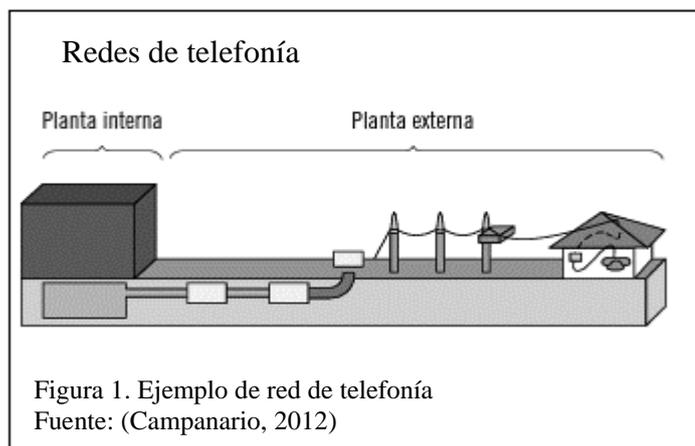
2.1. Redes de Telefonía fija

Una red telefónica se puede definir como el conjunto de sistemas de transmisión que, mediante la utilización de los recursos de gestión adecuados, permite establecer el intercambio de información entre dos usuarios distantes, manteniendo la conexión el tiempo necesario (Campanario, 2012) .

Para atender a nuevas necesidades de comunicación como es la transmisión de datos, los sistemas telefónicos se han transformado y constan de la siguiente estructura:

- La red terminal, corresponde a la red ubicada en el abonado.
- La red de acceso, comprende los circuitos y elementos físicos que permiten realizar la conexión de los terminales del usuario con la red troncal.
- La red troncal, está constituida por equipos encargados de realizar funciones de conmutación y transporte. (Campanario, 2012).

Tradicionalmente a esta estructura se les ha denominado planta interna y planta externa. A continuación en la Figura 1, se muestra un ejemplo de red de telefonía (Campanario, 2012).



2.1.1. Equipos y elementos de las redes telefónicas.

Los elementos que se puede encontrar tanto en la red troncal como en la red de acceso son:

Red Troncal

- Centrales de conmutación (Campanario, 2012).
- Equipos de transmisión, encargados de unir nodos entre sí (Campanario, 2012).
- Equipos encargados de conexiones de alta velocidad con abonados, ofreciendo servicios de acceso a Internet mediante tecnología DSL (Digital Subscriber Line) (Campanario, 2012).

Red de Acceso o bucle de abonado

Las características que debe cumplir la red sería (Campanario, 2012):

- Cubrir las necesidades para el periodo de tiempo proyectado.
- Tener flexibilidad y permitir realizar ampliaciones.
- Debe estar proyectada con una relación inversión/rentabilidad adecuada.
- Debe garantizar una calidad de transmisión acorde a la normativa de la ITU.

Uno de los tipos de redes de bucle local utilizado por CNT EP es llamado por cable tradicional, que está compuesto por pares de cable que se distribuyen desde la central hasta la caja terminal de acceso de usuario.

2.1.2. Parámetros delimitados por criterios físicos.

La transmisión de señales se realiza por ondas electromagnéticas. El paso de la misma desde el emisor al receptor se realiza a través de determinados medio (aire, cable, etc.), y por la presencia de fenómenos físicos que son el ruido, la distorsión y la atenuación hacen que la señal llegue al destino deformada (Campanario, 2012).

A continuación, se define los parámetros que deforman la señal:

El ruido es toda perturbación o interferencia no deseada que se produce en la transmisión, puede ser causado por perturbaciones electromagnéticas externas y también por el propio sistema de comunicación. Los niveles de ruido se miden en decibelios [dB] (Campanario, 2012).

La atenuación es la pérdida de potencia de la señal transmitida, que depende directamente del medio y de la distancia por el que se propague (Sendin Escalona, 2008).

La distorsión se produce cuando una señal se propaga por un medio de transmisión y se le opone una resistencia (Campanario, 2012).

La diafonía (crosstalk), se presenta en dos sistemas muy próximos entre sí, cuando parte de las señales presentes en uno de ellos (perturbador), aparecen en el otro (perturbado). En los cables de pares trenzados se presenta debido a acoplamientos entre los elementos que componen los circuitos perturbador y perturbado, o como consecuencia de desequilibrios y asimetrías entre los hilos de ambos circuitos y se puede expresar de extremo cercano (NEXT) y extremo lejano (FEXT) que se definen más adelante (Sendin Escalona, 2008).

2.1.3. Medios de transmisión.

Es el soporte físico a través del cual el emisor y el receptor pueden comunicarse en un sistema de transmisión de datos (Santos Gonzáles, 2014).

En este caso en particular se estudiarán los medios guiados que constan de un campo físico (cables) como el cobre y la fibra óptica.

2.1.3.1. *par trenzado.*

Constan dos cables de cobre aislados, normalmente de 1 mm de espesor, enlazados de dos en dos de forma helicoidal. La forma trenzada del cable se utiliza para reducir la interferencia eléctrica con respecto a los pares cercanos y a otras interferencias procedentes del exterior, dependiendo del número de pares que tenga un cable, el número de vueltas por metro que posee su trenzado y los materiales utilizados, se dividen en las diferentes categorías (Santos Gonzáles, 2014).

2.1.3.2. *fibra óptica.*

Está basada en ondas de luz para transmitir información binaria, consiste en un hilo muy fino hecho de vidrio o plástico (Santos Gonzáles, 2014). El cable de fibra óptica tiene como principal limitante la pérdida de potencia de la señal óptica o atenuación, sin embargo, no se dan las limitación causados por la inducción electromagnética y diafonía (Campanario, 2012).

Según el modo de propagación hay dos tipos de fibra óptica y son:

La fibra multimodo, donde los haces de luz circula por más de un camino. Se utilizan en distancias menores a un 1km, es de fácil diseño y económicas (Campanario, 2012).

Una fibra monomodo, se propaga solo por un modo de luz, esto se logra reduciendo el diámetro del núcleo, permiten alcanzar grandes distancias de hasta 300 km (Santos Gonzáles, 2014).

2.2. Redes de Banda Ancha

Son las redes que permiten acceder a velocidades de transmisión de datos superiores a los 2Mbps según la definición oficial (ITU-T I.113), esta medida de velocidad de acceso a los datos viene determinada por el acceso a Internet (Sendin Escalona, 2008).

Para fines del proyecto se estudiarán las redes de banda ancha con tecnologías de acceso a datos fijas como son las redes xDSL (Digital Subscriber Line o bucle digital del abonado) y las redes de Fibra Óptica (FTTX o Fiber To The x).

Las tecnologías xDSL ofrecen servicios de banda ancha sobre la infraestructura del par de cobre de las redes de telefonía y son las de mayor penetración en los hogares (Sendin Escalona, 2008). Comprenden una gran variedad de estándares que se adaptan a las diferentes situaciones y problemáticas (Sendin Escalona, 2008).

Las redes FTTX consisten en el uso de las fibras ópticas en las redes de acceso con diferentes alcances hasta el usuario y con un esquema de transmisión punto a multipunto, es decir, no es dedicado para cada usuario (Sendin Escalona, 2008).

2.3. Redes xDSL

Permiten transmitir datos por el par de cobre telefónico y depende de la tecnología utilizada que se detona con la “x” de xDSL (Sendin Escalona, 2008).

A continuación, se detallan las tecnológicas xDSL que serán objeto de comparación en el presente proyecto:

2.3.1. ADSL / ADSL2 / ADSL2+ (Asymmetric Digital Subscriber Line).

Es asimétrico ya que se utiliza más ancho de banda en el canal de bajada que el de subida (Santos Gonzáles, 2014). En las versiones ADSL2 y ADSL2+

introducen mejoras como: mayor velocidad en el sentido de bajada, menor consumo de energía, establecimiento rápido de conexión (Santos Gonzáles, 2014).

ADSL/2/2+ pueden admitir longitudes de hasta 5.400 metros de bucle local, pero para aprovechar las mejoras de velocidad que introduce el ADSL2+, la distancia máxima de los bucles utilizados debe ser de 2.400 metros (Sendin Escalona, 2008).

2.3.2. VDSL / VDSL2 (Very High Bit Rate Digital Subscriber Line).

Permiten transmisiones simétricas y asimétricas, en VDSL se alcanza velocidad teórica de 52 [Mbps] de bajada y 12 [Mbps] de subida. Con VDSL2 se alcanza mayor velocidad pero a distancias de hasta 1.300 metros a la central, a partir del 1.6 [km] se iguala a la del ADSL2+ (Santos Gonzáles, 2014).

El VDSL2 se encuentra especificado en la Recomendación G.993.2 (Sendin Escalona, 2008) y es una mejora a la recomendación ITU-T G.993.1 (VDSL) incorpora componentes de la recomendación ITU-T G.992.3 (ADSL2), y ITU-T G.992.5 (ADSL2+) (Internacional Telecommunication Union, 2016).

En VDSL2 la encapsulación se realiza por PTM (Packet Transfer Mode) para aumentar la eficiencia de transmisión de datos al 98% transportando tramas Ethernet ya que con las tecnologías ADSL la eficiencia aproximada es del 88%, lo que implica un 12% del ancho de banda perdido (Internacional Telecommunication Union, 2016).

El VDSL2 utiliza QAM/CAP (Carrierless Amplitude/Phase) o DMT (Modulación por Multitono Discreto) para la modulación, como la mayoría de modelos ADSL y modula hasta 15 bits por portadora de frecuencia DMT. En cuanto a la multiplexación se realiza por división de frecuencias (FDD) con modo de transmisión full dúplex (Internacional Telecommunication Union, 2016).

La Recomendación G.993.2 presenta ocho perfiles del uso de frecuencias en accesos VDSL2 para distintos casos de aplicación de acuerdo a las arquitecturas de red de acceso desplegadas por los operadores a nivel mundial (Internacional Telecommunication Union, 2016). En la Tabla 1, se detallan los perfiles definidos en la Recomendación ITU-T G.993.2.

Tabla 1. Perfiles de frecuencia G.993.2

Perfiles VDSL2	Frecuencia [Mhz]	Velocidad [Mbps]
8a	8,5	50
8b	8,5	50
8c	8,5	50
8d	8,5	50
12a	12	68
12b	12	68
17a	17,7	100
30a	30	200

Nota: Perfiles de frecuencia para VDSL2

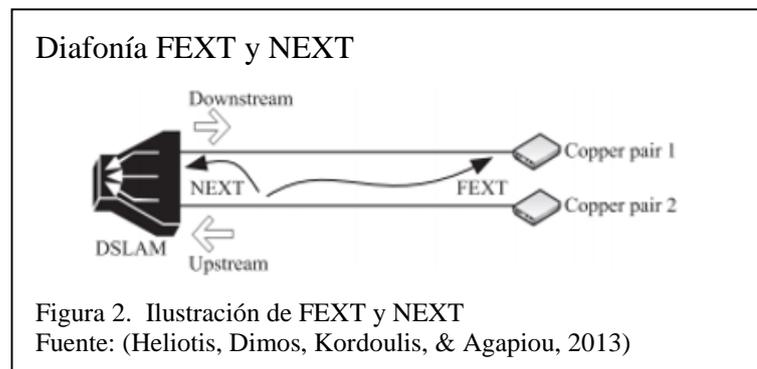
Como se observa en la Tabla 1, las velocidades son teóricas y no necesariamente son alcanzadas por los equipos disponibles (Internacional Telecommunication Union, 2016).

2.3.3. VDSL2 Vectoring.

El rendimiento en los sistemas VDSL2 se limita en gran medida por la interferencia de los pares adyacentes que provienen de mismo paquete de cables, a esto se conoce como diafonía (Crosstalk) y es la principal causa que afecta a los sistemas DSL. Se puede dividir en Crosstalk de extremo cercano (NEXT) y Crosstalk de extremo distante (FEXT) (Attanasio, y otros, 2016).

El NEXT es menos severo, ya que VDSL2 utiliza diferentes bandas de frecuencia para la transmisión de subida y de bajada. El FEXT, en cambio, es la perturbación dominante y los niveles de acoplamiento FEXT entre los pares pueden variar entre sí (Attanasio, y otros, 2016). En la Figura 2, se representa el crosstalk

que se genera en el canal de bajada desde del DSLAM a los CPEs y en el canal de subida desde los CPE hasta el DSLAM.



La técnica Vectoring usa el método Auto-FEXT (far-end crosstalk) para la cancelación de interferencia FEXT, basado en el concepto para la eliminación de ruido en auriculares (International Telecommunication Union, 2015).

Este es un método de transmisión que emplea la coordinación de las señales de línea para la reducción de los niveles de diafonía (crosstalk) y mejora el rendimiento, todo esto especificado en la Recomendación ITU-T G.993.5.

Esta cancelación se realiza entre transceptores VDSL2, no necesariamente del mismo perfil de frecuencia, es decir para cancelar una interferencia se genera una señal de la misma potencia en sentido contrario (International Telecommunication Union, 2015).

2.4. Esquema de Red xDSL

En lo referente a su arquitectura se fundamenta sobre la existencia de una pareja de módems que se sincronizan entre sí, uno ubicado en la Oficina Central del operador y el otro en las instalaciones del usuario (Sendin Escalona, 2008).

En esta arquitectura intervienen varios elementos que son:

2.4.1. DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer).

Es un equipo multiplexor localizado en la Oficina Central, que concentra el tráfico de datos de múltiples abonados para la agregación y conexión a la red troncal,

cuenta con interfaces xDSL hacia los pares de cobre y conexiones de transporte banda ancha (Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, STM-1, STM-4, etc) hacia la red (Sendin Escalona, 2008). Actualmente estos equipos tienen características IP basados en la agregación Ethernet (Sendin Escalona, 2008).

2.4.2. Módem xDSL

En el lado del usuario se encuentran los módems, que ofrecen interfaces xDSL hacia el lado de la red e interfaces USB o Ethernet hacia el lado del cliente permitiendo la conexión con los ordenadores del usuario (Sendin Escalona, 2008).

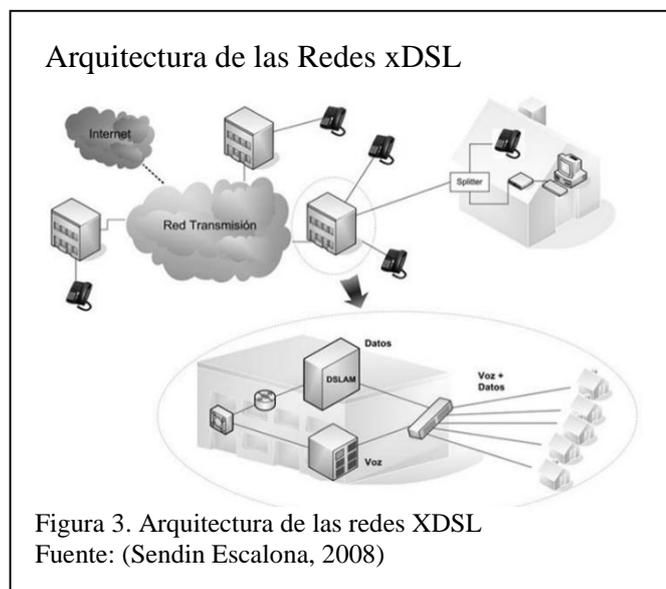
2.4.3. Filtros divisores (splitters).

Los filtros separan las señales de alta frecuencia (xDSL) de las señales de baja frecuencia (POST). Están ubicados tanto en las centrales del operador como en las instalaciones del cliente final permitiendo el uso simultaneo de voz y datos por un único par de cobre (Sendin Escalona, 2008).

2.4.4. Los cables.

Son utilizados como medios de transmisión en los sistemas xDSL, el más común es el par trenzado (Sendin Escalona, 2008).

En la Figura 3, se puede observar la arquitectura de las redes xDSL.



2.5. Redes de Fibra Óptica (FTTX)

Estas redes son la evolución lógica de los despliegues de otras redes de acceso como el xDSL (Sendin Escalona, 2008).

Las FTTX se clasifican de acuerdo a la distancia de conexión al usuario final desde las instalaciones del proveedor con fibra óptica, esto se indica reemplazando la letra X y son (Sendin Escalona, 2008):

- “Fiber to the Home (FTTH), cuando la fibra óptica llega hasta el usuario final. Este será el escenario más completo” (Sendin Escalona, 2008).
- “Fiber to the Curb (FTTC), cuando la fibra óptica llega hasta la acera” (Sendin Escalona, 2008).
- “Fiber to the Building (FTTB), cuando la fibra óptica llega hasta el edificio. En ocasiones, en las siglas FTTB se traduce la B como Business (negocio)” (Sendin Escalona, 2008).

Estas redes permiten la implantación de redes ópticas con funcionamiento denominado “pasivo” o PON (Passive Optical Networks), que es la otra forma genérica de denominar a las redes FTTX (Sendin Escalona, 2008).

Las redes FTTX comprenden diferentes estándares, que las hace más económicas y escalables. En la tabla 2, se detalla las características de cada uno de ellos.

Tabla 2. Estándar FTTX

Características	APON (ATM based PON)	BPON (Broadband PON)	GPON (Gigabit capable PON)		EPON (Ethernet PON)
Protocolo	ATM	ATM	ATM	ATM-GEM	Ethernet + FEC
Estándar	ITU-T G.983.1	ITU-T G.983.3	ITU-T G.983.1	ITU-T G.984	IEEE 802.3ah
Arquitectura	<ul style="list-style-type: none"> • FTTCab/B/C/H Simétrica • FTTCab/B/C Asimétrica 	<ul style="list-style-type: none"> • FTTCab/B/C/H Simétrica • FTTCab/B/C Asimétrica 	<ul style="list-style-type: none"> • FTTCab/B/C/H Simétrica • FTTCab/B/C Asimétrica 	<ul style="list-style-type: none"> • FTTCab/B/C/H Simétrica • FTTCab/B/C Asimétrica 	<ul style="list-style-type: none"> • 100BASE-PX10 • 100BASE-PX20
Distancia física máxima (OLT-ONT)	20 km	20 km	20 km	60 km	20 km
Número máximo de abonados	hasta 32	hasta 32	hasta 32	<ul style="list-style-type: none"> • Hasta 64 (realista) • Hasta 128 (en consideración) 	hasta 32
Velocidad de datos	Simétrico 155,62 / 622,08 Mbps	Simétrico 155,62 / 622,08 Mbps	Simétrico 155,62 / 622,08 Mbps	Simétrico 1244,16 / 2488,32 Mbps	Simétrico 1,25 Gbps

Nota: Características de las redes FTTX.

Fuente: (Sendin Escalona, 2008)

2.6. Esquemas de Red Fibra Óptica (FTTX)

2.6.1. Configuración punto a punto.

Las configuraciones de fibra óptica que usan un esquema de red punto a punto no pueden ser clasificadas dentro de las tecnologías FTTX. Los enlaces de fibra óptica punto a punto son explotados por los proveedores de servicios que poseen redes de planta externa de fibra óptica y necesitan conectar abonados en lugares apartados. Las tecnologías que en estos casos se utilizan para la transmisión PDH, SDH, DWDM (Sendin Escalona, 2008).

2.6.2. Configuración punto a multipunto.

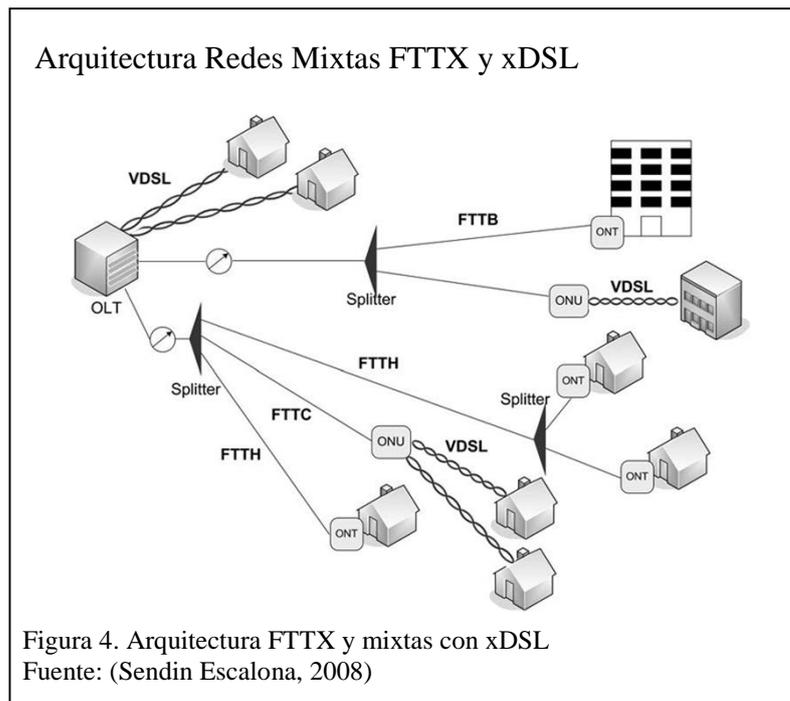
Un enlace punto a multipunto es aquel donde existe un punto central que se comunica con varios puntos remotos y viceversa. Sin embargo no existe comunicación entre puntos remotos (Herrera Pérez, 2004). Este esquema de red punto a multipunto se encuentra configurado en las redes ópticas pasivas (PON, Passive Optical Networks) que son red de acceso de fibra óptica con elementos pasivos, los mismos que no requieren de alimentación eléctrica externa para su funcionamiento (Sendin Escalona, 2008).

La CNT EP tiene desplegada este esquema con infraestructura GPON (Gigabit-passive Optical Network) que se describe como una red flexible de acceso con fibra óptica, capaz de soportar requisitos de amplitud de servicios comerciales y corporativos, con tasas nominales de dirección downstream de 2.4 Gbits y 1,2 Gbits upstream.

GPON consiste principalmente de una OLT (Terminal de Línea Óptico) situado en una Oficina Central (CO), interconectada a una ONT a través de una red pasiva conocida como ODN, en el camino las señales de la fibra son "distribuidas" a través de la utilización de splitters que son elementos que se describen más adelante.

Manteniendo este mismo sentido de esquema de red y desde el punto de vista de combinar las tecnologías FTTX junto con las tecnologías xDSL aquí se presenta un nuevo elemento que es la ONU (Optical Network Unit), el mismo que actuaría de interfaz entre la red convencional GPON y el acceso de XDSL (Sendin Escalona, 2008).

La Figura 4, describe las arquitecturas disponibles para el despliegue de una las redes FTTX con los elementos y la combinación con las redes xDSL.



2.6.3. Los Splitters.

Son elementos ópticos pasivos que replican la señal óptica que entra, por todas sus salidas introduciendo niveles de atenuación dependiente de la cantidad de puertas de salida que tenga (Sendin Escalona, 2008).

CNT EP recomienda hasta dos niveles de splitter, ya que con la instalación de un 3° nivel aumenta las pérdidas en el presupuesto óptico, que no es más que el total de la suma de las atenuaciones generadas por elementos y empalmes en la ODN, lo que reduce la longitud de la fibra, para cumplir el umbral de pérdidas (CNT EP, 2012).

Se conoce como Splitter primario a aquel que tiene ruta de fibra óptica respaldada y son del tipo $2 \times n$, siendo n igual a 2, 4, 8, 16, ó 32 (CNT EP, 2012).

Los Splitter secundario será a aquel que no tiene ruta de fibra óptica respaldada. Y son del tipo $1 \times n$, siendo n igual a 4, 8, 16, 32 y 64 (CNT EP, 2012).

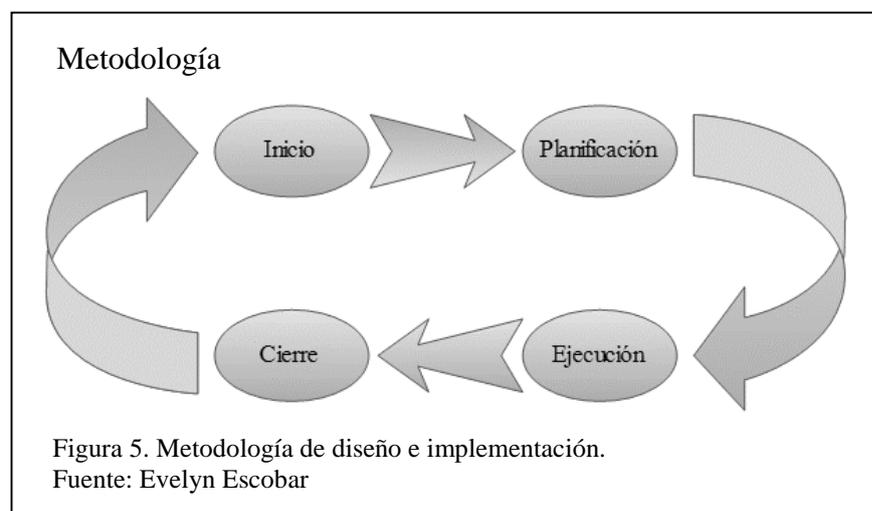
CAPÍTULO III

DISEÑO E INSTALACIÓN DEL LABORATORIO

En este capítulo, se detalla la metodología utilizada para el proceso de diseño e implementación del laboratorio, se describen los equipos y elementos de red existentes en el laboratorio de CNT EP, el análisis de selección de equipos y materiales requeridos para la instalación junto una descripción del proceso de implementación.

3.1. Metodología

En este proyecto se utilizó la metodología PMI (Project Management Institute), que establece un conjunto de directrices que orientan a la dirección y gestión de proyectos por medio de procesos de gestión. En la Figura 5, se observan los procesos que se llevarán a cabo para culminar este proyecto.



Las actividades que se ejecutaron en cada proceso se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3. Procesos de Diseño e Implementación

Procesos de Diseño e Implementación	Inicio
	1.- Levantamiento de información de equipos existentes en laboratorio de la CNT EP. 2.- Levantamiento de información de equipos de acceso en stock.
	Planificación
	1.- Criterios de diseño. 2.- Diseño en bloques de la Arquitectura FTTC. 3.- Identificación de equipos requeridos para el laboratorio. 4.- Análisis de selección de equipos. 5.- Características de los equipos seleccionados. 6.- Materiales necesarios para la implementación.
	Ejecución
	1.- Instalación de equipos y demás elementos del laboratorio. 2.- Configuración de equipos.
Cierre	
	Pruebas de funcionamiento de los equipos implementados.

Nota. Detalle de las actividades para el diseño e implementación del laboratorio.

3.2. Etapa de Inicio

3.2.1. Equipos y elementos de red existentes en Laboratorios CNT EP.

La Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP, cuenta con laboratorios que integran maquetas de prueba con equipos similares a los que tiene en sus redes de producción, tanto para la red de transporte como para la red de acceso.

Las maquetas son utilizadas especialmente para el entrenamiento continuo al personal, pruebas de actualización de hardware y software, recreación de problemas presentados en las redes, ejecución de soluciones a problemas antes de su aplicación en los equipos en producción, pruebas de concepto de equipos terminales y verificación de nuevos productos o servicios previo a su comercialización.

En la Tabla 4, se describen los equipos existentes en el laboratorio de CNT EP.

Tabla 4. Equipos existentes en laboratorio y sus características

Equipo	Marca	Modelo	Característica
OLT	HUAWEI	Smart AX MA5600T	<ul style="list-style-type: none"> • Acceso de alta densidad de tráfico usando su estructura de conmutación con interfaces Gigabit Ethernet y 10 Gigabit Ethernet hacia la red de transporte. • Incorpora 16 ranuras para tarjetas de servicio. • Soporta múltiples escenarios FTTC, FTTB, FTTH, FTTO, FTTM.
	HUAWEI	Smart AX MA5600T	<ul style="list-style-type: none"> • Acceso de alta densidad de tráfico usando su estructura de conmutación con interfaces Gigabit Ethernet y 10 Gigabit Ethernet hacia la red de transporte. • Incorpora 16 ranuras para tarjetas de servicio. • Soporta múltiples escenarios FTTC, FTTB, FTTH, FTTO, FTTM.
DSLAM	ALCATEL-LUCENT	ISAM 7302	<ul style="list-style-type: none"> • Nodo de acceso de alta capacidad que ofrece servicios en DSL, GPON o redes de fibra punto a punto. • Ofrece 16 a 18 ranuras para tarjetas de servicio: GPON, fibra P2P, VDSL2 (incluyendo el enlace y vectorización), tarjetas ADSLx, de voz. • Soporta múltiples escenarios FTTN, FTTC, FTTB y despliegues de FTTH.
	ALCATEL-LUCENT	ISAM 7330	<ul style="list-style-type: none"> • Nodo de acceso de alta capacidad que ofrece servicios en DSL, GPON o redes de fibra punto a punto. • Ofrece 8 a 10 ranuras para tarjetas de servicio: GPON, fibra P2P, VDSL2 (incluyendo el enlace y vectorización), tarjetas ADSLx, de voz. • Soporta múltiples escenarios FTTN, FTTC, FTTB y despliegues de FTTH.
MPLS	HUAWEI	S-6700	<ul style="list-style-type: none"> • Es un switch de alto rendimiento con capacidad 10 GE. • Admite 48 puerto 10 GE. • Enrutamiento estático, RIPv1, RIPv2, ECMP y URPF. • OSPF, IS-IS y BGP. • MPLS L3VPN, MPLS L2VPN (VPWS/VPLS), MPLS-TE, MPLS QoS.
	CISCO	Cisco ME 3600X	<ul style="list-style-type: none"> • Proporciona velocidades en capa de transporte de 10 Gbps. • Tiene 24 puertos SFP GE y dos puertos 10 GE SFP +. • Enrutamiento estático, RIPv1, RIPv2, ECMP y URPF. • OSPF, IS-IS y BGP. • MPLS L3VPN, MPLS L2VPN (VPWS/VPLS), MPLS-TE, MPLS QoS.

Nota. Características de los equipos existentes en laboratorio de la CNT EP.

Fuente: (Huawei Technologies Co., 2015) (Cisco, 2015) (Nokia, 2016)

Además, se cuenta con elementos pasivos de interconexión: ODF y MDF que pueden ser utilizados en el laboratorio.

3.2.2. Equipos de acceso en stock.

La CNT EP, cuenta con un stock de equipos DSLAM de mediana y baja capacidad adquirido para la implementación de infraestructura VDSL.

En la Tabla 5, se detalla los equipos en stock y sus características:

Tabla 5. Equipos disponibles en stock y sus características.

Equipo	Marca	Modelo	Características
DSLAM	HUAWEI	Smart AX MA5603T	<ul style="list-style-type: none"> • Acceso de alta densidad de tráfico usando su estructura de conmutación con interfaces Gigabit Ethernet, 10 Gigabit Ethernet, GPON, EPON hacia la red de transporte. • Incorpora 6 ranuras para tarjetas de servicio. • Puede ser utilizado en escenarios FTTC, FTTB, FTTH, FTTO, FTTM. • Soporta ADSL2+, VDSL2, GPON, POTS, usuario FE, P2P. • Compatible con VDSL2 Vectoring.
	HUAWEI	Smart AX MA5616T	<ul style="list-style-type: none"> • Acceso de alta densidad de tráfico usando su estructura de conmutación con interfaces Gigabit Ethernet, GPON, EPON hacia la red de transporte. • Incorpora 2 ranuras para tarjetas de servicio. • Puede ser utilizado como un mini-DSLAM / mini-MSAN en escenarios FTTC / FTTB, FTTH. • Soporta ADSL2+, VDSL2, GPON, POTS, usuario FE, P2P. • Compatible con VDSL2 Vectoring.
	ALCATEL-LUCENT	ISAM 7356	<ul style="list-style-type: none"> • Nodo de acceso de baja capacidad que ofrece servicios en DSL, GPON o redes de fibra punto a punto. • Ofrece 2 ranuras para tarjetas de servicio: GPON, fibra P2P, VDSL2 (incluyendo el enlace y vectorización), tarjetas ADSLx, de voz. • Soporta múltiples escenarios FTTN, FTTC, FTTB y despliegues de FTTH.
Módem	FIBERHOME	HG120	• Soporta estándares ADSL, ADSL2, ADSL2+.
		HG150-U	• Soporta ADSL2+, VDSL2, VDSL2 Vectoring.
	HUAWEI	HG532s	• Soporta estándares ADSL, ADSL2, ADSL2+.

Nota. Especificaciones técnicas de equipos en stock de la CNT EP.

Fuente: (Huawei Technologies Co., 2015) (Nokia, 2016)

3.3. Etapa de Planificación

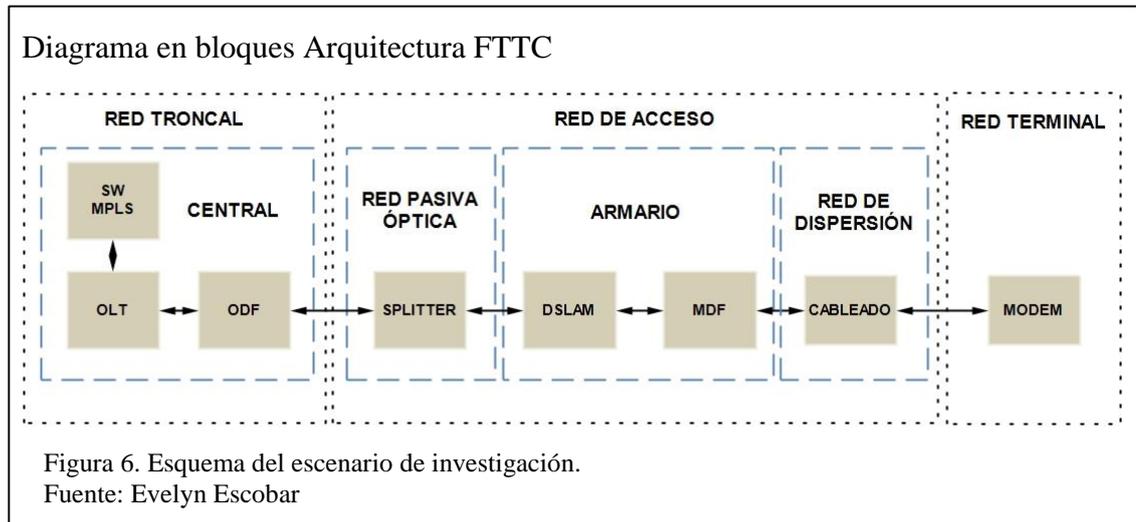
3.3.1. Criterios de Diseño.

La red Pasiva Óptica ODN debe ser: tipo B+ y las pérdidas de potencia admisibles en la ODN deben estar en el rango de 13 [dB] a 28 [dB], sin embargo, la CNT EP, recomienda que este valor no debe superar los 25 [dB] (CNT EP, 2012).

En cuanto a la parte de cobre, los bucles simulados de 100, 200, 300, 400, 500, 1.000 y 1.500 metros deben cumplir con valores recomendados de atenuación menor a 20 [dB] y la relación señal a ruido (SNR) considerados valores óptimos deben estar entre los 11[dB] a 20 [dB] (Geekland, 2016).

3.3.2. Diseño en bloques de la Arquitectura FTTC.

El diagrama de la Figura 6, representa un esquema del escenario de investigación, en el cual se identificaron los equipos y elementos requeridos para la implementación del laboratorio.



3.3.3. Identificación de equipos y elementos requeridos.

En la Tabla 6, se detalla los equipos y elementos requeridos en cada segmento del escenario de investigación para la implementación del laboratorio.

Tabla 6. Equipos y elementos requeridos

Segmento de la red		Equipos y elementos requeridos
Red Troncal	Central	<ul style="list-style-type: none"> • Puerto en el SW MPLS. • OLT. • Patch cord fibra óptica monomodo. • Puerto de uplink de la OLT para interconexión al SW MPLS. • Puerto PON de la OLT y su interconexión hacia el ODF de red troncal.
Red de Acceso	Red Pasiva Óptica	<ul style="list-style-type: none"> • Puerto del ODF de la red pasiva óptica y su interconexión hacia el ODF de red troncal. • Splitter.
	Armario	<ul style="list-style-type: none"> • DSLAM. • Cableado DSLAM - MDF. • MDF. • Regletas de interconexión puertos DSLAM. • Regletas de interconexión red de dispersión.
	Red de Dispersión	<ul style="list-style-type: none"> • Cableado de par trenzado de cobre.
Red Terminal	<ul style="list-style-type: none"> • Módem. • Cajetín telefónico. 	

Nota. Se describen los equipos requeridos de acuerdo al segmento de red.

Fuente: Evelyn Escobar

3.3.4. Análisis de selección de equipos.

En base la verificación de equipos y elementos de red existentes en laboratorio y equipos en stock, se realizó la selección de los dispositivos requeridos para la implementación del laboratorio mediante los parámetros técnicos que se detallan a continuación:

3.3.4.1. OLT.

El laboratorio dispone de una OLT instalada, que cuenta con las interconexiones hacia la red MPLS y hacia los ODFs, razón por la cual no es necesario seleccionar ni implementar un equipo nuevo.

3.3.4.2. DSLAM.

La CNT EP dispone en laboratorio equipos DSLAM instalados, sin embargo, las versiones de hardware y software no soportan VDSL2 Vectoring. Para que sean

compatibles se requiere realizar un upgrade de software e instalar hardware que cumplan el estándar ITU-T G.993.2 e ITU-T G.993.5. Por esta razón y en vista que la Corporación dispone en stock equipos compatibles con VDLS2 se implementó un nuevo DSLAM.

En la Tabla 7, se muestran los parámetros de selección utilizados para elegir el DSLAM implementado.

Tabla 7. Parámetros de selección DSLAM

DSLAM Parámetros de selección	Smart AX MA5603T	Smart AX MA5616T	ISAM 7356
Software y hardware compatible con ADSL2+	√	√	√
Software y hardware compatible con VDLS2	√	√	√
Software compatible con VDLS2 Vectoring	√	√	√
Hardware de procesamiento Vectoring	√		

Nota. Criterios utilizados para la selección de equipo DSLAM.
Fuente: Evelyn Escobar

Como se observa en la Tabla 7, el equipo que cumple con todos los parámetros de selección, fue el DSLAM Huawei Smart AX MA5603T.

3.3.4.3. módems.

En la Tabla 8, se presentan los parámetros de selección de módems para efectuar las pruebas de laboratorio.

Tabla 8. Parámetros de selección Módems

Parámetros de selección \ CPE	FiberHome HG120	FiberHome HG150-U	Huawei HG532s
Equipo compatible con ADSL2+	√	√	√
Equipo compatible con VDSL2		√	
Equipo compatible con VDSL2 Vectoring		√	

Nota. Criterios utilizados para la selección de terminales VDSL2.

Fuente: Evelyn Escobar

Como se observa en la Tabla 8, el modem FiberHome modelo HG150-U soporta los estándares requeridos para las pruebas, razón por la cual se utilizará este equipo a lo largo de la ejecución de pruebas.

3.3.5. Características de los equipos seleccionados.

3.3.5.1. Huawei SmartAX MA5603T.

El MA5603T pertenece al grupo de equipos de acceso fabricados por Huawei Technologies, al igual que el MA5600T y el MA5608T son equipos integrados de acceso de fibra y cobre, es decir, este dispositivo puede funcionar como un DSLAM, OLT o MDU dependiendo de las tarjetas que se coloquen en el mismo. Existen dos versiones del equipo: Indoor para ubicaciones dentro de la Oficina Central y Outdoor para instalaciones en exteriores el mismo que incluye un armario de protección (Huawei Technologies Co., 2015).

Soporta los estándares ADSL2+, VDSL2, SHDSL, POTS, GPON, 10G GPON y modos de acceso P2P, proporcionan acceso a Internet, voz y servicios de video a los abonados.

El MA5603T tiene seis ranuras para tarjetas de servicios. Los equipos de esta serie se diferencian por su tamaño y capacidad de abonados que pueden manejar.

Siendo el MA5603T un equipo de mediana capacidad por la cantidad de abonados que puede manejar.

En la Tabla 9, se muestra las especificaciones técnicas del MA5603T.

Tabla 9. Especificaciones técnicas Huawei SmartAX MA5603T

ITEM	MA5603T
Distribución de tarjetas	2 slots para tarjetas controladoras. 6 slots para tarjetas de servicio. 1 slot para tarjeta de interfaces. 2 slots para tarjetas de interfaces de upstream. 2 slots para tarjetas de energía.
Capacidad de conmutación	1.5 Tbit/s (H801MABO). 2 Tbit/s (H802MABO).
Capacidad de conmutación tarjeta controladora	SCUN: 480 Gbps en modo activo/standby, 960 Gbps en modo normal. SCUH: 960 Gbps en modo activo/standby, 1920 Gbps en modo normal. SCUB: 48 Gbps. SCUF: 128 Gbps.
Máximo número de puertos ADSL2+	384
Máximo número de puertos VDSL2	384
Máximo número de puertos GPON	96
Máximo número de puertos upstream en slots tarjetas	8
Máximo número de puertos PON upstream en slots	2

Nota. Especificaciones técnicas del equipo Huawei MA5603T.

Fuente: (Huawei Technologies Co., 2015)

En la Tabla 10, se muestran las especificaciones técnicas que cumple el equipo respecto a VDSL2:

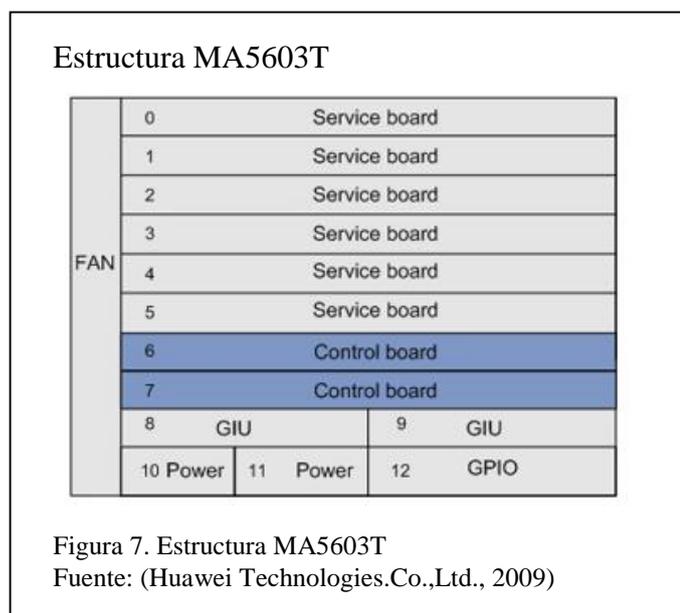
Tabla 10. Especificaciones MA5603T en VDSL2

Parámetro	Especificación
Velocidad de transmisión	Velocidad alcanzable en tráfico de subida: 40 Mbps. Velocidad alcanzable en tráfico de bajada: 80 Mbps.
Distancia Máxima de transmisión	3500 m.
Tipo de cable	Par trenzado.
Modulación	DTM.
Servicio soportado	VDSL2 sobre POST.
Protocolo de trama	PTM.
Estándar soportado	ITU-T G.99.2 y ITU-T G.993.5

Nota. Características técnicas del equipo Huawei MA5603T sobre POST

Fuente: (Huawei Technologies Co., 2015)

En la Figura 7, se puede observar la estructura del MA5603T y la ubicación de las tarjetas en el equipo:



En la Tabla 11, se describe la función en el equipo de cada una de las tarjetas con las que cuenta el equipo y su ubicación dentro de la estructura de la Figura 8:

Tabla 11. Descripción de las tarjetas MA5603T

Tarjeta	Especificaciones
H80DVCPE	Tarjeta de servicio de 64 puertos VDSL2 sobre POST, la tarjeta trabaja como una unidad transceptora remota VTU-R y provee 64 canales de acceso a servicios VDSL2 la misma puede estar instalada en los slots del 0 al 5. El equipo implementado posee una tarjeta VCPE.
H801SCUB	Tarjeta controladora que maneja el sistema de control, gestión y conmutación de todo el sistema, solamente pueden estar instaladas en las ranuras 6 y 7. Realiza labores de conmutación a 72 Gbps en L2 y a 48 Gbps en L3, se encarga del monitoreo de los puertos que están conectados en el sistema. El equipo implementado tiene dos tarjetas SCUB conectadas, así el equipo trabaja en modo activo/standby que en caso de fallas de la tarjeta activa el sistema conmuta a la tarjeta standby, de esta manera se garantiza el servicio a los usuarios.
H801GICD	Tarjeta de interfaces ópticas de 4 puerto GE, proporciona al equipo transmisión de upstream y también pueden funcionar en modo cascada. La tarjeta puede ser insertada en los slots 8 y 9.
H802P2CA	Tarjeta de interfaces de uplink xPON para conectores de fibra óptica SC que proporciona al equipo transmisión PON. La tarjeta puede ser insertada en las ranuras 8 y 9.
H801PRTE	Es una tarjeta de interface de alimentación que proporciona la energía de -48 VCD a todo el sistema. En el MA5603T las tarjetas están insertadas en las ranuras 10 y 11 estas funcionan en modo activo/standby para casos de fallas de alimentación eléctrica.
H806VPEA	Es una tarjeta de procesamiento centralizado de vectorización cumple el estándar ITU-T G.993.5 mediante el sistema vector-distancia SLV es capaz de contrarrestar la interferencia entre 384 líneas de VDSL2, tiene un consumo de energía relativamente bajo, proporciona el reloj fuente para el sistema. La tarjeta se ubica en el slot 12 de MA5603T.

Nota. Descripción de las tarjetas que componen el MA5603T.

Fuente: (Huawei Technologies Co., 2015)

En la Tabla 12, muestra las especificaciones técnicas de los módulos ópticos GPON que contiene la tarjeta H802P2CA.

En la Tabla 13, se detalla los estándares de ITU-T que cumplen estos módulos.

Tabla 12. Especificaciones Ópticas Módulos xPON

Parámetro	Descripción
Tipo	Módulo óptico de una sola fibra bi-direccional, ONU clase B +
Longitud de onda	Tx: 1310 nm Rx: 1490 nm
Tipo de encapsulación	SFP
Velocidad de puerto	Tx: 1.24 Gbps Rx: 2.49 Gbps
Salida óptica de potencia mínima	0.05 dBm
Salida óptica de potencia máxima	5 dBm
Sensibilidad máxima de recepción	- 27.00 dBm
Tipo de conector óptico	SC / UPC
Tipo de fibra óptica	Monomodo

Nota. Características técnicas puertos PON

Fuente: (Huawei Technologies Co., 2015)

Tabla 13. Estándares Ópticos ITU-T que soportan los módulos GPON

Estándar	Descripción
ITU-T G.984.1	Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabit (GPON)
ITU-T G.984.2	Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabit (GPON) Dependiente medios físicos (PMD) Especificación de la capa
ITU-T G.984.3	Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabit (GPON) Transmisión Especificación de la capa de convergencia
ITU-T G.984.4	Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabit (GPON) ONU Gestión y Control de especificación de interfaz

Nota. Estándares que soportan los módulos GPON del equipo MA5603T

Fuente: (Huawei Technologies Co., 2015)

Las especificaciones técnicas de las Tablas 12 y 13, muestran que la tarjeta H802P2CA y sus módulos ópticos cumplen con los criterios de diseño requeridos por la CNT EP, estos son: Clase B+, trabajar en longitudes de onda superiores a los 1310nm y se ajustan al criterio de diseño.

3.3.5.2. terminales VDSL2 FiberHome HG150-U.

En la Tabla 14, se detallan las principales especificaciones técnicas que cumplen los módems HG150-U:

Tabla 14. Especificaciones Técnicas Módems VDSL FiberHome HG150-U

Interface WAN: un puerto RJ11 que soporta los siguientes estándares:
ADSL 2 (ITU-T G.992.3)
ADSL 2+ (ITU G.992.5) Anexo A
ADSL 2+ (ITU-T G.992.5) Anexo M
VDSL2 (ITU-T G.993.2), perfiles 8b, 8c, 12a, 17a
VDSL 2 (ITU-T G.993.5) Vectoring
Interface LAN:
Cuatro puertos RJ45 Fast Ethernet IEEE 802.3 Auto negociación 10/100 Mbps
Multiples PVC (Permanet Virtual Channel)
Encapsulamiento:
ATM para conexiones ADSL
PTM para conexiones VDSL2
Soporta el estándar TR-69
El equipo es compatible con el estándar WiFi IEEE 802.11 b/g/n
Soporta Protocolos PPP (Point to Point)
PPPoE (RFC 2516)
IPv6 sobre PPP (RFC 5072)
Funciones bridging y routing
Nota. Especificaciones Técnicas CPE FiberHome
Fuente: (SERCOP, 2015)

3.3.6. Materiales necesarios para la implementación.

En la Tabla 15, se detallan todos los componentes y materiales utilizados en la implementación del laboratorio los mismos que fueron suministrados por la CNT EP a excepción de la tarjeta controladora de procesamiento Vectoring que fue facilitada por Huawei Technologies para efectos de realizar pruebas de la tecnología.

Tabla 15. Sumario de equipos y materiales utilizados en la instalación del DSLAM

Item	Descripción	Cantidad
H80Z1MABC	Shelf MA5603T,48V/60V,FAN.	1
H801SCUB	Tarjeta Controladora.	2
H80DVCPE	Tarjeta de servicio 64 puertos VDSL2 sobre POST.	1
H802P2CA	Tarjeta uplink PON, 2 puertos xPON.	1
H806VPEA	Tarjeta de preprocesamiento Vectoring.	1
H801GICD	Tarjeta de interface ópticas, 4 puertos GE.	1
H801PRTE	Tarjetas de energía.	2
eSFP-1310nm-1000Base-Lx SM	Transiver ópticos, eSFP, 1310nm, 10 Km	4
eSFP-1310nm-PON SC	Transiver ópticos, eSFP, PON	2
CVDSL3203	Cable subcriptor, 32 canales VDLS, 0,4mm	4
Cable eléctrico	12 AWG	3
Regleta	Huawei 128 pares	1
Ponchadora	Huawei	1

Nota. Equipos, herramientas y materiales requeridos para la instalación del DSLAM.

Fuente: Evelyn Escobar

Para simular los bucles de abonado en el laboratorio se utilizaron los siguientes materiales:

Tabla 16. Materiales utilizados para construir los bucles.

Cantidad	Item
3	Cable UTP Categoría 5E, 15 metros.
12	Cajetines telefónicos.
8	Potenciómetros de 1 k Ω .

Nota. Materiales necesarios para la simulación de bucles.

Fuente: Evelyn Escobar

3.4. Etapa de Ejecución

3.4.1. Instalación de equipos y elementos del laboratorio.

La implementación se realizó siguiendo todos los procedimientos de seguridad establecidos por la CNT EP, previamente se realizó la constatación física del laboratorio conocido como *site survey*, donde se ubicó el lugar más apropiado para instalar el equipo MA5603T, se identificó los puertos libres PON en la OLT y el ODF, tableros de energía asegurada para alimentar al equipo de – 48 [VCD], espacios libres en el MDF para colocar las regletas en donde se instalarán los puertos VDSL2, disponibilidad de escalerillas por donde se tendió el cableado eléctrico hacia los tableros de energía y el cableado de datos desde el DSLAM hacia el MDF.

3.4.1.1. *instalación DSLAM.*

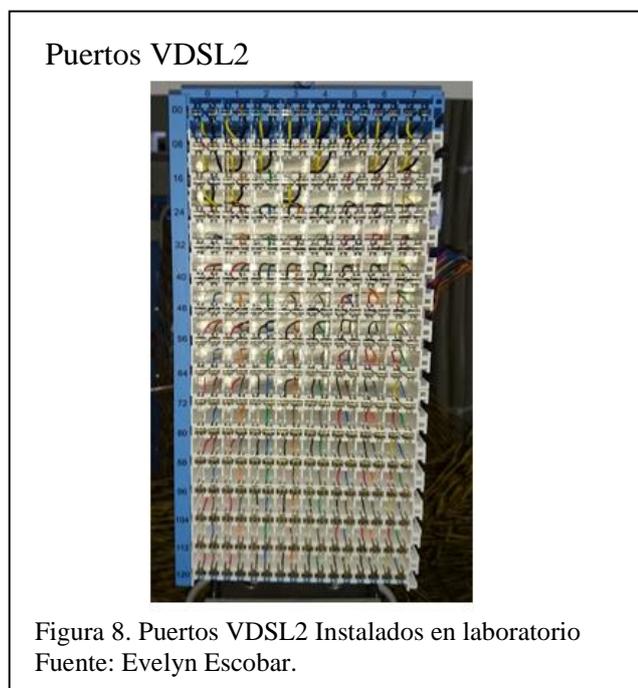
Como primer paso se realizaron los trabajos de anclaje del Shelf MA5603T al rack GPON, es importante que el equipo quede completamente asegurado en una posición que permita el libre acceso al equipo y a los componentes que lo integran, garantizando que se tenga el espacio suficiente para el paso de cables tanto de datos como de energía.

Para energizar el equipo se utilizó la caja térmica libre perteneciente al DSLAM MA5600T de la sala de equipos y conectada a la energía asegurada del laboratorio a -48 VCD, se utilizaron tres cables 10 AWG para conectar desde la caja termina a la tarjeta PRTE del MA5603T tomando las precauciones necesarias para no causar un corto circuito que afecte al equipo y a los demás elementos que conforman el laboratorio, con un multímetro se midieron los niveles de voltaje que llegan al otro extremo del cable para evitar problemas al conectar la tarjeta PRTE, ya conectado se procedió a verificar que el Shelf MA5603T se encienda sin problemas.

El cable de subscriptores fue pasado desde el DSLAM hacia el MDF, previamente se procede a etiquetar los cuatro cables de subscritor en ambas puntas para no tener problemas en identificar el cableado, los cables se pasaron por una ruta diferente a la del cableado eléctrico para evitar las interferencias que estos generan y pueden afectar a la estabilidad de los servicios que el DSLAM entrega a los usuarios.

Este trabajo se realizó de una manera ordenada utilizando las escalerillas del cuarto de equipos tratando de no maltratar el cable para evitar que algún hilo se rompa, se sigue este proceso hasta llegar con el cableado a la posición definida en el MDF, aquí se empotro una regleta Huawei de 128 pares, la mitad para los puertos VDLS2 y la otra mitad para los puertos POST, el cableado se dejó con las reservas necesarias para futuros cambios en el MDF por posibles problemas en el cableado.

Se procedió a realizar el ponchado del cable en las regletas siguiendo la norma de código de colores. Estas conexiones se realizaron utilizando una ponchadora marca Huawei exclusiva para este tipo de regletas. En la Figura 8, se puede observar la regleta instalada en el MDF.



Luego de la instalación del cableado de suscriptor y el ponchado en la regleta, se procedió a insertar las tarjetas en los respectivos slots utilizando la manilla electroestática que contiene el equipo, para asegurar que la carga eléctrica producida por la fricción del ser humano sea descargada a tierra evitando producir daños a los componentes electrónicos del DSLAM. Una vez insertadas las tarjetas se procede a conectar el cableado de datos a la tarjeta H80DVCPE.

En la figura 9, se observa el equipo MA5603T instalado:

Equipo MA5603T Implementado



Figura 9. MA5603T implementado en laboratorio.
Fuente: Evelyn Escobar

3.4.1.2. instalación bucle de abonado.

Puesto que el bucle de abonado está compuesto por varias interconexiones de pares trenzados de cobre que pasan por ductos subterráneos, cableado tendido en postes hasta llegar al abonado, es complejo conocer con exactitud la longitud del bucle de abonado. Aprovechando las condiciones físicas de todo conductor, como es la resistencia eléctrica, que no es más que la oposición que este ejerce al paso de corriente y depende de factores como: la longitud del cable, el grosor, la temperatura y del tipo del material con el que está construido, se puede conocer aproximadamente la longitud del bucle de abonado (3M Dynatel Systems Division).

Por esto los fabricantes de cables cumplen con especificaciones técnicas de fabricación definidas por los entes de regulación en las cuales se definen valores de longitud, calibre, temperatura y resistencia eléctrica que debe cumplir un cable. La longitud y temperatura son directamente proporcionales, es decir, a más longitud y temperatura más resistencia eléctrica, a diferencia del calibre que es inversamente proporcional, por tanto, a mayor calibre la resistencia eléctrica del cable es menor (3M Dynatel Systems Division).

La longitud eléctrica del conductor o resistencia del conductor se puede medir con un multímetro y esta medida convertirla a distancia. En la Figura 10, se puede observar que la resistencia del bucle es la suma de la resistencia de cada uno de sus hilos de cobre, para medirla es necesario cerrar el circuito en un extremo del par de cobre y en el otro conectar un multímetro.

Para obtener la longitud del bucle hay que dividir para dos el valor medido de resistencia y relacionar este valor con los datos de la Tabla 17, donde está la conversión de resistencia a distancia.

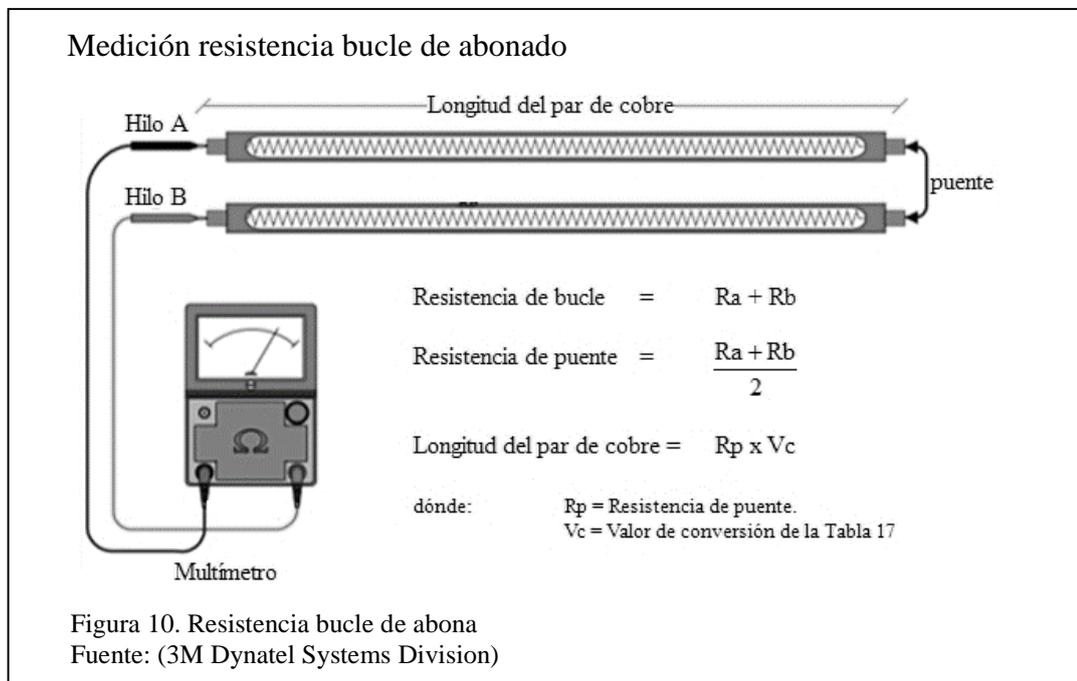


Tabla 17. Conversión de resistencia a distancia

Calibre mm [AWG]	Longitud del Conductor en metros a una resistencia de 1 Ω [Ohmio]
0,4 mm	7,14
0,5 mm	11,2
0,6 mm	16,1
0,7 mm	21,8
0,8 mm	28,4
0,9 mm	35,7
1,3 mm	76,4
19 AWG (0,91 mm)	37,87
22 AWG (0,64 mm)	18,82
24 AWG (0,51 mm)	11,75
26 AWG (0,41 mm)	7,32
28 AWG (0,32 mm)	4,6

Nota. Equivalencia en metros por cada ohmio según el calibre del cable.

Fuente: (3M Dynatel Systems Division)

Para la instalación de los bucles se utilizó tres cables UTP Categoría 5E, estos cables tienen 4 pares trenzados de cobre con los cuales se obtuvieron 12 pares, cada par es un puerto, los cuales se poncharon en la regleta del MDF y al otro extremo se conectó un cajetín telefónico.

Para simular la longitud de un cable 26 AWG, que son los de mayor uso en el despliegue de redes de CNT EP, se conectó potenciómetros en uno de los hilos de cada par y se fue variando la resistencia del par de cobre hasta obtener los bucles de pruebas.

En la tabla 18, se puede apreciar las diferentes longitudes simuladas en laboratorio y los valores medidos de resistencia:

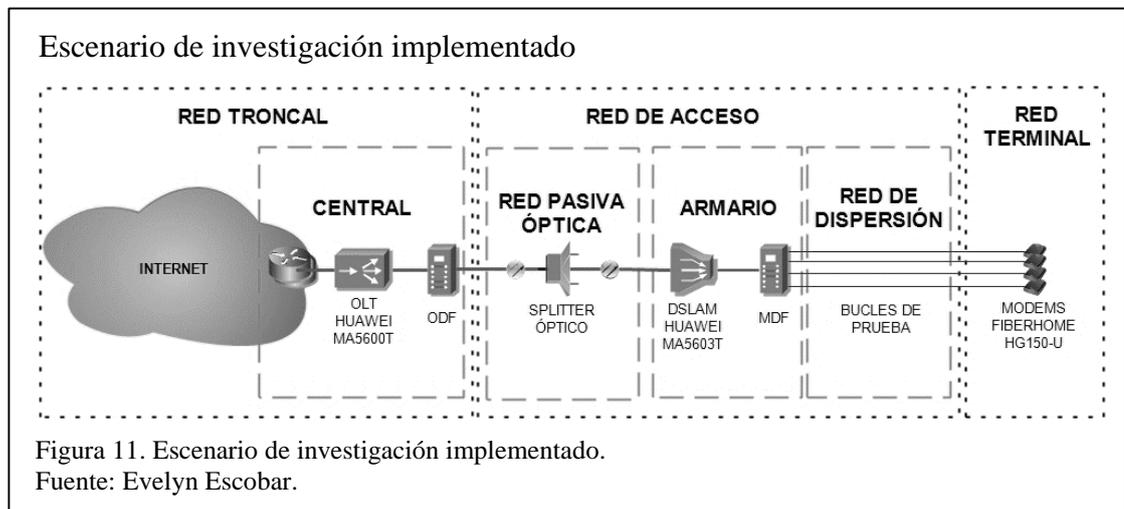
Tabla 18. Cálculos distancia de bucle de pruebas

Distancia [metros]	Resistencia del bucle Ω [Ohmios]
100	27,32
200	54,64
300	81,97
400	109,29
500	136,61
1000	273,22
1500	409,84

Nota. Cálculos de distancia. Fuente: Evelyn Escobar

3.4.1.3. interconexión red óptica pasiva y el DSLAM.

Concluida la implementación del DSLAM y los bucles de abonados, se interconectó el DSLAM con la red óptica pasiva utilizando un patch cord de fibra óptica monomodo de 20m entre el puerto PON del MA5603T y un puerto de salida del splitter óptico. En la Figura 11, se puede apreciar el escenario de investigación implementado:



3.4.2. Proceso de Configuración de equipos.

Concluida la fase de instalación se procedió a efectuar las configuraciones necesarias en la OLT y DSLAM para que el escenario de investigación acceda a los servicios de la CNT EP.

3.4.2.1. configuración OLT.

Para el laboratorio se utilizó el puerto 1/16/5 que fue habilitado y configurado utilizando el software de gestión y administración de la red GPON Huawei U2000. La configuración realizada consiste en pasar la Vlan 200 de gestión para la red DSLAM y la Vlan 201 de acceso a los servicios de Internet de la CNT EP tanto en el puerto de uplink de la OLT y el puerto PON de interconexión al DSLAM.

3.4.2.2. configuración DSLAM.

La configuración se realizó vía consola por línea de comandos CLI, para lo cual se utilizó:

- Un computador con software de acceso cliente terminal.
- Un cable de consola para equipos Huawei.
- Conversor de serial a USB.

Se conectó el cable de consola al conversor, el lado USB se conecta al computador y la interface RJ45 del cable de consola al puerto COM de la tarjeta controladora del DSLAM, utilizando el software cliente terminal se accede al equipo mediante las credenciales de autenticación de fábrica.

Ya conectado al equipo se ejecutó comandos que permitieron que las tarjetas insertadas sean reconocidas, como se observa en la Figura 12:

```
Configuración tarjetas equipo MA5603T

[device-config]
<device-config>
board add 0/3 VCP
board add 0/8 H801GICD
board add 0/9 H802P2CA
board add 0/10 H801PRTE
board add 0/12 VPE
board add standby sub0 FLBA
port port-index 0/9/0 port-type gpon
port port-index 0/9/1 port-type gpon
```

Figura 12. Configuración de reconocimiento de hardware
Fuente: Evelyn Escobar

Con las tarjetas ya reconocidas el siguiente paso es configurar las Vlans de gestión y servicios lo cual se realizó utilizando los comandos de la Figura 13:

```
Configuración Vlans
#
[vlan-config]
<vlan-config>

vlan 200 to 201 smart
vlan 203 standard
vlan priority 200 5
port vlan 200 to 201 0/8 0
port vlan 200 to 201 0/8 1
port vlan 201 0/8 2
port vlan 201 0/8 3
port vlan 200 to 201 0/9 0
port vlan 200 to 201 0/9 1
port vlan 201 0/12 2
port vlan 203 0/8 0
port vlan 203 0/8 1
```

Figura 13. Configuración de Vlans de gestión y servicios
Fuente: Evelyn Escobar

El equipo debe ser subido al sistema de gestión y administración de la red DSLAM Huawei U2000 para lo cual fue necesario realizar la configuración de direccionamiento IP en la Vlan 200 de acuerdo a la asignación realizada internamente por la CNT EP, como se muestra en la Figura 14:

```
Configuración de direccionamiento
#
[vlanif]
<vlanif200>
interface vlanif200
ip address 10.248.60.138 255.255.255.128
#
```

Figura 14. Configuración de direccionamiento de gestión
Fuente: Evelyn Escobar

Se activa el puerto PON de uplink para interconectar el DSLAM a la red GPON utilizando el comando de la Figura 15:

Configuración de interface uplink

```
#  
[pon]  
<pon-0/9>  
interface pon 0/9  
  auto-neg 0 disable  
  mdi 1 normal  
#
```

Figura 15. Configuración de interfaces de uplink
Fuente: Evelyn Escobar

Finalmente se realiza la configuración de procesamiento Vectoring, aquí cabe indicar que esta funcionalidad se activa a todo el equipo, esto quiere decir que todos los puertos del DSLAM tendrán activo el estándar ITU-T G.993.5.

Los comandos utilizados se pueden visualizar en la Figura 16.

Configuración funcionalidades Vectoring

```
#  
[public-config]  
<public-config>  
xds1 vectoring legacy-cpe activate-policy no-limit  
xds1 vectoring detection single-wire-interruption enable  
xds1 vectoring-group link add 1 0/3:0-63  
xds1 vectoring-profile add 2 control disable disable name NO_VECTORIZING  
port mode 0/9/0 adapt-mode gpon  
port mode 0/9/1 adapt-mode gpon  
#
```

Figura 16. Activación funcionalidades Vectoring
Fuente: Evelyn Escobar

3.5. Etapa de Cierre

Al encender el equipo se realizaron pruebas de timbrado utilizando un multímetro para verificar que exista continuidad y correspondencia entre los 64 puertos POST y 64 puertos VDSL2, con lo cual se validó que no existen errores en el ponchado ni en la conexión del cableado en la tarjeta H80DVCPE.

Adicional a esta prueba se conectan módems en distintos puertos para validar con el sistema de gestión y administración del DSLAM U2000 que los módems sincronicen en el puerto donde se realizó la conexión.

CAPÍTULO IV

EJECUCIÓN DE PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo, se ejecutó un protocolo de pruebas de funcionalidad y funcionamiento para el estándar ITU-T G.993.5 en varias longitudes de bucles de abonado simulados en el escenario de pruebas implementado. Con los resultados obtenidos se analizó del impacto de utilizar la técnica de vectorización aplicada a VDSL2 en relación a las generaciones anteriores de DSL.

4.1. Protocolo de pruebas

Se elaboró un procedimiento para comprobar el funcionamiento de VDSL2 Vectoring en el escenario de pruebas implementado, con el propósito de evidenciar el comportamiento en relación a los parámetros de línea como: ancho de banda, atenuación, SNR, en varias longitudes de bucles de abonado realizado entre el DSLAM y los CPEs descritos en el capítulo anterior, así como también características de interoperabilidad y coexistencia con ADSL2+

Estas pruebas se realizaron tomando como guía la documentación del Broadband Forum (2014) TR-249 Testing of G.993.5 Self-FEXT Cancellation Vectoring.

4.2. Información del Sistema bajo pruebas

Es importante proporcionar la información necesaria sobre los equipos testeados para garantizar la repetitividad de los resultados. La información debe ser llenada antes del inicio de cualquier prueba y deberá ser incluida en el informe de pruebas de acuerdo a la TR-249.

En la Tabla 19 y 20, se describe la información de DSLAM y del CPE respectivamente.

Tabla 19. Información DSLAM

Fabricante	Huawei Technologies
Modelo	MA5603T
Versión de software	MA5600V800R015:5800
Modelo tarjeta de línea	H80DVCPE
Número de serie tarjeta de línea	781361239809124D
Vendor ID	0x12D1
Versión Chipset HW	V800R016C00
Versión Chipset FW	No aplica
Perfiles de Banda VDSL2 soportados	8a, 8b, 8c, 8d, 12a, 12b, 17a, 30a
Número total de puertos	Instalados 64, soporta hasta 384
Número máximo de CPEs que el DSLAM es capaz de soportar en un grupo vectorizado.	384

Nota. Información DSLAM de acuerdo con TR-249
Fuente: (Broadband Forum, 2014)

Tabla 20. Información CPEs

Fabricante	Fiberhome Technologies Group Corporation
Modelo	HG150-U
Versión del software	2.6.32.42
Números serie	CPE1: FH20151201046242 CPE2: FH20151201025308 CPE3: FH20151201041962 CPE4: FH20151201047065 CPE5: FH20151201046241
Vendor ID	No aplica
Fabricante Chipset	Ralink
Versión Chipset HW	R1B, 1.0
Versión Chipset FW	V00D1.00M0000, 3.1
Perfiles de Banda VDSL2 soportados	8a, 8b, 8c, 8d, 12a, 12b, 17a, 30a

Nota. Información CPE de acuerdo con TR-249
Fuente: (Broadband Forum, 2014)

Splitters no se utilizó en estas pruebas y de acuerdo a la TR-249 no es un requerimiento obligatorio para la ejecución.

La tabla 21, contiene información del perfil de frecuencia y número de CPEs utilizados para las pruebas.

Tabla 21. Ajustes de configuración

Banda de Perfil	17a
Número de CPEs conectados (U)	5

Nota. Perfil de Banda y CPEs VDSL2

Como se observa en la tabla 21, para la realización de las pruebas se trabajó en el perfil de banda de frecuencia 17a, debido a que utiliza la parte del espectro de frecuencias donde se presenta la menor cantidad de interferencias y así puede coexistir con ADSL2+ sin afectar su rendimiento, además la CNT EP ha implementado la red VDSL2 bajo este perfil.

Se utilizó cinco modem con funcionalidad Vectoring y cinco ADSL2+, para fines comparativos que se detallan más adelante.

4.3. Medición de Temperatura y Humedad

Los rangos de temperatura y humedad del laboratorio también deberán ser parte del informe de prueba. El rango aceptable de temperatura debe estar entre los 15 °C (59 °F) y 35 °C (95 °F) y la húmedas entre 5 % y 85 % (Broadband Forum, 2014).

En la Tabla 22, se presentan los valores medidos en el laboratorio utilizando los sensores de temperatura y humedad que contiene la OLT.

Tabla 22. Temperatura y Humedad del laboratorio

Parámetro	Medida
Temperatura	17 °C
Humedad	8%

Nota. Medida de temperatura y humedad del laboratorio.

4.4. Medidas de Bucles de pruebas

De acuerdo a la TR-249 los bucles se clasifican según su longitud y el bucle debe estar dentro de los rangos de atenuación a 1MHz especificados en la tabla 23.

Tabla 23. Clasificación de bucles y rangos de atenuación

Tipo de Bucle	Atenuación a 1 MHz	Distancia aproximada para cable 26 AWG
Bucle corto	2,25 a 8,75 dB	101,5 a 335,28 m
Bucle mediano	6,75 a 17,5 dB	274,32 a 670,56 m
Bucle largo	13,5 a 21,85 dB	568,64 a 853,44 m

Nota. Límite de atenuación por distancia de bucle a 1MHz
Fuente: (Broadband Forum, 2014)

En la Tabla 24, se detalla los valores de atenuación medidos en los bucles de prueba con un analizador de línea de cobre.

Tabla 24. Características bucles de prueba.

Distancia [metros]	Atenuación [dB]		Tipo de bucle
	Subida	Bajada	
100	5,3	3,7	Corto
200	8,2	5,2	Corto
300	10,5	6,8	Mediano
400	13,1	8,4	Mediano
500	14,9	9,6	Largo
1000	17,4	10,9	Largo
1500	18,8	13,4	Largo

Nota. Valores de atenuación en los bucles de prueba.
Fuente: Evelyn Escobar

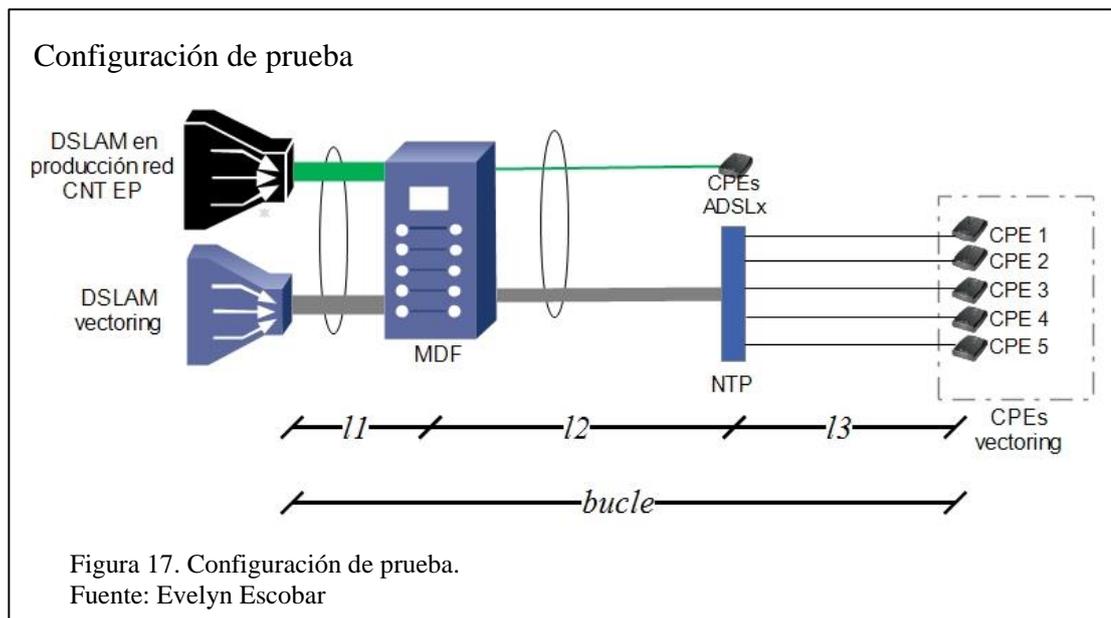
Como se observa en la Tabla 24, los valores de atenuación obtenidos en cada longitud de los bucles de pruebas cumplen con los requisitos de atenuación que se muestran en la Tabla 23 y estos valores serán parte del informe.

4.5. Entorno de pruebas

Esta sección contiene las especificaciones e información requerida para construir un entorno básico de prueba para VDSL2 Vectoring.

4.5.1. Configuración de Prueba.

La configuración de la prueba se muestra en la Figura 17.



Se puede apreciar en la Figura 17, los elementos de configuración de prueba donde se presenta diafonía:

- **Conector DSLAM:** Es la interface de adaptación del par de cobre para conectar a la tarjeta de línea del DSLAM. En el cableado interno del conector puede haber algún nivel de diafonía introducido.
- **Sección de cable I1:** Interconecta el DSLAM con el MDF por medio de un cable multipar trenzado de cobre (color gris), en el cual se introduce diafonía de los pares cercanos utilizados en la configuración de prueba. Además, en este tramo se tiene la diafonía introducida por los demás cables multipares (color verde) que brindan servicios a los abonados de la CNT EP a través de los DSLAMs instalados en la Oficina Central donde se encuentra el laboratorio.

- **MDF:** Al ser el punto de distribución donde todos los cables multipar de cobre convergen es otro punto donde se introduce diafonía a la configuración de pruebas.
- **Sección de cable I2:** Independiente de la sección I1 en este tramo se introduce la diafonía producida por los demás bucles de la configuración de prueba.
- **NTP:** Es el punto de terminación de la red donde se conectan los cajetines telefónicos, aquí puede existir algún nivel de diafonía.
- **Sección cable I3:** Es la sección del cable que conecta a los CPEs, al estar todos conectados en el mismo sitio generan diafonía en la configuración de prueba.

4.5.2. Configuración del perfil de línea.

Se debe configurar en el DSLAM un perfil de línea adaptativo con el cual se realizarán las pruebas a lo largo de este protocolo el cual será llamado RA_200M que permitirá que el DSLAM y los módems negocien la sincronización con el mejor Ancho de Banda posible de acuerdo a la calidad del bucle de abonado, los parámetros de configuración son:

Canal de bajada, máximo 200 Mbps y mínimo 128 kbps, canal de subida máximo de 200 Mbps y mínimo 64 kbps. Los rangos de SNR permitidos serán en el rango de 30 dB como máximo y 6 dB como mínimo tanto para subida como para bajada.

Las figuras 18 y 19, muestran los parámetros de configuración del perfil creado en el sistema de Gestión U2000 para el DSLAM MA5603T.

Configuración velocidad perfil de línea

Details	Line Template Reference Info	Line Template Unreference Info
Name		= RA_200M
Minimum Transmit Rate Downstream (kbit/s)		= 128
Maximum Transmit Rate Downstream (kbit/s)		= 200000
Minimum Transmit Rate Upstream (kbit/s)		= 64
Maximum Transmit Rate Upstream (kbit/s)		= 200000
Maximum Interleaving Delay Downstream (ms)		= 20
Maximum Interleaving Delay Upstream (ms)		= 20
Data Path Mode		= Both
Minimum Impulse Noise Protection Downstream		= noProtection
Minimum Impulse Noise Protection Upstream		= noProtection
Minimum Reserved Transmit Rate Downstream (kbit/s)		= 128
Minimum Reserved Transmit Rate Upstream (kbit/s)		= 64
Rate Threshold Up-shift Downstream (kbit/s)		= 0
Rate Threshold Down-shift Downstream (kbit/s)		= 0
Rate Threshold Up-shift Upstream (kbit/s)		= 0
Rate Threshold Down-shift Upstream (kbit/s)		= 0
Channel Initialization Policy Selection		= policy0
Upstream Min. Expected Throughput (kbit/s)		= 32
Upstream Max. Expected Throughput (kbit/s)		= 200000
Upstream Max. Net Data Rate (kbit/s)		= 200000
Upstream Max. Delay (ms)		= 83

Figura 18. Configuración velocidad perfil de línea.
Fuente: Evelyn Escobar

Configuración perfil de línea

Name ^	Adapt Mode in Downstream ^	Adapt Mode in Upstream ^
RA_200M	Adapt. At Startup	Adapt. At Startup

Details	Line Template Reference Info	Line Template Unreference Info
Name		= RA_200M
Adapt Mode in Downstream		= Adapt. At Startup
Adapt Mode in Upstream		= Adapt. At Startup
Target SNR Margin Downstream (0.1dB)		= 60
Minimum SNR Margin Downstream (0.1dB)		= 0
Maximum SNR Margin Downstream (0.1dB)		= 300
Target SNR Margin Upstream (0.1dB)		= 60
Minimum SNR Margin Upstream (0.1dB)		= 0
Maximum SNR Margin Upstream (0.1dB)		= 300

Figura 19. Configuración niveles de SNR permitidos para el perfil de línea.
Fuente: Evelyn Escobar

4.6. Requerimientos de equipos para pruebas

Los siguientes equipos se usaron para probar el funcionamiento y funcionalidad del VDSL2 Vectoring:

- Computador con acceso a la gestión de DSLAM U2000 que permita configurar perfiles de línea y servicios sobre los puertos.
- Cinco CPEs Vectoring para ejecutar el protocolo de pruebas, y cinco CPEs ADSL2+ para pruebas adicionales.
- Cables multipar.
- Cuenta de acceso a servicios de Internet PPPoE con perfil de 100 Mbps.
- Computador para configurar los equipos CPEs y ejecutar las pruebas descritas en el documento.

4.7. Pruebas de Funcionamiento Vectoring

En esta sección se ejecutan pruebas para verificar el rendimiento de VDSL2 Vectoring.

Cada prueba se realiza con cinco CPEs conectado al DSLAM sobre distintos bucles de abonado.

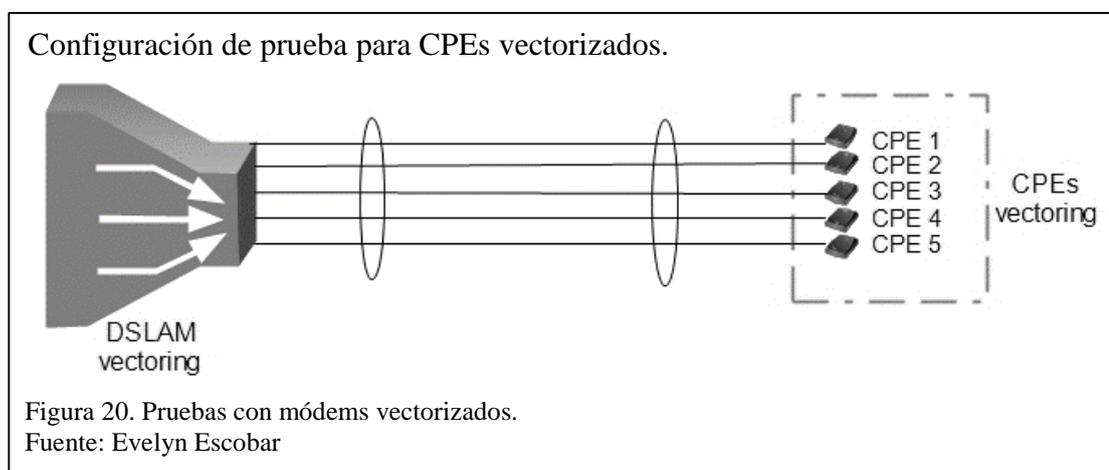
4.7.1. Medición de velocidad de datos en diferentes longitudes de bucles de abonado y estándares DSL.

Para iniciar las mediciones es necesario configurar los CPEs, los cuales se conectan a las PCs mediante una de las interfaces LAN y a los bucles por la interfaz WAN, luego se configuran a través de un navegador ingresando a la dirección IP 192.168.1.1 para acceder a la interfaz web del modem, en el cual se selecciona el tipo de modulación xDSL, es decir, se *setea* el modem para que se sincronice con el DSLAM en el estándar escogido, que para efectos de pruebas será: VDSL2 Vectoring, VDSL2 y ADSL2+, también se ingresa el usuario y contraseña de la cuenta PPPoE de prueba, con el propósito de verificar que exista conectividad al servicios de Internet.

Una vez sincronizado, utilizando el computador con acceso al sistema de gestión U2000 se valida en cada puerto los valores de velocidad de datos de *enganche*, a partir de esta conexión y configuración, se obtuvo otros valores como SNR y atenuación con cada estándar, como se muestran a continuación en los siguientes apartados.

4.7.1.1. medición de velocidad de datos con VDSL2 Vectoring.

Para esta prueba todos los CPEs se activó la funcionalidad Vectoring y se ilustra en la Figura 20.



En la Tabla 25, se muestran los valores de velocidad de datos obtenidos con los CPEs seteados a VDSL2 con el estándar ITU-T G.993.5.

Tabla 25. Valores de velocidad de datos obtenidos con VDSL2 Vectoring.

Distancia [metros]	Velocidad de datos en VDSL2 vectoring [kbps]	
	Subida	Bajada
100	62135	126732
200	58345	115982
300	56982	105712
400	53129	103172
500	47409	100675
1000	26235	54871
1500	24689	30872

Nota: Datos de velocidad de datos operando con Vectoring.
Fuente: Evelyn Escobar

En la Tabla 25, constan los valores de bajada y subida de velocidad de datos obtenidos del sistema de gestión U2000 en siete bucles de abonado donde el DSLAM y los CPEs se encuentran operando con Vectoring.

4.7.1.2. medición de velocidad de datos con ADSL2+ y VDSL2.

En la tabla 26, se muestran los valores de velocidad de datos obtenidos configurando los mismos cinco CPEs primero en ADSL2+ y luego en VDSL2.

Tabla 26. Valores de velocidad de datos obtenidos con ADSL2+ y VDSL2.

Distancia [metros]	Velocidad de datos en ADSL2+ (Kbps)		Velocidad de datos en VDSL2 (Kbps)	
	Subida	Bajada	Subida	Bajada
100	993	23158	59983	81255
200	923	23161	56137	78932
300	917	22987	54872	75092
400	892	22865	51386	72178
500	877	22769	42676	69924
1000	797	21872	25671	48782
1500	736	21321	19786	26653

Nota: Datos de velocidad de datos con ADSL2+ y VDSL2.

Fuente: Evelyn Escobar

En la Tabla 26, contiene los valores de subida y bajada de velocidad de datos que se registra en sistema de gestión U2000, en primera instancia todos los modem configurados en modulación ADSL2+ y luego en VDSL2 donde el DSLAM sigue operando con Vectoring.

4.7.1.3. comparativa de la velocidad de datos alcanzados.

Con los datos de las tablas 25 y 26, se realizó la comparación de la velocidad de datos alcanzados con los diferentes estándares xDSL tanto en el canal de subida como de bajada.

En la tabla 27, se muestra el resumen de los valores de velocidad medidos.

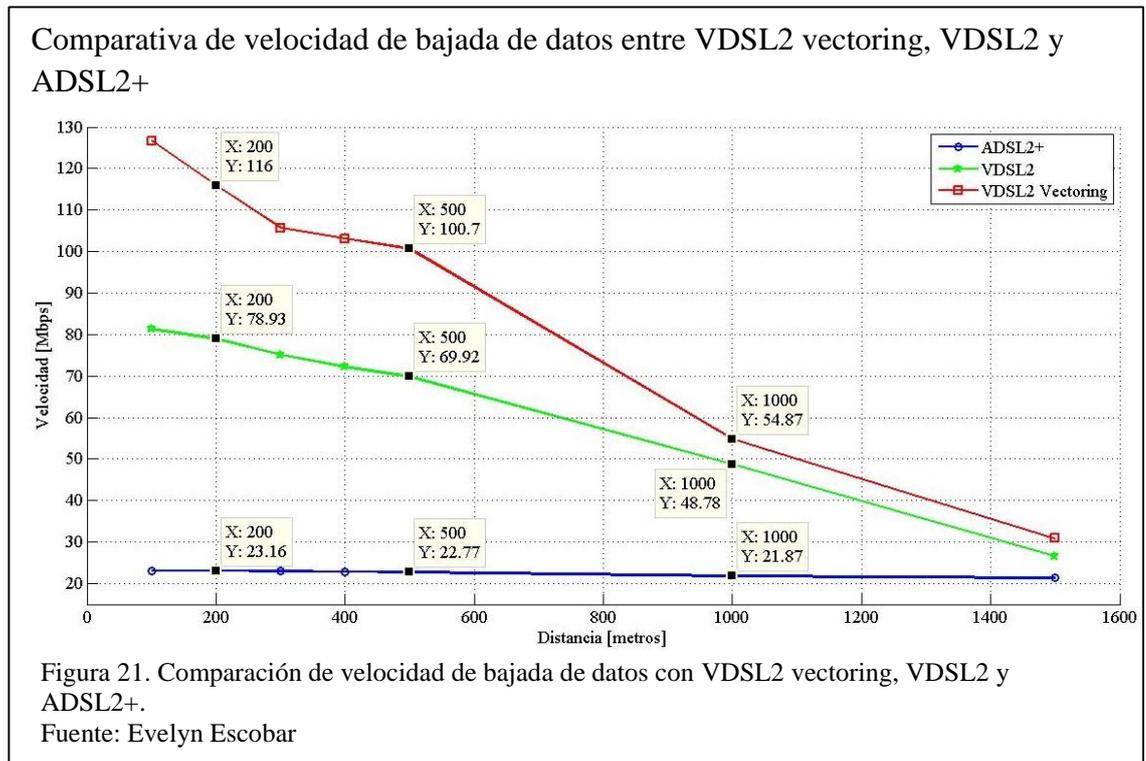
Tabla 27. Comparación de velocidad de datos alcanzados con diferentes estándares

Distancia [metros]	Velocidad de datos en ADSL2+ (Kbps)		Velocidad de datos en VDSL2 (Kbps)		Velocidad de datos en VDSL2 Vectoring [kbps]	
	Subida	Bajada	Subida	Bajada	Subida	Bajada
100	993	23158	59983	81255	62135	126732
200	923	23161	56137	78932	58345	115982
300	917	22987	54872	75092	56982	105712
400	892	22865	51386	72178	53129	103172
500	877	22769	42676	69924	47409	100675
1000	797	21872	25671	48782	26235	54871
1500	736	21321	19786	26653	24689	30872

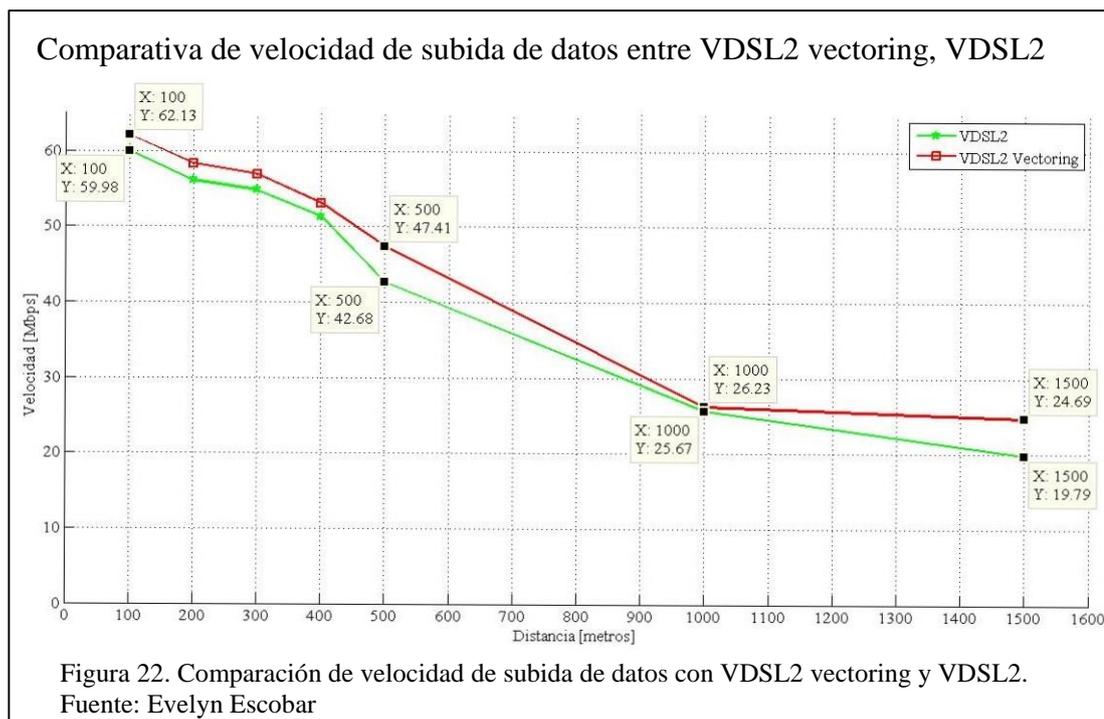
Nota: Datos de velocidad de datos alcanzados con diferentes estándares DSL.

Fuente: Evelyn Escobar

En la Figura 21, se puede observar el comportamiento del canal de bajada respecto a la distancia en los estándares ADSL2+, VDSL2, VDSL2 Vectoring.



La Figura 22, presenta el comportamiento del canal de subida respecto a la distancia en los estándares VDSL2 y VDSL2 Vectoring.



Como se puede observar en la Figura 22, consta los valores medidos en la velocidad de subida con VDSL2 y VDSL2 Vectoring, no consta la velocidad de subida medida con ADSL2+ debido a que como consta en la Tabla 26, los valores en promedio no superan los 876,42 [kbps], por tanto, no será parte del análisis.

4.7.1.4. análisis de resultados.

Como se puede observar en la Figura 21, el comportamiento del canal de bajada entre VDSL2 y VDSL2 Vectoring, tiene una ganancia en promedio del 32% entre los 100 y 500 [m] medidos desde el último punto de fibra óptica hasta el abonado, donde la velocidad alcanzada en 500 [m] es 100.7 [Mbps], por otro lado, en la figura uniendo y extrapolando los puntos desde los 500 a 1.000 [m] resulta que el rendimiento de Vectoring va descendiendo y se obtiene en 1.000 [m] una velocidad de 54.87 [Mbps] Vectoring y se asemeja a VDSL2 con 48.78 [Mbps]. En relación a ADSL2+ en los primeros 500 [m] Vectoring alcanza un 79% más de velocidad, a partir de esta distancia como se observa en la figura tiende a bajar hasta que en los 1.500 [m] se aproxima a la velocidad de ADSL2+, el cual se mantiene constante con

un promedio de 22 [Mbps] y teóricamente se mantendrá con esa velocidad hasta los 2.400 [m].

En la Figura 22, se puede apreciar el comportamiento en el canal de subida entre VDSL2 Vectoring y VDSL2, donde la diferencia promedio entre estas es del 6%, tomando como referencia la distancia del bucle en 500 [m] se tiene una velocidad de bajada de 47,41[Mbps] con Vectoring, mientras que con VDSL2 42.68 [Mbps], esto significa que la diafonía en este canal es de extremo cercano (NEXT) y la técnica de vectorización actúa específicamente en relación a la diafonía generada en el extremo lejano (FEXT), por tanto, se demuestra la información teórica recopilada en el capítulo dos de la técnica de vectorización.

4.7.2. Medición de Relación Señal a Ruido (SNR) y atenuación.

4.7.2.1. medición de SNR del grupo VDSL2 Vectoring.

En la Tabla 28, se muestra los valores de SNR y atenuación en el canal de subida y abajada del grupo vectorizado.

Tabla 28. Valores de SNR y atenuación con VDSL2 Vectoring.

Distancia [metros]	SNR [dB]		Atenuación [dB]	
	Subida	Bajada	Subida	Bajada
100	8,6	20,1	5,2	3,1
200	8,3	19,6	8,3	3,9
300	8,1	19,3	10,2	5,2
400	8,1	18,6	12,6	6,3
500	7,7	15,4	14,6	7,9
1000	7,5	14,7	15,1	10,2
1500	7,2	12,1	15,7	12,7

Nota: Datos de SNR y atenuación con Vectoring.

Fuente: Evelyn Escobar

En la tabla 28, se puede observar los valores de los parámetros de SNR y atenuación obtenidos en el canal tanto de subida como de bajada en el grupo vectorizado para diferentes bucles de abonado, no se consideró para el análisis los

valores obtenidos en el canal de subida, debido a que, en los resultados de la prueba anterior se demostró que el comportamiento de Vectoring en este canal tiende hacer igual a VDSL2.

4.7.2.2. medición de SNR y atenuación del grupo ADSL2+ y VDSL2.

En la Tabla 29, se muestra los valores de SNR y atenuación en el canal de bajada con modulación ADSL2+ y VDSL2.

Tabla 29. Valores de SNR y atenuación en ADSL2+ y VDSL2.

Distancia [metros]	VDSL2				ADSL2+			
	SNR [dB]		Atenuación [dB]		SNR [dB]		Atenuación [dB]	
	Subida	Bajada	Subida	Bajada	Subida	Bajada	Subida	Bajada
100	8,3	14,1	5,5	4	8,1	11,9	5,5	4
200	8,1	13,2	8,5	5,3	7,8	11,2	8,5	6,2
300	7,9	13,1	10,7	6,4	7,7	10,9	10,7	7,5
400	7,8	12,5	13,2	7,8	7,6	10,5	13	8,7
500	7,5	12,4	15,1	9,3	7,4	10,3	15	10,2
1000	7,3	12,1	15,5	11,2	7,1	9,3	15,2	12,5
1500	7	11,1	16,1	13,3	6,8	9,1	15,4	14,4

Nota: Datos de SNR y atenuación con ADSL2+ y VDSL2

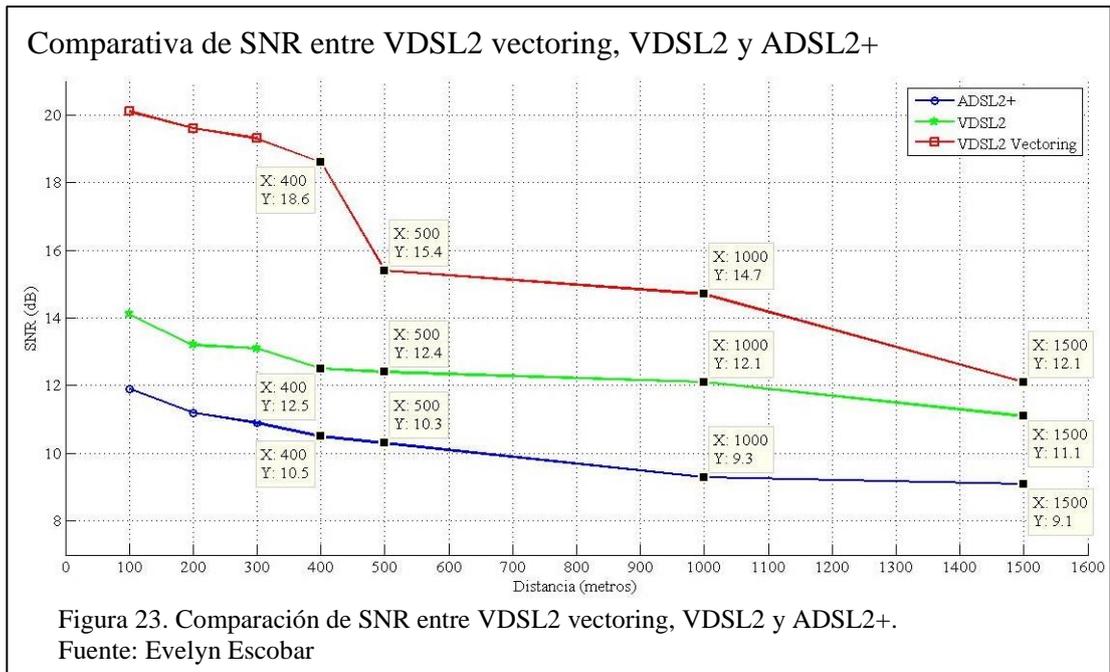
Fuente: Evelyn Escobar

En la tabla 29, se muestran los valores de los parámetros de SNR y atenuación obtenidos en el canal de subida y bajada en ADSL2+ y VDSL2.

4.7.2.3. comparativa de SNR.

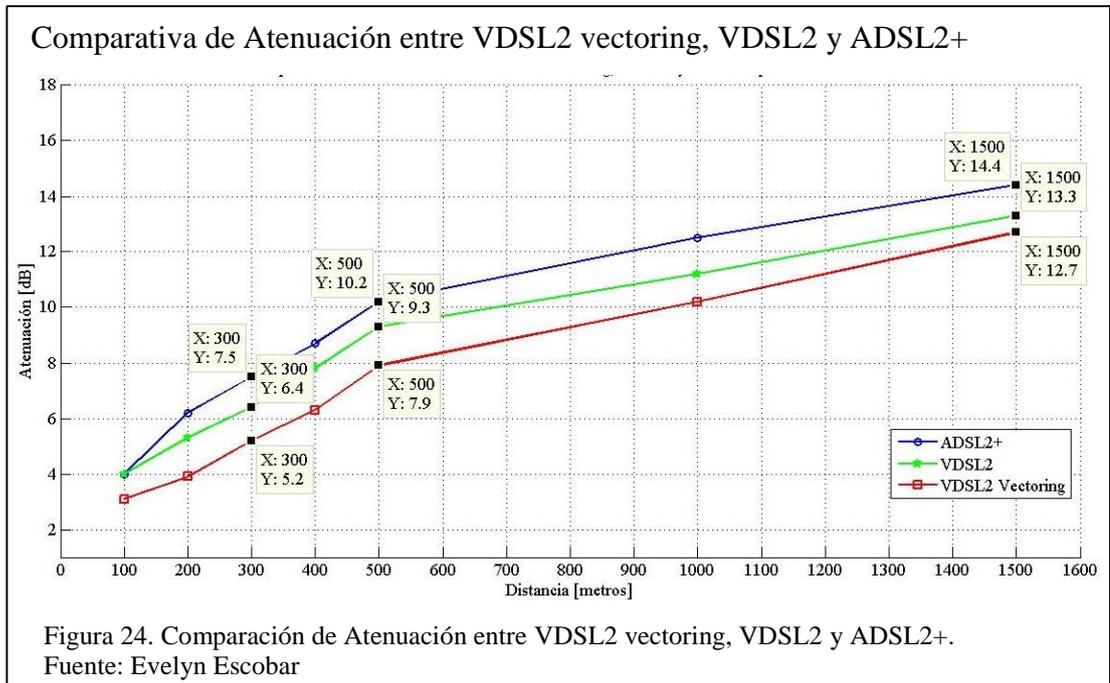
Con los datos de las tablas 28 y 29, se realizó la comparación de los parámetros de SNR medidos en el canal de bajada.

En la Figura 23, se puede observar los parámetros de SNR que se obtuvieron al utilizar la técnica de vectorización versus las generaciones anteriores a esta.



4.7.2.4. comparativa de atenuación.

En la Figura 24, se muestra los parámetros de atenuación de las generaciones comparadas.



4.7.2.5. análisis de resultados.

Como se puede apreciar en la Figura 23, los parámetros de SNR en el canal de bajada tomando como referencia el valor medido a 500 [m] se obtiene 15,4 [dB]

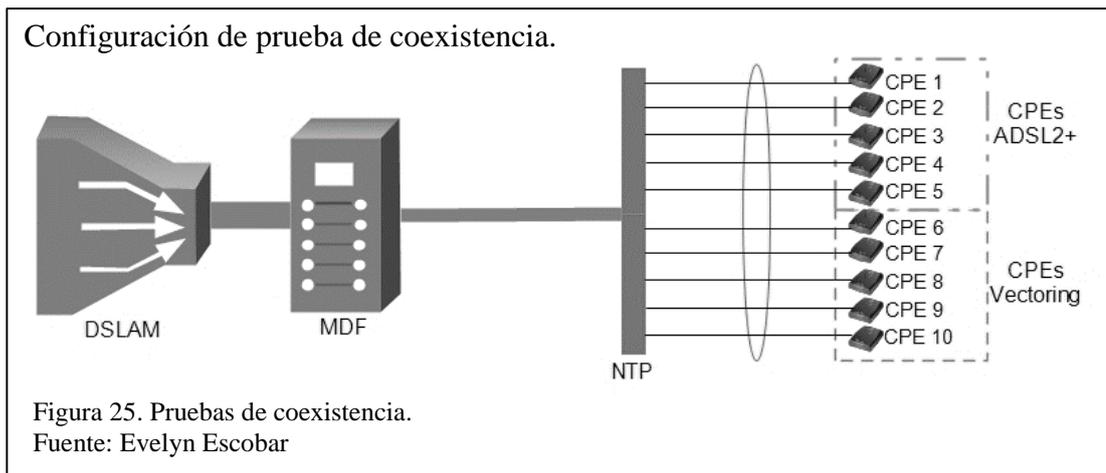
con Vectoring, que representa el 19% de mejora en relación a VDSL2 a la misma distancia, por otro lado, en la figura, uniendo y extrapolando los puntos desde los 500 a 1.000 [m] resulta que el porcentaje de mejora se mantiene constante uno con respecto al otro, tal es que en 1.000 [m] los parámetros de SNR son 14,70 [dB] y 12,10 [dB] para VDSL2 Vectoring y VDSL2 respectivamente. En relación con ADSL2+, Vectoring consigue mejorar en promedio el parámetro SNR en un 41% en los primeros 500 [m], con estos datos se confirma que a menor diafonía mayor relación SNR, con lo que se aumenta significativamente la capacidad para transmitir datos como se demostró en la prueba anterior.

En la Figura 24, se muestra la relación longitud de bucle versus atenuación con los tres tipos de modulación, para efectos de análisis se promedió los valores obtenidos entre a VDSL2 y ADSL2+, debido a que el patrón de comportamiento es similar, por tanto, se tiene un 16% menos de atenuación con líneas vectorizadas, esto significa que en este canal existe menos pérdidas de potencia de señal por la cancelación de la diafonía que se logra con la técnica de vectorización.

4.7.3. Coexistencia entre VDSL2 Vectoring y ADSL2+

Para esta prueba se adicionó cinco módems ADSL2+ que no soportan el estándar ITU T G.993.5, el propósito es verificar el funcionamiento de VDSL2 Vectoring en relación a la velocidad de datos cuando comparte al mismo tiempo la conexión con otro estándar, que para este caso se escogió ADSL2+ que es un escenario ajustado a la realidad de CNT EP por el gran número de estas conexiones.

En la Figura 25, se ilustra la configuración de prueba de coexistencia.



Como se observa en la Figura 25, se activó cinco CPEs que deben sincronizar en el estándar ITU-T G.993.5 y al mismo tiempo se conectó otros cinco CPEs que deben sincronizar en ADSL2+ aun cuando el DSLAM sigue operando activada la funcionalidad Vectoring.

En la Tabla 30, se muestran los valores de velocidad de datos alcanzados cuando se han conectado 50% de módems ADSL2+ y 50% módems VDSL2 Vectoring.

Tabla 30. Valores de velocidad de datos 50% VDSL2 Vectoring y 50% ADSL2+

Distancia [metros]	Velocidad de datos en ADSL2+ [kbps]		Velocidad de datos en VDSL2 vectoring [kbps]	
	Subida	Bajada	Subida	Bajada
200	923	19256	55768	100765
300	917	18567	54691	98452
400	892	17873	52864	96234
500	877	17128	46912	92367
1000	797	15375	23587	52678

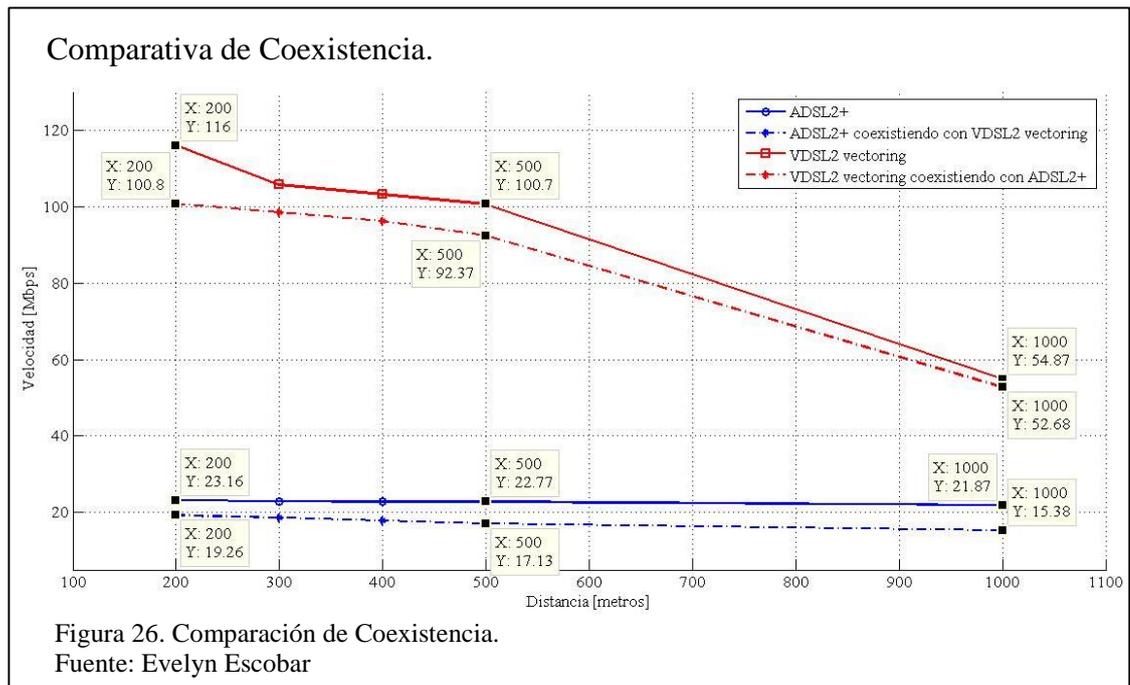
Nota: Datos de velocidad en coexistencia VDSL2 con ADSL2+.
Fuente: Evelyn Escobar

En la tabla 30, se puede observar los valores de velocidad de datos medidos en el canal de subida y de baja cuando VDSL2 Vectoring coexiste con ADSL2+ en diferentes bucles de abonado.

4.7.3.1. comparativa de coexistencia.

Con los datos de las tablas 25, 26 y 30, se realizó la comparación de la velocidad de datos alcanzados cuando todas las líneas se encuentran vectorizadas en un mismo sistema de comunicación y cuando coexiste en un 50% con líneas en ADSL2+.

En la Figura 26, se puede observar el comportamiento de la velocidad de datos en el canal de bajada respecto a la distancia cuando Vectoring actúa en todas las líneas de un mismo sistema de comunicación y cuando coexiste con otro estándar que en este caso es ADSL2+.



4.7.3.2. análisis de resultados.

Como se puede observar en la Figura 26, el rendimiento del canal de bajada cuando Vectoring coexiste con otra tecnología disminuye en un promedio del 8,74% en relación a todo el grupo de líneas vectorizadas, en los primeros 500 [m], mientras va aumentando la distancia este porcentaje va disminuyendo, así se tiene que en 1.000

[m] la velocidad con todas las líneas vectorizados es 54,87 [Mbps] y cuando coexiste con ADSL2+ es 52,68 [Mbps] que representa un 4,00% de disminución en el rendimiento de velocidad de datos, por otro lado el rendimiento de la otra tecnología también disminuye cuando coexiste con Vectoring en un 22,48%, esto se debe a que las dos tecnologías trabajan en un espacio de frecuencia compartido en donde VDSL2 Vectoring solapa a ADSL2+ y esto afecta el rendimiento en mayor porcentaje para la segunda.

CONCLUSIONES

- Se comprobó que al aplicar vectorización en todas las líneas dentro de un mismo grupo se logró una mejora en la velocidad de datos en el canal de bajada en aproximadamente 32% con respecto a VDSL2, en un bucle de abonado de hasta 500 [m] desde la red de fibra, alcanzado una velocidad mayor a los 100 Mbps. Así mismo se constató que a 1.000 [m] medidos desde el último punto de la fibra óptica hasta el usuario se obtiene velocidades superiores a los 50 Mbps con Vectoring, que en relación a los anchos de banda alcanzados a través de la tecnología actual (ADSL2+) de la red de cobre representa un 60% de mejora y que a partir de los 1.500 [m] la velocidad de bajada tiende a ser igual que VDSL2 y ADSL+, por tanto, la técnica de vectorización funciona mejor cuanto más cerca se encuentre del abonado.
- En el canal de subida se tiene un aumento promedio del 6% aplicando Vectoring con respecto a VDSL2, este dato confirma que la técnica de vectorización actúa en el canal de bajada con la cancelación de la diafonía en el extremo distante (FEXT) que es la perturbación dominante en los sistemas xDSL.
- En la relación señal a ruido (SNR) se obtuvieron valores entre los 12 y 20 [dB] en las líneas vectorizadas que es 19% mejor que VDSL2, con parámetro de SNR entre los 14 y 11 [dB], mientras que el porcentaje de mejora con respecto a ADSL2+ donde se obtuvieron valores entre 11,9 y 9,1 [dB] es del 41%, todas las tecnologías cumplen con el criterio de diseño configurado en el perfil de línea, por esta razón se sincronizaron con el DSLAM, ya que al presentarse una SNR menor a 6 [dB] los CPEs no se hubieran sincronizado,

sin embargo, se puede ver claramente que al activar la técnica Vectoring se obtiene como resultado una mejor SNR, es decir, que a menor diafonía mayor relación SNR.

- Con respecto al parámetro de atenuación que es uno de los factores más importantes a la hora de determinar la distancia a la cual se puede hacer llegar la señal, al activar la técnica de vectorización en todas las líneas de un grupo se obtiene un canal menos atenuado en un 16% con respecto a VDSL2 y ADSL2+, lo que significa que la potencia de la señal recibida desde el extremo lejano ha sufrido menos pérdidas por la cancelación de la diafonía en el canal de bajada, por tanto se alcanza mayor ancho de banda a iguales bucles de abonado que VDSL2 y ADSL2+.
- Cuando las líneas vectorizadas coexisten con ADSL2+ que es la tecnología de mayor presencia en las redes xDSL, el rendimiento de Vectoring se ve afectado en un 8,74%, debido a que comparten el espectro de frecuencia, por tanto, el máximo rendimiento de Vectoring se obtiene cuando todas las líneas que provienen de un DSLAM deben estar vectorizadas.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que para la ejecución de pruebas de funcionamiento de VDSL2 Vectoring se cuente con mínimo ocho módems Vectoring, con el propósito de realizar las mediciones uno por bucle de abonado de prueba.
- Las longitudes de los bucles de pruebas deben estar entre los rangos mínimos y máximos que soporté la tecnología para verificar hasta que distancia se puede sincronizar el modem.
- Se recomienda que se disponga de al menos una cuenta de acceso a servicios de Internet PPPoE con un perfil superior a los 100 Mbps para realizar pruebas de servicios de Internet y servicios triple play en la tecnología VDSL2 Vectoring.
- Se recomienda que se investigue las nuevas generaciones xDSL como G. fast y Vplus para seguir aprovechando al máximo la capacidad ofrecida por el cobre que en teoría se alcanzaría hasta un 1Gbps.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ADSL. - Asymmetric Digital Subscriber Line traduciendo al español Línea de abonado digital asimétrico.

ATM. - Asynchronous Transfer Mode traduciendo al español Modo de transferencia asíncrona.

AWG. - American Wire Gauge traduciendo al español Calibre de alambre estadounidense

BGP. - Border Gateway Protocol traduciendo al español Protocolo de puerta de enlace de frontera.

CNT EP. - Corporación Nacional de Telecomunicaciones Empresa Pública.

CPE. - Customer Premises Equipment traduciendo al español Equipo local del cliente.

DMT. - Discrete Multi-Tone traduciendo al español Modulación por multi-tono discreto.

DSLAM. - Digital Subscriber Line Access Mutiplexer traduciendo al español Multiplexor de línea de acceso de abonado digital.

DWDM. - Dense Wavelength Division Multiplexing traduciendo al español Multiplexado compacto por división en longitudes de onda.

FDD. - Frequency Division Duplex traduciendo al español Duplexación por división de frecuencia.

FEXT. - Far end crosstalk traduciendo al español Diafonía de extremo lejano.

FTTB. - Fiber to the building traduciendo al español Fibra hasta el edificio.

FTTC. - Fiber to the curb traduciendo al español Fibra hasta el armario.

FTTH. - Fiber to the Home traduciendo al español Fibra hasta el hogar.

GPON. - Gigabit-capable Passive Optical Network traduciendo al español Red óptica pasiva con capacidad de Gigabit.

HD. - High Definition traduciendo al español Alta definición.

IEEE. - Institute of Electrical and Electronics Engineers traduciendo al español Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos.

IPTV. - Internet Protocol Television traduciendo al español Televisión por protocolo de internet.

ITU-T. - International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector traduciendo al español Comisión de estudio del sector de normalización de las telecomunicaciones de la unión internacional de telecomunicaciones ITU.

IPv6. - Internet Protocol Version 6 traduciendo al español Protocolo de internet versión 6.

MDF. - Main Distribucion Frame traduciendo al español Punto de distribución principal.

MPLS. - Multiprotocol Label Switching traduciendo al español Multiprotocolo por cambio de etiquetas.

NEXT. - Near end crosstalk traduciendo al español Diafonía de extremo cercano.

NTP. - Network Point Termination traduciendo al español Punto de terminación de red.

ODF. - Optical Fiber Distributor traduciendo al español Distribuidor de Fibra óptica.

ODN. - Optical Distribution Network traduciendo al español Red de distribución óptica.

ONU. - Optical Network Unit traduciendo al español Unión de red óptica.

OLT. - Optical Line Terminal traduciendo al español Terminal de línea óptica.

PDH. - Plesiochronous Digital Hierarchy traduciendo al español jerarquía digital plesiócrons.

PMI. - Project Management Institute traduciendo al español Instituto de manejo de proyectos.

PSTN. - Public Switched Telephone Network traduciendo al español red Telefónica pública conmutada.

PPPoE. - Point-to-Point Protocol over Ethernet traduciendo al español Protocolo punto a punto sobre Ethernet.

P2P. - Peer-to-Peer traduciendo al español Punto a punto.

QAM. - Quadrature Amplitude Modulation traduciendo al español Modulación de amplitud en cuadratura.

QoS. - Quality of Service traduciendo al español Calidad de servicio.

RIP. - Routing Information Protocol traduciendo al español Protocolo de información de encaminamiento.

SDH. - Synchronous Digital Hierarchy traduciendo al español Jerarquía digital síncrona.

SNR. - Signal to Noise Ratio traduciendo al español Relación señal a ruido.

STM-1. - Synchronous Transport Module traduciendo al español Módulo de transporte síncrono nivel 1.

STM-4. - Synchronous Transport Module traduciendo al español Módulo de transporte síncrono nivel 4.

VDSL2. - Very-High-Bit-Rate Digital Subscriber Line 2 traduciendo al español Línea de abonado digital de muy alta tasa de transferencia 2.

LISTA DE REFERENCIAS

- 3M Dynatel Systems Division. (s.f.). Redes de Planta Externa Prueba de cables telefonicos y localizacion de fallas.
- Attanasio, V., Valenti, A., Persia, F., Rufini, A., Penna, S., Buono, D. D., . . . Maier, G. (27 de julio de 2016). *Evaluation of the Hybrid FTTx/VDSL2-Vectoring Approach in an Access Network*. Obtenido de IEEE:
<http://bibliotecavirtual.ups.edu.ec:2065/xpls/icp.jsp?arnumber=7550684>
- Broadband Forum. (2014). *TR-249 Testing of G.993.2 Self-FEXT Cancellation (vectoring)*.
- Campanario, L. (ENERO de 2012). *Instalaciones de telefonía y comunicación interior (MF0121_2)*. Obtenido de ProQuest ebrary:
<http://bibliotecavirtual.ups.edu.ec:2051/lib/bibliotecaupssp/detail.action?docID=10692632&p00=sistemas+telefonicas>
- Cisco. (25 de junio de 2015). *Cisco ME 3600X Series Ethernet Access Switches*. Obtenido de Cisco:
http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/me-3600x-series-ethernet-access-switches/data_sheet_c78-601946.pdf
- CNT EP. (2012). *Especificaciones Tecnicas Elementos Pasivos*. QUITO.
- CNT EP. (2016). *Corporación Nacional de Telecomunicaciones* . Obtenido de Planes Internet Banda Ancha Hogar:
<https://www.cnt.gob.ec/internet/plan/internet-banda-ancha-hogar/>
- Geekland. (2016). *Realizar un test adsl de nuestra conexión a Internet*. Obtenido de
<http://geekland.eu/test-adsl-de-nuestro-internet/>
- Heliotis, G., Dimos, L.-P., Kordoulis, I., & Agapiou, G. (3 de septiembre de 2013). *Performance and Limitations of VDSL2-based Next Generation Access Networks*. Obtenido de Biblioteka Nauki:
<http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-article-BATA-0019-0023>
- Herrera Pérez, E. (2004). *Introducción a las Telecomunicaciones Modernas*. Mexico, DF: LIMUSA S.A.
- Huawei Technologies Co., L. (2015). *SmartAX MA5600T/MA5603T/MA5608T Multi-service Access Module V800R016C00 Product Description*. Shenzhen.
- Huawei Technologies.Co.,Ltd. (2009). Huawei Electronic Documentation Explorer (HedEx). Shenzhen, Republic of China. Obtenido de <http://www.huawei.com>

- International Telecommunication Union. (03 de 08 de 2016). *G.993.2 : Very high speed digital subscriber line transceivers 2 (VDSL2)*. Obtenido de International Telecommunication Union: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.993.2-201501-I/en>
- International Telecommunication Union. (15 de 06 de 2015). *G.993.5: Self-FEXT cancelation (vectoring) for use with VDSL2 transceivers*. Obtenido de International Telecommunication Union: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.993.5-201501-I/en>
- ITU. (5 de 12 de 2014). *ITU*. Obtenido de http://www.itu.int/net/pressoffice/press_releases/2014/70-es.aspx#.Vpq5vCdxIW
- MINTEL. (30 de 08 de 2016). *PLAN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES Y TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN DEL ECUADOR 2016-2021* . Obtenido de MINISTERIO DE TELECOMUNICACIONES Y DE LA SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN: http://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2016/08/Libro_plan_tti_REGISTRO-OFFICIAL_30_AGOSTO.pdf
- Nokia. (2016). *7330 ISAM FTTN (ETSI)*. Obtenido de Nokia: <https://networks.nokia.com/products/7330-isam-fttn-etsi>
- Nokia. (2016). *7356 ISAM FTTB REM*. Obtenido de Nokia: <https://networks.nokia.com/products/7356-isam-fttb-remote-expansion-module-etsi>
- Nokia. (2016). *VDSL2 Vectoring*. Obtenido de Nokia: <https://networks.nokia.com/solutions/vdsl2-vectoring>
- Santos Gonzáles, M. (enero de 2014). *Sistemas Telemáticos*. Recuperado el 6 de Enero de 2016, de ProQuest ebrary: <http://bibliotecavirtual.ups.edu.ec:2051/lib/bibliotecaupssp/detail.action?docID=11038861&p00=red+troncal>
- Sendin Escalona, A. (Enero de 2008). *Tecnologías de acceso para las icts. el instalador, los servicios y las redes de telecomunicaciones*. Obtenido de ProQuest ebrary: <http://bibliotecavirtual.ups.edu.ec:2051/lib/bibliotecaupssp/detail.action?docID=11013343&p00=redes+acceso>
- SERCOP. (17 de 08 de 2015). *Información Proceso de Contratación*. Obtenido de Compras Publicas: <https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/infor>

macionProcesoContratacion2.cpe?idSoliCompra=Tx33JNFhBnZkUYLBq-
fmNZ6eed0m_cuurR3YVfpaJRU,

Silva, H. (2015). *Cinco tendencias de telecomunicaciones en América Latina para 2015*. Recuperado el 02 de 01 de 2016, de SearchDataCenter:
<http://searchdatacenter.techtargt.com/es/opinion/Cinco-tendencias-de-telecomunicaciones-en-America-Latina-para-2015>

Umek, A. (03 de 2012). <https://www.researchgate.net>. Obtenido de
https://www.researchgate.net/profile/Anton_Umek/publication/266288579_Next_Generation_Copper_Broadband_Access/links/555b575708aec5ac22322961.pdf