



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS

ESTE ES MI TÍTULO DE LA TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:

BACH. NOMBRES Y APELLIDOS

BACH. NOMBRES Y APELLIDOS

ASESOR:

ING. NOMBRES Y APELLIDOS.

LAMBAYEQUE-PERÚ

2022

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ESTE ES MI TITULO DE LA TESIS

Autor:

~~_____~~

Bach. Nombres y Apellidos

Bach. Nombres y Apellidos

Asesor:

~~_____~~

Ing. Nombres y Apellidos.

LAMBAYEQUE - PERÚ

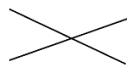
2022

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

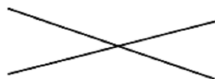
ESTE ES MI TÍTULO DE LA TESIS

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRÓNICO

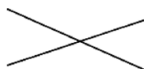
Sustentado y aprobado ante los siguientes miembros del jurado:



M.Sc. Ing. Nombres y Apellidos.
Presidente



Dra. Ing Nombres y Apellidos.
Secretario



Mg. Ing. Nombres y Apellidos.
Vocal

LAMBAYEQUE - PERÚ

2022

Acta de sustentación ejemplo

Constancia de Originalidad

Agradecimientos

Ante todo mi agradecimiento especial al Ing.

Gracias por todo.

Bach. Nombres y Apellidos
Bachiller Ingeniería Electrónica

Lambayeque 2022

Ante todo mi agradecimiento especial al

Gracias por todo.

Bach. Nombres y Apellidos
Bachiller Ingeniería Electrónica

Lambayeque 2022

Dedicatoria

*D*edico esta tesis a DIOS, por haberme concedido la vida y la salud y permitirme terminar esta tesis símbolo de una meta cumplida; a mi esposa e hija que me alentaron a seguir adelante y aumentaron mis deseos de superación, a mi madre y hermanos que son mi apoyo moral y económico en el trayecto a mi meta.

Gracias por todo.

Bach. Nombres y Apellidos
Bachiller Ingeniería Electrónica

Lambayeque 2022

*Q*uiero dedicar esta tesis a mis Padres

Gracias por todo.

Bach. Nombres y Apellidos
Bachiller Ingeniería Electrónica

Lambayeque 2022

Resumen

Máximo 250 palabras un solo párrafo. Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Palabras clave: Redes de banda ancha, hogares pasados, DOCSIS, subida, bajada.

Abstract

Máximo 250 palabras un solo párrafo. Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Key words: Broadband networks, past homes, DOCSIS, upload, download.

Índice general

Reconocimientos	VII
Dedicatoria	IX
Resumen	XI
Abstract	XII
Índice de figuras	XV
Índice de Tablas	XVI
1. Planteamiento del Problema	1
1.1. Situación problemática	1
1.2. Preguntas de Investigación	2
1.3. Hipótesis	2
1.4. Objetivos de la investigación	3
1.4.1. Objetivo General	3
1.4.2. Objetivos Específicos	3
2. Marco Teórico	4
2.1. La Región Huánuco	4
2.1.1. División Política	5
2.1.2. Población	7
2.1.3. Índice de desarrollo humano	7
2.1.4. Telecomunicaciones	8
2.2. Red Actual - Distrito de Amarilis	9

3. Redes de Banda Ancha - Servicios y Protocolos	13
3.1. Redes de Banda Ancha - De CATV a HFC	13
3.1.1. CATV	13
3.1.2. HFC	15
3.1.2.1. DOCSIS	17
4. Rediseño de Red HFC	19
4.1. Consideraciones	19
4.2. Rediseño de Planta Externa	22
4.2.1. Nodo HCAM014	22
4.2.2. Selección del Nodo Óptico	22
4.2.3. Selección de Amplificadores	26
4.2.4. Selección de Cables Coaxiales	28
4.2.5. Niveles de Señal en los Abonado	28
4.3. Procedimiento de Diseño	28
4.4. Diseño de Forward	31
4.5. Diseño de Reversa	32
4.6. Desempeño de Red	35
4.6.1. Compuestos de Triple Batido - CTB	35
4.6.2. Compuestos de Segundo Orden - CSO	36
5. Conclusiones	37
APPENDICES	38
Especificaciones de Cables y Equipos	39

Índice de figuras

2.1. Región Huánuco y Provincias	5
2.2. Ubicación de distrito de Huánuco y Amarilis	6
2.3. Casas pasadas de Nodos HFC del Distrito de Amarilis	9
2.4. Casas pasadas de Nodos HFC en Membrete de Nodo Óptico	10
2.5. Parte del plano HCMA002	11
2.6. Membrete de amplificador en cascada	11
2.7. Tap de accesos a Usuarios	12
3.1. Los Sistemas de CATV - Adaptado por los autores	14
3.2. Red HFC - Adaptado por los autores	16
3.3. Espectro de Red HFC - Ampliado a 1.2GHz	17
3.4. Expansión de Espectro - Docsis 3.1	18
4.1. Nodo Óptico Segmentable	23
4.2. Proceso de Diseño de HFC	30
4.3. Ejemplo de Relevamiento - Elaborado por Autores	30
4.4. Diseño de un Puerto de Amplificador - Elaborado por Autores	32
4.5. Ejemplo de Calculo usando Hoja de Excel - Elaborado por Autores	32
4.6. Diseño Forward Completo para un Puerto - Elaborado por Autores	33
4.7. Ejemplo de Calculo de Reversa usando Hoja de Excel - Elaborado por Autores	34
4.8. Diseño Forward y Reversa Completo para un Puerto - Elaborado por Autores	34

Índice de Tablas

4.1. Ganancia de Capacidad en Downstream con DOCSIS 3.1	21
4.2. Ganancia de Capacidad en Upstream con DOCSIS 3.1.	21
4.3. Niveles de Servicios - Adaptado por los autores	22
4.4. Características Generales del Nodo - extraído del DataSheet	24
4.5. Desempeño respecto al Ruido - extraído del DataSheet	25
4.6. Especificaciones de RF	25
4.7. Consumo de Potencia de Unidad	26
4.8. Desempeño respecto al Ruido - extraído del DataSheet	26
4.9. Especificaciones de RF	27
4.10. Consumo de Potencia de Amplificador	27
4.11. Pérdidas de Cables Coaxiales	28
4.12. Niveles en Abonados Considerado perdida en Acometida	29

Capítulo 1

Planteamiento del Problema

“La investigación Científica permite a los jóvenes estar vigentes”..

Ralph Emerson

ACÁ se realiza el plan de la investigación, que va desde la pregunta realizada, en base a la problemática encontrada, se plantea una Hipótesis, se operacionaliza con un objetivo general y los objetivos específicos, que intentaremos completar para demostrar nuestra hipótesis.

1.1. Situación problemática

Actualmente los sistemas de distribución de televisión por cable han ampliado sus ofertas, hasta incluir otros servicios tales como telefonía y acceso a datos a alta velocidad, lo que da la posibilidad de brindar servicios tan variados como entrega de video en demanda, hasta video digital bajo el control interactivo del usuario. Para manejar este complejo negocio, que se inicio simplemente con una cabecera, actualmente se cuenta con una arquitectura de centros de procesamiento de señal locales, regionales y nacionales, de la misma forma las instalaciones de abonado han evolucionado para incluir redes de distribución local que permiten comunicación entre dispositivos así como también con redes externas. (Large & Farmer, 2009).

En el 2009, la Empresa Telmex, ahora Claro, inicio una agresivo ingreso al mercado peruano de la televisión por cable, adquiriendo operadores tanto en Lima como en provincias para obtener rápidamente una presencia importante, así mismo inicio la construcción de una moderna red HFC, consistente de nodos de solo 700 hogares pasados en los cuales ofrece los servicios de Telefonía, TV y acceso a Internet. En la ciudad de Huánuco, también se ha construido una red de HFC, compuesta

actualmente de un promedio de 39 nodos, cada uno de 700 hogares pasados divididos en dos grupos de 21 nodos en la misma ciudad de Huánuco y que cuenta actualmente con 3000 abonados y 18 nodos en el distrito de Amarilis que cuenta con 5000 abonados. En este distrito en solo 6 nodos en los que esta dividido el centro de la ciudad, actualmente tenemos mas de 3000 abonados, compuestos principalmente por negocios, y oficinas comerciales que tienen una demanda muy alta de ancho de banda originándose muchos reclamos de calidad de servicio.

Esto es debido a que el ancho de banda disponible, tanto de bajada como de subida que es compartida por todos los usuarios que se conectan dentro de un nodo. El protocolo que permite la comunicación de datos se conoce con el nombre de DOCSIS, actualmente en su versión 1.1 que asegura una velocidad compartida efectiva de 37Mbps en bajada y 10Mbps (Lin, 2006) en subida. Es decir que en esta situación, en un nodo compite en promedio 500 abonados y considerando un overbooking de 8 a 1, tenemos 62 abonados compartiendo un velocidad de capa de física de solo 37 Mbps, lo que llevaría a una velocidad promedio por usuario de solo 500 Kbps que es muy baja para una red de banda ancha actual.

1.2. Preguntas de Investigación

¿De que manera el estudio del rediseño de la red HFC de la empresa Claro permite mejorar la calidad de servicio, en la ciudad de Huánuco, Distrito de Amarilis?

1.3. Hipótesis

Si se realiza el estudio del rediseño de la red HFC de la empresa Claro, aumentando el numero de CMTs y/o disminuyendo la cantidad de hogares por nodo, se logrará una mayor velocidad de transmisión disponible por usuario mejorando la calidad de servicio, en la ciudad de Huánuco, Distrito de Amarilis.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo General

Rediseñar la red HFC de la empresa Claro, aumentando el numero de CMTs y/o disminuyendo la cantidad de hogares por nodo,y lograr una mayor velocidad de transmisión disponible por usuario para mejorar la calidad de servicio, en la Ciudad de Huánuco, Distrito de Amarilis.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Estudiar las principales arquitecturas de redes HFC.
- Establecer los requisitos la demanda, para la condiciones actuales de penetración de los servicios.
- Determinar la modificación de la arquitectura de red que asegura una mejor distribución de la velocidad de transmisión, en función de la demanda.
- Realizar pruebas a nivel de Simulación del desempeño de la red y verificar velocidad de transmisión.

Capítulo 2

Marco Teórico

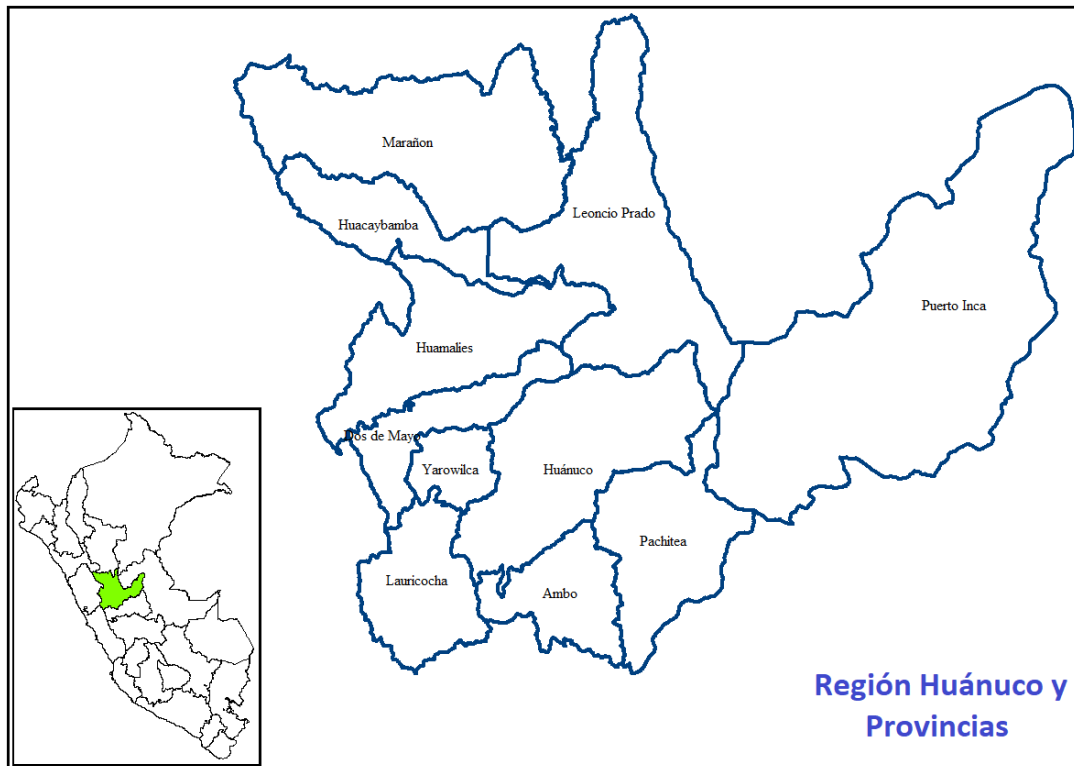
Las empresas inteligentes no se ven en los costos de mano de obra solo. Ellos miran el acceso al mercado, el transporte, la infraestructura de telecomunicaciones y el nivel de educación y habilidades de la fuerza laboral, el desarrollo del capital y el mercado regulatorio.

Janet Napolitano.

2.1. La Región Huánuco

Esta ubicada en área centro oriental del país, con una superficie de $36,850 \text{ Km}^2$, que representa el 2.9% del área territorial del Perú. Se diferencian dos microregiones, la parte sierra con $22,012 \text{ Km}^2$ y la parte selva con $14,837 \text{ Km}^2$. Posee una diversidad geográfica representada por la existencia 7 de las 8 regiones naturales que segun la clasificación del Dr. Pulgar Vidal. Así, en la parte Este de su territorio se ubican los distritos de Tournavista y Yuyapichis, con a una altitud de 250 msnm, En el extremo Oeste, donde tiene como frontera a Lima y Ancash, tenemos la Cordillera de Huayhuash, con el Nevado Yerupajá, con 6615 msnm de altitud, ocupa el segundo lugar dentro de los nevados mas altos del Perú.

Ubicada en el centro Oeste del Perú, tiene nevados, cordilleras, valles cálidos y selvas amazónicas, donde llegan turistas y muchos andinistas en busca de nevados como el de Yerupajá con 6,615 m.s.n.m., Sihia con 6,356 m., el Nenashanca de 5,637, Rondoy con 5,870 etc, ademas de la existencia de una gran cantidad de lagunas en las faldas de estos nevados producto del deshielo.(Huánuco, 2019)

Figura 2.1*Región Huánuco y Provincias*

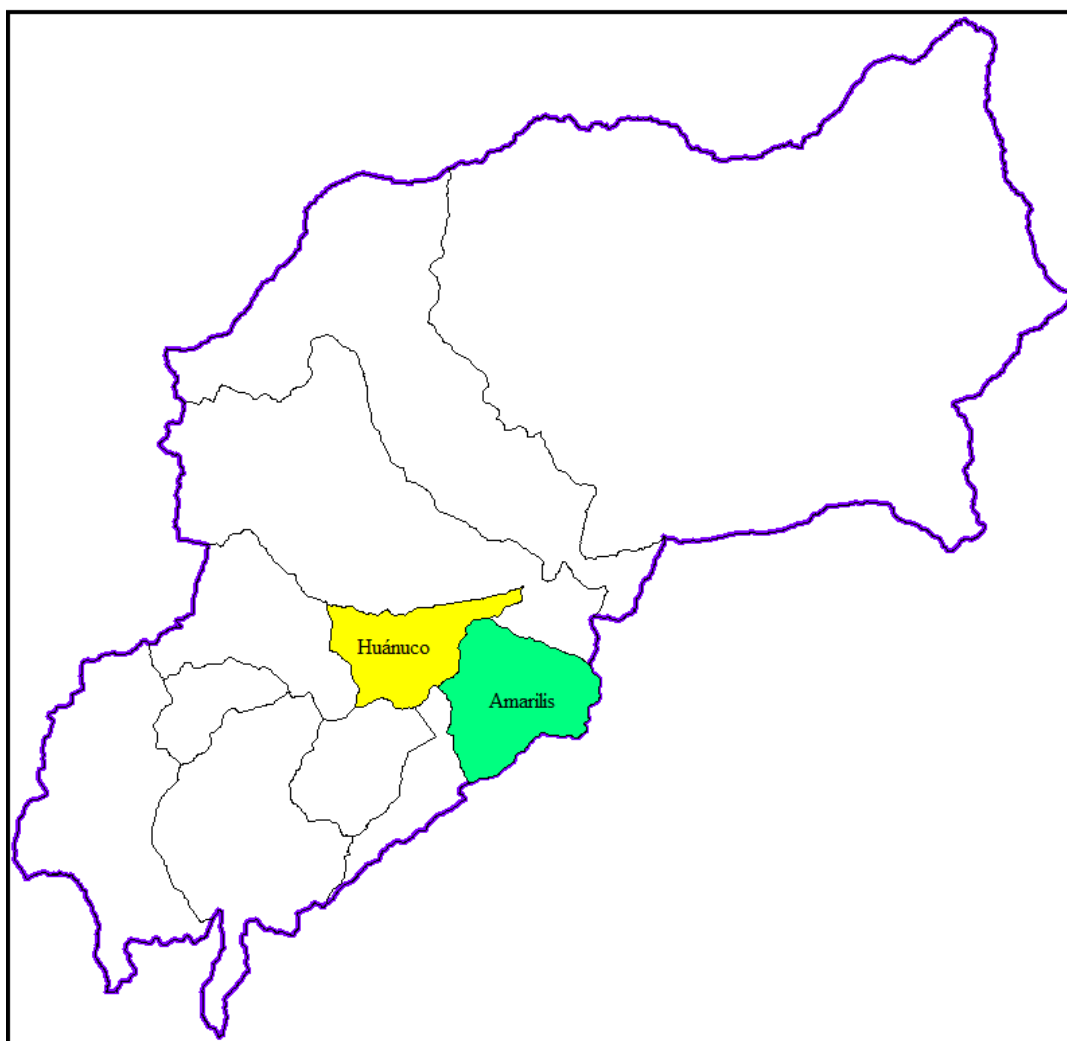
2.1.1. División Política

La Región de Huánuco, con una área de $36,886.74 \text{ Km}^2$ (2,9% del área del Perú) donde viven el 3% de la población total del país. Huánuco está organizado en 11 Provincias y 77 Distritos. (Ver figura 2.1). Nuestro estudio es en la Provincia de Huánuco con $4,091,71 \text{ Km}^2$.

Se tomará en cuenta en este estudio la provincia de Huánuco, que cuenta con 13 distritos, que corresponden al ámbito provincial, específicamente el distrito de Amarilis, que como se puede observar limita con el distrito de Huánuco, siendo prácticamente la continuación de la ciudad de Huánuco.

Figura 2.2

Ubicación de distrito de Huánuco y Amarilis



2.1.2. Población

Usando proyecciones poblacionales del INEI para el 30 de junio de 2015, Huánuco contaría con 860 537 habitantes (2,8% del total de la población del Perú proyectada para el mismo año), estando la provincia de Huánuco con el 36,1 por ciento de la población Regional, sigue después la provincia de Leoncio Prado (15,5%), Huamalíes (8,8%) y Pachitea (8,4%). Considerando todo el territorio nacional, Huánuco ocupa la décimo tercera ubicación como región con mayor población, sabiendo que en Lima esta la mayoría de la población del país (31,6%) y en la Región Madre de Dios, la menor cantidad (0,4%).

En estos últimos 10 años, la distribución de la población por grandes grupos de edad esta teniendo cambios, así, que en el presente hay una mayor población entre los 15 y 64 años de edad. y, para mediados de 2015, el INEI proyecta que el 32,5% tendrá entre 0 y 14 años de edad (34,9% en el 2005); el 62,0% entre 15 y 64 años de edad (60,6% en el 2005); y el 5,5% más de 65 años de edad (4,5% en el 2005).

El distrito de Amarilis es uno de los más poblados de la provincia de Huánuco, después del distrito de Huánuco, cuenta con una población de 78387 habitantes, adicionalmente de la información de indicadores de población del INEI en el calendario 1995 - 2025 la Región Huánuco presenta tendencias positivas, con una tasa de crecimiento de 7.16 por mil.

2.1.3. Índice de desarrollo humano

El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), elabora el El Índice de Desarrollo Humano (IDH), esta es una medición del desarrollo tomando en cuenta tres dimensiones básicas: salud, educación e ingresos. En términos generales, los indicadores utilizados son: a) Esperanza de vida al nacer, b) Población con Educación Secundaria, c) Años de educación, y d) Ingreso Familiar per cápita.

En el último Informe de Desarrollo Humano, realizado el año 2013, por el PNUD, la Región Huánuco ocupa el ranking 21 entre 25 departamentos del país; mostrando así una

ubicación rezagada en términos de desarrollo humano.

Por su parte, en casi todos los componentes del IDH, la región se ubica por encima del puesto 20 del ranking departamental, situándose en mejor posición en el indicador Esperanza de vida al nacer (ranking 16), el puesto 19 en Años de Educación y 17 en el de Ingreso familiar per cápita, situándose en la media inferior en dichos indicadores; asimismo la brecha respecto al promedio nacional se ha reducido con relación a la observada desde el año 2003.

En lo que corresponde al IDH provincial y distrital, observamos que la provincia de Huánuco ostenta el mejor IDH de la región, puesto 58, dentro del contexto nacional, teniendo un buen puesto en lo que corresponde a los Años de Educación (68) e Ingreso familiar Per cápita (48), ello, entre 195 provincias del país, situándose en el tercio superior.

Sobre los distritos en la provincia de Huánuco, observamos que el distrito mejor posicionado es Amarilis, en el puesto 141, le sigue Huánuco (cercado) en el puesto 169, y en tercer lugar tenemos al distrito de Pilcomarca en el puesto 170, en el límite inferior tenemos los distritos de Churubamba (1728), Santa María del Valle (1594) y San Pedro de Chaulan (1716), todo ello entre 1834 municipios del país.

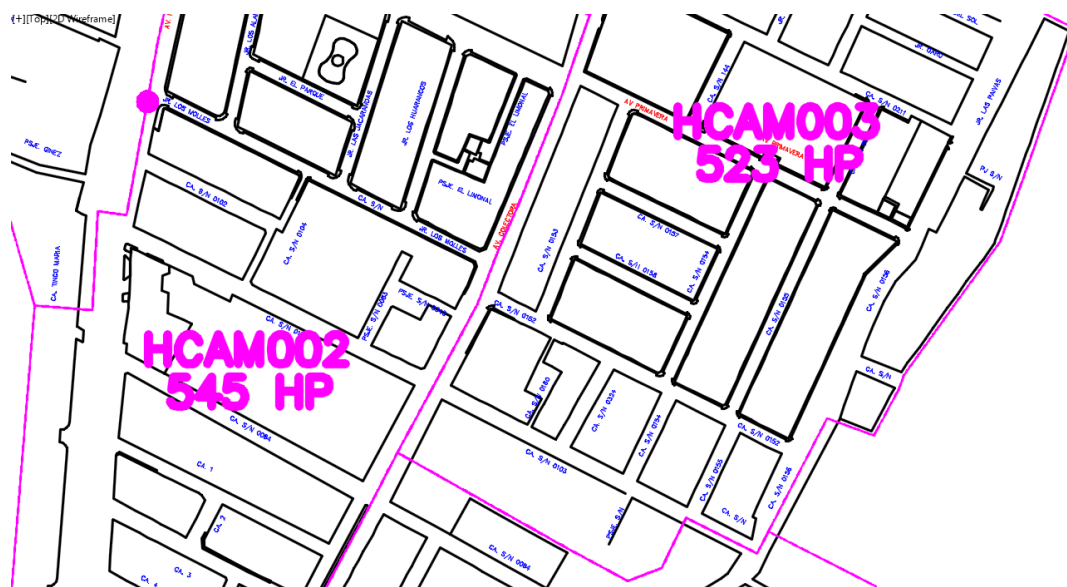
2.1.4. Telecomunicaciones

Del reporte del Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones (OSIPTEL), al término de 2015, señala que, de los 3,0 millones de líneas de teléfono fijo a nivel nacional, en Huánuco se concentró el 0,8 por ciento (22 673 líneas). En los últimos 5 años, el número de líneas de teléfono fijo aumentó de 20,2 miles en el 2010 a 22,7 miles en el 2015, lo que significó un crecimiento de 12,0 por ciento.

Al igual que el avance en el uso de celulares, en la región también destaca la penetración de otras tecnologías de información como el uso del Internet, que si bien muestra todavía un importante retraso frente al promedio nacional crece en más de 3 veces respecto al ratio de penetración de 10 años atrás. Situación similar se registra con la presencia de televisores o los servicios de televisión por cable donde las tasas de expansión de la

Figura 2.3

Casas pasadas de Nodos HFC del Distrito de Amarilis



región superan al promedio nacional.

Podemos hasta ahora afirmar que, particularmente el distrito de Amarilis, cuenta con una población económicamente bien posesionada pues es el distrito mejor rankeado en la región Huánuco, respecto al IDH, además que de acuerdo a Osiptel existe una clara tendencia al crecimiento de un mayor uso de los diferentes servicios de telecomunicaciones.

2.2. Red Actual - Distrito de Amarilis

El distrito de Amarilis es atendido actualmente por 18 planos de una red HFC. A cada uno de estos planos también se les conoce como nodos, aunque no hay que confundirlo con el dispositivo activo conocido como nodo óptico. La mayoría de los cuales tiene más de 500 casas pasadas. En la figura 2.3 se nota que los planos HFCAM002 tiene 545 HP (House Passed) y el plano HFCAM003 tiene 525 HP.

Esta información se puede corroborar por el membrete del Nodo Óptico del plano HFC HFCAM002. (Ver figura 2.4)

Figura 2.4

Casas pasadas de Nodos HFC en Membrete de Nodo Óptico

NUMERO		HCAM002	
MODELO		SG4-100UK/SXX-NES-S-R	
FORWARD			
ENTRADA 1 Ghz		SALIDA 1 Ghz	
0		57	
ENTRADA 870 Mhz		SALIDA 870 Mhz	
0		49	
ENTRADA 750 Mhz		SALIDA 750 Mhz	
0		53	
ENTRADA 550 Mhz		SALIDA 550 Mhz	
0		55	
ENTRADA 54 Mhz		SALIDA 54 Mhz	
0		40	
F-PAD	NULL	F-EQ	NULL
RETORNO			
ENTRADA 42 Mhz		SALIDA 42 Mhz	
24		0	
ENTRADA 5 MHz		SALIDA 5 MHz	
24		0	
R-PAD	NULL	R-EQ	NULL
FUENTE DE PODER		AM002	
VTG	87	COR.	00
		CASCADA	1
DIRECCION DE PODER		00	
DISTANCIA ULTIMO ACTIVO		0m	
CASAS PASADO		543	

También en la figura 2.5 se puede observar parte del plano HCMA002. El detalle importante a tener en cuenta es que en estos diseños existe hasta 03 amplificadores en cascada, que puede ser corroborado por el membrete de un amplificador que pertenece a este plano. (Ver figura 2.6)

Otra consideración importante es el hecho que una gran parte de los taps, que son los puntos de acceso hacia los abonados, están con todas sus salidas ocupadas lo que es buen indicador comercial, pero en el aspecto técnico pues significa que tendremos cerca de 500 usuarios compitiendo por usar el ancho de banda disponible del Nodo. (Ver figura 2.7)

Figura 2.5

Parte del plano HCMA002

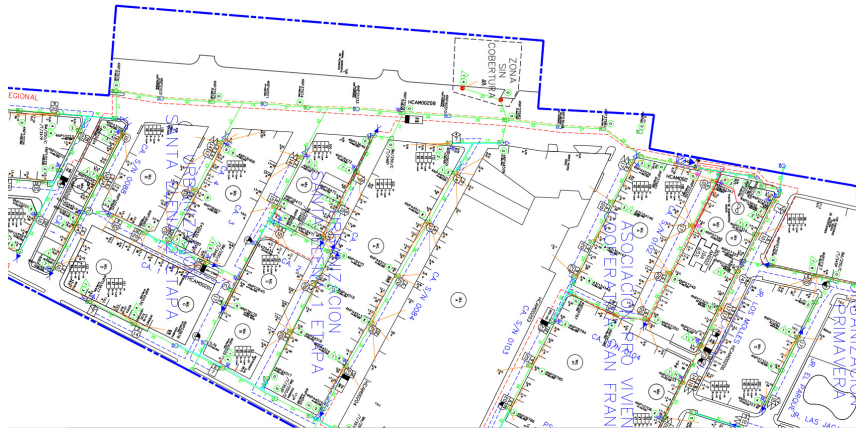


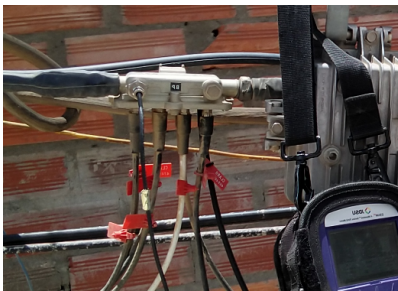
Figura 2.6

Membrete de amplificador en cascada

NUMERO	HCAM00204		
MODELO	MB-100K-HQXH-F-X-R		
	FORWARD		
ENTRADA 1 Ghz			SALIDA 1 Ghz
35			57
ENTRADA 870 Mhz			SALIDA 870 Mhz
33			49
ENTRADA 750 Mhz			SALIDA 750 Mhz
34			53
ENTRADA 550 Mhz			SALIDA 550 Mhz
34			55
ENTRADA 54 Mhz			SALIDA 54 Mhz
36			40
F-PAD	16B	F-EQ	5
	RETORNO		
ENTRADA 42 MhZ			SALIDA 42 MhZ
24			28
ENTRADA 5 MHZ			SALIDA 5 MhZ
24			25
R-PAD	11B	R-EQ	4
FUENTE DE PODER	AM002		
VTG	84	COR.	00 CASCADA 3
DIRECCION DE PODER	00		
DISTANCIA ULTIMO ACTIVO	262m		
CASAS PASADO	81		

Figura 2.7

Tap de accesos a Usuarios



Capítulo 3

Redes de Banda Ancha - Servicios y Protocolos

Dividir la señal en bandas más estrechas tiene más ventajas que el uso de una sola banda ancha, entre ellas mejor inmunidad a la interferencia de bandas estrechas y la posibilidad de utilizar bandas no contiguas.

Andrew Tanenbaum

3.1. Redes de Banda Ancha - De CATV a HFC

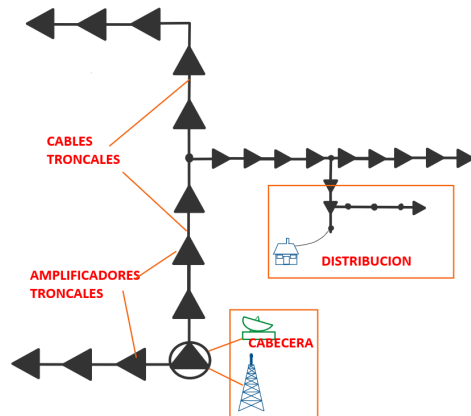
Las tecnologías de redes de banda ancha permiten altas velocidades de transmisión de voz, vídeo y datos sobre redes e infraestructuras de telecomunicaciones (ITU, 2019). Las diferentes tecnologías de banda anchas, que van desde los sistemas de Antena Comunitaria (CATV), redes de Fibra Óptica, Redes Móviles, Satelitales, ha permitido formas nuevas y tradicionales de las telecomunicaciones y se han expandido a lo largo del mundo. En nuestro país con la implementación de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica en el año 2015, que es el esfuerzo del Gobierno Peruano, en esa oportunidad a través de FITEL, hoy PRONATEL, para hacer accesible las Redes de Banda Ancha a todas las localidades rurales del Perú, debido a que el problema principal en nuestro país, es la debilidad del acceso a redes de banda ancha y baja teledensidad.

3.1.1. CATV

Los sistemas de antenas comunitarias (CATV) su objetivo inicial fue realizar la entrega de señales de Radiodifusión de Televisión en áreas no atendidas por los operadores o no se podía recibir adecuadamente, usualmente áreas rurales, incluso en zonas urbanas donde múltiples reflexiones en los edificios no permitía una buena señal. Estos sistemas consistían de antenas en lugar con buena recepción y un sistema de distribución de banda ancha que llevaba las señales a los usuarios finales. La línea de transmisión preferida de

Figura 3.1

Los Sistemas de CATV - Adaptado por los autores



estos sistemas es el cable coaxial, debido a sus niveles de atenuación relativamente pequeños cuando se comparaba con otras líneas de transmisión disponibles en ese momento.

El negocio de CATV en la década de 1970, cambió con el advenimiento de los sistemas satelitales, puesto que permitió incrementar la oferta de contenido, apareciendo muchas empresas generadoras de contenido como HBO, FOX, Cinecanal, Cinemax, entre otros. Los sistemas de CATV, consistían de grandes cascadas de amplificadores, que distribuían las señales a la zona de servicio (Ver figura 3.1), y la calidad que se conseguía era de 48-49 dB de relación Portadora a Ruido, y 53 dB de relación de una portadora a ruido de interferencia.

Los sistemas de televisión por cable (CATV) han evolucionado desde simplemente distribuir señales de televisión a incluir servicios de datos de alta velocidad, telefonía, redes en general, contenido bajo demanda, etc. La gestión de estos nuevos servicios, la cabecera también ha tenido que cambiar a centros de procesamiento de señales jerárquicos de alcances regionales o nacionales (Large & Farmer, 2009).

Actualmente, tenemos canales exclusivos para deportes, noticias, series, películas, cultura, etc. de tal forma que la oferta se basa en tipos de servicios, que podría incluir:

- Un nivel básico de servicio que incluye los canales locales y paquetes básicos de

las principales cadenas.

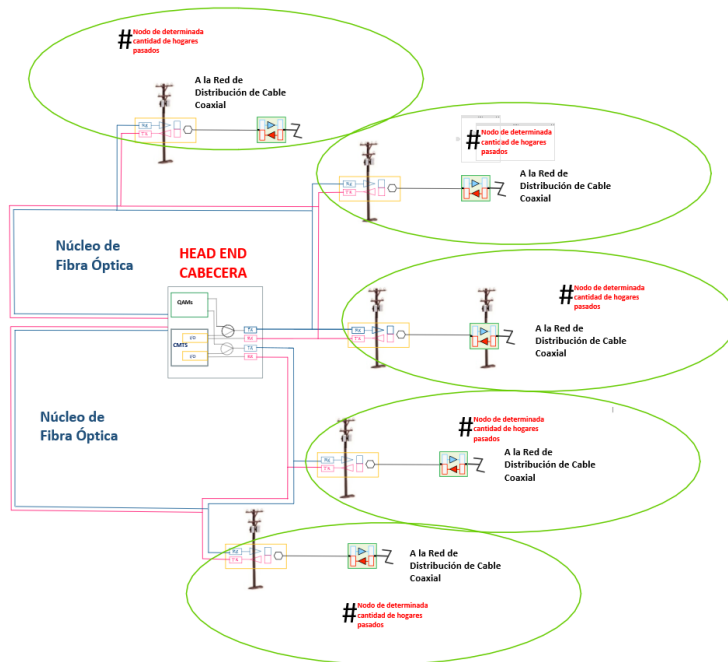
- Uno o mas canales de contenido especializado.
- Elección de canales de películas libre de comerciales y canales de eventos especiales.
- La posibilidad de comprar contenido individual de películas o eventos especiales, conocido como pay-per-view, o PPV o pagar por ver.

Adicionalmente a esta disponibilidad del contenido y servicios, los operadores de cable han ingresado al negocio de acceso a Internet, brindando diferentes planes y opciones a los clientes lo que ha obligado a una continua expansión del ancho de banda del sistema de CATV. Los primeros sistemas estaban limitados a todo o una parte de 12 canales de VHF. La primera expansión permitió llegar hasta los 174MHz. Después los canales se han agregado en pasos desde 216 MHz, ha 270MHz, 300MHz, 400MHz, 450MHz, 550MHz, a 770MHz y algunos a 870MHz.

3.1.2. HFC

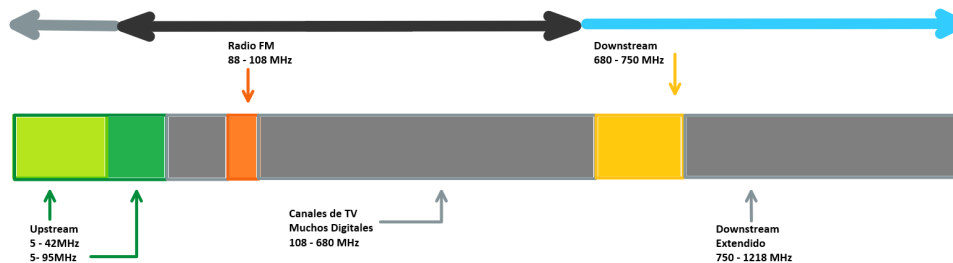
Esta evolución se refleja en un cambio de arquitectura de estas red, agregándose una núcleo de red o backbone(Figura 3.2), que esta compuesto principalmente de Fibra Óptica lo que ha permitido el aumento del ancho de banda al rango de 1GHz a 1.2GHz, amplificadores de distribución lineales, capaces de transportar señales moduladas de RF, con mínima interferencia mutua(Ciciora, 2004). A esta arquitectura se le conoce como Hybrid Fiber-Coaxial o redes de Híbridas de Fibra y coaxial, que permite:

- Canales de comunicación de dos vías, el canal de Upstream y Downstream o conocidas como canales de subida y bajada.
- Uso señales de vídeo digital, que incluye la calidad estándar (SD) y la alta definición (HD).
- Altas transmisiones de datos en los canales de subida(Upstream) y bajada(Downstream), para acceso a Internet, que es el segmento de negocio de

Figura 3.2*Red HFC - Adaptado por los autores*

mayor crecimiento en la industria del cable.

En (McGarvey, 2020), se anuncia que la planta de Coaxial de una Red HFC, puede extender su ancho de banda hasta 1.8GHz, e inclusive a 3GHz, y se anuncia el estándar DOCSIS 4.0, que admite Full Duplex, como Espectro Expandido, además que se discute el potencial de aumentar el rango de las redes HFC a 25-30Gbps, lo que permitiría a los operadores apalancar sus fuertes inversiones realizadas en sus plantas de HFC, con cambios de los activos y pasivos de la red, que significa una menor inversión que cambiar los kilómetros de coaxial por fibra. Particularmente esto es posible en el Perú, puesto que la red HFC de Claro es relativamente nueva y fue construida siguiendo los más altos estándares que garantiza su longevidad. También es importante la investigación realizada en (Stockman & Coomans, 2019), donde se analiza la capacidad de los cables de acometida RG6 y RG11 en función de la distancia a las frecuencias de operación de 3GHz y 6GHz, encontrándose velocidades de 30Gbps para distancias de 60m de acometida, teniendo en cuenta que este es cable que se usa para conectar usuarios

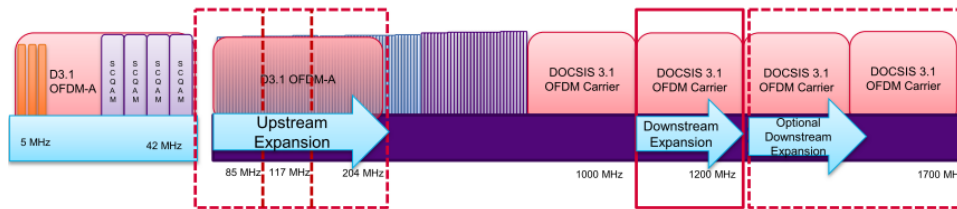
Figura 3.3*Espectro de Red HFC - Ampliado a 1.2GHz*

individuales, las velocidades obtenidas son más que suficientes. El espectro disponible está dividido, en diferentes segmentos, que permiten desplegar los diferentes servicios. En la figura 3.3 se observa esta división, en la parte inferior están como se distribuyen los segmentos de Upstream (subida), Downstream (Bajada) y los servicios de TV analógica y digital, en la parte inferior se muestra la división que permite comunicación Full Duplex en canales más extendidos puesto que se maneja más el concepto de transmisión de datos en general, más que la separación del esquema inferior.

3.1.2.1. DOCSIS

Lo que ha determinado la longevidad y madurez de la tecnología HFC, es el estándar de su capa de enlace de Datos: La Especificación del Interfaz de Datos sobre sistemas de Cable (DOCSIS), que se inició en 1997 con la versión 1.0, agregando en sus versiones posteriores calidad de servicio (QoS), calidad de experiencia (QoE), habilita la asignación y transmisión simultánea de dos canales de bajada (Upstream), soporte a IPv6 y en la versión 3.1 de octubre del 2013, incrementa las velocidades de hasta 10Gbps en el canal de bajada (Downstream) y 1Gbps en el canal de subida (Upstream). En esta versión también se extiende el Upstream hasta 200MHz y el Downstream a 1.2GHz o 1.7GHz (Ver figura 3.4)

Actualmente muchos de los operadores de cable con plantas HFC, en USA han visto que sus planes de ajustar su configuración de los canales de subida de 42MHz a 85MHz o 204MHz han sido acelerados por el COVID-19, puesto que les da mucha capacidad extra

Figura 3.4*Expansión de Espectro - Docsis 3.1*

en el Upstream, lo que les permite mirar el futuro con mas confianza (Robuck, 2020).

En la versión 3.0, permitía el uso de canales DS de banda angosta o como parte de canales unidos(canales de banda ancha). Este soporte permite compatibilidad hacia atrás con las versiones 1.x y 2.0(Cisco, 2014). El máximo ancho depende del numero de canales M-CMTS DS, logrando velocidades de hasta de 300Mbps en Downstream, 100Mbps en Upstream, teniendo en cuenta que estas asignaciones con dinámicas, es decir dependen de las configuración(plan contratado) y la carga de tráfico.

En la versión 3.1, se aumenta radicalmente las velocidades de transmisión en ambos enlaces, sin que se tenga que realizar cambios costosos y/o significativos a la arquitectura de la red(Rohde-Schwarz, 2014). Permite capacidades de hasta 10Gbps en el canal descendente, con ancho de banda de canal de hasta 192MHz, ademas de ampliar el ancho de banda útil de la planta de Coaxial a 1218MHz o hasta 1794MHz, en el canal ascendente se logra velocidades de hasta 1Gbps, con anchos de banda de 96MHz, extendiéndose también el ancho de banda útil hasta 204MHz.

Capítulo 4

Rediseño de Red HFC

Todo esta diseñado, pero pocas cosas están diseñadas bien.

Brian Reed

4.1. Consideraciones

En la sección 2.2 se analizó la red actual, que consta de mas de 500 hogares pasados por nodo, diseñados a 1GHz en Downstream y 42MHz en el Upstream(Ver figura 2.4)), permitiendo hasta 03 amplificadores en cascada.

En el contexto de esta pandemia, existe un aumento de las actividades de tipo remoto, tanto para trabajo a distancia, como para el desarrollo de actividades académicas, asistencias a clases, conferencias virtuales de los diferentes miembros de cada familia, no solo el ancho de banda demandado a aumentado, si no también la cantidad de conexiones realizadas por el operador en el Distrito de Amarillis, llegando a mas de mil nuevas conexiones en los meses de Mayo y Junio y manteniéndose en mas de 500 nuevas conexiones en los siguientes meses, adicionalmente la penetración en los nodos objeto de estudio supera el 80%, en la mayoría de los nodos y llegando al 90% en el nodo HCAM014, donde existen 455 hogares pasados y 420 abonados conectados, lo que conlleva una gran demanda de ancho de banda, que puede ser adecuadamente atendido migrando a servicios de Gigabit sobre las redes HFC, usando DOCSIS 3.1, estos cambios impactan en muchos puntos de la red, que requiere cambios significativos de la red del proveedor de servicios, así la red de banda ancha compuesta del núcleo de Fibra Óptica y la cabecera, la red de distribución compuesta del cable coaxial, nodo óptico, amplificadores de RF, dispositivos pasivos, los dispositivos de Acceso de los usuarios o CableModems, de tal forma que se hace necesario una metodología ha seguir que

permita una migración gradual y enfocada ha mejorar de manera progresiva los servicios y planes sin sacrificar la calidad de servicio McGuire, 2016.

- Realizar una actualización de la planta HFC, que incluya:
 - Extender el espectro del Downstream a 1.2GHz. Esto requiere el rediseño de la planta de cable coaxial y cambio de los módulos de los amplificadores que soporten esta frecuencia de operación.
 - Cambiar el rango de frecuencias Upstream a 85MHz o 204MHz. Actualmente la red esta diseñada para 45MHz.
 - Dividir los nodos, para de esta manera mejorar la planta y reducir el tamaño de las zonas atendidas, por una sola fibra.
- Recuperar espectro a ser usado por DOCSIS 3.1 aprovechando el vídeo digital conmutado.
- Migración de MPEG-2 a MPEG-4, migrando los servicios a Vídeo IP.
- Incrementar los niveles de modulación en el Downstream.
 - Soporte para 128QAM, 256QAM, 512QAM y 1024QAM, asegurando soporte adicional para 2048QAM y 4096QAM.
- Incrementar los niveles de modulación en el Upstream.
 - Soporte para 128QAM, 256QAM, 512QAM y 1024QAM, asegurando soporte adicional para 2048QAM y 4096QAM.

En las tablas 4.1 y 4.2, se puede observar los espectros de los canales de Downstream y Upstream, así como las velocidades de transmisión conseguidas que son las que estarían disponibles para cada nodo o área de servicio. Se debe considerar ahora los objetivos de los proveedores de servicio, es decir los planes mas comunes que pueden ser ofrecidos a sus potenciales clientes. Alrededor del 2000, por ejemplo las velocidades típicas ofrecidas no superaban los 256Kbps, puesto que la tecnología dominante era ADSL,

Tabla 4.1*Ganancia de Capacidad en Downstream con DOCSIS 3.1*

Espectro MHz	DOCSIS 3.1 Gbps	Max DOCSIS 3.0 Gbps	Ganancia %
108-1002	7.27	5.66	28
108-1218	9.02	5.66	59
108-1794	13.71	5.66	142

Adaptado de McGuire, 2016

Tabla 4.2*Ganancia de Capacidad en Upstream con DOCSIS 3.1.*

Espectro MHz	DOCSIS 3.1 Gbps	Max DOCSIS 3.0 Gbps	Ganancia %
Espectro Downstream (MHz)	Docsis 3.1 Downstream Troughput (Gbps)	Max 3.0 Dowstream Troughput (Gbps)	Ganancia %
5-42	0.25	0.15	64
5-85	0.54	0.33	64
5-204	1.35	0.33	309

Adaptado de McGuire, 2016

Para el 2010 ya se tenía disponibles de velocidades de 2048Kbps también en esta tecnología, igualmente se podía ya ver en algunas zonas de Lima y otras regiones velocidades de hasta 16Mbps usando HFC y xDSL. Para Setiembre del 2019 se tiene ya mas de 1 millón de conexiones con velocidades mayores a 16Mbps, aunque en algunos lugares de Lima existen empresas con WIN que ofrecen velocidades de 100Mbps a 200Mbps pero usando la tecnología FFTx, no está demás también tomar en cuenta como ha evolucionado las velocidades ofrecidas en otros países (Ver Tabla 4.3) para comprender mejor las necesidades de las redes actuales, de tal forma que la migración asegure un tiempo de servicio de la infraestructura de al menos 10 años. Con estos requerimientos establecidos por las necesidades actuales, además de las consideraciones de sostenibilidad de la red al 2030 es que realizaremos las modificaciones sugeridas, tomando como base los servicios descritos en la tabla 4.3, para esto requerimos realizar los cambios en la red de planta externa, específicamente en el espectro de Downstream llegando a 1.2GHz y el espectro de Upstream a 204 MHz, además de reducir la cantidad

Tabla 4.3*Niveles de Servicios - Adaptado por los autores*

Niveles de Servicio Requeridos(Mbps)	2018	2020	2021	2025
Servicio Premium	200/40	400/80	600/200	1000/500
Servicio Nivel Medio	40/10	100/40	200/200	500/500
Servicio Regular	25/10	50/20	100/30	250/80

Adaptado de www.cisco.com/.../datasheet-c78-736288.html

de amplificadores en cascada.

4.2. Rediseño de Planta Externa

4.2.1. Nodo HCAM014

Como ya se menciono anteriormente este nodo tiene 455 hogares pasados y cascadas de hasta tres amplificadores con una red diseñada hasta 1GHz en el Downstream y hasta 45MHz en el Upstream.

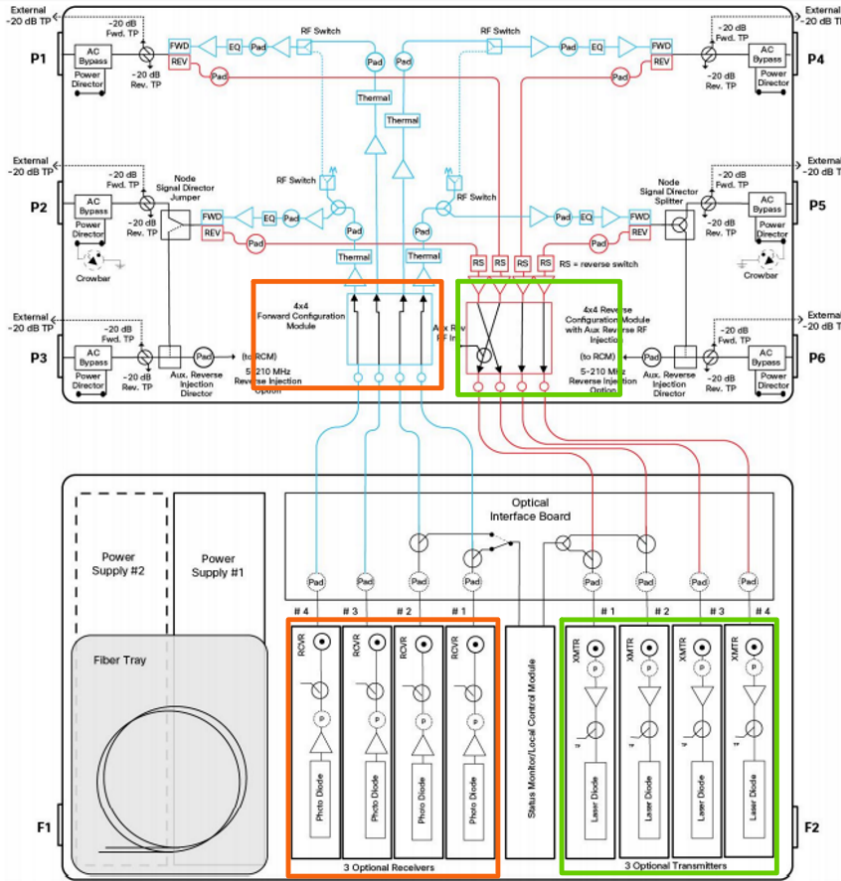
4.2.2. Selección del Nodo Óptico

Debido al crecimiento sostenido de la demanda de banda ancha de los usuarios, es necesario que tengamos un equipo flexible y simple que permita optimizar la red y reducir costos, para esto se selecciona un nodo segmentable de 4 vías, esto permite segmentar la rutas de Directa(Dowstream/Forward) y reversa (Upstream/Reverse) de manera independiente a medida que cambien los requisitos de red, de tal forma que se puede multiplicar por 4 la capacidad de la misma, solo con la previsión de una planta de fibra óptica sin intervenir en la parte de coaxial, esto es debido a que cada puerto de RF del Nodo Óptico se diseña para cierta cobertura dentro del área de servicio tratando de que todos los puertos nodos en promedio atiendan la misma cantidad de abonados.

En general estos nodos permiten muchas opciones de configuración, que además puede ser escalable. En la figura 4.1 tenemos los bloques de color naranja para la sección de

Figura 4.1

Nodo Óptico Segmentable - Adaptado de www.cisco.com



Downstream o Forward, con hasta 04 receptores ópticos como máximo, indicando que inicialmente puede estar solo 01 instalado como activo y 01 adicional en modo redundante, cuando ya se desea utilizar toda la capacidad se tienen que instalar los 04 receptores, esta funcionalidad se logra al considerar el siguiente bloque naranja que son un conjunto de pines a los cuales se puede colocar un insertable que facilita la configuración del modo de operación del este nodo, respecto a la interconexión de la parte óptica con la parte de RF que son los puertos marcados desde P1 hasta P6. De igual manera en los bloques de color Verde tenemos la sección de Upstream o Reversa, también con 04 transmisores ópticos, de nuevo inicialmente solo tendríamos 01 instalado con su respectiva redundancia, pero cuando se utiliza toda la capacidad ya se

tiene que instalar los 04 transmisores, en el siguiente cuadro verde se tiene los pines donde se coloca el insertable con el que se logra el modo de operación deseado, usando siempre los puertos de RF desde P1 a P6.

Niveles de Operación del Nodo Óptico.

Lo siguiente ha considerar son los niveles de operación, en este caso nos referimos a aspectos relevantes en el diseño, en la tabla 4.4 se tiene las bandas de paso de Downstream o Forward y Upstream o Reversa, además del porcentaje de Modulación de la fuente de DC, que es un parámetro que indica el ruido ingresado a las bandas de interés debido a la fuente DC. Esta los puntos de prueba, que es necesario conocer cuando se realizan medidas en los equipos.

Tabla 4.4

Características Generales del Nodo - extraído del DataSheet

Item	Forward	Reverse
Banda de Paso (MHz)	105-1218	5-85
Perdidas de Retorno (dB)	16	16
Modulación HUM @ 12A (dB)	70	65
Puntos de Prueba (dB)	-20	-20
Aislación de Puerto a Puerto (dB)	70	70

Adaptado de www.cisco.com/.../datasheet-c78-736288.html

Otro conjunto de datos a tomar cuenta es el desempeño del Nodo respecto al ruido (Tabla 4.5), puesto que cada vez que se agrega un dispositivo en cascada aumenta el ruido de la señal de salida, adicionalmente debido a que en estos sistemas tramiten múltiples señales en ambos canales por dispositivos electrónicos que nos son lineales, es importante considerar las distorsiones generadas que afectan la calidad de la señal, siendo mejor cuando sea mayor, se listan el Compuesto de triple Batido que toma en cuenta las distorsiones considerando un modelo de tercer orden, el compuesto de Segundo Orden que considera modelo de Segundo orden y finalmente el CIN (Ruido de Intermodulación Compuesto)

Tabla 4.5*Desempeño respecto al Ruido - extraído del DataSheet*

Item	Valor
Ruido (dB)	14
Compuesto de Triple Batido (dB)	72
Compuestos de Segundo Orden (dB)	65
CIN (dB)	56

Adaptado de www.cisco.com/.../datasheet-c78-736288.html

Ahora tenemos las especificaciones de RF, en donde se tiene la ganancia operacional del Nodo establecida para este modelo en 42dB, además de los Niveles de Salida de RF a diferentes frecuencias, junto con el Tilt de Referencia de Salida que no es otra cosa que la diferencia entre el nivel de salida a la frecuencia más alta con el nivel de salida a la frecuencia más baja (Ver Tabla 4.6)

Tabla 4.6*Especificaciones de RF*

Desempeño de Forward	
Ganancia Operacional (dB)	42
Niveles de Referencia (dBmV)	
1218 MHz	56
1002 MHz	52.5
870 MHz	50.5
750 MHz	48.7
650 MHz	47
550 MHz	45.5
105 MHz	39.1
85 MHz	38
Tilt de Referencia de Salida	
(86MHz - 1218MHz) dB	17
(258MHz - 1218MHz) dB	15

Adaptado de www.cisco.com/.../datasheet-c78-736288.html

También se considera la potencia consumida por la Unidad, bajo diferentes condiciones de voltaje puesto que debido a que estarán colocados en diferentes lugares.

Tabla 4.7*Consumo de Potencia de Unidad*

Nodo	IDC(@ 24V)	Voltaje AC							
		90	85	80	75	70	65	60	
1x4	3.54	$I_{AC}(A)$	1.5	1.6	1.5	1.5	1.5	1.7	1.8
		Pot(W)	1.03	102.7	102.4	102.2	102.3	102	102.1
4x4	4.35	$I_{AC}(A)$	1.8	1.8	.1.8	1.9	2	2.1	2.3
		Pot(W)	129.5	129.2	129	128.8	128.8	128.9	129.5

Adaptado de www.cisco.com/.../datasheet-c78-736288.html

4.2.3. Selección de Amplificadores

Se ha seleccionado un amplificador con un ancho de banda de 1218MHz, con compatibilidad mecánica que permitirá migrar a anchos de banda mayores, además de permitir módulos de filtros diplex de reversa directa configurables.

De la misma forma ahora se procede hacer un listado de las características del amplificador mas relevantes a la hora de realizar el diseño. Ver tablas 4.8 4.9 y 4.10.

Tabla 4.8*Desempeño respecto al Ruido - extraído del DataSheet*

Item	Valor
Ruido (dB)	8
Compuesto de Triple Batido (dB)	66
Compuestos de Segundo Orden (dB)	66
CIN (dB)	50

Adaptado de www.cisco.com/.../datasheet-c78-736466.html

Tenemos, también las especificaciones de los dispositivos pasivos, e insertables necesarios para que la planta externa quede completamente configurable y operacional que han sido obtenidos de <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/video/traditional-size-taps/datasheet-c78-733863.html>

Tabla 4.9*Especificaciones de RF*

Desempeño de Forward	
Ganacia Operacional (dB)	46
Niveles de Referencia (dBmV)	
1218 MHz	58
1002 MHz	54.7
870 MHz	52.7
750 MHz	50.8
650 MHz	49.3
550 MHz	47.8
105 MHz	42.3
85 MHz	41
Tilt de Referencia de Salida	
(86MHz - 1218MHz) dB	17
(258MHz - 1218MHz) dB	14.7

Adaptado de www.cisco.com/.../datasheet-c78-736466.html**Tabla 4.10***Consumo de Potencia de Amplificador*

Item	IDC(@ 24V)	Voltaje AC							
		90	85	80	75	70	65	60	
Modulo Termico	1.85	IAC(A)	0.66	0.68	0.72	0.73	0.76	0.81	0.87
		Pot(W)	49	48.7	48.2	48.1	47.8	47.6	47.6
Modulo AGC	1.9	IAC(A)	0.67	0.69	0.73	0.74	0.77	0.82	0.89
		Pot(W)	129.5	129.2	129	128.8	128.8	128.9	129.5

Adaptado de www.cisco.com/.../datasheet-c78-736466.html

4.2.4. Selección de Cables Coaxiales

Se considera las características de los cables coaxiales que se usan en la planta externa, que conectan los diferentes dispositivos amplificadores, taps, acopladores que permiten una distribución uniforme de la señal, y los cables de acometida o bajada que son los que finalmente son los que conectaran la red a los equipos de los usuarios finales. (Ver tabla 4.11)

Tabla 4.11

Pérdidas de Cables Coaxiales

Cable QR .500		Cable F6
Frecuencia (MHz)	Perdidas dB/100m	Pérdidas dB/100m
1218.0	9.28	23.66
1002.0	8.32	21.49
865.0	7.68	20.01
750.0	7.09	18.54
550.0	5.97	16.08
250.0	3.94	10.82
85.0	2.23	6.46

Adaptado de <https://es.commscope.com/.../hardline-cables/item5202002/> y [drop-cables/item450070003/](https://es.commscope.com/.../drop-cables/item450070003/)

4.2.5. Niveles de Señal en los Abonado

Desde el tap, ubicado en el poste se considera una acometida de un máximo de 75m, y como se usa un cable tipo F6 (Ver tabla 4.11 columna 03 para perdidas) se puede calcular los niveles de son necesarios en cada posible usuario teniendo en cuenta la posibilidad de tener hasta 05 puntos de Tv y los servicios de Internet y Telefonía. Los resultados de la tabla 4.12 indican que tenemos que asegurar un nivel de 23dBm a la frecuencia mas alta y 11dBm a la frecuencia mas baja.

4.3. Procedimiento de Diseño

Para realizar el diseño se seguirá los pasos de la figura 4.2, donde el primer paso es contar con la información del Plano de Catastro del área a cubrir, la información de

Tabla 4.12*Niveles en Abonados Considerado perdida en Acometida*

Frecuencia (MHz)	Perdidas dB @ 75m F6 Acometida	Nivel RF (dBm)	Nivel (dBm) RF - Terminal Tap	Total
1218	16.7	6	22.7	
1002	16.1	6	22.1	
865	15.0	6	21.0	
750	13.9	6	19.9	
550	12.9	6	18.9	
250	12.1	6	18.1	
85	5.3	6	11.3	

Elaborado por los Autores con información de <https://es.commscope.com/globalassets/digizuite/103742-p360-4514603-external.pdf>

relevamiento, la ubicación de los amplificadores de tal manera que sea posible cubrir las calles consideradas realizando los cálculos de Forward y Reversa, estos son procedimientos que se van verificando en diferentes momentos lo que obliga a replantear la ubicación del amplificador o modificar los cálculos de Forward. En los cálculos de Forward y Reversa se considera también la calidad del canal en los diferentes puntos considerando hallar los Compuestos de Triple Batido, Compuestos de Segundo Orden, y el retardo del canal.

Relevamiento

Para esta parte es necesario el conteo de hogares que pueden ser alcanzados desde de cada poste dentro del área de influencia del Nodo considerado. Se considera hogares, negocios y edificios, cada uno de ellos tiene un símbolo en particular, además de las acometidas que están especificadas en la figura 4.3 se pueden lo mencionado, adicionalmente se tiene la ubicación de los postes y la distancia entre ellos información muy importante al considerar el diseño.

En este caso particular de diseño, no se realizara la división del Distrito en los nodos cada uno de en promedio de 500 hogares pasados, puesto que estamos actualizando los nodos existentes de tal manera que re calcularemos la red a 1218MHz, además de considerar un split de 85MHz para la reversa lo que también permitirá aumentar el ancho

Figura 4.2

Proceso de Diseño de HFC - Elaborado por Autores

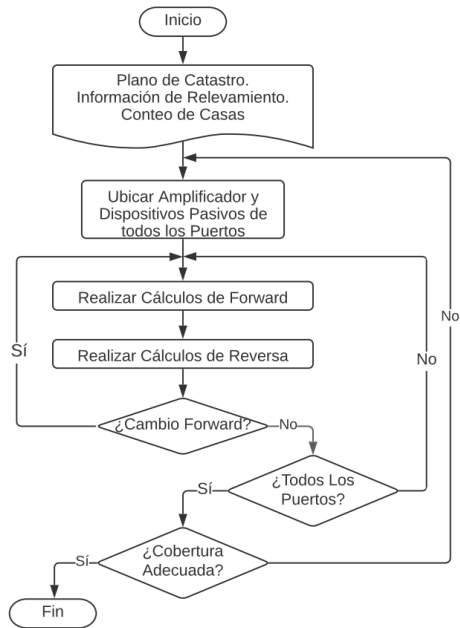
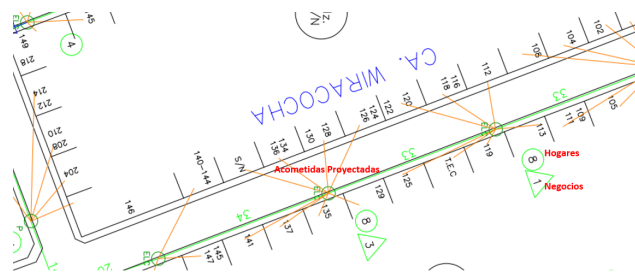


Figura 4.3

Ejemplo de Relevamiento - Elaborado por Autores



de banda y en consecuencia la velocidad de transmisión disponible.

4.4. Diseño de Forward

Para el diseño de forward se toma en cuenta, la cantidad de abonados para establecer el tipo de tap colocado en el poste y para establecer el valor del tap se toma en cuenta los niveles de señal en los terminales del tap que fueron hallados en la tabla 4.12. Se sigue el siguiente procedimiento. (Para referencia observar la figura 4.4).

1. Amplificador colocado en Poste 2, donde también hay 5 abonados posibles por lo tanto se coloca un tap de 8 vías puesto que se debe cubrir toda la demanda. Para hallar el valor de tap se realiza:

$$Valor_{TAP} = P_{tx@frecPto} - Nivel_{abonado@frec}$$

Este cálculo se realiza en el conjunto de frecuencias de Forward eligiendo el valor mínimo.

2. Con el valor del Tap se halla la pérdida de Inserción. Este cálculo se repetirá a un conjunto de frecuencias que incluye la más alta, frecuencia intermedia y frecuencia más baja de Forward. Para la potencia de salida del amplificador se usa la tabla 4.9

$$P_{sal@frecP2} = P_{tx@frecPto} - P_{insercion@frecTAP}$$

3. Para llegar al poste 3, tenemos una distancia de 34m, en este caso se usará el cable QR500, del cual tenemos sus valores de atenuación cada 100m en la tabla 4.11.

$$P_{P3@frac} = P_{sal@frecP2} - \frac{\alpha_{dB}}{100m} \times 34m$$

4. En el poste 3, de acuerdo a los datos del relevamiento se tiene 8 casas y tres negocios que hace un total de 11 posibles abonados, por esa razón consideramos la combinación de un tap de 4 vías seguido de un tap de 8 vías. Primero se halla el valor del Tap, como se mostró en el paso 1 y luego las pérdidas de inserción de los dos Taps, lo que equivale repetir los cálculos.

$$P_{sal1@frecP3} = P_{P3@frac} - P_{insercion@frecTAP}$$

Figura 4.4

Diseño de un Puerto de Amplificador - Elaborado por Autores

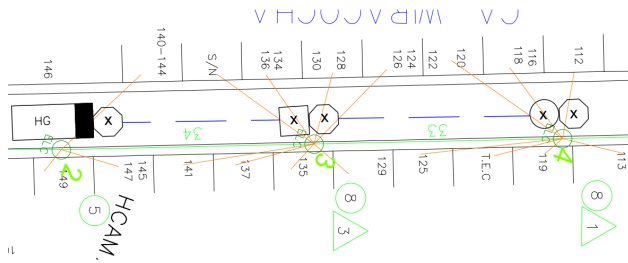


Figura 4.5

Ejemplo de Calculo usando Hoja de Excel - Elaborado por Autores

Frecuencia	Poste	Distancia(m)	Perdidas(dB)	Nivel RF	Nivel RF Abonado	TAP	Minimo	Insercion TAP	Nivel RF	TAP	Minimo	Insercion TAP	Nivel RF
1218	2	0	0	58.0	23.7	34.3	29.74	1.95	56.1	32.4	28.54	0	56.1
1002		0	0	54.7	22.1	32.6		1.55	53.2	31.0		0	53.2
870		0	0	52.7	21.0	31.7		1.45	51.3	30.2		0	51.3
750		0	0	50.8	19.9	30.9		1.2	49.6	29.7		0	49.6
650		0	0	49.3	18.9	30.4		1.2	48.1	29.2		0	48.1
550		0	0	47.8	18.1	29.7		1.2	46.6	28.5		0	46.6
105		0	0	43.0	11.3	31.7		0.55	42.5	31.2		0	42.5
							Bx						
1218	3	34.00	3.16	52.9	23.7	29.2	26.51	1.95	50.9	27.2	25.31	1.85	49.1
1002		34.00	2.83	50.3	22.1	28.2		1.55	48.8	26.7		1.50	47.3
870		34.00	2.61	48.6	21.0	27.6		1.45	47.2	26.2		1.40	45.8
750		34.00	2.41	47.2	19.9	27.3		1.20	46.0	26.1		1.35	44.6
650		34.00	2.24	45.9	18.9	26.9		1.20	44.7	25.7		1.25	43.4
550		34.00	2.03	44.6	18.1	26.5		1.20	43.4	25.3		1.25	42.1
105		34.00	0.85	41.6	11.3	30.3		0.55	41.0	29.8		0.65	40.4
							Bx					Bx	

$$P_{sal2@frecP3} = P_{sal1@frecP3} - P_{insercion@frecTAP}$$

5. Este procedimiento continua, siempre que se asegure un nivel adecuado de señal, de acuerdo a la tabla 4.12, en los usuarios.

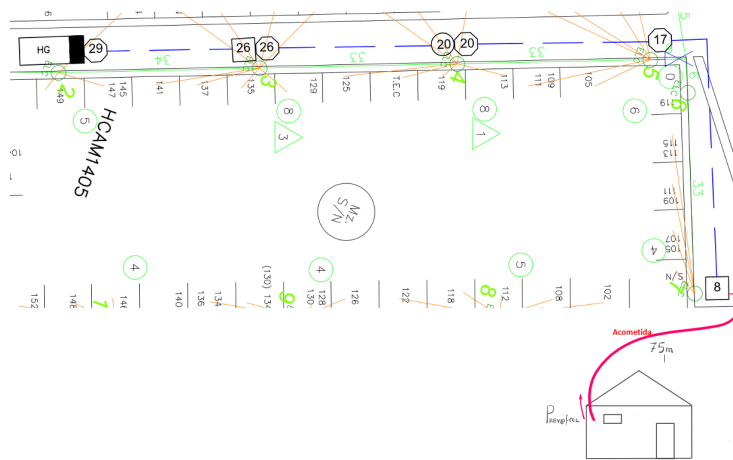
Todo el procedimiento de calculo de Forward se realiza en una hoja de Excel, puesto que facilita la repetición de múltiples cálculos por cada poste. En la figura 4.5 se puede apreciar los cálculos indicando que pasos se han cumplido y en la figura 4.6 tenemos el resultado en el plano, donde se considera la conexión de un abonado con una acometida de 75m para los cálculos de reversa.

4.5. Diseño de Reversa

En esta parte del diseño, se inicia del ultimo Tap, como se observa en la figura 4.6 se aplica una señal de una determinada potencia, ahora se sigue el siguiente procedimiento.

Figura 4.6

Diseño Forward Completo para un Puerto - Elaborado por Autores



(Para referencia observar la figura 4.6).

1. Desde el final de la acometida conectada al Tap 4x8 se inyecta una señal de reversa, se calcula la pérdida en la acometida de 75m a la frecuencia mas alta de reversa, se usa los datos de la tabla 4.11, adicionalmente se resta el valor del Tap. Esta sera la señal que se inyecta a la red.

$$P_{rxTAP@frec} = P_{REV@frec} - \frac{\alpha_{dB}}{100m} \times 75m$$

$$P_{revP7@frec} = P_{rxTAP@frec} - Valor_{TAP}$$

2. Luego desde este punto se tomara en cuenta la distancia de cable total para alcanzar al amplificador y todos las pérdidas de inserción de todos los dispositivos en la ruta. Este es el valor de potencia de entrada al modulo de reversa del amplificador.

$$P_{revIN@frec} = P_{revP7@frec} - \frac{\alpha_{dB}}{100m} \times Cable_{Total}m - \sum_{i=1}^N Perdidas^i_{Dispositivos}$$

3. El anterior paso nos colocó en la entrada del amplificador es decir en el poste 2. El valor que necesita a la entrada la etapa de reversa es 24dBm, entonces ahora determinamos si $P_{revIN@frec}$ es mayor que este valor en cuyo caso se debe determinar el valor de ecualizador de reversa, cuyo símbolo es un rombo, y se colocar en el mismo Tap en el poste.

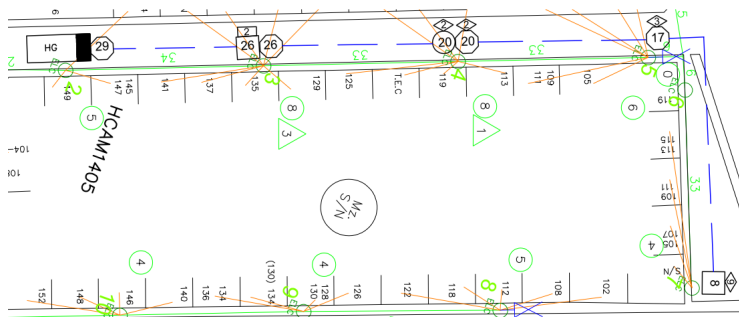
Figura 4.7

Ejemplo de Calculo de Reversa usando Hoja de Excel - Elaborado por Autores

Poste	Tap	Nivel de Reversa	En el Tap	Nivel en el Cable	Perdidas Cable	Perdidas de Insercion	Nivel en Amplificador	Nivel de Reversa	Diferencia	INSERTABLE
7	4x8	55	50.2	42.2	3.2	5.1	33.8	24	9.8	equREV-9db
5	8x17	55	50.2	33.2	2.2	3.7	27.3	24	3.3	equREV-3db
4	8x23	55	50.2	30.2	1.5	3.0	25.7	24	1.7	equREV-2dB
4	2x20	55	50.2	30.2	1.5	3.0	25.7	24	1.7	equREV-2dB
3	4x26	55	50.2	24.2	0.8	0.0	23.4	24	-0.6	
3	8x26	55	50.2	24.2	0.8	0.6	22.8	24	-1.2	equFOR 2dB
2	8x29	55	50.2	24.2	0.0	0.0	24.2	24	0.2	

Figura 4.8

Diseño Forward y Reversa Completo para un Puerto - Elaborado por Autores



$$Valor_{EQ@REV} = P_{revIN@frec} - 24dBm$$

Si el valor $P_{revIN@frec}$ es menor que 24dBm, entonces se deberá cambiar el valor del TAP, disminuyéndolo, esto permite cumplir con los requerimientos de Reversa pero para cumplir los niveles de Forward ahora es necesario colocar un ecualizador de Forward, cuyo símbolo es un rectángulo, que se coloca en el mismo Tap. Esto ocasiona una modificación de Forward y lo cual obliga a revisar los cálculos de Forward.

$$Valor_{EQ@FOR} = 24dBm - P_{revIN@frec}$$

Igual que en el diseño de Forward, el diseño de Reversa también se ha realizado en un hoja de excel. La figura 4.7, están los pasos llevados acabo, finalmente la figura 4.8 se tiene el diseño final donde se ha podido cubrir adecuadamente la cobertura considerada inicialmente.

4.6. Desempeño de Red

Ahora calcularemos las principales degradaciones de la señal, que tienen que ver con las distorsiones por no linealidad y el ruido. Hay que indicar que los términos que tienen que ver con las distorsiones de no linealidad, en el caso de señales digitales (QAM) es una práctica común describir estos efectos en función de un ruido agregado en todo el espectro. El ruido térmico es una propiedad intrínseca de todos los sistemas y se puede describir en términos de la relación portadora a ruido (CNR)

4.6.1. Compuestos de Triple Batido - CTB

Los compuestos de triple batido resultan de la interacción de armónicos, puesto que en estos sistemas se transmite varias portadoras y acá se considera un modelo de amplificador de tercer orden.

CTB Compuestos de triple Batido se define como al relación en dB del pico de potencia de la envolvente visual al pico de la señal de distorsión situada en la frecuencia de la portadora visual

En nuestro caso, tenemos dos amplificadores en cascada, La parte de RF del Nodo Óptico y el Amplificador de RF que alimenta a los usuarios finales. Usaremos la siguiente relación:

$$CTB_{Total} = -20 \times \log \left[10^{\frac{-CTB_{Nodo}}{20}} + 10^{\frac{-CTB_{AmplifRF}}{20}} \right]$$

1. CTB_{Nodo} es el compuesto de triple batido del nodo óptico cuyo valor es 72dB (obtenido de la tabla 4.5).
2. $CTB_{AmplifRF}$ es el compuesto de triple batido del amplificador de RF cuyo valor es 66dB (obtenido de la tabla 4.9).
3. $CTB_{Total} = 66,0dB$

4.6.2. Compuestos de Segundo Orden - CSO

Al igual que en el caso del CTB, esta también es una distorsión producida por el amplificador consiste en componentes de batido de segundo orden.

CSO Compuestos de Segundo Orden es definida como la relación en dB del pico de potencia de la envolvente visual al pico de potencia de la señal agregada de distorsión situada a $\pm 0,75MHz$ o $\pm 1,25MHz$ relativo a la frecuencia de la portadora visual.

Se calcula:

$$CSO_{Total} = -20 \times \log \left[10^{\frac{-CSO_{Nodo}}{20}} + 10^{\frac{-CSO_{AmplifRF}}{20}} \right]$$

1. CSO_{Nodo} es el compuesto de segundo orden del nodo óptico cuyo valor es 65dB (obtenido de la tabla 4.5).
2. $CSO_{AmplifRF}$ es el compuesto de segundo orden del amplificador de RF cuyo valor es 66dB (obtenido de la tabla 4.9).
3. $CSO_{Total} = 65,0dB$

En ambos casos se ha determinado que los valores del CTB y CSO se mantienen en niveles adecuados que establecen un canal en el que se puede transmitir altos niveles de modulación digital que permite conseguir altas velocidades de transmisión en el Downstream y el Upstream.

Capítulo 5

Conclusiones

Se realizó el estudio de rediseño de la Red HFC de la empresa Claro, logrando reducir la cantidad de casas pasadas en cada nodo de un promedio de 500 a un promedio de 130, con un incremento del ancho de banda útil de 1GHz a 1.218GHz, además de reducir la cantidad de amplificadores en cascada, con lo que se consigue tener un canal de RF de mayor calidad que asegura que se pueda usar el estándar DOCSIS 3.1 que asegura velocidades de 10Gbps de bajada y 2.5GBps de subida.

Se estableció las velocidades actuales que en cada usuario en promedio son de 100Mbps en descarga y 25Mbps en subida, con una penetración del servicio del 80%.

Se realizó una simulación, considerando diversos escenarios de ancho de banda solicitados por los usuarios, con overbooking de 1 a 8, con velocidades de 100MBps de descarga y 25Mbps de subida

Bibliografía

- Ciciora, W. S. (Ed.). (2004). *Modern Cable Television Technology: Video, Voice and Data Communications* (2nd ed). Elsevier/Morgan Kaufmann Publishers.
- Cisco, S., Inc. (2014). *Cisco DOCSIS 3.0 Downstream Solution Design and Implementation Guide*. Cisco Systems, Inc. San Jose, CA.
- Huánuco, M. (2019). Información General.
http://www.munihuanuco.gob.pe/informacion_general.php
- ITU, T. (2019). ITU-Broadband Networks.
<https://www.itu.int/en/ITU-D/Technology/Pages/BroadbandNetworks.aspx>
- Large, D., & Farmer, J. (2009). *Broadband Cable Access Networks - The HFC Plant* (3rd Edition). Morgan Kaufmann Publishers.
- Lin, C. (Ed.). (2006). *Broadband Optical Access Networks and Fiber-to-the-Home Systems Technologies and Deployment Strategies*. John Wiley & Sons, Ltd.
- McGarvey, J. (2020, enero). Long Live the HFC Network!
- McGuire, J. (2016). *Preparing for for DOCSIS 3.1* (N.º 113924). CommScope. Hickory, Carolina del Norte.
- Robuck, M. (2020). While 10G Is Cable's Future, Better Upstream Speeds Are Its Present. *Fierce Telecom*, N.PAG-N.PAG.
- Rohde-Schwarz. (2014). *DOCSIS 3.1: el "turbo" para la televisión por cable e Internet* (News N.º 213/15). Rohde & -schwarz & Co. KG. Menchen, Germany.
- Stockman, G.-J., & Coomans, W. (2019). Fiber to the Tap: Pushing Coaxial Cable Networks to Their Limits. *IEEE Communications Magazine*, 57(8), 34-39.
<https://doi.org/10.1109/MCOM.2019.1800850>

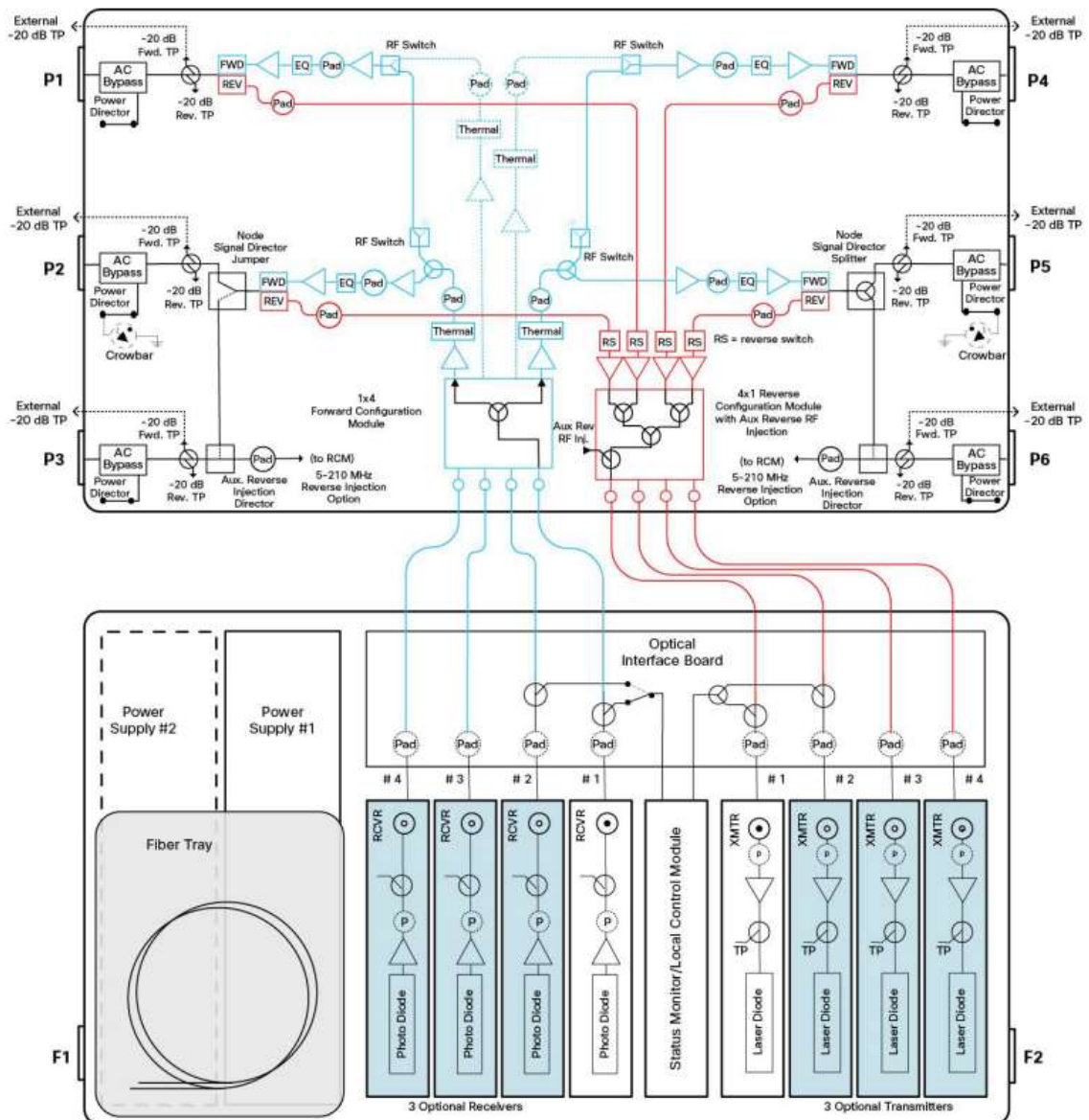
Especificaciones de Cables y Equipos

Attenuation

Frequency (MHz)	Attenuation (dB/100 m)	Attenuation (dB/100 ft)
5.0	0.52	0.16
55.0	1.77	0.54
85.0	2.23	0.68
204.0	3.51	1.07
211.0	3.58	1.09
250.0	3.94	1.2
300.0	4.3	1.31
350.0	4.69	1.43
400.0	5.02	1.53
450.0	5.35	1.63
500.0	5.67	1.73
550.0	5.97	1.82
600.0	6.3	1.92
750.0	7.09	2.16
865.0	7.68	2.34
1002.0	8.32	2.54
1218.0	9.28	2.83
1500.0	10.68	3.26
1794.0	11.88	3.62
1800.0	11.91	3.63
2000.0	12.68	3.87

Cisco GS7000 4-Way Segmentable Node 1 GHz with 85/102 MHz Split

Block Diagram - Non-segmented Node



Cisco 1218 MHz GainMaker High-Gain Balanced Triple System Amplifier

General Station Performance	Units	Forward	Reverse	Notes
Reference output level at 1218 MHz	dBmV	58.0	35 (at 42 MHz)	
1002 MHz		54.7		
870 MHz		52.7		
750 MHz		50.8		
650 MHz		49.3		
550 MHz		47.8	35 (at 5 MHz)	
258 MHz		43.3		
105 MHz		41.0		
86 MHz		40.7		
54 MHz		40.2		
Reference output tilt (54-1218 MHz)	dB	17.8	-	1
(86-1218 MHz)		17.3		
(105-1218 MHz)		17.0		
(258-1218 MHz)		14.7		

Table 2. Forward Station Performance

Forward Station Performance	Units	Auto/Thermal with 12 dB I/5 EQ	Notes
Operational gain (minimum)	dB	46	2
Internal tilt (± 0.5 dB) @ 54 – 1218 MHz	dB	19.0	3
Noise figure at 54, 86, 105, 258 MHz	dB	8.5	2
Noise figure at 1218 MHz	dB	8.0	2
Composite triple beat	dBc	66	4,9
Cross modulation	dBc	63	4,5,9
Composite second order (high side)	dBc	66	4,9
Composite intermodulation noise (CIN)	dBc	50	4,8,9,10

Unless otherwise noted, specifications reflect typical performance and are referenced to 68°F (20°C). Specifications are based upon measurements made in accordance with SCTE/ANSI standards (where applicable), using standard frequency assignments.