

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**



**“DISEÑO Y DESPLIEGUE DE REDES HFC PARA LOS NODOS DE  
CHORRILLOS DE UN OPERADOR DE TELECOMUNICACIONES”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

PAUCAR QUISPE, ERROL ROY

**Villa El Salvador**

**2016**

## **DEDICATORIA**

A mis padres y hermanas  
que me apoyaron de  
manera incondicional.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis padres por su gran amor  
mostrado y por la educación brindada  
a mi persona.

# ÍNDICE

Pág.

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.1 Descripción de la Realidad Problemática .....	2
1.2 Justificación de la Investigación .....	4
1.3 Delimitación del Proyecto .....	5
1.3.1 Delimitación Teórica .....	5
1.3.2 Delimitación Espacial: .....	5
1.3.3 Delimitación Temporal: .....	6
1.4 Formulación del Problema .....	6
1.4.1 Problema General .....	6
1.4.2 Problemas Específicos .....	6
1.5 Objetivos .....	7
1.5.1 Objetivo General .....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	8
2.1 Antecedentes de la Investigación .....	8
2.2 Bases teóricas .....	11
2.2.1 Redes de Televisión por Cable .....	11
2.2.2 Redes HFC .....	12
2.2.2.1 Estructura de la Red HFC .....	13
2.2.2.1.1 Cabecera .....	14
2.2.2.1.2 HUB .....	15
2.2.2.1.3 Red Troncal .....	15
2.2.2.1.4 Red de Distribución .....	15
2.2.2.1.5 Sistema de Terminación de Cablemódems (CMTS) .....	16
2.2.2.1.6 Nodos de Fibra .....	17
2.2.2.1.7 Equipos Terminales .....	19
2.2.2.2 Medios de Transmisión .....	19
2.2.2.2.1 Cable Coaxial .....	19

2.2.2.2.2	Fibra Óptica.....	21
2.2.2.3	Modulación QAM.....	22
2.2.2.3.1	QAM Digital .....	22
2.2.2.4	DOCSIS .....	23
2.2.2.4.1	Caudal de datos .....	23
2.2.2.5	Equipos de Medición.....	25
2.2.2.5.1	FTB-7200D.....	25
2.2.2.5.2	EPM-50 POWER METER.....	25
2.2.2.5.3	120 DSP TRILITHIC .....	25
2.3	Marco Conceptual.....	27
2.3.1	Definición de Términos Básicos.....	27
2.3.1.1	Telefonía IP.....	27
2.3.1.2	PPV.....	27
2.3.1.3	VoD.....	28
2.3.1.4	IPTV.....	28
<b>CAPITULO III: DISEÑO Y DESPLIEGUE DE NUEVAS REDES HFC .....</b>		<b>29</b>
3.1	Diseño de la Red HFC a implementar para las migraciones de Nodos ....	29
3.1.1	Situación de la Red HFC antes del despliegue de nuevas redes.....	29
3.1.1.1	Situación de los puertos Upstream antes del despliegue de nuevas redes .....	30
3.1.1.1.1	Caída de Cablemódems .....	31
3.1.1.1.2	Picos de Tráfico Upstream.....	32
3.1.1.2	Situación de los puertos Downstream antes del despliegue de las nuevas redes .....	36
3.1.2	Requerimiento a cambiar después de la Situación Actual.....	38
3.1.3	Dimensionamiento y Asignación de los puertos DS y UP en el CMTS Miraflores5.....	39
3.1.3.1	Cálculo del Dimensionamiento de los puertos Downstream del CMTS ..	39
3.1.3.2	Cálculo del dimensionamiento de los puertos upstream del CMTS ...	39
3.1.3.3	Asignación de Nuevos Puertos Downstream y Upstream en el CMTS para Realizar el Despliegue de las Nuevas Redes HFC.....	40
3.2	Despliegue de Nuevas Redes HFC para los Nodos Chorrillos 2 y Chorrillos20.....	41

3.2.1	Elaboración del Plan de Actividades a Realizar en la Implementación de las Nuevas Redes HFC.....	42
3.2.2	Mediciones y Pruebas Previas al Despliegue de Nuevas Redes HFC.....	42
3.2.2.1	Mediciones en los Puertos DS del CMTS Miraflores 5 .....	43
3.2.2.2	Mediciones Realizadas en los Transmisores Harmonic .....	45
3.2.2.3	Pruebas de Cable Modem y Navegación en los Puertos Downstream y Upstream .....	46
3.2.2.4	Mediciones y Pruebas Ópticas entre el Hub Primario y el Hub Secundario.....	47
3.2.3	Característica de Dispositivos y Materiales a Usar en el Despliegue de Nuevas Redes HFC.....	51
3.2.4	Relación de Dispositivos y Materiales a utilizar en el Despliegue de las Nuevas Redes .....	52
3.2.4.1	Receptor RDR4002.....	53
3.2.4.2	Transmisor Cisco 1.2 GHZ HD-LRMW.....	55
3.2.4.3	Amplificador P2-HD-EDFA-VGF-21-SA.....	57
3.2.4.4	Modulo Receptor Óptico HRM3811 .....	58
3.2.4.5	Mux/Demux CWDM 1X8 .....	59
3.2.4.6	Splitter W 1x4 EVEN LGX .....	60
3.2.4.7	Módulos Combinadores/ Divisores ATX .....	60
3.2.5	Relación de Materiales a Utilizar en el Despliegue de las Nuevas Redes ..	61
3.2.5.1	Cable Minicoaxial RG-59.....	62
3.2.5.2	Patch Cord Monomodo Fibra Óptica .....	62
3.2.5.3	Conector F de Compresión para Cable Mini Coaxial.....	63
3.2.5.4	PADS .....	64
3.2.6	Despliegue de Nuevas Redes HFC en el Hub Principal y Secundario.....	64
3.2.6.1	Diagramas de Directa y de Retorno .....	64
3.2.6.2	Despliegue de Red de Directa.....	65
3.2.6.3	Despliegue de la Red de Retorno .....	71
3.2.6.4	Migración de nodos y desaturación de puertos. ....	72
3.3	Revisión y Consolidación de Resultados.....	78
3.3.1	Mediciones realizadas en el Hub Miraflores .....	78
3.3.2	Mediciones realizadas en los nodos .....	80
3.3.3	Mediciones realizadas en el CMTS.....	82
	CONCLUSIONES .....	83

RECOMENDACIONES .....	85
BIBLIOGRAFÍA .....	86
ANEXOS .....	90
ANEXO N° 01: Casa Systems C100G .....	91
ANEXO N° 02: Nodo HLN3144 .....	96
ANEXO N° 03: Receptor RDR 4002 .....	99
ANEXO N° 04: Plataforma Cisco Prisma II .....	101
ANEXO N° 05: Amplificador Cisco EDFA.....	107
ANEXO N° 06: Transmisor Cisco 1550 nm .....	110

## Listado de Figuras

Pág.

Figura 1: Crecimiento de suscriptores en Lima.....	4
Figura 2: Diagrama de Red CATV .....	12
Figura 3: Diagrama de Red HFC .....	13
Figura 4: Diagrama de Cabecera.....	14
Figura 5: CMTS C100G .....	16
Figura 6: Nodo Óptico o Troba.....	18
Figura 7: Composición del cable coaxial.....	20
Figura 8: Fibra Óptica .....	21
Figura 9: Diagrama de constelación de 16Q AM .....	23
Figura 10: Medidor de nivel de señales básico .....	26
Figura 11: Niveles del Upstream lógico 6/0/2/U0.....	33
Figura 12: Niveles del Upstream lógico 6/0/2/U1 .....	33
Figura 13: Niveles del Upstream lógico 7/0/4/U4.....	34
Figura 14: Niveles del Upstream lógico 7/0/3/U5.....	34
Figura 15: Puerto Downstream 6/1 .....	36
Figura 16: Puerto Downstream 7/2 .....	37
Figura 17: Diagrama de Gantt.....	42
Figura 18: Prueba de cablemódem.....	46
Figura 19: Pruebas de navegación en Cablemódem .....	47
Figura 20: Curva obtenida del enlace entre los Hubs Miraflores y Chorrillos.....	48
Figura 21: Curva obtenida del enlace entre los Hubs Miraflores y Chorrillos.....	49
Figura 22: Receptor RDR4002.....	54
Figura 23: Amplificador de 1550nm .....	55
Figura 24: Amplificador de 21dB.....	57
Figura 25: Receptor de Broadcast .....	58
Figura 26: Mux/Demux CWDM 1X8.....	59
Figura 27: Splitter W 1x4 EVEN LGX.....	60
Figura 28: Módulo ATX .....	61
Figura 29: Fibra Óptica .....	62
Figura 30: Conector Tipo F .....	63
Figura 31: PAD RF.....	64



Figura 32: Diagrama de Directa .....	65
Figura 33: Diagrama de Retorno.....	65
Figura 34: Broadcast óptico .....	66
Figura 35: Broadcast RF .....	68
Figura 36: Conexiones en el transmisor .....	69
Figura 37: Mux 1x8 en Hub Miraflores .....	69
Figura 38: Amplificador EDFA en Hub Chorrillos.....	70
Figura 39: Etapa de multiplexado .....	71
Figura 40: Etapa de multiplexado de la red de Retorno.....	72

## Índice de tablas

Pág.

Tabla 1: Aumento de suscriptores al servicio de internet.....	3
Tabla 2: Caudal de datos downstream en Mbps.....	24
Tabla 3: Caudal de datos upstream en Mbps .....	24
Tabla 4: Ubicación de puertos DS y UP del Nodo Chorrillos 2 .....	30
Tabla 5: Ubicación de puertos DS y UP del Nodo Chorrillos 20 .....	31
Tabla 6: Registro de Caídas de Cable Modem del Nodo Chorrillos 2.....	31
Tabla 7: Registro de Caídas de Cable Modem del Nodo Chorrillos 20.....	32
Tabla 8: Asignación de puerto DS y UP para el nodo Chorrillos 2.....	40
Tabla 9: Asignación de puerto DS y UP para el nodo Chorrillos 2.....	41
Tabla 10: Portadoras DOCSIS en puerto DS.....	43
Tabla 11: Mediciones en puerto DS.....	44
Tabla 12: Transmisor del nodo Chorrillos 2 .....	45
Tabla 13: Transmisor del nodo Chorrillos 20 .....	46
Tabla 14: Resumen de resultados entre los Hubs Miraflores y Barranco ...	48
Tabla 15: Resumen de resultados entre los Hubs Barranco y Chorrillos.....	49
Tabla 16: Características de los dispositivos según el diseño .....	51
Tabla 17: Características de los puertos de salida RF.....	54
Tabla 18: Característica de los puertos de entrada óptica.....	54
Tabla 19: Entrada RF.....	56
Tabla 20: Salida Óptica.....	56
Tabla 21: Modelos de Transmisores.....	56
Tabla 22: Especificaciones del Amplificador.....	57
Tabla 23: Portadoras de Video Digital .....	67
Tabla 24: Cablemódems del nodo Chorrillos 2 .....	72
Tabla 25: Cablemódems del nodo Chorrillos 2 .....	73
Tabla 26: Niveles de sincronismo de cablemódems .....	73
Tabla 27: Mediciones en nodo Chorrillos 2.....	74
Tabla 28: Mediciones en nodo Chorrillos 20.....	75
Tabla 29: Relación de 32 portadoras DOCSIS .....	76
Tabla 30: Cantidad de cablemódems en Nodo Chorrillos 2.....	77

Tabla 31: Cantidad de cablemódems en Nodo Chorrillos 20 .....	78
Tabla 32: Mediciones en el transmisor correspondiente a Chorrillos 2 .....	79
Tabla 33: Mediciones en el transmisor correspondiente a Chorrillos 20 .....	79
Tabla 34: Mediciones en nodo Chorrillos 2 .....	80
Tabla 35: Mediciones en nodo Chorrillos 20 .....	81
Tabla 36: Niveles de sincronismo de cablemódems .....	82

## INTRODUCCIÓN

Las redes de comunicaciones permiten la interconexión de diversos servicios brindados a los usuarios. Estas redes deben tener como característica soportar un amplio ancho de banda, alta velocidad y calidad del servicio.

Las redes HFC tienen la característica de proveer al usuario las demandas exigidas. Esta tecnología permite el uso de diferentes servicios como Video on Demand (VoD), Pay Per View y Voz sobre protocolo de internet (VoIP).

La aplicación de esta tecnología facilita en gran manera la demanda de comunicación requerida por miles de personas en el Perú.

La actual demanda presentada por este servicio requiere un adecuado uso y distribución del hardware usado por estas redes. Lo que ha llevado a dar soluciones a problemas específicos en el servicio brindado a los usuarios. El proyecto consiste en 3 capítulos, en el capítulo 1 se desarrollará la descripción de la problemática, delimitación del proyecto, formulación del problema y objetivos, en el capítulo 2 se presenta la descripción general de una red Híbrido Fibra Coaxial (HFC), la cual sustentará el diseño e implementación de la red, en el capítulo 3 se realiza el diseño de la red HFC, la implementación, las mediciones, la evaluación de resultados y conclusiones.

## **CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Descripción de la Realidad Problemática**

En la actualidad la creciente demanda de la tecnología HFC ha llevado a las empresas proveedoras a brindar este servicio al mayor número de posibles clientes. El departamento de Lima y a su vez el distrito de Chorrillos ha presentado un incremento de clientes que han migrado a esta tecnología por los altos beneficios que presenta en comparación de las tecnologías similares.

Según la tabla 1 publicada por el MTC desde el 2011 al 2014 se muestra el aumento de suscriptores a servicios de internet.

Tabla 1: Aumento de suscriptores al servicio de internet

SUSCRIPTORES DE INTERNET POR MODALIDAD, SEGÚN DEPARTAMENTO: 2011-2013

59,846

(Unidades)

DEPARTAMENTO	2011	2012	2013 <sup>P</sup>	2014 <sup>P</sup>
	Banda Ancha Fija	Banda Ancha Fija	Banda Ancha Fija	Banda Ancha Fija
<b>TOTAL</b>	<b>1,205,373</b>	<b>1,439,355</b>	<b>1,612,770</b>	<b>1,763,869</b>
AMAZONAS	1,149	1,382	1,357	1,241
ANCASH	32,772	41,953	47,974	48,637
APURIMAC	3,010	3,873	4,188	4,669
AREQUIPA	64,740	77,107	85,186	94,243
AYACUCHO	6,627	10,267	11,692	12,398
CAJAMARCA	13,465	16,607	19,317	20,149
CUSCO	19,793	26,640	31,584	37,255
HUANCAVELICA	1,572	2,451	2,654	3,238
HUANUCO	6,028	6,757	10,070	12,801
ICA	27,538	34,990	39,287	41,045
JUNIN	23,936	31,061	35,192	39,377
LA LIBERTAD	66,280	82,667	95,942	102,480
LAMBAYEQUE	41,279	52,623	58,183	64,390
LIMA 3/	801,600	927,770	1,027,377	1,113,385
LORETO	2,309	2,806	2,843	14,534
MADRE DE DIOS	128	3,270	4,212	4,231
MOQUEGUA	6,002	7,791	8,263	9,796
PASCO	1,356	1,344	2,207	2,429
PIURA	39,549	50,076	56,747	60,838
PUNO	12,986	16,931	18,332	21,693
SAN MARTIN	6,951	8,595	11,715	12,632
TACNA	16,068	19,644	21,878	23,046
TUMBES	4,371	6,109	6,989	8,326
UCAYALI	5,864	6,641	9,581	11,036
Sin LAC				

P/. Información preliminar

1/. De acuerdo a lo informado por América Móvil y Telefónica Móviles, las conexiones de banda ancha móvil consideran los dispositivos USB, tablets, netbooks y similares; no los smartphones.

2/. Para fines estadísticos, se consideran conexiones de banda estrecha aquellas con velocidades inferiores a 64 Kbps.

3/. Incluye la Provincia Constitucional del Callao

Fuente: MTC - DGRAIC

Elaboración: MTC - OGPP - Oficina Estadística

Fuente: MTC (2015)

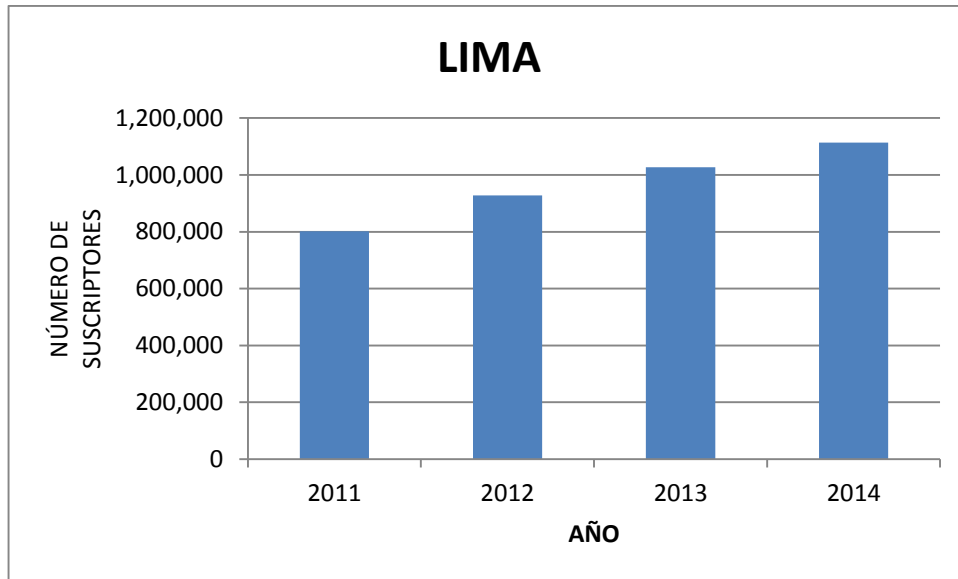


Figura 1: Crecimiento de suscriptores en Lima

Fuente: Elaboración propia

Según figura 1 este crecimiento es tan alto que el requerimiento de la tecnología ha saturado la capacidad de tasa de transmisión en los puertos de las plataformas CMTS.

El despliegue de nuevas redes de HFC es la solución a los problemas ocasionados por la saturación de puertos en el CMTS.

## 1.2 Justificación de la Investigación

El diseño y despliegue de nuevas redes HFC se centra en brindar soluciones a los problemas causados por la saturación de puertos y el aumento de cable modem registrados en el Sistema de Terminación de Cablemodems (CMTS) en los nodos del distrito de Chorrillos.

La aplicación de estas soluciones reducirá la multiplicidad excesiva de colisiones con efectos negativos. Además de reducir la latencia de tiempos de recuperación de los cable modem cuando el ancho de banda es limitado. La longitud de onda utilizada a nivel óptico será de 1550nm, la cual permitirá la multiplexación de la señal hacia los nodos.

### **1.3 Delimitación del Proyecto**

En el presente proyecto tiene como alcance el rediseño de la red HFC y su implementación en las instalaciones del Operador de Telecomunicaciones. La implementación es realizada con Transmisores Cisco, Receptores Harmonic y el uso de señal de video digital.

#### **1.3.1 Delimitación Teórica**

Para el desarrollo del proyecto se presenta los conceptos de Relación Señal Ruido, Tasa de Transmisión, Compresión MPEG, Estructura de una Red de Televisión por Cable Estructura de una Red Híbrido Fibra Coaxial y sus componentes.

#### **1.3.2 Delimitación Espacial:**

El proyecto se desarrolla en el departamento de Lima, provincia de Lima y distrito de Chorrillos. La implementación de las redes se desarrollara dentro de las instalaciones del Operador de Telecomunicaciones.



### **1.3.3 Delimitación Temporal:**

El diseño e implementación de la red se realizó en el periodo comprendido entre el 1 de marzo del 2016 hasta 10 de marzo del 2016.

## **1.4 Formulación del Problema**

### **1.4.1 Problema General**

¿Cómo realizar el diseño y el despliegue de redes HFC para los nodos de Chorrillos de un operador de Telecomunicaciones?

### **1.4.2 Problemas Específicos**

- ¿Existirá información de implementaciones previas realizadas en las instalaciones del Operador de Telecomunicaciones?
- ¿Cuál será el requerimiento adecuado para la implementación de las redes HFC en los Hubs del Operador de Telecomunicaciones?
- ¿Existirán las condiciones adecuadas en las Centrales Telefónicas para el despliegue de nuevas redes HFC?
- ¿Qué factores tendrán un impacto negativo en el desarrollo del proyecto las condiciones ambientales?
- ¿Una nueva implementación afectará positiva o negativamente el servicio brindado a los clientes?

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo General**

Diseñar y desplegar Redes HFC para los nodos de Chorrillos con la finalidad de mejorar el servicio brindado a los clientes.

### **Objetivos Específicos**

- Identificar y actualizar la información de las Redes HFC existentes en las instalaciones del Operador de Telecomunicaciones, luego de realizar las implementaciones.
- Analizar y plantear los requerimientos necesarios para el diseño e implementación de las Redes HFC, bajo la problemática actual en las redes existentes.
- Determinar si las condiciones en las Centrales Telefónicas son las indicadas para realizar la implementación de las Redes HFC.
- Identificar y sugerir soluciones para minimizar los impactos negativos de factores externos e internos a la Red HFC.
- Determinar si la nueva implementación afecta positivamente el servicio brindado a los clientes.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes de la Investigación

Se han realizado trabajos similares a este proyecto, los cuales han sido utilizados como información para profundizar en este proyecto, entre los cuales se pueden citar los siguientes:

**“Diseño e Implementación de un Curso de Servicios Sobre Redes HFC de Nueva Generación”- Universidad de Chile- Chile, presentado por Wolff Rojas Patricio Antonio en el 2009, que concluyo lo siguiente:**

“Un curso teórico y práctico sobre la capacidad de trabajo de las redes HFC, basándose en las características de escalabilidad y disponibilidad que esta tecnología presenta grandes beneficios frente a otras tecnologías.

Se recopiló información sobre la tecnología HFC. Luego de la recolección de información se procedió con el análisis de los datos obtenidos. Con los datos y análisis realizados se generó un programa docente y una planificación que permitió desarrollar el curso.

Este proyecto se diseña con el objetivo de implementar un curso de servicios teórico y práctico. En el ámbito teórico se cubren temas como Broadcasting de TV, Internet/Datos, Telefonía, IPTV, Video-on-Demand, Pay-Per-View, VoIP, videoconferencias y Juegos On Line. En el ámbito práctico se presenta la propuesta para la implementación de un laboratorio, que contemple parámetros y guías para el desarrollo del servicio y el canal de retorno”.

**“Diseño de una Red para Telefonía local y larga Distancia Nacional e Internacional con el Estándar Packetcable para Redes Híbridas de Fibra y Coaxial (HFC) en 5 ciudades”- Universidad de San Carlos de Guatemala-Guatemala, presentado por Gómez González Alain Salomón en el 2005, que concluyó lo siguiente:**

“Se conocen las especificaciones y recomendaciones del estándar DOCSIS para la transmisión de datos con diferenciación de calidad de servicio por flujos y cómo éste es un requisito para implementar una red Packetcable. Además se expone los detalles más relevantes de DOCSIS y Packetcable para tener una idea clara de su arquitectura y funcionamiento. Posteriormente se presenta junto con algunos supuestos de una operación de televisión por cable, algunas sugerencias de asignación de los recursos del espectro, los cuales pueden variar según el criterio de cada operador, pero la forma de calcularlos es la misma”.

**“Estudio del Diseño de Servicio de IPTV con Tecnología HFC Y FTTH”- Pontificia Universidad Católica Del Perú-Perú, presentado por Tumbalobos Cubas Brenda Jackeline en el 2016, que concluyó lo siguiente:**

“La tecnología más efectiva para transportar IPTV es FTTH debido a que es un servicio muy robusto y escalable sin embargo tomando en cuenta los costos analizados para ambas tecnologías es mejor primero combinar ambos y luego ir migrando hacia FTTH. Los parámetros de calidad, la tecnología de FTTH es mucho mejor con respecto a la HFC. Y en parámetros de costos tomando en cuenta una proyección de suscriptores a los largo de los próximos 5 años, es mejor HFC”.

**“Diseño de una Red de Telecomunicaciones HFC Multiservicios para la Empresa Green TV en la ciudad de Esmeraldas”- Escuela Politécnica del Ejército-Ecuador, presentado por Villacrés Bechara Mario en el 2008, que concluyó lo siguiente:**

“Se logró diseñar una red HFC multiservicios tomando en cuenta la posibilidad de la futura subdivisión de los nodos. Los estudios de tráfico y la experiencia de algunas redes de cable indican que máximo 500 usuarios por nodo final es un número adecuado para dar satisfactoriamente servicios avanzados. · La topología utilizada para este diseño es de doble anillo siendo más lógica que física, porque tienen la ventaja de ofrecer redundancia, ya que si se interrumpe una trayectoria, las señales aún pueden llegar por el otro lado del anillo; pero la desventaja de esta arquitectura es que se incrementan los costos porque se requiere más equipo”.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Redes de Televisión por Cable**

Una red de Televisión por Cable (CATV), consiste en una ubicación de cabecera donde se reciben todas las señales entrantes y, independientemente de su fuente, por división de frecuencia de multiplexación (FDM), se amplifican, y se transmiten para su distribución a la planta de CATV.

Las redes originales de CATV eran exclusivamente de una sola vía, compuesta de diversos amplificadores en cascada para compensar la pérdida de señal intrínseca del cable coaxial para la señal de vídeo la cual está en serie con taps y acopladores hacia los hogares (Aurora, 2014)

En la figura 2 se observa un sistema de cable o red de comunicaciones de banda ancha posee los siguientes componentes:

- Cabecera
- Sistema de distribución
- Espectro Local entre 3 kHz y 300 GHz.

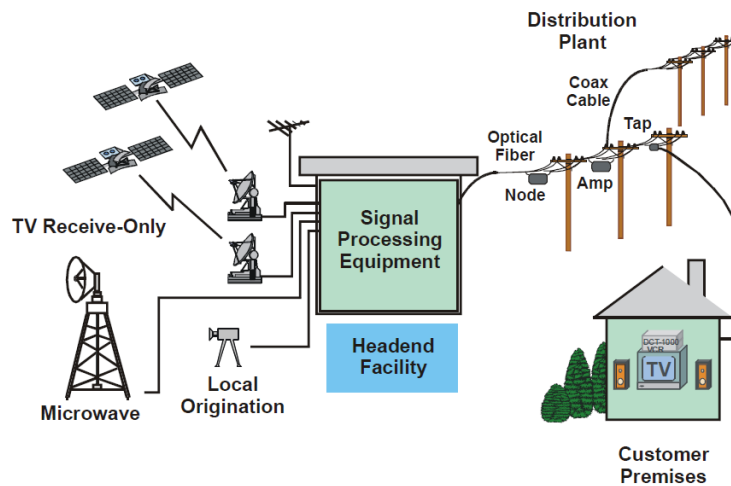


Figura 2: Diagrama de Red CATV

Fuente: Aurora (2014).

### 2.2.2 Redes HFC

Las Redes Híbrido Fibra-Coaxial (HFC) son una tecnología de acceso para las redes de televisión por cable. Ofrece mejores prestaciones de servicios ya que posee un mayor ancho de banda y permite entregar servicios de forma integrada y a través de un único acceso. Una parte importante de la implementación es que se reemplaza parte de la red de coaxial por fibra óptica, para conseguir una mayor prestación de servicios y bidireccionalidad.

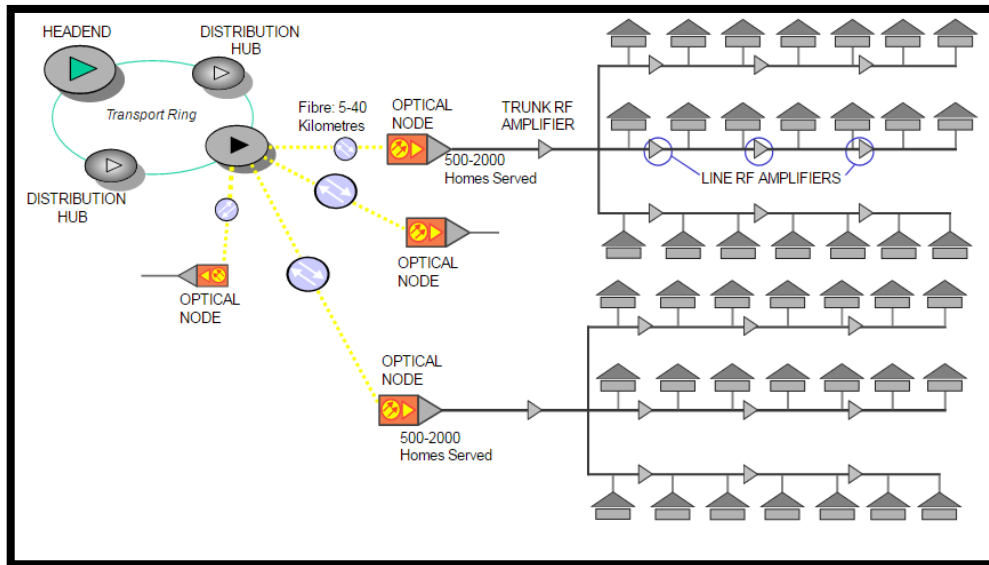


Figura 3: Diagrama de Red HFC

Fuente: Híbrido (2016)

En la figura 3 se observa que la tecnología permite el acceso a internet usando las redes de televisión por cable, mostrando así flexibilidad y rentabilidad.

### 2.2.2.1 Estructura de la Red HFC

Las redes HFC está constituido por una Cabecera de televisión por cable (CATV) que provee la señal digital de Televisión (TV), un CMTS que transmite y recibe señales a nivel óptico y radiofrecuencia, fibra óptica y cable minicoaxial. La señal óptica es enviada desde los transmisores hacia los nodos existentes ubicados cerca de los abonados.

Los nodos permiten que la señal óptica se convierta en señal de radiofrecuencia y pueda ser transmitida por cable coaxial de las redes de CATV hacia los abonados. Los elementos que conforman la red HFC son descritos a continuación (Wolf, 2009).



### 2.2.2.1.1 Cabecera

La principal función de las Cabeceras o Headend es combinar distintas fuentes de información para introducirlas en la red. En el caso de la televisión por cable, la Cabecera es la encargada de combinar las señales provenientes de distintos lugares y medios físicos e incluso tipos de información y formas de codificación. Antiguamente los operadores de cable combinaban señales provenientes de satélites, cables e incluso antenas radioeléctricas como se observa en la figura 4 (Wolf, 2009).

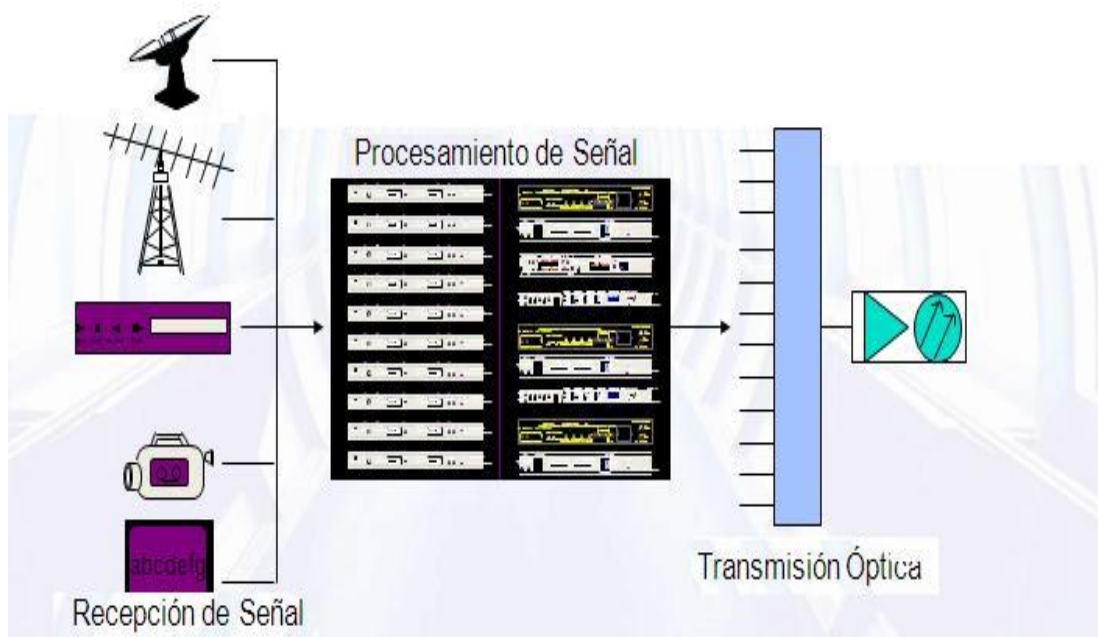


Figura 4: Diagrama de Cabecera

Fuente: [LOP2016]

#### **2.2.2.1.2 HUB**

Es el punto de recepción de la señal proveniente de la cabecera. Tiene la función de tomar la señal provista por el Headend y distribuirla hacia los nodos ubicados en las redes de planta externa del proveedor del servicio. Además inserta los diferentes servicios, que pueden ser particulares a cada Hub, o cada nodo.

#### **2.2.2.1.3 Red Troncal**

Es la red encargada de distribuir la señal que proviene del Hub hacia los sectores que abarcan a la red HFC; su estructura está dada por las redes ópticas de conexión hacia los nodos ópticos.

#### **2.2.2.1.4 Red de Distribución**

Está constituida por cable coaxial conectorizado en topología tipo bus. Esta red abarca desde los nodos ópticos hasta la última distribución antes de la acometida del abonado, en este tramo se puede usar amplificadores conectados en cascada.

### 2.2.2.1.5 Sistema de Terminación de Cablemódems (CMTS)

Es un equipo ubicado en el HUB Principal. Es utilizado para proveer servicios de datos de alta velocidad, como Internet por cable o Voz sobre IP.



Figura 5: CMTS C100G

Fuente: Elaboración propia

El CMTS proporciona servicios de alta velocidad, mediante enlaces de datos de alta capacidad. El CMTS habilita la comunicación con los cablemódems de los abonados. Dependiendo del CMTS, la cantidad de cablemódems varía entre 4.000 y 150.000.

La interfaz RF transporta las señales de radiofrecuencias hacia los cablemódems del abonado y viceversa.

El tráfico que llega de Internet es enrutado mediante la interfaz Ethernet que posee el CMTS y luego a las interfaces RF conectadas a la red HFC del proveedor del servicio. El caudal de tráfico es transmitido por la red HFC hasta

los cablemódems. De igual manera, el tráfico que proviene del domicilio del abonado pasará por el cablemódem y saldrá a Internet por el camino contrario (Cardona, 2016).

Los CMTS manejan tráfico IP, el cual está destinado al cablemódem enviado desde Internet, también conocido como tráfico de bajada downstream, el cual se transporta encapsulado en paquetes MPEG y modulados en señales QAM. El tráfico de subida upstream transporta tramas Ethernet.

El CMTS provee al ordenador del abonado de una dirección IP mediante un servidor DHCP [Dynamic Host Configuration Protocol] Además el CMTS asigna una puerta de enlace al cablemódem para acceder al servidor DNS (Domain Name System).

El CMTS posee un filtrado básico como protección contra usuarios no autorizados. Para ello el CMTS regula el tráfico y restringe las velocidades de transferencia de los usuarios (Cardona, 2016).

#### **2.2.2.1.6 Nodos de Fibra**

Los nodos de fibra o trobas son básicamente la interconexión entre una línea de fibra óptica y la red de distribución coaxial. Un nodo está compuesto básicamente de un receptor óptico que alimenta a un amplificador de Downstream y opcionalmente, puede contener un transmisor de señal de retorno, también conectado a la red coaxial (Hibrido, 2016)

Algunos nodos tienen la opción de tener múltiples entradas de fibras para la señal de downstream que son alimentadas por receptores ópticos diferentes. Con esto se tienen dos opciones: mejorar la calidad de la señal y flexibilidad de la red.

El modelo de nodo implementado en la red del Operador de Telecomunicaciones es el HLN3142C, el cual se observa en la figura 6.



Figura 6: Nodo Óptico o Troba

Fuente: Aurora (2014)

### **2.2.2.1.7 Equipos Terminales**

Los equipos terminales proveen la interfaz entre los dispositivos de aplicaciones del usuario final y el sistema de distribución compartido. Dependiendo del servicio, los equipos terminales pueden realizar funciones como: transformación de formatos de los datos de la red, testeo y otras funciones de seguridad. Por lo general, son la cara más visible de la red y proveer a los usuarios de estos equipos representa una gran inversión debido principalmente al alto número de equipos que puede tener una red. Entre los equipos terminales se destaca la importancia de los cablemódems (Wolf, 2009)

### **2.2.2.2 Medios de Transmisión**

#### **2.2.2.2.1 Cable Coaxial**

Un cable coaxial se encuentra conformado por un conductor central, un material dieléctrico y un conductor externo, los cuales comparten un mismo eje. Algunos cables coaxiales también poseen una cubierta aislante, así como un soporte comúnmente llamado mensajero usado en las redes de planta externa (Aurora, 2016).

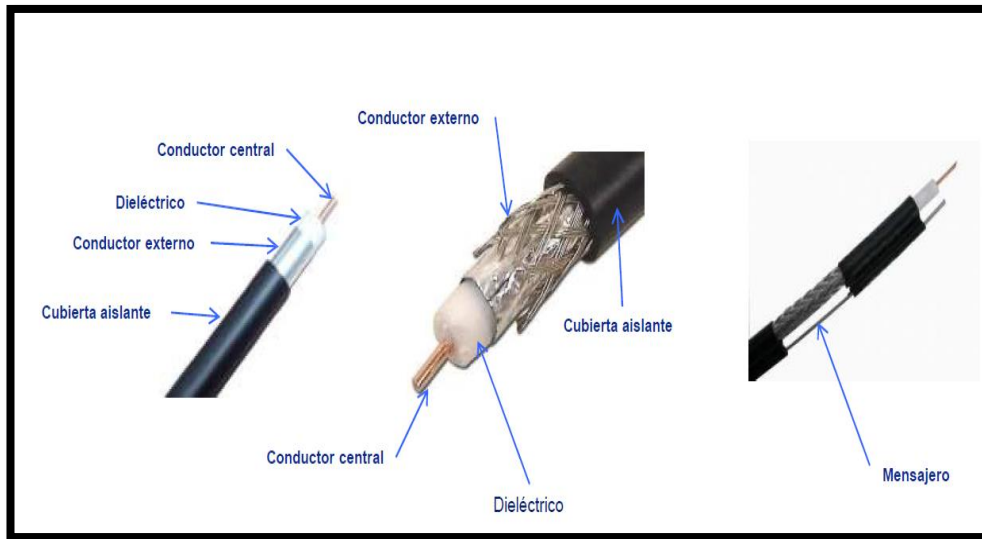


Figura 7: Composición del cable coaxial

Fuente: Aurora (2016)

La composición y estructura interna del cable coaxial se observa en la figura 7.

El diseño del cable está definido por la siguiente formula:

$$Z = 138 \log_{10} \left( \frac{D}{\sqrt{K} d} \right)$$

Z= Impedancia

D= Diámetro conductor externo

d= Diámetro conductor interno

K= Constante Dieléctrica

### 2.2.2.2 Fibra Óptica

La fibra óptica es una guía de onda dieléctrica cilíndrica por cuyo interior viaja la información como ondas electromagnéticas, con la particularidad de ser muy cortas. El método de transmisión consiste en modular los parámetros de la luz, conforme a la señal de información y guiarla a su destino a través de un medio óptico, que es en este caso una fibra muy delgada de vidrio con silicio u otro material adecuado, constituido de un núcleo con un índice de refracción  $n_1$ , un manto o envoltura de índice de refracción  $n_2$  y un recubrimiento (Aurora, 2016). Este medio de transmisión tiene inmunidad ante la interferencia electromagnética, la fibra óptica no conduce ni irradia energía de radiofrecuencia. En la figura 8 se observa la composición de la fibra óptica.

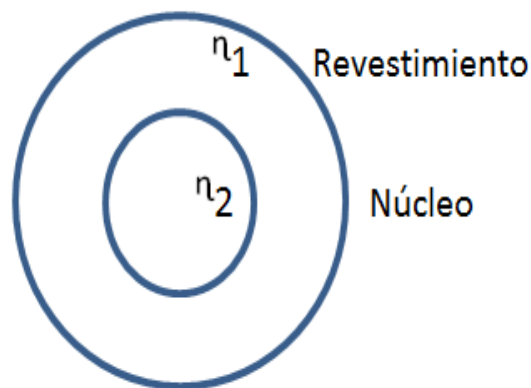


Figura 8: Fibra Óptica

Fuente: Elaboración propia



### **2.2.2.3 Modulación QAM**

La Modulación de Amplitud en Cuadratura o QAM es una modulación digital en la que el mensaje está contenido tanto en la amplitud como en la fase de la señal transmitida. Se basa en la transmisión de dos mensajes independientes por un único camino. Esto se consigue modulando una misma portadora, desfasada  $90^\circ$  entre uno y otro mensaje. Esto supone la formación de dos canales ortogonales en el mismo ancho de banda, con lo cual se mejora en eficiencia de ancho de banda que se consigue con esta modulación (Modulación, 2016).

#### **2.2.2.3.1 QAM Digital**

Se basa en los principios de su similar analógica, con la diferencia de que tiene como entrada un flujo de datos binarios, el cual es dividido en grupos de tantos bits como se requieran para generar N estados de modulación, de allí que se hable de N-QAM.

Para representar los estados de modulación posibles en los distintos tipos de modulación digital, se utiliza el llamado diagrama de constelación en analogía con la astronomía. En la figura 9 se observan los puntos de la constelación, están uniformemente dispuestos en una rejilla cuadrada con igual separación vertical y horizontal.

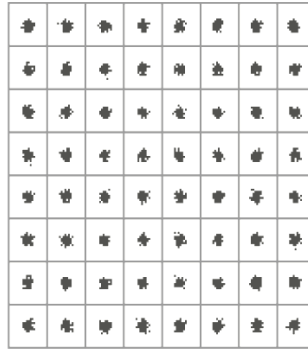


Figura 9: Diagrama de constelación de 16QAM

Fuente: Elaboración propia

#### 2.2.2.4 DOCSIS

Es un estándar creado por CableLabs que permite introducir un sistema de datos sobre cable abierto que facilite la rápida definición, diseño, desarrollo e implementación de servicios (Wolf, 2009).

En forma General, DOCSIS establece que los diferentes servicios se encuentran multiplexados en frecuencia, tanto en el sentido red-usuario (canal descendente o downstream) como en el sentido usuario-red (canal de retorno o upstream).

##### 2.2.2.4.1 Caudal de datos

El ancho de banda de cada canal depende tanto del ancho del canal como de la modulación utilizada. Con canales de 6 MHz y 256-QAM la velocidad podría llegar hasta los 38 Mbit/s. La tabla 2 y tabla 3 muestran las modulación versus ancho de banda de las señales docsis.

Tabla 2: Caudal de datos downstream en Mbps

	<b>64-QAM</b>	<b>256-QAM</b>
<b>6 MHz</b>	30,34 (27)	42,88 (38)
<b>8 MHz</b>	40,44 (36)	57,20 (51)

Fuente: Modulación (2016)

Tabla 3: Caudal de datos upstream en Mbps

	<b>QPSK</b>	<b>16-QAM</b>	<b>64-QAM*</b>
<b>0,2 MHz</b>	0,32 (0,3)	0,64 (0,6)	1,28 (1,2)
<b>0,4 MHz</b>	0,64 (0,6)	1,28 (1,2)	1,92 (1,7)
<b>0,8 MHz</b>	1,28 (1,2)	2,56 (2,3)	3,84 (3,4)
<b>1,6 MHz</b>	2,56 (2,3)	5,12 (4,6)	7,68 (6,8)
<b>3,2 MHz</b>	5,12 (4,6)	10,24 (9,0)	15,36 (13,5)
<b>6,4 MHz*</b>	10,24 (9,0)	20,48 (18,0)	30,72 (27)

Fuente: Modulación (2016)

### **2.2.2.5 Equipos de Medición**

#### **2.2.2.5.1 FTB-7200D**

El OTDR (Reflectómetro Óptico en el dominio del tiempo) FTB-700 permite caracterizar un tramo de fibra óptica, generalmente formado por secciones de fibra ópticas unidas por empalmes y conectores.

Este dispositivo de la marca EXFO ha sido certificado en los Estados Unidos por la FCC (Comisión Federal de Comunicaciones), encargada de regular a nivel interestatal e internacional las comunicaciones de radio, televisión y cable.

Se recomienda el uso de la norma TIA-568 a través de TIA-526-14-B e IEC 61280-4-1 edición 2.0.

#### **2.2.2.5.2 EPM-50 POWER METER**

El medidor de potencia óptica EPM-50 es un dispositivo utilizado para medir la energía en una señal óptica. Las mediciones pueden ser realizadas en las longitudes de onda de 1310, 1490 y 1550 nm.

#### **2.2.2.5.3 120 DSP TRILITHIC**

El procesador digital de señales es una herramienta básica y fiable en la instalación de CATV. Permite hacer mediciones de canales digitales y analógicos.

En la figura 10 se observa al dispositivo que permite hacer mediciones de niveles de potencia de portadoras QAM, mediciones del MER, visualizar el diagrama de constelación del ecualizador y observar el espectro de frecuencia de las portadoras de retorno (Trilithic, 2015).



Figura 10: Medidor de nivel de señales básico

Fuente: Trilithic (2015)

## **2.3 Marco Conceptual**

### **2.3.1 Definición de Términos Básicos**

#### **2.3.1.1 Telefonía IP**

VoIP (Voz sobre Protocolo de Internet, o Voice over Internet Protocol en inglés) es un estándar de telefonía que permite la transmisión de voz sobre una red basada en IP. Esta tecnología resulta atractiva por la reducción en costos en larga distancia y eficiencia de ancho de banda utilizada. Esta telefonía utiliza mecanismos de transporte de datos que son propios del protocolo de Internet (Motorola, 2009).

#### **2.3.1.2 PPV**

El servicio Pay-Per-View, PPV permite escoger programas de una lista que se desee ver y sólo estos serán decodificados, previo pago de una cuota y solamente en un horario preanunciado. La diferencia fundamental con VoD es que los programas son transmitidos de manera simultánea para todos los espectadores (Motorola, 2009).

### **2.3.1.3 VoD**

El servicio de Video-on-Demand es un servicio de televisión que permite al usuario el acceso a contenidos de imágenes de forma personalizada. El usuario puede elegir en cualquier momento el programa que desea ver, sin depender de un horario fijo de programación.

El principio de VoD es muy simple. La información de video es convertida a un formato digital y almacenada en discos magnéticos, posteriormente es recuperada por un servidor de video y entregada al usuario (López, 2016).

### **2.3.1.4 IPTV**

La Televisión sobre el Protocolo Internet, IPTV es un sistema de distribución por suscripción de señales de televisión que utiliza conexiones de banda ancha sobre el protocolo IP. A menudo se suministra junto con servicio de conexión a Internet utilizando las redes existentes, pero con un ancho de banda reservado.

Una diferencia con los principales servicios de televisión existentes, es que no se difunden los contenidos a los suscriptores todo el tiempo, sino que los suscriptores realizan pedidos específicos de lo que desean ver.

Esta tecnología requiere de anchos de banda mayores que los existentes para poder garantizar Calidad de Servicio (Cardona, 2016).

## **CAPITULO III: DISEÑO Y DESPLIEGUE DE NUEVAS REDES HFC**

En el siguiente capítulo se describe el análisis, la implementación y los resultados obtenidos al realizar la migración de puertos en los CMTS

### **2.4 Diseño de la Red HFC a implementar para las migraciones de Nodos**

La red actual consta de un CMTS CISCO UBR12K, cuyos puertos serán migrados a un CMTS CASA C100G dado que tiene mayor soporte al ruido de retorno en la red HFC. A continuación se presenta la situación actual de los nodos Chorrillos 2 y Chorrillos 20.

#### **2.4.1 Situación de la Red HFC antes del despliegue de nuevas redes**

En esta sección se describe la situación de la red previa al despliegue de las nuevas redes. Se realizó los cálculos para el diseño y el despliegue de nuevas redes.



### 2.4.1.1 Situación de los puertos Upstream antes del despliegue de nuevas redes

Para el presente diseño se toma como referencia los nodos de Chorrillos 2 y Chorrillos 20. Estos nodos cuentan con la cantidad de 350 y 280 clientes, estos datos se observan en la tabla 4 y tabla 5 respectivamente. Esta cantidad de clientes es de suma importancia para el restablecimiento total del servicio después de realizar los cambios.

Se determina la posición de los puertos antes de la desaturación.

Tabla 4: Ubicación de puertos DS y UP del Nodo Chorrillos 2

HU B P	HU B S	Tar j. DS	Tar j. US	CMT S	Marca CMTS	Modelo CMTS	DS PHY CMT S	US PHY CMT S	D S	US 1 37M Hz	US 2 30.6M Hz	Monitor eo Cacti 1	Monitor eo Cacti 2	TROBA	Seg	Clientes 2016	Clientes x Pto DS
MI	CH	6	6	MI4	CISCO	UBR1 2K	6/1	6/0/ U1	1	U0	U1	6/0/2/U 0	6/0/2/U 1	CHR2	AB	350	500
MI	CH	6	6	MI4	CISCO	UBR1 2K	6/1	6/0/ U2	1	U2	U3	6/0/2/U 2	6/0/2/U 3	CHR3	A	80	
MI	CH	6	6	MI4	CISCO	UBR1 2K	6/1	6/0/ U3	1	U4	U5	6/0/2/U 4	6/0/2/U 5	CHR3	B	70	
MI	CH	6	6	MI4	CISCO	UBR1 2K	6/1	6/0/ U4	1	U6	U7	6/0/2/U 6	6/0/2/U 7	RESERVA DO			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5: Ubicación de puertos DS y UP del Nodo Chorrillos 20

HUB	HUBS	Tarj. DS	Tarj. US	CM TS	Marca CMTS	Modelo CMTS	DS PHY CMTS	US PHY CMTS	DS	US 1 37M Hz	US 2 30.6M Hz	Monitoreo Cacti 1	Monitoreo Cacti 2	TROBA	Seg	Cientes 2016	Cientes x Pto DS
MI	CH	7	7	MI4	CISCO	UBR12K	7/2	7/1/U2	2	U4	U5	7/0/3/U4	7/0/3/U5	CHR20	AB	280	400
MI	CH	7	7	MI4	CISCO	UBR12K	7/2	7/1/U3	2	U6	U7	7/0/3/U6	7/0/3/U7	CHR26	A	70	
MI	CH	7	7	MI4	CISCO	UBR12K	7/3	7/1/U4	2	U0	U1	7/0/4/U0	7/0/4/U1	CHR26	B	50	
MI	CH	7	7	MI4	CISCO	UBR12K	7/3	7/1/U5	2	U2	U3	7/0/4/U2	7/0/4/U3	RESERVA DO			

Fuente: Elaboración propia

#### 2.4.1.1.1 Caída de Cablemódems

Los nodos Chorrillos 2 y Chorrillos 20 presentaban problemas de caídas de cable modem y problemas de ruido presentado en las red, según el sistema de monitoreo del Operador de telecomunicaciones. Estas anomalías presentadas en los nodos se dan por problemas en la red de planta externa o interna. Regularmente estos problemas son ocasionados por saturación en los puertos del CMTS. En la tabla 6 y tabla 7 se observan los eventos ocurridos en los nodos CHR2 y CHR20, los cuales reflejan problemas de averías masivas registradas por el sistema de monitoreo.

Tabla 6: Registro de Caídas de Cable Modem del Nodo Chorrillos 2

Región	Nodo	Troba	Cientes	Umbral	Offline > 50	Código de Masiva	Consultas Totales	Fecha Inicio	Fecha Fin	Tiempo	Nº de Bornes	Cantidad de Caídas >=4
SUR	CH	<u>R2</u>	45	40	38	20045573	8	2016-02-20 22:40:57	CRITICA	02:14	350	2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7: Registro de Caídas de Cable Modem del Nodo Chorrillos 20

Región	Nodo	Troba	Clients	Umbral	Offline >50	Código de Masiva	Consultas Totales	Fecha_Ini	Fecha_fin	Tiempo	Nº de Borneos	Cantidad de Caídas >=4
SUR	CH	<u>R20</u>	37	35	30	20045532	6	2016-02-10 23:30:10	CRITICA	03:22	280	3

Fuente: Elaboración propia

Se observa en los cuadros del reporte del monitoreo, que los nodos Chorrillos 2 y Chorrillos 20 han presentado problemas de caída de cable modem. Siendo 40 y 35 la cantidad de cable modem umbral. Estas cantidades de cable modem umbral son determinadas por el programador del sistema de monitoreo. Si el número de clientes offline superan 50 o la cantidad de clientes afectados supera el número de umbral, de manera automática se genera un Código de Masiva. Este código es generado con la finalidad de asignar al personal capacitado la solución de la avería presentada. Si la cantidad Offline es Menor 50 clientes, la alerta es por la cantidad de averías registradas

#### 2.4.1.1.2 Picos de Tráfico Upstream

Los picos de tráfico del puerto de Upstream del CMTS se dan por la capacidad de la tasa de transmisión limitada en los puertos. Esto picos pueden ser visualizados en la figura 11, figura 12, figura 13 y figura 14, gráficas de tiempo vs tasa de transmisión de datos en los puertos lógicos upstream. El puerto lógico U1 opera en 37 MHz y el U0 en 30.6 MHz. Estas gráficas muestran los picos

de consumo y las horas en las que se producen en un rango de 24 horas. La figura 11 y 12 muestran los picos de consumo en el nodo óptico de Chorrillos 2.

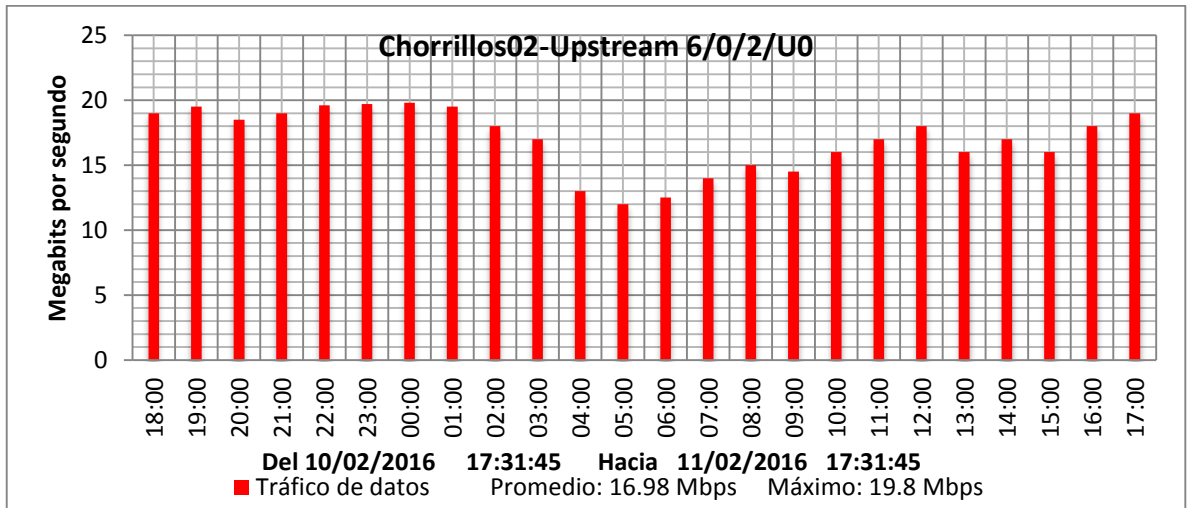


Figura 11: Niveles del Upstream lógico 6/0/2/U0

Fuente: Elaboración propia

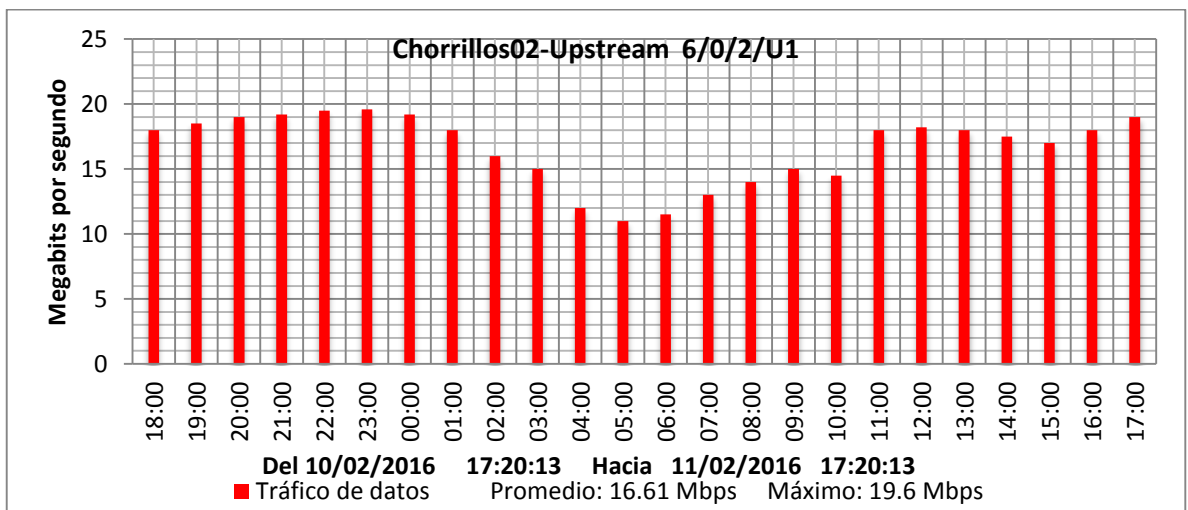


Figura 12: Niveles del Upstream lógico 6/0/2/U1

Fuente: Elaboración propia

La figura 13 y 14 muestran los picos de consumo en el nodo óptico de Chorrillos 20. Los cuales muestran que están cerca a los niveles máximos de saturación.

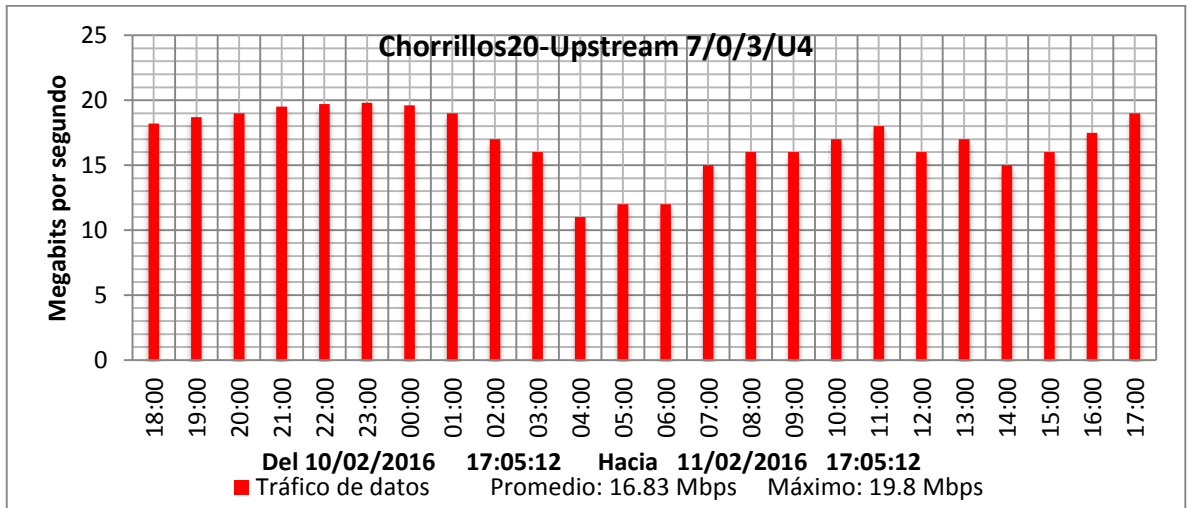


Figura 13: Niveles del Upstream lógico 7/0/4/U4

Fuente: Elaboración propia

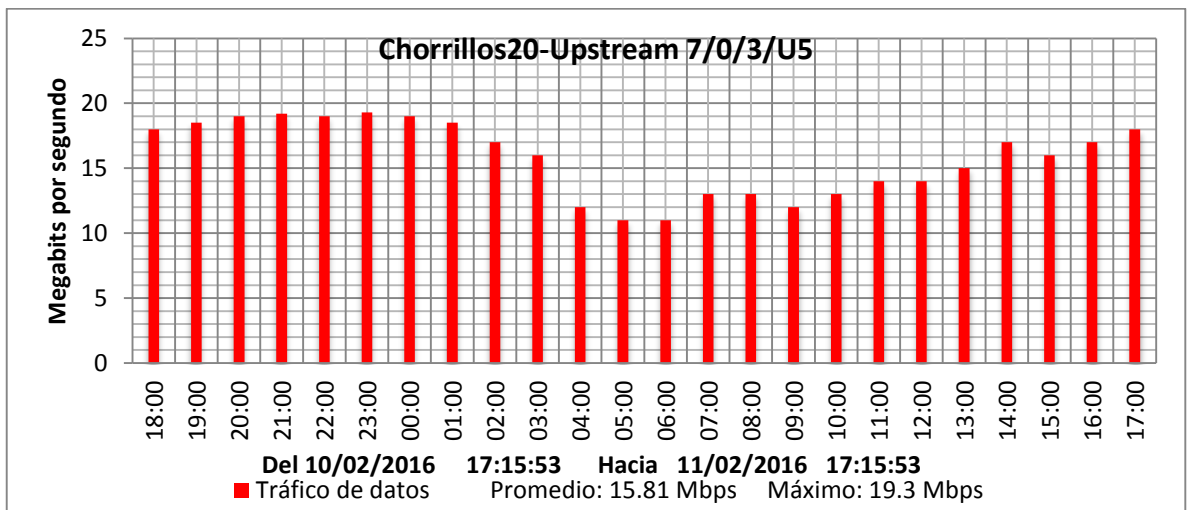


Figura 14: Niveles del Upstream lógico 7/0/3/U5

Fuente: Elaboración propia

Dado los valores de tasa de transmisión en los puertos upstream lógicos. Se obtienen los siguientes valores máximos obtenidos en los puertos Upstream lógicos son:

**UP 6/0/2/U0: 19.8 Mbps**

**UP 6/0/2/U1: 19.6 Mbps**

**UP 7/0/3/U4: 19.8 Mbps**

**UP 7/0/3/U5: 19.3 Mbps**

Mediante el cálculo se determina la tasa de transmisión máxima soportada por el puerto upstream físico con 2 portadoras y modulación 32 QAM:

$$T_{UP} = \text{Cant. Portadoras} * T_{32QAM}$$

$$T_{UP} = 2 * 22.5 \text{ Mbps}$$

$$T_{UP} = 45 \text{ Mbps}$$

$T_{UP}$  = Tasa de transmisión máxima del puerto Upstream físico.

$T_{32QAM}$  = Tasa de Datos a 32 QAM

Por los datos obtenidos y los cálculos realizados se determina la Tasa de transmisión máxima en los puertos Upstream físicos es:

**UP 6/0/U1: 39.4 Mbps**

**UP 7/1/U2: 39.1 Mbps**

Por lo cual se determina que la tasa de transmisión en los puertos Upstream físicos está cerca de la tasa de transmisión máxima soportada por el puerto Upstream.

Teniendo los antecedentes de caídas de cable modem y los picos de Tasa de Transmisión en los puertos del Upstream se procede a realizar el diseño y despliegue de la nueva red HFC en el Hub Miraflores para los nodos Chorrillos 2 y Chorrillos 20.

#### 2.4.1.2 Situación de los puertos Downstream antes del despliegue de las nuevas redes

Los puertos DS asignados 6/1 y 7/2 trabajaban con 24 portadoras lo que resultaba ser insuficiente para el desempeño de los cablemódems. A continuación se muestra las gráficas de cantidad de bits vs tiempo. El muestreo de esta medición se realizó en el rango de tiempo de 24 horas.

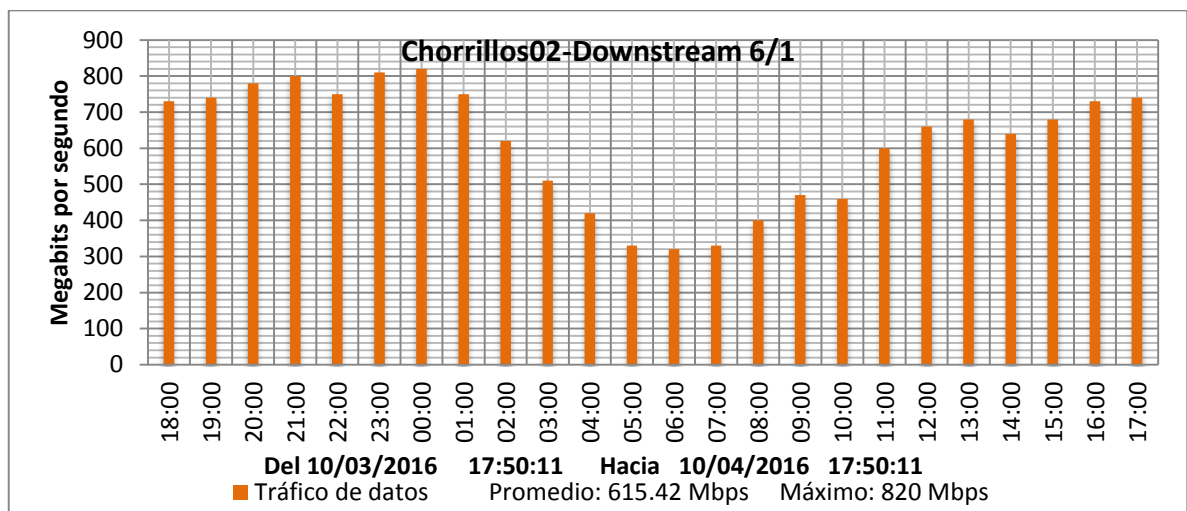


Figura 15: Puerto Downstream 6/1

Fuente: Elaboración propia

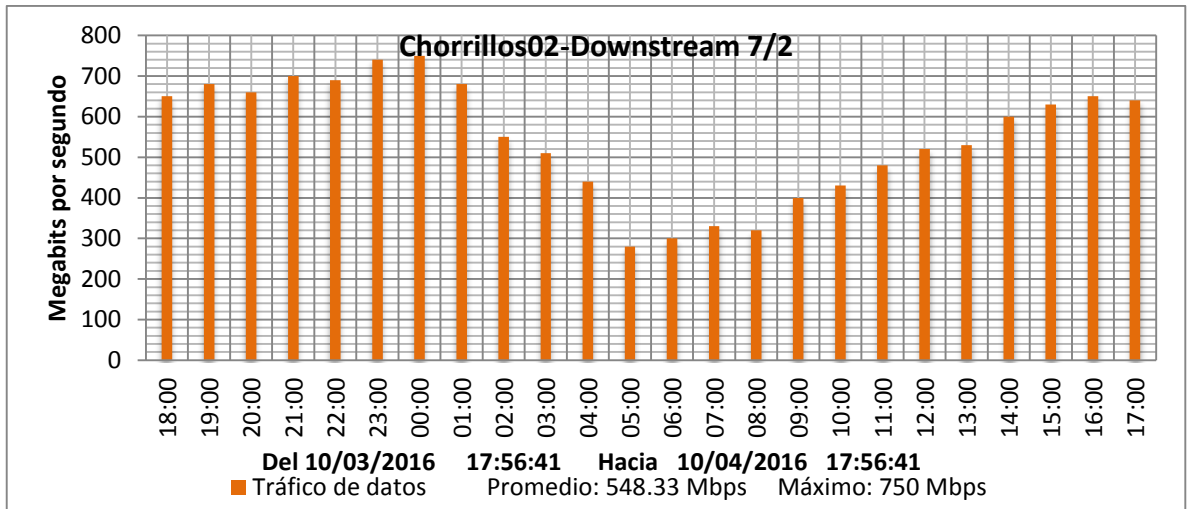


Figura 16: Puerto Downstream 7/2

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la figura 15 y figura 16 que los máximos niveles y picos de tráfico se dan en horas específicas. Mediante el cálculo a realizar se determina la tasa de transmisión máxima soportada por el puerto DS con 24 portadoras y modulación 256 QAM:

$$T_{DS} = \text{Cant. Portadoras} * T_{256QAM}$$

$$T_{DS} = 24 * 38Mbps$$

$$T_{DS} = 912 Mbps$$

$T_{DS}$  = Tasa de transmisión del puerto Downstream

$T_{256QAM}$  = Tasa de transmisión a 256 QAM

Por los resultados obtenidos se concluye que la tasa de transmisión de datos del puerto DS 6/1 y DS7/2 se encuentra cerca del límite máximo soportado por el puerto.



Por los datos obtenidos y se determina observa que el caudal de datos en los puertos downstream es:

**UP 6/1: 820 Mbps**

**UP 7/2: 750 Mbps**

Es por ello que se realizó la migración y ampliación del número de portadoras de los puertos DS, para así evitar futura saturación de los puertos.

#### **2.4.2Requerimiento a cambiar después de la Situación Actual**

El despliegue de las nuevas redes HFC para los Nodos Chorrillos 2 y Chorrillos 20 presenta

1. Reducir la saturación de los puertos Upstream del CMTS MIRAFLORES 5 en un 50%.
2. Ampliar la Tasa de Transmisión en los puertos DS del CMTS MIRAFLORES 5 en un 25%.
3. Aumentar en 2 dB la Relación Señal Ruido de Upstream en los nodos Chorrillos 2 y Chorrillos 20.

## **2.4.3 Dimensionamiento y Asignación de los puertos DS y UP en el CMTS**

### **Miraflores 5**

#### **2.4.3.1 Cálculo del Dimensionamiento de los puertos Downstream del CMTS**

Según el requerimiento de ancho de banda y el tipo de modulación usados por el Proveedor de Servicios de Internet se realiza el cálculo siguiente para el uso de 32 portadoras y modulación 256 QAM:

$$T_{DS} = \text{Cant. Portadoras} * T_{256QAM}$$

$$T_{DS} = 32 * 38Mbps$$

$$T_{DS} = 1216 Mbps$$

El resultado obtenido es la nueva capacidad de los puertos DS asignados a los nodos.

#### **2.4.3.2 Cálculo del dimensionamiento de los puertos upstream del CMTS**

Se plantea como solución a la saturación de puertos Upstream, la segmentación de los nodos Chorrillos 2 y Chorrillos 20. Se asignó a cada segmento del nodo un puerto Upstream físico.

Se usaron los cálculos realizados para determinar la tasa de transmisión asignado a segmento de los nodos.

$$T_{UP} = Cant.Portadoras * T_{32QAM}$$

$$T_{UP} = 2 * 22.5Mbps$$

$$T_{UP} = 45 Mbps$$

La tasa de transmisión del puerto Upstream físico es de 45 Mbps la cual es asignada a cada segmento de los nodos. Bajo este criterio se asignó un total de 90 Mbps a cada nodo.

### 2.4.3.3 Asignación de Nuevos Puertos Downstream y Upstream en el CMTS para Realizar el Despliegue de las Nuevas Redes HFC

Luego de obtener los parámetros necesarios se procede con asignación de nuevas posiciones de puertos DS y UP.

Se realizó la asignación de los nuevos puertos DS y UP para los nodos

Tabla 8: Asignación de puerto DS y UP para el nodo Chorrillos 2

HU B P	HU B S	Tarj .DS	Tarj .US	CMT S	Marc a CMT S	Model o CMT S	DS PHY CMT S	US PHY CMT S	S G	DS	US 1 37MH z	US 2 30.6MH z	Monitoreo Cacti 1	Monitoreo Cacti 2	TROBA	Se g	Cientes 2016	Ciente s x Pto DS
MI	CH	0	8	MI5	CAS A	C100 G	7	0	0	C0/7	0/0	1/0	8/0.0/0	8/0.1/0	CHR2	A	200	350
MI	CH	0	8	MI5	CAS A	C100 G	7	1	0	C0/7	0/0	1/0	8/1.0/0	8/1.1/0	CHR2	B	150	
MI	CH	0	8	MI5	CAS A	C100 G	7	2	0	C0/7	0/0	1/0	8/2.0/0	8/2.1/0	RESERVAD O			
MI	CH	0	8	MI5	CAS A	C100 G	7	3	0	C0/7	0/0	1/0	8/3.0/0	8/3.1/0	RESERVAD O			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9: Asignación de puerto DS y UP para el nodo Chorrillos 2

HU B P	HU B S	Tarj .DS	Tarj .US	CMT S	Marc a CMT S	Model o CMT S	DS PHY CMT S	US PHY CMT S	S G	DS	US 1 37MH z	US 2 30.6MH z	Monitoreo Cacti 1	Monitoreo Cacti 2	TROBA	Se g	Cientes 2016	Cliente s x Pto DS
MI	CH	1	9	MI5	CAS A	C100 G	5	0	0	C1/5	0/0	1/0	9/0.0/0	9/0.1/0	CHR20	A	180	280
MI	CH	1	9	MI5	CAS A	C100 G	5	1	0	C1/5	0/0	1/0	9/1.0/0	9/1.1/0	CHR20	B	100	
MI	CH	1	9	MI5	CAS A	C100 G	5	2	0	C1/5	0/0	1/0	9/2.0/0	9/2.1/0	RESERVAD O			
MI	CH	1	9	MI5	CAS A	C100 G	5	3	0	C1/5	0/0	1/0	9/3.0/0	9/3.1/0	RESERVAD O			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 8 y tabla 9 se observa la asignación de los puertos upstream para los nodos de Chorrillos. El despliegue de nuevas redes HFC en el HUB Principal Miraflores y en HUB Secundario de Chorrillos.

Para el despliegue de nuevas redes se tomará en consideración los equipos y materiales homologados por el Operador de Telecomunicaciones.

## 2.5 Despliegue de Nuevas Redes HFC para los Nodos Chorrillos 2 y Chorrillos 20

Antes de realizar el despliegue de las nuevas redes, se solicitó al Operador de Telecomunicaciones los diagramas de la red HFC. Esta información es de suma importancia para determinar los puertos, plataformas y combinadores disponibles para la nueva implementación. Adicionalmente se realizó la visita a los Hubs de Miraflores y Chorrillos para determinar que existan las condiciones adecuadas para el despliegue de nuevas redes HFC.

## 2.5.1 Elaboración del Plan de Actividades a Realizar en la Implementación de las Nuevas Redes HFC

Mediante un diagrama de GANTT de la figura 17, se planifico y se programó las tareas a lo largo de un periodo de tiempo asignado al proyecto.

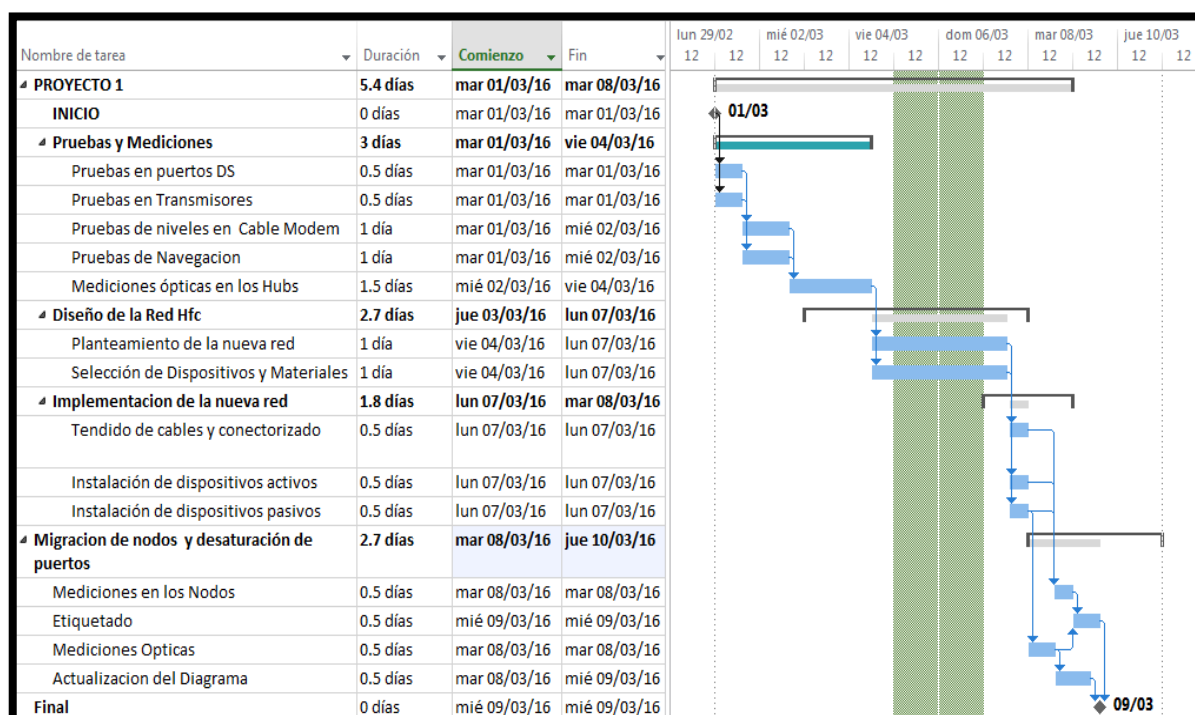


Figura 17: Diagrama de Gantt

Fuente: Elaboración propia

## 2.5.2 Mediciones y Pruebas Previas al Despliegue de Nuevas Redes HFC

Se realizaron las mediciones previas de los niveles de potencia y relación señal ruido en los puertos DS del CMTS, en los Transmisores y en los Nodos. Estas mediciones tienen el objetivo de verificar los niveles de operación de los equipos pertenecientes a la red anterior.

### 2.5.2.1 Mediciones en los Puertos DS del CMTS Miraflores 5

Se realizó las mediciones previas en los puertos DS 0/1 y 1/1 del CMTS MIRAFLORES 5 a un total de 24 portadoras. A continuación en la tabla 10 se observa el rango de frecuencias de operación en los puertos DS.

Tabla 10: Portadoras DOCSIS en puerto DS

ITEM	CANAL	FRECUENCIA MHZ	TIPO DE SEÑAL
1	111	717	DIGITAL
2	112	723	DIGITAL
3	113	729	DIGITAL
4	114	735	DIGITAL
5	115	741	DIGITAL
6	116	747	DIGITAL
7	117	753	DIGITAL
8	118	759	DIGITAL
9	119	765	DIGITAL
10	121	777	DIGITAL
11	122	783	DIGITAL
12	123	789	DIGITAL
13	124	795	DIGITAL
14	125	801	DIGITAL
15	126	807	DIGITAL
16	127	813	DIGITAL
17	128	819	DIGITAL
18	129	825	DIGITAL
19	130	831	DIGITAL
20	131	837	DIGITAL
21	132	843	DIGITAL
22	133	849	DIGITAL
23	134	855	DIGITAL
24	135	861	DIGITAL

Fuente: Elaboración propia

Las mediciones se realizaron para obtener los niveles en los puertos DS de los nodos asignados. Estas mediciones son un referente para la posterior

ampliación de portadoras DS. Los niveles obtenidos deberán permanecer iguales después del despliegue de las nuevas redes.

El nivel promedio en los puertos DS del CMTS Casa System es de 39 dBmV con una modulación de 256 QAM, este nivel se puede observar en la tabla 11.

Tabla 11: Mediciones en puerto DS

ITEM	CANAL	FRECUENCIA MHz	Nivel DS 0/1 dBmV	MER DS 0/1 dB	Nivel DS 1/1	MER DS 1/1 dB
1	111	717	39.1	41.1	39	41
2	112	723	39.1	41	39	41
3	113	729	39	41.2	39	41
4	114	735	38.9	41	39	41.1
5	115	741	39	41.1	39	41
6	116	747	39	41.2	39	41
7	117	753	39	40.8	39	41.1
8	118	759	39	41.1	38.9	41
9	119	765	38.9	40.8	38.9	40.9
10	121	777	38.9	40.9	38.9	40.8
11	122	783	38.9	40.9	38.9	40.8
12	123	789	38.9	41	38.9	41.1
13	124	795	39	41.2	39	41
14	125	801	39	40.8	38.9	40.9
15	126	807	38.9	40.9	38.9	41
16	127	813	38.8	41	38.8	41
17	128	819	39	41.1	39.1	41
18	129	825	39	41	39	41
19	130	831	39	40.9	39	41.1
20	131	837	39.1	40.8	39	40.9
21	132	843	39	41	38.9	41.1
22	133	849	38.9	41	39	41
23	134	855	39	40.9	39	41
24	135	861	39	41	39.1	41

Fuente: Elaboración propia

Estas mediciones se realizaron con el DSP (Procesador Digital de Señales) Trilithic 120. Se determina por los datos obtenidos que el nivel de los puertos DS está en los niveles adecuados para su desempeño dentro de la nueva red HFC.

### 2.5.2.2 Mediciones Realizadas en los Transmisores Harmonic

Se realizó las mediciones previas en los Transmisores Harmonic de los canales de Broadcast digital y en los canales de Datos (Narrowcast). Los canales Broadcast están en el rango de frecuencias del 731 MHz al 741 MHz con un ancho de banda de 6 MHz.

Los canales Narrowcast están en el rango de frecuencias del 731 MHz al 741 MHz con un ancho de banda de 6 MHz.

Se documentó los valores de las mediciones realizadas en un muestreo de canales. Estos valores fueron registrados en la tabla 12 y tabla 13. Estas tablas nos muestran los niveles de potencia y MER de las diferentes portadoras.

Tabla 12: Transmisor del nodo Chorrillos 2

Canal	Nivel	SNR	MER
112	-8.3	-	38.8
118	-8.1	-	38.2
128	-8.4	-	38.6
135	-8.1	-	38.2
75	-7.2	-	39.5
101	-9	-	38.4
110	-9.7	-	37.9

Fuente: Elaboración propia



Tabla 13: Transmisor del nodo Chorrillos 20

Canal	Nivel	SNR	MER
112	-8.0	-	38.9
118	-8.3	-	38.0
128	-8.5	-	38.9
135	-7.9	-	38.5
75	-7.5	-	39.3
101	-9.4	-	38.6
110	-9.6	-	38.0

Fuente: Elaboración propia

### 2.5.2.3 Pruebas de Cable Modem y Navegación en los Puertos Downstream y Upstream

Para la realización de estas pruebas se procedió a combinar las señales de los puertos DS y UP asignados en un splitter RF 1x4. La señal combinada se conectó en un cable modem asignado para pruebas. Este diseño es representado en la figura 18. Se verificó que los niveles de los puertos de UP estén en los rangos de 37 y 55dBmV y a su vez el nivel de DS este entre -5 y 10dBmV. Adicionalmente se verificó que los niveles de la Relación Señal Ruido en el DS sea mayor de 30dB y en el UP mayor a 27dB.

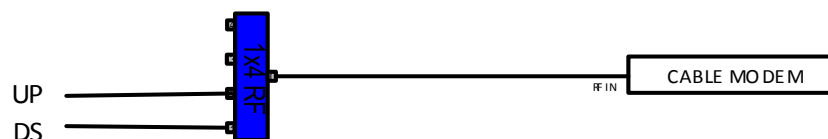


Figura 18: Prueba de cablemódem

Fuente: Elaboración propia

Las pruebas de navegación se realizaron después que el cable modem había sincronizado. Se conectó a la red del cable modem una laptop y se realizó un

test de subida y de bajada. La velocidad de subida y de bajada ha sido configurada previamente, como se observa en la figura 19.



Figura 19: Pruebas de navegación en Cablemódem

Fuente: Elaboración propia

#### **2.5.2.4 Mediciones y Pruebas Ópticas entre el Hub Primario y el Hub Secundario**

Para el desarrollo de estas pruebas el Operador de Telecomunicaciones asignó una posición disponible en las bandejas ópticas para el reflejo entre los Nodos Primario y Secundario. Se inyectó pulsos ópticos con el OTDR FTB-7200D-23 para detectar fallos y medir la impedancia del enlace óptico.

Se realizaron pruebas a longitudes de onda de 1550nm y 1310nm. Los parámetros fueron registrados en la tabla 14 y tabla 15.

Tabla 14: Resumen de resultados entre los Hubs Miraflores y Barranco

	Estado	Perdida del segmento (dB)	ORL del segmento (dB)	Longitud de intervalo km
1550	paso	0.630	<27.66	3.5960

Fuente: Elaboración propia

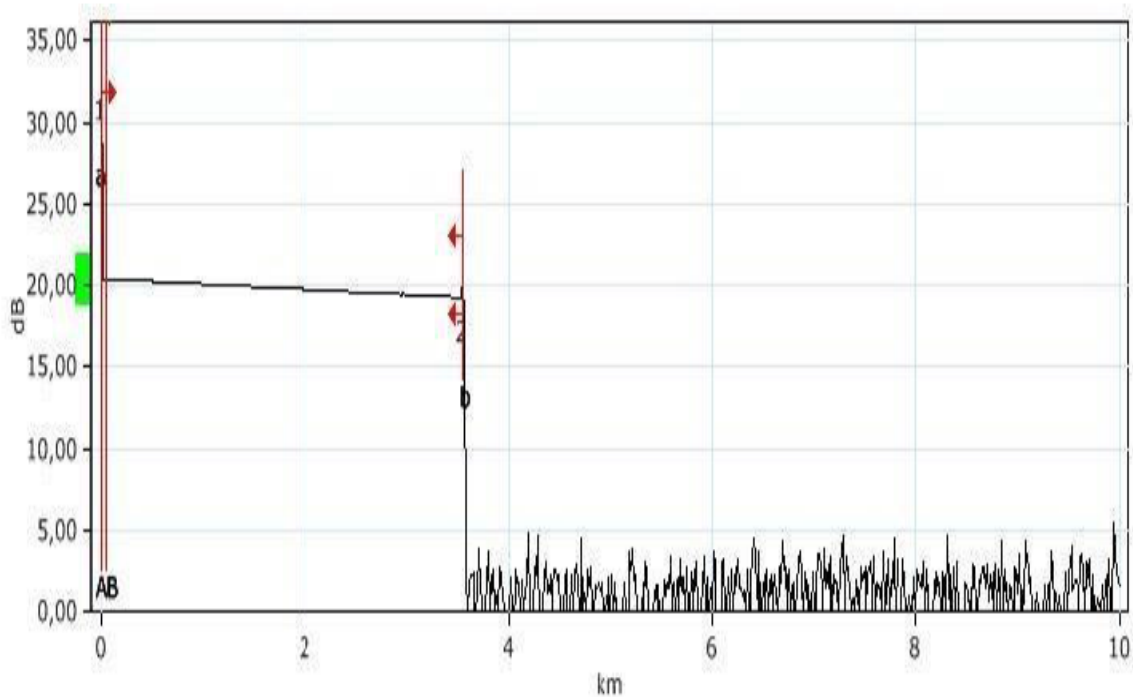


Figura 20: Curva obtenida del enlace entre los Hubs Miraflores y Chorrillos

Fuente: Elaboración propia

Esta prueba se realizó en una fibra óptica de 3596 m de longitud que interconecta el Hub Miraflores con el Hub Chorrillos. El punto de prueba está ubicado en el ODF 41 del Hub principal Miraflores.

El OTDR transmite un haz de luz de 21 dB a 1550nm, el cual se atenúa 0.63 dB en su recorrido. En promedio el enlace tiene una pérdida de 0.177 dB por kilómetro. Estos datos son visualizados gráficamente en la figura 20.

Tabla 15: Resumen de resultados entre los Hubs Barranco y Chorrillos

	Estado	Perdida del segmento (dB)	ORL del segmento (dB)	Longitud de intervalo km
1310	pasó	1.167	<24.96	3.5963

Fuente: Elaboración propia

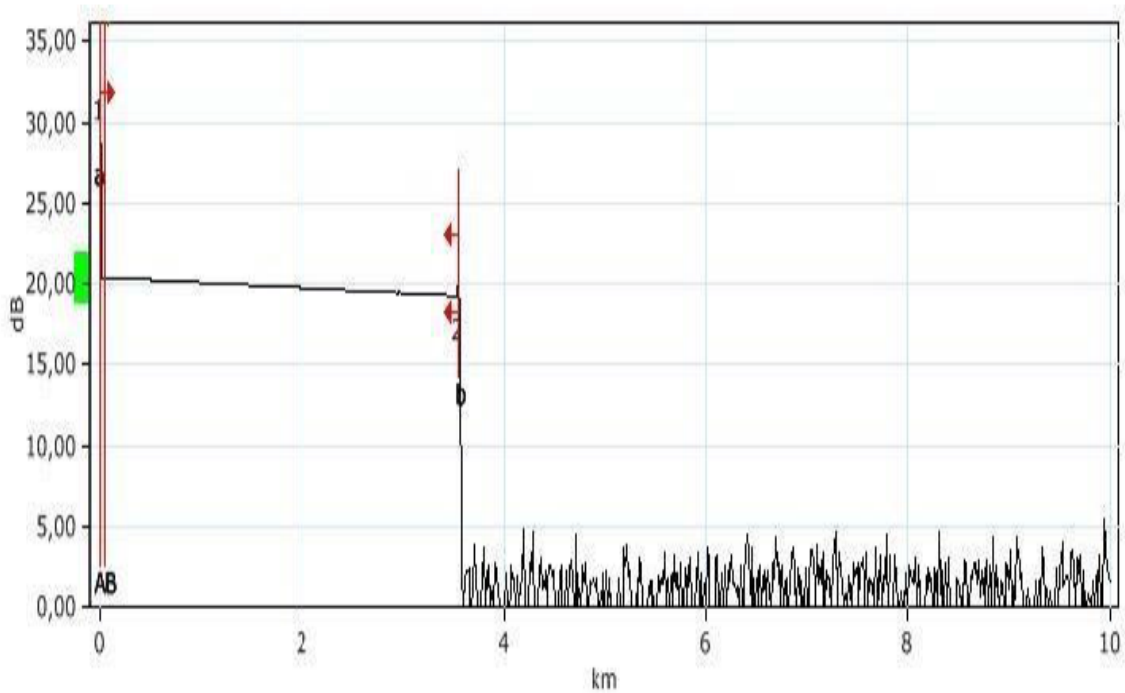


Figura 21: Curva obtenida del enlace entre los Hubs Miraflores y Chorrillos

Fuente: Elaboración propia

Esta prueba se realizó en una fibra óptica de 3596 m de longitud que interconecta el Hub Miraflores con el Hub Chorrillos. El punto de prueba está ubicado en el ODF 10 del Hub secundario de Chorrillos.

El OTDR transmite un haz de luz de 21 dB a 1310nm, el cual se atenúa 1.61 dB en su recorrido. En promedio el enlace tiene una pérdida de 0.325 dB por kilómetro. Estos datos son visualizados gráficamente en la figura 21.

### 2.5.3 Característica de Dispositivos y Materiales a Usar en el Despliegue de Nuevas Redes HFC

Luego de realizar el diseño y análisis de la red se procede a realizar en requerimiento de dispositivos para la nueva red. Estos dispositivos son detallados en la tabla 16.

Tabla 16: Características de los dispositivos según el diseño

Dispositivo	Característica	Función	Cantidad
Receptor de Retorno	Compatible con la plataforma HLP 4200. Alta sensibilidad óptica. Rango de operación entre 15 y 50 MHz.	Recibir la señal óptica Upstream de los nodos y convertirla a señal RF.	1
Transmisor	Compatible con la plataforma Prisma II. Transmisión en DWDM. Potencia de salida superior a 6 dBm. Rango de operación entre 50 y 1000 MHz.	Recibir la señal RF del CMTS y convertirla a señal óptica para transmitirla a los nodos.	2
Amplificador	Compatible con la plataforma Prisma II. Ganancia superior a 15 dBm. Alta sensibilidad óptica	Recibir y amplificar la señal óptica DS en el Hub Secundario.	1
Receptor de Broadcast	Compatible con la plataforma HLP 4200. Rango de operación de 50 a 870 MHz.	Recibe las señales de Broadcast provenientes del Headend.	1

Fuente: Elaboración propia

#### **2.5.4 Relación de Dispositivos y Materiales a utilizar en el Despliegue de las Nuevas Redes**

La relación de dispositivos y materiales a implementar, está condicionada por las marcas homologadas y los concursos realizados por el operador de Telecomunicaciones.

La relación de marcas homologadas para redes HFC son:

Marca de Dispositivos:

- Harmonic
- Cisco
- Scientific Atlanta
- Huawei
- Arris

Marca de Combinadores RF y Pads:

- ATX
- ADC
- Cisco

Marca de Cables:

- Amphenol
- Hansen
- Belden

La compañía ganadora del último concurso realizado por el operador de Telecomunicaciones fue Cisco Systems Inc.

Las redes desplegadas anteriormente estaban conformadas por dispositivos Harmonic. Es por ello que la implementación de dispositivos Cisco se realiza de forma gradual, según lo disponga el operador de telecomunicaciones.

Teniendo en cuenta estas condiciones se procede a realizar la selección de elementos, según el análisis y diseño para el despliegue de nuevas redes HFC.

### **2.5.4.1 Receptor RDR4002**

Es un receptor digital de retorno de alta eficiencia que usa tecnología de última generación para aumentar la fiabilidad del sistema, permitiendo a los operadores ampliar los servicios en la red. Estos receptores son montados en una plataforma HLP 4800, el cual requiere un voltaje de -48VDC para su funcionamiento.

Posee 2 flujos de datos ópticos de 3.1 Gbps, estos flujos de datos son demultiplexados en 2 flujos de datos RF. La figura 22 muestra la vista frontal del dispositivo.

#### **Características:**

- El RDR tiene requerimiento de eléctrico de +24VDC y posee 15 W como máximo.
- Soporta hasta 10 unidades RDR 4002 en una plataforma de tres unidades de rack, los cuales son multiplexados en 40 flujos de datos de retorno.
- Posee alto rendimiento a través de enlaces largos, ya que el rendimiento del sistema digital de transmisión de retorno es independiente a la pérdida del enlace.

Otras características adicionales son mostradas en la tabla 17 y tabla 18.





Figura 22: Receptor RDR4002

Fuente: Aurora (2014)

Tabla 17: Características de los puertos de salida RF

Número de salidas analógicas	4
Rango de Operación	5-65MHz
Impedancia	75 $\Omega$
Salida RF tipo	F
Rango de atenuación	0-17.5 dB
Punto de prueba	-20 dB para los 4 canales
Ganancia de enlace	37dB

Fuente: Aurora (2014)

Tabla 18: Característica de los puertos de entrada óptica

Número de Fibras Ópticas de entrada	2
Potencia máxima	0dBm
Potencia mínima	-18dBm
Longitud de onda	1250-1620nm
Velocidad de entrada	3.1Gbps

Fuente: Aurora (2014)

#### 2.5.4.2 Transmisor Cisco 1.2 GHZ HD-LRMW

Es un transmisor de alta densidad y largo alcance multionda. Está diseñado para operar con la plataforma Prisma II, el cual requiere de un voltaje de -48VDC.

La figura 23 muestra la vista frontal del dispositivo.

##### Características:

- Posee una transmisión a larga distancia sin la degradación de la linealidad de las fuentes directamente modulados.
- Es posible, la ampliación de las capacidades de multiplexado por división de longitud de onda densa (DWDM).
- Opera con 1.2 GHz de espectro de RF y puede transportar multiplexación analógica y QAM.

Otras características adicionales son mostradas en la tabla 19 y tabla 20.



Figura 23: Amplificador de 1550nm

Fuente: Cisco (2016)

Tabla 19: Entrada RF

Rango de operación	45 MHz to 1218 MHz
Nivel en puerto Narrowcast QAM	18dBmV
Nivel en puerto Broadcast QAM	12dBmV
Nivel en puerto Broadcast Analógico	18dBmV

Fuente: Cisco (2016)

Tabla 20: Salida Óptica

Longitudes de onda en canal ITU	21, 22, 24, 26, 28, 33, 36, 39
Nivel de Salida óptica	12.5 dBm
Tipo de conector	SC/APC

Fuente: Cisco (2016)

Los modelos seleccionados para esta implementación envían señal óptica por el ITU 21 e ITU 22 del multiplexor. Por ello se seleccionaron los siguientes modelos en la tabla 21:

Tabla 21: Modelos de Transmisores

Descripción	Modelo
1.2 GHZ HD-LRMW, ITU21 iWDM	P2HD1.2G15TXM21i=
1.2 GHZ HD-LRMW, ITU22 iWDM	P2HD1.2G15TXM22i=

Fuente: Cisco (2016)

### 2.5.4.3 Amplificador P2-HD-EDFA-VGF-21-SA

Es un amplificador de fibra dopado con erbio (EDFA). Está diseñado para operar con la plataforma Prisma II, el cual requiere de un voltaje de -48VDC. Posee un diseño de alta densidad que permite hasta 16 amplificadores EDFA en un chasis Prisma II. La figura 24 muestra la vista frontal del dispositivo.



Figura 24: Amplificador de 21dB

Fuente: Cisco (2016)

Tabla 22: Especificaciones del Amplificador

Potencia de salida	21 dBm
Ganancia	5-15dB
Potencia de entrada	-10 a +16dBm
Longitud de onda	1528-1562nm
Tipo de conector	SC/APC

Fuente: Cisco (2016)

#### 2.5.4.4 Modulo Receptor Óptico HRM3811

Es un receptor que posee bajo nivel de ruido ya bajas distorsiones no lineales. Tiene una salida de RF de más de 42dBmV por canal. Este dispositivo es el encargado de la recibir la señal de BC digital a nivel óptico y convertirla a RF. La figura 25 muestra la vista frontal del dispositivo.



Figura 25: Receptor de Broadcast

Fuente: Aurora (2014)

#### Características Ópticas:

Rango de Nivel de Entrada: -10 a +3dBm

Longitud de onda: 1250 a 1600nm

#### Características RF:

Nivel de salida: 42dBmV

C/N: 59dB

Rango de operación: 45 a 870MHz

#### 2.5.4.5 Mux/Demux CWDM 1X8

La función de este dispositivo es acoplar en una fibra óptica las señales que se propagan en diferentes fibras ópticas, cada una con una longitud de onda diferente. En caso del despliegue a realizar este dispositivo es utilizado para trabajar como mux o demux, según se requiere. La figura 26 muestra la vista frontal del dispositivo.

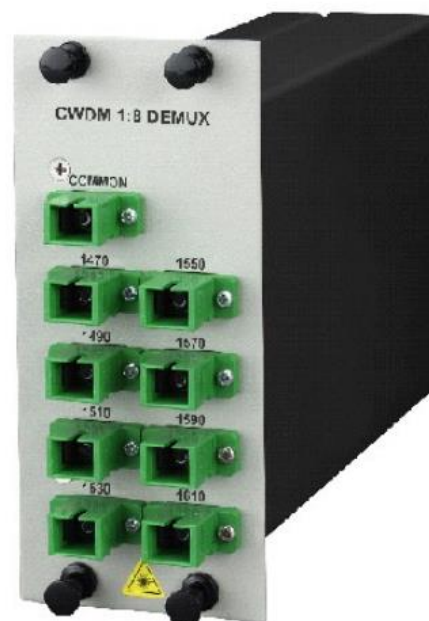


Figura 26: Mux/Demux CWDM 1X8

Fuente: Cisco (2016)

Este dispositivo es compatible con los Chasis LGX.

Opera en longitudes de onda con ITU 21, 22, 24, 26, 28, 33, 36 y 39.

#### 2.5.4.6 Splitter W 1x4 EVEN LGX

Es un dispositivo utilizado para dividir la señal proveniente de una fibra óptica conectada en el puerto de entrada. Para el despliegue de la Red HFC, este dispositivo es usado en el Hub secundario. La figura 27 muestra la vista frontal del dispositivo.



Figura 27: Splitter W 1x4 EVEN LGX

Fuente: Elaboración propia

#### 2.5.4.7 Módulos Combinadores/ Divisores ATX

Son dispositivos pasivos los cuales cumplen la función de divisores o combinadores de la señal RF. Este dispositivo es usado para el despliegue de la red de Directa y Retorno.

Poseen un rango de operación 5 a 1218 MHz y una pérdida de inserción que varía según el modelo.

Es el diseño interno que cada divisor posee. Los tres modelos comparten la característica de una atenuación de 20dB en el puerto de monitoreo respecto al puerto común. La figura 28 muestra la vista frontal del dispositivo.



Figura 28: Módulo ATX

Fuente: Elaboración propia

### 2.5.5 Relación de Materiales a Utilizar en el Despliegue de las Nuevas Redes

Para el despliegue de las nuevas Redes HFC se realizó el requerimiento de los siguientes materiales por sus características de operación.



### 2.5.5.1 Cable Minicoaxial RG-59

Este cable es utilizado para la interconexión RF entre dispositivos pasivos y activos. Posee 3 capas de protección contra ruido externo. La marca de cable utilizado es Amphenol el cual ha sido homologado por el Operador de Telecomunicaciones.

### 2.5.5.2 Patch Cord Monomodo Fibra Óptica

Los patch cord ópticos están elaborados con fibra óptica monomodo de 9/125um. Fibra OS2 conforme a los estándares (TU-G.652, ITU G.657A). En la figura 29 se observa un patch cord óptico del tipo SC/APC-CS/APC.



Figura 29: Fibra Óptica

Fuente: Elaboración propia

Características de la fibra óptica:

Perdidas por Inserción (Typ): 0.3dB

Perdida de retorno: PC > 50dB

Máxima atenuación : 3.5/1.5 dB/Km (850/1300)

Mínimo ancho de banda: 200/500 MHz.km

### 2.5.5.3 Conector F de Compresión para Cable Mini Coaxial

El conector F de compresión es utilizado para las conexiones realizadas con los cables minicoaxiales en elementos pasivos y elementos activos. En la figura 30 se observan los conectores de compresión utilizados.



Figura 30: Conector Tipo F

Fuente: Elaboración propia

#### 2.5.5.4 PADS

En la figura 31 se observan los pads, son elementos pasivos que se insertaran en los puertos de los divisores ATX, para regular los niveles de la señal de directa o de retorno.



Figura 31: PAD RF

Fuente: Elaboración propia

#### 2.5.6 Despliegue de Nuevas Redes HFC en el Hub Principal y Secundario

##### 2.5.6.1 Diagramas de Directa y de Retorno

El proceso de despliegue de la nueva red HFC estará distribuido según el diagrama actualizado. Este diagrama de la figura 32 y figura 33 han sido elaborados según los estándares del Operador de telecomunicaciones. En la figura 32 se observa la red combinatoria de directa. La señal de Broadcast se combina con la señal de narrowcast en la etapa de RF para luego ser convertida a señal óptica y distribuida hacia el nodo.



se realizó la medición del nivel óptico suministrado en la longitud de onda de 1550 nm.

El nivel óptico medido fue de 0.5 dBm al ingreso del receptor. Este nivel óptico se encuentra dentro del rango de operación del receptor de BC por lo cual se realizó la conexión de la fibra óptica en el puerto de entrada. En la figura 34 se observa las conexiones realizadas a nivel óptico desde el amplificador hasta el receptor de Broadcast o convertidor Óptico/RF.

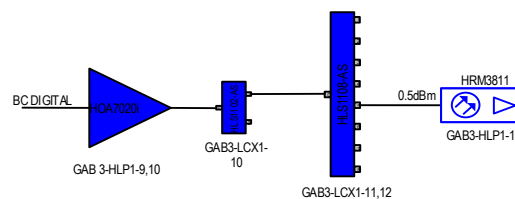


Figura 34: Broadcast óptico

Fuente: Elaboración propia

Se procedió a realizar las mediciones con el DSP Trilithic 120 en el puerto de salida RF del HRM3811. El Operador de Telecomunicaciones provee a través de la señal BC digital un total de 32 portadoras de video en el rango de frecuencias de 531 a 711 MHz a modulación de 64QAM, con un ancho de banda de 6Mhz. Estas frecuencias pueden visualizarse en la tabla 23.

Tabla 23: Portadoras de Video Digital

ITEM	CANAL	FRECUENCIA MHz	TIPO DE SEÑAL
1	75	531	DIGITAL
2	76	537	DIGITAL
3	77	543	DIGITAL
4	78	549	DIGITAL
5	79	555	DIGITAL
6	80	561	DIGITAL
7	81	567	DIGITAL
8	82	573	DIGITAL
9	83	579	DIGITAL
10	84	585	DIGITAL
11	85	591	DIGITAL
12	86	597	DIGITAL
13	87	603	DIGITAL
14	88	609	DIGITAL
15	89	615	DIGITAL
16	90	621	DIGITAL
17	91	627	DIGITAL
18	92	633	DIGITAL
19	94	645	DIGITAL
20	98	111	DIGITAL
21	99	117	DIGITAL
22	100	651	DIGITAL
23	101	657	DIGITAL
24	102	663	DIGITAL
25	103	669	DIGITAL
26	104	675	DIGITAL
27	105	681	DIGITAL
28	106	687	DIGITAL
29	107	693	DIGITAL
30	108	699	DIGITAL
31	109	705	DIGITAL
32	110	711	DIGITAL

Fuente: Elaboración propia

Esta señal de salida tiene la capacidad máxima de proveer señal de BC a 16 transmisores, por lo cual se requiere hacer la distribución de la señal. En la figura

35 se observa el diagrama de la red de Broadcast (video), para ello se realizó el tendido y conectorizado del cable minicoaxial RG59 hacia los divisores ATX 4x1 y 8x1.

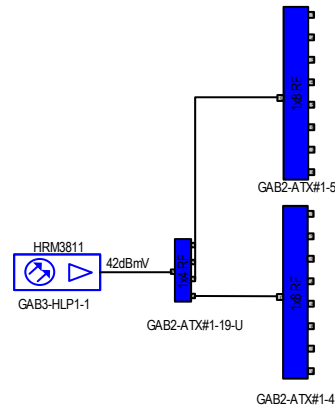


Figura 35: Broadcast RF

Fuente: Elaboración propia

Se procedió con el montaje de los transmisores en la Plataforma Prisma II. Este transmisor posee una entrada RF para la señal de BC digital, la cual debe tener el nivel de 12 dBmV según sus especificaciones técnicas. Adicionalmente se conectó en la segunda entrada RF la señal de Narrocast proveniente del puerto DS del CMTS a un nivel de 18 dBmV como se observa en la figura 36.

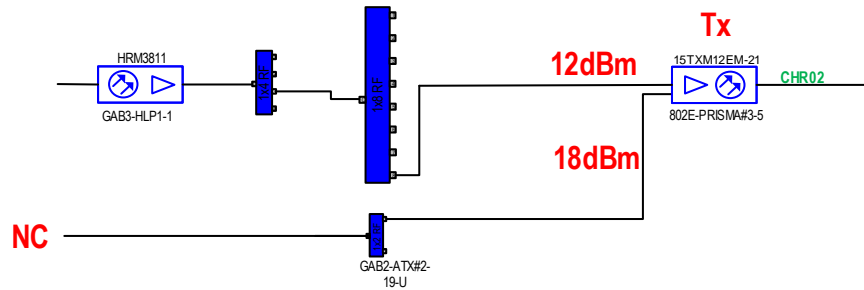


Figura 36: Conexiones en el transmisor

Fuente: Elaboración propia

Se realizaron las mediciones de la señal de salida de los transmisores en el puerto de prueba de cada transmisor para verificar los niveles de las portadoras que transmitirá.

Se implementa en el Hub Miraflores elementos ópticos para el multiplexado. Los dispositivos implementados son el mux 1x8 en el Hub Primario y un demux 1x8 en el Hub secundario, como se observa en la figura 37.

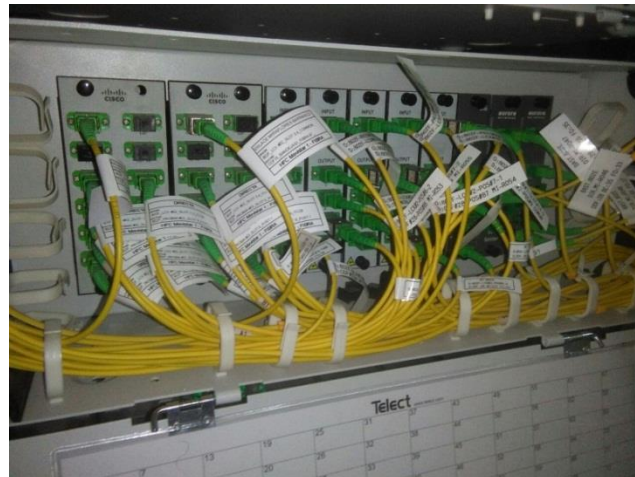


Figura 37: Mux 1x8 en Hub Miraflores

Fuente: Elaboración propia



La señal óptica de salida de los transmisores 1550 nm Cisco se atenúa 2.5 dB al ser multiplexada en un Mux óptico 1x8. Luego de ello es transmitida por un hilo de fibra óptica hacia el nodo secundario.

En el nodo secundario de Chorrillos se implementado una plataforma Prisma II. Sobre esta plataforma se instala el amplificador **P2-HD-EDFA-VGF-21-SA**.

La señal óptica multiplexada que es transmitida desde el Hub Miraflores llega hasta el ODF 10 de Chorrillos. Esta señal se inyecta en el puerto IN del amplificador con un nivel óptico de 8.5 dBm, el cual se encuentra dentro de los parámetros de ingreso al amplificador. Este dispositivo se puede observar en la figura 39, el cual está instalado sobre una plataforma Prisma II.



Figura 38: Amplificador EDFA en Hub Chorrillos

Fuente: Elaboración propia

El nivel de señal óptica en el puerto OUT del amplificador es de 21 dBm a 1550 nm. Esta señal es demultiplexada por un demux 1x8 en las ITU 21 e ITU 22. Las señales son distribuidas en 2 splitter 1x4, que a su vez distribuirá la señal a los nodos Chorrillos 2 y Chorrillos 20, el diagrama completo se observa en la figura 39.

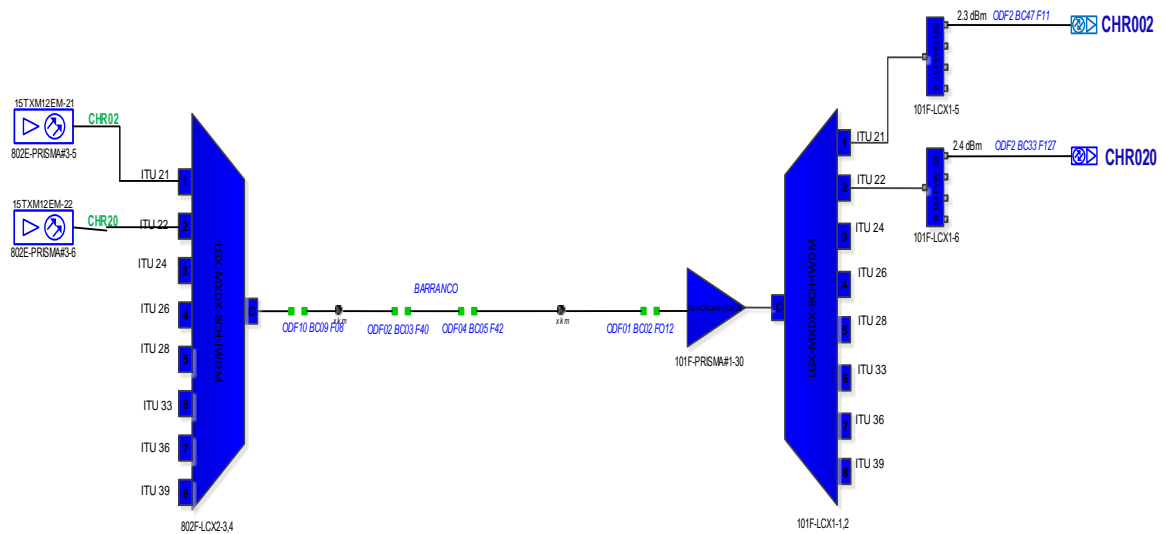


Figura 39: Etapa de multiplexado

Fuente: Elaboración propia

### 2.5.6.3 Despliegue de la Red de Retorno

Para el despliegue se reutilizó el enlace óptico entre los Hubs Miraflores y Chorrillos de la red de retorno. Este enlace está en operación y une los puertos comunes del mux y demux. Se instaló la plataforma HLP4800 sobre la cual fue instalado receptor RDR4002. Se instalaron combinadores de RF 1x4 para cada segmento de los nodos. Se realizó el cableado que conecta los puertos del CMTS con los combinadores y con los receptores RDR4002. Mediante dos hilos de fibra óptica se realizó la conexión del receptor óptico RDR4002 en el Hub Miraflores.

En el Hub Chorrillos no se realizó modificaciones en la red de retorno que se encontraba en operación. El diagrama completo de retorno se puede observar en la figura 40.

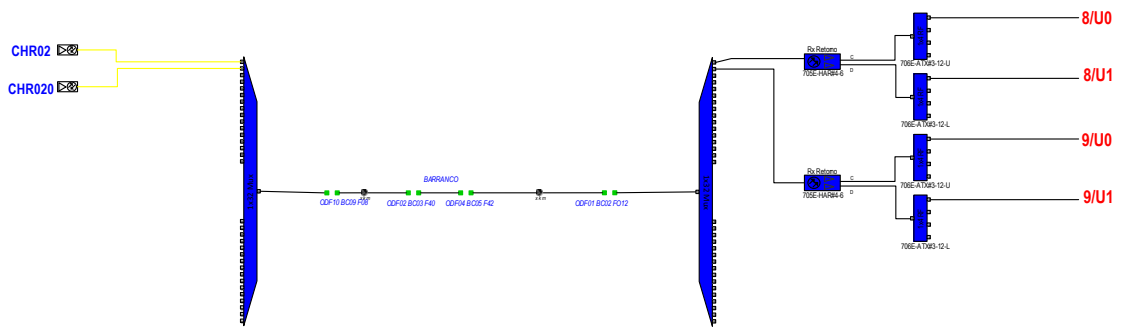


Figura 40: Etapa de multiplexado de la red de Retorno

Fuente: Elaboración propia

#### 2.5.6.4 Migración de nodos y desaturación de puertos.

Se programó una hora de inicio para la migración de los puertos del CMTS.

Se realizó el muestreo de cantidad de cable modem sincronizados, offline y registrados. En la tabla 24 se observa un total de 350 clientes registrados en el sistema, 308 cable módems sincronizados y 42 fuera de servicio.

Tabla 24: Cablemódems del nodo Chorrillos 2

CMTS	Interface	Descripción	Sincronizados	Offline	Total
MIRAFLORES 4	C6/0/2/U0	CH R02	156	34	190
MIRAFLORES 4	C6/0/2/U1	CH R02	152	8	160
			308	42	350

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 25 se observa un total de 280 clientes registrados en el sistema, 253 cablemodems sincronizados y 27 fuera de servicio.

Tabla 25: Cablemódems del nodo Chorrillos 2

CMTS	Interface	Descripción	Sincronizados	Offline	Total
MIRAFLORES 4	C7/0/3/U4	CH R020	138	12	150
MIRAFLORES 4	C7/0/3/U5	CH R020	115	15	130
			253	27	280

Fuente: Elaboración propia

La finalidad de este registro de cable modem, es tener un numérico exacto de cable modem sincronizados y apagados antes de la migración de los puertos. Para comparar los la cantidad de cablemódems luego de la migración y desaturación de puertos.

Se documentó los niveles de sincronismo de los cablemódems en los nodos Chorrillos 2 y Chorrillos 20, los cuales pueden visualizarse en la tabla 26.

Tabla 26: Niveles de sincronismo de cablemódems

CMTS	INTERFACE	NOD O	UP _MA X	UP_PR OM	UP_MI N	DN_MA X	DN_ PROM ,	DN_ MIN	SNR_ _UP	SNR_ DOWN	FECHA_H ORA
MIRAFLORES 4	C6/0/2/U 0	C H R02	5 0	41.8 3	35.5	27.4	4.9 8	-1	36.0 4	38.48	8/3/20 16 23:02
MIRAFLORES 4	C6/0/2/U 1	C H R02	4 9	42.0 1	38.2	10.1	2.8 6	-1	35.1 2	38.9	8/3/20 16 23:02
MIRAFLORES 4	C7/0/3/U 4	C H R020	5 1	48.6 8	33.5	14.5	0.2 4	-1	35.5 6	37.46	8/3/20 16 23:02
MIRAFLORES 4	C7/0/3/U 5	C H R020	5 2	45.2 2	41.7	11.8	4.3 5	-1.9	34.6 8	38.37	8/3/20 16 23:02

Fuente: Elaboración propia

Estos valores son tomados con la finalidad de registrar los niveles DS, UP y relación señal ruido en el CMTS antes de desaturación de los puertos. Con el fin de no variar los niveles luego de los cambios a realizar.

Se procede a realizar mediciones en los nodos Chorrillos 2 y Chorrillos 20. Estos dispositivos se encuentran ubicados en los postes y cerca de los clientes. En la tabla 27 se observan las mediciones realizadas en los segmentos A y B del nodo. Los niveles y MER registrados están dentro del rango de operación aceptado por el ISP.

Tabla 27: Mediciones en nodo Chorrillos 2

SEGMENTO A				SEGMENTO B			
Canal	Nivel	SNR	MER	Canal	Nivel	SNR	MER
112	23	-	37.9	112	22.6	-	38
118	23.6	-	38	118	22.9	-	38
128	24.6	-	38	128	24.5	-	38
135		-		135		-	
75	20.6	-	37.2	75	21	-	37
101	20.6	-	38	101	20.2	-	37.6
110	20.1	-	36.8	110	20.1	-	36.7

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 28 se observan las mediciones realizadas en los segmentos A y B del nodo. Los niveles y MER registrados están dentro del rango de operación aceptado por el ISP. Se tomó un muestreo de mediciones en canales de video y canales de datos.

Tabla 28: Mediciones en nodo Chorrillos 20

SEGMENTO A					SEGMENTO B			
Canal	Nivel	SNR	MER		Canal	Nivel	SNR	MER
112	22.1	-	37		112	21.6	-	37.6
118	24.3	-	37.7		118	23.9	-	36.4
128	24	-	36.9		128	22.5	-	37.5
135	24.2	-	36.2		135	23.1	-	36.7
75	19.6	-	38.2		75	21.4	-	37.2
101	25.6	-	38.1		101	20.6	-	38.1
110	21.1	-	36.5		110	21.2	-	35.1

Fuente: Elaboración propia

Estas mediciones se realizan en los puntos de prueba del nodo con la finalidad de mantener los niveles en los canales, después de la migración. Estos niveles no deben variar de forma excesiva, si esto sucediera varios cablemódems no sincronizarían porque están operando en estos niveles. Después de haber registrado las mediciones indicadas se procedió a realizar la migración de los puertos Downstream del CMTS Miraflores 4 al CMTS Miraflores 5.

Se realizó a realizar la ampliación de portadoras en los puertos DS. Estos puertos se configuran para trabajar con 32 portadoras DOCSIS, las cuales han sido registradas en la tabla 29. Estas portadoras inician en la frecuencia de 261 MHz hasta los 447 MHz con un ancho de banda de 6 MHz.

Tabla 29: Relación de 32 portadoras DOCSIS

ITEM	CANAL	FRECUENCIA MHz	TIPO DE SEÑAL
1	30	261	DIGITAL
2	31	267	DIGITAL
3	32	273	DIGITAL
4	33	279	DIGITAL
5	34	285	DIGITAL
6	35	291	DIGITAL
7	36	297	DIGITAL
8	37	303	DIGITAL
9	38	309	DIGITAL
10	39	315	DIGITAL
11	40	321	DIGITAL
12	41	327	DIGITAL
13	42	333	DIGITAL
14	43	339	DIGITAL
15	44	345	DIGITAL
16	45	351	DIGITAL
17	46	357	DIGITAL
18	47	363	DIGITAL
19	48	369	DIGITAL
20	49	375	DIGITAL
21	50	381	DIGITAL
22	51	387	DIGITAL
23	52	393	DIGITAL
24	53	399	DIGITAL
25	54	405	DIGITAL
26	55	411	DIGITAL
27	56	417	DIGITAL
28	57	423	DIGITAL
29	58	429	DIGITAL
30	59	435	DIGITAL
31	60	441	DIGITAL
32	61	447	DIGITAL

Fuente: Elaboración propia

Se realiza las mediciones y las conexiones ópticas en el Hub Chorrillos. En el nodo se verifica que la potencia óptica no supere el nivel de promedio de ingreso en los nodos de -3 a 3 dBm.

Se procedió con el balanceo de niveles en los transmisores Cisco con los PADS en los pasivos 1X2 y con el PAD interno en los transmisores.

Se procede a realizar la migración y desaturación de los puertos Upstream estos migran del CMTS Miraflores 4 al CMTS Miraflores 5. Se conectó las fibras ópticas en el receptor RDR4002. Cuando la fibra óptica ha sido conectada en el receptor con un nivel de -5 dB se procede con las conexiones de los cables minicoaxiales de la red de retorno.

Luego de realizar la migración de puertos DS y puertos UP se procede a verificar que los cablemódems en los nodos estén sincronizando. En la Tabla 30 se observa el muestreo de clientes tomados luego de realizar los cambios en los puertos DS y UP. Se concluye que el servicio de los clientes ha sido restablecido correctamente ya que la cantidad de clientes conectados luego de realizar los cambios es el mismo.

Tabla 30: Cantidad de cablemódems en Nodo Chorrillos 2

CMTS	Interface	Descripción	Sincronizados	Offline	Total
MIRAFLORES 5	8/0.0/0	CH R02 A	85	15	100
MIRAFLORES 5	8/0.1/0	CH R02 A	92	8	100
MIRAFLORES 5	8/1.0/0	CH R02 B	70	10	80
MIRAFLORES 5	8/1.1/0	CH R02 B	59	11	70
			306	44	350

Fuente: Elaboración propia



En la Tabla 31 se observa el muestreo de clientes tomados luego de realizar los cambios en los puertos DS y UP. Se concluye que el servicio de los clientes ha sido restablecido correctamente.

Tabla 31: Cantidad de cablemódems en Nodo Chorrillos 20

CMTS	Interface	Descripción	Sincronizados	Offline	Total
MIRAFLORES 5	9/0.0/0	CH R020 A	82	8	90
MIRAFLORES 5	9/0.1/0	CH R020 A	69	21	90
MIRAFLORES 5	9/1.0/0	CH R020 B	62	10	40
MIRAFLORES 5	9/1.1/0	CH R020 B	63	7	62
			253	27	280

Fuente: Elaboración propia

Esta verificación es sumamente importante porque de esta manera se valida que el servicio ofrecido a los clientes ha sido restaurado.

## 2.6 Revisión y Consolidación de Resultados

Cuando el servicio de los clientes ha sido restaurado, se procede a realizar las mediciones finales en el Hub Miraflores y en los Nodos de Chorrillos.

### 2.6.1 Mediciones realizadas en el Hub Miraflores

Las mediciones realizadas en los transmisores instalados fueron registradas en las tablas para su posterior documentación. En la tabla 32 validamos las

nuevas portadoras de operación y el restablecimiento de la señal de video en el transmisor correspondiente al Nodo Chorrillos 2.

Tabla 32: Mediciones en el transmisor correspondiente a Chorrillos 2

Canal	Nivel	SNR	MER
30	-7.9	-	39.8
50	-8.0	-	39.2
55	-8.4	-	39.6
61	-8.1	-	39.2
75	-7.2	-	40.1
101	-9	-	39.4
110	-9.7	-	38.9

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 33 validamos las nuevas portadoras de operación y el restablecimiento de la señal de video en el transmisor correspondiente al Nodo Chorrillos 20.

Tabla 33: Mediciones en el transmisor correspondiente a Chorrillos 20

Canal	Nivel	SNR	MER
30	-7.6.0	-	39.2
50	-7.8	-	39.1
55	-8.1	-	39.0
61	-7.6	-	39.1
75	-7.1	-	39.8
101	-8.6	-	39.3
110	-8.8	-	39.0

Fuente: Elaboración propia

Estas mediciones fueron realizadas después de ampliar a 32 el número de portadoras DOCSIS. Los nuevos canales van del 32 al 61 obteniéndose así los resultados requeridos.

Se logra liberar las frecuencias antes usadas, que estaban operando entre los 717 y 861 MHz. Estas frecuencias podrán ser usadas por los canales de video digital que provienen del Headend o cabecera.

### 2.6.2 Mediciones realizadas en los nodos

Las mediciones realizadas en los transmisores instalados fueron registradas por personal ubicado en los nodos. Estas mediciones fueron registradas en tablas para su posterior documentación.

En la tabla 34 se observan las mediciones tomadas en el nodo Chorrillos 2, de las cuales se concluye que los niveles y MER están en dentro de los parámetros de operación del nodo.

Tabla 34: Mediciones en nodo Chorrillos 2

SEGMENTO A				SEGMENTO B			
Canal	Nivel	SNR	MER	Canal	Nivel	SNR	MER
30	23	-	39.7	30	22.6	-	38
50	23.5	-	38.9	50	22.9	-	38
55	24.6	-	39.6	55	24.5	-	38
61	24.5	-		61	24.6	-	
75	20.6	-	38.2	75	20.9	-	37
101	20.6	-	38.6	101	20	-	37.6
110	20.1	-	37.9	110	20.3	-	36.7

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 35 se observan las mediciones tomadas en el nodo Chorrillos 20, de las cuales se concluye que los niveles y MER están en dentro de los parámetros de operación del nodo.

Tabla 35: Mediciones en nodo Chorrillos 20

SEGMENTO A				SEGMENTO B			
Canal	Nivel	SNR	MER	Canal	Nivel	SNR	MER
30	22.1	-	37	30	21.6	-	37.6
50	24.3	-	37.7	50	23.9	-	36.4
55	24	-	36.9	55	22.5	-	37.5
61	24.2	-	36.2	61	23.1	-	36.7
75	19.6	-	38.2	75	21.4	-	37.2
101	25.6	-	38.1	101	20.6	-	38.1
110	21.1	-	36.5	110	21.2	-	35.1

Fuente: Elaboración propia

Se observa en las mediciones realizadas que los nodos están recibiendo correctamente las nuevas portadoras.

Los niveles de la señal varían en decimales en comparación de los medidos antes de la migración. Esto permite que los cablemódems de los clientes puedan sincronizar, aunque sus niveles estén muy cerca de sus límites de operación.

Culminadas estas pruebas se conecta el cablemódems al nodo para verificar que los niveles estén en el rango de operación (UP: 42dBmV-DS: 10dBmV).

### 2.6.3 Mediciones realizadas en el CMTS

Estas mediciones se realizan desde el sistema de monitoreo del Operador de Telecomunicaciones. El acceso a este sistema de monitoreo es restringido por lo cual solo se accede mediante un usuario y contraseña. En la tabla 36 se observan los niveles promedio de operación de los cablemódems, además de indicar los niveles por puerto lógico.

Tabla 36: Niveles de sincronismo de cablemódems

CMTS	INTERFAC E	NOD O	UP _MA X	UP_PRO M	UP_MI N	DN_MA X	DN_ PROM	DN _ MIN	SNR _UP	SNR_ DOW N	FECHA_HOR A
MIRAFLORES 5	8/0.0/0	CH R02 A	51	42.62	36.4	18.4	5.63	-3	38.13	39.54	09/03/2016 05:01
MIRAFLORES 5	8/0.1/0	CH R02 A	52	42.81	38.7	14.9	4.96	-1	37.83	39.88	09/03/2016 05:01
MIRAFLORES 5	8/1.0/0	CH R02 B	52	42.73	36.4	19.2	5.34	-3	38.23	39.65	09/03/2016 05:01
MIRAFLORES 5	8/1.1/0	CH R02 B	50	42.79	38.5	15.6	5.11	-2	37.95	39.93	09/03/2016 05:01
MIRAFLORES 5	9/0.0/0	CH R020 A	52	46.34	36.2	16.4	4.92	-2	38.21	39.26	09/03/2016 05:01
MIRAFLORES 5	9/0.1/0	CH R020 A	52	45.68	40.1	15.2	5.07	-1	37.88	39.37	09/03/2016 05:01
MIRAFLORES 5	9/1.0/0	CH R020 B	53	45.62	36.8	15.1	4.84	-1.3	38.12	39.33	09/03/2016 05:01
MIRAFLORES 5	9/1.1/0	CH R020 B	52	45.22	41.7	14,3	5.15	-1	37.95	39.12	09/03/2016 05:01

Fuente: Elaboración propia

Se determina mediante las nuevas mediciones realizadas que los niveles de ruido upstream aumentaron en 2 dB. Esto representa una mejora en la calidad del servicio entregado a los clientes. Además del aumento de la tasa de transmisión de datos en los puertos. Esto conlleva a evitar las averías masivas por saturación de puertos.

## CONCLUSIONES

- Se concluye del objetivo general, que el despliegue de nuevas redes HFC es efectiva al solucionar los problemas de interrupción en el servicio de banda ancha brindado a los clientes, mejorando así el servicio brindado. Esto se mide en la desaturación de los puertos y la ampliación del caudal de datos. Esto se observa en los resultados obtenidos del capítulo 3.1.1.1 y 3.1.1.2.
- Mediante el análisis realizado a la situación de la red HFC antes del despliegue, se concluye que la asignación de un puerto upstream para un nodo es viable para el ahorro de puertos en el CMTS. Pero ello no contempla el crecimiento de suscriptores al servicio de banda ancha en Lima como se observa en la tabla 1. Por ello se asigna 2 puertos upstream físicos para la desaturación del caudal de datos.
- Al realizar el análisis de la tabla 6 y 7 se concluye que los nodos de Chorrillos 2 y 20 presentan problemas recurrentes debido a la saturación de puerto en el CMTS y ruido presentado en la red HFC.
- Mediante el análisis realizado a las figuras 10, 11, 12, 13 se concluye que el caudal de datos de los puertos upstream estaban cerca del nivel máximo soportado por los puertos upstream con una modulación de 32 QAM.
- Mediante el análisis de las figuras 14 y 15 se concluye un puerto downstream puede operar con más de un nodo a la vez, permitiendo así un mejor planeamiento en la distribución del caudal de datos entregado por el puerto downstream.

- Del análisis realizado a la red antigua se concluye que el requerimiento de dispositivos a solicitar al Operador de Telecomunicaciones, debe estar regulado por los parámetros de la nueva red HFC y por las marcas de dispositivos homologados. Es importante determinar si los nodos están operando con señales de video digital, analógica o combinada; para así elegir correctamente los transmisores de la nueva red.
- Se concluye que antes de realizar la migración de puertos es importante determinar la cantidad de cabledemods registrados por cada nodo, para estar plenamente seguros que el servicio de Banda Ancha ha sido restaurado a todos los clientes.
- De los resultados obtenidos en la tabla 30 se concluye que aumenta la relación señal ruido al aumentar ligeramente los niveles de upstream y downstream en los cabledemod. También se determina que al cambiar los cables y pasivos de RF en el Hub Miraflores se mejora la relación señal ruido de la red HFC.
- Se concluye que luego del despliegue los servicios en los clientes han sido restablecidos. Además de aumentar la capacidad de transmisión de datos de downstream y upstream (bajada y subida).
- Finalmente se concluye que el diseño y despliegue de nuevas redes HFC contribuyen al mejoramiento del servicio brindado y a satisfacer la necesidad del aumento de velocidad de Banda Ancha a los clientes.

## RECOMENDACIONES

- Respecto a futuros despliegues de redes HFC en los Hubs del Operador de Telecomunicaciones, se recomienda planificar con más de un mes de anticipación la provisión de dispositivos y materiales comúnmente utilizados. Esto disminuiría los problemas presentados por la falta de dispositivos ante nuevos despliegues.
- Se recomienda usar plataformas Prisma II y HLP4200 previamente instaladas y en servicio. De esta manera se evitaría el presentar retrasos con el despliegue de las redes HFC. Adicionalmente se recomienda contar con las adecuaciones necesarias para realizar la instalación del cable minicoaxial.
- Se recomienda planificar y estar constantemente solucionando los problemas presentados por el ruido en las redes. Dado que el ruido disminuye la calidad del servicio y puede bloquear la señal de retorno si el nivel es muy alto.
- Se recomienda desplegar dispositivos de monitoreo de señal de retorno, como los PathTrak HCU200. Cada segmento de los nodos deberá estar monitoreado individualmente, esto permitirá mayor precisión al identificar y corregir el ruido en la red.
- Se recomienda instalar cargas troncales en los segmentos libres de los nodos, para evitar inserción de ruido externo y realizar una correcta calibración de los nodos ópticos.



## BIBLIOGRAFÍA

- Aurora Networks – Telmark Telecomunicaciones (2014). Documento “Plataformas Ópticas”.  
Última fecha de consulta: 15 de mayo 2016.
- Bechara, M. (2008). Diseño de una Red de Telecomunicaciones HFC Multiservicios para la Empresa Green Tv en la Ciudad de Esmeraldas. (Proyecto de Grado). Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/99051515/DISENO-DE-UNA-RED-DE-TELECOMUNICACIONES-HFC>. Última fecha de consulta: 10 de julio 2016.
- Boronat, F. & García, M. (2009), *IPTV: La Televisión por Internet*. (2da Ed.,pp. 152-154), Málaga, España, Publicaciones Vértice S.L.
- Cardona, O. & Valdes, C. (2016). CMTS y DOCSIS. Recuperado de <https://sx-de-tx.wikispaces.com/CMTS+y+DOCSIS>. Última fecha de consulta: 24 de julio 2016.
- Cisco System (2015) Cuál es el número máximo de usuarios por CMTS Recuperado de [http://www.cisco.com/cisco/web/support/LA/102/1024/1024821\\_max\\_number\\_cmts.html](http://www.cisco.com/cisco/web/support/LA/102/1024/1024821_max_number_cmts.html). Última fecha de consulta: 03 de junio 2016.

- Cisco System (2015). Cuál es el número máximo de usuarios por CMTS. Recuperado de [http://www.cisco.com/cisco/web/support/LA/102/1024/1024821\\_max\\_number\\_cmts.html](http://www.cisco.com/cisco/web/support/LA/102/1024/1024821_max_number_cmts.html). Última fecha de consulta: 03 de junio 2016
- Cisco System (2016) All Video Products. Recuperado de <http://www.cisco.com/c/en/us/products/video/product-listing.html#AccessEdge>. Última fecha de consulta: 26 de julio 2016.
- García, H. (2016). Blog: INGENIEROS TELECOMUNICACIONES- Redes HFC. Recuperado de <http://ingenierosdetelecomunicaciones.blogspot.pe/p/redes-hfc.html>. Última fecha de consulta: 28 de junio 2016.
- Gómez, A. (2005). Diseño de una Red para Telefonía local y larga Distancia Nacional e Internacional con el Estándar Packetcable Para Redes Híbridas de Fibra y Coaxial (HFC) en 5 ciudades. (Trabajo de Graduación). Recuperado de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0132\\_EO.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0132_EO.pdf). Última fecha de consulta: 15 de julio 2016
- Híbrido de Fibra Coaxial (2011). En Wikipedia. . Recuperado de [https://es.wikipedia.org/wiki/H%C3%ADbrido\\_de\\_Fibra\\_Coaxial](https://es.wikipedia.org/wiki/H%C3%ADbrido_de_Fibra_Coaxial) Última fecha de consulta: 8 de julio 2016.

- López, C. & Del Salto, E. (2016) Diseño y Plan de Migración para la Implementación del Estándar Docsis 3.1 en 3 Nodos Críticos Principales de la Red HFC Quito de la Empresa TVCABLE. (Tesis de Grado). Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/351/1/CD-0761.pdf>  
Última fecha de consulta: 24 de mayo 2016.
- Modulación de amplitud en cuadratura (2016). En Wikipedia. Recuperado de [https://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n\\_de\\_amplitud\\_en\\_cuadratura](https://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_de_amplitud_en_cuadratura). Última fecha de consulta: 10 de julio 2016.
- Motorola (2009). Fundamentos de los Sistemas de Cable. Recuperado de <https://nuevocircuito.wordpress.com/2009/07/05/fundamento-de-los-sistemas-de-television-por-cable/>. Última fecha de consulta: 14 de junio 2016.
- MTC (2014). Suscriptores de Internet por Modalidad, Según Departamento: 2011-2013. Recuperado de <http://www.mtc.gob.pe/estadisticas/comunicaciones.html>  
Última fecha de consulta: 20 de julio 2016.
- Trilithic Inc. (2015). 120 DSP Basic Signal Level Meter. Recuperado de

<https://instruments.trilithic.com/products/120dsp.html>. Última fecha de consulta: 10 de julio 2016

- Tumbalobos, B.(2016). Estudio del Diseño de Servicio de IPTV con Tecnología HFC Y FTTH. (Tesis de Pregrado). Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/6860>  
Última fecha de consulta: 15 de julio 2016.
- Villacrés, M.(2008). Diseño de una Red de Telecomunicaciones HFC Multiservicios para la Empresa Green TV en la ciudad de Esmeraldas (Tesis de Pregrado). Recuperado de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/675/1/T-ESPE-020209.pdf>  
Última fecha de consulta: 10 de junio 2016.
- Wolff, P. (2009). Diseño e Implementación de un Curso de Servicios Sobre Redes HFC de Nueva Generación. (Tesis de Pregrado). Recuperado de [http://www.thesis.uchile.cl/tesis/uchile/2009/wolff\\_p/html/index-frames.html](http://www.thesis.uchile.cl/tesis/uchile/2009/wolff_p/html/index-frames.html).  
Última fecha de consulta: 18 de julio 2016.

## **ANEXOS**

# ANEXO Nº 01: Casa Systems C100G

Data Sheet

## Casa Systems C100G Converged Cable Access Platform (CCAP)



Winning and keeping residential and enterprise video and Internet services customers has never been tougher. Service providers face a range of competition in a business that requires rapid response but is still capital intensive. They need partners who are fast enough to get them ahead of their competition and committed to keeping them there, which is why more and more, leading providers depend on Casa Systems.

Casa has consistently designed today's products with tomorrow in mind, and has proven to be the most reliable partner in the industry in delivering high performance solutions at each technology shift in cable access networks. Designed from the beginning to deliver gigabit+ services from a true CCAP platform, the C100G enables smooth transition from DOCSIS® 3.0 to DOCSIS 3.1 and to distributed access architectures. The C100G can also support DOCSIS provisioning of EPON (DPoE) implementations, as well as both analog and digital fiber connectivity.

Casa's C100G was selected as the cable industry's best new product in its debut year, 2013\*. Since its launch, the C100G has achieved a remarkable number of firsts:

- First and only CCAP to attain full DOCSIS 3.0 certification
- First and only CCAP that has proven the service convergence envisioned by the industry in the CCAP standard, delivering video and data over a single port to millions of subscribers
- First CCAP to support full DOCSIS 3.1 spectrum (full 192 MHz OFDM and full 96 MHz OFDMA) in 2H 2015 — with no field upgrades and no new hardware required
- First CCAP ready with a Remote-PHY solution this year (2016), with the addition of a single card to the C100G chassis.

The C100G's track record of firsts is the product of visionary design and development choices made by Casa Systems that are paying dividends for our customers today. Those choices include our Software Defined Cable architecture, which provides the ability to adapt to changing industry standards more quickly than competitors.

Service providers who choose the C100G obtain competitive advantages today, including the ability to deliver faster high-speed data rates, lower OPEX, and improve subscriber Quality of Experience. More importantly, the C100G delivers strategic benefits for the long term — including lower lifetime TCO, and investment protection as networks evolve.

Deployed by some of the world's leading service providers, the C100G is the gold standard for current and future CCAP capabilities.

\*The C100G was awarded "Best New Cable Product of the Year" in 2013 by Light Reading's Leading Lights, "Best Cable and Video Architecture" and "Best in Show - Green Installation" in 2015 byierce Innovation Awards

### Highlights

#### Proven True CCAP

DOCSIS PHY and MAC, EdgeQAM video, routing and MPLS, and subscriber and traffic management control in one chassis. Only CCAP in the industry delivering video and data over a single port in a commercial deployment

#### Full Spectrum DOCSIS 3.1 Support

Full 192 MHz OFDM / 96 MHz OFDMA spectrum block support with existing hardware

#### Backward Compatibility

Full support for DOCSIS 1.0 — DOCSIS 3.0 concurrent with DOCSIS 3.1

#### Capacity (Per Chassis)

Up to 6,144 downstream channels  
Up to 768 upstream channels

#### Scalability

Up to 128 DOCSIS channels per service group and 72 service groups (64 with HA)

#### Reliability

99.999% availability, full redundancy

#### Density

13 RU, 14 slot chassis

#### Low Power Consumption

3.6kW per fully loaded chassis

#### Forward Engineered

Smooth transition to DOCSIS 3.1 and / or Remote-PHY



Feature	Benefit
---------	---------

### Density and Scalability

<b>13 RU, 14 slot chassis (12 subscriber slots, 2 management modules)</b>	Industry leading density in a small footprint, proven to reduce OPEX significantly over legacy solutions.
<b>72 Service Groups (without HA), 64 Service Groups (with HA)</b>	Improve customer QoE through reduction of service group sizes.
<b>Up to 384 Service Groups with Remote-PHY</b>	Casa's Remote-PHY solution, enabled by the CSC card in the C100G, offers various Distributed Access node form factors to meet service provider needs.
<b>Downstream (DS) Capacity</b>	Compete today with gigabit+ services, enabled by up to 1,024 downstream channels per DS card, scalable to 6,144 DS channels in a fully loaded chassis or 5,120 DS channels in an N+1 card configuration.
<b>Upstream (US) Capacity</b>	Assure capacity for an increasingly upstream future with up to 128 upstream channels per US card, scalable to 768 US channels in a fully loaded chassis or 640 US channels in an N+1 card configuration.
<b>1+ Terabit Backplane</b>	End user speeds can be constrained at various points. Adequate bandwidth between the switch card and line card assures higher throughput.

### Affordability

<b>Low Power Consumption</b>	Reduce costs and energy consumption with a fully loaded 13RU chassis that consumes < 3.6kW.
<b>OPEX Reduction</b>	Beyond industry leading density, as the only proven CCAP in the field delivering video and data over a single port, the C100G is proven to reduce space and power requirements by at least 30%.

### Reliability

<b>Product Reliability</b>	99.999% availability and hitless failover assure services are consistently delivered to subscribers.
<b>Vendor Reliability</b>	Casa Systems' track record proves a reliable history of bringing new technologies to market first, at each generational shift. Casa's winning design, vision of the future, freedom from reliance on third party silicon providers, and passion to be first with the best solution all create value for our customers. Service providers who want faster time to revenue, lower lifetime TCO, and gigabit+ speeds today choose Casa Systems.
<b>Service and Support</b>	Casa's support engineers own our customers' problems from the first contact (we have no call centers) to resolution with a sense of urgency and ownership — even if the problem turns out to be with another vendor's equipment. This means less network downtime for our customers.

### Road to the Future

<b>Investment Protection</b>	Future engineered design enables transition to DOCSIS 3.1 with no new hardware required and transition to Remote-PHY with the addition of a single new card (the CSC or CCAP Services Card), as well as support for DPoE. Service providers' investments in the C100G are protected as networks evolve toward a more distributed future.
------------------------------	--

<b>Clear Roadmap</b>	Casa's roadmap from today's C100G capabilities through distributed access architectures toward virtualization of key network functions is clearly defined and takes advantage of a winning design that keeps our customers ahead of their competitors.
----------------------	--

## Technical Specifications

System	DOCSIS Features	IP Features
2x600 Gbps switching capacity	Full DOCSIS 3.1 compliance	OSPF v2 and OSPF v3
MPEG switching from any port to any port	Full DOCSIS 3.0 compliance	IS-IS (IPv4 & IPv6)
12 DOCSIS module slots per system	Full EuroDOCSIS 3.0 compliance	RIPv2 and RIPv6
1~11 Downstream modules per system	DOCSIS 3.0 and DOCSIS 3.1 channel bonding	BGP (IPv4 & IPv6)
1~11 Upstream modules per system	DOCSIS 3.1 OFDM channel bonding with SC-QAM	PIM-SM
	DOCSIS 3.0 downstream channel bonding up to 32 channels	IGMP snooping
	DOCSIS 3.0 upstream channel bonding up to 8 channels	IGMP v2 and v3
	DOCSIS 3.0 AES encryption/decryption	Static IP routing
	DOCSIS 3.0 IPv6	DHCP Relay and option 82
	DOCSIS 3.0 Multicast	DHCPv6
	Complete DOCSIS/EuroDOCSIS 1.1 features	DHCP prefix delegation
	DOCSIS/EuroDOCSIS 2.0	Multiple DHCP servers
	A-TDMA (standard)	Proxy ARP
	PacketCable 2.0 compliant	IP subnet bundling
	PacketCable MultiMedia (PCMM) I06	Multiple default routes
	DSG	Access Control Lists
	BSoD L2VPN	L2 MPLS
		L3 MPLS
		L2VPN VLAN Tagging



---

### DOCSIS QAM Module (DQM)

---

The C100G can be flexibly equipped with any of the following DQM modules.

<b>DS 8x96</b>	1,024 channels, 128 channels / port
<b>DS 8x192</b>	Exceeds DOCSIS 3.1 modem capabilities of 2 OFDM (192 MHz) channels per port  Flexible support for multiple SC-QAM channels and OFDM channels

Please refer to the respective datasheets for each of the above modules for details regarding QAM modulations, QAM constellations, Data Rates, Frequency Ranges, Channel Widths, and other technical specifications.

---

### DOCSIS Control and Upstream Modules (DCU)

---

The C100G can be flexibly equipped with any of the following DCU modules.

<b>US 16x8 (16 port I/O option)</b>	8 ATDMA per port (DOCSIS 3.0)  1 OFDMA + 4 ATDMA per port (DOCSIS 3.1)
<b>US 16x8 (32 port I/O option)</b>	4 ATDMA per port

Please refer to the respective datasheets for each of the above modules for details regarding QAM modulations, QAM constellations, Data Rates, Frequency Ranges, Channel Widths, and other technical specifications.

---

---

### Switch and Management Modules (SMM)

---

<b>SMM 2x10G</b>	Two 10 GigE interfaces  Eight GigE interfaces  GigE copper or fiber SFP  Full line-rate support
<b>SMM8x10G</b>	Eight 10 GigE interfaces  Two GigE interfaces  GigE copper or fiber SFP  Full line-rate support

---

### RF I/O Downstream Module (RFD)

---

<b>Number of ports</b>	8 per module
<b>Connector</b>	F-type, 75 Ω

---

### RF I/O Upstream Module (RFU)

---

<b>Number of ports</b>	16 or 32 ports per module
<b>Connector</b>	16 port: F-type, 75 Ω  32 port: MCX

---

### Additional Features

---

- Dynamic upstream & downstream load balancing
  - Spectrum Management
  - Software-defined MAC domains
  - Software channel licensing
  - Ingress cancellation filtering
-

---

## Mechanical

---

<b>Form factor</b>	13RU
<b>Height</b>	21 in. / 533 mm
<b>Width</b>	19 in. / 482 mm
<b>Depth</b>	16 in. / 406 mm
<b>Weight</b>	120 lbs (fully loaded)
<b>Mounting</b>	19 inch, 13 rack unit high
<b>Front panel LED</b>	Power & alarm

---

## Environmental

---

<b>Operating temperature</b>	0° to 50° C
<b>Storage temperature</b>	-40° to 70° C
<b>Operating humidity</b>	5% to 95%, non-cond.
<b>Power requirements (DC)</b>	-40.5 to -60 V (dual)
<b>Power consumption</b>	< 3600 W (nominal)

---

## Regulatory Compliance

---

Designed to NEBS level 3 requirements

Safety: EN/UL/IEC/CAN/CSA/C22.2 60950-1

EMC: FCC Part 15 Class A & CISPR Class A

Immunity: EN61000-4

---

## ANEXO N° 02: Nodo HLN3144



**PWRBlazer™**  
HLN 3144



Scalable Optical Node

- HIGHLIGHTS**
- Full segmentation allows each output to be fed by an optical receiver and/or return transmitter, providing dedicated bandwidth. The demand for dedicated bandwidth increases as the need for narrowcasting services become more widespread.
  - Full output scalability and flexible node configuration permits customizing the node specifically for the RF plant. This tailoring results in lower-cost installation.
  - Two ports, usable for either direct input or direct powering, provide even greater flexibility in network design.
  - Supports highly reliable networks with redundant fiber routes and power.
  - Provides RF functionality out to 1 GHz
  - Applications include trunk cascading and distribution

The PWRBlazer™ Scalable Optical Node addresses the need for a flexible network which can economically deliver today's broadcast services while supporting additional future advanced services.

This easy-to-configure node consists of a housing (NRH 3867A), fiber tray (NFT 3000 or NFT 5000), and various combinations of power supplies (NPS 3815), optical receiver modules (NRM 3111A), return transmitter modules (NTM 3244E, NTM 3245, NTM 3247, NTM 3248L, NTM 3248, NTM 3249, NDT 3049A and NDT 314x), output modules (NOM 3121A) and an optional status monitoring transponder module. By varying the arrangement and interconnection of these modules, the node can be configured many possible configurations. At any time in the future, the node can be easily reconfigured to support changing broadcast needs, or to add narrowcast services, by simply installing and/or removing modules.

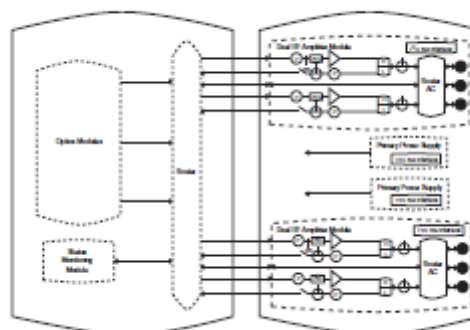
Reconfiguring the node is much less difficult and less costly than rebuilding the RF network, thereby saving system operators valuable time, money and other resources.

The node can support one to four RF output ports. This flexibility allows installation of a node exactly tailored to the RF plant following the node. Operators can also configure the PWRBlazer Scalable Node to support redundant fiber-routes as well as redundant powering. As the majority of services outages are caused by either power outages or fiber breaks, having power and fiber redundancy greatly increases network reliability.



The optional status monitoring transponder interfaces with Harmonic's NETWatch™ Element Management System and many other third party solutions. The transponder provides local and remote monitoring and control of all critical node parameters - a necessity for reliable networks. Redundant elements are not in use unless the operator is aware that a failure has occurred. (However if two power supplies are installed, they are load-sharing.)

### Standard Configuration



**1. Housing (model NRH 386x)<sup>1</sup>**

NRH 3867A Dimensions (WxHxD)	20" x 9" x 11" 51cm x 23cm x 28cm
Weight	35 lbs / 16 kg

**2. Power Supplies (model NPS 38xx)<sup>1</sup>**

NPS 3815	150 W
----------	-------

**3. Output Modules (model NOM 31xx-yy)<sup>1</sup>**

NOM 3121A-30:	Dual amplified output, 5-30 MHz return, 46-1003 MHz forward
NOM 3121A-42:	Dual amplified output, 5-42 MHz return, 52-1003 MHz forward
NOM 3121A-65:	Dual amplified output, 5-65 MHz return, 85-1003 MHz forward

**4. Optical Receivers (model NRM 3111A)<sup>1</sup>**

NRM 3111A	1003 MHz
-----------	----------

**5. Fiber Trays**

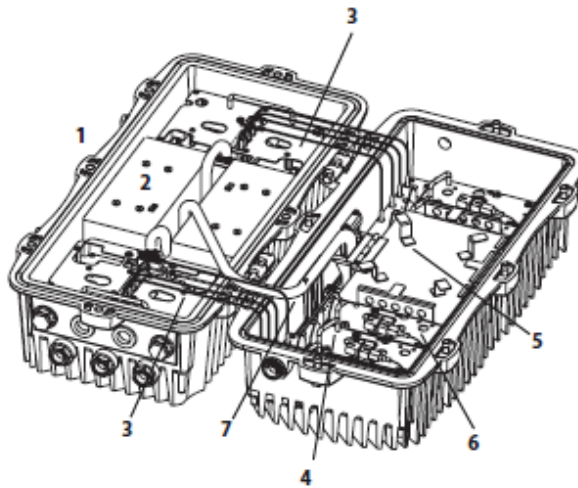
NFT 3000, NFT 5000L
---------------------

**6. Return Transmitters (model NTM 32xx and NDT 30xx)<sup>1</sup>**

NTM 3244E	Isolated 1310 nm, Fabry-Perot laser, 0 dBm <sup>2</sup>
NTM 3245	1310 nm DFB laser, +3 dBm <sup>2</sup>
NTM 3247	Isolated cooled CWDM laser, +3 dBm <sup>2</sup>
NTM 3248	1550 nm DFB laser, +3 dBm <sup>2</sup>
NTM 3248L	1550 nm DFB laser, 0 dBm
NTM 3249	1550 nm DWDM ITU 16 wavelengths, cooled DFB, +8 dBm
NDT 3049A	Digital DWDM uncooled DFB laser, +3 dBm
NDT314x	Digital CWDM, uncooled DFB, +3 dBm
NOA 7014-GF	NODEdfa, gain flattened optical amplifier, +14 dBm

**7. Configuration Modules (model NCM 3xxx)<sup>1</sup>**

<b>Forward</b>	
NCM3800	Jumper
NCM 3801	1x2 splitter
NCM 3802	A/B switch/NCM
NCM 3803	A/B switch with splitter
NCM 3804	Diplex filter 45-550 MHz/600-1003 MHz
NCM 3805	Diplex filter/splitter 50-550 MHz/600-1003 MHz
NCM 3806	Narrowcast highpass filter combiner 550-1003 MHz
NCM 3807	Narrowcast highpass filter combiner/splitter 550-1003 MHz
NCM 3808	Narrowcast highpass filter combiner 650-1003 MHz
NCM 3809	Narrowcast highpass filter combiner/splitter 650-1003 MHz
NCM 3810/3811	Forward splitter for top-bottom segmentation
NCM3813	Narrowcast highpass filter combiner 600 - 1003 MHz
NCM3814	De-segmentation module
NCM3815	Combiner
NCM3816	Combiner/splitter
<b>Return</b>	
NCM3200	Jumper
NCM 3201	2x1 splitter
NCM 3202:	2x2 combiner/splitter
NCM 3203:	Directional coupler
NCM 3204:	Combiner/splitter

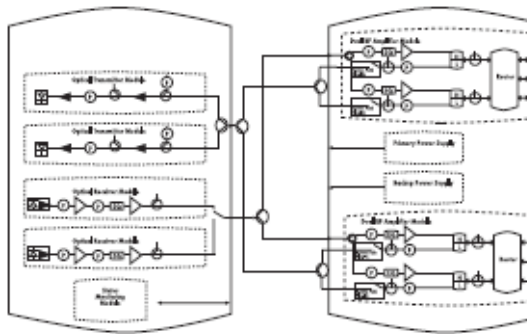


**Notes:**

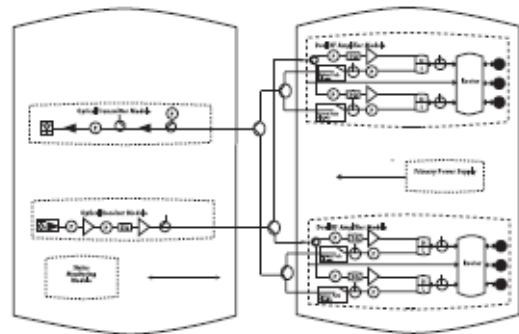
1. For physical information and other detail specifications, please refer to individual product data sheets.
2. The following connector types are available: SC/APC, SC/UPC, FC/APC, FC/UPC.

Typical Configurations

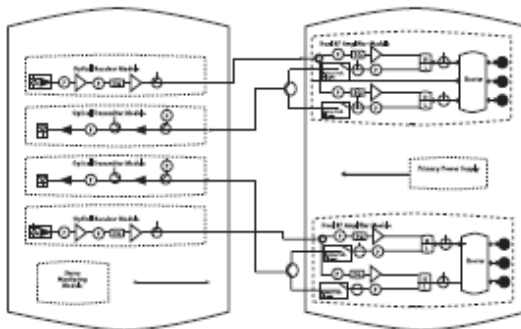
Redundant, Four Output



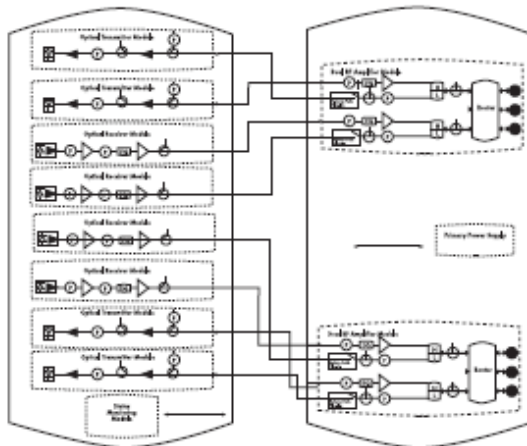
Two-Way, Four Output



Segmented 2 x 2



Fully Segmented 4 x 4



## ANEXO N° 03: Receptor RDR 4002

harmonic

RDR 4002

Return Digital Receiver

### HIGHLIGHTS

- High-speed internet communications
- Pay-per-view
- Video-on-demand
- Telephony
- Security
- Alternative access
- Local origination
- Direct customer feeds

The highly efficient Harmonic RDR 4002 return digital receiver uses state-of-the-art technology to increase system reliability and enables operators to expand network services. The use of Harmonic's digital return path solution in a network offers advantages including:

- High package density (ten RDR 4002 units in a three rack-unit platform provide 40 return data streams)
- Outstanding performance over long links, since the performance of a digital return transmission system is independent of link loss over the operating range of the receiver
- Increased system reliability and reduced operational costs as a result of greater network segmentation

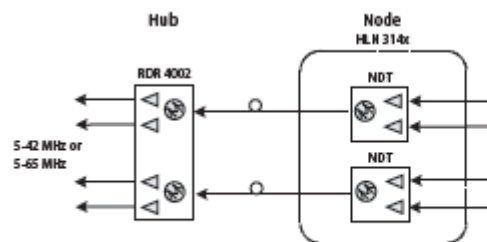
The RDR 4002 works in conjunction with Harmonic's NDT series return digital transmitters. It mounts in the HLP 4200 chassis and takes two optical data streams at up to 3.1 Gbps. Each input is demultiplexed into its two component data streams, resulting in four independent data streams received per module. These are converted back to analog waveforms by four digital-to-analog (D/A) converters.



The four analog output channels from the RDR4002C/E have a 5-65 MHz passband and the RDR4002A has a 5-42 MHz passband. The RDR 4002 uses advanced digital signal processing to optimize dynamic range.

Auto-switching capabilities allow the RDR 4002 to function as a standalone unit or in a redundant pair configuration. One RDR 4002 is used for a primary fiber path and the second for the backup fiber path. The RF outputs of the two units are combined.

For maximum reliability, the RDR 4002 units comprising the redundant pair can be located in different platforms, or even different racks. Automatic switching is triggered by link loss, low optical input or high BER. The RDR 4002 supports hot swapping, which allows a card to be added or removed without disrupting service. This results in improved network management and availability. The RDR 4002 also allows the operator to set the optical level at which an alarm is generated.



Standard Configuration

RDR 4002

Return Digital Receiver

## OPTICAL INPUT

Number of Fiber Optic Inputs	2
Maximum Input	0 dBm
Minimum Input	
RDR 4002A	-20 dBm
RDR 4002C	-18 dBm
RDR 4002E	-18 dBm
Wavelength	1250 to 1620 nm
Input Line Rate	
RDR 4002A	2.1 Gbps
RDR 4002C	3.1 Gbps
RDR 4002E	3.1 Gbps

## RF OUTPUT

Number of Analog Outputs	4
Passband	
RDR 4002A	5-42 MHz
RDR 4002C	5-65 MHz
RDR 4002E	5-65 MHz
Impedance	75 Ω
Flatness <sup>1</sup>	± 1 dB from 5 to 65 MHz
Channel-to-channel Isolation	60 dB
RF output connector type	Female F
RF output return loss	16 dB
RF output level with 0 dB attenuator setting	-35 dBmV/Hz min for a Gaussian noise signal at -20 dBm of received optical power
RF attenuator range	0 to 17.5 dB
RF attenuator step size	0.5 dB
Spurious noise	-90 dBc max
Switching time primary to backup	50 ms max
Switching time backup to primary	2 to 4 Seconds

## OPTICAL INTERFACE

Connector Type	
RDR 4002x-AS	SC/APC
RDR 4002x-AE	E2000

## USER INTERFACE

Front Panel	
Bi-Color Status LED	Normal = Green, Alarm = Red
Module Selection Indicator	Yellow LED
Monitor Point	
Level	-20 dB +/- 1.0 dB relative to output
Return Loss	-16 dB
Impedance	75Ω
Connector Type	Female F

## LINK PERFORMANCE<sup>1</sup>

Link Gain	See NDT3147C, NDT3147E, NDT3249C, NDT3249E, NDT3349A and NDT3049A transmitter datasheets.
Dynamic Range	See NDT3147C, NDT3147E, NDT3249C, NDT3249E, NDT3349A and NDT3049A transmitter datasheets.

## POWER REQUIREMENTS

Input Voltage	+24 VDC; supplied by HLP 4200 bus
Consumption	15 W maximum

## ENVIRONMENTAL

Operating Temperature Range	0° to 50° C 32° to 122° F
Storage Temperature Range	-40° to +85° C -40° to +185° F
Operating Humidity	90% non-condensing

## PHYSICAL

Dimensions (WxHxD)	1.25" x 4.4" x 11.5" (3.2 cm x 11.2 cm x 29.2 cm)
Weight	3.3 lbs (1.5 kg)
Mounting	HLP 4200 platform, via HMC 4008 module carrier

## ELEMENT MANAGEMENT

Monitorable and controllable via NETWatch Site Controller
---

### Notes:

- When used in conjunction with a corresponding Harmonic digital transmitter. For a list of compatible digital transmitters, refer to the user's manual for RDR 4002.



## ANEXO N° 04: Plataforma Cisco Prisma II



Data Sheet

### Cisco Prisma II Platform

In optical transmission systems, the network platform forms the foundation of the product family. The Cisco® Prisma® II platform provides network operators with the unique features that enable the deployment of a carrier class-type network. Advanced features such as high usable module density, broad operating temperature range for field deployment without environmental controls, and a unique design optimized for easy module insertion, setup, and administration make the Prisma II platform the key to increased network reliability, scalability, and more cost-effective deployments.

#### Features

- 1 GHz capable
- High usable module density (up to 13 modules per chassis)
- Operating temperature range suitable for outdoor field deployment
- Solid metal construction
- Low power consumption
- Superior heat dissipation and air circulation
- Front access and rear access chassis available
- Technician-friendly design with easy module insertion and removal, setup, and administration
- High-speed passive backplane to support migration to digital transmission technologies such as Cisco's BDR Digital Reverse System
- Excellent fiber, powering, and RF cable management
- Advanced SNMP-oriented network monitoring and control over multiple network interfaces
- Multiple connector and powering options
- User-friendly alarm setup
- Master / Slave Redundant switching between modules
- Supports Web Browser and Command Line Interface (CLI)

#### Platform Components

The Prisma II platform consists of the following modules/components:

- Chassis with fan tray (front and rear access)
- Power Supply System
- Intelligent Communications Interface Module 2 (ICIM2)
- Module Blanks



Front Access Chassis



Rear Access Chassis



Power Supply System

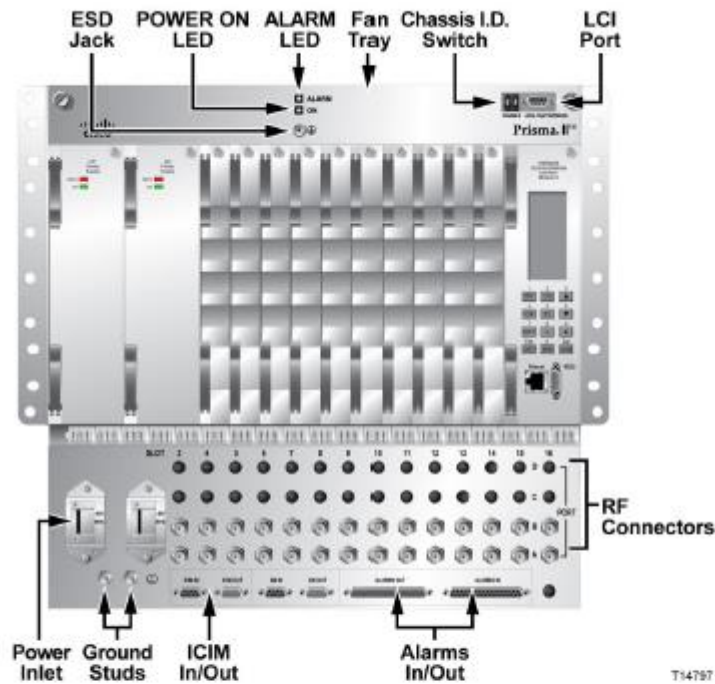


ICIM 2

Data Sheet



## Prisma II Chassis Configuration



T14787

### Slots 1 through 16, left to right

- Slots 1 and 3 are dedicated to power supplies.
- Slots 2 and 4 can accommodate any single width Application Module (i.e., Optical Amplifier, Transmitter, Receiver, etc.).
- Slots 5 through 16 can accommodate any Application Module.
- Intelligent Communications Interface Module 2 (ICIM2), if used, must be installed in slots 15 and 16.  
(Note: An ICIM or ICIM 2 is not required in every chassis.)
- Blanks are required in all unused slots of the chassis to maintain proper cooling for all other modules.
- High-Density Modules require a separate Host Module.

Prisma II products include some of the industry's most complete range of high performance optical components.

For more information, please refer to:

Prisma II 1310 nm High-Density Transmitters  
 Prisma II 1 GHz 1550 nm Transmitters  
 Prisma II 1550 nm Optical Amplifiers  
 Prisma II Forward Optical Receivers  
 Prisma II Reverse Optical Receivers  
 Prisma II Redundancy Interface Panel  
 Ancillary Modules  
 BDR Digital Reverse 2:1 Multiplexing System  
 BDR Digital Reverse 4:1 Multiplexing System

Data Sheet Part Number 7006768  
 Data Sheet Part Number 7009178  
 Data Sheet Part Number 739202  
 Data Sheet Part Number 7011887  
 Data Sheet Part Number 7011888  
 Data Sheet Part Number 751713  
 Data Sheet Part Number 739205  
 Data Sheet Part Number 744484  
 Data Sheet Part Number 746623

## Chassis

### Features

- 1 GHz capable
- Rear access; 10.5" (8 RU) high, 13.5" deep
- Front access; 14.0" (8 RU) high, 11.25" deep
- 19-inch width with mounts available to fit 23-inch rack
- Chassis accommodates 16 single-width modules
- Blind mate (push-on) connectors for RF, power, and data provide complete front access for simplified installation and maintenance
- Advanced fiber handling system accommodates front or rear fiber routing
- Optional Intelligent Communications Interface Module 2 (ICIM2) for element management
- Front panel Local Craft Interface (LCI) port for local module configuration
- Designed for dual, redundant powering via AC or DC power supplies
- Chassis cooling fans for enhanced air circulation and heat dissipation
- Extended operating temperature range (-40°C to +85°C)
- Option for "F" or "BNC" connectors



Front Access Chassis



Rear Access Chassis

## Power Supply System

### Features

- Universal AC (90-265 VAC) and -48 VDC power options
- Designed to be used in fully-redundant configuration
- Uninterruptible transfer to single supply in the event that one power supply module fails
- Modular, front access design and hot-swap capability allow for quick and easy replacement in the event of failure
- Universal AC voltage input (automatically adjusts to voltage input, for AC supply only)
- Power factor correction



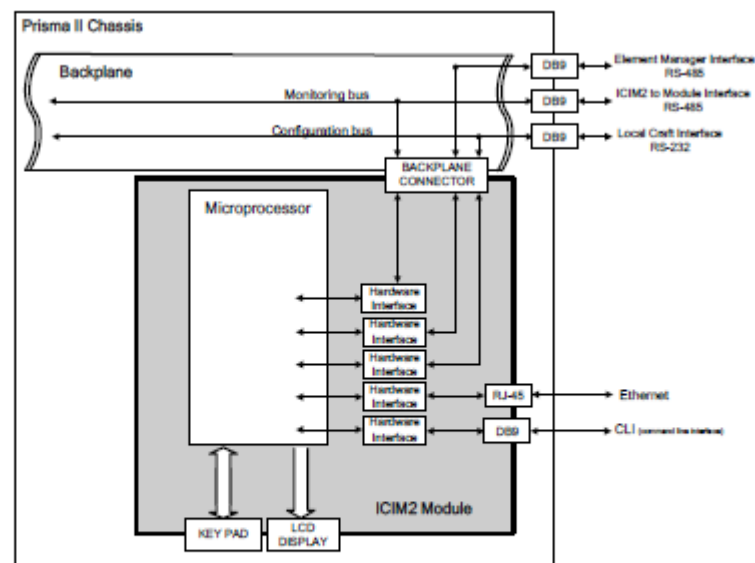
Power Supply System



## Intelligent Communications Interface Module 2 (ICIM2)

### Features

- Functions as the interface between the Prisma II modules and the ROSA/Transmission Networks Control Systems (TNCS) communications bus
- Supports Web Browser and Command Line Interface (CLI) for local and remote management
- Provides early warning of systems faults
- Blind-mate (push-on) connectors for power and data provide complete front access for simplified installation and maintenance
- Allows local module configuration and status monitoring for up to 150 modules<sup>1</sup> or 10 chassis, whichever comes first, including:
  - Prisma II Chassis
  - Prisma II High Density Chassis
  - Prisma II XD Chassis
  - Prisma HDRx Chassis
- SNMP Ethernet interface
- LCD display and keypad
- ROSA/TNCS compatible
  - Remote control and monitoring of individual modules
- SNMP compatible
- Firmware can be upgraded by remote download



### Note:

1. The polling rate is approximately 1 second per module. Assign the number of modules per ICIM2 accordingly.

## Module Blanks

### Description

The Prisma II platform is a high-density platform designed for a broad operating temperature range. This feature allows for field deployment without facility environment controls. The thermal integrity of the platform and air circulation around the modules are critical. All unused module slots in a Prisma II chassis must be filled with a Module Blank.

### Features

- One module slot wide
- Two types of blanks available
  - Power supply blank (slots 1 and 3)
  - Standard blank for all other slots
- Blanks are required in all unused slots of the chassis to maintain proper cooling for all other modules

**Note:** Slots 1 and 3 of the Prisma II chassis are dedicated to power supplies. These two slots require the "Power Supply Blank." All other slots use the "Module Blank."



Module Blank

### Ordering Information

Description	Part Number
Module Blank (pk. 6)	716307
Power Supply Blank (pk. 6)	716308



Cisco and the Cisco logo are trademarks or registered trademarks of Cisco and/or its affiliates in the U.S. and other countries. A listing of Cisco's trademarks can be found at [www.cisco.com/go/trademarks](http://www.cisco.com/go/trademarks).

Third party trademarks mentioned are the property of their respective owners.

The use of the word partner does not imply a partnership relationship between Cisco and any other company. (1009R)

Product and service availability are subject to change without notice.

© 2001-2003, 2007-2008, 2010, 2012 Cisco and/or its affiliates. All rights reserved.

Cisco Systems, Inc.  
1-800-722-2009 or 770-277-1120  
[www.cisco.com](http://www.cisco.com)

Part Number 739199 Rev H  
June 2012

## ANEXO N° 05: Amplificador Cisco EDFA



Data Sheet

### Prisma High Density EDFA

#### Description

The Prisma II optical network allows for best in class architectures with increased reliability, scalability, and cost-effectiveness. The High Density (HD) Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA) is designed to fit into a Prisma XD chassis or a standard full height Prisma II chassis (with the use of a host module). Up to two HD EDFA modules can be populated into a host module which requires a single service slot in the Prisma II chassis.

Figure 1. High Density EDFA



#### Features

- EDFA modules for optical amplification
- High density design allowing up to 16 EDFAs in a Prisma II XD chassis or up to 24 in a full height Prisma II chassis with redundant power supplies
- Energy-efficient design with low power consumption
- EDFA modules have both constant power and constant gain modes of operation
- Master/Slave redundancy using Controller Area Network with no external wiring needed
- Multiple setup and control options
  - Local Control via Local Craft Interface (LCI)
  - Local monitoring via Intelligent Communications Interface Module (ICIM)
  - Remote monitoring via ROSA status monitoring and control element manager

## High Density EDFA Modules

**Table 1.** High Density EDFA Specifications

Optical	Unit	EDFA			Gain-Flattened EDFA				Gain-Flattened EDFA, Variable Gain			Notes
		17 dBm	20 dBm	22 dBm	17 dBm	20 dBm		17 dBm	20 dBm	21 dBm		
Output Power (maximum)	dBm	17	20	22	17	20		17	20	21	1	
Gain	dB	12	15	17	Low	High	Low	High	5 - 17	8 - 20	5 - 15	
					7	12	10	15				
Input Power	dBm	0 to +10			-5 to +10	-10 to +5	-5 to +10	-10 to +5	-14 to +12	-14 to +12	-10 to +16	
Input Wavelength	nm	1530 - 1565			1536 - 1562				1530 - 1562 1528 - 1562 for 17 dBm, 21 dBm			
Output Power Stability	dB	± 0.3			± 0.4				± 0.4			
Return Loss	dB	≥ 50 (exception for input port)			≥ 50				≥ 50			
Polarization Sensitivity	dB	0.3			0.3				0.3			
Noise Figure @ Input Power	dB	5.5 @ 0 dBm			6.5 @ 0 dBm				6.0 @ 0 dBm	6.0 @ 0 dBm	6.0 @ 5 dBm	
Output Power Variation with Wavelength	dB	±0.2			N/A				N/A			
Gain Flatness	dB	N/A			±0.75				±0.75 ±1.0, for 17 dBm and 21dBm over 1528 - 1562 nm			2
Optical Interface	-	SC/APC (2)			SC/APC (2)				SC/APC (2)			
<b>Electrical</b>												
Power Consumption	W	7.5	7.5	9.0	7.5	7.5		7.5	9.0	9.0		
<b>Environmental</b>												
Operating Temp Range	°C				-20 to +65							
	°F				-4 to +149							
Full Spec Storage	°C				-40 to +85							
	°F				-40 to +185							
Humidity Range	%				0 to 95							3
<b>Mechanical</b>												
Length x Height x Width	in.				8.8 x 3.48 x 1.03							
	cm				22.35 x 8.84 x 2.62							

**Notes:**

1. The output power is measured after a typical jumper loss of 0.2 dB.
2. Gain flatness measured under default gain conditions.
3. Non-condensing external to the Prisma II or XD chassis.

## Ordering Information

The part numbers for the High Density EDFAs are shown below. Please consult with your Account Representative, Customer Service Representative, or Systems Engineer to determine the best configuration for your particular application.

Table 2. High Density EDFA Modules

Description	Ordering Code	PID
+17 dBm EDFA	P2-HD-EDFA-17-SA	4037220
+20 dBm EDFA	P2-HD-EDFA-20-SA	4037221
+22 dBm EDFA	P2-HD-EDFA-22-SA	4037222
+17 dBm EDFA Gain-Flattened, Low Gain	P2-HD-EDFA-GF-17L-SA	4037224
+17 dBm EDFA Gain-Flattened, High Gain	P2-HD-EDFA-GF-17H-SA	4037225
+20 dBm EDFA Gain-Flattened, Low Gain	P2-HD-EDFA-GF-20L-SA	4037226
+20 dBm EDFA Gain-Flattened, High Gain	P2-HD-EDFA-GF-20H-SA	4037227
+17 dBm EDFA Gain-Flattened, Variable Gain	P2-HD-EDFA-VGF-17-SA	4043499
+20 dBm EDFA Gain-Flattened, Variable Gain	P2-HD-EDFA-VGF-20-SA	4043500
+21 dBm EDFA Gain-Flattened, Variable Gain	P2-HD-EDFA-VGF-21-SA	4042697



Americas Headquarters  
Cisco Systems, Inc.  
San Jose, CA

Asia Pacific Headquarters  
Cisco Systems (USA) Pte. Ltd.  
Singapore

Europe Headquarters  
Cisco Systems International BV Amsterdam,  
The Netherlands

Cisco has more than 200 offices worldwide. Addresses, phone numbers, and fax numbers are listed on the Cisco Website at [www.cisco.com/go/offices](http://www.cisco.com/go/offices).

Cisco and the Cisco logo are trademarks or registered trademarks of Cisco and/or its affiliates in the U.S. and other countries. To view a list of Cisco trademarks, go to this URL: [www.cisco.com/go/trademarks](http://www.cisco.com/go/trademarks). Third party trademarks mentioned are the property of their respective owners. The use of the word partner does not imply a partnership relationship between Cisco and any other company. (1110R)

Printed in USA

C78-726657-00 02/13

© 2013 Cisco and/or its affiliates. All rights reserved. This document is Cisco Public Information.

Page 3 of 3





## Prisma II 1550 nm Transmitters

The Prisma II optical network is an advanced transmission system designed to optimize network architectures and increase reliability, scalability, and cost-effectiveness. Prisma II 1550 nm Transmitters offer the ultimate in network architecture flexibility with products designed specifically for broadcast or narrowcast transmission to long distances and at various wavelengths.

### Features

- 1 GHz operation for forward path
- Designed to operate within the Prisma II platform
- Multiple channel plans available
- Stimulated Brillouin Scattering (SBS) suppression
- RF predistortion for maximum CNR while maintaining excellent CTB and CSO performance
- Status LEDs indicate module condition and simplify troubleshooting
- Blind-mate (push-on) RF and DC connectors
- RF input test points
- Nonvolatile storage of pre-set operating parameters simplifies installation procedures
- User selectable Automatic Gain Control (AGC)
- Multiple set-up and control options
  - Local control via Local Craft Interface (LCI)
  - Local control via Intelligent Communications Interface Module (ICIM)
  - Remote monitoring via Transmission Network Control System (TNCS)

Figure 1. Prisma 1550 nm Optical Transmitters



### Transmitter Modules

The Prisma II 1550 nm Transmitter Family includes:

- Long Reach Externally-Modulated Broadcast Transmitter (TXL)
- Extended Reach Externally-Modulated Broadcast Transmitter (TXX)
- High-Density Forward QAM Transmitter (TXQ)
- Reverse Directly-Modulated Transmitter (TXR)

## Product Specifications

Table 1. Optical Specifications

Optical	Units	Long Reach & Extended Reach Broadcast Tx	High-Density Forward QAM Tx	Reverse Tx	Notes
Wavelength Range	nm	1545 to 1548	1530-1562	1530-1562	1
• Options	nm	1549 to 1554			
Connector Type					
• SC/APC		Standard	Standard	Standard	
• E2000/APC		Optional	Optional	Optional	
Output Power (minimum)	dBm	+10	+10	+8	
Modulation Type		External	Direct	Direct	
SBS Threshold	dBm	≥ 17.0 (TXL) ≥ 15.0 (TXX)	≥ rated output	≥ rated output	

**Notes:**

1. See Ordering Information for other available ITU wavelengths.

Unless otherwise noted, specifications are based on measurements made in accordance with NCTA Practices for Measurements made on Cable Television Systems using standard frequency assignments and are referenced to the ambient air temperature at the inlet to the Prisma II chassis.

**Table 2.** Electrical Specifications

Electrical	Units	Long Reach & Extended Reach Broadcast Tx	High-Density Forward QAM Tx	Reverse Tx	Notes
Bandwidth	MHz	45-1002	550-1002	5-200	
Broadcast (BC) RF Input Required nominal RF Input Level per Ch:					
40 NTSC ch's (Low or High)	dBmV	23	N/A	N/A	1
78 NTSC analog ch's with: -200 MHz QAM (550-750 MHz) @ -5 dB	dBmV	19.5	N/A	N/A	1
-450 MHz QAM (550-1000 MHz) @ -6 dB	dBmV	19.0	N/A	N/A	1
64 PAL B/G analog ch's with: -150 MHz QAM (600-750 MHz) @ -5 dB	dBmV	20.5	N/A	N/A	1
-400 MHz QAM (600-1000 MHz) @ -6 dB	dBmV	20.0	N/A	N/A	1
59 PAL D/K analog ch's with: -150 MHz QAM (600-750 MHz) @ -5 dB	dBmV	21.0	N/A	N/A	1
-400 MHz QAM (600-1000 MHz) @ -6 dB	dBmV	20.5	N/A	N/A	1
16 QAM ch's	dBmV	N/A	+22.0 ± 1.5	N/A	2,3
Narrowcast (NC) RF Input Required RF Input Level per Ch (QAM): -for QAM @ -6dBc relative to analog ch's	dB	+6	N/A	N/A	
Required RF Input Level per Ch (analog): -for equal amplitude analog ch's (BC & NC)	dB	+12 (above Broadcast RF analog level)	N/A	N/A	
Reverse RF Input	dBmV/Hz	-	-	-39 to -55	4
Front Panel RF Test Point • Relative to Input	dB	Broadcast Input -20 ± 0.5 Narrowcast Input -32 ± 0.5	Broadcast Input -20 ± 1.0	-20 ± 1.0	
RF Input Return Loss	dB	16	16	16	
Frequency Response • 5 MHz - 200 MHz • 45 MHz - 550 MHz • 45 MHz - 1002 MHz	dB	N/A ± 0.50 ± 0.75	N/A N/A ± 0.75	± 0.75 N/A N/A	
Power Consumption (maximum)	W DC	45	7.5	15	

**Notes:**

- RF input levels specified are with Tx AGC off.
- For the High Density Forward QAM Tx with 16 QAM channels, -8 dBm input to the receiver, and -6 dB RF Δ between the broadcast and narrowcast (QAM) signal.
- For the Forward QAM Tx or High Density QAM Tx, as used in 8 wavelength DWDM narrowcast network HE ⇒ HUB architecture.
- RF drive level range to achieve a 42 dB Noise Power Ratio (NPR) with 40km of fiber and 35 MHz noise loading.

Unless otherwise noted, specifications are based on measurements made in accordance with NCTA Practices for Measurements made on Cable Television Systems using standard frequency assignments and are referenced to the ambient air temperature at the inlet to the Prisma II chassis.



Cisco, Cisco Systems, the Cisco logo, the Cisco Systems logo, Scientific Atlanta, and Prisma, are registered trademarks or trademarks of Cisco Systems, Inc. and/or its affiliates in the U.S. and certain other countries.  
All other trademarks mentioned in this document are trademarks of their respective owners.  
Specifications and product availability are subject to change without notice.  
© 2009 Cisco Systems, Inc. All rights reserved.

Cisco Systems, Inc.  
1-800-722-2009 or 678-277-1120  
www.scientificatlanta.com

Part Number 7009178 Rev F  
May 2009