

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



**“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”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO TELECOMUNICACIONES Y REDES.**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: DISEÑO, INTERCONEXIÓN Y GESTIÓN DE
REDES DE COMUNICACIÓN.**

AUTOR: Br. ESDUAR YOSMIN VÁSQUEZ CARRANZA.

ASESOR: Ms. EDUARDO ELMER CERNA SÁNCHEZ

TRUJILLO - PERÚ

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”**

Elaborado por:

Br. Esduar Yosmin Vasquez Carranza

Aprobado por:

Ms. FILIBERTO AZABACHE FERNÁNDEZ
PRESIDENTE
CIP N° 97916

Ing. LUIS ALVARADO RODRÍGUEZ
SECRETARIO
CIP N° 149200

Ing. LUIS ALBERTO VARGAS DIAZ
VOCAL
CIP N° 104175

Ms. EDUARDO ELMER CERNA SÁNCHEZ
ASESOR
CIP N° 80252

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

Dando cumplimiento y conforme a las normas establecidas en el Reglamento de Grados y Títulos y Reglamento de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada Antenor Orrego, para obtener el título profesional de Ingeniero de Telecomunicaciones y Redes, se pone a vuestra consideración el Informe del Trabajo de Investigación Titulado **“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”**, con la convicción de alcanzar una justa evaluación y dictamen, excusando de antemano de los posibles errores involuntarios cometidos en el desarrollo del mismo.

Trujillo, Junio de 2017.

Br. Esduar Yosmin Vasquez Carranza

DEDICATORIA:

A Dios

Por bendecirme y tenerme con salud.

A mi Familia

Por su esfuerzo y su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

A mi Asesor

Por su paciencia y su apoyo mutuo hacia el éxito.

Esduar Vasquez

AGRADECIMIENTOS

En Primer lugar, quiero agradecer a dios por darme la fuerza para seguir adelante.

En Segundo lugar, quiero agradecer a mis padres Javier Vasquez y Mery Carranza por su gran apoyo incondicional y su esfuerzo que realizan diario para ayudarme a seguir triunfando y mi a hermano.

En Tercer lugar, quiero agradecer a mi asesor Ingeniero Eduardo Cerna Sánchez, por su dedicación y su paciencia en cada etapa de este arduo trabajo.

A los docentes y administrativos que conforman la escuela de Ingeniería Telecomunicaciones y Redes, por brindarnos los conocimientos necesarios para una buena formación académica y su apoyo constante durante todo este tiempo.

Sinceramente Gracias.

Resumen

El presente trabajo de investigación presenta un estudio comparativo de los sistemas HFC y FTTH basado en una red triple play para la ciudad de Trujillo, exponiendo sus principales características técnicas, realizando un análisis comparativo respecto de sus capacidades de transmisión para telefonía, internet y de canales de TV. Las capacidades son estimadas considerando una red DOCSIS 2.0 para HFC, y una red G-PON para FTTH. Los resultados muestran que las capacidades máximas de FTTH se equiparan con HFC para el servicio de telefonía, sin embargo para el caso de downstream para Internet FTTH supera casi 4 veces la capacidad de HFC, asimismo para el caso de canales de TV cable las capacidades FTTH superan en más de tres veces las capacidades de HFC. En la parte final del trabajo se presentan las conclusiones y se proponen posibles recomendaciones para mejorar la investigación realizada.

Abstract

The present research work presents a comparative study of systems HFC and FTTH based networked a triple play for the city of Trujillo, exposing their main technical specifications, performing a comparative analysis regarding their transmission capacity to telephone, internet and TV channels. Capabilities are estimated considering a DOCSIS 2.0 for HFC network, and a G-PON for FTTH network. The results show that the maximum capacities of FTTH equate with HFC telephony service, however in the case of downstream for FTTH Internet exceeds almost 4 times the capacity of HFC, also in the case of TV channels cable FTTH capabilities exceed by more than three times the capabilities of HFC. The final part of the paper presents the conclusions and possible recommendations are proposed to improve the investigation.

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	iii
DEDICATORIA:.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
Resumen	vi
Abstract.....	vii
1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. Realidad Problemática	2
1.2. Delimitación.....	3
1.3. Características y Análisis del Problema.....	3
1.3.1. Limitaciones de capacidad del sistema HFC.....	3
1.3.1. Se desconoce el impacto de las capacidades del sistema FTTH.	3
1.4. Formulación del Problema.....	4
1.5. Formulación de la Hipótesis	4
1.6. Objetivos del Estudio.....	5
1.6.1. Objetivo General	5
1.6.1. Objetivos Específicos	5
1.7. Justificación del Estudio	5
1.8. Limitaciones del Estudio	6
2. MARCO TEÓRICO	8
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	8
2.2 Fundamentación teórica de la investigación	10
3. Material y Método	32
3.1 Material.....	32
3.1.1 Población y Muestra.....	32
3.1.2 Unidad de Análisis	32

3.2 Método	32
3.2.1 Nivel de Investigación.....	32
3.2.2 Diseño de Investigación	32
3.2.3 Variables de estudio y Operacionalización	33
3.3 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.	37
3.3.1 Visitas de Campo:	37
3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE PROCESAMIENTO DE DATOS.	46
4. Resultados.....	69
5. Análisis de Resultados.....	74
6. Conclusiones.....	76
7. Recomendaciones	77
8. Referencias Bibliográficas.....	78
9. Anexo	81

Índice Figuras

Figura 2.1 Cable Coaxial.....	11
Figura 2.2 Geometría de una fibra óptica.....	12
Figura 2.3 Cable óptico con seis fibras ópticas.....	12
Figura 2.4 Fibra óptica sin revestimiento y Fibra óptica con revestimiento.....	13
Figura 2.5 Algunos escenarios FTTX.....	15
Figura 2.6 Televisión por Cable.....	16
Figura 2.7 Espectro RF en HFC.....	19
Figura 2.8 Detalles de los canales ascendentes y descendentes.....	20
Figura 2.9 Topología básica de una red PON.....	23
Figura 2.10 Arquitectura G-PON.....	25
Figura 2.11 Multiplexación por división en longitud de onda.....	26
Figura 3.1 Porcentaje Tipo de servicio de Telecomunicaciones.....	37
Figura 3.2 Porcentaje Tipo velocidad Internet.....	38
Figura 3.3 Porcentaje Tipo Decodificador.....	38
Figura 3.4 Mapa Catastral de la Urbanización el Golf.....	39
Figura 4.1 Comparación Capacidad Usuario Servicio Internet.....	69
Figura 4.3 Comparación Proyección Capacidad Usuario Servicio Internet.....	70
Figura 4.4 Comparación Proyección Capacidad Total Servicio Internet.....	71
Figura 4.5 Comparación Capacidad Total Servicio Telefonía IP.....	71
Figura 4.6 Comparación Capacidad Total Servicio Televisión.....	72
Figura 4.7 Comparación Proyección Capacidad Total Servicio Televisión.....	72

Índice Tablas

Tabla 2.1 Frecuencia que utiliza DOCSIS 2.0 en América Latina.....	18
Tabla 2.2 Transmisión de Datos DOCSIS 2.0.....	18
Tabla 2.3 Tipos de códec.....	28
Tabla 2.4 Capacidad de Transmisión SD y HD.....	28
Tabla 3.1 Operacionalización de la Variable Independiente I.....	34
Tabla 3.2 Operacionalización de la Variable Independiente II.....	35
Tabla 3.3 Operacionalización de la Variable Dependiente.....	36
Tabla 3.4 Capacidad de Datos Diseño DOCSIS 2.0.....	41
Tabla 3.5 Rango de Frecuencia HFC.....	41
Tabla 3.6 Tipos de Códec Diseño.....	42
Tabla 3.7 Capacidad de Transmisión SD y HD Diseño.....	44
Tabla 3.8 Combinaciones G-PON Diseño.....	44
Tabla 3.9 Número de Canales de 6 MHz en el sentido Ascendente.....	46
Tabla 3.10 Número de Canales de 6 MHz en el sentido descendente.....	47
Tabla 3.11 Capacidades de Diseño HFC.....	47
Tabla 3.12 Capacidad Total para HFC.....	48
Tabla 3.13 Resumen Diseño Capacidad de Transmisión Internet para HFC.....	48
Tabla 3.14 Resumen Diseño Capacidad de transmisión Telefonía IP.....	49
Tabla 3.15 Resumen Diseño Capacidad de Canales Analógicos.....	50
Tabla 3.16 Resumen Diseño Número de Canales Televisión Digital.....	53
Tabla 3.17 Resumen Diseño Sistema HFC.....	54
Tabla 3.18 Capacidad Proyección Diseño HFC.....	55
Tabla 3.19 Capacidad Total Proyección para HFC.....	55
Tabla 3.20 Resumen Diseño Proyección de Transmisión Internet para HFC.....	56
Tabla 3.21 Resumen Diseño Numero Canales Proyección Televisión Digital.....	58
Tabla 3.22 Resumen Diseño Proyección Sistema HFC.....	59
Tabla 3.23 Capacidad de Transmisión Lambda.....	60
Tabla 3.24 Capacidad de Transmisión Usuario.....	60
Tabla 3.25 Red G-PON.....	61
Tabla 3.26 Resumen de Diseño Servicio de Internet y Telefonía IP para FTTH.....	62
Tabla 3.27 Resumen Diseño Capacidad de Canales Analógicos para FTTH.....	63

Tabla 3.28 Resumen Diseño Capacidad de canales SD y HD para FTTH.....	65
Tabla 3.29 Resumen Diseño Sistema FTTH	67

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

En la ciudad de Trujillo, existen empresas de telecomunicaciones que brindan servicios de televisión satelital, del mismo modo existen cableras regionales que ofrecen servicios de televisión por cable.

De acuerdo a la entrevista al Ing. Elar Rodríguez Castillo, Ingeniero residente de la Empresa Lari Contratista S.A.C empresa ejecutora de Telefónica, menciona que con una red FTTH se superan todos estos inconvenientes y por esto las aplicaciones son mucho más amplias, otra ventaja que se debe tomar en cuenta es que en las redes de fibra óptica se puede tener tasas de subida y bajada simétricas. Telefónica cuenta con el servicio de fibra óptica para empresas (Bancos e Instituciones Privadas) brindando únicamente servicio de datos, exclusivamente en la ciudad de Trujillo. Asimismo, cuentan con un proyecto FTTH para una zona exclusiva del departamento de Cajamarca, esto es un claro ejemplo que el sistema FTTH debe ser implementado en zonas exclusivas o zonas residenciales el cual cuentan con las posibilidades de contratar dicho servicio.

De acuerdo a la entrevista al Sr. Carlos Salazar Alcalde, del departamento de HFC de Claro, refiere que Claro tiene en proyecto realizar una prueba piloto del sistema FTTH en zonas exclusivas de Lima, Trujillo y Arequipa en este año se están realizando las pruebas en el distrito de Asia, Provincia de Cañete, Departamento Lima.

La empresa Evelyn S.A.C en la voz de su representante el Sr. Elvis Ponce Sigüenza, técnico de operaciones encargado de toda la plata de televisión por cable, menciona que Evelyn S.A.C tiene en proyecto migrar su sistema convencional por un sistema FTTH en el próximo año, el sistema será instalado en lugares exclusivos de la ciudad de Trujillo. De acuerdo a las entrevistas realizadas a las empresas Telefónica, Claro y Evelyn SAC, estos operadores de servicios de telecomunicaciones tienen un marcado interés por el sistema FTTH, teniendo en sus planes a mediano plazo realizar una migración hacia esta tecnología.

Según las entrevistas no se ha realizado un estudio previo donde se haya cuantificado de manera detallada las cualidades y parámetros de mejora en cuanto

a capacidades de transmisión de datos de FTTH sobre HFC. Debido al incremento de datos en la red los operadores de Trujillo se ven obligados a la tendencia tecnológica de migración, pero se desconoce el impacto en los parámetros técnicos de un sistema FTTH (triple play) en la ciudad de Trujillo. Por lo tanto, es necesario estudiar a fondo las características técnicas de la nueva red y así dar a conocer las ventajas de migración y los mejorados servicios que puede ofrecer el sistema FTTH, del mismo modo estar preparados para los cambios tecnológicos que pueden darse más adelante.

1.2. Delimitación

La problemática se enfoca hacia la estimación de los parámetros de capacidad máxima de transmisión de información de los sistemas HFC y FTTH al requerir soportar una red triple play en la ciudad de Trujillo

1.3. Características y Análisis del Problema

1.3.1. Limitaciones de capacidad del sistema HFC.

Para el autor Andrew S. Tanenbaum (2003), los canales de subida son muy importantes para la interacción de los usuarios, el espectro que utiliza es muy pequeño comparado con el espectro de bajada, por esta misma razón el sistema HFC es asimétrico influyendo a la expansión de la red.

Según el Ing. Elar Rodríguez Castillo, mencionan que el uso de cable coaxial en un sistema HFC impide incorporar nuevos servicios al sistema. El cable coaxial limita el despliegue de la red debido a su corto alcance (cabecera-usuario), asimismo el tiempo de vida es de corto plazo. Debido al número de usuarios que comparte la red y el aumento que va generando cada año el sistema HFC, se ve obligado a reducir su velocidad a causa del uso del espectro por todos los usuarios.

1.3.1. Se desconoce el impacto de las capacidades del sistema FTTH.

De acuerdo a las entrevistas realizadas no hay algún estudio que se haya realizado previamente al análisis y comparación de las dos tecnologías en la ciudad de Trujillo.

Así mismo los operadores de telecomunicaciones en la ciudad de Trujillo están apostando por implementar nuevos servicios triple play, pero a la vez buscan una solución para evitar colisiones en la red.

Según el Sr. Elvis Ponce Sigüenza, menciona que actualmente nos encontramos en un proceso de cambio, la tecnología va evolucionando día a día, y los operadores dependen de las necesidades y la demanda de los usuarios.

Según la Revista “International Journal of Computer Applications” (2014), menciona que la creciente demanda de Internet de alta velocidad es el principal impulsor de las nuevas tecnologías de acceso que permiten experimentar una verdadera banda ancha. Esto lleva a los operadores de telecomunicaciones a migrar a las redes de acceso de fibra óptica. Para permitir conexiones más rápidas, la fibra óptica se acerca cada vez más al suscriptor. Fiber To The Home FTTH parece la opción más adecuada para un objetivo a largo plazo. FTTH es una solución a prueba de futuro para proporcionar servicios tales como video a pedido, juegos en línea, TV HD y VoIP.

Según UIT-T G.984.1 (2003), muestra las capacidades del sistema FTTH, también menciona que el sistema FTTH se basa en una red G-PON, el cual se puede llegar a distancias de 20 km, descartando el uso de amplificadores siendo netamente una red pasiva, así mismo FTTH es una red de banda ancha alcanzando velocidades asimétricas de 1,2 Gbit/s sentido ascendente y 2,4 Gbit/s sentido descendente, también puede alcanzar velocidades simétricas de 2,4 Gbit/s sentido ascendente y 2,4 Gbit/s sentido descendente.

1.4. Formulación del Problema

¿Cómo se diferencian los parámetros de capacidad de transmisión de un sistema FTTH y de un sistema HFC para el caso de una Red Triple Play en la ciudad de Trujillo?

1.5. Formulación de la Hipótesis

Las capacidades de transmisión de un sistema FTTH son significativamente superiores al compararse con un sistema HFC para una posible red triple play en la ciudad de Trujillo.

1.6. Objetivos del Estudio

1.6.1. Objetivo General

Realizar una comparativa entre el sistema HFC y el sistema FTTH en base a sus capacidades de transmisión de datos, tomando como caso de estudio una red triple play para la ciudad de Trujillo.

1.6.1. Objetivos Específicos

Identificar las limitaciones del sistema HFC y el sistema FTTH mas resaltantes para el caso de una red triple play en la ciudad de Trujillo.

Estimar las capacidades máximas de transmisión en un sistema HFC para el caso de una red triple play en la ciudad de Trujillo.

Estimar las capacidades máximas de transmisión en un sistema FTTH para el caso de una red triple play en la ciudad de Trujillo.

Realizar una comparativa del sistema FTTH y el sistema HFC en base a las capacidades máximas estimadas.

1.7. Justificación del Estudio

El presente proyecto de investigación es importante para determinar el rendimiento y poder encontrar alternativas de solución para el mejoramiento de las redes de CATV.

Se dará una metodología para poder realizar las estimaciones y las capacidades máximas de ambos sistemas.

Del mismo modo permitirá al investigador la aplicación de sus conocimientos, para planificar la posible distribución de capacidades en un sistema HFC y un sistema FTTH para el caso particular de una red en la ciudad de Trujillo.

1.8. Limitaciones del Estudio

Solo se realizará el análisis en la ciudad de Trujillo, estimando un número de usuarios posible para el servicio triple play.

El análisis de los sistemas HFC y FTTH será conducido solo en base a estimaciones de datos transmitidos por una red triple play. No se tocarán temas relacionados al cálculo de pérdidas del enlace o costos.

CAPÍTULO II

MARCO

TEÓRICO

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la Investigación.

Para sustentar este proyecto de investigación se ha tomado como antecedentes diversos estudios relacionados con los sistemas tanto Híbrido fibra coaxial (HFC) como Fibra hasta el Hogar (FTTH).

- A. Según Bermeo Tenorio, Diego (2010), En su Investigación “Estudio y Análisis de Factibilidad de una Red de Fibra Óptica que Contenga los Requisitos Necesarios para Brindar Servicios Triple Play a Nivel Local en la Empresa Privada “TERACOM S.A.” Ubicada en el Peaje Provincial de el Oro”, se propuso mostrar el cálculo de las capacidades requeridas por parte de los usuarios, así como la distribución de los elementos del diseño de la red de TERACOM S.A., llegando a los siguientes resultados, la factibilidad de brindar nuevos y mejores servicios a través de la red HFC, asimismo el diseño de la red para la ciudad de Pasaje, provincia de El Oro. Por lo tanto, este estudio aporta a la siguiente investigación, estimar el cálculo de la capacidad de datos en una red triple play basado en un sistema HFC.

- B. Según Tinoco Alvear, Juan Diego (2011), en su investigación “Estudio y Diseño de una Red de Fibra Óptica FTTH para Brindar Servicio de Voz, Video y Datos para la urbanización los Olivos ubicada el sector Toctesol en la parroquia Borrero de la ciudad de Azogues” este estudio se propuso mostrar una solución basado en un sistema FTTH sobre algunas deficiencias que presentan los sistemas híbridos, del mismo modo se elabora el diseño para la urbanización Los Olivos y finalmente se menciona el estudio técnico-económico. Por lo tanto, se llega a los siguientes resultados, FTTH una solución futura para evitar congestiones de red y determinando el costo inicial de una red FTTH. Este estudio aporta a la siguiente investigación, un análisis detallado para estimar el cálculo de la capacidad de datos en un sistema FTTH.

- C. Según Cristina Castillo Jaramillo, Santiago Figueroa Torres (2013), en su investigación “Determinación de la Demanda, Dimensionamiento y Diseño

de una Red de Servicios de Telecomunicaciones, Mediante la Tecnología de Acceso FTTH en el Cantón Gualaceo para la Empresa CNT E.P”, se propuso plantear el diseño, el ancho de banda para cada usuario y presupuesto económico, presentado al departamento de proyectos de la empresa CNT E.P. Determinando que el proyecto es viable desde el punto de vista técnico y económico. Por lo tanto, este estudio aporta a la siguiente investigación conceptos fundamentales respecto al funcionamiento de la red G-PON y estimar el cálculo de capacidad del sistema FTTH.

- D. Según Sanguña Guevara, Fernando Paul (2010), en su investigación “Estudio Técnico de la Red de Comunicaciones para Brindar Los Servicios de Voz, Internet y Video por Demanda de una Urbanización”, se propone analizar las diferentes redes de acceso para escoger la que mejor se acoja a una red de banda ancha, también se realizan los cálculos del diseño de red, del mismo modo el análisis económico de la red elegida, llegando a los siguientes resultados, la red G-PON es una buena alternativa para brindar servicios de Voz, Internet y Video. Por lo tanto, este estudio aporta a la siguiente investigación un panorama mucho más amplio respecto a la red G-PON, determinado sus características y ventajas.
- E. Según Juan Manuel Quijada Cárdenas (2016), en su investigación “Diseño de Red FTTH Óptica Pasiva para Operador Local”, se propone realizar un diseño de red FTTH conforme a los fundamentos de diseño de red de fibra y normativas vigentes, llegando a los siguientes resultados implantar una red FTTH al municipio de Torreperogil el cual es capaz de cubrir servicios multimedia necesarios para los usuarios de esta localidad. Por lo tanto, este estudio aportara a la siguiente investigación determinar conceptos acerca de las distintas tecnologías de acceso de datos correspondiendo desde la tecnología xDSL hasta FTTH.

2.2 Fundamentación teórica de la investigación

a. Definición Cable Coaxial.

a.1. Introducción

Según el autor Rodolfo Neri Vela (2004), hasta principio de los años ochenta, época en que las fibras ópticas comenzaron a emplearse en las redes de gran capacidad, el cable coaxial era la única alternativa alámbrica de banda ancha. Por tal razón, fue la tecnología favorita para servicios como la telefonía multicanal terrestre y la distribución urbana de televisión de paga. De hecho, este segundo mercado aún sigue dominando casi en su totalidad en la mayor parte del mundo por las redes comerciales de cable coaxial.

a.2. Definición

Según el autor Andrew S. Tanenbaum (2003), el cable coaxial (conocido frecuentemente tan sólo como “coax”). El cable coaxial tiene mejor blindaje que el de par trenzado, puede abarcar tramos más largos a velocidades mayores. Hay dos clases de cable coaxial que son las más utilizadas.

Primera clase: el cable de 50 ohms, se usa por lo general para transmisión digital.

Segunda clase: el cable de 75 ohms, se utiliza comúnmente para la transmisión analógica y la televisión por cable, pero se está haciendo cada vez más importante con el advenimiento de Internet a través de cable.

a.3. Descripción Física

Según el autor Tomasi, Wayne (2003), el cable coaxial básico consiste en un conductor central rodeado por un conductor externo concéntrico, a distancia uniforme del centro. A frecuencias de trabajo relativamente altas, el conductor externo coaxial proporciona un excelente blindaje contra la interferencia externa. Sin embargo, no es económico usar un blindaje con frecuencias relativamente bajas. También, casi siempre el conductor externo de un cable coaxial se conecta a tierra, y eso limita su empleo a aplicaciones desbalanceadas o asimétricas.

Según el autor Andrew S. Tanenbaum (2003), un cable coaxial consiste en un alambre de cobre rígido como núcleo, rodeado por un material aislante. El aislante está forrado con un conductor cilíndrico, que con frecuencia es una malla de tejido fuertemente trenzado. El conductor externo se cubre con una envoltura protectora de plástico.

Anteriormente los cables coaxiales solían ser usados en el sistema telefónico para las líneas de larga distancia, pero en la actualidad han sido reemplazados por la fibra óptica en rutas de distancias considerables. Sin embargo, el cable coaxial aún se utiliza ampliamente en la televisión por cable y en las redes de área metropolitana. La figura 2.1 muestra la construcción y el blindaje del cable coaxial le confieren una buena combinación de ancho de banda alto y excelente inmunidad al ruido. El ancho de banda posible depende de la calidad y longitud del cable, y de la relación señal a ruido de la señal de datos. Los cables modernos tienen un ancho de banda de cerca de 1 GHz.

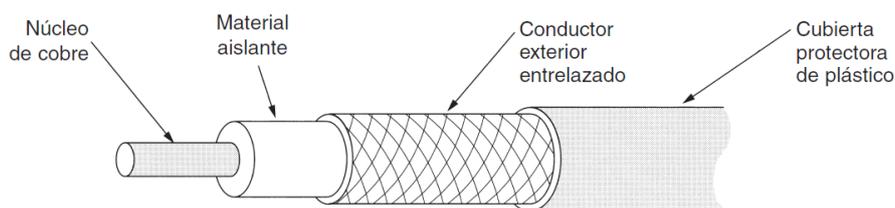


Figura 2.1 Cable Coaxial.
Fuente: Andrew S. Tanenbaum (2003)

b. Fibra Óptica

b.1. Definición

Según el autor Rodolfo Neri Vela (2004), las fibras ópticas están hechas de material dieléctrico y transmiten ondas electromagnéticas en las frecuencias más altas que se utilizan en sistemas de comunicaciones actuales.

A las fibras ópticas también se le llama guías dieléctricas de ondas. Están hechas con material dieléctrico también pueden guiar ondas electromagnéticas a diversas frecuencias.

Las guías dieléctricas presentan pocas pérdidas de 0.15 dB/km a 3 dB/km, según el tipo de fibra y se pueden emplear para transmitir a frecuencias ópticas.

En general el tipo de luz que viaja por una fibra es invisible, ya que las frecuencias empleadas corresponden al infrarrojo cercano o al infrarrojo lejano en el espectro electromagnético.

b.2. Tipos de Cables Ópticos

Para el autor Rodolfo Neri Vela (2004), una fibra óptica consiste en una barra dieléctrica cilíndrica muy delgada y larga, rodeada por una capa concéntrica de otro material dieléctrico. En la figura 2.2 se muestra, la barra central el cual se le denomina núcleo y la capa es llamada revestimiento o recubrimiento. El grosor total del conjunto es tan pequeño, que por su aspecto filamentario se le da el nombre de “fibra”.

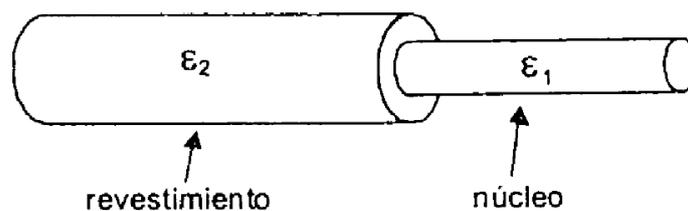


Figura 2.2 Geometría de una fibra óptica.

Fuente: Rodolfo Neri Vela (2004)

Un cable óptico puede contener una o varias fibras ópticas. En la figura 2.3 se muestra un ejemplo de un arreglo típico con seis fibras. El mismo cable puede llevar en el centro un conductor de acero que le suministra rigidez mecánica.

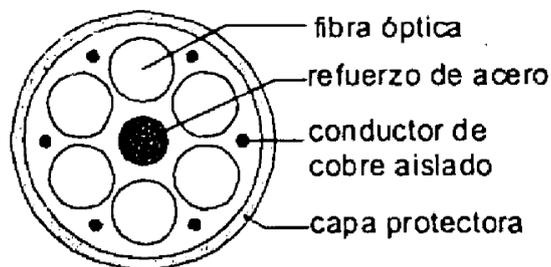


Figura 2.3 Cable óptico con seis fibras ópticas.

Fuente: Rodolfo Neri Vela (2004)

En la figura 2.4 se muestra un claro ejemplo de fibra óptica sin revestimiento, el cual podría funcionar como guía aun sin el revestimiento, solo que su eficiencia sería menor. Asimismo, se muestra la fibra óptica con revestimiento, al rodear el núcleo con su revestimiento, cuyo índice de refracción es muy ligeramente inferior al del núcleo, las pérdidas se reducen al mejorar la reflexión interna, incrementándose significativamente la eficiencia de la fibra.

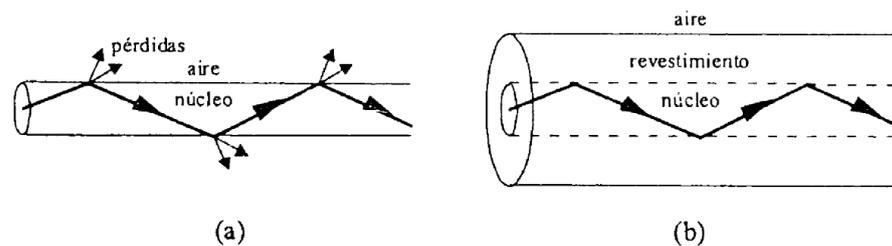


Figura 2.4 Fibra óptica sin revestimiento y Fibra óptica con revestimiento.
Fuente: Rodolfo Neri Vela (2004)

b.3. Tipos de Fibra óptica

b.3.1. Monomodo de índice escalonado

Según el autor Rodolfo Neri Vela (2004), la fibra monomodo de índice escalonado tiene un núcleo muy angosto con índice de refracción uniforme. El núcleo, por el contrario, debe tener un diámetro sumamente angosto, del orden de 10 μm . Esto hace que la fabricación de la fibra sea más difícil y más cara que en el caso de otros tipos de fibra. La fibra monomodo es la favorita en muchas aplicaciones; en especial, porque es la que puede conducir la tasa de transmisión de datos más elevadas.

b.3.2. Multimodo de índice escalonado

Según el autor Tomasi, Wayne (2003), es también llamado fibra multimodal de índice escalonado. Se parece a la configuración unimodal, pero el núcleo central es mucho mayor. Esta clase de fibra tiene una abertura grande de luz a fibra y en consecuencia permite la entrada de más luz al cable. Se puede decir que hay muchas trayectorias que puede seguir un rayo de luz al propagarse por la fibra. El

resultado es que no todos los rayos de luz siguen la misma trayectoria y, en consecuencia, no tardan lo mismo para recorrer la longitud de la fibra.

b.3.3. Multimodo de índice Gradual

Las fibras Multimodo de índice Gradual se caracterizan por un núcleo central cuyo índice de refracción es no uniforme; es máximo en el centro y disminuye en forma gradual hacia la orilla externa. La luz se propaga por esta clase de fibras por refracción. La luz entra a la fibra formando muchos ángulos diferentes. Al propagarse por la fibra, los rayos que viajan en la zona más externa de la fibra recorren mayor distancia que los que van cerca del centro. En vista de que el índice de refracción disminuye con la distancia al centro, y que la velocidad es inversamente proporcional al índice de refracción, la luz que va más alejada del centro se propaga con mayor velocidad. En consecuencia, se tardan aproximadamente lo mismo en recorrer la longitud de la fibra.

c. Fibra Hasta el Punto de Terminación FTTX

Según Jordi Casademont (2010), Existen varios tipos de red que plantean la combinación de la fibra óptica con otros medios de transmisión: cable de par trenzado, cable coaxial o, incluso, la transmisión por RF (radio frecuencia). Para todas ellas se considera el despliegue de la fibra óptica solo en la primera parte de la red de acceso, desde la central local (o cabecera) hasta un punto intermedio antes de llegar al usuario final (ONU – Optical Network Unit). En la Figura 2.5 se observa de forma general la arquitectura FTTx, dando lugar a FTTN, FTTC, FTTB y FTTH, entre las más importantes.

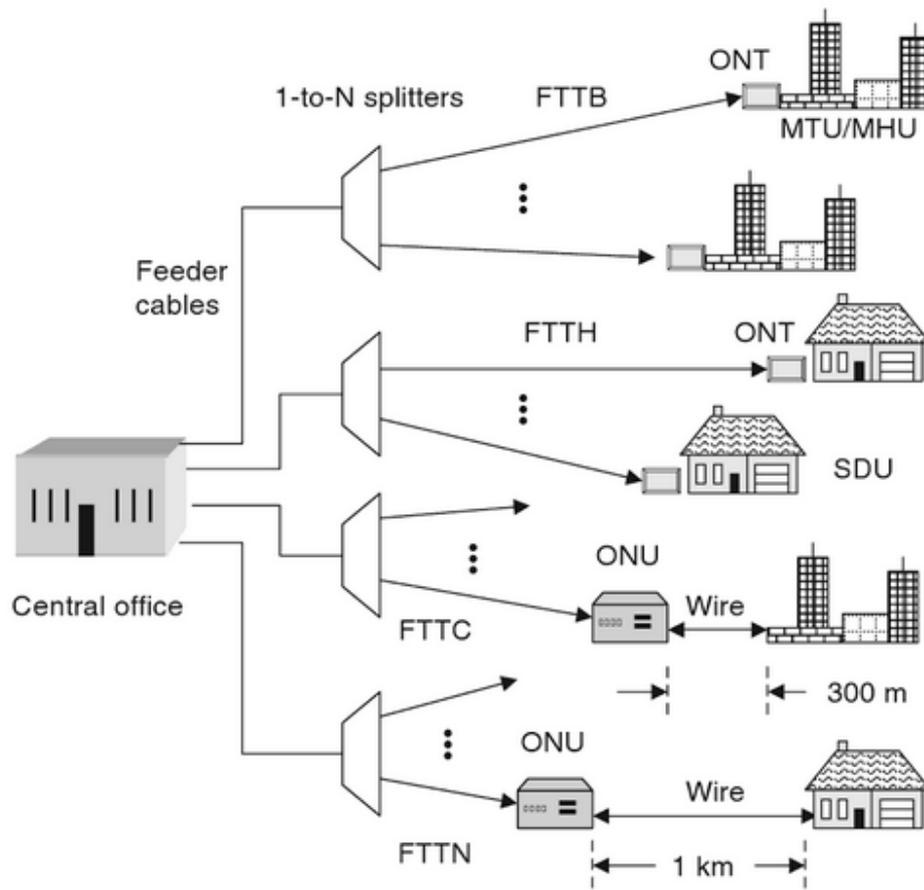


Figura 2.5 Algunos escenarios FTTX.

Fuente: Gerd Keiser (2006)

d. HFC:

d.1. Definición

Según Paul Sabatino (2000), menciona que HFC es una red de banda ancha utilizando una modificación de la infraestructura CATV. El crecimiento de Internet y la convergencia de la televisión con el computador ha llevado a las compañías de cable para desarrollar métodos de entrega de servicios de banda ancha a clientes residenciales.

La red híbrida de fibra coaxial (HFC), que representa la columna vertebral de la mayoría de los sistemas de cable modernos, se basan en compartir multimedia. Esto sólo presenta un problema, cuando la red está en condiciones de uso pesado, es decir todos usando la red al mismo tiempo.

Según el autor Andrew S. Tanenbaum (2003), un sistema con fibra para distancias considerables y cable coaxial para las casas se conoce como sistema HFC. Los convertidores electroópticos que interactúan entre las partes óptica y eléctrica del sistema se llaman nodos de fibra. Debido a que el ancho de banda de la fibra es mucho mayor al del cable coaxial, un nodo de fibra puede alimentar múltiples cables coaxiales.

En la Figura 2.6 se muestra la arquitectura de red HFC, desde la cabecera hasta el usuario final.

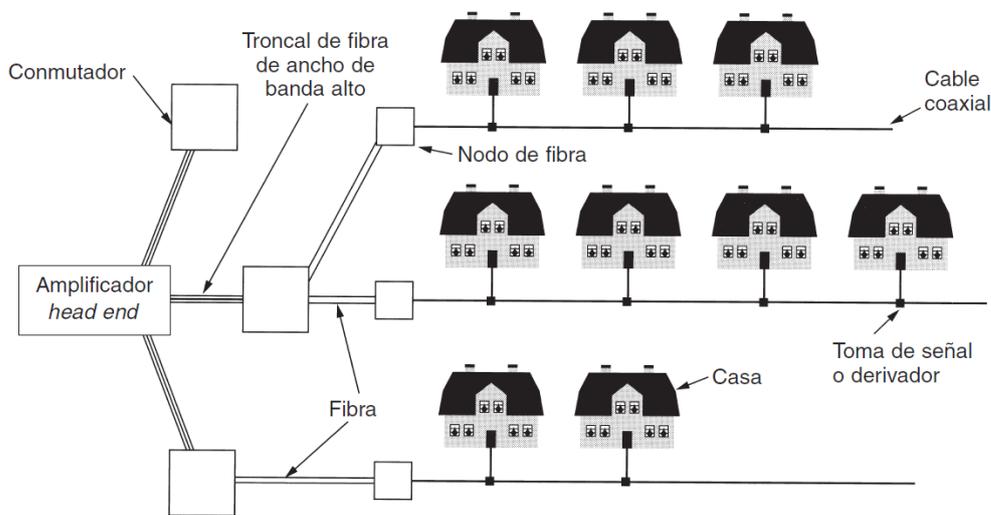


Figura 2.6 Televisión por Cable
Fuente: Andrew S. Tanenbaum (2003)

d.2. Principal Característica

Según María Carmen España Boquera (2003), menciona que una red HFC para difusión de señales de televisión las estaciones de usuario se conectan a una oficina central de cabecera de red, que presenta servicios habitualmente, entre 500 y 2000 viviendas. A la cabecera llegan las señales de televisión, muchas veces procedentes de un satélite, y desde allí se distribuyen hacia las distintas viviendas. Para ello, de la cabecera parten una serie de fibras ópticas monomodo que terminan en un nodo remoto ubicado en las inmediaciones de un grupo de viviendas. En el nodo remoto se realiza la conversión optoelectrónica de las señales, que posteriormente se distribuyen mediante una red de topología

arborescente constituida por cables coaxiales, los cuales terminan en las viviendas de los usuarios.

Según el autor Andrew S. Tanenbaum (2003), cuando se emplea en la difusión de televisión, esta compartición no tiene importancia. Todos los programas se difunden a través del cable y no importa si hay diez o tres o 10,000 televidentes. Cuando el mismo cable se utiliza para el acceso a Internet, el hecho de que haya 10 o 10,000 usuarios tiene mucha importancia. Si un usuario decide descargar un archivo muy grande, ese ancho de banda se les resta a otros usuarios. Entre más usuarios haya, habrá más competencia por el ancho de banda. Por otra parte, el ancho de banda del cable coaxial es mucho mayor que el del cable de par trenzado.

d.3. Modulaciones empleadas en sentido descendente:

Para la transmisión en sentido descendente suele resultar apto cualquier esquema de modulación apropiado para transportar señales de televisión digital. Las modulaciones empleadas con más frecuencia son la QAM.

d.4. Modulaciones empleadas en sentido ascendente:

En este sentido de la transmisión se recurre a modulaciones más sencillas, a pesar de que proporcionan una menor eficiencia espectral, porque simplifican la construcción de los transmisores y aportan mayor inmunidad frente al ruido. Un ejemplo de estas modulaciones es la QPSK y QAM.

d.5. Asignación de Frecuencia

Según Andrew S. Tanenbaum (2003), refiere, los cables coaxiales actuales de 300 a 450 MHz serán sustituidos por cables coaxiales de 750-860 MHz, elevando la capacidad de 50 a 75 canales de 6 MHz a 125 canales de 6 MHz. Setenta y cinco de los 125 canales se usarán para la transmisión de televisión analógica.

Según UIT “Las Telecomunicaciones de Banda Ancha En la Región Américas” (2008), se han de mejorar los sistemas de televisión por cable unidireccionales para convertirlos en bidireccionales para que puedan soportar servicios de telecomunicaciones avanzados. En Latino América los canales descendentes se

encuentran en la gama de 50 – 860 MHz y para los canales ascendentes se encuentran en la gama de 5 – 42 MHz como se muestra en la tabla 2.1. Según Andrew S. Tanenbaum (2003), menciona que los canales de radio FM trabaja en las frecuencias de 88 a 108 Mhz.

Tabla 2.1 Frecuencia que utiliza DOCSIS 2.0 en América Latina.

Sentido	Frecuencia (MHZ)
Ascendente	5 – 42
Descendente	50 - 860

Fuente: UIT “Las Telecomunicaciones de Banda Ancha En la Región Américas” (2008),

d.6. Tipo de Modulación y Transmisión de Datos.

Según UIT “Las Telecomunicaciones de Banda Ancha En la Región Américas” (2008), para los canales de televisión en el sentido descendente y para el sentido ascendente, se pueden utilizar una modulación de 64 QAM o 256 QAM. La modulación QPSK se utiliza únicamente para los canales de sentido ascendente.

En la tabla 2.2 se muestra la capacidad de transmisión de la modulación 64 QAM y 256 QAM y el espaciamiento de canal para su transmisión de información.

Tabla 2.2 Transmisión de Datos DOCSIS 2.0

Parámetros	64 QAM	256 QAM
Espaciamiento de Canal	6 MHz	6 MHz
Tasa de bits de Información	26.97 Mbps	38.81Mbps

Fuente: ITU-T J.83 (2007).

En la Figura 2.7 se muestra todo el rango de frecuencia del sistema HFC, se tiene:

- Desde 0 hasta 40 MHz: Para telefonía, comunicaciones de datos en sentido ascendente, señal de control para video por demanda y señales de gestión.

- Desde 40 MHz hasta 50 MHz: Banda de guarda entre los sentidos ascendente y descendente.
- Desde 50 MHz hasta 450 MHz: Para radiodifusión de televisión analógica y radiodifusión sonora con Modulación de frecuencia.
- Desde 450 MHz hasta 550 MHz: Para radiodifusión de televisión digital (pago por canal pago por visión y casi video por demanda).
- Desde 550 MHz hasta 862 MHz: Para Telefonía, comunicaciones de datos, video por demanda real.

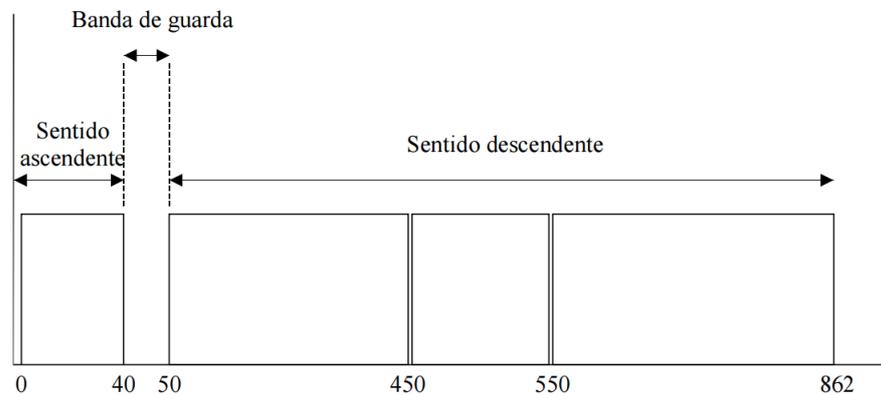


Figura 2.7 Espectro RF en HFC

Fuente: UIT-T L.47

d.7. Cable Modem

Para el autor Andrew S. Tanenbaum (2003), el acceso a Internet requiere un cable módem, un dispositivo que tiene dos interfaces: una en la computadora y la otra en la red de cable TV.

Los operadores de cable más grandes se unieron a una compañía llamada CableLabs para producir un cable modem estándar y probar la compatibilidad de productos. Este estándar, llamado DOCSIS 2.0 (Especificación de Interfaz para Servicio de Datos por Cable). Establecen una conexión cuando se encienden y la mantienen todo el tiempo que tengan energía, debido a que los operadores de cable no cobran por el tiempo de conexión, según se muestra en la figura 2.8.

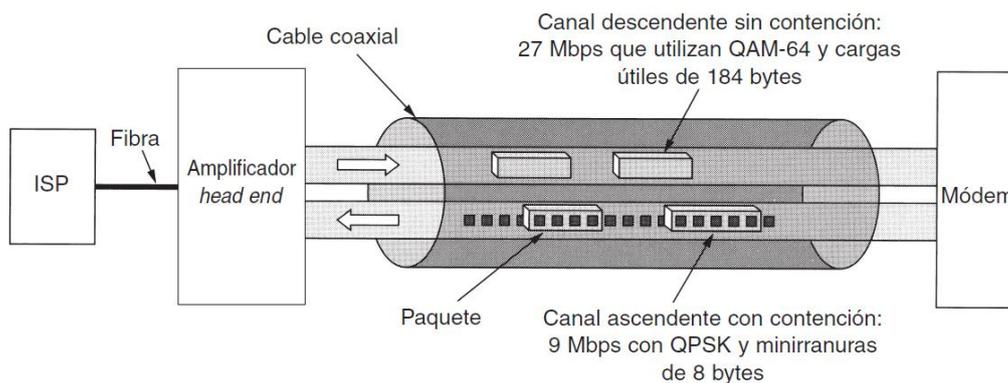


Figura 2.8 Detalles de los canales ascendentes y descendentes.

Fuente: Andrew S. Tanenbaum (2003)

e. FTTH

e.1. Definición

Según Jordi Casademont (2010), menciona que en los últimos años se está impulsando de forma importante el sistema FTTH, donde todo el trayecto hasta la entrada al hogar del usuario se hace únicamente con fibra óptica, y se completa con cable Ethernet y coaxial en la red interna del usuario. Del mismo modo FTTH promete un incremento destacado de la capacidad de la red de acceso, cuyas velocidades mínimas rondan los 40 Mbps. Ello permitirá un aumento de los servicios que el usuario final podrá obtener. Una de las configuraciones más usadas es la red PON, que permite que una parte del trayecto de una misma fibra sea compartida por un grupo de usuarios.

e.2. PON

Según Boronat Seguí, Fernando (2008), menciona que las redes PON basan su modelo de funcionamiento en las redes CATV. Esta nueva arquitectura es una evolución de menor coste a alternativas tradicionales como las redes punto a punto o las redes conmutadas hasta la manzana, puesto que reduce el equipamiento necesario para la conversión electroóptica y prescinden del equipamiento de red de alta densidad necesario para la conmutación. Para Jordi Casademont (2010), las redes PON se propone usar una fibra óptica que se extiende desde la central local y que abastecerá a varios usuarios. Así mismo la

red PON es una tecnología punto-multipunto. Todas las transmisiones en una red PON se realizan entre la unidad Óptica Terminal de Línea (OLT), localizada en el nodo óptico central y la Unidad Óptica de Usuario (ONU), situada en el lugar más cercano al usuario. Para International Journal of Computer Applications (2014), menciona que una red PON se aprovecha de la multiplexión por división de longitud de onda (WDM), utilizando una longitud de onda para el tráfico descendente y otra para el tráfico ascendente en una única fibra desplazada.

e.2.1. OLT

Según International Journal of Computer Applications (2014), OLT es el elemento principal de la red, sus funciones más importantes que realizan OLT son la programación del tráfico, el control de buffer y la asignación de ancho de banda.

e.2.2. Splitter Óptico

Según International Journal of Computer Applications (2014), el splitter óptico o también llamado divisor óptico divide la potencia de la señal. Es decir, cada enlace de fibra que entra en el divisor puede dividirse en un número dado de fibras que salen del divisor, sus principales características: amplia gama de longitudes de onda de funcionamiento, dimensiones mínimas, alta fiabilidad y Apoyar la supervivencia y la política de protección de la red.

e.2.3. ONT

Según International Journal of Computer Applications (2014), el equipo final más cercano al usuario se le determina como terminales ópticos de red (ONT). Los ONT están conectados al OLT por medio de fibra óptica y no hay elementos activos presentes en el enlace.

Asimismo, el autor menciona que G-PON es el transceptor entre el ONT y la oficina central OLT.

e.2.4. Ventajas

Las redes PON permiten dar servicios a usuarios localizados a distancias de hasta 20 Km desde la central.

Las redes PON minimizan el despliegue de fibra en el bucle local al poder utilizar topologías árbol, en lugar de las topologías comunes punto a punto.

Las redes ópticas pasivas ofrecen una mayor densidad de ancho de banda por usuario debido a la mayor capacidad de fibra.

Las redes PON elevan la calidad del servicio y simplifican el mantenimiento de la red, al ser inmunes a ruidos electromagnéticos, no propagar descargas eléctricas procedentes de rayos, etc.

PON permite crecer a mayores tasas de transferencia superponiendo longitudes de onda adicionales. Aspecto muy interesante para tratar los tipos de servicios actuales, los cuales necesitan un mayor ancho de banda.

e.2.5. Topología

Todas las topologías PON utilizan fibra monomodo. Al trabajar sobre este tipo de fibra, la manera de optimizar las transmisiones en ambos sentidos sin entremezclarse consiste en trabajar sobre longitudes de onda diferentes utilizando técnicas WDM (Wavelength Division Multiplexing).

Estas arquitecturas también utilizan técnicas de multiplexión, en este caso, TDMA. Así en distintos instantes temporales dominados por el OLT, los equipos ONU puedan enviar su trama en canal ascendente. Del mismo modo en el canal descendente.

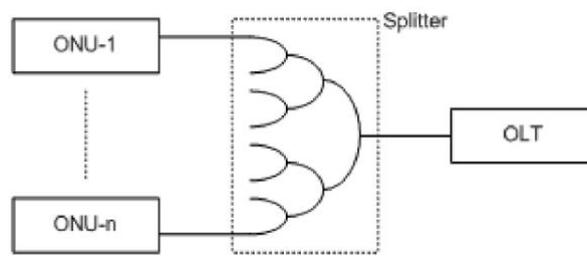


Figura 2.9 Topología básica de una red PON
Fuente: Boronat Seguí, Fernando (2008)

e.3. G-PON

Según UIT-T G.984.1 (2003), los sistemas G-PON se caracterizan en general por un sistema de terminación de línea óptica (OLT) y una unidad de red óptica (ONU) o una terminación de red óptica (ONT) con una red de distribución óptica (ODN) pasiva que los interconecta. Por lo general, existe una relación de tipo uno a muchos entre la OLT y las ONU/ONT respectivamente, A continuación, se especifican cada uno de los términos de una Red G-PON.

- Red de acceso óptico (OAN): Es el conjunto de enlaces de acceso que comparten las mismas interfaces del lado red y están soportados por sistemas de transmisión de acceso óptico. La OAN puede incluir varias ODN conectadas a la misma OLT.
- Red de distribución óptica (ODN): Una ODN proporciona el medio de transmisión óptica desde la OLT hasta los usuarios, y viceversa. Utilizando componentes ópticos.
- Terminación de línea óptica (OLT): Una OLT proporciona la interfaz en el lado de la red de la OAN, y está conectada a una o varias ODN.
- Terminación de red óptica (ONT): Una ONU utilizada para FTTH y que incluye la función de puerto de usuario.
- Unidad de red óptica (ONU): Una ONU proporciona (directamente o a distancia) la interfaz lado usuario de la OAN, y está conectada a la ODN.

e.3.1. Velocidad

Según UIT-T G.984.1 (2003), la red G-PON está prevista para velocidades de transmisión mayores o iguales a 1,2 Gbit/s. Sin embargo, en el caso de FTTH o

FTTC con línea de abonado digital (xDSL) asimétrica, es posible que no sea necesaria alta velocidad en sentido ascendente. Por consiguiente, la red G-PON identifica las 7 combinaciones de velocidades de transmisión siguientes:

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

e.3.2 Servicios

Según UIT-T G.984.1 (2003), es necesario que la red G-PON, soporte todos los servicios existentes y además los nuevos servicios en desarrollo para los abonados. Algunos operadores tienen más claro que otros el tipo de servicios específicos que deben ofrecer, aunque esto dependerá en gran medida de las condiciones reglamentarias particulares de los mercados de cada operador, y de las posibilidades que ofrece su propio mercado. La forma de ofrecer estos servicios de manera rentable depende de las condiciones jurídicas y además de otros factores, en particular la infraestructura de telecomunicaciones existente.

e.3.3. Sentido Descendente

Según ITU-T G.984.2 (2003), la velocidad binaria nominal de la señal OLT a ONU es 1244,16 o 2488,32 Mbit/s. el intervalo de longitudes de onda de trabajo en sentido descendente en los sistemas de una sola fibra será 1480-1500 nm.

Según la Empresa TELNET Redes Inteligentes (2014), menciona, mediante modulación óptica es posible transportar TV de manera Transparente (CATV 80 – 862 MHz), el televidente dispondrá en su hogar un dispositivo ONT con un puerto RF para conectar TV, VoD, STB, o deco TDT todos los servicios mencionados sobre la lambda de 1550 nm.

e.3.4. Sentido Ascendente

Según ITU-T G.984.2 (2003), la velocidad binaria nominal de la señal ONU a OLT es 155,52, 622,08, 1244,16 o 2488,32 Mbit/s. Cuando se encuentra en uno de sus estados de funcionamiento y se le autoriza, la ONU deberá transmitir su señal con una precisión igual a la de la señal descendente recibida. La ONU no deberá transmitir ninguna señal cuando no se encuentre en ninguno de sus estados de funcionamiento ni cuando carezca de autorización. El intervalo de longitudes de onda de trabajo en sentido ascendente será 1260-1360 nm.

e.3.5. Alcance lógico

Se determina como la distancia máxima entre ONU/ONT y OLT salvo el límite de la capa física. En G-PON, el alcance lógico máximo es de 60 km.

e.3.6. Alcance físico

Se determina como la distancia física máxima entre la ONU/ONT y la OLT. En G-PON, se definen dos opciones para el alcance físico: 10 km y 20 km. Se supone que la ONU puede utilizar el diodo láser, en una distancia máxima de 10 km para altas velocidades tales como 1,2 Gbps o 2.4 Gbps, se muestra en la figura 2.10.

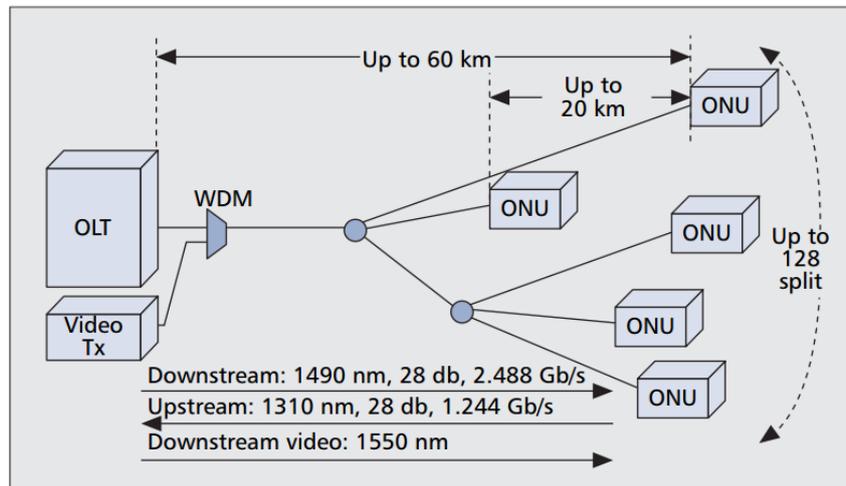


Figura 2.10 Arquitectura G-PON

Fuente: http://www.pitt.edu/~dtipper/2011/PON_Tutorial.pdf

e.4 Multiplexación por división en longitud de onda

Según Stallings, William (2000), menciona que en 1997 se alcanzó un hito cuando en los laboratorios de Bell se demostró la viabilidad de un sistema WDM con 100 haces cada uno operando a 10 Gbps, proporcionando una velocidad de transmisión total de un trillón de bits por segundo (también denominada 1 Tbps). Todo el potencial de la fibra se utiliza plenamente cuando se transmiten varios haces de luz a diferentes frecuencias en la misma fibra. Esto no es sino un tipo de multiplexación por división en frecuencias (FDM), aunque se denomina multiplexación por división de longitudes de onda (Wavelength Division Multiplexing) (WDM). En WDM, el haz de luz está constituido por multitud de colores, o longitudes de onda, cada uno de los cuales porta un canal diferente de datos.

Según International Journal of Computer Applications (2014), refiere que WDM separa las tres longitudes de onda 1310nm, 1490nm y 1550nm. ONT recibe datos a 1490nm y envía un tráfico de ráfaga a 1310nm. Se recibe vídeo analógico a 1550nm. Son convertidores de fibra a cobre que ofrecen conectores RJ11, RJ45 y F-Series a cualquier dispositivo, se muestra en la figura 2.11.

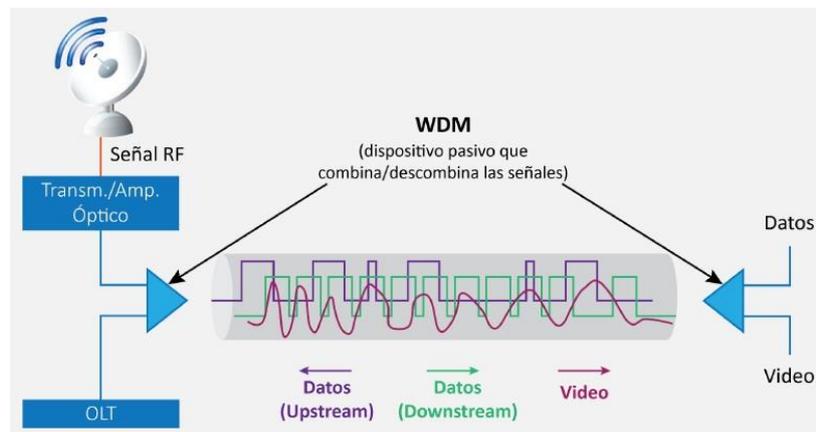


Figura 2.11 Multiplexación por división en longitud de onda

Fuente: <http://fibraoptica.blog.tartanga.eus/page/3/> (furukawa)

f. Servicios Triple Play

f.1. Internet

Overbooking: La velocidad promedio por usuario, se calculó como la multiplicación de la velocidad ofrecida de los planes promedio por el porcentaje de overbooking, que asciende a 10% (overbooking de 1 a 10). Según ProInversión – Perú, “Informe de Red Dorsal nacional de Fibra Óptica” (2012).

La Proyección del tráfico de banda ancha se determina en base de la velocidad promedio de los planes que existen en el mercado. Sobre la base de CEPAL (2011), se determinó que, para el año 2022, sería posible alcanzar como mínimo, los 5 Mb (escenario base, y 10 Mb para el escenario optimista). Según ProInversión – Perú, “Informe de Red Dorsal nacional de Fibra Óptica” (2012).

f.2 VoIP

Según Antonio Carballar (2008). La Telefonía IP es un servicio que permite la transmisión de la voz utilizando la red Internet. Esta tecnología IP también la utilizan las redes locales de datos, como Ethernet o Wi Fi, por lo que la VoIP puede ser empleada también para facilitar las comunicaciones internas de una empresa, como sustitutos del sistema tradicional de centralitas. VoIP puede utilizarse también en aplicaciones particulares en las que se necesite el envío de audio en tiempo real. Este es el caso de las aplicaciones de tele vigilancia o teleasistencia, entre otras.

Según Cisco, menciona que la voz sobre IP (VoIP) define una manera de llevar las llamadas de voz sobre una red IP incluyendo la numeración y la packetización de las secuencias de voz. También utiliza diferentes estándares VoIP para crear un sistema de telefonía tales como ruteo de llamadas, correo de voz, centro de contactos y etc.

f.2.1 Calculo Ancho de Banda VoIP.

Para determinar la transmisión de datos en una llamada, se utilizan los siguientes encabezados del protocolo: IP (20 bytes), Protocolo de datagrama de usuario

(UDP) (8 bytes), Protocolo en tiempo real (RTP) (12 bytes) y Ethernet (18 bytes).
Según cisco.

En la tabla 2.3 se muestra los diferentes tipos de códec, el cual servirán para determinar la transmisión por llamada.

Tabla 2.3 Tipos de códec

Velocidad de bits y códec (kbps)	Ejemplo de tamaño de códec (bytes)	Ejemplo de Intervalo del Códec (ms)	Mean Opinion Score (MOS))
G.711 (64 kbps)	80 bytes	10 ms	4.1
G.729 (8 kbps)	10 bytes	10 ms	3,92
G.723	24 bytes	30 ms	3,9
G.723.1 (5.3 Kbps)	20 bytes	30 ms	3,8
G.726 (32 Kbps)	20 bytes	5 ms	3,85
G.726 (24 kbps)	15 bytes	5 ms	
G.728 (16 kbps)	10 bytes	5 ms	3,61

Fuente: www.cisco.com

F.3 Televisión por Cable

Según Andrew S. Tanenbaum (2003), menciona, las redes de televisión por cable están tomando mucha importancia para la conectividad de redes fijas, hoy por hoy los operadores de cable se encuentran trabajando arduamente para incrementar el servicio de televisión y poder dar un mejor servicio al televidente.

En la siguiente Tabla 2.4 se muestra la capacidad de transmisión necesario cuando se envían canales de televisión.

Tabla 2.4 Capacidad de Transmisión SD y HD

Formato	MPEG-2	MPEG-4 / H.264
SDTV	3 Mbits	2 Mbits
HDTV	15 Mbits	8 Mbits

Fuente: Fernando Boronat Segui, "IPTV, La Televisión por Internet (2008)".

2.3 Definición de términos

- FTTX (Fiber to The X / Fibra Hasta el x): Término genérico para determinar el acceso de la fibra óptica hasta un punto específico (ej. FTTN, FTTC, FTTB y FTTH.).
- FTTN (Fiber to The Node / Fibra Hasta el Nodo): La fibra óptica termina en una central de telecomunicaciones o un operador.
- FTTC (Fiber to The Cabinet / Fibra Hasta el Armario): Similar a FTTN, pero la cabina o armario está más cerca del usuario.
- FTTB (Fiber to The Building / Fibra Hasta el Edificio): La fibra óptica termina en un punto de distribución en el interior del edificio.
- FTTH (Fiber to The Home / Fibra Hasta el Hogar): La fibra óptica termina en el interior de la casa.
- HFC (Hybrid Fiber Coaxial / Híbrido de Fibra y Coaxial): Término que incorpora la fibra óptica y el cable coaxial.
- CATV (Community Antena Television / Televisión por Cable): Es un servicio de televisión por suscripción.
- QAM (Quadrature Amplitude Modulation / Modulación de Amplitud en Cuadratura): Es una técnica de transportar señales independientes.
- QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying / Modulación por desplazamiento de fase): Es una técnica que permite hacer variar la fase de la portadora.
- MHz (Megahercio): Unidad de medida de la frecuencia.
- MPEG-2, MPEG-4 o H.264: Método de compresión digital de audio y video.
- FM (Frecuencia Modulada): Técnica de modulación que permite transmitir información a través de una onda portadora.
- RF (Radiofrecuencia): Denominado espectro de radiofrecuencia.
- DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification / Especificación de interfaz para Servicios de Datos por Cable): Estándar que define los requisitos de interfaz de comunicaciones y operaciones para los datos sobre sistemas de cable.
- PON (Passive Optical Network / Red Óptica Pasiva): Red óptica que elimina todos los componentes activos.

- WDM (Wavelength Division Multiplexing / Multiplexación por División en Longitudes de Onda): Técnica de transmisión de señales a través de fibra óptica.
- OLT (Optical Line Termination): Situado en el nodo central, de él parten las fibras ópticas hacia los usuarios.
- ONU (Optical Network Unit / Unidad de Red Óptica): Elemento situado en la casa del abonado.
- ONT (Optical Network Termination / Terminación de Red Óptica): Elemento situado en la casa del abonado.
- G-PON (Gigabit Passive Optical Network / Red Óptica Pasiva Gigabit): Tecnología que utiliza Fibra óptica para llegar hasta el usuario.
- xDSL (x Digital Subscriber Line / Línea de Abonado Digital): Tecnología de acceso a internet de banda ancha.
- ITU-T (International Telecommunications Union / Unión Internacional de Telecomunicaciones): Organismo encargado de regular las normas de telecomunicaciones a nivel internacional.
- FDM (Frequency Division Multiplexing / Multiplexación por División de Frecuencia): Multiplexación utilizada generalmente en sistemas de transmisión analógicos.
- TRIPLE PLAY: Se define como el empaquetamiento de servicios y contenidos audiovisuales (Voz, Internet y Televisión).
- IP (Internet Protocol): Es un número que identifica un dispositivo en una red.
- IPTV (Televisión sobre el Protocolo IP): Tecnología que permite que los servicios de televisión sean emitidos a través de una red de paquetes de datos.
- SDTV (Standard Definition Television / Televisión Estándar): La televisión estándar ofrece imagen análoga convertida a digital.
- HDTV (High Definition Television / Televisión en Alta Definición): La televisión en alta definición emite señales digitales.
- VoIP (Voice Over IP / Voz sobre IP): Tecnología que transmite voz a través de las redes IP.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y

PROCEDIMIENTOS

3. Material y Método

3.1 Material

3.1.1 Población y Muestra

La población está constituida por todos los parámetros técnicos de capacidad de transmisión de datos comparables entre los sistemas HFC y FTTH para el caso del diseño de una red Triple Play en la ciudad de Trujillo.

Al tratarse de una muestra no paramétrica, se han considerado 06 capacidades específicas que pueden ser sujetas de comparación, las cuales están relacionadas al servicio de internet, servicio de televisión y servicio de telefonía IP, lo cual constituye la muestra empleada en el presente trabajo.

3.1.2 Unidad de Análisis

Análisis de las capacidades específicas para internet, televisión y telefonía.

3.2 Método

3.2.1 Nivel de Investigación

El nivel de investigación propuesto en el presente proyecto es de tipo descriptiva. Se va a realizar una comparación de las capacidades de transmisión de un sistema HFC en la ciudad de Trujillo, respecto a las capacidades de transmisión de un sistema FTTH, a fin de describir o caracterizar las diferencias entre los dos sistemas.

3.2.2 Diseño de Investigación

El diseño de investigación propuesto en el presente proyecto es de tipo investigación documental. En base a los reportes de capacidad resultantes del diseño tanto con el sistema FTTH como con el sistema HFC, se realizará el análisis y comparación de parámetros específicos entre ambos sistemas.

Etapas:

- Recopilación de información con respecto a la transmisión de datos del sistema HFC.
- Recopilación de información con respecto a la transmisión de datos del sistema FTTH.
- Diseño de las capacidades de transmisión de una red triple play en la ciudad de Trujillo, sobre el sistema HFC.
- Diseño de las capacidades de transmisión una red triple play en la ciudad de Trujillo, sobre el sistema FTTH.
- Comparación en base a los reportes de diseño obtenidos para el sistema HFC y el sistema FTTH, mediante tablas y gráficos estadísticos.

3.2.3 Variables de estudio y Operacionalización

3.2.3.1 Variables de Estudio

3.2.3.1.1 Independientes

- Capacidades de transmisión del Sistema HFC para una red triple play Trujillo.
- Capacidades de transmisión del Sistema FTTH para una red triple play en la ciudad de Trujillo.

3.2.3.1.2 Dependientes

- Comparativa de capacidades de los sistemas HFC y FTTH.

3.2.3.2 Operacionalización

- Tabla 1 Operacionalización de la Variable Independiente I.
- Tabla 2 Operacionalización de la Variable Independiente II.
- Tabla 3 Operacionalización de la Variable Dependiente.

Tabla 3.1 Operacionalización de la Variable Independiente I

VARIABLE INDEPENDIENTE I	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	FORMULA	UNIDADES MEDIDA
Capacidades de sistema HFC para una red triple play en la ciudad de Trujillo	Se refiere a los parámetros de capacidad a evaluar para los servicios de Internet, Televisión y Telefonía IP, para una posible red Triple Play en la ciudad de Trujillo	Parámetros Servicio Internet	Capacidad Downstream usuario	Reporte de diseño	-	Mbps
			Capacidad Upstream usuario	Reporte de diseño		Mbps
		Parámetros Servicio TV	Canales TV Analógico usuario	Reporte de diseño		Nª canales
			Canales TV Digital SD usuarios	Reporte de diseño		Nª canales
			Canales TV HD usuarios	Reporte de diseño		Nª canales
		Parámetros Servicio Telefonía IP	Capacidad Telefonía IP usuarios	Reporte de diseño		Mbps

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3.2 Operacionalización de la Variable Independiente II

VARIABLE INDEPENDIENTE II	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	FORMULA	UNIDADES MEDIDA
Capacidades de sistema FTTH para una red triple play en la ciudad de Trujillo	Se refiere a los parámetros de capacidad a evaluar para los servicios de Internet, Televisión y Telefonía IP, para una posible red Triple Play en la ciudad de Trujillo	Parámetros Servicio Internet	Capacidad Downstream usuario	Reporte de diseño	-	Mbps
			Capacidad Upstream usuario	Reporte de diseño		Mbps
		Parámetros Servicio TV	Canales TV Analógico usuario	Reporte de diseño		Nº canales
			Canales TV Digital SD usuarios	Reporte de diseño		Nº canales
			Canales TV HD usuarios	Reporte de diseño		Nº canales
		Parámetros Servicio Telefonía IP	Capacidad Telefonía IP usuarios	Reporte de diseño		Mbps

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3.3 Operacionalización de la Variable Dependiente

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	FORMULA	UNIDADES MEDIDA
Comparativa de capacidades de los sistemas HFC y FTTH	El estudio consiste en comparar cuantitativamente las diferencias de las capacidades para los servicios de Internet, tv y telefonía IP.	La comparación cuantitativa y cualitativa de los servicios asociados a los sistemas de HFC y FTTH, permitirán definir ventajas y desventajas en los servicios de Internet, TV y Telefonía IP, así mismo evaluar de manera general las ventajas de un sistema sobre otro.	Comparativa Capacidad Downstream usuario	Cuadro Comparativo	-	% diferencia
			Comparativa Capacidad Upstream usuario	Cuadro Comparativo		% diferencia
			Comparativa Canales TV Analógico usuario	Cuadro Comparativo		% diferencia
			Comparativa canales TV Digital SD usuario	Cuadro Comparativo		% diferencia
			Comparativa Canales TV Digital HD usuario	Cuadro Comparativo		% diferencia
			Comparativa Capacidad Telefonía IP usuarios	Cuadro Comparativo		% diferencia

Fuente: Elaboración Propia.

3.3 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.

3.3.1 Visitas de Campo:

3.3.1.1 Entrevistas al personal vinculado del servicio de telecomunicaciones.

Se realizó la entrevista al Ingeniero Residente de la Empresa Lari Contratista S.A.C, con el fin de identificar la capacidad de transmisión de los servicios de Televisión, el funcionamiento de la Televisión analógica y el funcionamiento de los decodificadores. Anexo 1

3.3.1.2 Encuestas sobre servicios de telecomunicaciones.

Se aplicó encuestas a los usuarios que viven en la Urbanización el Golf, con el fin de identificar los tipos de servicios que utilizan. Anexo 2

Según se observa en la figura 3.1 los resultados porcentuales, en la encuesta realizada en la Urbanización el Golf para el diseño de red de este estudio de investigación, presenta el siguiente puntaje respecto al Tipo de Servicio: Telefonía Fija (0%), Telefonía Fija - Internet (17%) y Telefonía Fija - Internet – TV (83 %).

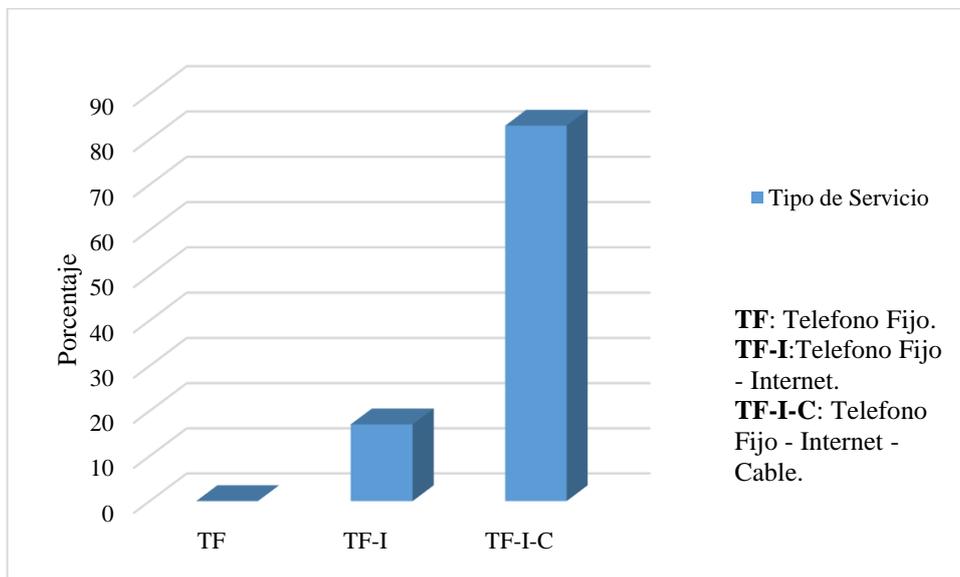


Figura 3.1 Porcentaje Tipo de servicio de Telecomunicaciones.

Fuente: Encuesta de opinión aplicada a los usuarios Urbanización el Golf (febrero 2017)

Según se observa en la figura 3.2 los resultados porcentuales, en la encuesta realizada en la Urbanización el Golf para el diseño de red de este estudio de investigación, presenta el siguiente puntaje respecto al Tipo Velocidad del Servicio de Internet: < - 4 Mbps (0%), 4 – 8 Mbps (92%) y > - 8 Mbps (8 %).

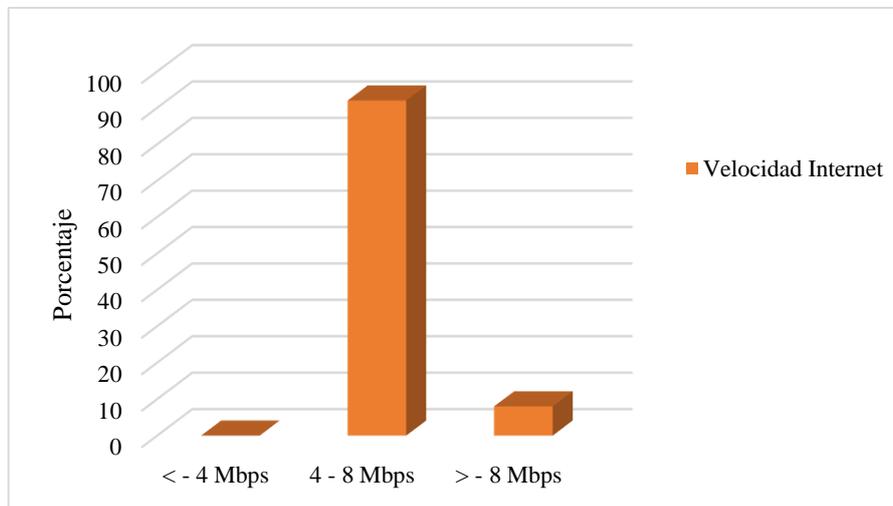


Figura 3.2 Porcentaje Tipo velocidad Internet

Fuente: Encuesta de opinión aplicada a los usuarios Urbanización el Golf (febrero 2017)

Según se observa en la figura 3.3 los resultados porcentuales, en la encuesta realizada en la Urbanización el Golf para el diseño de red de este estudio de investigación, presenta el siguiente puntaje respecto al Servicio de Televisión por Cable: Decodificador Analógica (0%), Decodificador Digital (0%) y Decodificador Alta Definición (HD) (100 %).

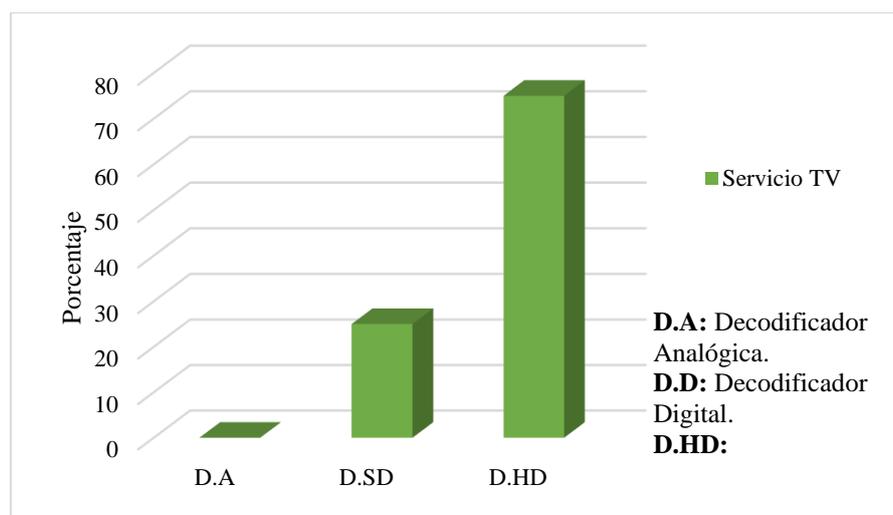


Figura 3.3 Porcentaje Tipo Decodificador

Fuente: Encuesta de opinión aplicada a los usuarios Urbanización el Golf (febrero 2017)

3.3.2 Mapa catastral de la zona de Interés

En la Figura 3.4 se muestra, mapa catastral de la Urbanización el Golf. El sector delimitado (línea azul) corresponde al área de cobertura, determinando 907 usuarios para el diseño de capacidades de transmisión. Así mismo el área seleccionada abarca 4 zonas (Las Flores del Golf, La encalada, Palmeras de Golf y Palmas del Golf).

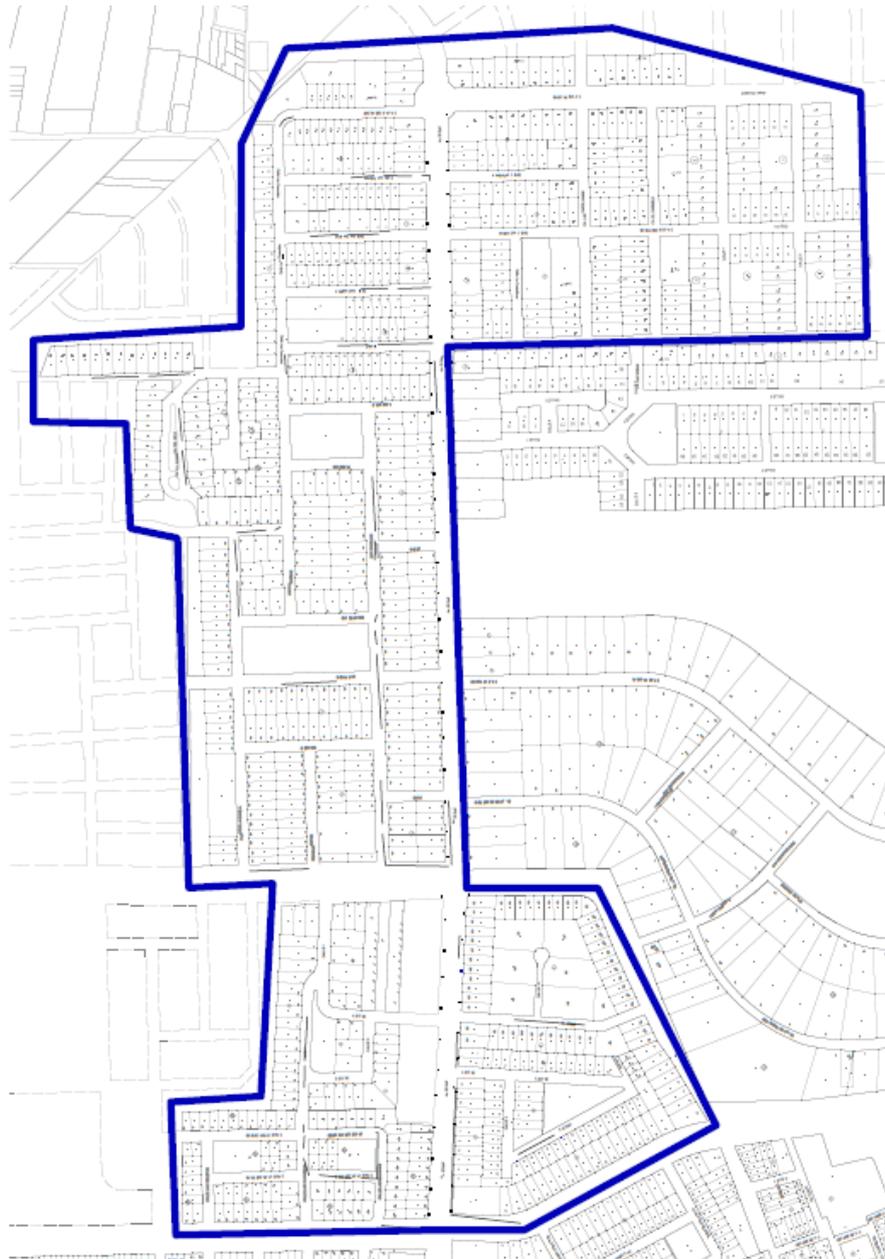


Figura 3.4 Mapa Catastral de la Urbanización el Golf.

Fuente: www.bibliocad.com

3.3.3 Criterios para dimensionamiento de capacidades HFC.

3.3.3.1 Dimensionamiento de capacidad Internet

a. Sentido Ascendente

Para el sentido ascendente o upstream, el rango de frecuencia es desde 5 – 42 MHz, la transmisión de datos se requiere del sistema DOCSIS 2.0 en el servicio de Internet y Telefonía IP, este sistema acepta tres tipos de modulación QPSK, 16-QAM y 64-QAM, en este caso de estudio utilizaremos la modulación de 64-QAM, se puede tener una transferencia de datos de 27 Mbps en un canal de 6 MHz. Se tiene como máximo 6 canales de 6 MHz. Según UIT-T J.122 (2002) y ITU-T J.83 (2007)

b. Sentido Descendente

Para el sentido Descendente o Downstream, el rango de frecuencia es desde 50 – 862 MHz, la transmisión de datos por cable se utiliza DOCSIS 2.0, este sistema para el sentido descendente acepta dos tipos de modulación 64 QAM y 256-QAM, en esta investigación se requiere utilizar la modulación de 256-QAM, con este tipo de modulación se pueden tener una transferencia de datos de 38.8 Mbps en un canal de 6 MHz. En este rango de frecuencia descendente se comparte la televisión analógica que corresponde desde 50 MHz – 450 MHz, en ese rango opera radiodifusión sonora corresponde desde 88 – 108 MHz. Los canales restantes desde 450 – 862 MHz, se utilizan para transmitir Televisión, Internet y Telefonía IP. Se tiene como máximo 68 canales de 6 MHz para transmitir datos. Según UIT-T J.122 (2002) y ITU-T J.83 (2007)

En la tabla 3.4 se muestra la capacidad de transmisión de modulación 64 QAM y 256 QAM y el espaciamiento de canal para su transmisión de información. Ambas modulaciones se utilizarán para este estudio.

Tabla 3.4 Capacidad de Datos Diseño DOCSIS 2.0

Parámetros	64 QAM	256 QAM
Espaciamiento de Canal	6 MHz	6 MHz
Tasa de bits de Información	26.97 Mbps	38.81Mbps

Fuente: ITU-T J.83 (2007).

En la tabla 3.5 se muestra la distribución de canales en sistema HFC, mencionando los tipos de servicio y su respectivo rango de frecuencia.

Tabla 3.5 Rango de Frecuencia HFC.

Rango de Frecuencia	Servicio
0 – 40 MHz	Telefonía, comunicaciones de datos en sentido ascendente, señal de control para video por demanda y señales de gestión.
40 – 50 MHz	Banda de Guarda entre los sentidos ascendente y descendente.
50 – 450 MHz	Para radiodifusión de televisión analógica y radiodifusión sonora con Modulación de frecuencia.
450 – 550 MHz	Para radiodifusión de televisión digital (pago por canal pago por visión y casi video por demanda).
550 – 862 MHz	Telefonía, comunicaciones de datos, video por demanda real.

Fuente: UIT-T L.47

3.3.3.2 Tabla para dimensionamiento de capacidades Telefonía IP.

Para el dimensionamiento Telefonía IP en el sistema HFC, se tiene el rango de frecuencia de 5 MHz hasta 42 MHz (sentido Ascendente) y 550 MHz hasta 862 MHz (Sentido Descendente).

En la tabla 3.6 se muestra algunos tipos de códec utilizados para el dimensionamiento de la Telefonía IP. Para esta investigación se utilizará el códec G.729.

Tabla 3.6 Tipos de Códec Diseño

Velocidad de bits y códec (kbps)	Ejemplo de tamaño de códec (bytes)	Ejemplo de Intervalo del Códec (ms)	Mean Opinion Score (MOS)
G.729 (8 kbps)	10 bytes	10 ms	3,92

Fuente: www.cisco.com

Finalmente se determina los encabezados de protocolo: Ethernet (18 bytes), IP (20 bytes), Protocolo de datagrama de usuario (UDP) (8 bytes), Protocolo en tiempo real (RTP) (12 bytes). Todos los protocolos mencionados se utilizarán en esta investigación.

Para el servicio de Telefonía IP, se calcula la capacidad total de transmisión de datos, para determinar la capacidad por usuario. Para el servicio de Telefonía IP, se considera el códec G.729 que es el más usado para llamadas VoIP.

A. Calculo Servicio Telefonía IP

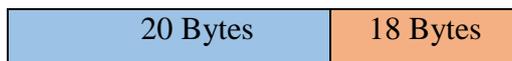
a. Paso 1 Calcular el número de paquetes por segundo

- **Calcular el tamaño de la trama en milisegundos**
 $8 \text{ kbps} \times 10 \text{ mseg} = 8000 \text{ bps} \times 10 \times 1/1000 \text{ Seg} = 80 \text{ bits por trama}$
- **Calcular la capacidad que viajan por el paquete IP**
 $2 \text{ tramas G.729} = 160 \text{ bits} = 20 \text{ Bytes}$
- **Calcular número de paquetes por segundo**
 $8000 \text{ bits (Código)} / 160 \text{ bits/paquete (paquete IP)} = 50 \text{ paquetes por segundo}$

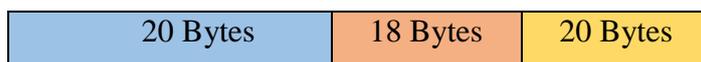
b. Paso 2 Calcular el total de bits de cada paquete IP

- **Definir protocolo.**
 Sumar los Bytes de todos los encabezados
 $\text{Ethernet} + \text{IP} + \text{UDP} + \text{RTP}$

Ethernet (capa 2): En la trama Ethernet se agrega 18 Bytes de encabezado más 20 Bytes de voz del códec.



IP (capa 3): En la trama IP se agrega 20 Bytes de encabezado + 18 Bytes de encabezado ethernet + 20 Bytes de voz del códec.



UDP + RTP (capa 4): En la trama UDP se agregan 8 Bytes + 12 Bytes de la trama RTP + 20 bytes de la trama IP + 18 Bytes de la trama Ethernet + 20 Bytes de voz del códec.



20 Bytes (códec) + 20 Bytes (Ethernet) + 20 Bytes (IP) + 8 Bytes (UDP) + 12 Bytes (RTP) = 78 Bytes por paquete.

c. Paso 3 Calcular el Ancho de Banda de la llamada

- **Multiplicar el tamaño de cada paquete por el número de paquetes por segundo y convertir a bps.**

$$50 \text{ pps} \times 78 \text{ Bytes} = 3900 \text{ Bytes/segundo}$$

$$39000 \times 8 \text{ bits/seg} = 31,200 \text{ bps}$$

$$\text{Ancho de Banda de la llamada} = 31.2 \text{ Kbps.}$$

Finalmente se tiene la capacidad por usuario en una llamada de telefonía IP en un solo sentido.

3.3.3.3 Tabla para dimensionamiento de capacidades Televisión.

Para el dimensionamiento de televisión en el sistema HFC, se tiene el rango de frecuencia de 450 MHz hasta 550 MHz, de acuerdo al diseño el rango de frecuencia puede aumentar.

En la siguiente Tabla 3.7 se muestra la capacidad de transmisión necesario de acuerdo al formato de Televisión SD y HD. En esta investigación se utilizarán ambos formatos para el dimensionamiento de canales del sistema HFC.

Tabla 3.7 Capacidad de Transmisión SD y HD Diseño.

FORMATO	MPEG-2	MPEG-4 / H.264
MPEG-2	SDTV	3 Mbps
	HDTV	15 Mbps
MPEG-4 / H.264	SDTV	2 Mbps
	HDTV	8 Mbps

Fuente: IPTV, La Televisión por Internet (2008)

3.3.4 Criterios para dimensionamiento de capacidades FTTH

3.3.4.1 Dimensionamiento de capacidad Internet

a. Sentido Ascendente

Para el sentido Ascendente del sistema FTTH, utiliza la lambda de 1310 nm, la velocidad de transmisión de datos es de 2.488 Gbps, bajo una red G-Pon.

b. Sentido Descendente

Para el sentido descendente, se utiliza la lambda de 1490 nm y una velocidad de transmisión de datos de 2.488 Gbps, también utiliza la lambda de 1550 para la transmisión de video analógico, VoD, STB o deco TDT, bajo una red G-Pon.

La tabla 3.8 muestra todas las combinaciones posibles de velocidades de transmisión de una red G-Pon. Para este estudio de investigación se utilizará la combinación 1,2 Gbit/s Upstream y 2,4 Gbit/s Downstream.

Tabla 3.8 Combinaciones G-PON Diseño.

Combinación de velocidad de Transmisión G-PON	
Upstream	Downstream
1,2 Gbit/s	2,4 Gbit/s

Fuente: UIT-T G.984.1 (2003).

3.3.4.2 Dimensionamiento de capacidades Telefonía IP.

Para dimensionar capacidad de transmisión de Telefonía IP, utilizaremos la tabla 3.5 del sistema HFC, donde muestra diferentes tipos de códec utilizados para la Telefonía IP. Para el cálculo de Telefonía IP en el sistema FTTH se utiliza el códec G.729, finalmente se calcula la trama IP, medio por el cual será enviada la voz. Los cálculos son iguales al sistema HFC.

3.3.4.3 Dimensionamiento de capacidades Televisión.

Para determinar el número de canales TV transmitidos por el sistema FTTH, utilizaremos la tabla 3.6 del sistema HFC, donde muestra la capacidad de transmisión del formato SD y HD, y su tipo de compresión, en esta investigación se utilizarán ambos formatos para el dimensionamiento de canales del sistema FTTH.

3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE PROCESAMIENTO DE DATOS.

Para el procesamiento de datos se utilizarán tablas de estimación de capacidad para el sistema HFC, tablas de estimación de la capacidad para el sistema FTTH para una red triple play.

3.4.1. CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN HFC

3.4.1.1 Capacidad de transmisión de datos para el servicio de internet.

a. Capacidad de Sentido Ascendente

Para el sentido ascendente se emplea una modulación de 64 QAM, Empleando este tipo de modulación obtendremos una mayor capacidad de transmisión de datos.

En la tabla 3.9 se muestra el rango de frecuencia transmisión ascendente y número de canales posibles para transmitir información.

Tabla 3.9 Número de Canales de 6 MHz en el sentido Ascendente

Rango de Frecuencia (MHz)	N° Canales 6 MHz
5 – 42	6

Fuente: Elaboración Propia

Para hallar capacidad máxima de acuerdo al tipo de modulación en el sentido ascendente, se tiene:

$$\# \text{ canales } \times \text{ Capacidad de transmisión (64 QAM) } = \text{ Capacidad Maxima}$$

$$6 \text{ Canales } \times 27 \text{ Mbps (64 QAM) } = 162 \text{ Mbps}$$

Se tiene 162 Mbps aproximadamente en el sentido Ascendente (Internet y Telefonía IP).

b. Capacidad de sentido Descendente

Para el sistema HFC es necesario evaluar el cálculo de la capacidad requerida en la red, se utiliza la frecuencia de 550 – 862 MHz en caso del servicio de Internet y telefonía IP y en el caso de Televisión Digital el rango de Frecuencia es desde 450 – 550 MHz. Para esta investigación se emplea la modulación de 256 QAM en el sentido descendente.

En la tabla 3.10 se muestra el rango de frecuencia transmisión descendente y número de canales posibles para transmitir información.

Tabla 3.10 Número de Canales de 6 MHZ en el sentido descendente

Rango de Frecuencia (MHZ)	N° Canales 6 MHZ
550 – 862	52

Fuente: Elaboración Propia

Para hallar capacidad máxima de acuerdo al tipo de modulación en el sentido descendente se tiene:

$$\# \text{ canales } \times \text{ Capacidad de transmisión (256 QAM)} = \text{Capacidad Maxima}$$

$$52 \text{ Canales } \times 38.8 \text{ Mbps (256 QAM)} = 2.017 \text{ Gbps}$$

Se tiene 2.017 Gbps aproximadamente en el sentido descendente (Internet y Telefonía IP).

c. Dimensionamiento de Capacidades.

Se realiza el diseño de red para los 907 usuarios, en la tabla 3.11 se muestra la capacidad máxima usuario 8 Mbps, dicha consideración fue tomada de las encuestas realizadas. El servicio de internet en el sistema HFC se caracteriza por ser asimétrico, es decir, la transferencia de datos descendentes es mayor que la transferencia de datos en sentido ascendente.

Tabla 3.11 Capacidades de Diseño HFC

Capacidad Usuario (Mbps)	Downstream (Mbps)	Upstream (Mbps)
8	8	1.024

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 3.12 se observa la velocidad de transmisión de datos y el número de usuarios. Para determinar la capacidad necesaria, multiplicamos la velocidad por el número de usuarios.

Tabla 3.12 Capacidad Total para HFC.

Velocidad Usuario (Mbps)		Número de Usuarios	Capacidad de Transmisión Total (Mbps)	
Descendente	Ascendente		Descendente	Ascendente
8	1.024	907	7256.0	928.768

Fuente: Elaboración Propia

Debido que los usuarios no utilizan el servicio de internet todo el tiempo, se empleara overbooking de 10 a 1 (Según Pro Inversión – Perú (2012)). Como se muestra en la tabla 3.13.

Tabla 3.13 Resumen Diseño Capacidad de Transmisión Internet para HFC.

Capacidad de Transmisión Total (Mbps)		Capacidad de Transmisión Total Overbooking. (Mbps)	
Descendente	Ascendente	Descendente	Ascendente
7256.0	928.768	725.6	92.88

Fuente: Elaboración Propia

Hallar el número de canales DOCSIS 2.0.

Número de canales Downstream

$$\# \text{ canales downstream} = \frac{725.6}{38.8}$$

$$\# \text{ canales downstream} = 18.70$$

$$\# \text{ canales downstream} = 19$$

Número de canales Upstream

$$\# \text{ canales Upstream} = \frac{92.88}{27}$$

$$\# \text{ canales Upstream} = 3.44$$

$$\# \text{ canales Upstream} = 4$$

3.4.1.2 Capacidad de transmisión de datos para el servicio de Telefonía IP

Para el servicio de Telefonía IP, se calcula la capacidad total de transmisión de datos. Por lo tanto, al final se calculará el número de canales necesarios para el sistema HFC.

Para el servicio de Telefonía IP, se considera el códec G.729 que es el más usado para llamadas VoIP, considerando la tabla 3.6 y su procedimiento para hallar la capacidad de una llamada usuario IP.

$$\text{Capacidad de transmisión llamada usuario} = 31.2 \text{ Kbps.}$$

Finalmente se calcula la capacidad para 907 usuarios.

$$31.2 \times 907 = 28.3 \text{ Mbps}$$

En la tabla 3.14 se muestra la capacidad de transmisión necesaria para el diseño del sistema HFC, en el sentido ascendente y descendente.

Tabla 3.14 Resumen Diseño Capacidad de transmisión Telefonía IP

Servicio	Upstream	Downstream
Telefonía IP	28.3	28.3

Fuente: Elaboración Propia

B. Numero canales HFC.

B.1 Sentido Ascendente

Para calcular el número de canales necesario en el sistema HFC del servicio de Telefonía IP, se debe tomar en cuenta el tipo de modulación, en este estudio utilizaremos la modulación de 64-QAM.

$$\# \text{ canales Upstream} = \frac{28.3}{27}$$

$$\# \text{ canales Upstream} = 1.04$$

$$\# \text{ canales Upstream} = 2$$

B.2 Sentido descendente

Para calcular el número de canales necesario en el sistema HFC del servicio de Telefonía IP, se debe tomar en cuenta el tipo de modulación, en este estudio utilizaremos la modulación de 256-QAM.

$$\# \text{ canales downstream} = \frac{28.3}{38.8}$$

$$\# \text{ canales downstream} = 0.72$$

$$\# \text{ canales downstream} = 1$$

3.4.1.3 Transmisión de canales Televisión Digital HFC

3.4.1.3.1 Transmisión Canales Analógicos

Para el servicio de Televisión Análoga en el sistema HFC, se utiliza la frecuencia de 50 - 450 MHz, en este rango de frecuencia la televisión análoga comparte con la transmisión de radiodifusión sonora que corresponde al rango de frecuencia de 88 – 108 MHz, se tiene 63 canales analógicos que son transmitidos desde la cabecera hacia los usuarios, estos canales son transmitidos en frecuencias de 6 MHz. De acuerdo al diseño los canales analógicos ya están establecidos o normados. Según se muestra en la tabla 3.15.

Tabla 3.15 Resumen Diseño Capacidad de Canales Analógicos

N° Canales Analógicos	Rango de Frecuencia (6 MHz)
1	50 – 56
2	56 – 62
3	62 – 68
4	68 – 74
5	74 – 80
6	80 – 86
Reservado Radiodifusión Sonora	88 – 108
7	108 – 114
8	120 – 126

9	126 – 132
10	132 – 138
11	138 – 144
12	144 – 150
13	150 – 156
14	156 - 162
15	162 – 168
16	168 – 174
17	174 – 180
18	180 – 186
19	186 – 192
20	192 – 198
21	198 – 204
22	204 – 210
23	210 – 216
24	216 – 222
25	222 – 228
26	228 – 234
27	234 – 240
28	240 – 246
29	246 – 252
30	252 – 258
31	258 – 264
32	264 – 270
33	270 – 276
34	276 – 282
35	282 – 288
36	288– 294
37	294 – 300
38	300 – 306
39	306 – 312
40	312 – 318
41	318 – 324
42	324 - 330
43	330 – 336
44	336 - 342
45	342 - 348
46	348 – 354
47	354 – 360

48	360 – 366
49	366 – 372
50	372 – 378
51	378 – 384
52	384 – 390
53	390 – 396
54	396 – 402
55	402 – 408
56	408 – 404
57	404 – 410
58	410 – 416
59	416 – 422
60	422 – 428
61	428 - 434
62	434 - 440
63	440 - 446
TOTAL	63 Canales

Fuente: Elaboración Propia

3.4.1.3.2 Transmisión Canales Digitales

Para la transmisión de TV Digital y TV HD se tiene un rango de frecuencia 450 – 740, restando los canales utilizados por Telefonía e Internet, quedando un total de 48 canales de 6 MHz. Utilizando DOCSIS 2.0 y modulación 256 QAM se obtiene 38.8 Mbps en un canal de transmisión de 6 MHz. Basándose en la tabla 3.6, se muestra la capacidad de transmisión de ambos formatos SD (2 Mbps) y HD (8 Mbps). Para esta investigación se determina 80 canales HD y 166 canales SD, basándose en la capacidad de los operadores locales, así mismo se determina la capacidad de canales 2/1 (número canales SD es el doble de canales HD).

En la Tabla 3.16, se muestra número de canales SD y HD, y el rango de frecuencia de 6 MHz en cada canal. El tipo de combinación a emplear es 2 SD y 4 HD o 18 SD, utilizando 36 Mbps en ambas combinaciones, quedando 2.8 Mbps de reserva.

Tabla 3.16 Resumen Diseño Número de Canales Televisión Digital.

N°	Rango de Frecuencia	N° Canales SD	N° Canales HD
1	450 – 456	2	4
2	456 – 462	2	4
3	462 – 468	2	4
4	468 – 474	2	4
5	474 – 480	2	4
6	480 – 486	2	4
7	486 – 492	2	4
8	492 – 498	2	4
9	498 – 504	2	4
10	504 – 510	2	4
11	510 – 516	2	4
12	516 – 522	2	4
13	522 – 528	2	4
14	528 – 534	2	4
15	534 – 540	2	4
16	540 – 546	2	4
17	546 – 552	2	4
18	552 – 558	2	4
19	558 – 564	2	4
20	564 – 570	2	4
21	570 – 576	18	
22	576 – 582	18	
23	582 – 588	18	
24	588 – 594	18	
25	594 – 600	18	
26	600 – 606	18	
27	606 – 612	18	
TOTAL		166	80

Fuente: Elaboración Propia

3.4.1.4 Resumen Calculo Capacidades Sistema HFC

En la Tabla 3.17, se observa la distribución de los canales del sistema HFC, según el cálculo realizado para esta investigación.

Tabla 3.17 Resumen Diseño Sistema HFC

Rango de Frecuencia (MHz)	N° Canales HFC	Servicio	Capacidad	Numero Canales		Canales Analógicos	Capacidad no empleada
				SD	HD		
6 – 12	2	Telefonía Upstream	28.3 Mbps (Total)	-	-	-	-
			31.2 kbps (usuario)				
12 – 42	4	Internet Upstream	92.88 Mbps (Total)	-	-	-	-
			1 Mbps (usuario)				
50 – 450	63	Televisión Analógica	-	-	-	63	-
88 – 108	-	Radiodifusión Sonora	-	-	-	-	-
450 – 612	27	Televisión Digital	972 Mbps (Total)	166	80	-	-
612 – 742	21	Canales Libres	814.8 Mbps	-	-	-	814.8 Mbps
742 – 748	1	Telefonía Downstream	28.3 Mbps (Total)	-	-	-	-
			31.2 kbps (usuario)				
748 – 862	19	Internet Downstream	725.6 Mbps (Total)	-	-	-	-
			8 Mbps (usuario)				

Fuente: Elaboración Propia

3.4.2. PROYECCIÓN FUTURO SISTEMA HFC

Para determinar la proyección a futuro se emplea la capacidad no utilizada más la capacidad de diseño y se emplean algunos canales de televisión digital, se aumenta la capacidad transmisión descendente porque para un futuro se necesitará más capacidad de internet.

3.4.2.1. Capacidad de transmisión Internet

Si se utiliza únicamente el rango de frecuencia 550 – 862 MHz para transmitir internet y telefonía, se determina una tasa de velocidad por usuario de 21 Mbps para el sentido descendente y 1.024 Mbps para el sentido ascendente debido al reducido rango de frecuencia de subida. Se muestra en la tabla 3.18.

Tabla 3.18 Capacidad Proyección Diseño HFC

Capacidad Usuario (Mbps)	Downstream (Mbps)	Upstream (Mbps)
21	21	1.024

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 3.19 se observa la velocidad de transmisión de datos y el número de usuarios. Para determinar la capacidad necesaria, multiplicamos la velocidad por el número de usuarios.

Tabla 3.19 Capacidad Total Proyección para HFC.

Velocidad Usuario		Número de Usuarios	Capacidad de Transmisión Total	
Descendente (Mbps)	Ascendente (Mbps)		Descendente (Mbps)	Ascendente (Mbps)
21	1.024	907	19047.0	928.768

Fuente: Elaboración Propia

Debido que los usuarios no utilizan el servicio de internet todo el tiempo, se empleara overbooking de 10 a 1 (Según Pro Inversión – Perú (2012)). Como se muestra en la tabla 3.20.

Tabla 3.20 Resumen Diseño Proyección de Transmisión Internet para HFC.

Capacidad de Transmisión Total		Capacidad de Transmisión Total Overbooking	
Descendente (Gbps)	Ascendente (Mbps)	Descendente (Gbps)	Ascendente (Mbps)
19.047	928.768	1.904	92.88

Fuente: Elaboración Propia

Hallar el número de canales DOCSIS 2.0.

Número de canales Downstream

$$\# \text{ canales downstream} = \frac{1904}{38.8}$$

$$\# \text{ canales downstream} = 49.07$$

$$\# \text{ canales downstream} = 50$$

Número de canales Upstream

$$\# \text{ canales Upstream} = \frac{92.88}{27}$$

$$\# \text{ canales Upstream} = 3.44$$

$$\# \text{ canales Upstream} = 4$$

3.4.2.2 Capacidad de transmisión de datos para el servicio de Telefonía IP

Para el caso de telefonía IP, no aumentaría la capacidad de transmisión debido que ya está establecido la capacidad por llamada de cada usuario y el número de usuarios. Se considera la tabla 3.6 y su procedimiento para hallar la capacidad de una llamada usuario IP. La capacidad de transmisión de una llamada por usuario en un solo sentido es de 31.2 Kbps.

Transmisión de datos necesario para 907 usuarios = 28.3 Mbps.

Hallar el número de canales DOCSIS 2.0.

Número de canales Downstream

$$\# \text{ canales downstream} = \frac{28.3}{38.8}$$

$$\# \text{ canales downstream} = 0.72$$

$$\# \text{ canales downstream} = 1$$

Número de canales Upstream

$$\# \text{ canales Upstream} = \frac{28.3}{27}$$

$$\# \text{ canales Upstream} = 1.04$$

$$\# \text{ canales Upstream} = 2$$

3.4.2.3 Capacidad de Transmisión Canales Televisión Digital

3.4.2.3.1 Canales Analógico

Para la transmisión de canales analógicos no se modificaría, los canales análogos se encuentran establecidos, rango de frecuencia 50 – 450 MHz (63 canales analógicos), según la tabla 3.15.

3.4.2.3.2 Canales Digital

Para la transmisión de TV Digital el rango de frecuencia es de 450 – 550 MHz, se tiene 16 canales de 6 MHz. Del mismo modo se utiliza DOCSIS 2.0 y modulación 256 QAM.

En la Tabla 3.21 se muestra número de canales SD y HD, para cada canal se tiene 38.8 Mbps (256 QAM). Basándose en la tabla 3.6, se tiene la capacidad de transmisión para cada formato SD (2Mbps) y HD (8 Mbps), y compresión MP4. El tipo de combinación que se utiliza 2 canales SD y 4 canales HD o 18 canales SD, utilizando 36 Mbps en ambas combinaciones, quedando 2.8 Mbps de reserva.

De acuerdo a los operadores locales se determina la capacidad de canales 2/1 (número canales SD es el doble de canales HD).

Tabla 3.21 Resumen Diseño Numero Canales Proyección Televisión Digital

N°	Rango de Frecuencia	N° Canales SD	N° Canales HD
1	450 – 456	2	4
2	456 – 462	2	4
3	462 – 468	2	4
4	468 – 474	2	4
5	474 – 480	2	4
6	480 – 486	2	4
7	486 – 492	2	4
8	492 – 498	2	4
9	498 – 504	2	4
10	504 – 510	2	4
11	510 – 516	2	4
12	516 – 522	2	4
13	522 – 528	2	4
14	528 – 534	18	
15	534 – 540	18	
16	540 – 546	18	
17	546 - 552	18	
TOTAL		92	52

Fuente: Elaboración Propia

3.4.2.4 Resumen Calculo Proyección Futuro Sistema HFC

En la Tabla 3.22, se observa la distribución de los canales del sistema HFC, según el cálculo realizado para proyección futura.

Tabla 3.22 Resumen Diseño Proyección Sistema HFC

Rango de Frecuencia (MHz)	N° Canales	Servicio	Capacidad	Número de Canales		Canales Analógicos	Capacidad no empleada
				SD	HD		
6 – 12	2	Telefonía Upstream	28.3 Mbps (Total)	-	-	-	-
			31.2 Kbps (usuario)				
12 – 42	4	Internet Upstream	92.88 Mbps (Total)	-	-	-	-
			1 Mbps (usuario)				
50 – 450	63	Televisión Analógica	-	-	-	63	-
88 – 108	--	Radiodifusión Sonora	-	-	-	-	-
450 – 550	16	Televisión Digital	600 Mbps (Total)	92	52	-	-
550 – 556	1	Telefonía Downstream	28.3 Mbps (Total)	-	-	-	-
			31.2 Kbps (usuario)				
556 – 862	50	Internet Downstream	1904.0 Mbps (Total)	-	-	-	-
			21 Mbps (usuario)				

Fuente: Elaboración Propia

3.4.3. CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN FTTH

Para el sistema FTTH se realiza el diseño en base a tres lambdas que manejan las redes G-PON (1310nm Upstream, 1490nm Downstream y 1550nm Video RF), los cuales pueden ser contenidos de un puerto de la tarjeta del OLT.

3.4.3.1. Capacidad de transmisión de datos (Internet y Telefonía IP) FTTH

Para el sistema FTTH se utilizan tres lambdas, para upstream la lambda de 1310nm su capacidad de transmisión de 1.2 Gbps, para downstream la lambda de 1490nm su capacidad de transmisión de 2,4 Gbps y la lambda de 1550nm para transmitir únicamente Video RF. Se muestra en la tabla 3.23.

Tabla 3.23 Capacidad de Transmisión Lambda

	1310nm	1490nm	1550nm
Capacidad de Transmisión	1.2 Gbps	2.4 Gbps	RF (88 – 862 MHz)
Sentido de Transmisión	Ascendente	Descendente	Descendente
Servicios	Telefonía IP / Internet	Telefonía IP / Internet	Video RF

Fuente: Elaboración Propia

Se ha determinado el valor del consumo de capacidad que podría requerir un usuario para la utilización de los servicios de Internet y Telefonía IP. Si se emplea como referencia la velocidad de internet por usuario, se desperdicia capacidad de transmisión debido que el sistema FTTH emplea una red G-PON de banda ancha. Para Telefonía IP se emplea la tabla 3.6 y el cálculo para hallar la capacidad de una llamada usuario IP. La capacidad de transmisión de una llamada por usuario en un solo sentido es de 31.2 Kbps. Según muestra la tabla 3.24.

Tabla 3.24 Capacidad de Transmisión Usuario

Servicio	Capacidad Upstream	Capacidad Downstream
Internet	8 Mbps	8 Mbps
Telefonía IP	31.2 Kbps	31.2 Kbps

Fuente: Elaboración Propia

Con el fin de estimar la capacidad necesaria que debe tener el sistema FTTH para ofrecer servicios Triple play, es necesario especificar la capacidad que se puede asignar a cada usuario, capacidad puerto G-PON (Downstream 2.4 Gbps y Upstream 1.2 Gbps) para 32 usuarios se tiene 75 Mbps en downstream y 37.5 Mbps en upstream por usuario.

En la tabla 3.25 se detallan los tipos de divisiones que se utilizan para el sistema FTTH, para esta investigación empleamos un divisor “1:32 Split”, se emplea este tipo porque hablamos de un sistema de mayor capacidad por usuario el cual puede soportar todos los servicios multimedia en la red.

Tabla 3.25 Red G-PON

Lambda	Sentido	G-PON	Capacidad Usuario		
			1:32 SPLIT	1:64 SPLIT	1:128 SPLIT
1490nm	Downstream	2.4 Gbps	75 Mbps	37,5 Mbps	19,43 Mbps
1310nm	Upstream	1.2 Gbps	37,5 Mbps	18,75 Mbps	9,71 Mbps

Fuente: Elaboración Propia

Se tiene en cuenta lo antes indicado para este diseño, se perdería demasiada capacidad de transmisión al emplear una capacidad por usuario de 8 Mbps según las encuestas realizadas. Las consideraciones principales relacionados con la alternativa son:

- Se conectan 32 usuarios por puerto G-PON, cada nodo cuenta con 8 puertos G-PON equivale 256 clientes por nodo, se emplean 29 puertos G-PON en el OLT para 907 usuarios.

$$907 \text{ usuarios} / 32 \text{ usuarios por puerto} = 28.34 \text{ Puertos}$$

- Se determina la capacidad de transmisión para 907 usuarios, 70 Mbps Downstream y 30 Mbps Upstream para la prestación de los servicios de Internet y telefonía IP, la capacidad de transmisión debe ser menor a la capacidad disponible en el puerto (2.4 Gbps o 1.2 Gbps), cuando todos los clientes estén utilizando toda la capacidad de transmisión al mismo tiempo no colapse la red que vendría ser el caso más crítico para la red.

Capacidad total downstream = 70 Mbps * 32 Usuarios = 2.240 Gbps

2.240 Gbps < 2.4 Gbps

Capacidad total downstream = 30 Mbps * 32 Usuarios = 960 Mbps

960 Mbps < 1.2 Gbps

Al cumplirse esta condición, se verifica entonces que es posible atender un máximo de 32 abonados por puerto.

- Para determinar los nodos de acceso G-PON, es necesario saber la cantidad de puertos utilizados, se tiene 256 usuarios G-PON por tarjeta.

Número de Tarjetas = 907 usuario Total / 256 usuarios por tarjeta = 3.54 Tarjetas

Para este caso se emplean 4 tarjetas G-PON.

- Finalmente, la tasa por usuario es capacidad bruta, si empleamos overbooking de 10% tendríamos una capacidad de 700 Mbps Downstream y 300 Mbps Upstream por usuario (no se emplea para este diseño).

En la tabla 3.26 se muestra el resumen de diseño para el servicio Internet y Telefonía IP utilizando una red G-PON para el sistema FTTH

Tabla 3.26 Resumen de Diseño Servicio de Internet y Telefonía IP para FTTH

	G-PON
Número de Tarjetas	4
Número de Puertos por Tarjeta	8
Usuarios por Puerto	32
Numero Usuario	907
Puertos G-PON	29
Capacidad máximo por usuario	70 Mbps Downstream / 30 Mbps Upstream
Capacidad Total Usada por Puerto	2.240 Gbps Downstream / 960 Mbps Upstream
Capacidad Total 907 usuarios	63.490 Gbps Downstream/ 27.210 Gbps Upstream
Lambda	1490nm Downstream / 1310 Upstream

Fuente: Elaboración Propia

3.4.3.2 Capacidad de transmisión de datos Televisión.

Para la transmisión de canales de televisión del sistema FTTH la lambda de 1550nm toma todo el rango de frecuencia del sistema HFC.

a. Transmisión Televisión FTTH (lambda 1550nm)

Según la Empresa TELNET Redes Inteligentes (2014), menciona, mediante modulación óptica es posible transportar TV de manera Transparente corresponde desde 80 MHz hasta 862 MHz, el televidente dispondrá en su hogar un dispositivo ONT con un puerto RF para conectar TV, VoD, STB, o deco TDT todos los servicios mencionados sobre la lambda de 1550 nm.

Para el servicio de Televisión en el sistema FTTH, se tiene todo el rango de frecuencia del sistema HFC (108 – 862 MHz), aproximadamente 125 canales de 6 MHz se transmiten en el sistema FTTH, el cual son enviados por la lambda 1550 nm.

b. Distribución de Canales Analógicos y Digitales

La Televisión Analógica en el sistema FTTH de acuerdo a la norma HFC corresponde desde el rango de frecuencia 108 – 450 MHz (88 – 108 MHz Radiodifusión sonora), se tiene aproximadamente 57 canales de 6 MHz. Según se muestra en la tabla 3.27

Tabla 3.27 Resumen Diseño Capacidad de Canales Analógicos para FTTH

N° Canales Analógicos	Rango de Frecuencia (6 MHz)
Reservado Radiodifusión Sonora	88 – 108
1	108 – 114
2	120 – 126
3	126 – 132
4	132 – 138
5	138 – 144
6	144 – 150
7	150 – 156
8	156 - 162

9	162 – 168
10	168 – 174
11	174 – 180
12	180 – 186
13	186 – 192
14	192 – 198
15	198 – 204
16	204 – 210
17	210 – 216
18	216 – 222
19	222 – 228
20	228 – 234
21	234 – 240
22	240 – 246
23	246 – 252
24	252 – 258
25	258 – 264
26	264 – 270
27	270 – 276
28	276 – 282
29	282 – 288
30	288 – 294
31	294 – 300
32	300 – 306
33	306 – 312
34	312 – 318
35	318 – 324
36	324 – 330
37	330 – 336
38	336 – 342
39	342 – 348
40	348 – 354
41	354 – 360
42	360 – 366
43	366 – 372
44	372 – 378
45	378 – 384
46	384 – 390
47	390 – 396
48	396 – 402
49	402 – 408
50	408 – 414
51	414 – 420
52	420 – 426
53	426 – 432
54	432 – 438
55	438 – 444
56	444 – 450
57	450 – 456
TOTAL	57 Canales

Fuente: Elaboración Propia

La Televisión Digital en el sistema FTTH corresponde desde el rango de frecuencia 450 – 862 MHz, el número de canales en este rango de frecuencia es de 68 canales de 6 MHz. Para este diseño empleamos DOCSIS 2.0 para la transmisión de canales SD y HD, utilizando modulación 256 QAM se tiene 38.8 Mbps en un canal de 6 MHz.

Para determinar el número de canales nos basamos en los operadores locales, se determina la capacidad de canales 2/1 (número canales SD es el doble de canales HD).

En la Tabla 3.28, se muestra número de canales SD y HD, y el rango de frecuencia de 6 MHz en cada canal. El tipo de combinación a emplear es 2 SD y 4 HD o 18 SD (basado en la Tabla 3.6), utilizando 36 Mbps en ambas combinaciones, quedando 2.8 Mbps de reserva.

Tabla 3.28 Resumen Diseño Capacidad de canales SD y HD para FTTH

N°	Rango de Frecuencia	N° Canales SD	N° Canales HD
1	450 – 456	2	4
2	456 – 462	2	4
3	462 – 468	2	4
4	468 – 474	2	4
5	474 – 480	2	4
6	480 – 486	2	4
7	486 – 492	2	4
8	492 – 498	2	4
9	498 – 504	2	4
10	504 – 510	2	4
11	510 – 516	2	4
12	516 – 522	2	4
13	522 – 528	2	4
14	528 – 534	2	4
15	534 – 540	2	4
16	540 – 546	2	4
17	546 – 552	2	4
18	552 – 558	2	4
19	558 – 564	2	4
20	564 – 570	2	4
21	570 – 576	2	4
22	576 – 582	2	4
23	582 – 588	2	4
24	588 – 594	2	4
25	594 – 600	2	4

26	600 – 606	2	4
27	606 – 612	2	4
28	612 – 618	2	4
29	618 – 624	2	4
30	624 – 630	2	4
31	630 – 636	2	4
32	636 – 642	2	4
33	642 – 648	2	4
34	648 – 654	2	4
35	654 – 660	2	4
36	660 – 666	2	4
37	666 – 672	2	4
38	672 – 678	2	4
39	678 – 684	2	4
40	684 – 690	2	4
41	690 – 696	2	4
42	696 – 702	2	4
43	702 – 708	2	4
44	708 – 714	2	4
45	714 – 720	2	4
46	720 – 726	2	4
47	726 – 732	2	4
48	732 – 738	2	4
49	738 – 744	2	4
50	744 – 750	2	4
51	750 – 756	2	4
52	756 – 762	18	
53	762 – 768	18	
54	768 – 774	18	
55	774 – 780	18	
56	780 – 786	18	
57	786 – 792	18	
58	792 – 798	18	
59	798 – 804	18	
60	804 – 810	18	
61	810 – 816	18	
62	816 – 822	18	
63	822 – 828	18	
64	828 – 834	18	
65	834 – 840	18	
66	840 – 846	18	
67	846 – 852	18	
68	852 – 858	18	
TOTAL		408	204

Fuente: Elaboración Propia

3.4.2.4 Resumen Calculo Sistema FTTH

En la Tabla 3.29 se muestra la capacidad de transmisión requerida para el servicio de Internet, Telefonía y Televisión del sistema FTTH.

Tabla 3.29 Resumen Diseño Sistema FTTH

Servicio	Capacidad	Lambda	Canales		Canales Analógicos	Capacidad no Empleada
			SD	HD		
Telefonía IP Upstream	28.3 Mbps (Total)	1310nm	-		-	284 Mbps
	31.2 Kbps (usuario)					
Internet Upstream	27.181 Gbps (Total)		-		-	
	30 Mbps (usuario)					
Internet Downstream	63.461 Gbps (Total)	1490nm	-		-	248 Mbps
	70 Mbps (usuario)					
Telefonía IP Downstream	28.3 Mbps (Total)		-		-	
	31.2 Kbps (usuario)					
Televisión	2.448 Gbps (Total)	1550nm	408	204	57	190.4

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4. Resultados

Los resultados de la comparativa entre las capacidades el Sistema HFC y el Sistema FTTH propuesto para una Red Triple Play en la ciudad de Trujillo, se presentarán en base a parámetros de Internet, Telefonía IP y Televisión tanto para el requerimiento a nivel de usuarios como para el requerimiento a nivel de operador.

4.1 Internet

Según se observa en la figura 4.1 el sistema HFC presenta la siguiente capacidad por usuario para el servicio de Internet: Downstream (8 Mbps), Upstream (1.024 Mbps) y el sistema FTTH presenta la siguiente capacidad por usuario: Downstream (70 Mbps) y Upstream (30 Mbps).

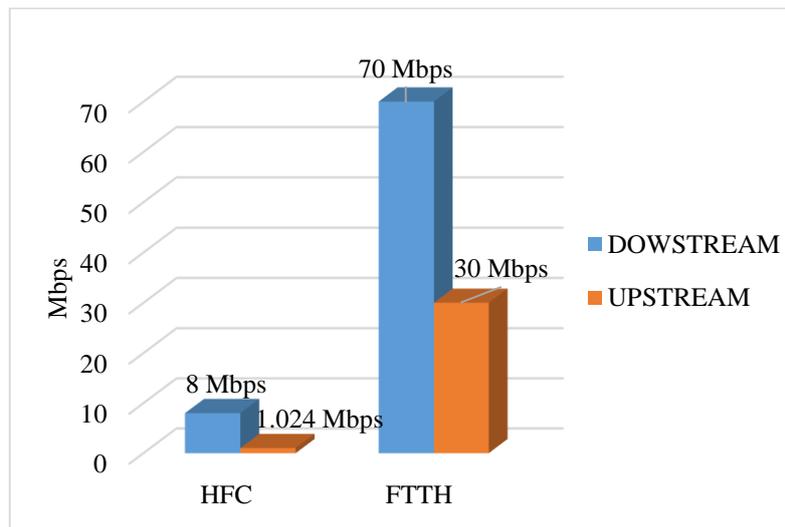


Figura 4.1 Comparación Capacidad Usuario Servicio Internet
Fuente Elaboración Propia

Según se observa en la figura 4.2 el sistema HFC presenta la siguiente capacidad total para el servicio de Internet: Downstream (725.6 Mbps), Upstream (92.88 Mbps) y el sistema FTTH presenta la siguiente capacidad: Downstream (63490 Mbps) y Upstream (27210 Mbps).

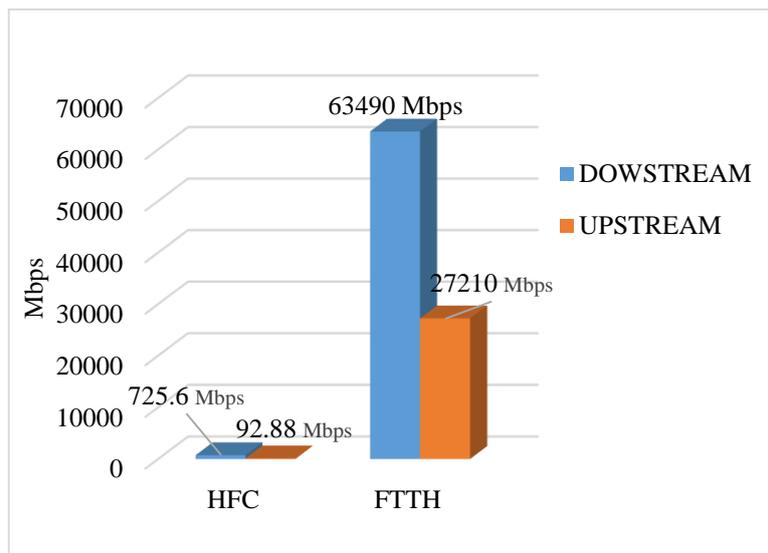


Figura 4.2 Comparación Capacidad Total Servicio Internet

Fuente: Elaboración Propia

Según se observa en la figura 4.3 el sistema HFC presenta una proyección a futuro con la siguiente capacidad por usuario para el servicio de Internet: Downstream (21 Mbps), Upstream (1.024 Mbps) y el sistema FTTH presenta una proyección con la siguiente capacidad por usuario: Downstream (70 Mbps) y Upstream (30 Mbps).

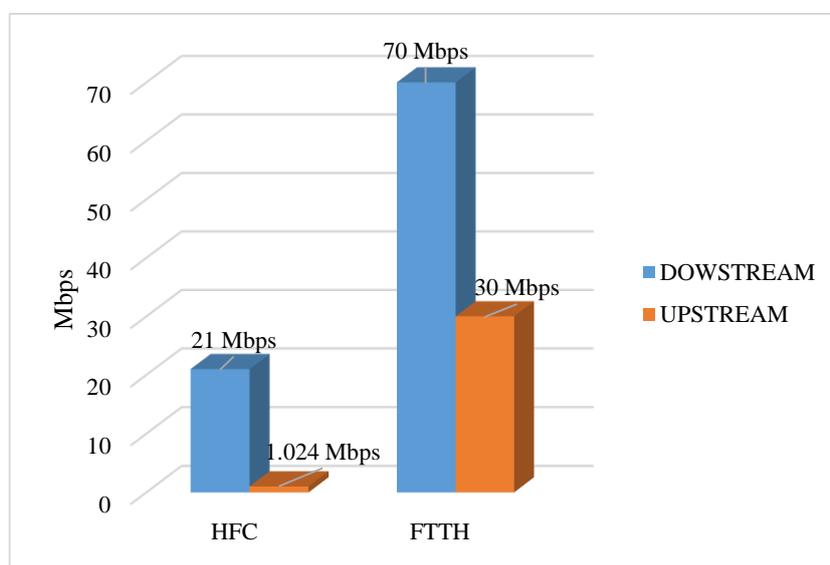


Figura 4.3 Comparación Proyección Capacidad Usuario Servicio Internet

Fuente: Elaboración Propia

Según se observa en la figura 4.4 el sistema HFC presenta una proyección con la siguiente capacidad total para el servicio de Internet: Downstream (1904 Mbps),

Upstream (92.88 Mbps) y el sistema FTTH presenta la siguiente capacidad: Downstream (63490 Mbps) y Upstream (27210 Mbps).

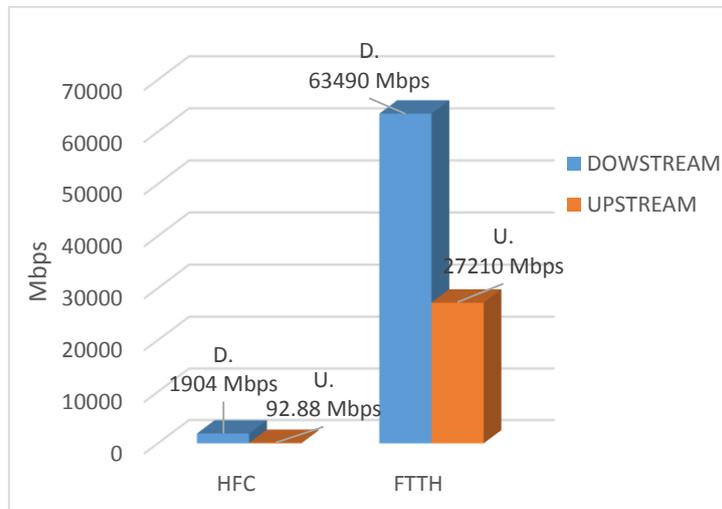


Figura 4.4 Comparación Proyección Capacidad Total Servicio Internet
Fuente: Elaboración Propia

4.2 Telefonía IP:

Según se muestra en la figura 4.5 el sistema HFC presenta la siguiente capacidad total para el servicio de Telefonía IP: Downstream (28.3 Mbps), Upstream (28.3 Mbps) y el sistema FTTH presenta la siguiente capacidad: Downstream (28.3 Mbps) y Upstream (28.3 Mbps).

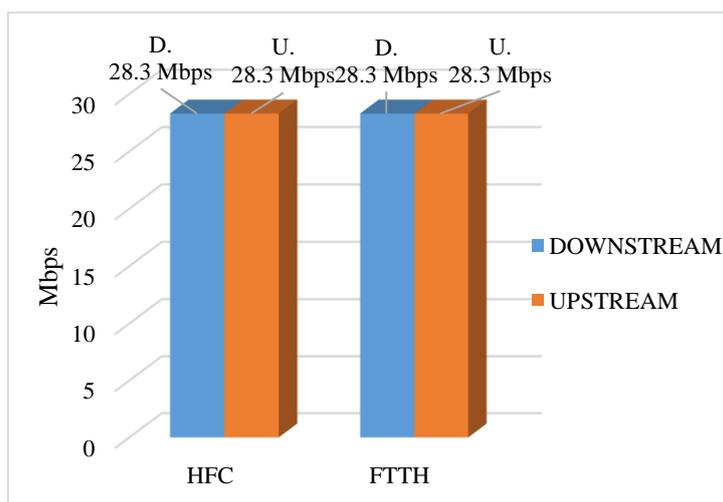


Figura 4.5 Comparación Capacidad Total Servicio Telefonía IP
Fuente: Elaboración Propia

4.3. Servicio Televisión.

Según se observa en la Figura 4.6, el sistema HFC presenta el siguiente número de canales para el servicio de televisión: Canales Analógicos (63), Canales SD (166) y Canales HD (80), y el sistema FTTH presenta el siguiente número de canales para el servicio de televisión: Canales Analógicos (57), Canales SD (408) y Canales HD (204).

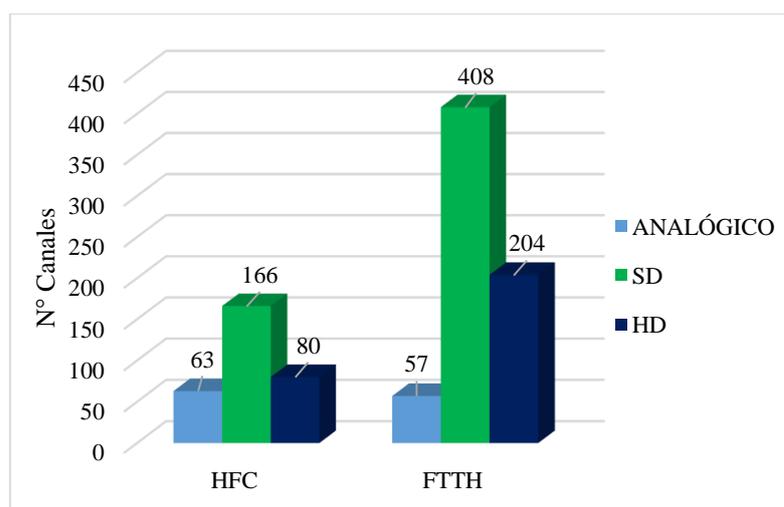


Figura 4.6 Comparación Capacidad Total Servicio Televisión

Fuente: Elaboración Propia

Según se observa en la Figura 4.7, el sistema HFC presenta una proyección con el siguiente número de canales para el servicio de televisión: Canales Analógicos (63), Canales SD (92) y Canales HD (52), y el sistema FTTH presenta una proyección con el siguiente número de canales para el servicio de televisión: Canales Analógicos (57), Canales SD (408) y Canales HD (204).

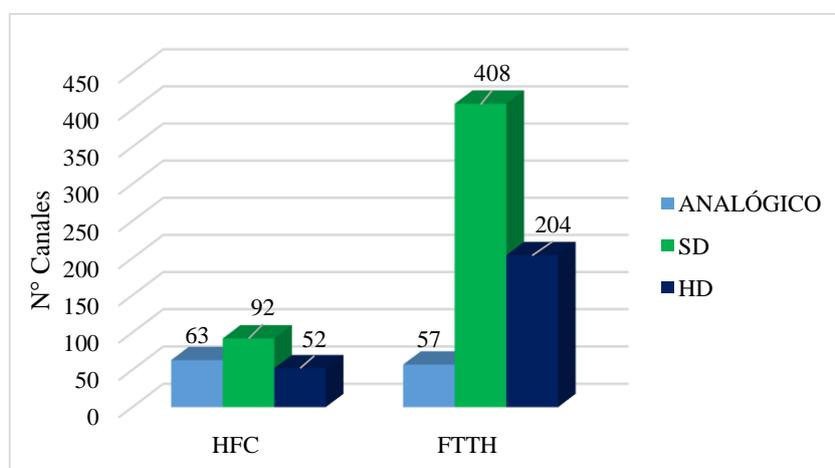


Figura 4.7 Comparación Proyección Capacidad Total Servicio Televisión

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE

RESULTADOS

5. Análisis de Resultados

En base a los resultados obtenidos en el diseño de una red triple play que corresponde al sistema HFC y sistema FTTH, la discusión está orientada al análisis comparativo, relacionado al diseño de ambos sistemas.

a. Internet

Las diferencias de capacidades de internet entre el sistema HFC y el sistema FTTH, se puede justificar debido a la capacidad bruta de internet, para el caso del sistema HFC se concentra en el CMTS (cabecera) empleando DOCSIS 2.0, la capacidad bruta se distribuye compartiendo hacia todos los usuarios conectados a la red.

Para el caso del sistema FTTH la capacidad bruta se concentra en el OLT distribuyéndose por puertos y por tarjetas manteniendo intacta la capacidad por cada puerto de 2,4 Gbps (downstream) y 1,2 Gbps (upstream) distribuidos en grupos de 32 usuarios.

b. Telefonía IP

Para el caso de Telefonía IP, la capacidad de transmisión para ambos sistemas es equiparable, se calcula de la misma manera en ambos sistemas y se realiza el diseño en base a los 907 usuarios. Aun cuando se aumente la capacidad de usuarios sigue siendo pequeña la capacidad que se requiere en el servicio de telefonía IP. Ambos sistemas pueden manejar holgadamente este servicio.

c. Televisión

Para el servicio de televisión, el sistema FTTH tiene una capacidad establecida de 2.638 Gbps aproximadamente para distribuir los canales SD y HD. Mientras tanto el sistema HFC es la capacidad resultante, después de dar el servicio de telefonía IP e internet, viéndose superada 2.5 veces mayor a la capacidad del sistema FTTH.

Cuando se evalúa con una proyección a futuro lo máximo que puede crecer el sistema HFC es mediante el sacrificio de canales de televisión Digital para aumentar la capacidad de internet por usuario. “Según Fernando Boronat Seguí

indica en el libro de IPTV, La televisión por internet: la transmisión y distribución de canales tradicionales como son películas, videos y audio demanda sobre una red de banda ancha, IPTV es un servicio a futuro que necesita una mayor capacidad de transmisión por usuario y reemplazar el tradicional sistema de TV. A menudo se puede ofrecer junto a este tipo de servicio video bajo demanda, servicio de internet de alta velocidad y voz sobre IP". No tendría ningún inconveniente el sistema FTTH en ofrecer el servicio de IPTV debido a su capacidad por usuario en el servicio de internet, IPTV es la tendencia para ofrecer el servicio de televisión reemplazando la transmisión convencional.

6. Conclusiones.

Las limitaciones del sistema HFC principalmente radica en la compartición de sus recursos entre los 907 usuarios conectados a su red. Para el caso del sistema FTTH sus recursos se comparten entre grupos de 32 usuarios que van conectados al puerto de una tarjeta del OLT.

Se estimaron las capacidades máximas de transmisión de internet y telefonía IP del sistema HFC obteniendo aproximadamente para downstream 1.932 Gbps y para upstream 121.18 Mbps. A nivel de internet por usuario se consigue 21 Mbps downstream y 1024 Mbps upstream, se aplica overbooking de 10 a 1. Para la transmisión de canales de Televisión se tiene en el primer escenario 63 canales analógicos, 166 canales digitales y 88 canales HD. En el segundo escenario se tiene 63 canales analógicos, 92 canales digitales y 52 canales HD.

Se estimaron las capacidades máximas de transmisión del sistema FTTH obteniendo aproximadamente para downstream 63.490 Gbps y para upstream 27.210 Gbps. A nivel de internet por usuario se consigue 70 Mbps downstream y 30 Mbps upstream, no se aplica overbooking. Los canales de televisión Para la transmisión de canales de televisión se tiene 57 canales analógicos, 408 canales digitales y 204 canales HD.

La comparativa en base a las capacidades máximas estimadas el sistema FTTH supera en el servicio de internet aproximadamente 33 veces mayor a la capacidad total y a nivel de usuarios el sistema FTTH supera 3.3 veces, en el servicio de telefonía IP son equiparables y para el servicio de televisión se tiene dos escenarios en el primer escenario aproximadamente 2.5 veces mayor y en el segundo escenario aproximadamente 4.3 veces mayor al número total de canales.

7. Recomendaciones

En el presente trabajo de investigación se ha utilizado para la estimación y comparativa del sistema FTTH el estándar DOCSIS 2.0, sin embargo actualmente se encuentra en desarrollo el estándar DOCSIS 3.1, como una ampliación de esta investigación se recomienda realizar la comparativa bajo el estándar DOCSIS 3.1.

Para el sistema FTTH se ha utilizado G-PON, sin embargo en la actualidad se encuentra en desarrollo las redes 10-GPON, como una ampliación a esta investigación se recomienda realizar una comparativa con redes 10-GPON.

8. Referencias Bibliográficas

- "ProInversión", A. d.-P. (2012). RED DORSAL NACIONAL DE FIBRA ÓPTICA: COBERTURA UNIVERSAL NORTE, COBERTURA UNIVERSAL SUR Y COBERTURA UNIVERSAL CENTRO.
- Bermeo Tenorio, D. V. (2010). Estudio y Análisis de Factibilidad de una Red de Fibra Óptica que Contenga los Requisitos Necesarios para Brindar Servicios Triple Play a Nivel Local en la Empresa Privada "TERACOM S.A." Ubicada en el Peaje Provincial de el Oro. Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero Electrónico. Universidad Politécnica Sede Cuenca, Ecuador.
- Boquera, M. C. (2003). Servicios Avanzados de Telecomunicación. Madrid: Díaz de Santos S. A.
- Caballar, J. A. (2008). VoIP, La Telefonía de Internet. Thomson.
- Cárdenas, J. M. (2016). Despliegue de Red FTTH Óptica Pasiva para Operador Local. Proyecto Fin de Carrera Ingeniería de Telecomunicación. Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Casademont, J. (2010). Redes de Comunicaciones: de la telefonía móvil a internet. Barcelona: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya.
- Cisco. (2016). Voice Over IP - Per Call Bandwidth Consumption. Recuperado el 10 de Abril de 2017, de <http://www.cisco.com>
- Cristina Castillo Jaramillo, S. F. (2013). Tesis Previa a la Obtencion del Titulo de: Ingeniero Electrónico. "Determinación de la Demanda, Dimensionamiento y Diseño de una Red de Servicios de Telecomunicaciones, Mediante la Tecnología de Acceso FTTH en el Cantón Gualaceo para la Empresa CNT E.P. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.
- Del Rio, E. (17 de Enero de 2015). Recuperado el 20 de Noviembre de 2016, de <http://fibraoptica.blog.tartanga.eus/page/3/>
- Fernando Boronat Segui, M. G. (2008). IPTV, la Televisión por Internet. Malaga: Vértice Editorial.

- G.984.1, R. U.-T. (2003). Redes Ópticas Pasivas con Capacidad de Gigabits: Características Generales.
- G.984.2, U.-T. R. (2003). Redes Ópticas Pasivas con Capacidad de Gigabits: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos.
- IEEE, C. (Marzo de 2007). Recuperado el 16 de Octubre de 2016, de http://www.pitt.edu/~dtipper/2011/PON_Tutorial.pdf
- J.83, I.-T. (12/2007). Digital multi-programme systems for television, sound and data services for cable distribution .
- Keiser, G. (2006). FTTX Concepts and Applications. Canada: John Wiley & sons, Inc., Hoboken, New Jersey .
- L.47, U.-T. (10/2000). Dispositivos de acceso que utilizan redes híbridas de fibra óptica/cobre.
- M, M. (2014). Design and Implementation of a Fiber to the Home. Recuperado el 20 de Octubre de 2016, de International Journal of Computer Applications: <http://research.ijcaonline.org/volume92/number6/pxc3895050.pdf>
- Omar de León Boccia, O. G. (2008). UIT, Las Telecomunicaciones de Banda Ancha en la Región Américas. Informe Final V5.
- Sabatino, P. (2000). Recuperado el 16 de Octubre de 2016, de Digital Subscriber Lines and Cable Modems.: <http://www.cs.wustl.edu/~jain/cis788-97/ftp/rbb.pdf>
- Sanguña Guevara, F. P. (2010). Estudio Técnico de la Red de Comunicaciones para Brindar los Servicios de Voz, Internet y Video por Demanda de una Urbanización. Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. Escuela Politécnica Nacional, Quito - Ecuador.
- Stallings, W. (2000). Comunicaciones y Redes de Computadores (Vol. 6ta Edición). (A. Prieto, Trad.) Prentice Hall.
- Tanenbaum, A. S. (2003). Redes de Computadoras. Mexico: Pearson Education.

- Tinoco Alvear, J. D. (2011). Estudio y Diseño de una red de Fibra Óptica FTTH para Brindar servicios de voz, video y datos para la urbanización de los Olivos ubicada el sector Toctesol en la parroquia Borrero de la ciudad de Azogues. Tesis Previa a la Obtención del Título de Ingeniero Electrónico. Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Ecuador.
- Tomasi, W. (2003). Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. México: Pearson Educación.
- Vela, R. N. (2014). Línea de Transmisión. México: McGraw-Hill / Interamericana Editores.

9. Anexo

ANEXO 01: Guía de Entrevista N° 01

Entrevistado: Ing. Elar Rodríguez Castillo. Entrevistador: Esduar Vasquez Carranza.	Fecha: 20 de Noviembre del 2016 Institución: Empresa Lari Contratista S.A.C.
Objetivo Conocer el funcionamiento de la red de la empresa Telefónica del Perú S.A.	
Dirigido a: Ingeniero Residente Lari Contratista S.A.C. en calidad de Responsable de Mantenimiento y Operaciones de Telefónica del Perú S.A.	
Preguntas 1. ¿Cómo califica Ud. el desempeño de Lari Contratista S.A.C. en el mantenimiento de la red de Telefónica del Perú S.A.? 2. ¿Cómo es el Funcionamiento de los decodificadores? 3. ¿Qué diferencia existe entre el servicio de televisión Digital y el servicio de IPTV?	
Resumen El Ingeniero Residente Lari Contratista S.A.C nos refiere que el desempeño en las labores de mantenimiento y operaciones es satisfactorio, así mismo menciona que el servicio de televisión Digital y HD que brinda Telefónica, son servicios que no se necesita Internet, es decir son canales Digitales decepcionados en el decodificador. Pero para el caso de transmisión de películas online se necesita una capacidad de transmisión de acuerdo al formato que se desea ver. Para IPTV se requiere que los usuarios dispongan de mayor ancho de banda en el servicio de internet, el cual influye en el tipo de formato de visualización SD o HD.	

Anexo 02: Guía de Encuesta N° 01

La siguiente encuesta únicamente tiene fines de investigación respecto a los servicios de telecomunicaciones en la Urbanización el Golf.

1 ¿Cuenta con servicio de Telecomunicaciones en casa?

- Si
- No

2 ¿Qué tipo de servicio?

- Teléfono Fijo
- Teléfono – Internet
- Teléfono – Internet – Cable

3 ¿Cuál es la velocidad de su internet?

- < - 4 Mbps
- 4 Mbps – 8 Mbps
- > - 8 Mbps

4 ¿Cuál es el tipo del servicio de televisión?

- Televisión Analógico
- Televisión Digital Estándar
- Televisión HD Estándar

5 Usted ve series o películas online? Si la respuesta es SI pasar a la 5.1.

- Si
- No

5.1 Problemas más Frecuentes

- No hay conexión con el servidor
- Señal lenta
- sin problemas

6 ¿Problemas con el servicio en general?

- Fuera de Servicio
- Sin Señal
- Problemas técnicos
- Sin Problemas