



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y
TELECOMUNICACIONES**

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO
ELECTRÓNICO**

TÍTULO:

**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LAS TECNOLOGÍAS FTTH Y HFC UTILIZADA
EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE SERVICIOS EN TELECOMUNICACIONES DE LA
EMPRESA TV NORTE, RADICADA EN EL MUNICIPIO DE PAMPLONA NORTE DE
SANTANDER**

Autor:

LIGIA ISABEL MAESTRE ROMERO

DIRECTOR:

**GERMAN A PORTILLA GONZÁLEZ
Ing. Electrónico**

PAMPLONA-COLOMBIA

DICIEMBRE DE 2019



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y
TELECOMUNICACIONES**

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO
ELECTRÓNICO**

TÍTULO:

**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LAS TECNOLOGÍAS FTTH Y HFC UTILIZADA
EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE SERVICIOS EN TELECOMUNICACIONES DE LA
EMPRESA TV NORTE, RADICADA EN EL MUNICIPIO DE PAMPLONA NORTE DE
SANTANDER**

Autor:

LIGIA ISABEL MAESTRE ROMERO

Director:

Ing. GERMAN A PORTILLA GONZÁLEZ

JURADO CALIFICADOR:

Ing. GERMAN ARLEY PORTILLA GONZALEZ

Ing. JOHRMAN DE JESÚS VIDES NIÑO

Ing. GUSTAVO A. QUIJADA MACUART

PAMPLONA-COLOMBIA

DICIEMBRE DE 2019

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y
TELECOMUNICACIONES**

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO
ELECTRÓNICO**

TEMA:

**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LAS TECNOLOGÍAS FTTH Y HFC UTILIZADA
EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE SERVICIOS EN TELECOMUNICACIONES DE LA
EMPRESA TV NORTE, RADICADA EN EL MUNICIPIO DE PAMPLONA NORTE DE
SANTANDER**

FECHA DE INICIO DEL TRABAJO: SEPTIEMBRE 2018

FECHA DE TERMINACION DEL TRABAJO: DICIEMBRE 2019

NOMBRES Y FIRMAS DE AUTORIZACIÓN PARA LA SUSTENTACION:

**LIGIA ISABEL MAESTRE ROMERO
AUTOR**

**Ing. GERMAN A. PORTILLA G.
DIRECTOR**

**Ing. José D. Ramírez Corzo
DIRECTOR DEL PROGRAMA**

JURADO CALIFICADOR:

Ing. GERMAN A. PORTILLA G.

Ing. JOHRMAN VIDES NIÑO

Ing. GUSTAVO A. QUIJADA MACUART

PAMPLONA N. S. COLOMBIA

DICIMEBRE DE 2019

DEDICATORIA

Este triunfo se lo dedico a mi padre, familiares y amigos que con todo el amor que me dieron, fueron la motivación y la fuerza necesarias para seguir adelante con mis objetivos que hoy estoy cumpliendo, por esa perseverancia que mantuve en cada momento de dificultad que me dio el soporte moral para saber lo que soy capaz de lograr y también agradezco a mis amigos, compañeros y docentes que de una u otra forma me apoyaron en el transcurso de mi formación como ingeniero electrónico y por último y no menos importante a Pamplona y la Universidad de Pamplona que me dieron la oportunidad de mostrar todo el potencial que tengo para ofrecerle a la sociedad.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a mi padre por ser mi guía, el que siempre estuvo en las buenas y en las malas en mi vida, a mis amigos, compañeros y docentes quienes me apoyaron en todo momento de victoria y fracasos que se presentaron en el transcurso de mi formación como profesional.

RESUMEN

La *FTTH* (Fibra Óptica Hasta la Casa) y *HFC* (Híbrido Fibra Óptica – Cable Coaxial) son dos tipos de *tecnologías* usadas para ofrecer los servicios de Telefonía, Televisión e *Internet*. El cual se basa en usar fibra óptica y cable coaxial adaptadores de distribución óptico para ofrecer los servicios triple-play.

Actualmente todas las empresas de telecomunicaciones buscan la forma de ofrecer a mayor cantidad de individuos sus servicios, dado que la gran cantidad de personas que los usan ha crecido tanto que buscan la forma más eficiente y de mejor calidad para suministrarlos, utilizando diferentes *métodos* y tecnologías, como son la *FTTH* y *HFC*. la empresa TVN Norte ubicada en Pamplona Norte de Santander no es exenta de esta necesidad y por eso buscan solventar todas sus demandas de manera eficaz, motivo por el cual han implementado las redes *FTTH* y *HFC* estableciendo un *servicio* para cada necesidad de clientes. Este proyecto consiste en hacer un estudio de las tecnologías aplicadas a esta empresa, compararlos y analizarlos teniendo en cuenta los parámetros y condiciones en las que se encuentran estos sistemas, por último, realizar las respectivas recomendaciones del servicio.

ABSTRACT

FTTH (Fiber Optic To The House) and HFC (Hybrid Fiber Optic - Coaxial Cable) are two types of technologies used to offer the services of Telephony, Television and Internet. Which is based on using fiber optic and coaxial cable optical distribution adapters to offer triple-play services.

Currently all telecommunications companies are looking for ways to offer more individuals their services, given that the large number of people who use them has grown so much that they seek the most efficient and best quality to provide them, using different methods and technologies, such as FTTH and HFC. The company TVN Norte located in Pamplona Norte de Santander is not exempt from this need and therefore seek to meet all their demands effectively, which is why they have implemented FTTH and HFC networks establishing a service for each customer need. This project consists of making a study of the technologies applied to this company, comparing them and analyzing them taking into account the parameters and conditions in which these systems are, finally, make the respective recommendations of the service.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del Problema	1
1.2. Justificación	2
1.3. Delimitación	3
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
1.3.3. Acotaciones.....	4
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Cable Coaxial	5
2.1.1. Características generales	6
2.1.2. Propagación de los cables coaxiales.....	6
2.1.3 Análisis de una red coaxial	6
2.2. Red HFC.....	7
2.2.1 Topología de red HFC.....	7
2.2.2 Simbología general de una red HFC	9
2.3. Fundamentos de la Fibra Óptica	9
2.3.1 Tipos de fibra	10
2.3.2 Propagación de la fibra óptica	10
2.3.3. Modelo geométrico.....	11
2.3.4. Modelo de guiaoanda óptica plana	11
2.3.5. Modelo óptica electromagnética	12
2.3.6. Degradación en la fibra óptica	12
2.3.7. Ventajas y desventajas de la fibra óptica frente al cable coaxial	14
2.4. Topologías de las redes.....	15
2.4.1. Punto a Punto	15
2.4.2. Topología en Bus	16
2.4.3. Topología en anillo.....	16
2.4.4. Topología de arbol.....	17
2.4.5. Topología Estrella	17
2.4.6. Topología Malla.....	18
2.4.7. Topología híbrida	19
2.5. PON y redes FTTH	20
2.5.1. Asignación de longitudes de onda ópticas	21
2.5.2. Redes PON	22
3. METODOLOGIA DEL TRABAJO	23
3.1. Red HFC.....	23
3.2. Red FTTH	33
3.2.1. Sectorización y distribución de la Red FTTH.....	36
3.2.2. Balance de Potencias	43
4. CONCLUSIONES	46
BIBLIOGRAFÍA.....	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1. Partes de un cable coaxial.....	6
Figura 2-2.Topología de red HFC.....	8
Figura 2-3.Simbología de red HFC.....	9
Figura 2-4. Fibra Monomodo.....	10
Figura 2-5. Fibra Multimodo.....	10
Figura 2-6. Reflexión interna: ley de Snell.....	11
Figura 2-7 Topología Punto a Punto.....	15
Figura 2-8 Topología De Bus:.....	16
Figura 2-9 Topología Árbol: Elaboración Propia.....	17
Figura 2-10 Topología Estrella:.....	18
Figura 2-11. Topología Malla.....	18
Figura 2-12 Topología Hibrida:.....	19
Figura 2-13. Tipos de FTTx Fuente: (Lopez, 2018).....	20
Figura 2-14 Banda de Refuerzo.....	22
Figura 3-1 Metodología detección de fallas red HFC.....	23
Figura 3-2. Diagrama de flujo inspecciones domiciliarias.....	26
Figura 3-3. Conexiones eléctricas en mal estado.....	27
Figura 3-4. Revisiones a TAP/Amplicador HFC.....	27
Figura 3-5. Mediciones JDSU.....	28
Figura 3-6. Datos tomados de revisiones.....	29
Figura 3-7. Daños encontrados en revisiones.....	30
Figura 3-8. Ancho de Banda por Usuario.....	32
Figura 3-9. Metodología para diseño de la red FTTHH, Barrio el Buque - Pamplona. Fuente: Elaboración propia.....	35
Figura 3-10. Sectorización del Municipio de Pamplona.....	37
Figura 3-11. MUFA GPON.....	38
Figura 3-12. Red de distribución FTTH. Barrio El Buque.....	39
Figura 3-13. Fibra PKP 12 Hilos.....	40
Figura 3-14 CTO 1.....	40
Figura 3-15. Area de Trabajo 1.....	41
Figura 3-16. MUFA 63/13 TVN Norte.....	42
Figura 3-17. MUFA 63/13 BRR Las Americas.....	42
Figura 3-18. Fibra usada.....	44
Figura 3-19. BDCOM GP1704-4F-E.....	44

LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1. Características generales de los cables coaxiales.	6
Tabla 2-2. Fibra óptica vs coaxial.	14
Tabla 2-3 Longitudes de Onda óptica	21
Tabla 2-4. Tipos de PON	22
Tabla 3-1. Numero de PQR radicadas de Marzo/2018 a Marzo/2019	24
Tabla 3-2. Distribución de PQR	24
Tabla 3-3. Tipos de daños encontrados.....	29
Tabla 3-4. Cablemódem con anomalías	31
Tabla 3-5. Valores de Perdidas.....	36
Tabla 3-6. Nomenclatura Cable FO	41
Tabla 3-7. Balance de Potencias.	43

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema.....	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Delimitación.....	3

1.1. Planteamiento del Problema

En la empresa TVN NORTE actualmente ubicada en Pamplona Norte de Santander como proveedores de Internet y Televisión. Cuenta con dos tecnologías para brindar conectividad a los abonados con este servicio las cuales son: FTTH y la HFC. La tecnología HFC se ha desbordado en su capacidad, es por esto que en la búsqueda de mejorar el servicio a los clientes, la empresa se ha visto obligada a buscar nuevas tecnologías como la FTTH, para tener el crecimiento empresarial esperado, Sin embargo, esta empresa ha seguido teniendo múltiples inconvenientes no solo con sus redes de internet sino también problemas de intermitencia y lentitud, por consiguiente a lo anterior surge un gran interrogante ¿Cómo se pueden mejorar el Internet y la televisión de esta empresa si después de haberse realizado varios cambios persisten los problemas? Dado lo anterior se hace necesario realizar un análisis estadístico descriptivo y comparativo, en donde se reflejen semejanzas y diferencias de las redes con respecto a unos parámetros establecidos, para que estos puedan redefinirse y así estas dos tecnologías puedan

coexistir en la infraestructura de la empresa brindando el mejor rendimiento a los distintos suscriptores de la misma.

1.2. Justificación

La calidad de un servicio de Internet adecuado para satisfacer la necesidades básicas de una población en términos de hobbies, laboral o estudio supone un gran paso para el desarrollo económico de un país, pues actualmente la economía TIC en Colombia participa con un 4.04% de PIB (MinTIC, 2019), cifra atractiva para un sector tecnológico donde los clientes son más exigentes cada día.

La entrada en vigencia de la Ley 1978 de 2019 supone que la Superintendencia de Industria y Comercio será quien vigilará todas las quejas y reclamaciones de los servicios de Internet (FuncionPublica, 2019), así los usuarios contarán con un apoyo gubernamental para exigir a los proveedores de servicios de internet un servicio de calidad. El número de conexiones en Colombia ha aumentado considerablemente en los últimos 10 años, pasando de 5 millones de conexiones banda ancha a más de 30 millones de conexiones banda ancha (FuncionPublica, 2019), donde los operadores sin duda deben estar en una constante actualización tecnológica para garantizar a sus usuarios un servicio competitivo, estable y seguro, además de cumplir con niveles bajos de quejas de los usuarios.

La empresa TV Norte Ubicada en la ciudad de Pamplona, es un proveedor de servicio de Internet (ISP) con presencia en varias ciudades de Colombia, actualmente lleva un plan ambicioso para ampliar la cobertura de sus servicios pues los requerimientos nacionales dispuestos por la CRC en su resolución 5161 de 2017 donde se redefine el concepto de banda ancha en Colombia (CRC, 2017) forzan a esta empresa a actualizarse para cumplir con los términos de ley. A partir del 1 enero de 2019 ningún proveedor de Internet de telecomunicaciones podrá

vender/ofrecer este servicio con la etiqueta “banda ancha” a menos que supere los 25Mbps de bajada y 5 Mbps de subida. La empresa TVN Norte en pro de sus intereses comerciales y legales debe realizar una actualización importante a su red de distribución para cumplir con estas nuevas exigencias gubernamentales, donde se permita a los usuarios navegar con alta velocidad a además de bajar el nivel de quejas para someterse a la Ley 1978 de 2019 inicialmente planteada.

1.3. Delimitación

1.3.1. Objetivo General

Comparar las tecnologías FTTH y HFC mediante la caracterización y el análisis estadístico descriptivo de los datos de la red de distribución de servicios en telecomunicaciones de la empresa TVN Norte en Pamplona Norte de Santander para que estas puedan coexistir de la mejor manera y así contribuir al mejoramiento del servicio de sus abonados.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar las ventajas y desventajas de manera experimental y documental de las tecnologías FTTH y HFC en la empresa TVN Norte Pamplona Norte de Santander.
- Diagnosticar mediante la estadística descriptiva la eficiencia de ambas tecnologías, aplicada a funciones específica de abonados corporativos y domiciliarios.
- Realizar un diseño de red en el barrio El Buque Pamplona Norte de Santander en donde ejemplifique la utilización óptima de estas tecnologías, teniendo en

cuenta un muestreo poblacional y así mantener calidad del servicio de sus clientes.

- Recomendar cambios pertinentes, para el uso adecuado de estas tecnologías aplicadas en la ciudad de Pamplona.

1.3.3. Acotaciones

El presente trabajo de grado pertenece a la modalidad práctica empresarial por lo que supone que los objetivos ejecutados son deben ser implementados por la empresa contratante (TVN Norte) durante la pasantía, su ejecución depende exclusivamente de la empresa ya que nuestra labor es del tipo asesoría además de ejecuciones técnicas propias de este trabajo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Cable Coaxial.....	5
2.2. Red HFC.....	7
2.3. Fundamentos de la Fibra Óptica.....	9
2.4. Topologías de las redes.....	15
2.5. PON y redes FTTX.....	20

Para entrar contexto acerca de trabajo se definirán algunos aspectos generales, los elementos tanto pasivos como activos que conforman las redes de transmisión, de igual manera las características y definiciones de las redes HFC y FTTH de la empresa TVN Norte además se hará un estudio acerca de los estándares de estas dos redes y las formas de propagación que se genera sobre la fibra óptica y el cable coaxial para utilizarlo como bases para el desarrollo de este trabajo.

2.1. Cable Coaxial

Según un artículo publicado por el grupo Novelec “el **cable coaxial** tiene como función transportar la señal de RF. Estas señales van desde las antenas hasta los **receptores**, pudiendo pasar por **amplificadores**, **repartidores** y **tomas de televisión** entre otros elementos, esto sucede tanto para TDT como satélite” (Grupo Novelec, 2018, pág. 1). El cable coaxial es un elemento pasivo por el cual se trasmite y reciben señales eléctricas. Está formado por un cable de conductor, un aislante un conductor trenzado y una superficie externa de plástico. A continuación en la Figura 2-1 las partes de un cable coaxial.

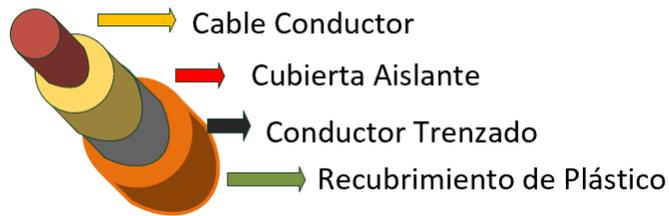


Figura 2-1. Partes de un cable coaxial.
Fuente: (Martinez J. S., 2017)

2.1.1. Características generales

En la Tabla 2-1 se muestran las características más redundantes de los cables coaxiales.

Tabla 2-1. Características generales de los cables coaxiales.
Adaptado de: (Caiza, 2016)

Impedancia característica	50, 75 y 93Ω
Frecuencia de trabajo	100KHz a 3000MHz
Atenuación máxima	1 a varios cientos de dB/100m

2.1.2. Propagación de los cables coaxiales

La velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas en el espacio libre es la misma de la velocidad de la luz sin embargo en un cable la velocidad es mucho menor por efectos de tiempo y carga. Por otro lado, este cable permite dos tipos de transmisiones en su interior transmisión en banda ancha o en banda base. (Perez, Diseño comparativos de redes HFC y FTTh, 2014, pág. 14)

2.1.3 Análisis de una red coaxial

Al transmitir por cable coaxial puede llegar al punto en que la señal se debilite, para ello se puede usar elementos activos como son los amplificadores, estos sirven para mejorar el alcance de la señal, el problema es que estos amplificadores

aumentan el factor de ruido es decir provoca modulaciones por amplitud y frecuencias diferentes a las deseadas. (Abreu, y otros, 2009). La atenuación es uno de los parámetros más importantes de cable coaxial ya que entre mayor sea la distancia del cable menor es la potencia que se transmite por el mismo.

2.2. Red HFC

Para entender lo que es HFC es necesario definir sus abreviaturas en ingles que significa hibrido entre fibra óptica y cable coaxial. Esta red nos permite tener acceso a internet de banda ancha, la fibra óptica proporciona velocidad. además, los costes de instalación son mínimos si se compara con las instalaciones ft, y nos ayuda a cubrir grandes distancias. El cable coaxial nos ofrece un ancho de banda considerable.

2.2.1 Topología de red HFC

Las topologías de red en HFC no es más que los diagramas o figuras en las que se presentan o diseñan una red, Estas se han definido de acuerdo a unos parámetros o características del terreno en que se desarrolla la misma. (Milan, Ina, & Cica, 2017). Los elementos principales de una topología de red HFC se muestran en la Figura 2-2

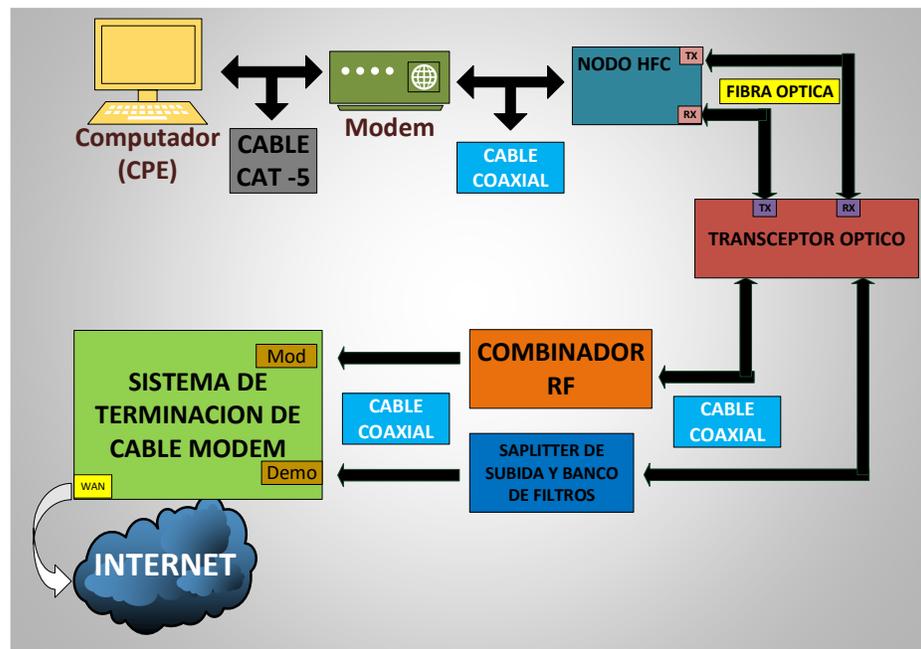


Figura 2-2. Topología de red HFC.
Adaptada de: (Caiza, 2016)

Partes de la red HFC (Carranza & Yosmin, 2017) :

- a) **Cabecera:** se refiere al lugar donde se recibe la señal satelital, se ejecutan y se modulan para ser combinadas y enviadas a los distintos nodos en una red.
- b) **Hub:** es la interfaz que sirve como sitio de recepción de señal descendiente de la cabecera y distribuida hacia los distintos nodos
- c) **Nodos HFC:** Es un dispositivo electrónico cuya función principal es tomar las señales analógicas (frecuencias) que vienen por el cable coaxial de la cabecera y las convierte en señales digitales, estas a su vez son transmitidos a un cable de fibra óptica
- d) **Nodos de fibra (nodos locales):** son dispositivos intermedios de red, que esencialmente amplifican y distribuyen la señal.
- e) **Terminal de red óptica (TRO), conversor fibra-coaxial:** realiza la conversión electro-óptica, procesa la señal ascendente para su transmisión al nodo local.
- f) **CMTS:** Sistema de Terminación de Cable módems. Es un equipo que regularmente se encuentra la cabecera y se utiliza para proporcionar servicios de datos de alta velocidad, como Internet por cable o Voz sobre IP, a los abonados.

Para entender lo que es un CMTS se puede pensar en un router con conexiones Ethernet en un extremo y conexiones RF (radiofrecuencia) coaxiales en el otro. La interfaz RF transporta las señales de RF hacia y desde el cablemódem del abonado.

2.2.2 Simbología general de una red HFC

En la Figura 2-3 se observa las simbologías generalmente usadas para las redes HFC.

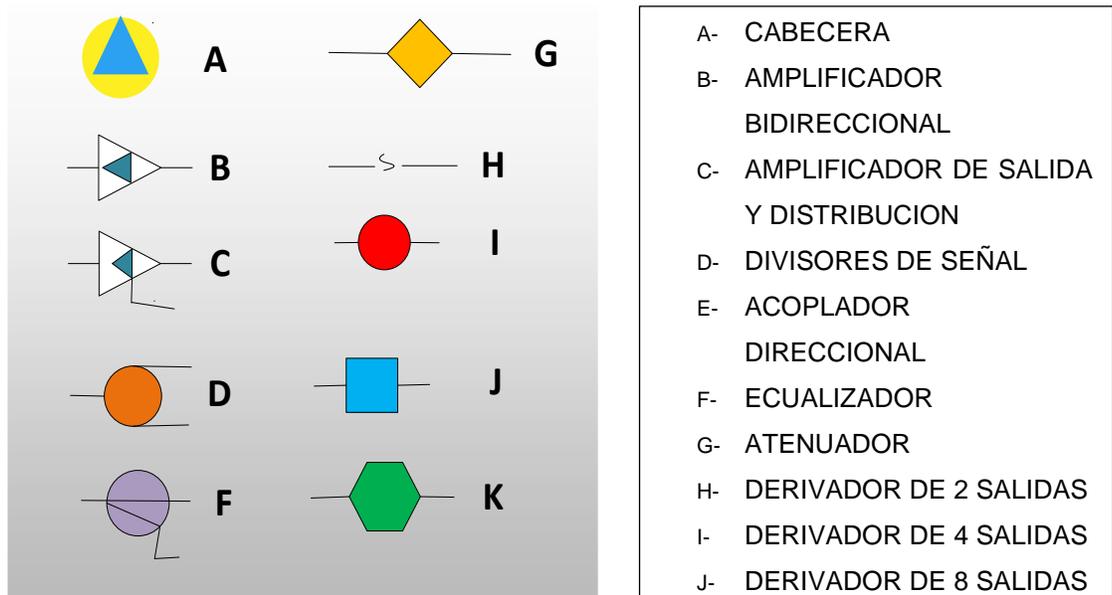


Figura 2-3. Simbología de red HFC
Fuente: (Martinez J. S., 2017)

2.3. Fundamentos de la Fibra Óptica

La fibra óptica está definida por mucho autor como un filamento de material dieléctrico, como el vidrio o los polímeros acrílicos, capaz de conducir y transmitir impulsos luminosos de uno a otro de sus extremos; permite la transmisión de comunicaciones telefónicas, de televisión e internet, a gran velocidad y distancia, sin necesidad de utilizar señales eléctricas.

2.3.1 Tipos de fibra

La fibra se puede clasificar de acuerdo al modo de propagación del haz de luz en dos tipos monomodo y multimodo. Si es monomodo la forma de incidencia de la luz es directa es decir cómo se ilustra en la Figura 2-4 además el diámetro del núcleo es pequeño de unos $10\mu\text{m}$ y solo se propaga en forma paralela al eje de la fibra, esta permite alcanzar distancias hasta de 100km y transmitir mucha información hasta de 10Gbps. (Martinez E. D., 2016)

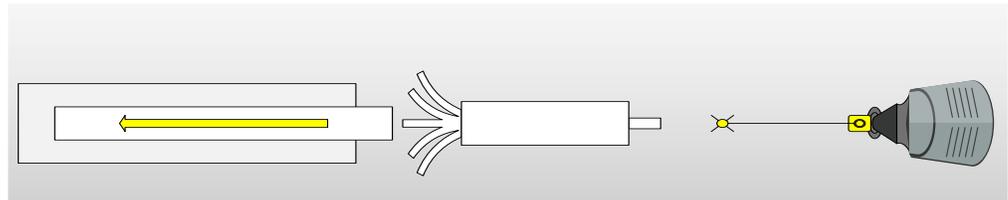


Figura 2-4. **Fibra Monomodo**
Fuente: Elaboración propia

Si es multimodo como se muestra en la Figura 2-5 forma de incidencia de la luz es variada es decir puede tomar más de un camino o modo, esto quiere decir que no llegan todos a la vez, esto concibe con que el ancho de banda sea menor que el de las fibras mono modo, este tipo de fibra se utiliza casi siempre en aplicación de poca distancia y pueden alcanzar hasta de 10 km.

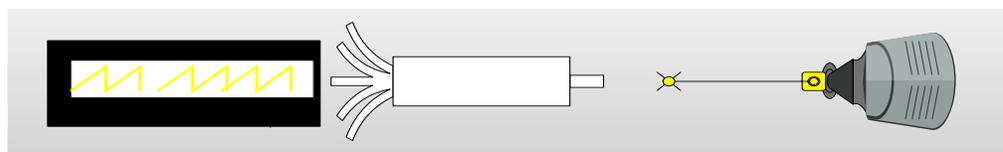


Figura 2-5. **Fibra Multimodo.**
Fuente: Elaboración propia

2.3.2 Propagación de la fibra óptica

Para entender el comportamiento interior de la fibra óptica, es necesario dar un vistazo a los modelos propuestos los cuales se usaron para entender este proceso. Existen 3 modelos de propagación de la fibra. El modelo geométrico, guía de onda óptica plana y

óptica electromagnética. Dependiendo del tipo de fibra que usemos un modelo será más usado que otro.

2.3.3. Modelo geométrico

En este modelo se aplica solo para fibras multimodo, dado la forma como se propaga la luz ya que este se basa en los fenómenos de reflexión, refracción y la ley de Snell, donde se indican el comportamiento de los pulsos luminosos a través del núcleo de la fibra. Para que se cumpla la ley de reflexión total, se necesita que la entrada de luz en la fibra deberá hacerse con un ángulo mayor al ángulo crítico correspondiente a la fibra en cuestión. (Perez, Diseño y Comparativas de Redes HFC y FTTH, 2014, pág. 19) n. Como se puede observar en la siguiente Figura 2-6

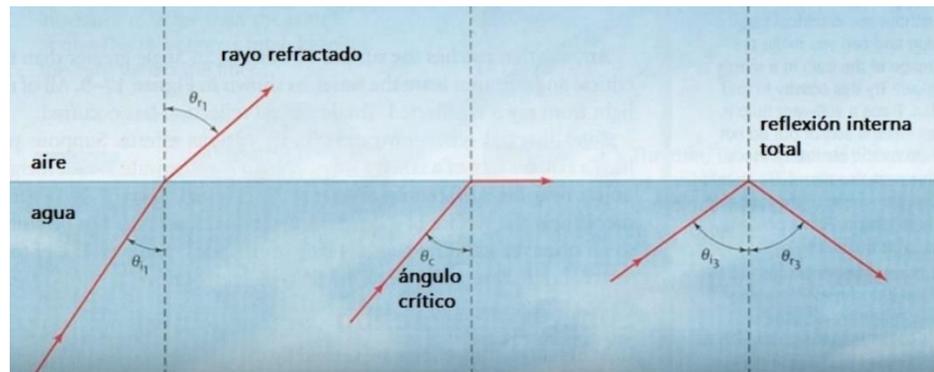


Figura 2-6. **Reflexión interna: ley de Snell.**
Recuperado: (Carrillo, 2017)

Debido a la figura anterior tenemos lo que se conoce como cono de aceptación o reflexión interna total el cual nos indica cuando la luz que pasa dentro de la fibra llega al final de la misma es decir entre mayor sea el cono menos perdidas se tendrá por reflexión ya que entre mayor cantidad de reflexiones hay se perderá la calidad por lo explicado anteriormente en los tipos de fibra.

2.3.4. Modelo de guíaonda óptica plana

Si se estudian los pulsos como ondas planas electromagnéticas, observamos que para que se produzcan propagaciones deben darse las condiciones: Reflexión

total interna y resonancia transversal la reflexión total interna se ha revisado anteriormente. La resonancia trasversal dice que para que las ondas se propaguen debe haber una interferencia es decir debe producirse en el interior del núcleo una interferencia constructiva de diferentes reflexiones. De esta manera teniendo en cuenta lo anterior y cumpliéndose las condiciones (ángulo de incidencia) adecuadas incluyendo la reflexión total interna se puede decir que las señales llegasen al final de la fibra.

2.3.5. Modelo óptica electromagnética

En este modelo se referirá como se propaga la luz mediante las ecuaciones de maxwell en un modo se define como una distribución de campo electromagnético estacionario transversalmente y progresivo longitudinalmente. Resolviendo el componente axial se obtendrán el resto de ecuaciones. Para este modelo se propone que la luz se propaga en forma de dos ondas vectoriales mutuamente conectadas una onda para el campo magnético y otra para el campo eléctrico. Una de las conclusiones más relevantes de este modelo es que siempre existe una forma de propagación de la onda y que el resto de los modos puede depender de valor de la frecuencia adimensional correspondiente. (Perez, Diseño y Comparativas de Redes HFC y FTTH, 2014)

2.3.6. Degradación en la fibra óptica

Cuando se habla de degradación de la fibra óptica se refiere a la atenuación y dispersión que producen los pulsos luminosos mientras se propaga, a continuación, se hablara de los más importantes de la atenuación ya se había mencionado anteriormente.

Dispersión:

Es un proceso mediante el cual se produce una deformación del ancho de pulso luminoso, la deformación puede producirse en un solo nodo como en varios de ellos. Existen dos grandes grupos de dispersión intramodal o intermodal.

Dispersión intermodal:

Existe cuando hay diferentes velocidades de propagación de la luz en el núcleo y no llegan a la vez al final de la fibra provocando que el pulso luminoso se ensanche, dado que cada nodo entra con ángulos diferente, unos tendrán más reflexiones que otros es decir tendrán más camino por recorrer. La Ecuación (2-1) que representa esta dispersión es la siguiente:

$$\frac{\tau_{inter}}{L} = \frac{\Delta n^2}{c_0} \left(\frac{d(Vb)}{d(V)_{max}} - \frac{d(Vb)}{d(V)_{min}} \right) \quad (2-1)$$

Donde:

L es la longitud de la fibra

Δ el salto del índice adimensional

$d(V)$ La constante adimensional de propagación

Dispersión cromática de guía

Esto es debido a la no linealidad de la constante de propagación $\beta(\omega)$ respecto de la pulsación ω . Para esta dispersión, suponemos que los índices de refracción son constantes en el núcleo y en la corteza. Al depender la constantes de propagación de la pulsación, observamos que el grado de confinamiento en el núcleo es mayor, cuanto mayor sea la pulsación, por tanto, los tiempos de propagación de los paquetes de ondas cambiarán con la frecuencia. Como el pulso tendrá un ancho de banda definido, este se verá afectado por esto, por lo que se deformará. Si definimos la longitud de onda de trabajo y la anchura espectral, haciendo uso de las tablas de $b(V)$, entonces se define como se observa en Ecuación (2-2):

$$\frac{\tau_{inter}}{L} = \frac{\Delta n_2 \Delta_2}{c_0 \lambda_0} \left[\frac{d^2(Vb)}{d(V)_{max}} \right] V_0 = \Delta_\lambda D_G \quad (2-2)$$

ecu

Dispersión cromática del material

Esta dispersión se produce debido a que el índice de refracción, a lo largo de la fibra, no es constante, sino que también depende de la pulsación, $n(\omega)$, lo cual provoca, de nuevo, otra no linealidad en la constante de propagación $\beta(\omega)$. Ahora, para su cálculo, evaluamos las velocidades de grupo, ya que cada componente, dentro de la anchura espectral viaja a diferente velocidad de grupo, lo cual provoca la dispersión de material. La Ecuación (3-2) correspondiente para el cálculo es:

$$\frac{\tau_{inter}}{L} = \frac{c_0}{\lambda_0} \left[\frac{d^2 n(\lambda)}{d\lambda} \right]_{\lambda_0} \Delta_\lambda = \Delta_\lambda D_G \quad (2-3)$$

Dispersión de polarización

Esta dispersión viene asociada a los campos electromagnéticos propagados en el interior. En una fibra monomodo perfecta, el modo fundamental es, en realidad, dos modos ortogonales degenerados. Esta dispersión siempre es inferior a las demás, del orden de $0.1 - 2 \text{pskm}^{\frac{1}{2}}$, por lo que no suele ser muy contabilizada en los cálculos.

2.3.7. Ventajas y desventajas de la fibra óptica frente al cable coaxial

Esencialmente, la fibra óptica como un medio guiado que transmite las señales de un dispositivo a otro en forma de luz (forma óptica). Mientras que el cable coaxial transmite las señales en forma eléctrica. En la Tabla 2-2 se resumen una comparativa entre estos medios de transmisión guiados.

Tabla 2-2. **Fibra óptica vs coaxial.**

Fuente: Elaboración Propia

CARACTERÍSTICA	FIBRA ÓPTICA	CABLE COAXIAL
General	La transmisión de la señal es en forma óptica (forma de luz).	La transmisión de la señal se realiza en forma eléctrica.

Composición del cable	Vidrio y plásticos	Plástico, lámina metálica y alambre metálico (normalmente cobre).
Pérdidas en el cable	Dispersión, flexión, absorción y atenuación.	Pérdida resistiva, radiada y dieléctrica.
Eficiencia	Alta	Baja
Coste a corto plazo	Altamente costoso	Barato
Efecto de curvatura	Puede afectar a la transmisión de la señal.	La curvatura del alambre no afecta a la transmisión de la señal.
Velocidad de transmisión de datos	2 Gbps	44.736 Mbps
Instalación del cable	Complejo	Fácil
Ancho de banda proporcionado	Muy alto	Moderadamente alto
Campo magnético externo	No afecta al cable	Afecta al cable
Inmunidad al ruido	Alto	Intermedio
Diámetro del cable	Muy pequeño	Grande
Peso del cable	Más ligero	más pesado

2.4. Topologías de las redes

La topología de red se refiere a la forma que esta toma al hacer un diagrama del medio físico de transmisión y los dispositivos usados para generar la señal.

Existen 8 tipos de topología y son las siguientes:

2.4.1. Punto a Punto

Es la más simple de todas las topologías consiste en mantener un enlace permanente entre dos puntos como se observa en la Figura 2-7



Figura 2-7 Topología Punto a Punto.
Elaboración propia

2.4.2. Topología en Bus

Es una topología punto a punto pero el usuario inicial puede estar comunicado permanentemente con dos puntos finales como se evidencia en la Figura 2-8.

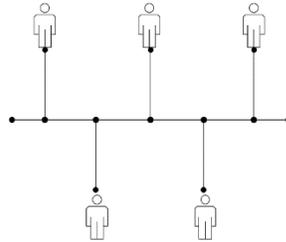


Figura 2-8 Topología De Bus:
Elaboración Propia

2.4.3. Topología en anillo

Esta topología tiene forma de anillo completamente cerrado conformado por nodos y enlaces en donde cada nodo tendrá una sola entrada y una sola salida estará conectado por dos nodos adyacentes así evitará los fallos por colisión.

Ventajas:

- Igual acceso a la información para todos los nodos y computadoras
- El rendimiento se mantiene por más que varios nodos funcionen al mismo tiempo.
- Arquitectura de mucha solidez.

Desventajas:

- Difícil de diagnosticar fallos pero sobre todo repararlos.
- Las estaciones intermedias a un envío de archivos podrán ver el paquete ya que obligatoriamente tendrán que pasar por ellas.
- Transmisión lenta.

2.4.4. Topología de arbol

Es similar a topología estrella solo que esta no cuenta con un nodo central en vez de los anterior hay un nodo de enlace troncal desde donde se ramifica a otros nodos, es una variacion de la red bus con la diferencia de que si falla uno de los nodos no se daña la red completa. Lo anterior se puede ilustrar en la Figura 2-9

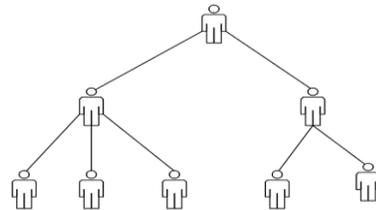


Figura 2-9 Topología Árbol: Elaboración Propia

Ventajas:

- Mayor rapidez y facilidad para resolver problemas.

Desventajas:

- Se requiere mucho cableado y algo costosa
- Si falla el segmento de la red troncal toda la red caera
- Si se daña uno de los nodos todos los que esten conectados a ese nodo tambien caeran.

2.4.5. Topología Estrella

Como se muestra en la Figura 2-10 se encarga de reducir las posibilidad de daño en la red conectando todos los nodos alrededor de un nodo central esta reenvia toda la informacion recibida de cualquier nodo periferico a todos los nodos perifericos de la red.

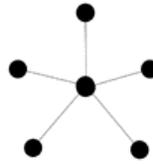


Figura 2-10 Topología Estrella:
Elaboración Propia

Ventajas:

- Se pueden agregar nuevos equipos fácilmente
- Centraliza la red
- Fácil de encontrar fallas
- Posee una configuración rápida

Desventajas:

- Si falla el nodo central toda la red caerá
- Es costosa porque requiere más cableado que la topología anillo

2.4.6. Topología Malla

En esta topología cada nodo se encuentra unido a todos los demás nodos, lo que también con lleva a que un nodo puede llevar o recibir información de otro nodo por diferentes caminos, es decir que no debería haber ninguna interrupción en la comunicación si se encuentra armada correctamente. Esta topología se ilustra en la Figura 2-11

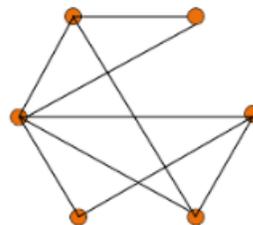


Figura 2-11. Topología Malla.
Elaboración Propia

Ventajas:

- Reduce el riesgo de fallos
- La caída de uno de los nodos no implica fallos en toda la red.

Desventajas:

- Muy costosa ya que conectar todos los nodos requiere una gran cantidad de recursos tanto material, como humano.

2.4.7. Topología híbrida

En este caso la se permite combinar diferentes topologías de red para combinarse entre sí como se muestra en la Figura 2-12. Esta es la más usada y apropiada dependiendo de las necesidades de cada cliente.

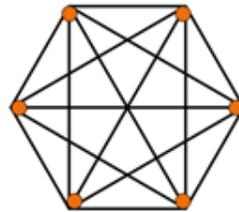


Figura 2-12 Topología Híbrida:
Elaboración Propia

Ventajas:

- Adaptado a las necesidades de cada cliente.
- Permite a futuro generar ampliaciones de red

Desventajas

- Es muy costosa ya que requiere dispositivos de adaptación entre diferentes redes.
- Muy laboriosa ya que requiere mayor tiempo de diseño e implementación. (Lopez, 2018)

2.5. PON y redes FTTx

Las redes pon las cuales son capaces de proporcionar los servicios con menos interferencias debidas al ruido y con un mayor ancho de banda, consiguiendo una mejora en la calidad de los productos, una reducción de costes y un aumento en la rapidez del servicio entregado al usuario. Las principales usuarias de la tecnología Pon son las redes de FTTx. (Lopez, 2018)

La ubicación de la ONU nos indica que tipo de red estamos usando si la red está ubicada en el hogar se dice que la red es FTTH si la red está ubicada en la oficina se dice que es una red FTTO si la red está ubicada en la acometida del edificio se dice que es una red FTTB y si esta ubicada en el nodo se dice que es una red FTTN. A continuación, se muestra una arquitectura integral de la red PON y se identifica la 'x' en 'FTTx'. En ella se muestran cuatro redes FTTx diferentes; para simplificar, se les muestra originándose en la misma OLT.

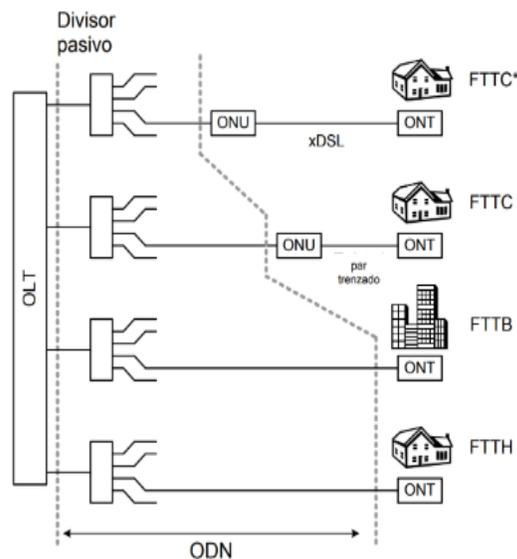


Figura 2-13. Tipos de FTTx

Fuente: (Lopez, 2018)

Los elementos básicos para cualquier red pon son los siguientes:

- La OAN por sus siglas en ingles red de acceso óptico, es un conjunto de enlaces de acceso.

-
- La OLT terminaciones de línea Óptica es la interfaz entre la OAN y las ODN
 - La ODN red de distribución óptica es la encargada de brindar comunicación entre la OLT Y el usuario.
 - El divisor óptico o splitter se encarga de dividir la señal óptica y retransmitirla sin necesidad de alimentación.
 - La ONU unidad de red óptica en la que se encarga de entregar la señal que viene de la OAN y la ODN al usuario final

2.5.1. Asignación de longitudes de onda ópticas

Las bandas ópticas permitidas para los diversos tipos de tráfico PON están definidas en la Recomendación G.983.wdm de la UIT, y son resumidas en la siguiente Tabla 2-3.

Tabla 2-3 Longitudes de Onda óptica

Rango de longitudes de onda	Propósito
1260 -1360 nm	Trafico digital ascendente
1480 - 1500 nm	Trafico digital descendente
1539 - 1565 nm	Banda de refuerzo 1(Trafico digital adicional)
1550 – 1566 nm	Banda de refuerzo 2 (Distribución de video)

Se muestran estas bandas en forma esquemática en la siguiente Figura 2-14. Sólo se describe la Banda de refuerzo de video.

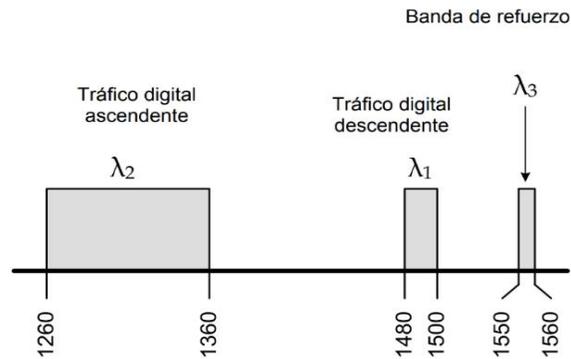


Figura 2-14 Banda de Refuerzo

2.5.2. Redes PON

Varios tipos de Redes pasivas ópticas son tema de normas existentes o propuestas. La Tipos de PON ofrece una lista de las características clave, y referencias a las normas pertinentes. Las 'velocidades de los datos' son las velocidades de transmisión (no velocidades de transferencia de información) para el tráfico descendente y ascendente en las longitudes de onda λ_1 y λ_2 .

Tabla 2-4. Tipos de PON

NOMBRE	NORMA	VELOCIDAD DE DATOS	
		DESCENDENTES	ASCENDENTES
APON	UIT.T REC.G.983	155 Mbps	155 Mbps
BPON	UIT.T REC.G.983	155 Mbps	155 Mbps
EPON	I.EEE 802.Eah	1.25 Gbps	1.25 Gbps
GPON	UIT.T REC.G.984	1.244 Gbps 2.488 Gbps	155 Mbps
			622 Mbps
			1.25 Gbps
			2.488 Gbps

3. METODOLOGIA DEL TRABAJO

En este capítulo se muestra de forma detalla la metodología ejecutada en el estudio comparativo de las tecnologías HFC y FTTH implementadas en la red de distribución de la empresa TVN Norte. Para ello, se mostrará en dos partes, la primera tratará sobre la implementación actual de la tecnología HFC donde se analiza la caracterización del servicio e incidencia de quejas por daños presentados en la red; en la segunda parte se demostrará como la tecnología FTTH con soporte de estándares GPON puede ayudar a la empresa a lograr sus objetivos comerciales y una satisfacción apropiada al usuario final.

3.1. Red HFC

La realización de este entorno de análisis de incidencias de fallos requiere que la puesta en marcha de un sistema de monitoreo, este sistema será implementado en bases a las visitas técnicas realizadas a los domicilios de los usuarios además de las soluciones planteadas.

Para casos generales se siguen la siguiente metodología de ejecución:

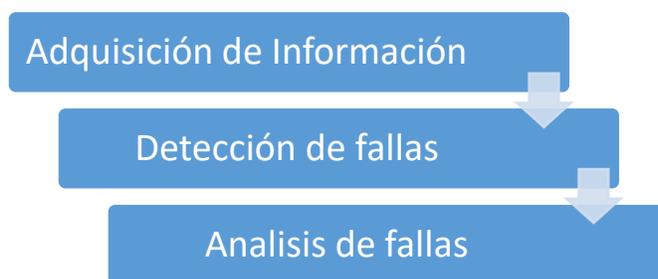


Figura 3-1 Metodología detección de fallas red HFC

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 3.1. RED HFC

A continuación se ahondará en cada uno de los ítems para especificar sus funciones.

3.1.1. Adquisición de Información

Los usuarios de la empresa TVN Norte cuenta con varios canales de atención donde pueden radicar sus PQR (Peticiones, Quejas y Reclamaciones) en conformidad de las regulaciones de protección de la Superintendencia de Industria y Comercio. En la Tabla 3-1 se muestra el número de PQR establecidas por los usuarios de acuerdo al canal de atención desde marzo 2018 a marzo 2019.

Tabla 3-1. Numero de PQR radicadas de Marzo/2018 a Marzo/2019

Canal de atención y/o recepción de PQR	Número de PQR
Correo Electrónico	15
Redes Sociales	65
Teléfono	42
Presencial	108
TOTAL	230

A partir de los indicadores de la Tabla 3-1 es posible determinar cómo están distribuidos los PQR recibidos por la empresa. En la Tabla 3-2 se puede observar que cerca de 53,52% (27.68%+25.84%) de las PQR recibidas tiene incidencias en el servicio de Internet.

Tabla 3-2. Distribución de PQR

TIPOS DE PQR	PORCENTAJE
No disponibilidad del servicio de Internet	5.81%
Servicio de Internet intermitente	27.68%
Señal de TV deficiente o no presente	4.53%

CAPÍTULO 3.1. RED HFC

Servicio de Internet ralentizado	25.84
Otros (solicitudes de cambio de titular, cancelaciones de servicio, suspensión del servicio por vacaciones)	36.14%
TOTAL	100%

3.1.2. Detección de Fallas

Una vez recibida la PQR, un equipo de talento humano de la empresa TVN Norte se dirige al domicilio para realizar la inspección técnica, la cual tiene como objetivo principal detectar la falla por la cual el servicio presenta problemas. La empresa TVN Norte instruye a su personal técnico a seguir el siguiente diagrama de flujo para la detección de fallas:

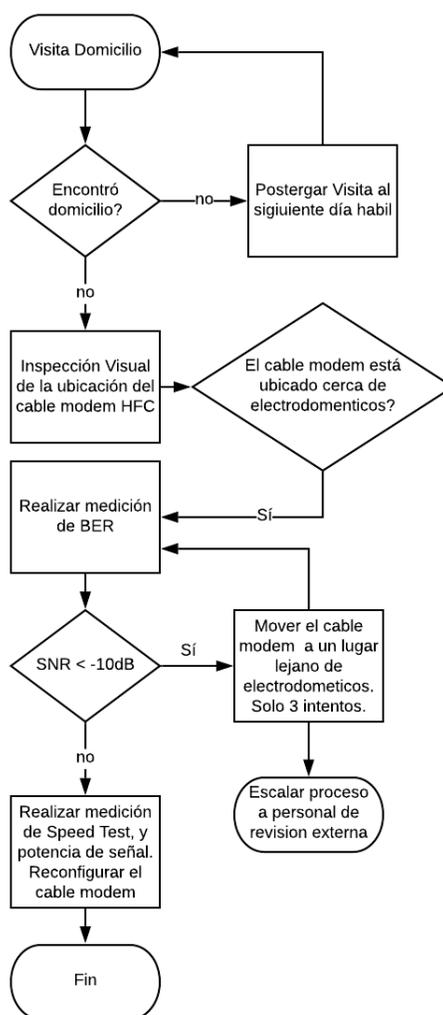


Figura 3-2. Diagrama de flujo inspecciones domiciliarias
Fuente: Elaboración propia

Es reincidente en los usuarios que las conexiones eléctricas no estén con la normativa, por ejemplo, en la Figura 3-3 las uniones realizadas por personal no capacitado inciden al mal funcionamiento del cablemodem de HFC.



Figura 3-3. Conexiones eléctricas en mal estado
Fuente: Elaboración propia

Si el problema persiste, la asignación de la actividad de reparación es destinada a un equipo de talento humano con las habilidades para trabajo en altura para la revisión de los puntos TAP, generalmente instalados en la infraestructura de los servicios de energía eléctrica como se observa en la Figura 3-4.

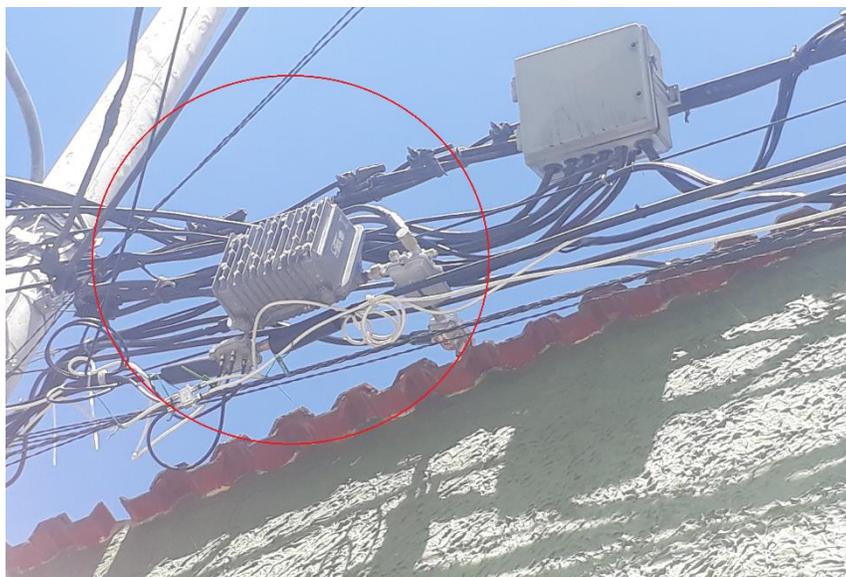


Figura 3-4. Revisiones a TAP/Amplificador HFC
Fuente: Elaboración propia

En el TAP y en el amplificador de RF se busca ajustar la potencia de señal, variando la potencia por cada canal de TV y asegurando el canal de recepción para los datos de baja y subida del internet. Para medir los parámetros más importantes se cuenta con un medidor JDSU DSAM – 3300 para compatible con el estándar

DOCSIS/EuroDOCSIS. En la Figura 3-4 se observa las mediciones realizadas al canal de TV 119 y los enlaces descendentes y ascendentes de Internet.

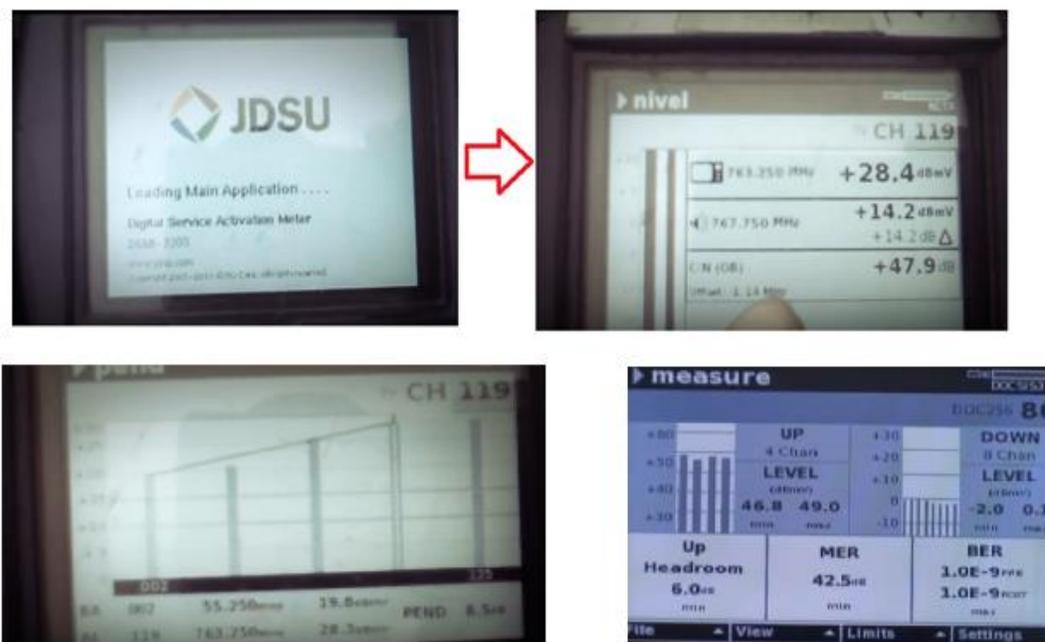


Figura 3-5. Mediciones JDSU
Fuente: Elaboración propia

3.1.3. Análisis de Fallas

En la empresa TVN Norte se ha hecho la siguiente toma de datos, con el fin de clarificar las ventajas y desventajas de la tecnología HFC el cual se encuentran funcionando en esta empresa, en estos datos se destacarán algunos problemas tanto de funcionamiento interno como por parte del abonado, los cuales han ocasionado problemas de intermitencia y de lentitud. En la siguiente Figura 3-6 se muestra levemente el tipo de datos que se tomaron en la empresa.

CAPÍTULO 3.1. RED HFC

BARRIO	CONEXIÓN A T	EXTENSION	TV Y NEVERA ESPLITTER	MALA CONECCION	ALCANCE DE	CM DAÑADO	SE ENCONTRÓ	FUNCIONANDO BIEN	MANIPULACION	ANCHO DE BANDA	REVISAR TAP	CMT	TARJETA	MEGAS	TIPO DE CM
1 BARRIO															
2 LAS AMERICAS	1	1	1			1						CMTC1	413 2M		CISCO
10 FLORIAN								1				CMTC1	513 4M		CISCO
11 EL CARMEN				1								CMTC1	411 4M		CISCO
13 CAMPO AMOR								1				CMTC1	402 4M		CISCO
14 CONIUNTO ALMEYDA		1					1					CMTC1	601 4M		NETGEAR
15 CONIUNTO ALMEIDA		1				1		1				CMTC1	601 4M		CISCO
16 EL BUQUE							1					CMTC1	413 4M		NETGEAR
18 GALAN								1				CMTC1	402 4M		NETGEAR
19 GALAN			1	1		1						CMTC1	402 2M		NETGEAR
20 LOS TRECE		1				1						CMTC1	308 4M		CISCO
21 LOS TRECE								1				CMTC1	601 2M		NETGEAR
23 CASETAS ALMEYDA							1					CMTC1	610 6M		CISCO
24 E.D PLAZUELA M	1		1									CMTC1	610 4M		NETGEAR
25 ORILLA DEL RIO								1				CMTC1	102N	2M	CISCO
28 LA ESPERANZA	1	1										CMTC1	603 2M		NETGEAR
29 LA ESPERANZA						1						CMTC1	612 4M		NETGEAR
30 LA ESPERANZA						1						CMTC1	612 4M		NETGEAR
32 SAN AGUSTIN			1			1						CMTC1	311 2M		CISCO
33 SAN AGUSTIN			1									CMTC1	312 2M		CISCO
34 SAN AGUSTIN		1				1						CMTC1	312 2M		NETGEAR
35 CHAPINERO												CMTC1	500 2M		NETGEAR
38 SAUCES								1				CMTC1	603 2M		NETGEAR
41 JUAN 23							1					CMTC1	312 4M		NETGEAR
44 JUAN 23												CMTC1	312		CISCO
48 LA ROMERO	1		1									CMTC1	600 2M		NETGEAR
49 LA ROMERO						1						CMTC1	513 4M		CISCO
50 LA ROMERO												CMTC1	613 6M		NETGEAR
51 LA ROMERO								1				CMTC1	613 4M		NETGEAR
57 MOLINOS Z								1				CMTC1	402 3M		CISCO
59 CENTRO		1								1		CMTC1	502 2M		NETGEAR
62			1									CMTC1	613 2M		CISCO

Figura 3-6. Datos tomados de revisiones
Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 3-3 y Figura 3-7 se muestra 82 revisiones recolectadas a través de los 4 meses por intermitencia según el abonado. Estas fueron clasificadas por daños encontrados: en la columna izquierda se muestra la posible razón de intermitencia y en la columna derecha la cantidad de veces que fue encontrado este daño.

Tabla 3-3. Tipos de daños encontrados

POSIBLES RAZONES	CANTIDAD
CONEXION A T	8
CONECION A EXTENSION	11
CONEXIÓN A TV Y NEVERA	11
SPLITTER	3
CONEXIONES INESTABLES	2
ALCANCE DE CM	12
CM DAÑADO	10
FUNCIONANDO BIEN	18
MANIPULACION DE CLIENTE	4

ANCHO DE BANDA	2
PROBLEMAS EN TAP	1
TOTAL	82



Figura 3-7. Daños encontrados en revisiones
Fuente: Elaboración propia.

De lo cual se podría resumir en los siguientes datos:

- 8/62 de estos es decir el 12% del cable modem están conectados a divisores de corriente.
- El 14% de estos están conectados a extensiones.
- El otro 14% estaba conectado a electrodomésticos de alto consumo como televisores y neveras y lavadoras.
- El 4% por splitter dañados.
- El 3.17% por conexiones inestables.
- El 19% por alcance de wifi de cable modem.
- El 15% tenía el cable modem dañado.
- el 28% se encontró funcionando bien.

CAPÍTULO 3.1. RED HFC

- el 6% manipulación de conexiones por parte del cliente.
- 3.17% ancho de banda,
- el 1.58% problemas en los Taps.

Cabe destacar que no hay relación estadística entra la cantidad de usuarios de la Tabla 3-3 y la cantidad de problemas encontrados por cliente ya que un solo clientes podía tener entre 2 y 3 problemas a la vez.

De esta Tabla 3-3 se puede concluir que la mayoría de veces que se visito al abonado el internet se encontro funcionando bien. Sin embargo, no se debe hechar de menos el hecho de que el alcance del cable modem(potencia de antena) es bajo, esto puede influir en el mal funcionamiento de los mismos y que tambien pudieron tener dañado los cable modem ya que la mayoría de estos equipos son reutilizados por varios clientes y muchos de los usuarios afirmaron que esto les pasaba en ciertas ocasiones. En la Tabla 3-4 se muestra la cantidad de cable modem donde los usuarios dijeron tenían problemas de intermitencia.

Tabla 3-4. Cablemódem con anomalías

CM CON ANOMALÍAS DE INTERMITENCIA	
Cisco	27
Netgear	30
Ambit	1

En la Tabla 3-4 se puede observar que el problema de intermitencia es independiente de la marca del cablemódem, ya que se obtiene casi la misma cantidad de revisiones en los cables modem NETGEAR que de los cablemódems CISCOS, la diferencia es de 3 abonados, aunque los NETGEAR llevan la delantera no es un indicio suficiente para determinar que la raíz del problema de intermitencia es por los cables modem. Cabe destacar como había dicho anteriormente que los

CAPÍTULO 3.1. RED HFC

cablemódems en la empresa son reutilizados y que esto puede ocasionar daños al abonado.

En la Figura 3-8 se puede observar que en los abonados donde mayor intermitencia hubo es donde menos cantidad de ancho de banda tenían. Incluso en muchos de estos hogares habían más de 10 equipos conectados para un ancho de banda de 2Mb. La población de abonados donde menor intermitencia había son los que tenían mayor ancho de banda es decir 6Mb esto quiere decir que existe un problema de ancho de banda. que el ancho de banda de 2Mb no es suficiente para cumplir las necesidades del usuario, por lo tanto, la empresa no debería vender este ancho de banda.

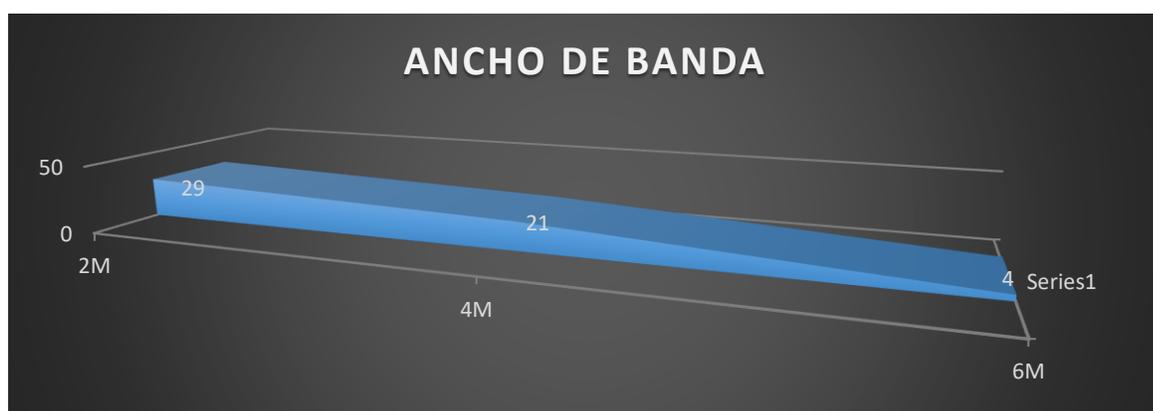


Figura 3-8. Ancho de Banda por Usuario
Fuente: Elaboración propia

Es importante tomar en cuenta lo anterior para determinar fallas y tomar medidas en este aspecto, la empresa TVN Norte que actualmente utiliza la tecnología HFC de cambiarla a FTTH en con el fin de evitar lo siguiente:

- Las revisiones semanalmente.
- Recursos humanos.
- Gastos económicos.
- Mala imagen de la empresa.

Es por esto que propongo diseñar la red FTTH utilizando las bases de la HFC en donde se minimizaran los costos y mejorara calidad de servicio entregado a sus abonados.

3.2. Red FTTH

La empresa TVN Norte permite diferentes tipos de estudios basados en la entrada de datos y la precisión, en cada etapa del proceso de diseño de la red basados en que una red FTTH debe ser diseñada con los siguientes atributos:

- Escalabilidad.
- Sobrevivencia.
- Funcionalidad.
- Costes de construcción y mantenimiento.
- Capacidad de actualización de la red.
- Operabilidad e idoneidad a lo largo de la vida útil de la red.

En la Figura 3-9 se muestra el proceso para el diseño de la red FTTH en el Barrio EL Buque de la Ciudad de Pamplona. Para evaluar la viabilidad del diseño propuesto de la red FTTH y que cada usuario de la red pueda recibir la potencia adecuada, debe considerarse la pérdida total de potencia óptica entre el puerto GPON del OLT y el del ONT. Esta pérdida puede ser resumida por la Ecuación (3-2):

$$L_{dB} = (L_{Cable} * Km_{cable}) + (L_{Splitter} * \#_{splitter}) * (L_{empalme0} * \#_{empalme}) + (L_{conector} * \#_{conector}) \quad (3-1)$$

La Tabla 3-4 presenta la definición y el valor de cada parámetro de la Ecuación (3-1).

La potencia recibida por la ONT en las instalaciones del receptor es:

$$\text{Potencia recibida} = \text{Potencia transmitida} - L_{dB} \quad (3-2)$$

Donde la potencia transmitida representa la potencia emitida por la interfaz GPON en la tarjeta OLT que es de 3 dB en este sistema. La Tabla 3-4 muestra los diferentes valores de las pérdidas y la potencia correspondiente recibida por los ONTs individuales. Las ubicaciones consideradas en la Tabla 3-4 se eligen porque son las más remotas de la red; por lo tanto, representan la peor pérdida de energía de la red diseñada.

Los cálculos que se deben presentar con respecto a la potencia recibida en el peor de los casos debe estar muy por encima de la sensibilidad ONT de -26 dB.

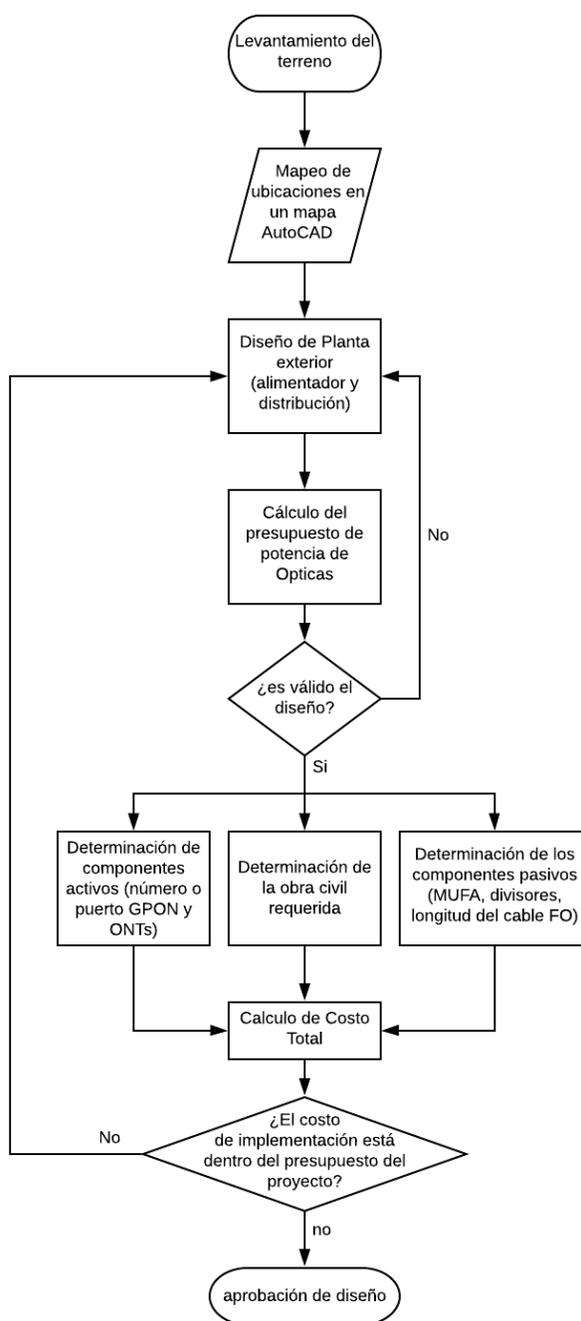


Figura 3-9. Metodología para diseño de la red FTTHH, Barrio el Buque - Pamplona.
Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 3.2. RED FTTH

Tabla 3-5. Valores de Perdidas

Parámetro	Descripción	Valor
L_{Cable}	Tenga en cuenta la pérdida de potencia de la señal óptica a medida que atraviesa el cable de fibra, se mide en dB/km. OTDR se utiliza para medir el valor exacto de este parámetro.	0,21 dB/km
$L_{Splitter}$	Se refiere a la pérdida de inserción del divisor, que varía según la relación de división. Los valores de este parámetro se obtienen a partir del <i>datasheet</i> del divisor correspondiente.	14 dB para el divisor de nivel 4. 22 dB para el divisor de nivel 8. 40 dB para el divisor de nivel 16
$L_{empalme}$	Representa la pérdida introducida por el empalme; se mide con la máquina de empalme por fusión. El valor mostrado representa la pérdida máxima obtenida	0,003 dB
$L_{conector}$	Expresa la pérdida introducida por el acoplamiento de conectores.	0,2 dB

3.2.1. Sectorización y distribución de la Red FTTH

Se espera poder conectar alrededor de 16 usuarios en el NODO 7ZN ubicado en la posteria de la empresa CENTRALES ELECTRICAS. El sistema va desde el barrio el centro donde se encuentra ubicado la unidad de terminación óptica (OLT), en la cabecera de la empresa TVN Norte, hasta el barrio el buque, de allí se conecta a un patch cord a un primer *splitter* con relación 1:8 de allí al terminar óptico ----luego de esto continua la fibra hasta el poste donde se colocará una caja terminal para redes de fibra óptica de relación 1:16.

Como la zona en cuestión es extensa, las reparticiones de potencia se harán por zonas próximas. De este modo, nuestra red urbana intentará, con un máximo de 5 extensores de línea en serie, llegar a las zonas más alejadas del punto inicial. De este modo, el resultado es que queda, el barrio, condicionado por los diferentes amplificadores. Vamos a entrar ya en detalle en la red urbana. Como hemos dicho, partiremos del cruce de la calle 2ª con 1. Como el nodo óptico tiene 8 salidas, las cuales se usarán para repartir el

barrio en 2 zonas principales, Norte y Sur. En la Figura 3-10 se puede apreciar la sectorización.

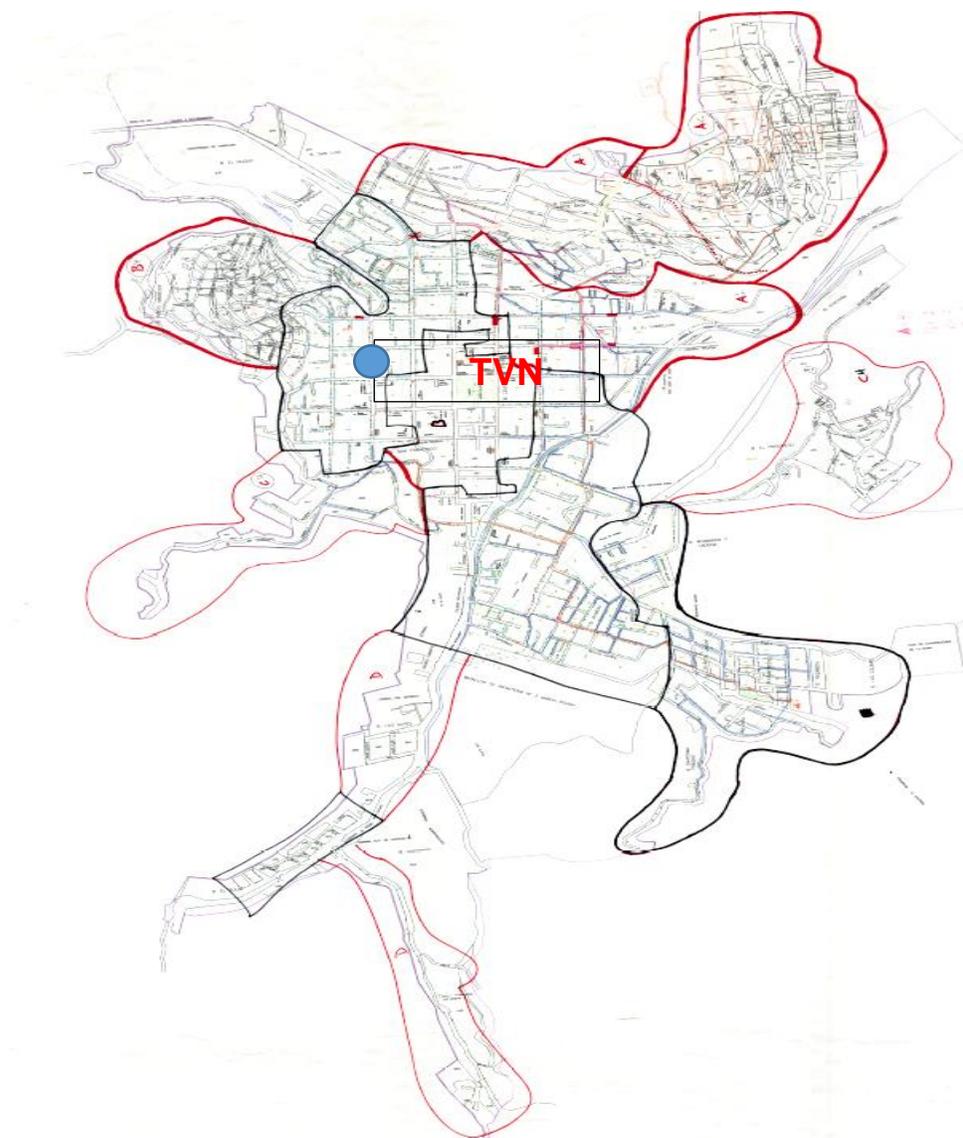


Figura 3-10. Sectorización del Municipio de Pamplona

Las redes de acceso estarán definidas desde la salida del amplificador, que vaya a dar señal a su zona, hasta el tap más alejado, el cual deje de continuar transmitiendo señal. De este modo, tendremos que ver cada una de las zonas que hemos visto con anterioridad.

CAPÍTULO 3.2. RED FTTH

A la hora de diseñar esta red se espera cumplir una serie de requisitos en cuanto a la potencia que llega a dichos taps. Como se vió en el capítulo 3.2, que el nivel exigido a la salida de los taps debe superar los -26dB. Por ello, el objetivo de diseño hará que se cumpla estos requisitos, teniendo en cuenta el nivel de salida máxima de cada amplificador, del nodo óptico son 5dB , y las pérdidas del cable coaxial, así como las MUFA y taps por los que transcurra la señal hasta el CTO. En la Figura 3-11 se puede observar el recorrido que lleva la fibra óptica desde el nodo central en las instalaciones de la empresa TVN Norte, se aprecia que la MUFA MSF63/13 está ubicada a 934 metros de longitud de la empresa. La MUFA MSF64/13 está ubicada a 1061 metros desde TVN Norte y 127 metros desde MSF63/13. La MUFA MSF65/13 está ubicada a 1121 metros desde TVN Norte y 193 metros desde MSF63/13.

La Figura 3-11 se puede observar una MUFA en sus características como punto de distribución donde usualmente están ubicados los spliter, en este caso spliter 1:4.



Figura 3-11. MUFA GPON

La red de distribución desde TVN Norte hasta el usuario final se puede observar en la Figura 3-12, definido por la nomenclatura:

CAPÍTULO 3.2. RED FTTH

PLNA-62-A02-3 208 UIP
CIUDAD-ZONA-ARMARIO-CABLEcap(CABLEACCESO) #CLIENTES

La red de distribución de la Fibra vista en la Figura 3-12 desde TVN Norte hasta el usuario final de los habitantes del barrio el buque están divididos en dos zonas importantes, denotadas en color azul y magenta.

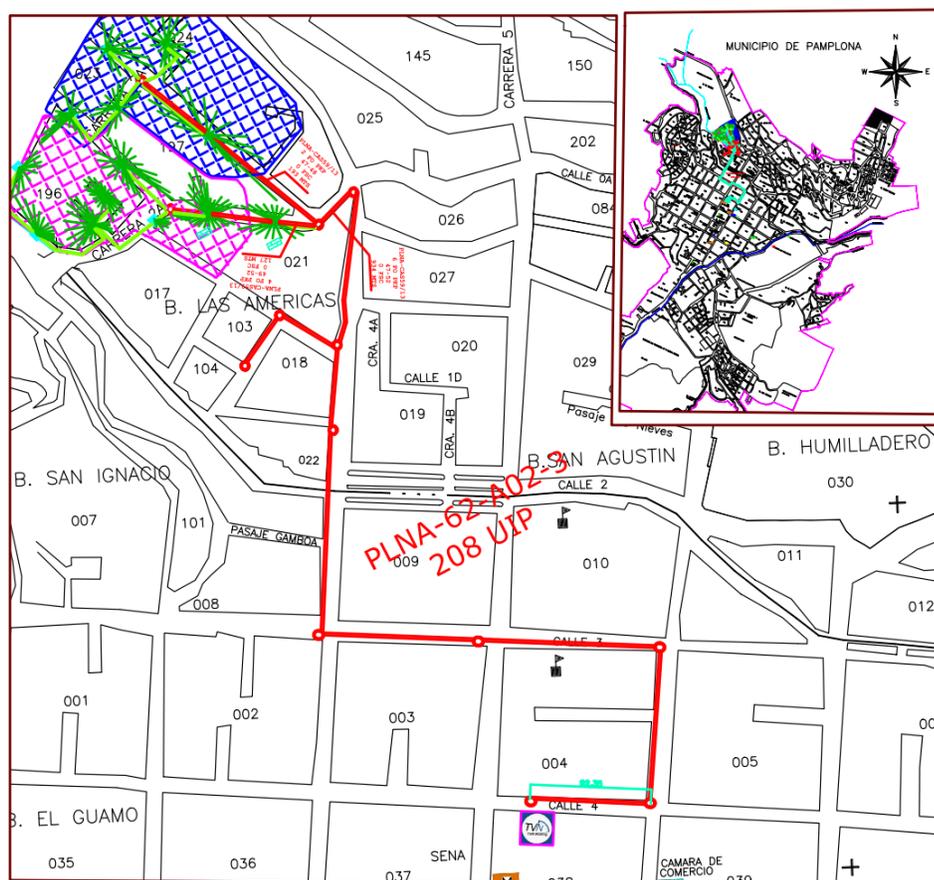


Figura 3-12. Red de distribución FTTH. Barrio El Buque

Se destaca que la longitud de fibra desde la empresa TVN Norte hasta la MUFA MSF63/13 es de 934 metros de fibra PKP de 12 hilos (ver Figura 3-13) para dar servicio a 208 clientes con 7 fibras, quedarán 5 fibras sin fusionar.



Figura 3-13. Fibra PKP 12 Hilos

Dicha fibra se deriva inicialmente en la CTO 01 que se muestra en la Figura 3-14, este esquema de *splitamiento* 1:16 en 2 niveles se usará en los de más CTOs de la red de distribución para dar servicio a 16 UIP o usuarios conectados a un ONT

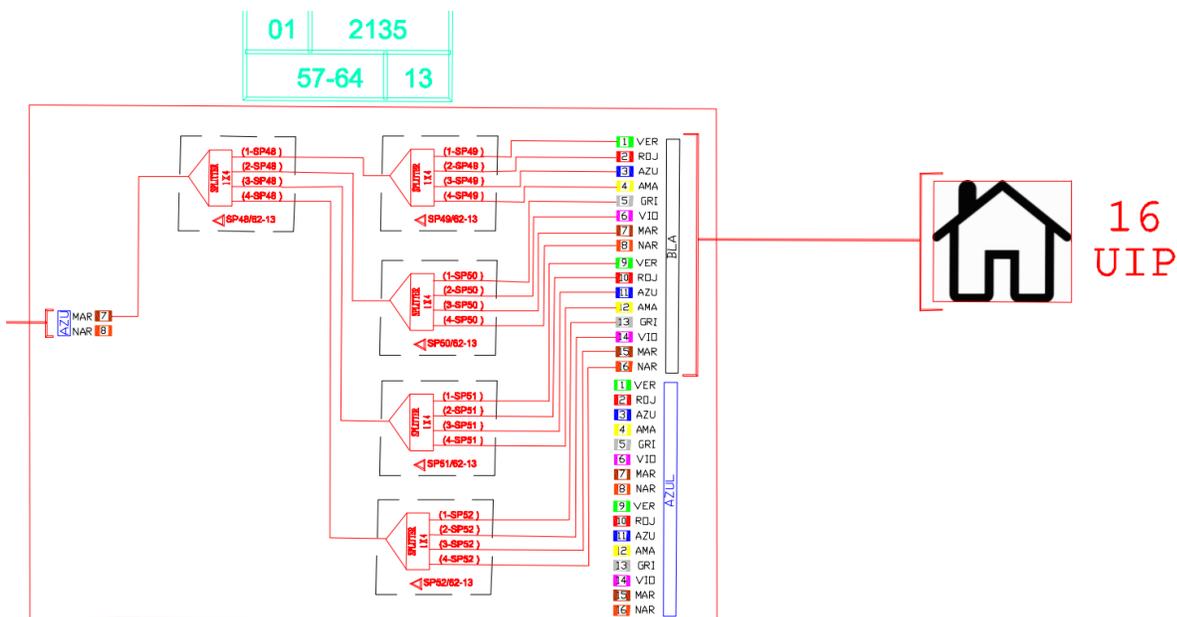


Figura 3-14 CTO 1

El área de trabajo 1 del barro el Buque se observa en la Figura 3-15 la cual ofrecerá servicio a 128 usuarios soportados en 8 CTO.



Figura 3-15. Area de Trabajo 1

La Interconexión de la MUFA 63/13 se muestra en la Figura 3-16 donde no habrá ningún elemento activo o pasivo, solo fusiones de la fibra óptica, a partir de ahí sale el cable para exterior PKP con la nomenclatura vista en la Tabla 3-6:

Tabla 3-6. Nomenclatura Cable FO

COP1-CAS59/13 32 FO PKP 47-49 29 FSC 100 MTS
CIUDAD-#CABLE/#CABLE ACCESO (CAPACIDAD EN HILOS) FO (TIPODECABLEFO) (#NUMEROCABLEPLANTA FUSIONADA)-(INICIO-FIN) (#FIBRA SIN FUSIONAR) (LONGITUD CABLE)

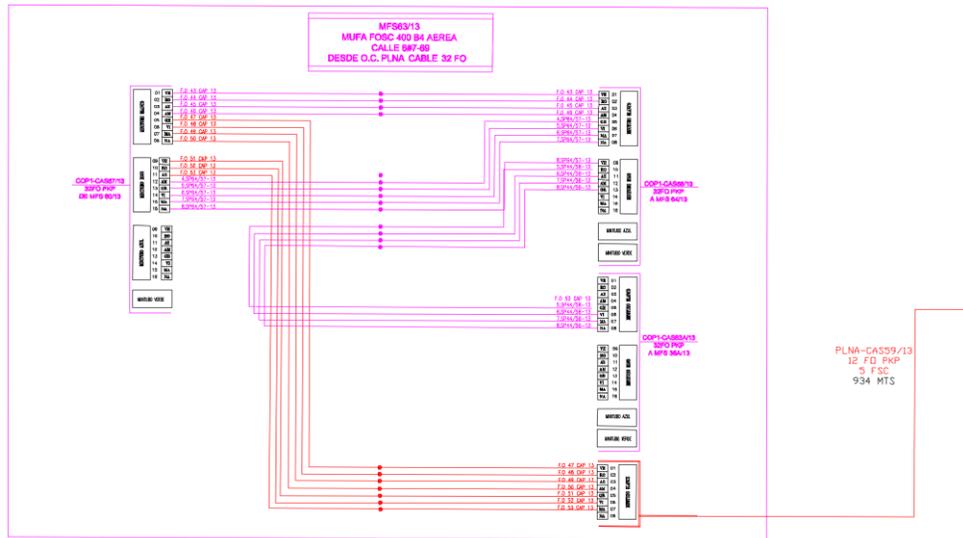


Figura 3-16. MUFA 63/13 TVN Norte

Al otro extremo del cable de FO surge la MUFA de la misma nomenclatura MSF 63/13 que en su interior solo realiza fusiones de 7 hilos de fibra óptica, quedan 5 sin fusionar para uso futuro.

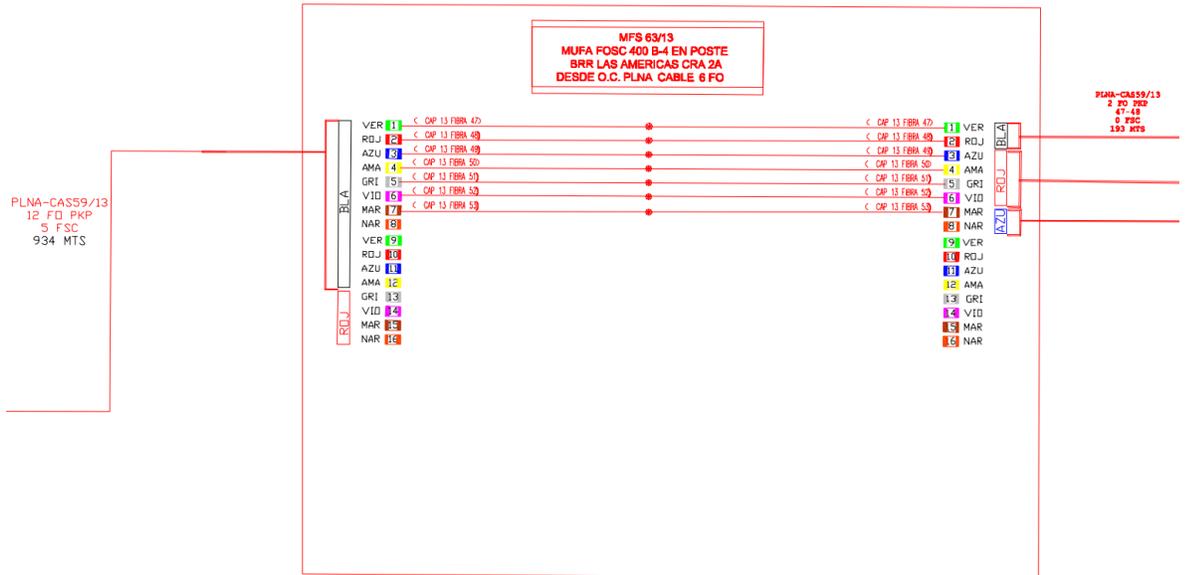


Figura 3-17. MUFA 63/13 BRR Las Americas

3.2.2. Balance de Potencias

El balance de potencias de una red de FTTH es de suma importancia ya que busca predecir los valores de potencias que estarán disponibles en los puntos receptores. En la Tabla 3-7 se observa como la atenuación que incide por cada elemento, además se asocia con el cliente más lejano ubicado a 1127 metros de la empresa TVN Norte (1127metros+193metros). Aplicando la ecuación 1 se obtiene la atenuación que presenta el sistema hasta el CTO (16.36dB) y hasta la ONT, una atenuación total de 18.37dB. Teniendo en cuenta que el transmisor ONL está incidiendo sobre la fibra una potencia de 3.01mW (4.786 dBm) y aplicando la Ecuación 2 se puede predecir que la potencia que resulta hasta la ONT serían $-13.59dBm$.

Tabla 3-7. Balance de Potencias.

Presupuesto óptico para SFP B+ y modelo de splitteamiento 1:16 en 2 niveles [4.786 dBm salida Transmisor - 3,01mW]												
Conector en OLT	Conector en Reflejo	Conector en ODF	n x Empalme fusión	Atenuación FO G.652D x Km ventana 1310 nm	n splitter 1:4	Conector en CTO	Subtotal atenuación en CTO [dB]	Atenuación FO G.657 A2 x Km Ventana 1310nm	r en roseta	conector en ONT	Margen de Seguridad	Total atenuación [dB]
Cantidad	Cantidad	Cantidad	Cantidad	Longitud [km]	Cantidad	Cantidad		Longitud en Km	Cantidad	Cantidad	Cantidad	
1	1	1	12	1,127	2	1	16,3665258	0,193	1	1	1	18,3781058
0,5	0,5	0,5	1,2	0,4508	14	0,5	Potencia en CTO -11,5805258 [dBm]	0,06	0,5	0,5	1	Potencia en ONT -13,5921058 [dBm]

$$L_{dBCTO} = (L_{cable} * Km_{cable}) + (L_{Splitter} * \#_{splitter}) * (L_{empalme0} * \#_{empalme}) + (L_{conector} * \#_{conector}) \quad (3-3)$$

$$L_{dBCTO} = (0,4 * 1,127) + (7 * 2) + (0,1 * 12) + (0,5 * 4) \quad (3-4)$$

$$L_{dB} = 16,36 \text{ dB}$$

$$\text{Potencia recibida en CTO} = 4.786 - 16,36 \quad (3-5)$$

$$\text{Potencia recibida en CTO} = -11,58 \text{ dBm}$$

$$L_{dBTotal} = (L_{cable} * Km_{cable}) + (\text{MargenSeguridad}) + (L_{empalme0} * \#_{empalme}) + L_{dBcto} \quad (3-6)$$

$$L_{dBTotal} = (0,4 * 0,193) + (1) + (0,5 * 2) + 16,36 = 18,37$$

$$\text{Potencia recibida en Cliente} = 4.786 - 18,37 \quad (3-7)$$

$$\text{Potencia recibida en CTO} = -13,59 \text{ dBm}$$

CAPÍTULO 3.2. RED FTTH

El margen de seguridad (Ms) permite garantizar el enlace por atenuación cuando este aumenta por los empalmes de mantenimiento y degradaciones de los conectores, las variaciones de los parámetros de transmisión por factores ambientales, el envejecimiento de los componentes del sistema en específico y los nuevos requisitos futuros que no existen en el momento de la planificación inicial. Un valor apropiado es 1 dB para este sistema.

Single Mode Fibers - Standard Specifications ⁽¹⁾



Parameter	Standard per	NZDS per	Bend-Insensitive	Bend-Insensitive	Units
	ITU-T G.652D IEC 60793-2-50 B1.3	ITU-T G.655 IEC 60793-2-50 B4	ITU-T G.657.A1 IEC 60793-2-50 B6_a1	ITU-T G.657.A2 IEC 60793-2-50 B6_a2	
	Max. /Typical	Max. /Typical	Max. /Typical	Max. /Typical	
Teldor Fiber Code	9	8	A	7	
Attenuation ^(4,5,6,7) , Loose Tube Cables:					dB/km
@ 1310 nm	0.35 / 0.34	NA	0.35 / 0.34	0.35 / 0.34	
@ 1550 nm	0.23 / 0.20	0.23 / 0.20	0.23 / 0.20	0.23 / 0.20	
Attenuation ⁽⁴⁾ , Tight Buffer					
@ 1625 nm	0.25 / 0.22	0.26 / 0.23	0.25 / 0.22	0.25 / 0.22	

Figura 3-18. Fibra usada

En la Figura 3-18 se observa el tipo de Fibra que usa TVN Norte para su distribución donde se aprecia la atenuación a la longitud de onda de 1310nm que es 0,4dB,

Teniendo en cuenta que la ONT que usa el operador TVN Norte se muestra en la Figura 3-19, donde se aprecia que tiene una sensibilidad de hasta -27dBm y con los cálculos realizados se predice una potencia mayor es sistema es totalmente viable a vista de balance de potencias.

Attributes	BDCOM GP1704-4F-E Series
User interface	1 GE + 3 FE 802.11b/g/n, 300Mbps
PON interface	downlink 2.5Gbps / uplink 1.25Gbps The network covering radius: 20km Type of the optical interface: SC/UPC Hi-sensible optical receiver: -27dBm Radiation power: 0.5 ~5dBm Security: ONU authentication mechanism



Figura 3-19. BDCOM GP1704-4F-E

4. CONCLUSIONES

Se ha presentado un método sistemático para una planificación de la red FTTH de la Empresa TVN Norte. También se ha mostrado de qué manera los datos del AutoCad pueden ser utilizados y útiles para planificar las redes FTTH. El método se aplicó en un estudio de caso del municipio de Pamplona - Norte Santander. Los resultados son bastante prometedores, y utilizando este método se han generado una serie de planes en muy poco tiempo, dependiendo de la potencia de cálculo disponible que se calculó en -13.59dBm como se observa en la Ecuación 3-7. Si este proceso de planificación se realizaba utilizando el método tradicional, el tiempo de planificación podía ser de varios días, dependiendo de la fuerza humana utilizada. Un beneficio de hacer es que se pueden utilizar varios escenarios que darían más opciones a los responsables de la toma de decisiones. Sin embargo, sólo incluimos algunos de los parámetros más importantes, como la distancia de ONT a ONU, los parámetros de dimensionamiento y las distancias entre pozos. El modelo se puede ampliar utilizando más parámetros.

BIBLIOGRAFÍA

- Abreu, M., Castagna, A., Cristiani, P., Zunino, P., Roldós, E., & Sandler, G. (2009). Características generales de una red de fibra óptica al hogar (FTTH). *Memoria de trabajos de difusión científica y técnica*, 38-46.
- Caiza, V. P. (2016). *Estudio para la provisión de internet en red hfc del servicio de audio y video por suscripción para operadores locales en ecuador*. QUITO.
- Carranza, v., & Yosmin, E. (2017). Análisis comparativo de los sistemas HFC Y FTTH en base a sus capacidades de transmisión de datos en una red triple PLAY, caso de estudio: CIUDAD TRUJILLO.
- Carrillo, A. (03 de Marzo de 2017). *Reflexión Interna Total*. Obtenido de <https://calculadorasonline.com/>
- CRC. (2017). *Resolucion5161*. Recuperado el 09 de Septiembre de 2019, de <https://www.crcm.gov.co/resoluciones/00005161.pdf>
- FuncionPublica. (2019). *Ley 1978 de 2019*. Recuperado el 06 de Octubre de 2019, de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=98210>
- Grupo Novelec. (24 de 08 de 2018). *Grupo Novelec*. Obtenido de Grupo Novelec: <https://blog.gruponovelec.com/redes-vdi/cable-coaxial-tipos-y-caracteristicas/>
- Lopez, I. F. (2018). *Diseño de una Red de Fibra Optica para un Bloque de Edificios*. valladolid .
- Martinez, E. D. (2016). *Diseño y despliegue de una red FTTH en una ciudad*.
- Martinez, J. S. (2017). *Diseño de una Red HFC*.

- Milan, S. N., Ina, M. B., & Cica, Z. G. (2017). Performance monitoring challenges in HFC networks. *13th International Conference on Advanced Technologies, Systems and Services in Telecommunications (TELSIKS); IEEE*, 385-388.
- MinTIC. (2019). *Tasa de crecimiento económico del sector de las TIC aumentó 4,04 % en los dos primeros trimestres de 2019*. Recuperado el 5 de Octubre de 2019, de https://mintic.gov.co/portal/604/w3-article-103393.html?_noredirect=1
- Perez, S. D. (2014). *Diseño comparativos de redes HFC y FTTh*. Sevilla España.
- Perez, S. D. (2014). *Diseño y Comparativas de Redes HFC y FTTH*.
- Tomasi, W. (2003). Sistema de comunicaciones electronicas. En W. Tomasi, *Sistema de comunicaciones electronicas* (págs. 1-972). Phoenix,Arizona: Pearson Educacion.
- zapardiel, j. p. (2014). *Diseño de una red de acceso de fibra optica*. Madrid España.