

**UNIVERSIDAD CATOLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**  
SISTEMA DE POSTGRADO

TESIS FINAL

Previo a la obtención del grado de

**MASTER EN TELECOMUNICACIONES**

**TÍTULO DE LA PROPUESTA DE INTERVENCIÓN:**

PROPUESTA DE LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE BANDA ANCHA  
MEDIANTE EL EMPLEO CONJUNTO DE TECNOLOGÍAS CATV Y PLC

**AUTOR:**

ING. ADOLFO VILLALVA FRANCO

**TUTOR:**

Msc. MANUEL ROMERO PAZ

**Guayaquil, Febrero / 2012**



## Índice General

ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
AGRADECIMIENTOS .....	ix
DEDICATORIA .....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT .....	xii
CAPÍTULO 1: GENERALIDADES .....	1
<b>1.1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. ANTECEDENTES.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>2</b>
<b>1.4. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>3</b>
<b>1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>1.5.1. OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>3</b>
<b>1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>3</b>
<b>1.6. IDEA A DEFENDER .....</b>	<b>4</b>
<b>1.7. METODOLOGÍA .....</b>	<b>4</b>
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE DE LA TECNOLOGÍA PLC .....	6
<b>2.1. Introducción PLC .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2. EVOLUCIÓN DE LA TECNOLOGÍA PLC .....</b>	<b>10</b>
<b>2.3. INTRODUCCIÓN A BPL (BANDA ANCHA).....</b>	<b>11</b>
<b>2.4. TÉCNICAS DE MODULACIÓN PARA BANDA ANCHA PLC. ....</b>	<b>15</b>
<b>2.4.1. MODULACIÓN POR DIVISIÓN ORTOGONAL DE FRECUENCIA (OFDM).....</b>	<b>17</b>
<b>2.4.2. ESPECTRO EXPANDIDO POR SECUENCIA DIRECTA (DSSS).....</b>	<b>22</b>
<b>2.5. APLICACIONES DE PLC.....</b>	<b>26</b>
<b>2.5.1. APLICACIONES INTERNAS.....</b>	<b>26</b>
<b>2.5.2. ÚLTIMA MILLA.....</b>	<b>27</b>
<b>2.6. DESVENTAJAS DE PLC DE BANDA ANCHA.....</b>	<b>29</b>
<b>2.7. VENTAJAS DE PLC SOBRE OTRAS TECNOLOGÍAS DE ACCESO A BANDA ANCHA.....</b>	<b>29</b>
<b>2.8. PLC Y EL MODELO OSI .....</b>	<b>30</b>
CAPÍTULO 3: ESTADO DEL ARTE DEL SISTEMA CATV .....	37
<b>3.1. INTRODUCCIÓN AL SISTEMA CATV. ....</b>	<b>37</b>

<b>3.2. TOPOLOGÍA DE LA RED CATV.....</b>	<b>38</b>
3.2.1. Red troncal primaria.....	39
3.2.2. Red secundaria o de distribución.....	40
3.2.3. Red terciaria o de dispersión.....	40
3.2.4. Red de distribución de coaxial.....	41
3.2.5. Red de acometida de abonado.....	41
<b>3.3. Puntos singulares de la red .....</b>	<b>42</b>
<b>3.4. Terminal direccionable de abonado.....</b>	<b>58</b>
<b>CAPÍTULO 4: PROPUESTA DEL DISEÑO DE LA RED DE BANDA ANCHA MEDIANTE CATV Y PLC. ....</b>	<b>61</b>
<b>4.1. Consideraciones genéricas de la tecnología CATV. ....</b>	<b>62</b>
4.1.1. Requerimiento de los planos.....	62
4.1.2. Arquitectura de la red .....	63
4.1.2.1. Diseño de la red HFC.....	65
4.1.2.2. Arquitectura estratégica de niveles de banda ancha para aumentar confiabilidad. ....	66
4.1.3. Cálculos del diseño HFC.....	69
4.1.4. Estructura de la Red de Datos .....	70
<b>4.2. FUNCIONAMIENTO DE UNA RED PLC .....</b>	<b>73</b>
4.2.1. CONSIDERACIONES DE CÁMARAS DE TRANSFORMACIÓN ..	76
4.2.2. ESTRUCTURA DE LAS CÁMARAS DE TRANSFORMACIÓN.....	77
4.2.2.1. Equipos y elementos.....	77
4.2.2.2. Red de Media y Baja Tensión .....	78
4.2.3. CONSIDERACIONES DEL DISEÑO .....	79
4.2.3.1. RED ELÉCTRICA.....	79
4.2.3.2. RED DE DATOS.....	80
<b>4.3. OBTENCIÓN DE LA POTENCIA DEL Tx (<math>P_{\min}</math>).....</b>	<b>81</b>
<b>4.4. COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DE LA RED.....</b>	<b>84</b>
<b>CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>87</b>
<b>5.1. CONCLUSIONES .....</b>	<b>87</b>
<b>5.2. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>88</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>92</b>
<b>ANEXO B.....</b>	<b>96</b>
<b>ANEXO C .....</b>	<b>97</b>

ANEXO D .....	99
ANEXO E.....	101
ANEXO F .....	102
ANEXO G .....	104
ANEXO H .....	106
ANEXO I .....	108
ANEXO J .....	112

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Capítulo 2

Figura 2. 1: muestra una red típica de distribución de energía eléctrica europea.....	8
Figura 2. 2: Red de distribución de energía eléctrica en una ciudad europea.].....	9
Figura 2. 3: Unidad de acondicionamiento.....	12
Figura 2. 4: Topología típica de BPL.....	13
Figura 2. 5: Diagrama de bloques del proceso de modulación de una señal. ....	15
Figura 2. 6: Esquemas de modulaciones digitales no utilizados en PLC. ....	16
Figura 2. 7: Subportadoras en OFDM.....	18
Figura 2. 8: Representación de la señal OFDM.....	19
Figura 2. 9: Comparación espectral una señal modulada en OFDM frente al espectro de una señal modulada QPSK. ....	20
Figura 2. 10: Visualización espectral de una señal modulada OFDM con 1024 (multiplex) portadoras.] .....	21
Figura 2. 11: Visualización espectral de una señal modulada QPSK una portadora .....	21
Figura 2. 12: Diagrama de bloques DSSS donde, (a) es un transmisor BPSK en secuencia directa, (b) transmisor BPSK en secuencia directa simplificado, y (c) Receptor BPSK en secuencia directa.] .....	23
Figura 2. 13: Comparación de la modulación FHSS y DSSS. ....	26
Figura 2. 14: Aplicación de PLC interna.....	27
Figura 2. 15: Conexión de última milla PLC. ....	28
Figura 2. 16: Estructura de una red de acceso PLC. ....	29
Figura 2. 17: Comunicación inalámbrico entre PC y NXT a través del bluetooth.....	31
Figura 2. 18: Pila del protocolo de control 802.1 de PLC.....	33
Figura 2. 19: Trama empleada en la tecnología PLC.....	34

### Capítulo 3

Figura 3. 1: Diseño básico de una red CATV o HFC. ....	38
Figura 3. 2: Topología de una red CATV. ....	38
Figura 3. 3: Distribuciones física en a) anillo y b) estrella.....	39
Figura 3. 4: Esquema de la cabecera de red.....	44
Figura 3. 5: Diagrama esquemático de un transmisor óptico de camino descendente. ....	48
Figura 3. 6: Diagrama esquemático de recepción óptica de camino descendente. ....	49

Figura 3. 7: Nodo primario en modo descendente.....	50
Figura 3. 8: Nodo primario en modo ascendente.....	52
Figura 3. 9: Diagrama de bloques de un nodo secundario. ....	54
Figura 3. 10: Diagrama de bloques de un canal descendente en un nodo óptico terminal.....	56
Figura 3. 11: Diagrama de bloques de un canal ascendente en un nodo óptico terminal.....	57
Figura 3. 12: Configuración de la conexión del decodificador del abonado hacia la red. ....	58
Figura 3. 13: Terminales direccionable del abonado, (a) Nodo óptico, (b) Splitter y (c) tap.....	59

## Capítulo 4

Figura 4. 1: Área de cobertura en la ciudad de Manta. ....	61
Figura 4. 2: Requerimientos de levantamiento terminado de Telmex. ....	63
Figura 4. 3: Estructura de árbol y ramas usada en las redes CATV. ....	64
Figura 4. 4: Arquitectura del backbone de fibra óptica.....	64
Figura 4. 5: Arquitectura HFC. ....	65
Figura 4. 6: Puntos de posibles fallas en el diseño convencional HFC....	66
Figura 4. 7: Puntos de posibles fallas en el diseño blaster. ....	67
Figura 4. 8: Áreas de servicio multicélulas.....	68
Figura 4. 9: Diseño blaster. ....	68
Figura 4. 10: Diseño blaster por nodos (8000 casas pasadas).....	69
Figura 4. 11: Diseño de Forward.....	70
Figura 4. 12: Diseño de retorno. ....	70
Figura 4. 13: Estructura de una red de datos para banda ancha.....	71
Figura 4. 14: Cabecera de módems de cable .....	73
Figura 4. 15: Funcionamiento de tecnología PLC.....	75
Figura 4. 16: Elementos que componen el Transformador trifásico.....	77
Figura 4. 17: Ingreso de los circuitos a la Red de Baja Tensión. ....	78
Figura 4. 18: Definición potencia óptica en el receptor. ....	82

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1: Valores de asignación binaria en modulación DSSS.....	25
Tabla 2. 2 : Valores estimados de las velocidades de canal PLC.....	36
Tabla 4. 1 : Equipos y características.....	77
Tabla 4. 2 : Valores del flujo en la transmisión por la red PLC .....	81
Tabla 4. 3: Costos de la Red HFC .....	85
Tabla 4. 4: Costos de la red PLC .....	86

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero y antes que nada, dar gracias a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Agradecer hoy y siempre a mi familia por el esfuerzo realizado por ellos. El apoyo en mis estudios, de ser así no hubiese sido posible. A mis padres y demás familiares ya que me brindan el apoyo, la alegría y me dan la fortaleza necesaria para seguir adelante.

Un agradecimiento especial al Msc. Edwin Palacios y Msc. Manuel Romero, por la colaboración, paciencia, apoyo y sobre todo por esa gran amistad que me brindaron y me brindan, por escucharme y aconsejarme siempre.

## DEDICATORIA

Le dedico primeramente mi trabajo a Dios fué el creador de todas las cosas, el que me ha dado fortaleza para continuar cuando a punto de caer he estado; por ello, con toda la humildad que de mi corazón puede emanar.

De igual forma, a mis Padres, Vicente y Patricia a quien le debo toda mi vida, les agradezco el cariño y su comprensión, ya que han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante buscando siempre el mejor camino. A mi novia Ibelia que ha sido un apoyo fundamental en todo momento.

A mis maestros, gracias por su tiempo, por su apoyo así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional por haber guiado el desarrollo de esta tesis de grado y llegar a la culminación del mismo.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación de intervención para obtener el título de Magister en Telecomunicaciones, trata una propuesta de trabajar en forma conjunta las tecnologías CATV y PLC para comunicación de banda ancha a desarrollarse en la ciudad de Manta, provincia de Manabí. El desarrollo del mismo involucra la empresa privada (CLARO) y la pública (CNEL-Manabí) para de esta manera poder satisfacer las necesidades de las empresas que brindan servicios de banda ancha.

Se describe el estado del arte de las tecnologías CATV y PLC, para lo cual se exploraron las diferentes partes que conforman una Red de empleo conjunto de las tecnologías anteriormente mencionadas, así como conocer los parámetros de atenuación y calcular las distancias en la que se empleará la fibra óptica como medio de transmisión hacia la red PLC. También se consideró la presencia de la señal de ruido específicamente en la Red PLC, que por lo general proviene desde la casa de los clientes o usuarios finales, se analizaron las técnicas de modulación como OFDM y DSSS que son las más utilizadas para este inconveniente y seguido a esto, se diseñó la nueva red para la ciudad de Manta.

Después de describir la fundamentación teórica, y de acuerdo a las normas de Motorola, empresa encargada de proveer a CLARO tecnología para este tipo de comunicaciones, se procedió a realizar el cálculo teórico de los diferentes parámetros de la Red para la frecuencia de portadora empleada, situada dentro del rango de frecuencias dado por CNEL Manabí. Para finalizar, procedimos a ejecutar el diseño final de todos y cada uno los componentes de la Red conjunta CATV y PLC:

## ABSTRACT

This intervention research for the degree of Master of Telecommunications is a proposal to work jointly PLC technology for CATV and broadband communications to take place in the city of Manta, Manabí province. It involves the development of private enterprise (CLARO) and public (CNEL-Manabí) to thereby meet the needs of companies that provide broadband services.

It describes the state of the art technologies and CATV PLC, for which explored the different parts that make up a network of joint use of the aforementioned technologies and know the attenuation parameters and calculate the distances to be used in optical fiber as a transmission medium to the PLC network. Also considered the presence of the noise signal specifically PLC Network, which usually comes from the house of the customers or end users, we analyzed the modulation techniques like OFDM and DSSS are the most commonly used for this inconvenience and Following this, the new network was designed for the city of Manta.

After describing the theoretical foundations, according to the rules of Motorola, companies that provide technology to CLARO these communications, we proceeded to perform the theoretical calculation of the parameters of the network to the carrier frequency used, located within the given frequency range CNEL Manabí. Finally, we proceeded to execute the final design of every component of the joint CATV Network and PLC.

## **CAPÍTULO 1: GENERALIDADES**

### **1.1. INTRODUCCIÓN**

En este Capítulo se presenta el marco introductorio que motivó la realización del presente trabajo investigativo, el avance tecnológico acelerado en el ámbito de las Telecomunicaciones van ganando mayor importancia en el mundo, permitiendo hacer más sencillas las comunicaciones para la sociedad, y al mismo tiempo favoreciendo al número de usuarios para acceder a los servicios de Telecomunicaciones, siendo su crecimiento o incremento de manera exponencial.

Las nuevas tecnologías que pueden implementarse al máximo, es en el sector urbano, donde por lo general son aplicados con mayor facilidad. En los sectores rurales no se aprecia el acceso de las comunicaciones siendo mucho más limitado. Esto contribuye a que la información que circula a diario por medio de las Telecomunicaciones se encuentre alejada de este sector, impidiendo un constante desarrollo del mismo. Asimismo, actualmente existen diversos programas cuyo fin es apoyar el desarrollo de las Telecomunicaciones rurales en Ecuador.

En el caso particular del presente trabajo, se analizará la factibilidad de utilizar la tecnología PLC (nombrados en idioma inglés como *Powerline Communications* – Comunicaciones utilizando las redes eléctricas) como medio de reducción de la brecha de acceso a las tecnologías de Telecomunicaciones existente entre zonas urbanas y rurales, comparando si la utilización de la misma es más o menos beneficiosa que la utilización de otras tecnologías alternativas.

Se piensa en la tecnología PLC como una buena alternativa ya que las redes eléctricas se encuentran más desarrolladas en el sector rural, por lo que estas podrían ser bien aprovechadas para brindar acceso de manera sencilla y sin la necesidad de desplegar infraestructura.

## 1.2. ANTECEDENTES

La comunicación a través de la red eléctrica existe desde hace bastante tiempo, aunque sólo se ha utilizado para aplicaciones de control remoto de repetidores de banda estrecha, alumbrado público y automatización de hogares. La banda ancha a través de PLC se empezó a utilizar a finales de la década del 90:

- En 1950 a través de una frecuencia de 10 Hz, una alimentación de 10 kW, y una vía de un solo sentido se puede alumbrar ciudades y control remoto de repetidor.
  
- A mediados de la década del 80, se iniciaron investigaciones relacionadas con el uso de la red eléctrica para transmisión de datos, en bandas de entre 5 y 500 Khz, siempre en una sola dirección.
  
- En 1997 se realizaron las primeras pruebas de transmitir señales bidireccionales de datos a través de la red de suministro eléctrico, donde grandes empresas como **Ascom** (Suiza) y **Norweb** (Inglaterra) iniciaron profundas investigaciones.
  
- A inicios del año 2000, las primeras pruebas fueron realizadas en Francia por EDF R&D y Ascom.

## 1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La tecnología CATV que se despliega a través del diseño de la red propuesta para dar cobertura a la ciudad de Manta mediante la red HFC (Híbrida de Fibra y Cobre), asimismo la tecnología PLC de banda ancha puede transmitir datos a través de la red de suministro eléctrico en la ciudad de manta, para extender una red de área local o compartir una conexión a Internet existente a través de los enchufes eléctricos mediante la instalación de unidades específicas.

En principio se utiliza la tecnología CATV y en forma conjunta en sectores de difícil acceso la tecnología PLC que consiste en superponer una señal de alta frecuencia (de 1,6 a 30 MHz) en niveles bajos de energía a través de una señal eléctrica de 50 Hz. Esta segunda señal se transmite a través de la infraestructura eléctrica y se puede recibir y decodificar de manera remota. De esta forma, recibirá la señal cualquier receptor PLC que se ubique en la misma red eléctrica.

#### **1.4. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Necesidad de prestar servicios de banda ancha utilizando las tecnologías CATV y PLC para transmisión de datos en sectores urbanos donde existe la red HFC (Red híbrida de cobre y fibra óptica) y a través de la Red de distribución eléctrica donde exista cobertura de la red HFC.

#### **1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

Una vez planteado la definición del problema del presente trabajo investigativo se propondrán el objetivo general y los específicos.

##### **1.5.1. OBJETIVO GENERAL**

Elaborar una propuesta que permita la prestación de servicios de banda ancha mediante el empleo conjunto de las tecnologías CATV y PLC.

##### **1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

En virtud de que en la actualidad ya existen sistemas que permiten la transmisión de datos a través de banda ancha se han planteado tres premisas fundamentales para alcanzar los propósitos del Objetivo General:

1. Revisar el estado del arte de las tecnologías CATV y PLC para transmisión de datos de banda ancha para la ciudad de Manta.
2. Caracterizar las ventajas y desventajas relativas de las tecnologías CATV y PLC.

3. Diseñar la red de banda ancha mediante CATV y PLC, que cumpla con las siguientes especificaciones: Bajo coste, eficiente y cobertura en el perímetro de la ciudad de Manta.

### **1.6. IDEA A DEFENDER**

Mediante la propuesta de prestar servicios de banda ancha empleando en forma conjunta las tecnologías CATV y PLC para la ciudad de Manta, permitirá que la mencionada ciudad acceda a servicios que otros operadores de cable no ofrecen; en el caso de UNIVISA y TVCable.

### **1.7. METODOLOGÍA**

Es un estudio de carácter **Explicativo**, pues se pretende evaluar las tecnologías CATV y PLC que proporcionan transmisión de datos en banda ancha, también interesa explicar por qué ocurre el fenómeno (uso de las tecnología conjuntas CATV y PLC para abarcar toda la ciudad de Manta).

#### **Paradigma:**

Empírico-Analítico

#### **Enfoque:**

Cuantitativo

#### **Diseño de la Investigación:**

**No experimental Transversal.-** Puesto que no se manipularán deliberadamente las variables de estudio, se procederá a la observación directa del fenómeno tal y como se da en su contexto natural, y luego se procederá a su análisis respectivo.

**Validez**

Por las características del estudio y los resultados obtenidos, se puede apreciar claramente que cumple con los criterios de la validez interna de una investigación científica.

## CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE DE LA TECNOLOGÍA PLC

### 2.1. Introducción PLC

En la actualidad la tecnología de la información y comunicación (TIC), el enfoque es tanto la creación como la dispersión de la información. Con el fin de poder llegar a cada uno de los usuarios finales para el suministro de información, las tecnologías populares actualmente en uso incluyen los cables de teléfono, cable Ethernet, tecnologías de fibra óptica, inalámbrica y satelital. Sin embargo cada uno tiene sus limitaciones de costo y la disponibilidad para llegar al máximo número de usuarios.

La ventaja de utilizar líneas de alta tensión eléctrica como medio de transmisión de datos es que todos los edificios y hogares cuentan con la red eléctrica y se conectan fácilmente a la misma red. El transportar información por línea eléctrica (PLC) como un nuevo sistema de comunicación que utiliza el cableado existente de electricidad de corriente alterna como el medio de la red para ofrecer alta velocidad de los puntos de acceso a la red casi cualquier lugar donde haya una toma de CA.

En la mayoría de los casos, la construcción de una red doméstica mediante el cableado eléctrico de CA es más fácil que tratar de pasar los cables, más seguro y más fiable que los sistemas de radio inalámbricos, como 802.11b y relativamente barato [Owen, 2002]. Para la mayoría de pequeñas oficinas, esta es una excelente solución para los problemas de red.

PLC son unas siglas que pueden tener dos significados: *Programmable Logic Controller* (Controlador lógico programable) y *Power Line Communications* (Comunicaciones utilizando las líneas eléctricas). Para el presente trabajo investigativo nos quedaremos con la última definición o interpretación de esta sigla. Las "comunicaciones a través de la red eléctrica" son capaces de incorporar cualquier tecnología que admita la transferencia de datos con velocidades de banda estrecha o

banda ancha a través de las líneas eléctricas convencionales mediante el uso de modulación con tecnología avanzada para propósitos de comunicación.

La tecnología PLC utiliza de manera provechosa la red eléctrica convirtiéndola en una línea digital de alta velocidad para transmisión de datos, permitiendo, entre otras cosas, el acceso a Internet mediante banda ancha. Dependiendo del país, institución y compañías, la manera de poder transmitir o comunicar a través de la red eléctrica se agrupan bajo muchos nombres diferentes:

- ✓ PLC (Power Line Communications)
- ✓ PLT (Power Line Telecommunications)
- ✓ PPC (Power Plus Communications)

Durante muchos años, se han construido sistemas de comunicación analógicos bajo ancho de banda y la información digital a través de líneas residenciales, comerciales y de energía de alta tensión. PLC se han considerado para la transmisión de electricidad en el pasado. Sin embargo, con la aparición de las tecnologías de redes modernas, incluyendo banda ancha, de ahí la necesidad más que nunca de los proveedores de servicios públicos y de servicios para descubrir soluciones que permitan ofrecer a los consumidores a un costo mínimo y de máximo rendimiento.

Recientemente las empresas tienen una seria necesidad donde giró la atención a la comunicación sobre líneas de conducción eléctrica para el objetivo de interconexión de datos. El potencial de la red eléctrica es utilizado como un medio poderoso capaz de entregar datos completos a altas velocidades y no solamente electricidad o señales de control, así como el contenido de los multimedia, que está siendo explorado en la actualidad.

Desde los acontecimientos en el campo de redes eléctricas la interconexión es relativamente nueva, la información sobre todo es dispersada y hay una falta de material de referencia colectivo que resume las tecnologías existentes, para soluciones disponibles y tendencias tecnológicas en las comunicaciones PLC. Antes de entrar en la profundidad de aspectos técnicos, una breve introducción de la distribución de energía eléctrica sigue.

Para la discusión del presente trabajo de graduación, los términos PLC o circuito de red eléctrica residencial (RPC<sup>1</sup>) o la distribución de los sistemas de comunicación en línea (DLC<sup>2</sup>) se refiere a la parte de baja tensión de la red de distribución de energía eléctrica. Básicamente, se compone de todo lo que unido al lado secundario del transformador de distribución, es decir la de tensión media (MV) y de baja tensión (LV) del transformador, incluyendo la red de baja tensión dentro de las instalaciones del consumidor/cliente y todas las cargas que se le atribuye.

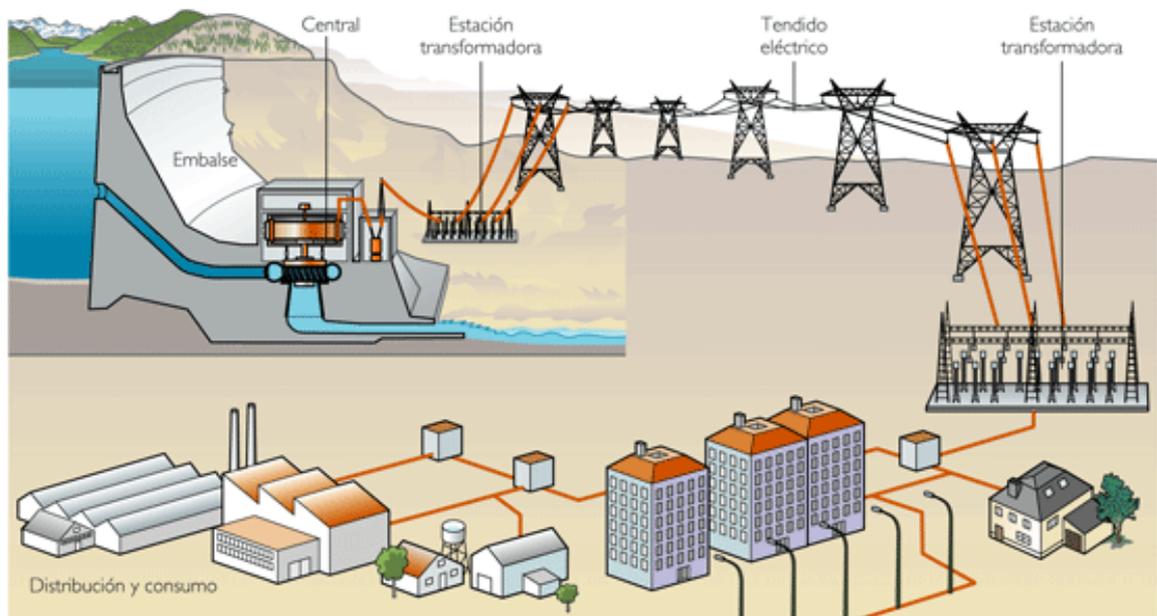


Figura 2. 1: muestra una red típica de distribución de energía eléctrica europea.  
[Olaf, 1998]

<sup>1</sup> RPC, *residential powerline circuit*

<sup>2</sup> DLC, *distribution line communication*

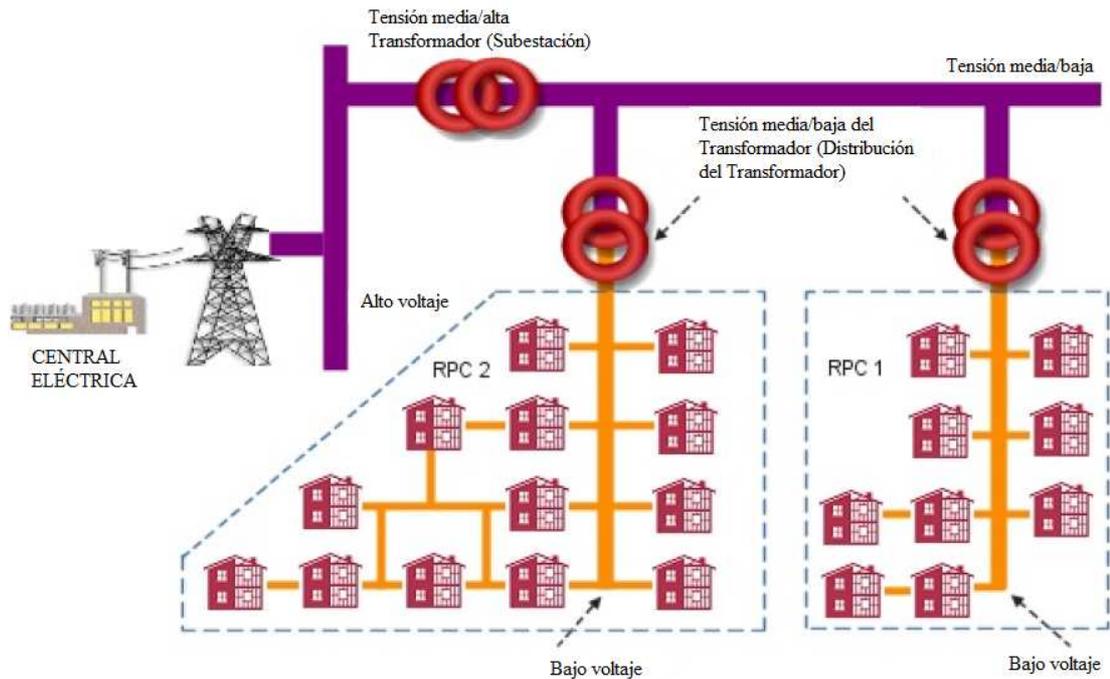


Figura 2. 2: Red de distribución de energía eléctrica en una ciudad europea. [Olaf, 1998]

La tecnología PLC permite brindar servicios de telecomunicaciones hasta el cliente o abonado mediante la red eléctrica, a través de la red de distribución de baja tensión (BT) existente, entre el centro de transformación y la terminal de red como medio de transmisión de voz y datos. La señal PLC opera en el rango de frecuencias de bajo tráfico, dicho rango espectral se ubica en la Banda de HF (*High Frequency*, alta frecuencia) comprendida entre 1.6 y 30 MHz, también conocida como “onda corta”.

La tecnología PLC utiliza los enchufes convencionales convirtiéndola en conexiones que brindan servicios de telecomunicaciones más avanzados como es el caso de: Internet a alta velocidad y con él la integración de todos los servicios que oferta, como son: la Telefonía IP<sup>3</sup> (telefonía integrada con datos), mensajería, videoconferencia, televisión

<sup>3</sup> Telefonía IP: La señal analógica de la voz es convertida en señal digital que puede transitar por Internet. La calidad del sonido en las redes TCP/IP depende del ancho de banda del que se dispone.

interactiva, radio y música, juegos en red, domótica<sup>4</sup>, la creación de redes privadas etc. Esta tecnología constituye una alternativa real a las actuales tecnologías de acceso de banda ancha.

La tecnología PLC es considerada últimamente como nueva tecnología de banda ancha ofreciendo velocidades iguales o superiores a los 2 Mbps, con dicha velocidad es posible ofrecer servicios multimedia a un mayor número de clientes para acceder al Internet, específicamente en áreas distantes. En otras palabras los cables de distribución de energía eléctrica que llegan a las casas de los usuarios son el medio de transporte de energía eléctrica convirtiéndole además, en un medio de transporte de servicios de telecomunicaciones. Es decir que la tecnología PLC aparece como competidora directa del par de cobre telefónico, de la fibra, del cable, de las redes radio y del satélite.

## **2.2. EVOLUCIÓN DE LA TECNOLOGÍA PLC**

Los sistemas de telecomunicaciones por redes de distribución de energía eléctrica PLC y más recientemente como *Broadband Powerline* (BPL), son un nuevo tipo de sistema que tiene su antecesor en el denominado "Onda Portadora por Línea de Alta Tensión" (OPLAT), pero con capacidad de proveer una tasa de transferencia de datos significativamente mayor (miles de veces), en topología de red mallada en vez de radial [Gómez, 2004][Brown, 1999].

Como ya habíamos mencionado, la idea no es nueva y ya en 1950 se había creado un sistema que permitía a las empresas de energía eléctrica controlar el consumo, el encendido del alumbrado público y el valor de las tarifas eléctricas por medio de una señal de baja frecuencia (100 Hz) que viajaba a través de los cables de la red en un solo sentido.

---

<sup>4</sup> Domótica: se refiere a la automatización y control (encendido/apagado, apertura/cierre y regulación) de aparatos y sistemas de instalaciones eléctricas y electrotécnicos (iluminación, climatización, persianas y toldos, puertas y ventanas motorizados, el riego, etc.) de forma centralizada y/o remota.

A mediados de 1980 iniciaron investigaciones sobre el uso de los cables eléctricos como nuevo medio de transmisión de datos y a fines de esa década se pudo conseguir transmitir información en ambas direcciones. Mientras que a finales de 1990 consiguieron que dicha transmisión trabajará a velocidades suficientemente elevadas. Esto permitió brindar las bases suficientes y necesarias a un fenómeno en el campo de las telecomunicaciones, como acceder a Internet. Por lo que en estudios avanzados indican que llegan a alcanzar velocidades que rondan los 200 Mbps, velocidad que por demás supera a la ya conocida tecnología ADSL.

### **2.3. INTRODUCCIÓN A BPL (BANDA ANCHA)**

Esta tecnología conocida como acceso a banda ancha por internet obviamente por PLC tiene el potencial para interconectar a través de las instalaciones eléctricas internas: de casas, oficinas, edificios, computadoras y periféricos. Considerados como eficaces y competitivos en sistemas de "última milla" para servicios de datos, voz y video en Banda Ancha a bajo costo. Los sistemas PLC consisten en utilizar módems (dispositivos terminales) que se enchufan a la red de suministro eléctrico, no sólo para alimentarse sino para utilizarla como medio de enlace de datos a otros terminales.

Es decir que las unidades de usuario (UU) abastecen interfaces para datos (USB, Ethernet) y casualmente telefonía fija analógica sobre 2 hilos (FXS). Las unidades de usuario reportan a las unidades de concentración (UC), y estas a su vez a enrutadores y/o switches para producir conmutación local o hacia otras redes (Telefonía Pública, Internet, etc.).

Las unidades de concentración suelen tener la capacidad de establecer entornos VLAN, pudiendo prescindir del enrutador para este servicio [IEC, 2003]. Para este sistema es necesario un acondicionamiento de la infraestructura existente en la Red eléctrica, como se muestra en la figura 2.3, las redes normalmente pueden

transmitir señales regulares de baja frecuencia en 50 o 60 Hz. y señales mucho más altas, sobre 1 MHz. sin que ambas frecuencias se molesten entre sí, ya que las de baja frecuencia llevan energía mientras que las de alta frecuencia llevan los datos.

El sistema BPL emplea una red condicionada de alta frecuencia de energía (HFPCN), para transmisión de datos y señales eléctricas, asimismo, emplea una serie de unidades de acondicionamiento o concentración denominada anteriormente (UC) para así filtrar dichas señales por separadas. La unidad de concentración envía en forma conjunta electricidad y datos a los enchufes del abonado u oficinas, y cuando son decodificados los datos, los envía a un módulo de comunicación.



Figura 2. 3: Unidad de acondicionamiento

Fuente: <http://www.blogger.com/feeds/8278729939162470944/posts/default>

Las unidades de acondicionamiento (UC) se ubican generalmente al pie de los transformadores de media tensión (MT) a baja tensión (BT), y con sus correspondientes unidades de usuario conforman celdas, en las cuales se introducen unidades repetidoras (UR) para favorecer la cobertura de señal sobre la red. Las unidades de una celda comparten un ancho de banda bajo demanda, que actualmente oscila entre 2,5 y 45 Mbps según el proveedor.

En la actualidad las redes BPL han evolucionado para brindar soluciones a transmisiones de datos con velocidades que llegan hasta los 200 Mbps, permitiendo interconectar estas celdas entre sí y/o con el enrutador central utilizando como enlace troncal las redes de media tensión (en nuestro país usualmente 13,2 kV). En la Figura 2.4 se ilustra una topología típica de BPL, donde las estaciones o subestaciones locales sirven como servidores que enlazan a Internet, a mediante el empleo de fibra óptica o cable coaxial del tipo Banda Ancha, el resultado final, es similar a una Red de área local (LAN).

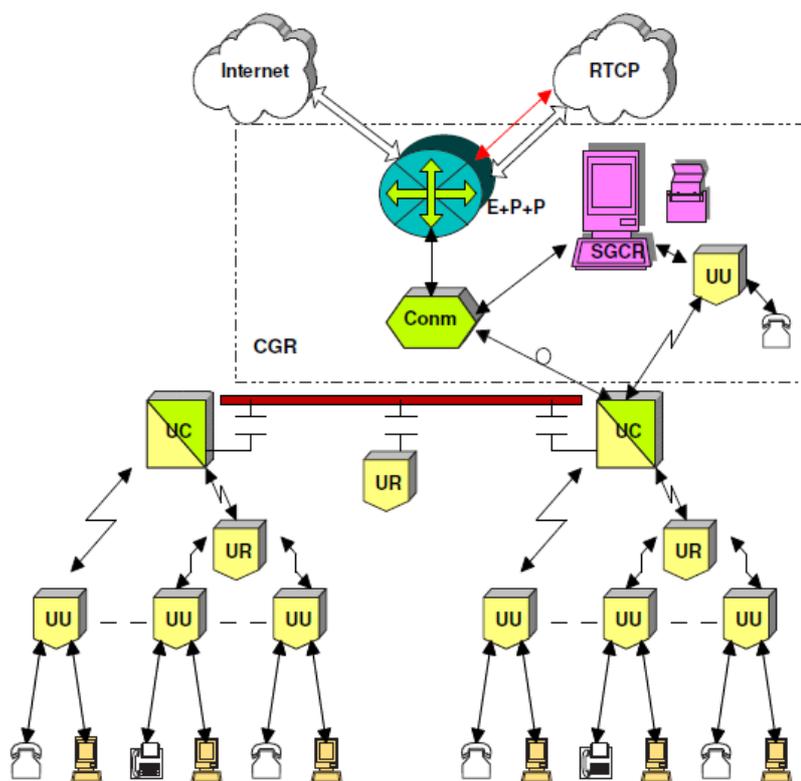


Figura 2. 4: Topología típica de BPL

Fuente: [http://www.epen.gov.ar/archivos/educativo/D2\\_10.pdf](http://www.epen.gov.ar/archivos/educativo/D2_10.pdf)

Donde:

UU: Unidad Usuario

UC: Unidad Concentradora

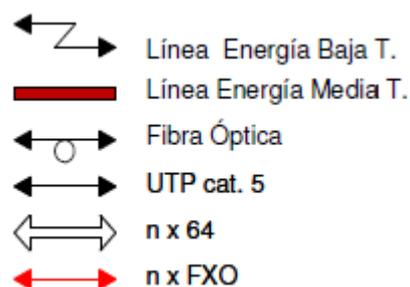
UR: Unidad Repetidora

Conm: Conmutador (Switch)

E+P+P: Enrutador + pasarela + portero

SGCR: Sistema de Gestión y Control

CGR: Centro de Gestión de Red



Generalmente empleamos la red de media tensión (MT) entre 2.4 kV y 35 kV y en los transformadores de las líneas de distribución de 220 V o 380 V de baja tensión (BT), logrando acceder a internet a altas velocidades. El empleo de PLC implica el despliegue de la tecnología en dos capas principales, la física (energía eléctrica de consumo) y la de datos o de comunicaciones. La combinación tecnológica de la red y de la capa física permite que los datos sean transmitidos a alta velocidad sobre las líneas de energía, para uso general de los usuarios de forma ininterrumpida, sin errores, de manera intacta y asegurada (cifrado).

Los dispositivos principales dentro de la capa física son los acopladores. La función principal de éstos es la de acoplar señales PLC entre las líneas de baja y media tensión, así como los dispositivos de puente que típicamente son los transformadores de la Red. El uso de la Red Eléctrica existente significa reducción de costos y proporciona un acceso a la Banda Ancha y a la interconexión entre dispositivos. Históricamente, los sistemas de PLC, estaban limitados a velocidades de transferencia de datos relativamente bajas, típicamente menos de 500 Kbps.

Los sistemas de baja tasa de transferencia (500 Kbps) todavía se utilizan en interruptores de instalaciones domésticas y empresas proveedoras de servicios eléctricos para supervisión de sistemas, comunicaciones de datos y telefonía conocida como una aplicación de telecontrol tal cual es nuestro estudio. Ahora dichos sistemas emplean técnicas de acceso al medio muy modernas y eficientes, con altos rendimientos Bit/Baudio, inmunidad al ruido y tolerancia a los cambios eléctricos del medio (DSSS<sup>5</sup>, OFDM<sup>6</sup>). A nivel de usuario la conectividad está proporcionada en base al conjunto de protocolos TCP/IP, proveyendo a los equipos terminales capacidades multimedia en base a los estándares H.323 y complementarios [Mainnet-PLC, 2011].

---

<sup>5</sup> DSSS, espectro ensanchado por secuencia directa (inglés *direct sequence spread spectrum* o DSSS)

<sup>6</sup> OFDM, Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales, en inglés *Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)*

## 2.4. TÉCNICAS DE MODULACIÓN PARA BANDA ANCHA PLC.

La infraestructura existente para transmisión de energía eléctrica se considera como un medio bastante ruidoso, no sólo hay que afrontar la atenuación de la señal que se deseamos transmitir por este medio, sino que también se debe sortear eventos tales como el arranque y parada de equipos, también los interruptores de diferentes tipos, algunos de ellos con emisiones de radiación que afortunadamente se ven atenuadas a los pocos metros, existiendo otros muchos más perjudiciales, como por ejemplo aquellos que ponen en marcha ascensores y aparatos de aire acondicionado, emitiendo señales de mucha mayor intensidad, que hacen prácticamente que sea imposible transmitir señales de información a través de las líneas eléctricas de potencia, sin antes establecer técnicas de modulación que permitan minimizar estos efectos indeseados [Álvarez, 2011].

El canal de PLC es un ambiente muy hostil. Las características de un canal de PLC tienden a variar en tiempo, situación y con los cambios de carga, lo que justifica técnicas de modulación robustas. El PLC usado para el propósito de comunicación requiere esquemas de modulación sofisticados, ver la figura 2.5 el proceso de modulación. El tipo de modulación depende de la señal moduladora a transmitir, la cual puede ser:

- Analógica (voz y video)
- Digital (voz y videos digitalizados y datos de PC).

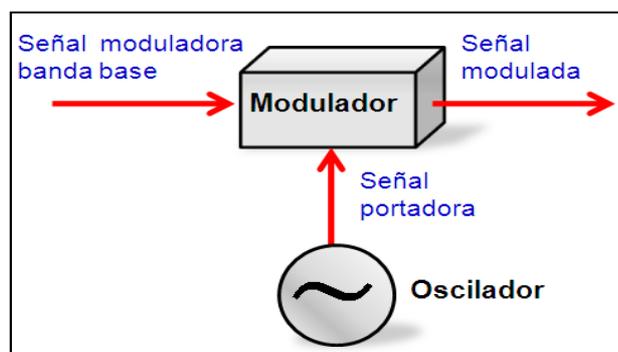


Figura 2. 5: Diagrama de bloques del proceso de modulación de una señal.  
Fuente: <http://www.slideshare.net/edisoncoimbra/31-introtransmisionporradio>

Las técnicas de modulación (ver figura 2.6) convencionales como ASK<sup>7</sup>, PSK<sup>8</sup> o FSK<sup>9</sup> normalmente son excluidos por la conducta hostil del canal de PLC. Una posible solución para superar los problemas en un canal de comunicaciones de este tipo, es usar un método de modulación robusta. Si el método de modulación puede ocuparse de la atenuación desconocida, así como de los cambios de fase desconocidos, entonces el receptor puede simplificarse.

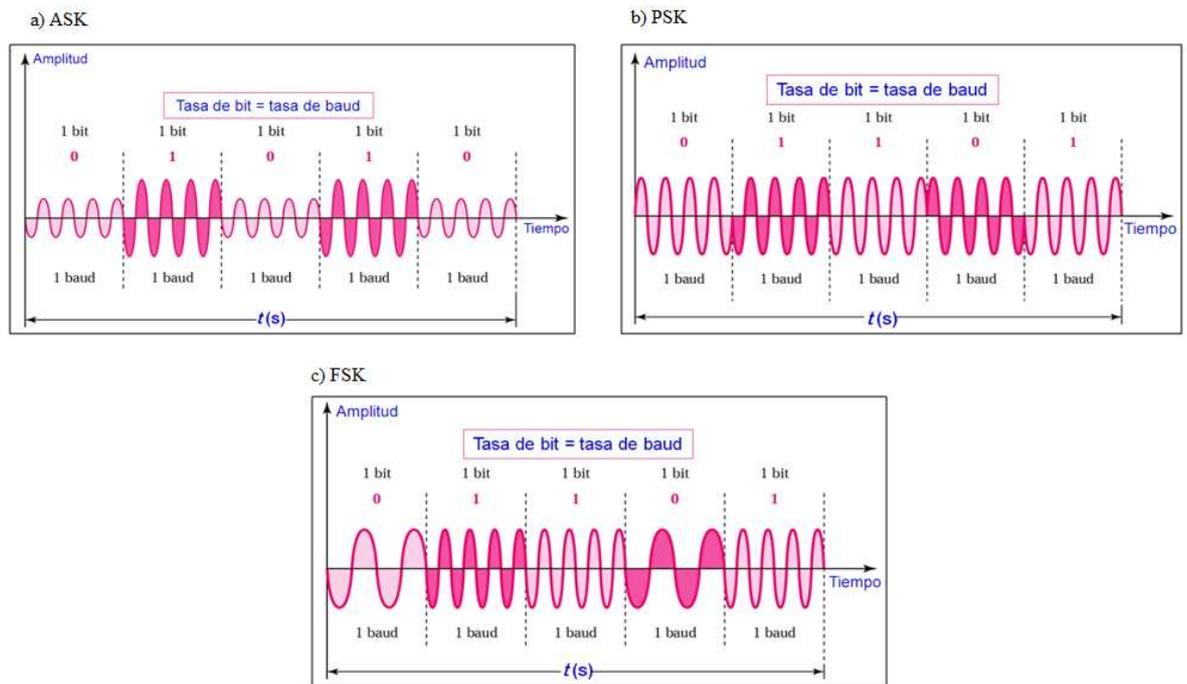


Figura 2. 6: Esquemas de modulaciones digitales no utilizados en PLC.

Fuente: <http://www.slideshare.net/edisoncoimbra/31-introtransmisionporradio>

El problema es combinar estos requisitos con una alta tasa de bits, necesaria en las comunicaciones de las computadoras actuales y las limitaciones del ancho de banda en el canal PLC. Dos métodos de modulación cumplen con todos estos requisitos y esos son OFDM, DSSS. [Ds2, 2011]

<sup>7</sup> ASK: Modulación Digital de amplitud, consiste en cambiar la senoide entre dos valores posibles, utilizados para comunicaciones ópticas.

<sup>8</sup> PSK: Modulación digital de fase, no es usado directamente, es la base para entender otros sistemas de modulación de fase multinivel. Consiste en variar la fase de la senoide de acuerdo a los datos. Para el caso binario, las fases que se seleccionan son 0 y  $\pi$ .

<sup>9</sup> FSK: Modulación digital de frecuencia, Consiste en variar la frecuencia de la portadora de acuerdo a los datos. Si la fase de la señal FSK es continua, es decir entre un bit y el siguiente la fase de la senoide no presenta discontinuidades.

#### **2.4.1. MODULACIÓN POR DIVISIÓN ORTOGONAL DE FRECUENCIA (OFDM).**

También denominada como modulación por multitono discreto, en inglés *Discrete Multitone Modulation* (DMT), es una modulación que consiste en enviar la información modulando en QAM o en PSK un conjunto de portadoras de diferente frecuencia. [Hrasnica, 2004] Normalmente se realiza la modulación OFDM tras pasar la señal por un codificador de canal con el objetivo de corregir los errores producidos en la transmisión, entonces esta modulación se denomina COFDM, del inglés Coded OFDM.

Debido al problema técnico que supone la generación y la detección en tiempo continuo de los cientos, o incluso miles, de portadoras equiespaciadas que forman una modulación OFDM, los procesos de modulación y demodulación se realizan en tiempo discreto mediante la IDFT y la DFT respectivamente. La modulación OFDM es muy robusta frente al multitrayecto, que es muy habitual en los canales de radiodifusión, frente al desvanecimiento debido a las condiciones meteorológicas y frente a las interferencias de RF.

Debido a las características de esta modulación, las distintas señales con distintos retardos y amplitudes que llegan al receptor contribuyen positivamente a la recepción, por lo que existe la posibilidad de crear redes de radiodifusión de frecuencia única sin que existan problemas de interferencia. Este sistema de modulación consiste en enviar la información no sobre una única portadora, sino sobre un múltiplex de muchas portadoras “adecuadamente espaciadas” en frecuencia (ver figura 2.7), repartiendo la información entre todas ellas, de forma que aunque la velocidad de modulación del conjunto sea muy elevada, la de cada portadora individual es pequeña, simplificando el problema de propagación multitrayecto.

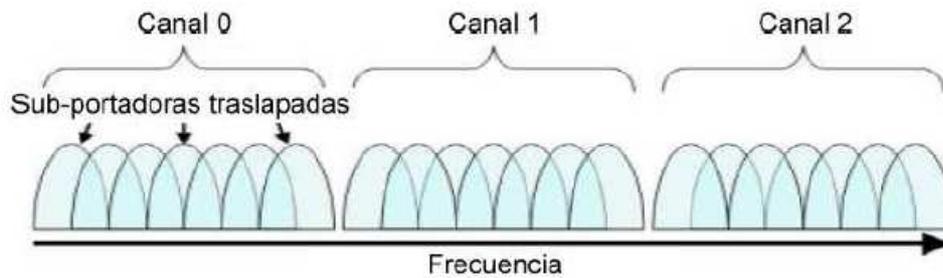


Figura 2. 7: Subportadoras en OFDM [Hrasnica, 2004].

Lo que diferencia al OFDM de otros procedimientos de multiplexación en frecuencia es la ortogonalidad, pues el “espaciamiento adecuado” entre portadoras es un espaciamento óptimo. Este espaciamento consiste en que la separación espectral entre portadoras consecutivas es siempre la misma e igual al inverso del periodo de símbolo, de forma que la señal OFDM se puede expresar, en notación compleja, como:

$$s(t) = \sum_{i=-N/2}^{N/2-1} d_i e^{j[2\pi(f_c + \frac{i}{T})]t}$$

Donde:

$f_c$  es la frecuencia central

$T$  es el período de símbolo.

$d_i$  es el símbolo que lleva la información.

$s(t)$  es la señal OFDM en el tiempo

La figura 2.8 se puede observar la representación de tres portadoras ortogonales. Viendo una señal OFDM en el tiempo se aprecia que en el periodo de la portadora más baja caben varios periodos de las otras portadoras, alineadas todas en fase, mientras que en la representación espectral el máximo de cada portadora coincide con un nulo de las demás.

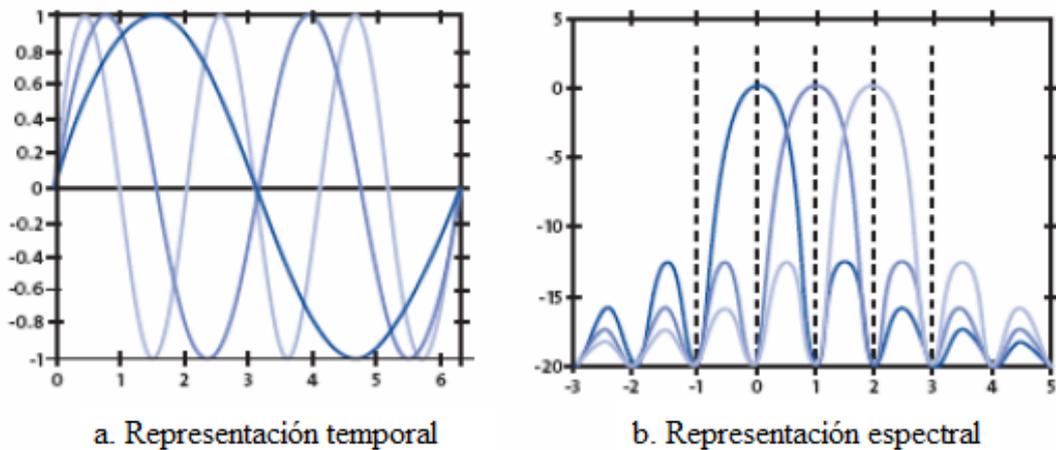


Figura 2. 8: Representación de la señal OFDM. [Hrasnica, 2004]

En principio, podría parecer que modulación y demodulación de una señal OFDM requeriría tantas cadenas transmisoras y receptoras como portadoras tuviese el múltiplex. Si esto fuese así, el sistema sería inviable, pues un múltiplex de decenas o centenares de portadoras implicaría equipos terminales con decenas o centenares de cadenas transceptoras. Afortunadamente, sólo se requiere una cadena en cada sentido de transmisión, que modula o demodula todas las portadoras a la vez.

Si se examina la ecuación de OFDM, se comprueba que una señal OFDM en realidad es la transformada inversa de Fourier de los coeficientes  $d_i$ , y, en consecuencia, los coeficientes son la transformada directa de  $s(t)$ . Por consiguiente, la acción de modular y demodular todas las portadoras a la vez de una señal OFDM consiste básicamente en aplicar los algoritmos de la transformada rápida de Fourier, muy conocidos y fáciles de implementar en los procesadores digitales.

La ortogonalidad proporciona otra ventaja añadida: un mecanismo para eliminar, o reducir tanto como se quiera, el problema de la interferencia por propagación multitrayecto. Este mecanismo consiste en ampliar la duración correspondiente al periodo símbolo mediante un tiempo de guarda superior al máximo retardo diferencial entre los trayectos significativos. Durante la ampliación temporal se repite, o

amplía, parte del propio símbolo, por lo cual se conoce a la ampliación como extensión cíclica.

La justificación de por qué esta extensión elimina el problema de la propagación multitrayecto, la veremos en capítulos posteriores. En lo que se refiere a la modulación de las portadoras, el símbolo  $d_i$  en un múltiplex OFDM en cada portadora se modula con una información diferente, aunque, por facilidad de implementación, el sistema de modulación suele ser el mismo para todas ellas, como QPSK o  $n^2$ -QAM.

Además, se suelen reservar algunas portadoras para transmitir información de sincronismo y ecualización espectral, o bien para establecer canales de servicio. Las señales QPSK producen un espectro cuyo ancho de banda se puede expresar como  $BW = (1 + \alpha)R_s$ . En OFDM, las portadoras adyacentes a la de información, pueden solaparse tal y como se ve en la figura 2.9.

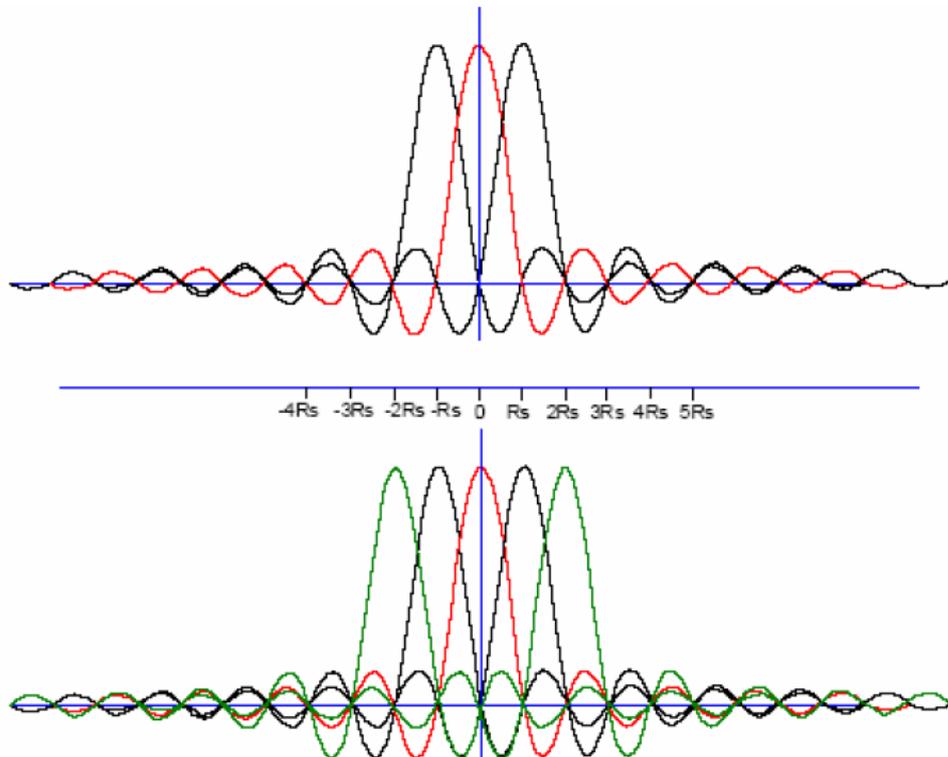


Figura 2. 9: Comparación espectral una señal modulada en OFDM frente al espectro de una señal modulada QPSK. [Hrasnica, 2004]

La suma de dos portadoras, permite ahora transmitir  $3R_s$  sobre un ancho de banda de  $[-2R_s, 2R_s]$ . Esto produce una eficiencia espectral de  $4/3$  Hz por símbolo para tres portadoras o una de  $6/5$  para 5 portadoras. Como regla general se cumple que si añadimos N portadoras, la eficiencia espectral vendrá dada por  $(N+1)/N$  Hz por símbolo. Así, cuanto mayor sea el número de portadoras, mayor eficiencia. En la figura 2.10 se muestra el espectro de una señal OFDM. Cabe destacar que el rango de la señal que no nos interesa disminuye rápidamente 50 dB y si comparamos ese espectro con el de la figura 2.11, comprobamos como ésta tiene mucha menor varianza y además las bandas laterales no disminuyen tan súbitamente.

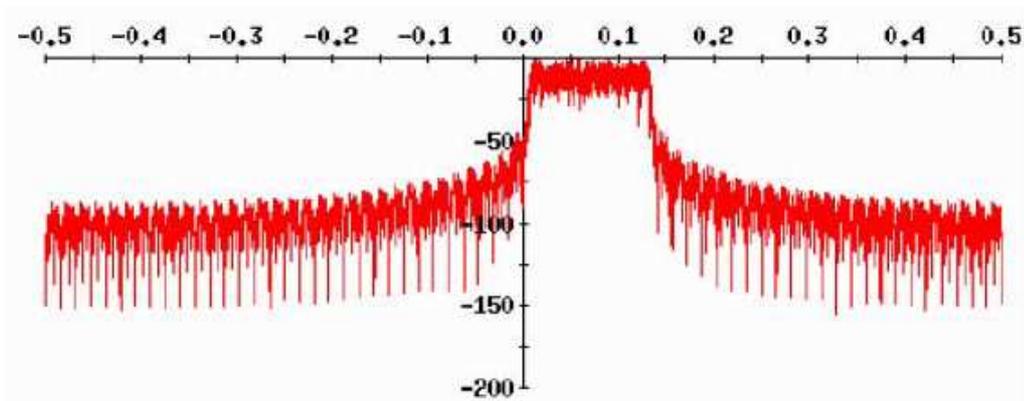


Figura 2. 10: Visualización espectral de una señal modulada OFDM con 1024 (multiplex) portadoras. [Hrasnica, 2004]

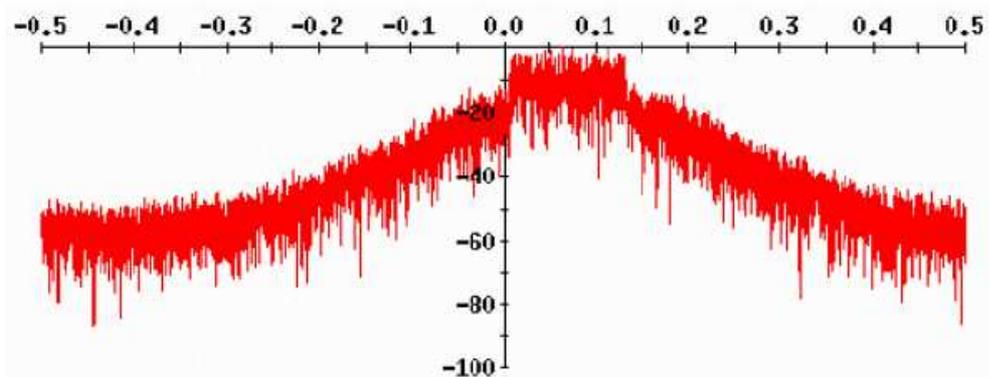
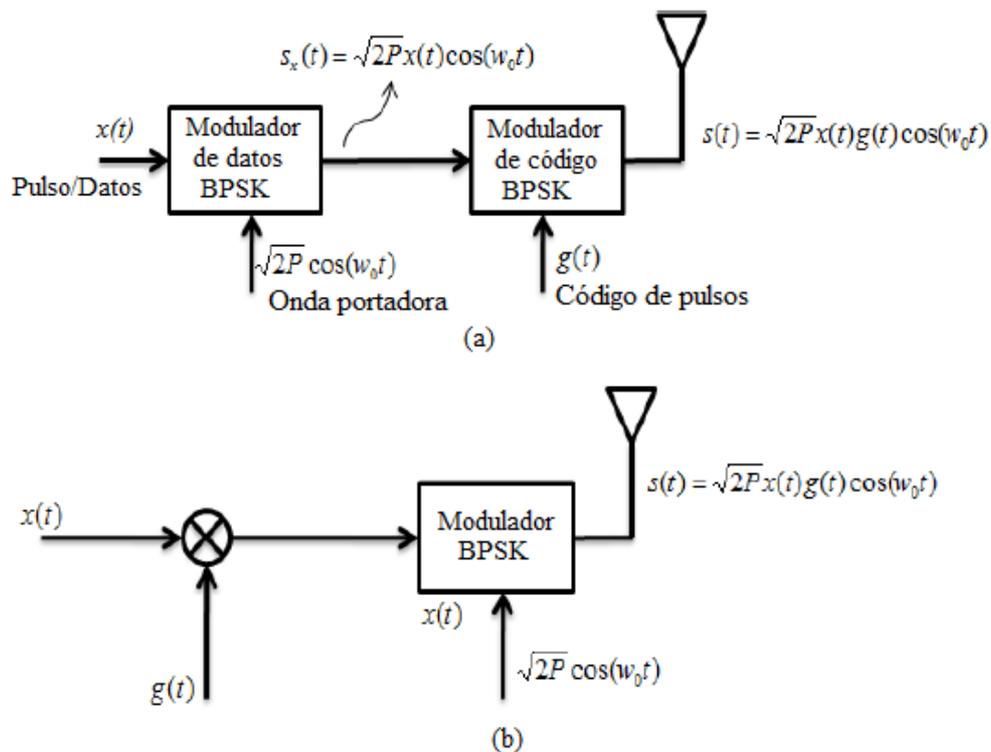


Figura 2. 11: Visualización espectral de una señal modulada QPSK una portadora. [Hrasnica, 2004]

OFDM se considera como un sistema eficiente y flexible para trabajar en un medio como la red eléctrica, ya que el rango espectral queda dividido en ranuras (slots), cuyo ajuste permite que los equipos se adapten dinámicamente a las condiciones del medio, potenciando aquellas frecuencias donde el ruido es menor y anulando el uso de frecuencias donde el ruido es elevado; es decir, OFDM puede usar o dejar de usar cualquier subcanal de frecuencia con el fin de mantener una óptima tasa de error.

#### 2.4.2. ESPECTRO EXPANDIDO POR SECUENCIA DIRECTA (DSSS).

En la figura 2.12 se presenta un diagrama de bloques donde nos muestra un modulador de espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS). El nombre de secuencia directa se le da a la técnica de espectro expandido en la cual la señal portadora es primero modulada con la señal de datos  $x(t)$ , para después ser nuevamente modulada a través de un código de pulsos de característica pseudo-aleatoria  $g(t)$ . Finalmente se obtiene la señal  $s(t)$  que es la que toma el amplio y difuso ancho de banda de la secuencia pseudo-aleatoria utilizada en la modulación.



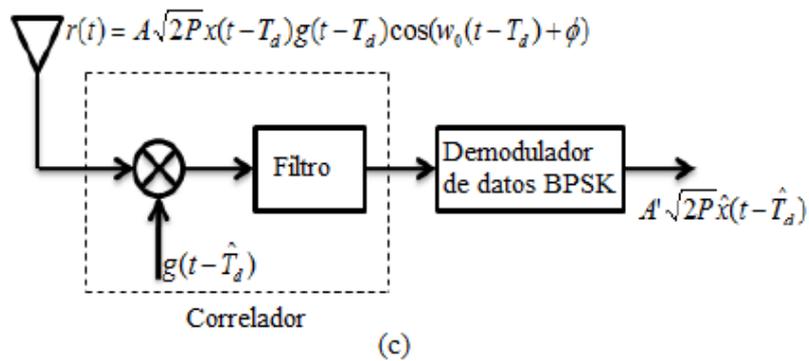


Figura 2. 12: Diagrama de bloques DSSS donde, (a) es un transmisor BPSK en secuencia directa, (b) transmisor BPSK en secuencia directa simplificado, y (c) Receptor BPSK en secuencia directa. [Sklar, 2000]

Si consideramos a la portadora con una potencia  $P$ , la cual permitirá modular los datos de manera constante con frecuencia  $w_0$  y con fase de modulación  $\phi_x(t)$ , la cual produce una señal modulada definida por la siguiente ecuación: [Sklar, 2000]

$$S_x(t) = \sqrt{2P} \cos[w_0 t + \phi_x(t)]$$

Consiguientemente, es necesaria realizar otra modulación, para este caso, la señal  $S_x(t)$  contiene la señal original modulada en BPSK, permitiendo modular de forma constante la señal de pulso pseudo-aleatorios  $g(t)$ , por lo tanto la señal resultante se expresaría así:

$$s(t) = \sqrt{2P} \cos[w_0 t + \phi_x(t) + \phi_g(t)]$$

De esta última ecuación se puede apreciar que el ángulo de fase de la portadora tiene dos componentes,  $\phi_x(t)$  y  $\phi_g(t)$  originados por los datos y secuencia de expansión respectivamente. La señal  $s(t)$  contiene información (datos) a transmitir, la cual cuenta con un espectro bastante amplio debido al código pseudo-aleatorio. Es decir, que la señal  $s(t)$  abandona el espectro de banda angosta característica de la modulación BPSK, tomando el amplio ancho de banda del código de pulsos.

Esta tecnología se genera un patrón de bits redundante (señal de chip) para cada uno de los bits que componen la señal. Cuanto mayor sea esta señal, mayor será la resistencia de la señal a las interferencias. El estándar IEEE 802.11 recomienda un tamaño de 11 bits, pero el óptimo es de 100. En recepción es necesario realizar el proceso inverso para obtener la información original.

También es posible expresar una equivalencia de la ecuación  $S_x(t) = \sqrt{2P} \cos[w_0 t + \phi_x(t)]$  en términos de la multiplicación de la portadora por  $x(t)$ , introduciendo un pulso opuesto con una secuencia de valores +1 y -1, quedando la ecuación:

$$S_x(t) = \sqrt{2P}x(t) \cos(w_0 t)$$

Asimismo, al igual que los datos la modulación DSSS es realizada con moduladores BPSK, y la señal  $g(t)$  es una secuencia de pulsos opuestos con valores +1 y -1, la ecuación  $S_x(t) = \sqrt{2P}x(t) \cos(w_0 t)$  puede escribir así: [Haykin, 2009]

$$S_x(t) = \sqrt{2P}x(t)g(t) \cos(w_0 t)$$

La secuencia de bits utilizada para modular los bits se conoce como secuencia de Barker (también llamado código de dispersión o PseudoNoise). Es una secuencia rápida diseñada para que aparezca aproximadamente la misma cantidad de 1 que de 0. Un ejemplo de esta secuencia es el siguiente:

+1 -1 +1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1 -1 -1

Solo los receptores a los que el emisor haya enviado previamente la secuencia podrán recomponer la señal original. Además, al sustituir cada bit de datos a transmitir, por una secuencia de 11 bits equivalente, aunque parte de la señal de transmisión se vea afectada por interferencias, el receptor aún puede reconstruir fácilmente la información a partir de la señal recibida.

Esta técnica consiste en la combinación de la señal a transmitir en una secuencia de bits a mayor velocidad de transmisión. A esta secuencia se la conoce como chip ping code o “código de troceado”, y no es más que un patrón redundante de bits asignado a cada bit a enviar, que divide la información del usuario acorde a un “ratio de esparcimiento” (Spread Ratio).

Cuando se desea enviar la información, realmente se transmiten los códigos correspondientes. Por ejemplo si el bit a enviar es 1 la secuencia que se transmite es 00010011100. Si uno o más bits del patrón sufren interferencias durante la transmisión, el receptor podría reconstruir el dato enviado, gracias a la redundancia del chip ping code.

En la figura 2.11b se muestra un modulador basado en la ecuación  $S_x(t) = \sqrt{2P}x(t)g(t) \cos(w_o t)$ , donde la secuencia de pulsos de los datos y la secuencia de pulsos expandidos son primeramente multiplicados y luego son compuestos en la portadora  $x(t)$ . En la tabla 2.1 muestra la forma de asignar valores binarios.

Valor del pulso	Valor binario
1	0
-1	1

Tabla 2. 1: Valores de asignación binaria en modulación DSSS.

A continuación se detallan algunas características de ésta técnica de modulación con respecto a la modulación FHSS (ver figura 2.13):

- ✓ Coste superior.
- ✓ Consumo superior.
- ✓ Mayor velocidad de transmisión.
- ✓ Mayor cobertura.
- ✓ Menor número de canales.

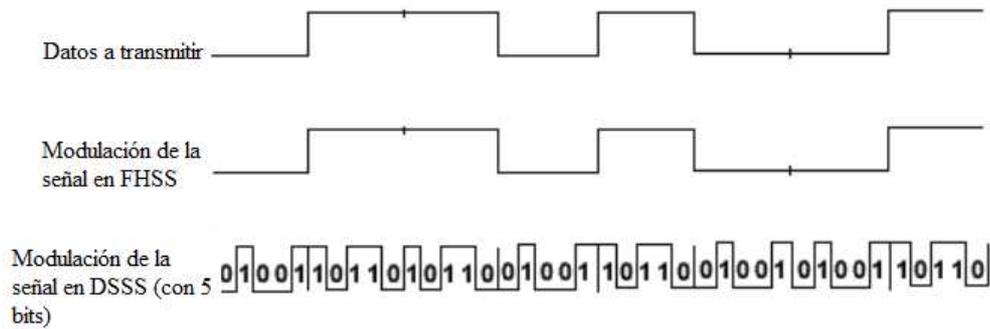


Figura 2. 13: Comparación de la modulación FHSS y DSSS. [Sklar, 2000]

## 2.5. APLICACIONES DE PLC.

Las aplicaciones para estos sistemas pueden categorizarse de la siguiente manera:

- ✓ Aplicaciones internas.
- ✓ Última milla.

### 2.5.1. APLICACIONES INTERNAS.

También conocida como *in Home* (vivienda adentro), donde los sistemas PLC de banda ancha son atractivos como servicios de datos en edificios, porque no requieren ninguna instalación adicional, simplemente mantener conectados los equipos. Dentro de un mismo edificio estas aplicaciones permiten conectar periféricos como heladeras, microondas, impresoras, fotocopiadoras, dispositivos de comunicaciones, etc. y configurar redes de computadoras.

El edificio podría ser una casa (ver figura 2.14), un bloque de departamentos u oficinas. Consideramos que en esos casos los trayectos de tendido de Red eléctrica de potencia no superan los 100m entre los dispositivos. Se ha desarrollado esta tecnología con éxito para estas aplicaciones de corta distancia e internas, además, cumpliendo con los requisitos de Compatibilidad Electromagnética de los EE UU. Esto es posible gracias a la potencia relativamente baja, necesaria para

establecer las comunicaciones en la Red eléctrica y a las cortas distancias que existen en una casa, edificio u oficina.



Figura 2. 14: Aplicación de PLC interna.

El desarrollo de esta tecnología para conformar redes de computadoras tipo LAN, está muy desarrollada ya que permite interoperatividad de sistemas entre dispositivos de distintos fabricantes; por ejemplo el estándar HomePlug 1.0; a un costo relativamente bajo, y dada su forma de conexión es muy fácil de conectar y de utilizar. Otras aplicaciones incluyen el uso de estos sistemas para distribución de sonido, video, y equipos con capacidad de controlar, dentro de la casa, cualquier dispositivo hogareño.

### **2.5.2. ÚLTIMA MILLA.**

Estas aplicaciones (ver figura 2.15) incluyen la distribución en oficinas y casas o edificios de Internet y otros servicios por parte de proveedores de servicio de Banda Ancha a través de la Red de distribución eléctrica. Además de la conexión de banda ancha de Internet, también permite proporcionar voz (telefonía IP), video bajo demanda (VOD), sistemas de vigilancia, entretenimientos y aplicaciones en medición de servicios como electricidad, agua, gas, etc..

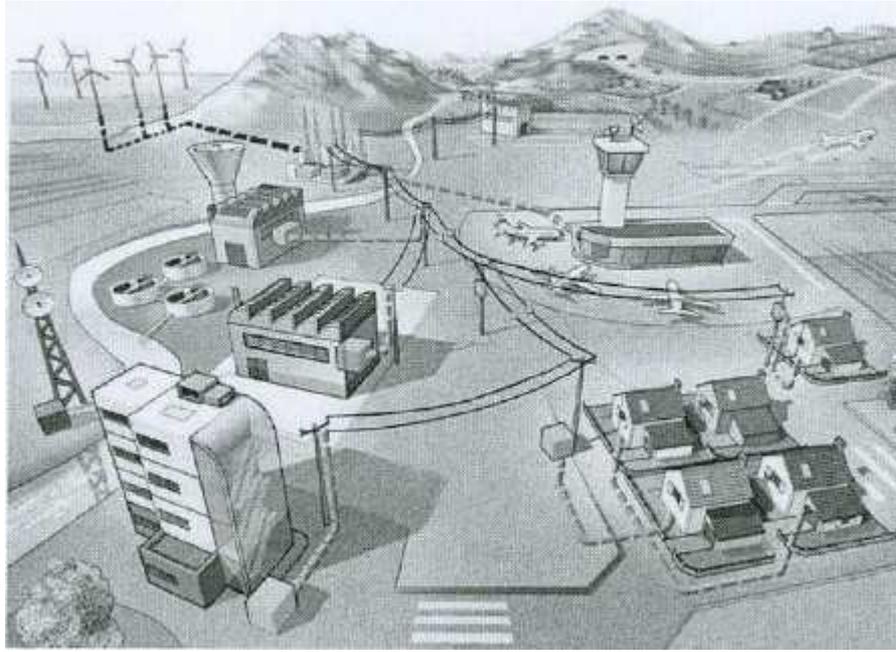


Figura 2. 15: Conexión de última milla PLC. [Faure, 2006]

En los costos para brindar servicios de Banda Ancha, una parte importante está conformada por el costo de la denominada “última milla” para llegar al usuario final. La existencia de una Red de distribución eléctrica domiciliaria y en edificios, representa una interesante posibilidad ya que no requiere ningún cableado especial. Esta tecnología está ya desarrollada y en proceso de optimización, especialmente en lo que hace a lograr menores niveles de señal sobre la Red eléctrica y cumplir con los requerimientos de compatibilidad electromagnética. [Gómez, 2004]

Dentro de la tecnología PLC, es considerada como la red de acceso a aquella comprendida desde el transformador del centro de distribución hasta el enchufe de corriente del destinatario final. La red de acceso está comprendida en el tramo de baja tensión, tal como fue explicado anteriormente. Esta es la parte de la red eléctrica indispensable para la transmisión de datos. [Hrasnica, 2004]

En la figura 2.16 se puede observar un ejemplo de una red de acceso PLC, el cual muestra claramente el trayecto que sigue dicha red a través del tramo de baja tensión de la red eléctrica; asimismo, se pueden

observar los diferentes equipos utilizados, mismos que serán detallados más adelante.

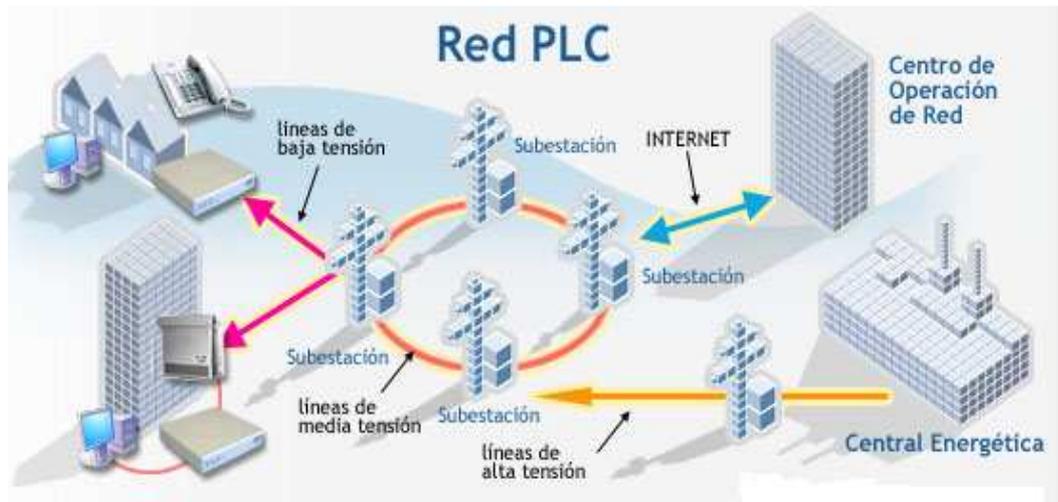


Figura 2. 16: Estructura de una red de acceso PLC.

Fuente: <http://esteban84.wordpress.com/notas-de-plc/>

## 2.6. DESVENTAJAS DE PLC DE BANDA ANCHA.

Hay varios problemas presentados por la introducción de la banda ancha en redes de energía eléctrica en los sistemas de comunicaciones. Estos problemas pueden categorizarse en tres áreas y referidas a la compatibilidad:

- ✚ Entre las redes privadas y públicas.
- ✚ Políticas de telecomunicaciones.
- ✚ Interferencia en radiocomunicaciones.

## 2.7. VENTAJAS DE PLC SOBRE OTRAS TECNOLOGÍAS DE ACCESO A BANDA ANCHA

Existen cuatro ventajas considerables de PLC sobre otras tecnologías de banda ancha y en cada una de ellas se consideran aspectos interesantes que se consideran como ventajosos para conectividad con PLC:

- (a) Economía de instalación
  - ✓ Sin obra civil.

- ✓ Cada instalación en un transformador da acceso entre 150 - 200 hogares.
  
- (b) Anchos de banda muy superiores a ADSL
  - ✓ El límite de velocidad promedio práctico para ADSL es 2 Mb.
  - ✓ PLC puede llegar a ofrecer hasta 200 Mb.
  
- (c) Emisiones electromagnéticas.
  - ✓ Equiparables a ADSL y muy inferiores a la telefonía móvil.
  
- (d) Monopolio en el bucle local.
  - ✓ No existen alternativas a ADSL y el operador dominante tiene más del 90% de cuota de mercado.
  - ✓ Cualquier enchufe en casa se convertirá en un acceso a los servicios.
  - ✓ Lanzamiento rápido: tecnologías competidoras como VDSL, G.SHDL, AD-SL2, ADSL2+, etc.
  - ✓ Precio competitivo frente a ADSL.
  - ✓ Buena calidad VoIP (voz sobre IP).
  - ✓ Velocidades y demás parámetros de conexión aceptables según lo ofertado.
  - ✓ Estabilidad frente a interferencias.
  - ✓ Marco legal y administrativo propicio.
  - ✓ Evolución de la actual tecnología y abaratamiento de los dispositivos PLC.

## 2.8. PLC Y EL MODELO OSI

Para la descripción de la operación de los sistemas de telecomunicaciones modernos, generalmente se utiliza el modelo de referencia OSI<sup>10</sup> promovido por la ISO para definir la forma en que se

---

<sup>10</sup> OSI: (en inglés *open system interconnection*) el **modelo de interconexión de sistemas abiertos** es el modelo de red descriptivo creado por la [Organización Internacional para la](#)

comunican los sistemas abiertos de telecomunicaciones, es decir, los sistemas que se comunican con otros sistemas. El modelo de referencia consiste en 7 capas (ver figura 2.17). Estas capas se visualizan generalmente como bloques apilados, por lo que también se le conoce como el "OSI Protocol Stack".

PLC trabaja principalmente en la capas 1 y 2, es decir en la capa física y en la capa de enlace de datos.



Figura 2. 17: Comunicación inalámbrico entre PC y NXT a través del bluetooth.

**Fuente:** El Autor

---

[Estandarización](#) en el año 1984. Es decir, es un marco de referencia para la definición de arquitecturas de interconexión de sistemas de comunicaciones.

### **2.8.1. CAPA FÍSICA**

La Capa física del modelo de referencia OSI es la que se encarga de las conexiones físicas, es decir, el nivel básico que se compone generalmente por el cableado. La tecnología PLC cuenta con la ventaja de utilizar infraestructura física ya instalada; los cables eléctricos, como su capa física se genera un ahorro en obras de instalación de cableado, sin embargo, se tiene la limitante de que este medio no fue concebido para soporte de telecomunicaciones, por lo que se hace necesario el uso de equipos con altas velocidades de trabajo y eficiencia espectral para lograr transmisiones confiables.

Se debe considerar una capa física robusta debido a que esta especifica la modulación, la codificación y el formato de los paquetes. La capa física es la encargada de definir las especificaciones eléctricas, mecánicas y funcionales para activar y mantener un enlace físico entre varios elementos. A este nivel, cualquier nodo debe ser capaz de enviar bits a otro nodo conectado a la red eléctrica. La capa física de PLC utiliza OFDM como técnica de modulación para contrarrestar esta desventaja del canal de comunicaciones, además entrega una velocidad de 14 Mbps donde 8 Mbps corresponden a la capa MAC (Control Acceso al Medio) y 6 Mbps se refieren a TCP (Protocolo para el control de la transmisión).

### **2.8.2. CAPA ENLACE DE DATOS**

PLC se gobierna mayoritariamente por protocolos de capa 2. En esta capa, se realiza la organización de los datos en paquetes lógicos que serán convertidos a señales binarias para inyectarlas al medio físico y viceversa. Además, se establecen comunicaciones, identificando cada uno de los nodos de la red con una dirección MAC. Al ser 100% compatible con el estándar OSI, PLC puede compartir conexiones con usuarios de Ethernet y otros estándares compatibles. En el diseño de la MAC es necesario tener dos consideraciones:

- ✓ No hay límite de distancia entre dos nodos.
- ✓ Dos nodos pueden transmitir simultáneamente.

Estos inconvenientes podrían ser subsanados implementando como acceso al medio CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) tomado de IEEE 802.11. Un eficiente protocolo de acceso a la capa de red que controla la división de los medios de transmisión entre muchos clientes. Para diseñar una subcapa MAC PLC, se consideran dos características:

- ✓ La frecuencia variable y
- ✓ Las reflexiones producidas.

Los protocolos PLC MAC se dividen en dos tipos:

- a. **Protocolos con arbitraje:** un controlador central coordina los equipos conectados o usuarios, determinando cual puede enviar información en cierto momento. Se requiere acceso a todos los equipos conectados. Se utiliza el protocolo TDMA.
  - b. **Protocolo sin arbitraje:** no hay controlador central, todos los nodos disminuyen las colisiones. Se utiliza el protocolo CSMA.
- Protocolos híbridos: protocolo intermedio entre las dos clases anteriores.

En conclusión el equipo PLC puede acceder a dos medios diferentes (Ethernet y PLC) realizando sus enlaces lógicos y de enrutamiento IP. El control o acceso al medio del equipo se puede llevar a cabo utilizando SMTP o el protocolo de control 802.1 (ver figura 2.18).

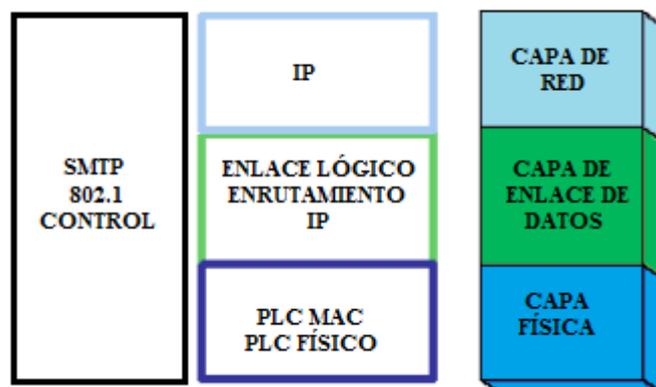


Figura 2. 18: Pila del protocolo de control 802.1 de PLC.

Para garantizar una comunicación fiable sobre las líneas eléctricas, es necesario tener en cuenta las técnicas de control, corrección de errores y fragmentación de los paquetes grandes en tramas. La MAC indica el modo de transmitir las tramas por el medio. En la figura 2.19 se muestra la trama utilizada para la transmisión de datos a través de PLC, consiste en un delimitador inicial, núcleo y delimitador final de la trama.

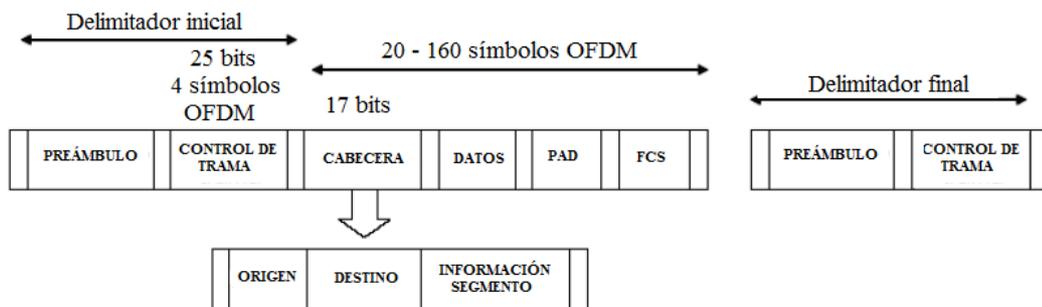


Figura 2. 19: Trama empleada en la tecnología PLC.

La función del delimitador es la marca del inicio o fin de la información de temporización. El delimitador de inicio especifica el tiempo de duración de la carga útil y se utiliza en la trama larga. Los primeros 17 bits de la carga útil de la trama contiene la dirección de destino, origen e información de segmentación. El delimitador final indica el final de la trama y el momento esperado para el final de la transmisión, por lo tanto se conoce el tiempo que va a estar ocupado ese canal para la transmisión.

La segmentación y el reensamblado permiten trabajar con tramas más cortas, lo que asegura, que el tráfico de alta prioridad no sufra grandes retardos. El control de errores indica como proceder cuando se pierde información o ésta sufre algún daño. Algunos mecanismos de control de errores son:

- a. **ARQ (Automatic Repeat Request):** la fuente no reenvía información hasta que no reciba un reconocimiento positivo por parte del otro extremo (*ACK, Acknowledgment*); en caso contrario, retransmitirá el mismo paquete. La recepción de un reconocimiento negativo (*NACK, Negative Acknowledgment*) de

un paquete, indica que éste ha sido recibido por el destino pero existe algún error en el paquete.

- b. **Go back N:** este mecanismo de control de errores es conocido como vuelta atrás, en donde existen N paquetes esperando el reconocimiento por parte del destino. Si no existen errores en la transmisión, el destino envía un reconocimiento positivo RR (receiver ready), por otro lado si existieran errores en alguna trama, se enviaría el reconocimiento negativo REJ (Reject) y se rechazaría cualquier otra trama hasta que no reciba una versión válida de la trama errónea.

### 2.8.3. CAPACIDAD DEL CANAL PLC

De acuerdo con la Ley de Shannon la capacidad de un canal con ruido, es decir la cantidad máxima de información en bps que es posible transferir resulta.

$$C = B \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

Donde:

C = Velocidad máxima de transmisión de datos en bps

B = Ancho de banda del canal

S/N = Relación señal a ruido del mismo.

Esta fórmula no es aplicable directamente a un canal de PLC, ya que SNR no es constante con el ancho de banda B, ya que puede variar sustancialmente. Sin embargo, en la práctica la densidad de potencia de señal transmitida  $S_{rr}(f)$  y la densidad de potencia de ruido  $S_{nn}(f)$  son dependientes de la frecuencia. Se los puede tomar dentro de un rango modificando la formula:

$$C = \int_{f_u}^{f_o} B \cdot \log_2 \left[ 1 + \frac{S_{rr}(f)}{S_{nn}(f)} \right] df$$

$$C = \int_{f_u}^{f_o} (f_o - f_u) \cdot \log_2 \left[ 1 + \frac{S_{rr}(f)}{S_{nn}(f)} \right] df$$

Para obtener la expresión anterior se debe conocer el espectro de densidad de potencia de la señal transmitida  $S_{rr}(f)$  la cual es modificada por el comportamiento del canal. El ancho de banda disponible de un medio de transmisión representa la fuente más importante para una tasa de transmisión de datos alta. El ancho de banda en la práctica se encuentra más o menos fragmentado, por lo que se necesita esquemas de modulación para aprovechar el espectro tanto como sea posible.

Además de la reducción del ancho de banda por regulación, este también es restringido por la atenuación. La capacidad del canal generalmente decrece con la distancia debido a la característica paso bajo de las líneas de potencia. Los esquemas de modulación difieren mucho en su habilidad de explotar la capacidad del canal.

Para un canal excelente con capacidades teóricas en el rango de los 250 Mbps, se puede alcanzar tasas de datos reales de 100 Mbps. Aún para canales clasificados como muy malos, con distancias de hasta 300 m, se pueden alcanzar tasas de 5 Mbps. La tabla 2.2 muestra las capacidades teóricas estimadas en el tramo de última milla para un canal PLC. Aquí se muestra la diferencia entre la capacidad teórica y la realizable en pruebas piloto y se determina que aún en el peor caso se logra conseguir una capacidad de canal aceptable de 5 Mbps.

	VELOCIDAD DE DATOS	
	Máxima (Mbps)	Mínima (Mbps)
TEÓRICA	250	14
PRUEBAS	100	5

Tabla 2. 2 : Valores estimados de las velocidades de canal PLC.

## CAPÍTULO 3: ESTADO DEL ARTE DEL SISTEMA CATV

En el presente capítulo se describirá el estado del arte del Sistema CATV que ha permitido hasta la presente la evolución y convergencia de voz y datos.

### 3.1. INTRODUCCIÓN AL SISTEMA CATV<sup>11</sup>.

El sistema CATV fue diseñado para cubrir la necesidad de recepción de varios canales o señales de televisión, que se localizaban en lugares lejanos de los centros de emisión o por obstáculos naturales. Para ese entonces la TV se consideraba como un servicio público, ya que tenía que llegar a la totalidad de habitante de una ciudad o país, pero que resultaba caro tener varios canales con una cobertura del 100%.

Fue desde ahí que la solución más segura, y muchas veces económica, es instalar una red CATV para llegar a poblaciones situadas en zonas donde no llega la TV comercial. Actualmente llamados también HFC<sup>12</sup> que sirven para brindar servicios de Cable TeleVision (CATV, ver figura 3.1) a ciudades, sectores rurales, ciudadelas, como por ejemplo: Claro TV y TV Cable, ambas grandes operadoras de este servicio.

---

<sup>11</sup> CATV (*Community Antenna Television*): Servicio que ofrece transferencia de imágenes de televisión a domicilios abonados.

<sup>12</sup> HFC (*Hybrid Fibre Coaxial*) ("Híbrido de Fibra y Coaxial"). En Telecomunicaciones, es un término que define una red que incorpora tanto fibra óptica como cable coaxial para crear una red de banda ancha.

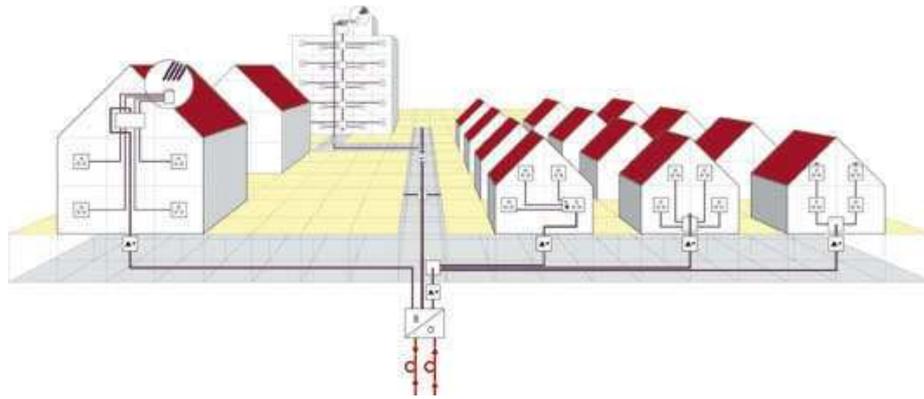


Figura 3. 1: Diseño básico de una red CATV o HFC.

Fuente: <http://www.hirschmann-multimedia.es/Products%20Hirschmann/Amplifiers/Wide%20Band/CATV.aspx>

### 3.2. TOPOLOGÍA DE LA RED CATV.

Su topología es en árbol, en donde a partir de un nodo cabecera se recopilan todos los canales de los enlaces terrestres o producción propia, para ser transmitidos por la red. La Red de Distribución se encarga del transporte de la señal desde la cabecera hasta los puntos de distribución conectados a los diferentes abonados (Ver figura 3.2).

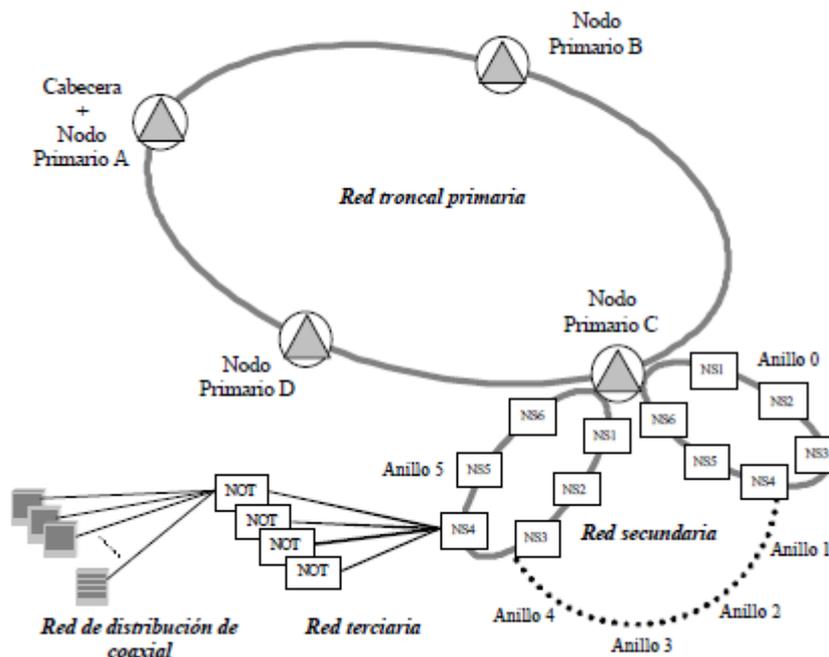


Figura 3. 2: Topología de una red CATV.

Fuente: [http://www.webproforum.com/acrobat/hfc\\_tele.pdf](http://www.webproforum.com/acrobat/hfc_tele.pdf)

### 3.2.1. Red troncal primaria

La red troncal primaria está constituida por un anillo geográfico con arquitectura de estrella, constituido por 128 fibras ópticas<sup>1</sup> que comunican la cabecera (responsable del aprovisionamiento de los distintos servicios, apartado 4.1) con los nodos primarios, que distan de ella varios kilómetros. La excepción la constituye el nodo primario A, que se encuentra situado físicamente junto con la cabecera y por ello no necesita de tal conexión (Ver figura 3.3a y 3.3b.)

La configuración de anillo geográfico cerrado permite dar redundancia en ruta y fibras a toda la red, ya que si, por algún motivo, ocurriese un corte en el tránsito de las señales a través de la red, es posible dar servicio mediante el camino de respaldo. Por cada ruta se instala un transmisor óptico, de forma que habrá un transmisor para el camino directo y otro para el camino de respaldo. El respaldo es activo, lo cual significa que ambos transmisores están trabajando simultáneamente, y es en cada nodo primario donde se escoge una de las dos señales, en función de su calidad. Para el camino de retorno o ascendente, se tiene una configuración análoga, pero en este caso, se trata de receptores ópticos que reciben las señales desde los nodos terminales. Los receptores también están duplicados, garantizando el servicio por una de las dos rutas alternativas, en función de la calidad de la señal recibida por cada una de ellas.

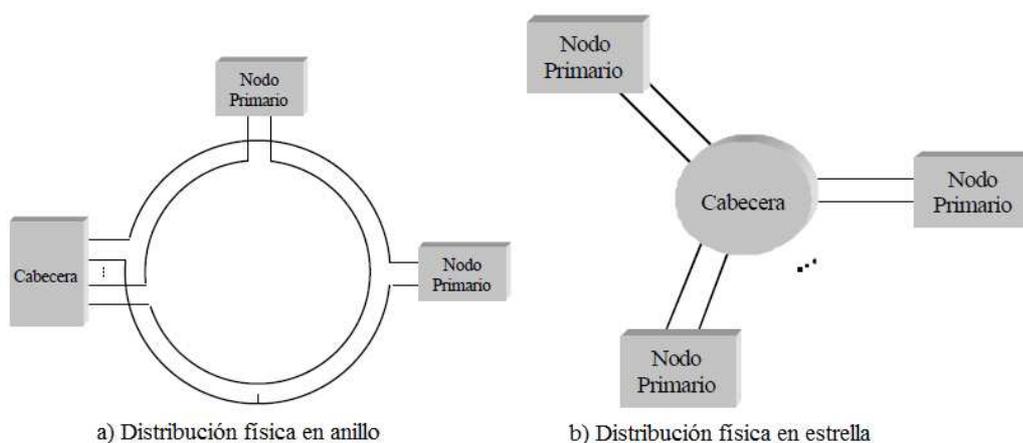


Figura 3. 3: Distribuciones física en a) anillo y b) estrella.  
Fuente: [http://www.webproforum.com/acrobat/hfc\\_tele.pdf](http://www.webproforum.com/acrobat/hfc_tele.pdf)

### **3.2.2. Red secundaria o de distribución**

La red secundaria o de distribución conecta un nodo primario con varios nodos secundarios a través de anillos con arquitectura en estrella, constituidos por 128 fibras ópticas<sup>2</sup>, formando lóbulos que cubren 12000 hogares aproximadamente, con redundancia en equipamientos y rutas. Cada lóbulo interconecta 6 (a veces, 5) nodos secundarios (NS<sub>n</sub> en la figura 3.3), cada uno de ellos dando servicio a unos 2000 hogares.

El servicio de telefonía a veces no es proporcionado mediante la red HFC –telefonía integrada-, sino que hace uso de una red paralela de tipo SDH –telefonía superpuesta. Cada uno de los lóbulos de la red secundaria tiene un lóbulo paralelo SDH que interconecta dos centros remotos. Cada lóbulo SDH da servicio de telefonía superpuesta a unos 12000 hogares, que se dividen en dos zonas de 6000, cada una de ellas cubierta por un centro remoto.

### **3.2.3. Red terciaria o de dispersión**

La red terciaria o de dispersión se encarga de conectar cada nodo secundario con cada uno de los cuatro nodos ópticos terminales (NOT en la figura 1) que dependen de él. Cada nodo óptico terminal cubre un área de 500 hogares cada uno, aunque la tendencia es a reducir esta cifra con vistas a mejorar la calidad del servicio.

La red de dispersión presenta una disposición en estrella sin redundancia en ruta, realizada con cables de 8 fibras ópticas monomodo, con la siguiente distribución:

- 2 fibras para el camino descendente: 1 para el camino principal y 1 para el de respaldo.
- 2 fibras para el camino ascendente: 1 para el camino principal y 1 para el de respaldo.
- 4 fibras de reserva para posibles migraciones hacia una topología con nodos terminales de 125 hogares (en lugar de 500).

En el nodo secundario se realiza la interconexión física de las fibras provenientes del nodo primario (a través de la red secundaria) con las fibras que van hacia los nodos terminales (y que componen la red terciaria). La ubicación física de un nodo secundario suele coincidir con la de uno de los cuatro nodos terminales que dependen de él.

#### **3.2.4. Red de distribución de coaxial**

La red de distribución de coaxial es la encargada de distribuir las señales desde el nodo óptico terminal hasta cada punto de derivación en los edificios a los que da servicio. La distribución se realiza con estructura en árbol, de forma que cada nodo óptico terminal da lugar a 4 ramas de 125 hogares aproximadamente cada una. Los nodos ópticos terminales se ubican físicamente en armarios de intemperie.

En el nodo óptico terminal se realiza la conversión óptico-eléctrica de las señales transportadas en el sentido descendente. Una vez obtenida la señal en RF, se envía a los amplificadores que proporcionan señal a cada una de las cuatro ramas de coaxial que parten del nodo óptico. Cada rama de coaxial alimenta (si es necesario, mediante amplificadores) a una red de derivadores o taps, cuyas salidas están conectadas a las acometidas individuales de abonado, que se realizan sobre el edificio. La distribución de coaxiales se realiza en parte canalizada y en parte sobre fachada (con los pertinentes permisos de los propietarios).

#### **3.2.5. Red de acometida de abonado**

La red de acometida de abonado conecta la red de distribución de coaxial con el punto de terminación de red, es decir, está formada por aquellos segmentos de coaxial que parten desde el(los) tap(s) situados en el edificio y llegan hasta el domicilio del abonado. Existen dos arquitecturas:

- ✓ Estrella: un mismo tap da servicio a todas las viviendas de las diferentes plantas de un edificio. A cada una de ellas le llega un cable coaxial diferente.
- ✓ Árbol: se utiliza cuando existen muchas viviendas por planta. Se coloca un tap en cada planta, del que parten los coaxiales que dan servicio a los abonados de esa planta. En ocasiones, un mismo tap da servicio a más de una planta.

La red de acometida de abonado puede ser dividida en dos partes:

- ✓ Precableado de edificio o verticales: se instalan con los pertinentes permisos de las comunidades de propietarios y su ubicación puede ser tanto por fachada exterior o por interior como por infraestructuras interiores ya existentes en el edificio. Para el caso de arquitectura en estrella, se instala un mazo de coaxiales con pares adosados, que por un lado están conectados al tap, y por otro, quedan adosados a la vertical hasta el momento de realizar la conexión. En el caso de arquitectura en árbol, la vertical es la que interconecta la red de taps. Cada derivador provee a una o más plantas, según las condiciones de cada edificio.
- ✓ Cableado de vivienda: se instala cuando se realice el alta de abonado, mediante el cable correspondiente que estará situado en la vertical, en el caso de arquitectura en estrella, o mediante conexión directa al puerto del tap, en el caso de arquitectura en árbol.

### **3.3. Puntos singulares de la red**

#### **3.3.1. Cabecera**

La cabecera de red (head-end) está equipada para la prestación del servicio de difusión de televisión. Se puede descomponer en cuatro grandes bloques: recepción y transmisión analógica, sistema de reserva, sistema de monitorización y sistema de transmisión óptica.

- a. Sistema de recepción y transmisión analógica

- b. Antenas de recepción.
- c. Equipos de recepción
- d. Equipamiento en banda base
- e. Etapa de codificación
- f. Etapa de modulación y salida
- g. Sistema de recepción y transmisión analógica de reserva
- h. Antenas de recepción
- i. Equipos de recepción
- j. Etapa de modulación
- k. Sistema de monitorización
- l. Sistema de transmisión óptica

#### **3.3.1.1. Sistema de recepción y transmisión analógica**

La figura 3.4 se muestra el diagrama esquemático de un sistema de recepción y transmisión analógica, que incluye equipamiento de reserva y monitorización.

##### **Antenas de recepción.**

Recepción de canales satélite. Para la recepción de los canales satélite se instalan varias antenas parabólicas.

Recepción de canales terrestres. Para la recepción de cada uno de los canales terrestres se instala una antena profesional, cubriendo cadenas de difusión nacional y local.

##### **Equipos de recepción.**

Receptores de TV satélite. Los receptores de satélite incluyen un sistema de monitorización de la calidad de la señal recibida del satélite, haciendo una medida continua del nivel recibido y de la relación señal/ruido. Otra característica de los receptores de satélite es el modo tiempo compartido, que permite utilizar un simple receptor para conmutar entre dos o más canales, útil en el caso de que algunos programas no

sean transmitidos 24 horas al día. Las señales de salida de los receptores, en banda base, pasan a la matriz de conmutación.

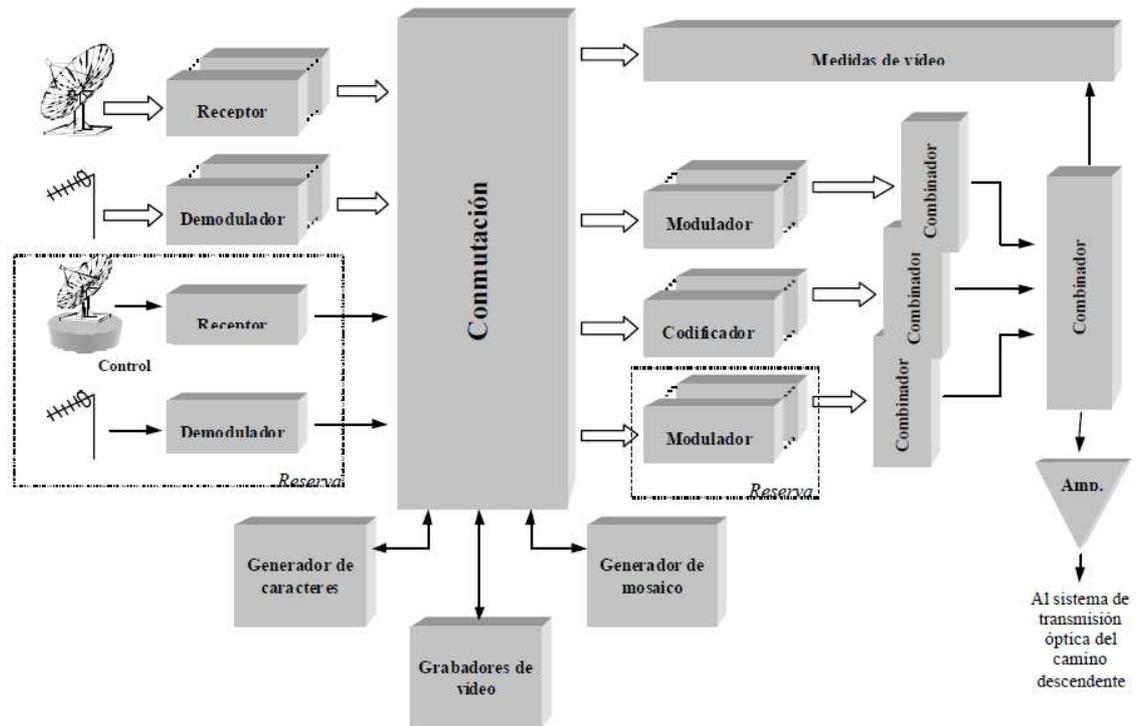


Figura 3. 4: Esquema de la cabecera de red.

Demoduladores de TV de canales terrestres. Se encargan de la recepción de la señal de RF y su paso a banda base. Se instalan unidades de decodificación NICAM para los canales estéreo o modo duales. Las señales de salida de los demoduladores de TV de canales terrestres, en banda base, pasan a la matriz de conmutación.

### Equipamiento en banda base.

Matriz de conmutación. Dispone de múltiples entradas y salidas, de forma que cualquiera de los canales conectados a sus entradas puede ser dirigido a cualquiera de las salidas. Las salidas de la matriz están conectadas a:

- ❖ A la entrada principal de cada modulador (principal/reserva) o codificador.
- ❖ Al monitor de vídeo y de sonido. Se puede seleccionar cualquiera de las entradas de vídeo y audio estéreo, para

pasarlas en el monitor. Es posible ver un canal y escuchar otro distinto.

- ❖ Al grabador de vídeo, cuya salida está conectada a la matriz, de forma que es posible grabar un programa de audio/vídeo y luego reemitirlo.
- ❖ Al generador de caracteres, cuya salida está conectada a la matriz, permitiendo añadir texto o gráficos a una señal de vídeo.
- ❖ A la pantalla central del generador de canal mosaico, cuya salida está conectada a la matriz.
- ❖ A la entrada auxiliar de los moduladores. Esto permite que, cuando se produzca una degradación en la entrada principal del modulador, éste pueda conmutar a la entrada auxiliar, y seguir trabajando
- ❖ Al equipo de medida de vídeo. Cualquiera de las señales de vídeo puede ser usada para medición.
- ❖ Generador de canal mosaico. Genera un canal de TV en el que se presentan simultáneamente las señales de TV de que llegan a sus entradas, formando una cuadrícula o mosaico en la pantalla. La salida del generador vuelve a la matriz de conmutación.
- ❖ Generador de caracteres. Permiten incluir texto y gráficos en una fuente de vídeo. La salida principal del generador vuelve a la matriz de conmutación para que siga la ruta adecuada hacia la etapa de modulación.

### **Etapa de codificación.**

Codificadores o scramblers. Se instalan codificadores para los canales de pago. Se encargan de generar la información que se transmite a los set-top o terminales de abonado (que se ubican en el domicilio del mismo) para que puedan decodificar los canales que haya contratado el abonado. Las salidas de los scramblers están moduladas (en RF) y por ello se dirigen directamente hacia los combinadores de la etapa de modulación y salida.

### **Etapa de modulación y de salida.**

Moduladores. Los moduladores están configurados de manera que cada salida está en la frecuencia solicitada, para que puedan ser combinadas todas ellas. Los moduladores pueden ser monitorizados y controlados remotamente. La salida de los moduladores se dirige hacia la etapa de combinación final.

Combinadores. Están conectados a la salida de los moduladores y scramblers, formando varias etapas. La salida final, en RF, se dirige hacia el amplificador.

Amplificador. Proporciona el nivel de señal necesario a la etapa de divisores (splitters) que alimentan a los transmisores ópticos, conectados a la red troncal primaria.

### **3.3.1.2. Sistema de recepción y transmisión analógica de reserva**

#### **Antenas de recepción.**

Recepción de canales satélite. Para la recepción de canales satélite se usa una antena parabólica orientable. Incluye un sistema de control que realiza el alineamiento con el satélite cuya recepción esté causando algún problema en las antenas fijas.

Recepción de canales terrestres. Para la recepción de canales terrestres se instala una antena profesional de reserva.

#### **Equipos de recepción.**

Receptores de TV satélite. Se instalan receptores de reserva idénticos a los ya descritos. Se utiliza una unidad de conmutación que permite la selección de una de las entradas de satélite para introducirla en el receptor.

Demoduladores de TV de canales terrestres. Se instalan demoduladores de reserva idénticos a los ya descritos.

### **Etapa de modulación.**

Moduladores. Se instalan moduladores ágiles para reserva. Sus características son las ya comentadas para este tipo de dispositivos, pero además permiten una sintonización dinámica, es decir, pueden acomodarse a la frecuencia de salida deseada.

#### **3.3.1.3. Sistema de monitorización**

Monitor de vídeo y audio. Se instala un equipo monitor profesional de vídeo y audio para el control visual de los canales. Utilizando la matriz de conmutación, cualquier canal puede ser conmutado al monitor.

Monitor de salida de RF. Se instala una unidad de monitorización del nivel de RF en la salida de los combinadores, para medir la calidad de la señal.

#### **3.3.1.4. Sistema de transmisión óptica del camino descendente**

Splitters. Se encargan de repartir la señal combinada RF de la cabecera, tras la etapa de amplificación, a los diferentes transmisores ópticos del camino descendente.

Transmisores ópticos del camino descendente. Para la transmisión de la señal en la red troncal primaria se instalan dos transmisores ópticos por cada nodo primario, uno para el camino directo, y otro para el camino de reserva. En la figura 3.5 se muestra esquemáticamente la disposición de los mismos. Nótese que los transmisores de reserva se han dibujado usando un trazo más fino. La batería de transmisores es alimentada por una batería de splitters de RF que dividen la señal combinada, obtenida a la salida del amplificador final del sistema de recepción y transmisión analógica. La salida de cada transmisor óptico se inyecta a una fibra óptica de la red troncal primaria, que enlaza con el nodo primario correspondiente. La excepción la constituye el nodo primario, que reside

junto con la cabecera, el cual se alimenta directamente de la batería de splitters.

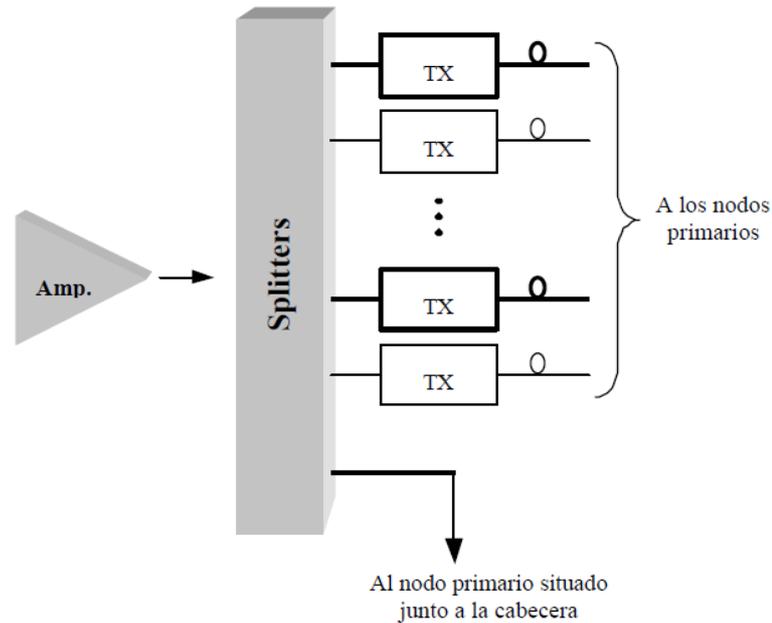


Figura 3. 5: Diagrama esquemático de un transmisor óptico de camino descendente.

### 3.3.1.5. Sistema de recepción óptica del camino ascendente

Receptores ópticos del camino ascendente. Para la recepción óptica de la red troncal primaria se instalan dos receptores ópticos por cada nodo primario, uno para el camino directo y otro para el de respaldo, tal como se muestra en la figura 3.6. Nótese que los equipos de respaldo han sido dibujados usando un trazo más fino. De nuevo, el nodo primario ubicado junto a la cabecera es la excepción, en el cual no son necesarios los receptores y la señal se toma directamente de la salida de los combinadores de RF del nodo primario.

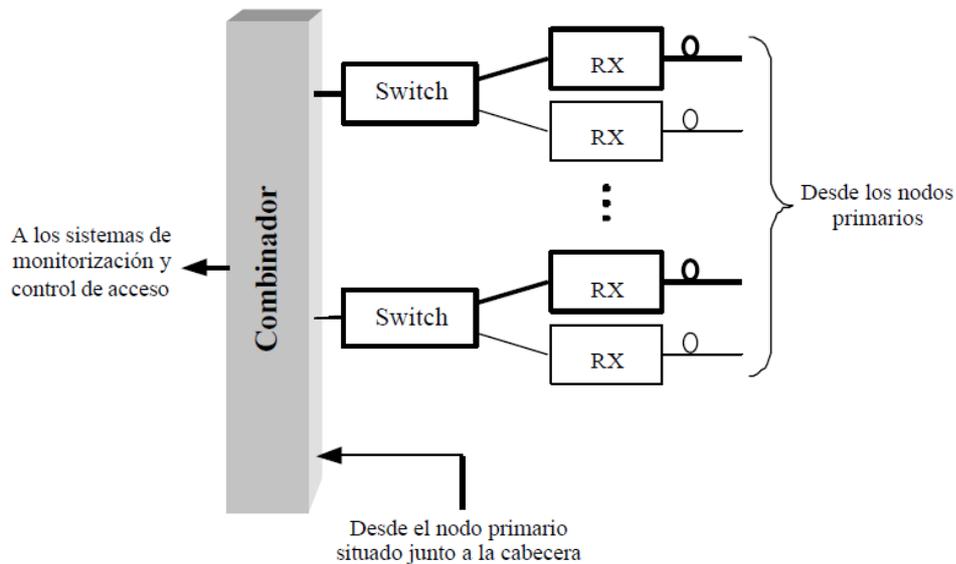


Figura 3. 6: Diagrama esquemático de recepción óptica de camino descendente.

Combinador. Unifica todas las señales recibidas, generando una única señal resultante, que es dirigida hacia los sistemas de monitorización y de control de acceso.

### 3.3.2. Nodo primario

En el nodo primario se recibe la señal de la red troncal primaria proveniente de la cabecera de red, es decir, mediante el camino descendente, se realiza la conversión óptico-eléctrica de la señal, se amplifica y, finalmente, se realiza la conversión eléctrico-óptica para la transmisión de la señal hacia cada nodo óptico terminal que dependa del nodo primario.

Para el camino ascendente, se realiza la conversión óptico-eléctrica de las señales de los caminos de retorno de los nodos ópticos terminales, se combinan mediante un elemento pasivo, y se realiza la conversión eléctrico-óptica para su transmisión, por la red troncal primaria, hacia la cabecera de red.

El nodo primario presenta dos módulos independientes: el módulo del camino descendente y el del camino ascendente. A continuación se describe con más detalle cada uno de ellos, aunque hay que tener en cuenta que lo sucesivo se aplica también al nodo primario ubicado con la cabecera si se eliminan las etapas de transmisores y receptores ópticos conectados a la red troncal.

### 3.3.2.1. Canal descendente

En la figura 3.7 se muestran los bloques que forman el camino descendente del nodo primario. Los distintos elementos que aparecen son comentados a continuación. Los equipos específicos del camino de respaldo han sido dibujados con un trazo más fino.

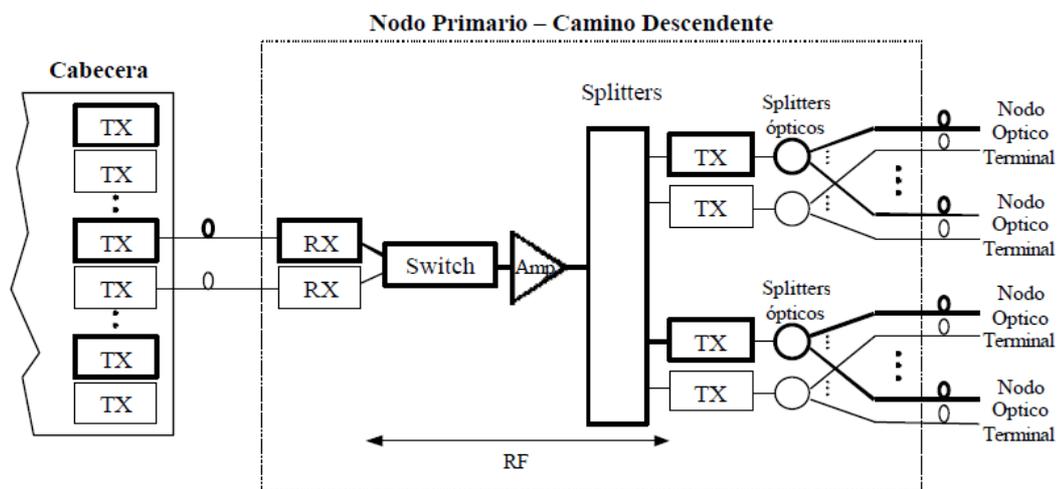


Figura 3. 7: Nodo primario en modo descendente.

#### Recepción óptica.

Receptores ópticos. Se instalan dos receptores ópticos en el nodo primario para realizar la conversión óptico-eléctrica de la señal que procede de la cabecera de red. Uno de ellos se encarga de la recepción mediante el camino principal, y el otro mediante el de respaldo. La salida de RF de ambos receptores se conecta a un conmutador o switch.

Switch. Se encarga de seleccionar uno de los dos caminos (principal o respaldo) por los que se recibe la señal. Por defecto, el camino principal es el preferido, y sólo en el caso de una degradación o pérdida total de señal, se conmuta al de respaldo. Cuando la señal mediante el camino principal vuelva a los niveles óptimos, el switch retorna a su posición original. La salida en RF del switch se inyecta al amplificador.

### **Amplificación y reparto.**

Amplificador RF. Se instala un amplificador de RF para proveer del nivel de señal adecuado de entrada a los transmisores ópticos que enlazan con los nodos ópticos terminales. La amplificación contrarresta a la atenuación producida en la fase de repartición de la señal eléctrica a los transmisores ópticos. La salida de RF del amplificador se inyecta a la batería de splitters de repartición.

Splitters. La batería de splitters permite conseguir el número de salidas necesarias, tantas como transmisores ópticos se necesiten para proveer de señal a los nodos ópticos terminales que dependen del nodo primario. Cada salida de RF alimenta a un transmisor óptico.

### **Transmisión óptica.**

Transmisores ópticos. Cada transmisor óptico alimenta a varios nodos ópticos terminales, normalmente 8, 4 ó 2, en función de las pérdidas en cada enlace. Se instala una batería de transmisores para el camino principal y otra batería para el camino de respaldo. La salida de cada transmisor óptico se inyecta a un splitter óptico para la repartición de la señal a un grupo de 8, 4 ó 2 nodos ópticos terminales. Teniendo en cuenta que existen, por cada nodo primario, 144 nodos ópticos terminales, son necesarios 18 transmisores ópticos (si cada splitter reparte la señal a 8 nodos ópticos).

Splitters ópticos. Los splitters hacen posible que una pareja de transmisores (uno del camino principal, y otro del camino de respaldo) alimenten de señal a varios nodos primarios. Se instala un splitter óptico

(principal / reserva) por cada transmisor (principal / reserva). Cada par de fibras que parten de un splitter principal y su correspondiente splitter de respaldo alimentan de señal a un nodo óptico terminal (nótese que el camino ascendente necesitará de fibras adicionales).

### 3.3.2.2. Canal ascendente

La figura 3.8 muestra el diagrama de bloques que comprenden el camino ascendente del nodo primario. Los distintos elementos que aparecen son comentados a continuación. Los equipos específicos del camino de respaldo han sido dibujados con un trazo más fino.

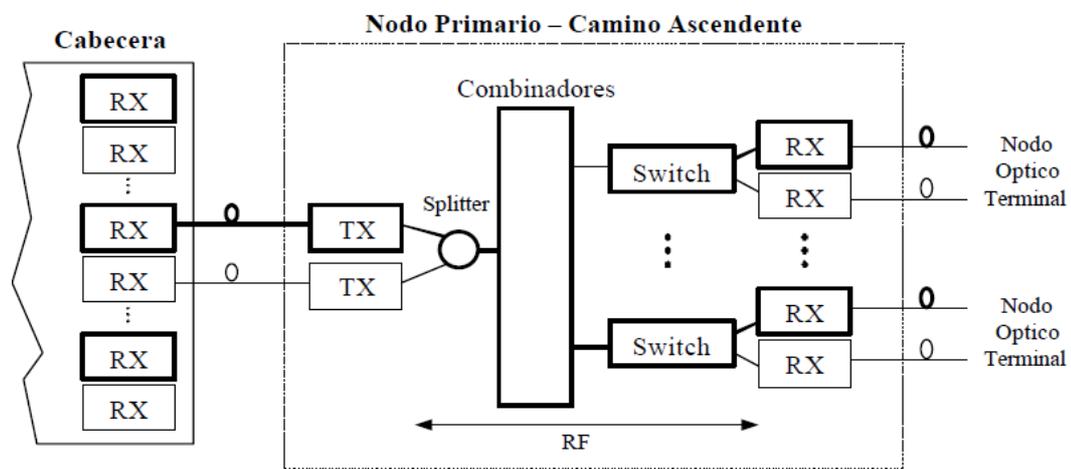


Figura 3. 8: Nodo primario en modo ascendente.

#### Recepción óptica.

Receptores ópticos. En el nodo primario hay dos receptores ópticos, por cada nodo óptico terminal, encargados de la conversión óptico-eléctrica de las señales del canal de retorno. Uno de ellos se encarga de la recepción del camino principal, y el otro, del camino de respaldo. La salida de RF de ambos receptores pasa a un switch.

Switches. Cada switch se encarga de seleccionar uno de los dos caminos a través de los que se reciben señales. La opción prioritaria es el camino principal, pero si la señal se degrada excesivamente o se pierde, el conmutador seleccionará la procedente del camino de respaldo. El

switch vuelve a su posición inicial cuando la señal del camino principal retorna a valores óptimos. La salida de RF del switch se inyecta al combinador.

### **Combinación.**

Combinadores. Los combinadores, dispuestos en cascada de forma que proporcionan una salida única y múltiples entradas, reciben las señales provenientes de los switches. La señal de salida se distribuye hacia los transmisores ópticos de retorno, que las envían hacia la cabecera.

### **Transmisión óptica.**

Splitter. Divide la señal resultante de la fase de combinación, inyectando cada salida a un par de transmisores ópticos, uno principal y otro de respaldo.

Transmisores ópticos. Los transmisores ópticos realizan la conversión eléctrico óptica de la señal combinada. Transmiten la señal hacia la cabecera mediante la red troncal primaria, utilizando un par de fibras (principal y respaldo). El nodo primario ubicado junto a la cabecera es la excepción, ya que no necesita de transmisores de retorno, pues no está conectado a la red troncal primaria, sino directamente a la cabecera.

### **3.3.3. Nodo secundario.**

Los nodos secundarios consisten en una caja de empalmes de fibra óptica, que permiten encaminar las señales procedentes del nodo primario, mediante la red troncal secundaria, hacia los nodos ópticos terminales, a través de la red terciaria. Se ubican físicamente en una arqueta, habitualmente junto a uno de sus nodos ópticos terminales.

La figura 3.9 muestra el esquema de las conexiones que se realizan en un nodo secundario. Del nodo primario correspondiente parten 6 lóbulos, cada uno de ellos interconectando a 6 nodos secundarios. Cada

uno de estos lóbulos está formado por 128 fibras, de las cuales 96 están activas, distribuidas en 6 anillos, cada uno interconectando el nodo primario con un nodo secundario. El resto son de reserva. Cada uno de los anillos tiene 16 fibras, 8 de las cuales conforman el camino principal, y las 8 restantes, el de respaldo. En estos grupos de 8 fibras pueden distinguirse 4 fibras para el canal descendente y otras tantas para el ascendente. Por tanto, ignorando las fibras de reserva de la red terciaria, a cada nodo óptico terminal (NOT) llegan 4 fibras:

- ✚ Fibra del canal descendente, camino principal
- ✚ Fibra del canal ascendente, camino principal
- ✚ Fibra del canal descendente, camino de respaldo
- ✚ Fibra del canal ascendente, camino de respaldo

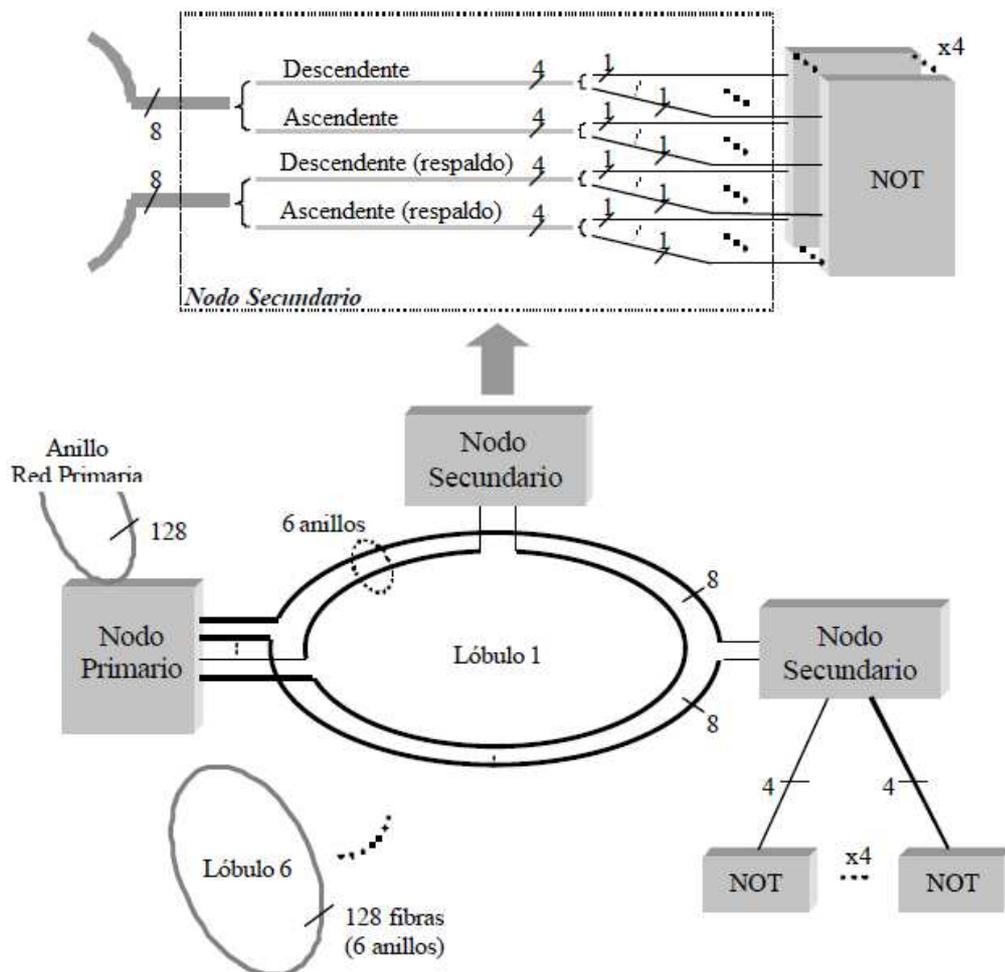


Figura 3. 9: Diagrama de bloques de un nodo secundario.

### **3.3.4. Nodo óptico terminal**

Los nodos ópticos terminales son los encargados de dar servicio a áreas de aproximadamente 500 hogares. Se ubican en armarios de intemperie, coincidiendo normalmente uno de los cuatro nodos ópticos terminales con la localización del nodo secundario del que depende. En el nodo óptico terminal se recibe la señal del camino descendente, procedente del nodo primario, a través de las redes secundaria y terciaria, se realiza la conversión óptico-eléctrica, y la señal resultante es amplificada y reenviada mediante las cuatro ramas de la red de distribución de coaxial hacia los abonados.

Para el camino ascendente, se reciben las señales procedentes de los equipos de abonado, en el ancho de banda reservado a retorno, se combinan todas ellas y se realiza la conversión eléctrico óptica para su remisión hacia el nodo primario. La configuración del nodo óptico terminal se puede descomponer en dos grandes bloques: canal descendente y ascendente. La configuración es modular, integrada en un armario de intemperie. Ambos módulos son descritos en los apartados siguientes.

#### **3.3.4.1. Canal descendente**

La figura 3.10 muestra el diagrama de bloques del camino descendente del nodo óptico terminal. Los distintos elementos que aparecen son comentados a continuación. Los equipos específicos del camino de respaldo han sido dibujados con un trazo más fino.

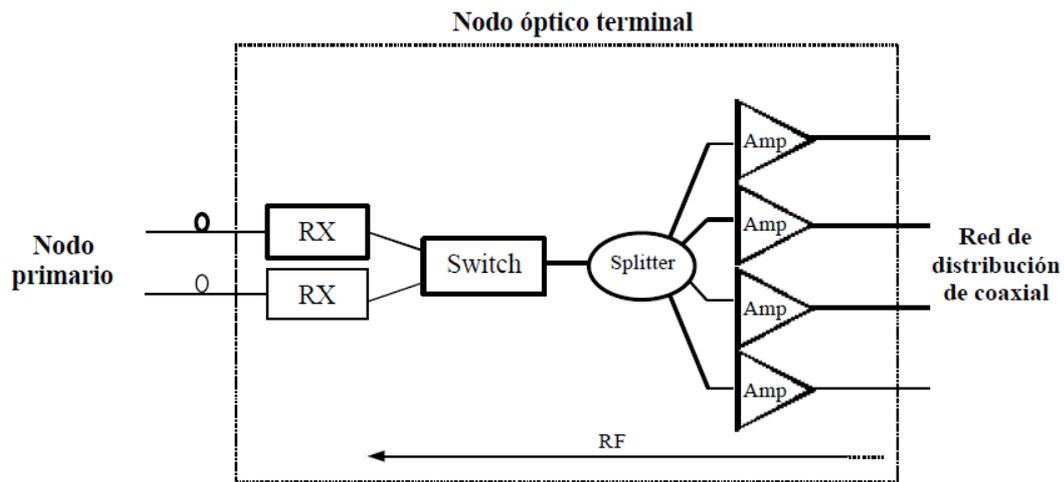


Figura 3. 10: Diagrama de bloques de un canal descendente en un nodo óptico terminal.

### **Recepción óptica.**

Receptores ópticos. Se instalan dos receptores ópticos en el nodo óptico terminal para realizar la conversión óptico-eléctrica de las señales procedentes del nodo primario. Uno de ellos recibe a través del camino principal, y el otro, mediante el camino de respaldo. Las salidas de RF de ambos receptores se conectan a un switch.

Switch. Se encarga de seleccionar uno de los dos caminos (principal o respaldo) en función de la calidad de las señales recibidas. La opción prioritaria es la correspondiente al camino principal; si se produce una degradación excesiva o pérdida total de la señal, entonces el switch seleccionará el camino de respaldo. Cuando la señal del canal principal vuelva a presentar valores normales, el conmutador retornará a su posición original. La salida en RF del conmutador se inyecta en el amplificador.

### **Amplificación.**

Amplificadores RF. Se encargan de proveer del nivel de señal adecuado a cada una de las cuatro salidas del nodo, que servirán para distribuir las señales de RF por la red de distribución de coaxial.

### 3.3.4.2. Canal ascendente

La figura 3.11 muestra el diagrama de bloques que comprenden el camino descendente del nodo óptico terminal. Los distintos elementos que aparecen son comentados a continuación. Los equipos específicos del camino de respaldo han sido dibujados con un trazo más fino.

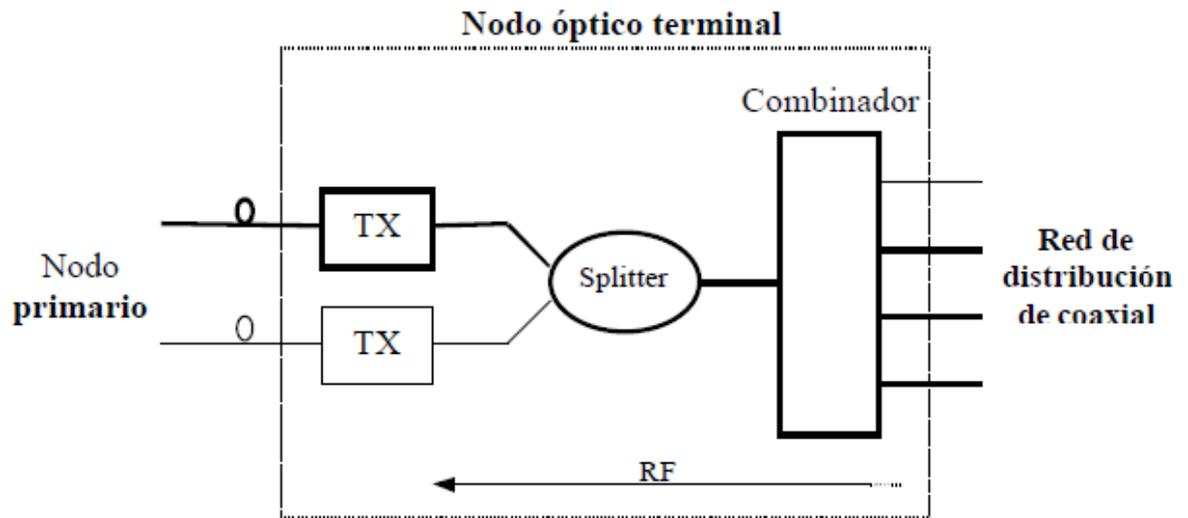


Figura 3. 11: Diagrama de bloques de un canal ascendente en un nodo óptico terminal.

#### **Combinación.**

Combinador. Los cuatro caminos de retorno son combinados mediante un elemento pasivo para formar una única señal con la que se ataca a los transmisores ópticos de retorno.

#### **Transmisión óptica.**

Splitter. La señal combinada se divide para alimentar de señal RF a los transmisores ópticos.

Transmisores ópticos. Los transmisores ópticos de retorno envían la señal hacia el nodo primario, a través de las redes secundaria y terciaria. De esta forma, la señal llega a los receptores de retorno del nodo primario correspondiente. Uno de los transmisores es de reserva.

### 3.4. Terminal direccionable de abonado

Existe un dispositivo que permite a los usuarios/clientes acceder a los servicios TV de la red es el terminal direccionable de abonado, también denominado decodificador, instalado en el propio domicilio del cliente/abonado. El decodificador (set-top) es el encargado de decodificar los canales correspondientes al servicio contratado por el abonado; por tanto, los equipos de codificación o scramblers de la cabecera y los codificadores, en el domicilio del abonado, constituyen los extremos del sistema direccionable de acceso.

Asimismo, el decodificador es el dispositivo que permite al cliente interactuar con el sistema, poniendo a su disposición la contratación instantánea de servicios pague por ver (PPV, Pay-Per-View).

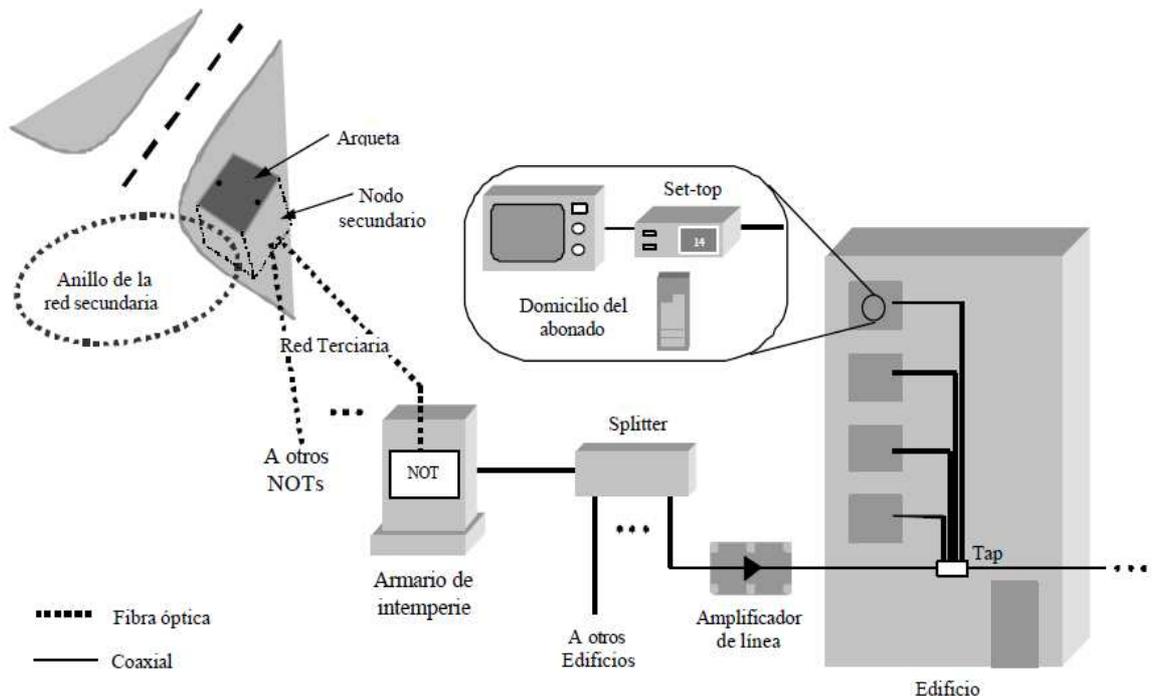


Figura 3. 12: Configuración de la conexión del decodificador del abonado hacia la red.

La conexión de un decodificador (set-top) con el resto de la red (siguiendo la arquitectura en estrella para la acometida; la distribución en árbol es similar, véase 3.2.5) es como el mostrado en la figura 3.12.

El cable coaxial que parte del nodo óptico terminal (ver figura 3.13a) que está asignado el abonado llega hasta el edificio del mismo, tras varias bifurcaciones a través de splitters como se muestra en la figura 3.13b. Puede ser notoria la pérdida de señal, para solucionar este inconveniente se instalan amplificadores de línea, que se colocan en fachada. En el edificio del abonado se sitúa un derivador o tap (ver figura 3.13c), al cual se conectan los coaxiales que llegan hasta cada domicilio. El coaxial correspondiente se conecta al aparato de TV del abonado a través del set-top.

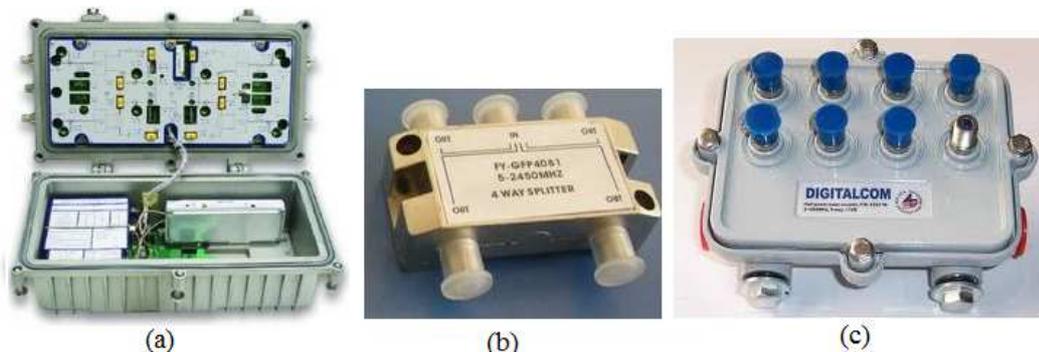


Figura 3. 13: Terminales direccionable del abonado, (a) Nodo óptico<sup>13</sup>, (b) Splitter y (c) tap<sup>14</sup>.

Las características principales de los decodificadores instalados son:

- ✚ Aunque el retorno se realizará por cable, los decodificadores permiten también retorno por línea telefónica.
- ✚ Bypass de RF (radio frecuencia) que permite el paso directo de los canales no codificados a los equipos de vídeo y TV del abonado, por lo que aquéllos no serán sintonizados desde el decodificador.
- ✚ Doble entrada RF que permite al usuario abonarse a dos operadores de cable, y seleccionar con el mando uno de ellos.
- ✚ Decodificación en banda base.
- ✚ Autodiagnóstico, en caso de anomalía, el decodificador emite mensajes de error que permiten determinar la causa del problema y sólo si es necesario enviar un técnico al domicilio.

<sup>13</sup> Recuperado de la página web, URL: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/ton6800c-optical-node-268107264.html>

<sup>14</sup> Recuperado de la página web, URL: <http://www.telali.com.pe/splitter-de-alta-frecuencia-de-5-2450-mhz.html>

- ✚ Pague por ver instantáneo (IPPV, Instantaneous Pay-Per-View).
- ✚ Tele-encuesta.
- ✚ Control de volumen, mute, canales favoritos, bloqueo infantil (parental lock), grabación de programas de forma desatendida.
- ✚ Configuración desde el sistema de control de acceso, lo cual permite modificar los parámetros del set-top de forma remota, incluyendo: cambiar el mapa de canales en uso, trasladar el nivel de la portadora de RF de retorno y su frecuencia, variar las opciones de bloqueo infantil, volumen, etc.

## CAPÍTULO 4: PROPUESTA DEL DISEÑO DE LA RED DE BANDA ANCHA MEDIANTE CATV Y PLC.

En el presente capítulo se describirá la propuesta del diseño de la red de banda ancha mediante las tecnologías existente CATV y PLC en la compañía TELMEX (Claro) a través de un Head-End (cabecera) principal. El diseño de la red que operará en la ciudad de Manta, utilizando la infraestructura de la red eléctrica de CENEL para dar cobertura a la zona Central de la ciudad de Manta (ver figura 4.1). Se identificarán los equipos necesarios para adecuar los servicios de voz, datos y video en la red eléctrica con el fin de ofrecer una solución de conectividad a hogares, oficinas, empresas y universidades. Se determinarán los costos de los equipos involucrados para el diseño de la red de banda ancha.



Figura 4. 1: Área de cobertura en la ciudad de Manta.

Fuente: El Autor

#### **4.1. Consideraciones genéricas de la tecnología CATV.**

Una de las consideraciones genéricas es el levantamiento catastral, el mismo que se lo hace caminando por el lugar donde se desee diseñar, tomando en cuenta todos los requerimientos que son utilizados para el posterior diseño del área levantada. Teniendo especial cuidado de tomar todos los datos para no regresar dos veces al mismo lugar.

##### **4.1.1. Requerimiento de los planos**

Dentro de las consideraciones genéricas tenemos el requerimiento de los planos de la red HFC:

- ✓ Calles primarias y secundarias indicadas en el plano digital en escala.
- ✓ Los nombres de las calles deben de estar indicadas en el plano verificado en campo durante el levantamiento.
- ✓ Indicar las distancias entre postes.
- ✓ Límite de las ciudades marcado en los planos
- ✓ Lista por escrito de los layers del dibujo existente.
- ✓ Levantamiento (postes, distancias) ver figura 4.2.
- ✓ Calles
- ✓ Conteo de casas
- ✓ Nombres de las calles indicadas en los planos
- ✓ Áreas que no se van a diseñar indicadas en el plano.
- ✓ Conteo potencial de casas, indicado por cada poste en formato de texto.
- ✓ Indicar en los planos la información de los apartamentos.
- ✓ Indicar en los planos las acometidas fuera de las normas.
- ✓ Planta Subterránea – ubicación de los pedestales / registros.
- ✓ Planta Subterránea – distancias dentro los registros / pedestales
- ✓ Planta Subterránea – tamaño de lo registros / pedestales
- ✓ Planta Subterránea – Conteo de casas pasado por registro
- ✓ Apartamentos – Planos del cableado de telefonía para distintos apartamentos.



Figura 4. 2: Requerimientos de levantamiento terminado de Telmex.  
Fuente: Requerimiento de Telmex para diseño HFC

#### 4.1.2. Arquitectura de la red

En la figura 4.3 se muestra la arquitectura original usada inicialmente para brindar servicio de CATV, para lo cual tenían las siguientes cualidades:

- ✓ Largas cascadas de amplificadores la caracterizan (40+).
- ✓ Sin derivadores entre los amplificadores troncales.
- ✓ Derivadores en los cables de alimentación
- ✓ Extensores de línea en la cascada.
- ✓ Acondicionado para servicios de video.
- ✓ Bajo desempeño, confiabilidad y alto costo

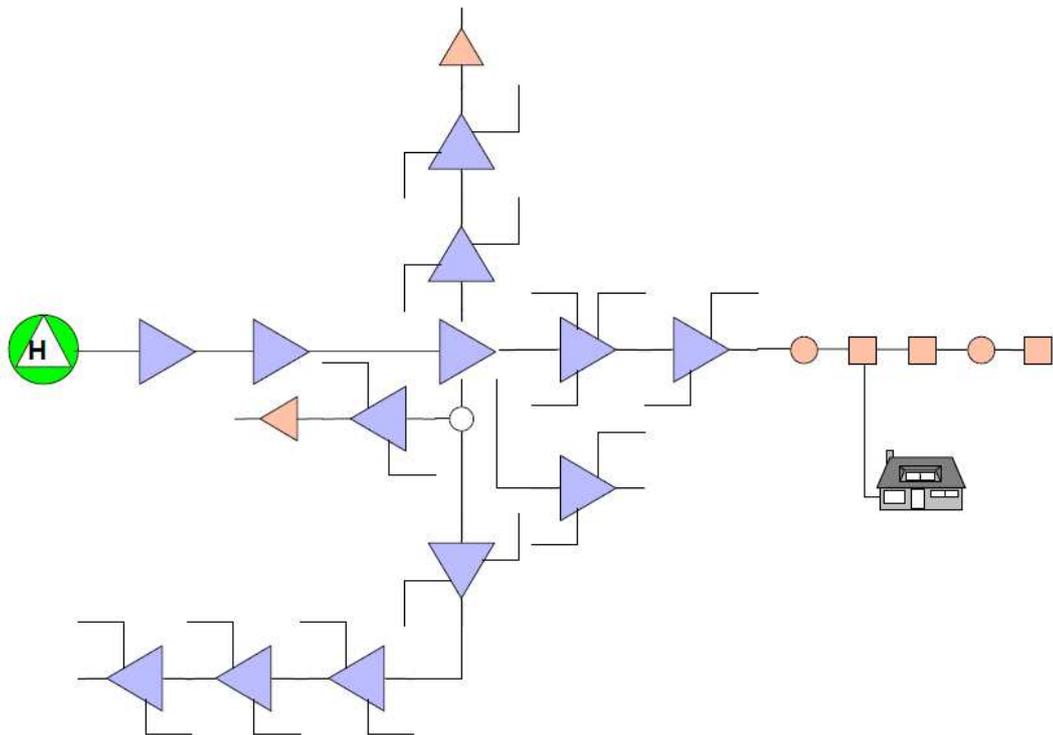


Figura 4. 3: Estructura de árbol y ramas usada en las redes CATV.  
**Fuente:** Motorola Canopy enterprises solutions Rev 2.0

En la figura 4.4 muestra el método inicial de desarrollo e implementación de fibras donde los nodos fueron colgados en segmentos de la red en las áreas de servicio más pequeñas (5mil a 10mil casas pasadas) para reducir las cascadas de amplificadores e incrementar el desempeño. Solo un pequeño porcentaje de sistemas nuevos implementaron esta arquitectura.

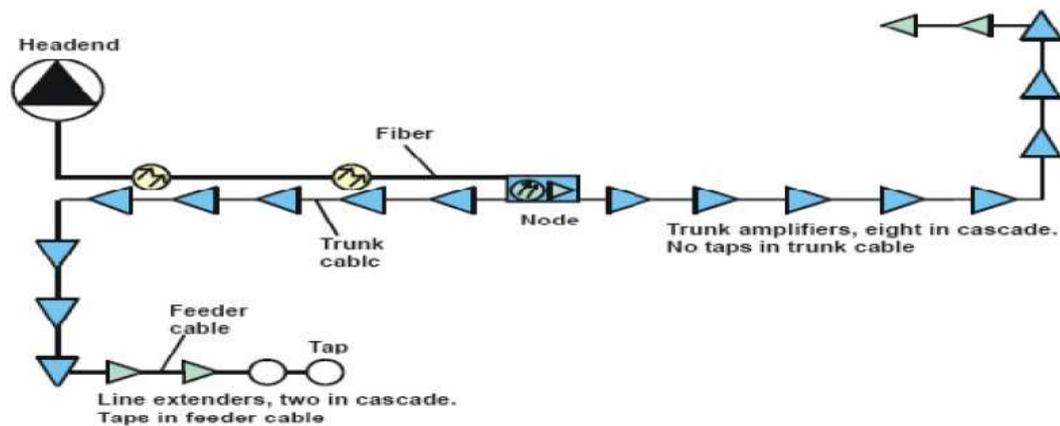


Figura 4. 4: Arquitectura del backbone de fibra óptica.  
**Fuente:** Motorola Canopy enterprises solutions Rev 2.0

Pero para el presente trabajo emplearemos la arquitectura de red más usada como se muestra en la figura 4.5, donde se introduce dentro de la red segmentándola, reduciendo las cascadas de amplificadores e incrementando el desempeño, confiabilidad y reduciendo así el alto costo por uso de amplificadores, también se incrementa la capacidad de desempeño del retorno. El cable de fibra óptica es inmune a los tradicionales problemas como las variaciones de Temperatura e interferencias de RF.

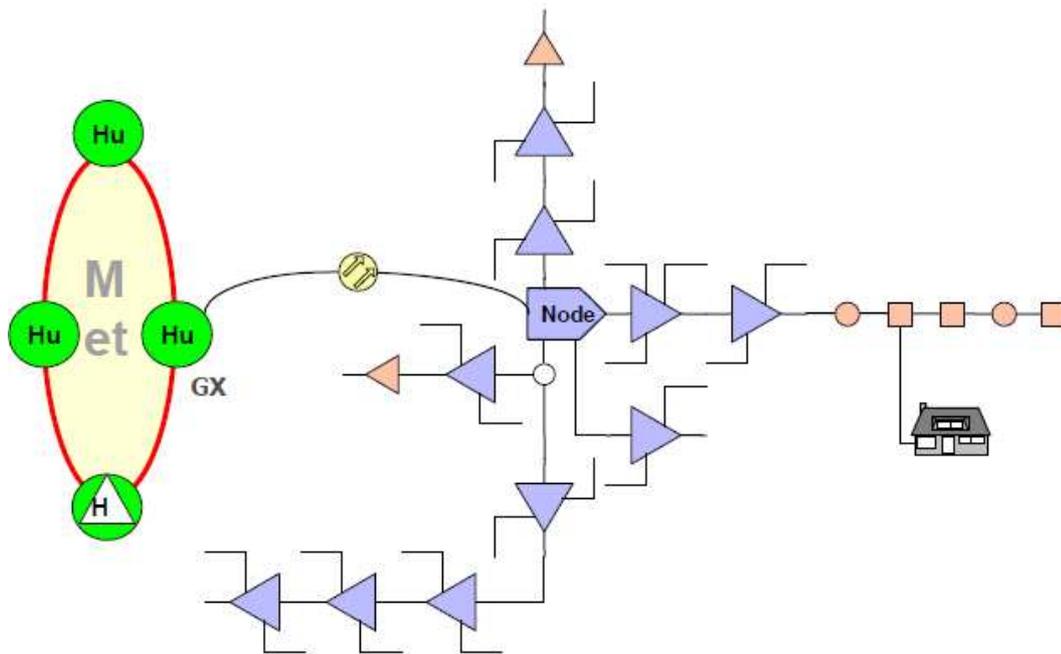


Figura 4. 5: Arquitectura HFC.

**Fuente:** Motorola Canopy enterprises solutions Rev 2.0

#### 4.1.2.1. Diseño de la red HFC.

El presente diseño consiste en que la distribución se hace a partir del nodo y cuando los niveles de señal sean muy bajos se colocarán amplificadores en cascada como se muestra en la figura 4.6, el problema de este tipo de diseño son los múltiples puntos de falla al estar tapeada la red que interconecta los amplificadores con el nodo.

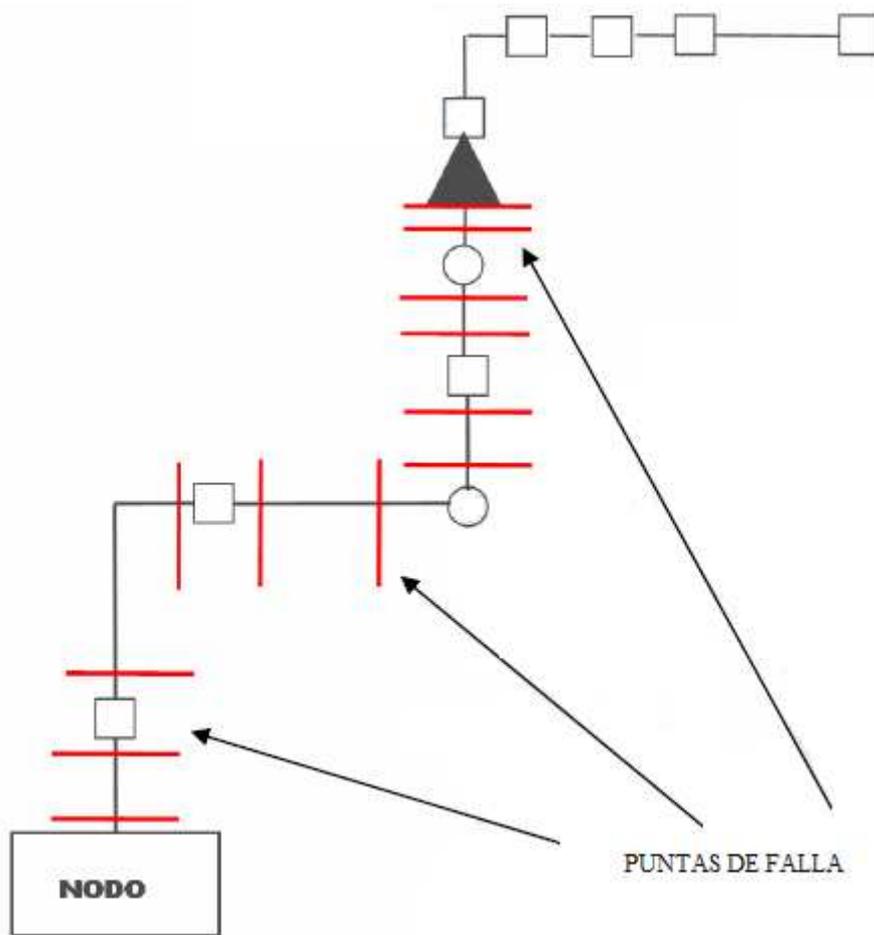


Figura 4. 6: Puntos de posibles fallas en el diseño convencional HFC.  
**Fuente:** Motorola Canopy enterprises solutions Rev 2.0

#### 4.1.2.2. Arquitectura estratégica de niveles de banda ancha para aumentar confiabilidad.

Para la arquitectura estratégica de niveles de banda ancha o blaster, consiste en crear una red troncal exclusiva para los amplificadores tal como se ilustra en la figura 4.7, totalmente separada a la salida de la red de distribución de cada amplificador, logrando así reducir considerablemente los puntos de falla, aumentando su confiabilidad.

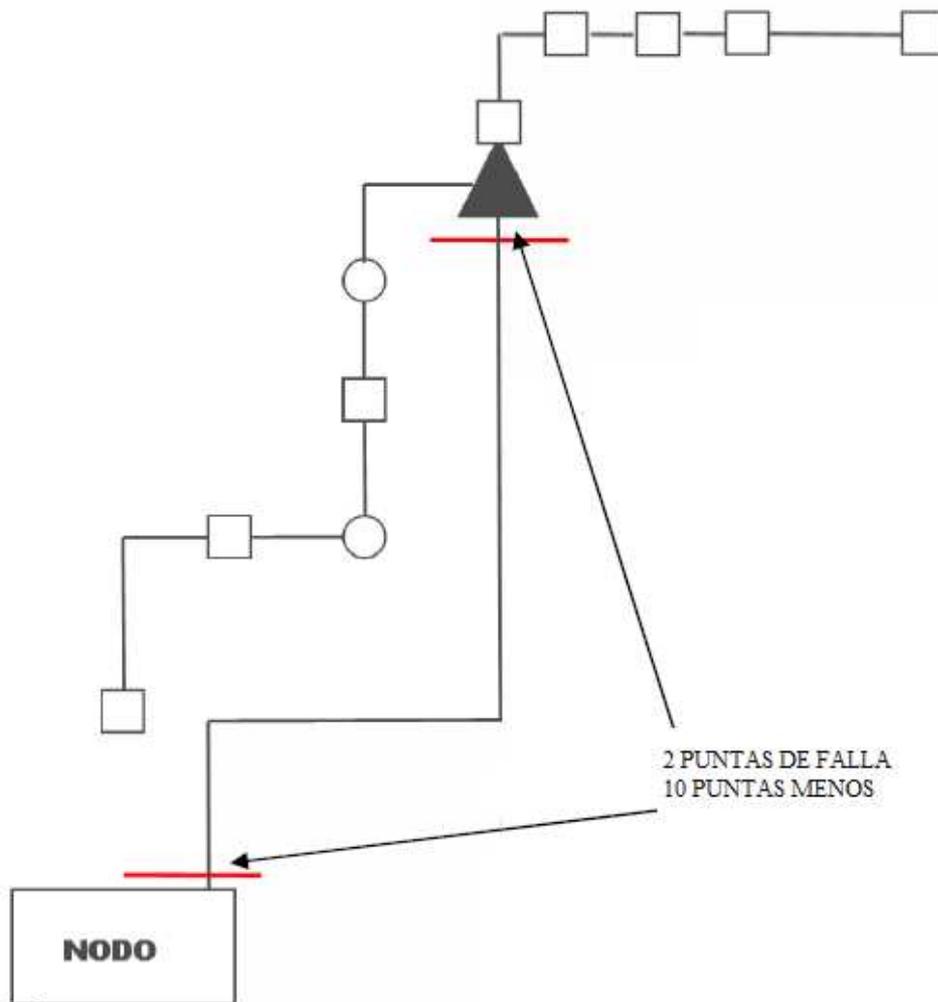


Figura 4. 7: Puntos de posibles fallas en el diseño blaster.  
**Fuente:** Motorola Canopy enterprises solutions Rev 2.0

En el diseño estratégico de banda ancha o blaster se coloca el nodo en el centro de la densidad, un nodo puede soportar hasta 2000 casas, y luego se segmenta en células las cuales están conformadas por los amplificadores, las células se interconectan por medio de la red troncal entre amplificadores, la distribución sale de cada amplificador para cubrir cada uno su propia célula.

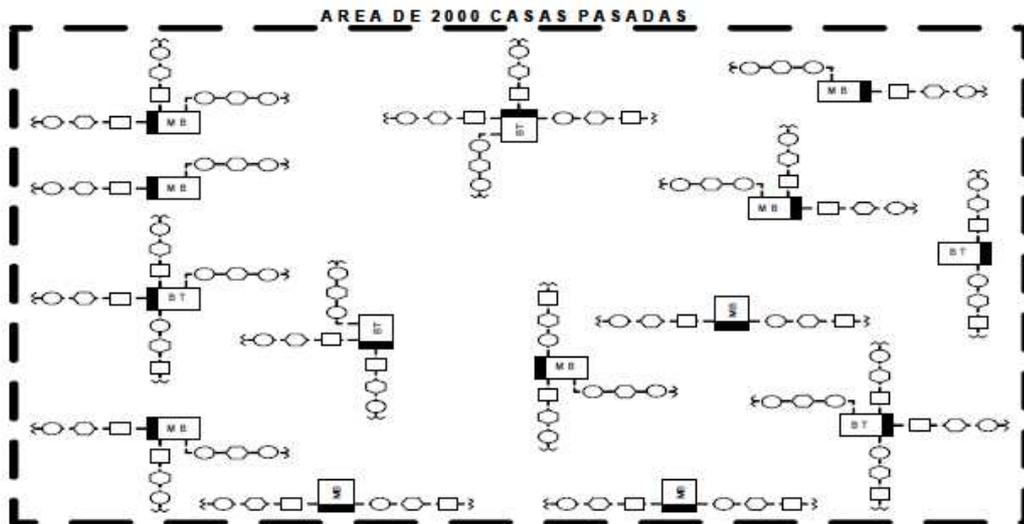


Figura 4. 8: Áreas de servicio multicélulas.  
**Fuente:** Motorola Canopy enterprises solutions Rev 2.0

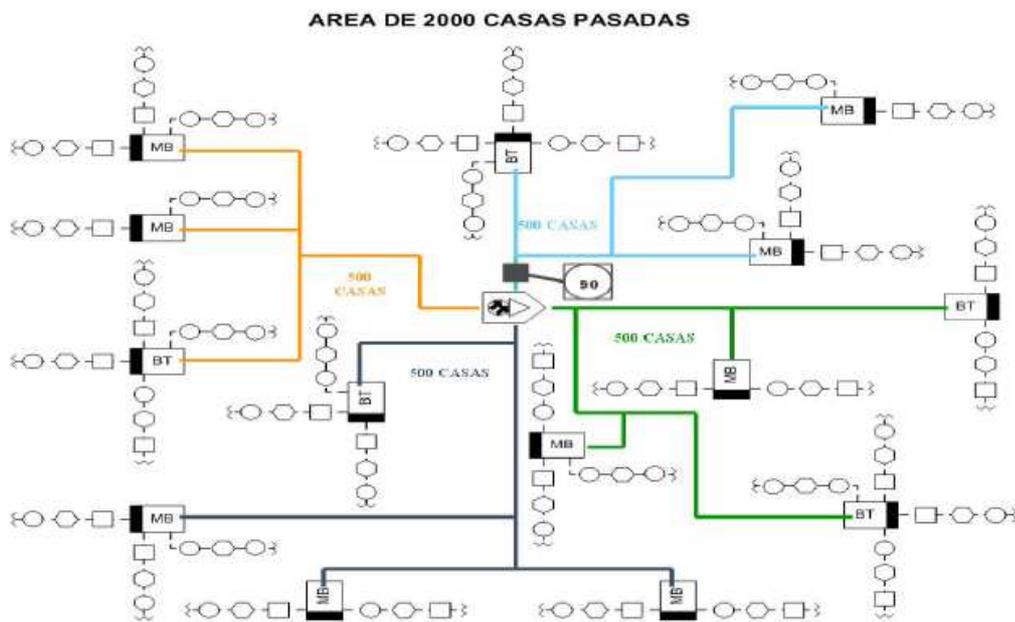


Figura 4. 9: Diseño blaster.  
**Fuente:** Motorola Canopy enterprises solutions Rev 2.0

Se coloca el nodo y se conectan las células. El número de activos por cada rama es determinado por la densidad y el tamaño del nodo. Cuando se necesita dar cobertura a una área mayor de 2000 casas se requiere segmentar el área en grandes células conformadas por nodos, los cuales se reparten la demanda.

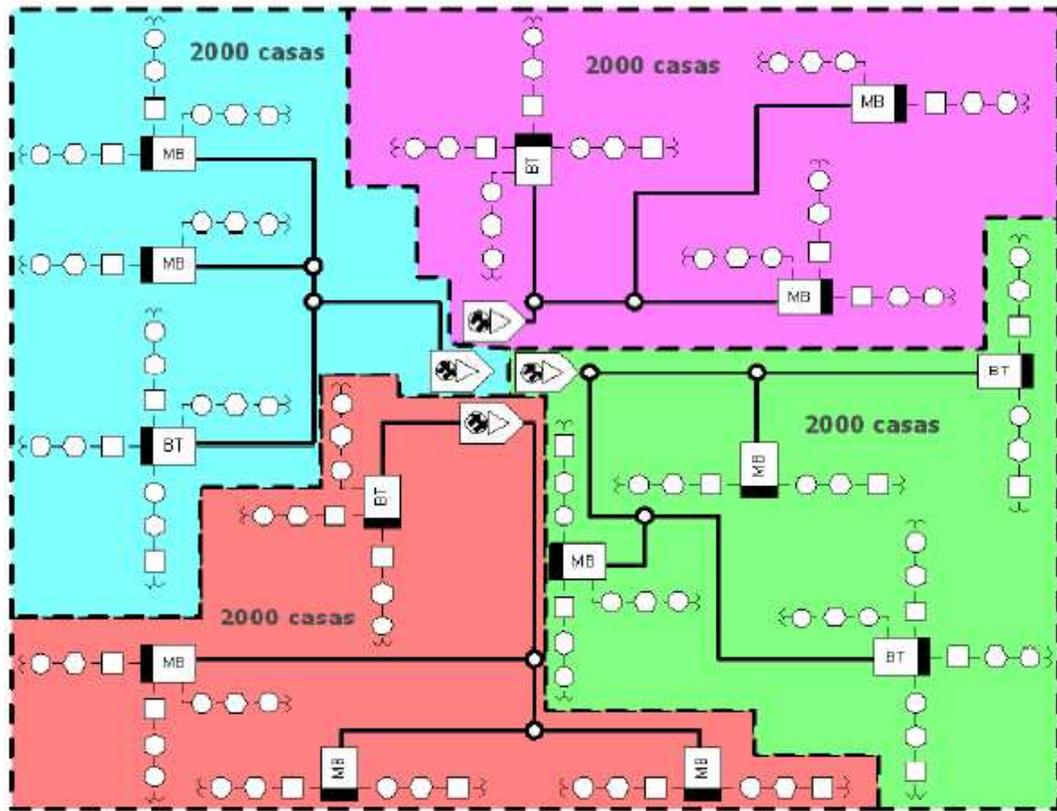


Figura 4. 10: Diseño blaster por nodos (8000 casas pasadas).

**Fuente:** Motorola Canopy enterprises solutions Rev 2.0

### 4.1.3. Cálculos del diseño HFC.

#### 4.1.3.1. Diseño de Forward.

El Forward se encarga de que señal que va del Head-End hacia el cliente. Los cálculos para la distribución se hacen a partir del nivel de salida que da el amplificador como el ejemplo de la figura 4.11, se colocan valores de tap, de mayor pérdida en los taps más próximos al amplificador y se va reduciendo paulatinamente conforme va disminuyendo la señal, para que las salidas hacia los usuarios se mantenga en un rango de +20 dB a +17 dB, se toma en cuenta la pérdida en metros de decibelios ocasionada por el cable coaxial que es de 5db por cada 100 metros, además las pérdidas por inserción en los dispositivos que se toma como 1 dB en cada accesorio.

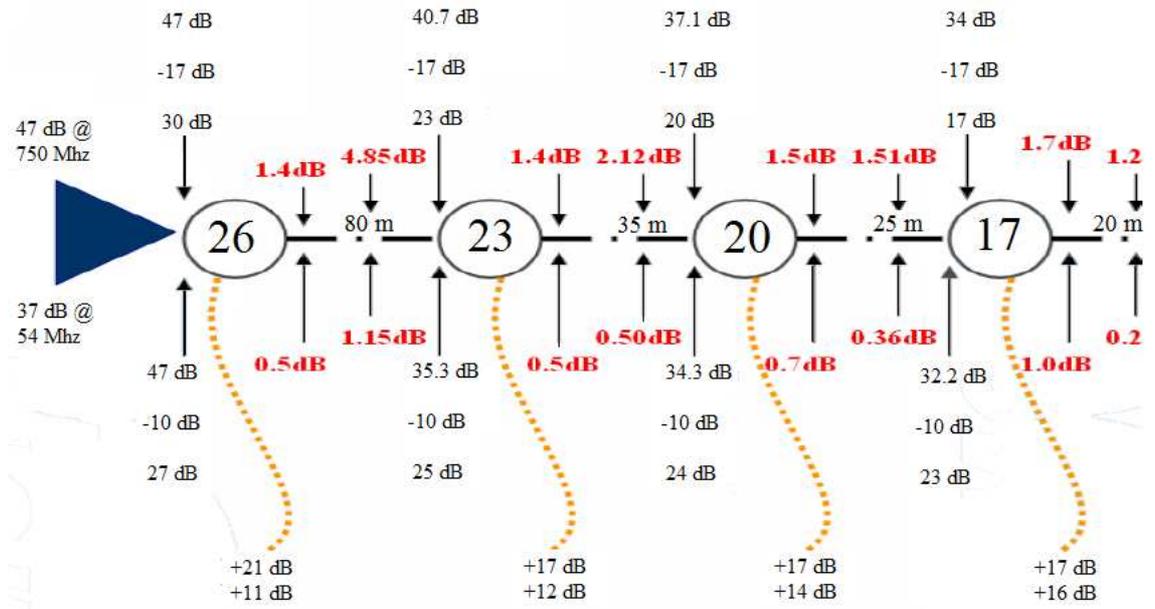


Figura 4. 11: Diseño de Forward.

Fuente: Motorola Canopy enterprises solutions Rev 2.0

#### 4.1.3.2. Diseño de Retorno.

La señal de retorno es la señal que va del usuario hacia la Cabecera como se puede apreciar en la figura 4.12, donde la misma señal es producida por servicio de Internet y telefonía.

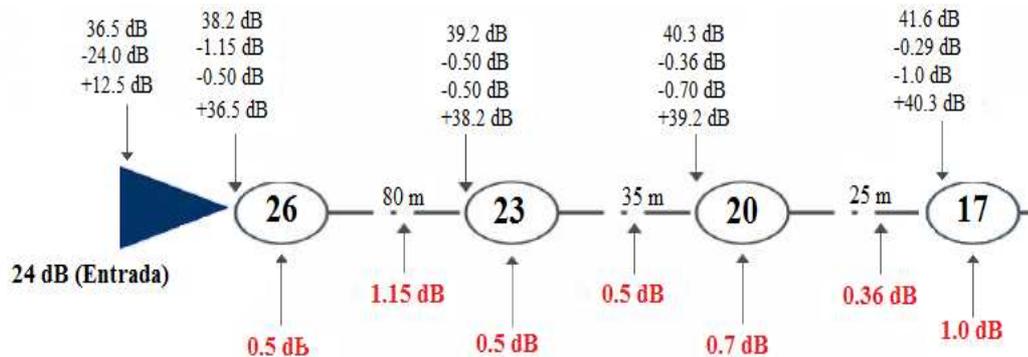


Figura 4. 12: Diseño de retorno.

Fuente: Motorola Canopy enterprises solutions Rev 2.0

#### 4.1.4. Estructura de la Red de Datos

La estructura de la red de datos queda reflejada en el diagrama de la figura 4.13. Los equipos que conectan la red de datos con Internet están situados en el Head-End (cabecera principal); el nodo primario que reside

junto a ésta es el encargado del funcionamiento de los módems de cable, a través de los cuales el abonado tiene acceso a la red.

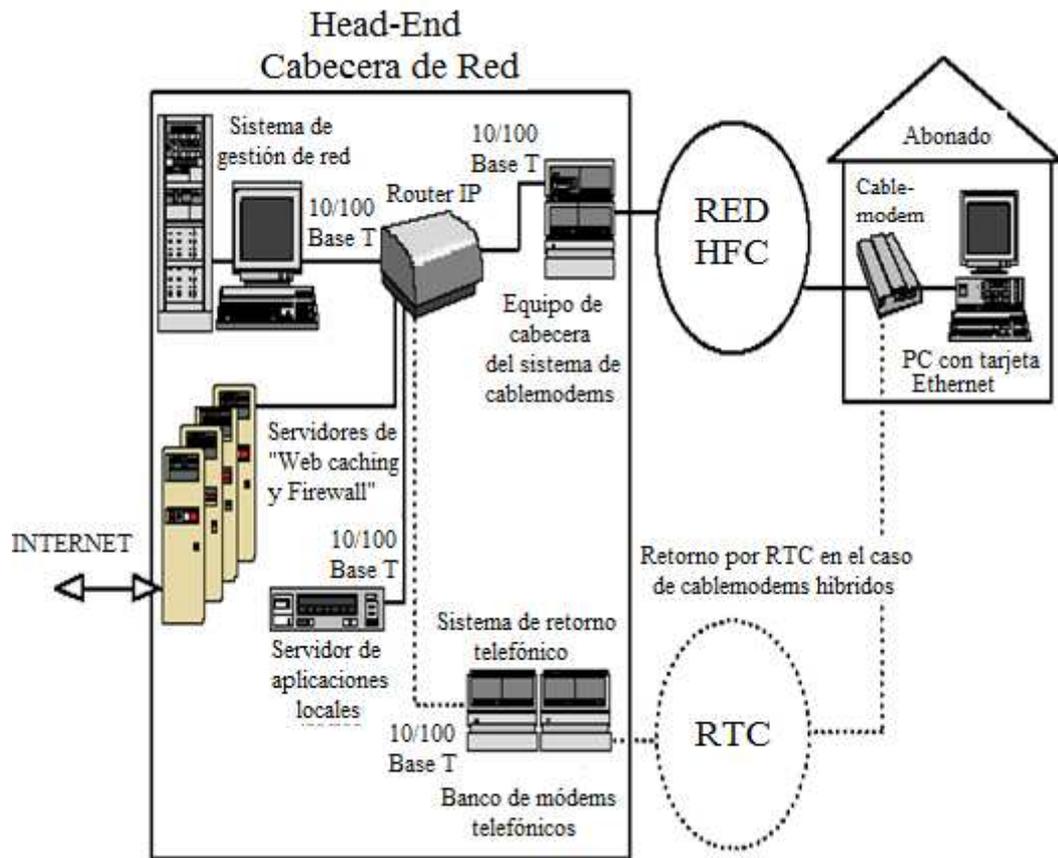


Figura 4. 13: Estructura de una red de datos para banda ancha.

En la figura 4.13 se puede observar los elementos que intervienen desde el Head-End hasta el abonado, es decir que internamente la red se conecta a Internet a través de un router; el corta fuegos o firewall, brinda seguridad a la red de posibles ataques externos; el servidor proxy actúa como caché de páginas web, para acelerar el acceso a Internet. Mientras que los elementos que intervienen del abonado, se conectan a un módem de cable, para permitir acceder a la red HFC.

Los equipos que deben intervenir en este tipo de comunicación de ancho de banda utilizando la tecnología CATV, se describen con más detalle cada equipo:

- ✚ **Router:** se encarga de disipar y coordinar la información perteneciente a las direcciones lógicas de Red.
  
- ✚ **Servidor Proxy:** lleva a cabo algunas funciones en la red para incrementar el rendimiento de operaciones como caché, haciendo copias locales de las páginas más visitadas y de esta forma pasan a servirse localmente.
  
- ✚ **Corta fuegos o Firewall:** es un dispositivo de seguridad que funciones como corta fuegos entre redes, permitiendo o denegando las transmisiones de una red a la otra.
  
- ✚ **Servidores:** es un computador que forma parte de una red, provee servicios a otras computadoras denominadas clientes y se encargan de dar los siguientes servicios:
  - WWW, FTP, IRC, USENET, e-mail
  - DNS
  - DHCP
  - Sincronización horaria
  - Juegos
  
- ✚ **Conmutador ATM multiservicio:** se encarga de interconectar equipos de diferentes tecnologías, como ATM, Frame Relay, X.25, etc. Su rendimiento es elevado (19 Gbps) para soportar el tráfico de la red.
  
- ✚ **Conmutador LAN:** permite la conexión de servidores con el conmutador ATM multiservicio mediante tecnología 100 Base-T y ATM (155 Mbps).
  
- ✚ **Conmutador ATM de acceso:** de características similares al conmutador ATM multiservicio, pero de menor capacidad (2 Gbps), con un mayor número de puertos.

- ✚ **Cabecera de módems de cable:** localizada en la cabecera principal (Head-End), componen la red de acceso a datos integrada en HFC, ver figura 4.14. También es capaz de soportar 2000 módems de cable, usando un canal descendente compartido de 30 Mbps (6 MHz) y varios canales ascendentes compartidos de 2,56 Mbps (1,8 MHz).



Figura 4. 14: Cabecera de módems de cable

Fuente:

<http://mediacenter.motorola.com/imagelibrary/detail.aspx?MediaDetailsID=216>

- ✚ **Módems de cable:** situados en el domicilio del abonado, permitiendo acceder a la red de datos mediante HFC. Las velocidades de transferencia de los canales descendente y ascendente son configurables desde la cabecera, en un rango de 32 Kbps hasta 10 Mbps.

## 4.2. FUNCIONAMIENTO DE UNA RED PLC

Para el funcionamiento de la red de banda ancha mediante la línea de baja tensión (BT), utilizada como una red de acceso para hogares e industrias, mientras que la línea de media tensión (MT) hace las veces de red de distribución, transportando datos hacia el backbone de la red. La existencia de la tecnología PLC en la línea de media tensión (MT) convierte esta parte de la red en anillos metropolitanos (como una red

WLAN), afianzando aún más al PLC como una alternativa real de Banda ancha y solución de acceso.

El principio de funcionamiento es sencillo ya que se conecta el módem PLC desde el usuario hacia a la red de distribución eléctrica para acceder a una red de comunicación. Es dispositivo de comunicación (módem) se comunica con la repetidora PLC, generalmente situada en la cabecera PLC de los transformadores de distribución. Las velocidades de transmisión en equipos comerciales para el tramo de baja tensión están en el orden de 45 Mbps distribuidos en 27 Mbps en sentido descendente (bajada) y 18 Mbps en sentido ascendente (subida), siendo asimétrica la comunicación.

El ancho de banda es compartido entre todos los usuarios que se cuelgan a la cabecera PLC, con un máximo de 256 usuarios. Esto significa que si en una repetidora hay 100 conexiones, la velocidad teórica de bajada es de 270 Kbps, pero si las conexiones son 10 la velocidad será de 2,7 Mbps con lo cual es una ventaja comparada con la tecnología ADSL. En la figura 4.15 se observa el funcionamiento de la tecnología PLC.<sup>15</sup>

---

<sup>15</sup> Recuperado de la página web: <http://microe.udea.edu.co/~alince/recursos/lineas/PLC.pdf>

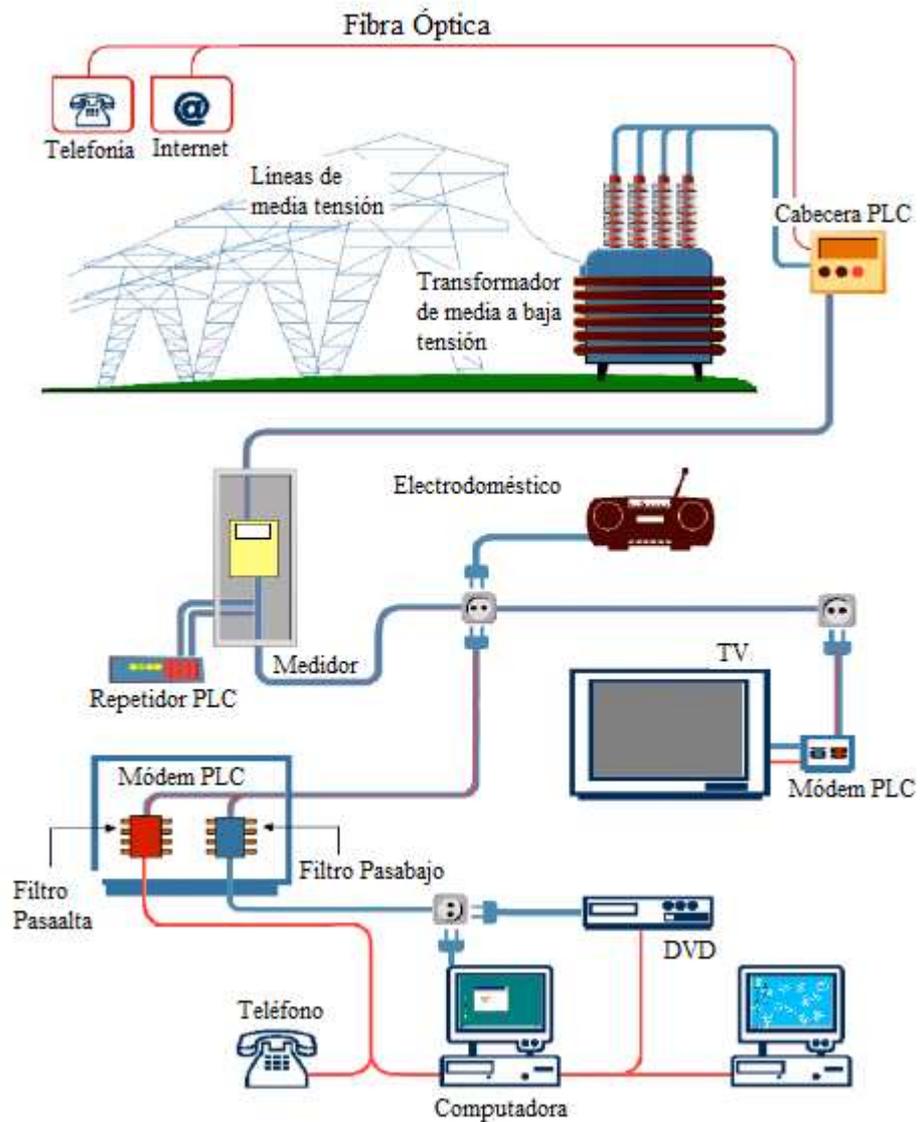


Figura 4. 15: Funcionamiento de tecnología PLC

Fuente: <http://microe.udea.edu.co/~alince/recursos/lineas/PLC.pdf>

Se aprecia en la parte superior de la figura 4.15 que por medio de fibra óptica se lleva información de Telefonía e Internet (línea roja) a un centro de distribución eléctrico o transformador de distribución, en este se encuentra ubicada una Cabecera PLC (En este punto debe haber un conversos Óptico Eléctrico por lo general a Ethernet, que es el estándar de entrada de datos para las cabeceras de PLC) la cual se encarga de inyectar la información a las redes del sistema de distribución eléctrico de baja tensión.

La información incorporada a la señal eléctrica (línea azul-roja) llega a los usuarios, entrando a los domicilios a través del contador, pasando inmediatamente a ubicarse al repetidor PLC, que permite regenerar la señal de información para que pueda llegar al usuario convirtiendo un tomacorriente en un posible punto de acceso para la comunicación. El abonado o usuario debe tener mínimo un Módem PLC para acceder a la información.

La funcionalidad del módem es similar a la de un filtro Pasa Altas para lograr acceder a la transmisión de información a los dispositivos de comunicación (línea roja) y como un filtro Pasa Bajas, para las frecuencias que dan potencia a los dispositivos eléctricos (línea azul). De esta manera un usuario de tecnología PLC puede contar con servicios de banda ancha en cualquier lugar de su residencia. Es así como puede disponer de Internet, telefonía (VoIP), video, entre otros.

#### **4.2.1. CONSIDERACIONES DE CÁMARAS DE TRANSFORMACIÓN**

Las cámaras de transformación (CT) están constituidas por un transformador de distribución de Media Tensión – Baja Tensión, que nutren la zona Central de la ciudad de Manta. Cada cámara de transformación brindaría servicio de banda ancha a grupos importantes como: escuelas, colegios, universidades, municipio, hospital, instituciones bancarias, etc., donde actualmente ya se encuentra establecido un servicio de transmisión de datos (Internet).

Asimismo las cámaras subterráneas se sitúan en lugares cerrados protegidos de factores climáticos como lluvias, rayos e interferencias que pueden afectar a los equipos que constituirán la Red PLC.

## 4.2.2. ESTRUCTURA DE LAS CÁMARAS DE TRANSFORMACIÓN

La estructura de las cámaras de transformación consiste básicamente de: Equipos y Elementos; Red de media y baja tensión; Número de circuitos y usuarios por cámara de transformación.

### 4.2.2.1. Equipos y elementos

En la tabla 4.1 se muestra los equipos y las características de cada uno en las cámaras de transformación. Están constituidas básicamente de interruptores de alta tensión, transformadores (ver figura 4.16) y armario para baja tensión.

Equipo	Características
Interruptor de Alta tensión	Es una unidad principal aislada en aceite, con dos y hasta cinco Switch para operar bajo carga, más un Switch tipo fusible para el transformador propio de la unidad.
Transformador	Trifásico, operando a una frecuencia de 60 Hz, aislado en aceite con enfriamiento natural además de los equipos de protección.
Armario para baja tensión	Posee un conjunto de barras de cobre, un disyuntor para protección de las barras, disyuntores para protección de los alimentadores secundarios.

Tabla 4. 1 : Equipos y características en las cámaras de transformación.

Fuente: El autor



Figura 4. 16: Elementos que componen el Transformador trifásico.

Fuente: <http://www.mailxmail.com/curso-energia-centros-transformacion/transformador-trifasico-aceite-deposito-expansion>

#### 4.2.2.2. Red de Media y Baja Tensión

Para la red de media y baja tensión es necesario considerar los siguientes parámetros:

- a) **Nivel de transformación:** permite ingresar a las cámaras de transformación (CT) 13,8kV proveniente de la Red de Media Tensión (MT), transformando en redes de baja tensión (BT) de 110V, 220V ya sean monofásicas, bifásicas o trifásicas
- b) **Red de Baja tensión:** se inician en los armarios de las Cámaras de Transformación (CT) mediante una protección principal, que se halla formada por tres fases (L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> y L<sub>3</sub>) y un neutro (N) que van por medio de ductos hacia los contadores de energía de los usuarios, como se ilustra en la figura 4.17.

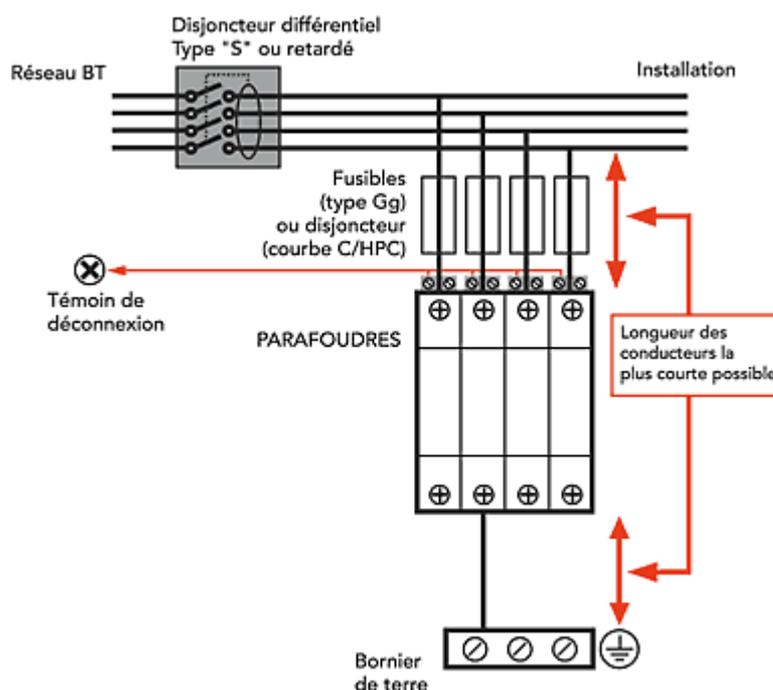


Figura 4. 17: Ingreso de los circuitos a la Red de Baja Tensión.

Fuente:

[http://www.indelec.com.es/foudre/Protection\\_indirecte/Choix\\_et\\_installation\\_en\\_cascade.aspx](http://www.indelec.com.es/foudre/Protection_indirecte/Choix_et_installation_en_cascade.aspx)

- c) **Número de medidores digitales y electromagnéticos:** hay que considerar el número de abonados o usuarios que cuenten con medidores digitales y electromagnéticos. En la actualidad CNEL está en proceso de modernización de medidores digitales que llega en un 40% de usuarios, debido a cambios de infraestructura en los equipos de la empresa.
  
- d) **Cableado de la Red Subterránea:** Las líneas de Media Tensión (MT) a Baja Tensión (BT) ubicadas en el sector de las zonas donde operarán fueron rediseñadas hace 12 años de haber sido tendidas, lo cual se considera como infraestructura nueva, con escasa cantidad de empalmes, cumpliendo con los niveles de seguridad del sistema eléctrico ecuatoriano.

#### **4.2.3. CONSIDERACIONES DEL DISEÑO**

Las consideraciones básicas para el diseño de la red PLC, se detallan a continuación.

##### **4.2.3.1. RED ELÉCTRICA**

Para el caso de la red eléctrica debemos considerar las siguientes características:

- ✓ Distinguir los equipos implicados en la Red de acceso y domiciliaria, para lo cual se valorará los equipos de acuerdo a los requerimientos de CNEL Manabí, de llevar Internet hasta el usuario final mediante sus redes eléctricas de BT como red de acceso.
  
- ✓ Discriminar el tipo de acoplamiento para cada tramo de las redes eléctricas. Acoplamiento capacitivo en paralelo a la red eléctrica, para instalaciones de interiores, y acoplamiento inductivo para la red de acceso.

- ✓ Verificar las condiciones de la infraestructura de las Redes subterráneas de CNEL Manabí aunque estas se pueden considerar como nuevas. CNEL realiza mantenimiento de las líneas aéreas y subterráneas cada dos años para salvaguardar los equipos en óptimo estado.
- ✓ Considerar los inconvenientes suscitados en el domicilio de los usuarios, ya que a veces son manipuladas por personas sin el respectivo conocimiento de instalaciones o conexiones eléctricas.
- ✓ Considerar las normas establecidas con respecto a las distancias en hogares y edificios. En los hogares las redes tienen una distancia menor a 100m, debido al servicio eléctrico con una misma fase de 110/120V<sub>AC</sub>, garantizando continuidad en la transmisión entre los nodos. En edificios las distancias superan los 100 metros, para lo cual se requiere mayor seguridad en las comunicaciones
- ✓ Considerar el rendimiento de la red PLC en el domicilio y edificios según la arquitectura de la red eléctrica, así como los problemas de interoperabilidad que se presentan si se usan equipos de diferentes fabricantes.

#### **4.2.3.2. RED DE DATOS**

Para el caso de la red de datos para la red PLC debemos considerar las siguientes características:

- ✓ CNEL Manabí no cuenta con una red de transmisión de datos para la interconexión de las Cámaras de Transformación (CT). Para esto se ha diseñado una conexión de datos a través de Fibra Óptica de la red HFC de TELMEX (Claro), que se interconectará con los ductos de Media Tensión (MT) que conectan las Cámaras de Transformación.

- ✓ Considerar el número de abonados a los que accederían al servicio de las Cámaras de Transformación (CT), para obtener servicio de Internet a través de la red eléctrica, y los que no optarían por el servicio ya sea porque tiene contratado ese recurso en otra empresa del sector o porque no ven necesario realizar una inversión en la contratación de Internet.
- ✓ Determinar el flujo de información que viaja a través de la red que dependerá de (ver tabla 4.2): Sistemas de automatización y monitoreo de las Cámaras de Transformación (CT) que no requieren grandes capacidades de transmisión ya que están en el rango de los (Bps). Provocando mayor demanda de aplicaciones de usuario con respecto a Banda Ancha ya que operan en el orden de los (Mbps).

Aplicaciones	Tráfico (bps)
Sistemas de Automatización Monitoreo	17600
Aplicaciones Multimedia	(130000*3)=390000
Voz IP	16000

Tabla 4. 2 : Valores del flujo en la transmisión por la red PLC

- ✓ Definir la potencia necesaria para transmisión de datos, para garantizar suficiente ancho de banda y limitar los efectos del ruido y distorsión en la línea.

#### 4.3. OBTENCIÓN DE LA POTENCIA DEL Tx ( $P_{\text{mín}}$ )

En el diseño de la red se pudo determinar la potencia mínima de transmisión [ $P_{\text{mín tx}}$ ] mediante la siguiente ecuación:

$$P_{\text{mín tx}} = P_{rx} + A_t + A_m$$

Donde:

$P_{rx}$ = potencia óptica de entrada (receptor).

$A_t$ = atenuación total del sistema de transmisión.

$A_m$ = atenuación por margen de degradación.

En cuanto a la Potencia del receptor en dBm [ $P_{rx}$ (dBm)], se la puede determinar para velocidades de transmisión  $V_{tx}$  igual a 100 Mbps, como se muestra en la figura 4.18:

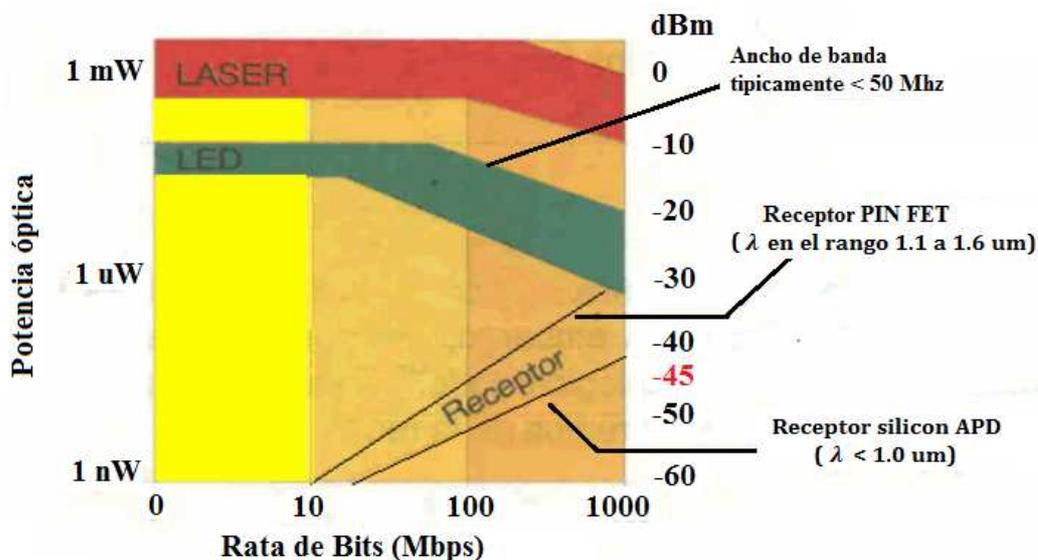


Figura 4. 18: Definición potencia óptica en el receptor.

Fuente: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2448/8/T-ESPE-014122-6.pdf>

De la figura 4.18 se obtiene la longitud de onda  $\lambda=1.1$  mm a 6 mm y con una atenuación (potencia) de -30dBm. Con lo anteriormente expuesto procederemos a obtener la potencia mínima de transmisión para después comparar con la atenuación del láser que debe tener como máximo 3 dB, para lo cual debemos considerar los siguientes pasos:

➤ **Determinar la atenuación total del sistema ( $A_t$ )**

Para calcular  $A_t$  del sistema utilizaremos la siguiente expresión:

$$A_t = A_{fo} + A_{efo} + A_c + A_i$$

Donde:

$A_t$  = Atenuación total del sistema.

$A_{fo}$  = Atenuación de la fibra óptica.

$A_{efo}$  = Atenuación por empalme de la fibra óptica.

$A_c$  = Atenuación del conector de la fibra óptica.

$A_i$  = Atenuación por inserción de la fibra óptica.

Si consideramos el caso de una fibra óptica SM<sup>16</sup>, entonces tenemos:

a) Longitud de onda  $\lambda = 1300 \mu m$

Atenuación  $A = 0.5 \text{ dB/km}$

Distancia entre cámaras de transformación  $S_{CT} = 3.5 \text{ km}$

$$A_{fo} = A_{fomon} S_{CT}$$

$$A_{fo} = 0.5 \frac{\text{dB}}{\text{km}} (3.5 \text{ km})$$

$$A_{fo} = 1.75 \text{ dB}$$

Para obtener la atenuación por empalme de la fibra óptica supondremos que existen 20 empalmes que se deben realizarse en cada uno de las cámaras de transformación (CT) para un trayecto más alejado, es decir dos por cámaras de transformación (CT) y dos terminales  $A_{C/E} = 0.18 \text{ dB}$ , por lo tanto:

$$A_E = A_{C/E} * n_{empalmes}$$

$$A_E = 0.18 \text{ dB} * 20 = 3.6 \text{ dB}$$

b) Se consideran dos conectores uno en la fuente y otro en el receptor, cuya atenuación es de 3.25 dB.

$$A_c = A_f + A_{rx} = 3.25 + 3.25$$

$$A_c = 6.5 \text{ dB}$$

c) Dado que la atenuación de inserción del láser es 3 dB, se obtiene la atenuación total del sistema:

$$A_t = A_{fo} + A_{efo} + A_c + A_i$$

---

<sup>16</sup> SM (Single Modal, unimodal) es un tipo de fibra óptica utilizada en comunicaciones de corto alcance.

$$A_t = 1.75 \text{ dB} + 3.6 \text{ dB} + 6.5 \text{ dB} + 3 \text{ dB}$$

$$A_t = 14.85 \text{ dB}$$

d) Por último determinamos del sistema la potencia mínima de transmisión de la siguiente expresión:

$$P_{\min}(Tx) = P_{rx} + A + A_M$$

$$P_{\min}(Tx) = -30 \text{ dB} + 14.85 \text{ dB} + 5 \text{ dB}$$

$$P_{\min}(Tx) = -10.15 \text{ dB}$$

El valor obtenido en la potencia mínima de transmisión es menor a la de inserción del láser, para lo cual se concluye que el láser se utilice como fuente de transmisión.

#### **4.4. COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DE LA RED**

Los costos para la propuesta del empleo conjunto de tecnología CATV y PLC en la compañía TELMEX (Claro) en la presente investigación son en base a los equipos que suministra Motorola compañía multinacional distribuidora de todos los equipos con los que trabaja TELMEX (Claro)

En las tablas 4.3 y 4.4 se muestran los costos de los equipos a utilizar en la red HFC (CATV) y PLC en la ciudad de Manta provincia de Manabí.

Item	Part Number	Model	Description	Qty	Precio Fase 2	
					unitario	Total
1	495539-001-00	BSR 64000	BSR 64000 High Density Chassis (Ver Anexo A)	1	\$ 7.020,00	\$ 7.020,00
2	517930-002-00	SRM4	BSR 64000 System Resource Module 4, RoHS Compliant (Ver Anexo A)	1	\$ 6.825,00	\$ 6.825,00
3	517932-002-00	Redundant SRM4	BSR 64000 Redundant System Resource Module 4, RoHS Compliant (Ver Anexo A)	1	\$ 6.825,00	\$ 6.825,00
4	530979-001-00	Ether-Flex NIM	BSR 64000,ETHER-FLEX NIM, 2 SFP PORT GIGE, 8 PORT 10/100, MDL (Ver Anexo A)	2	\$ 9.730,00	\$ 19.460,00
6	508968-001-00	Redundant 2:8 DOCSIS	BSR 64000 Redundant 2:8 DOCSIS 1.0/1.1/2.0-A RF Module (Ver Anexo A)	1	\$ 15.015,00	\$ 15.015,00
7	508966-001-00	2:8 DOCSIS Module	BSR 64000 2:8 DOCSIS 1.0/1.1/2.0 RF Module (Ver Anexo A)	3	\$ 10.374,00	\$ 31.122,00
5	527953-005-00	1000Base-SX SFP	SFP GigE Transceiver 1000Base-TX, Copper (Ver Anexo B)	2	\$ 117,00	\$ 234,00
						\$ 86.501,000
<b>VIDEO</b>						
Item	Part Number	Model	Description	Qty	Precio Fase 2	
					unitario	Total
	531564-002-00	OM2000-DC	Out of Band Modulator DC Power: QPSK data modulator for out-of-band data. Replaces OM-1000. ROHS (Ver Anexo C)	1	\$ 2.700,00	\$ 2.700,00
	541928-004-00	APEX1000 V24 Package, DC	APEX1000 1-DC P/S module, 3 - 2x4 RF modules (Ver Anexo D)	1	\$ 13.982,00	\$ 13.982,00
	540271-001-00	APEX PS Module - DC Power	PS Module DC Power (Ver Anexo D)	1	\$ 489,00	\$ 489,00
	551771-002-00	1000BaseT, RoHS	1000Base Copper T, RoHS Electrical Transceiver (Ver Anexo E)	2	\$ 225,00	\$ 450,00
	535655-002-00	ARPD-DC	Advanced RPD Chassis: Supports up to 6 ADM 4000 demodulator modules . DC Power. (Ver Anexo F)	1	\$ 5.000,00	\$ 5.000,00
	535666-001-00	ADM-4000 ARPD	Demodulator module. Demodulates up to 3 return paths. (Ver Anexo F)	3	\$ 2.037,50	\$ 6.112,50
						\$ 28.733,500
<b>OPTICA</b>						
Item	Part Number	Model	Description	Qty	Precio Fase 2	
					unitario	Total
	528779-002-00	GX2-HSG112D-R	Chassis,4U configured w/SDU & CM & 2 DC PS,RoHS compliant,finished good (Ver Anexo G)	2	\$ 2.250,00	\$ 4.500,00
	528854-014-00	GX2-LM1000E14-R	Transmitter,1310NM 14 DBM output power 1GHZ,RoHS compliant (Ver Anexo H)	3	\$ 2.688,00	\$ 8.064,00
	528783-001-00	GX2-RFA1000B-R	amplifier,RF forward path,47-1000MHZ,single output,16DB GAIN,RoHS compliant (Ver Anexo H)	2	\$ 325,00	\$ 650,00
	542156-001-00	GX2-RX200BX4-R	Receiver,return path, Quad, 5-200MHZ, SC/APC connector, RoHS compliant (Ver Anexo I)	12	\$ 765,00	\$ 9.180,00
	528854-009-00	GX2-LM1000E9-R	Transmitter,1310NM 9 DBM output power 1GHZ,RoHS compliant (Ver Anexo H)	9	\$ 1.559,00	\$ 14.031,00
						\$ 36.425,000
<b>TOTAL PLANTA INTERNA MANTA</b>						<b>\$ 151.659,500</b>

Tabla 4. 3: Costos de la Red HFC (CATV)

Fuente: El Autor

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	P/U	PRECIO TOTAL
<b>Equipos para Red PLC</b>			
Unidades de Acondicionamiento	18	600	10800,00
Unidades Repetidoras	100	250	25000,00
Unidades de Acoplamiento Inductivo	15	309	4635,00
Unidades de Acoplamiento Capacitivo	2115	17,5	37012,50
Unidades de Usuario TPL-101U	2115	24,5	51817,50
Convertidores de Medio FO/Ethernet	26	85,45	2221,70
Caja de Distribución de Señal PLC 100, hasta 8 puertos	286	45,1	12898,60
Filtro Interno 12/13 Mhz.			
Paquete para 10 Instalaciones	15	356	5340,00
<b>Total 1 USD</b>			<b>149725,30</b>
<b>Equipos de Interconexión</b>			
Switch Ethernet Óptico	1	2575	2575,00
Switch Ethernet UTP	1	502,17	502,17
Router 2 Puertos 10/100/1000 Base T. Puerto WAN	1	1657,80	1657,80
Patch Panel de 48 puertos	1	895	895,00
Patch Panel de 24 puertos	1	283,77	283,77
Patch Panel de 12 puertos	1	245,92	245,92
Patch Panel de 6 puertos	1	179,94	179,94
Rack 72"x19" pies de aluminio negro	2	152,89	305,78
Patch Cord de Fibra óptica	16	19,40	310,40
Multitoma montable en Rack	8	26,75	214,00
Fibra Óptica de 60 pares monomodo	520 m	23,5 c/m	16100,00
Fibra Óptica de 30 pares monomodo	590 m	13,75 c/m	8112,50
Fibra Óptica de 24 pares monomodo	950 m	9,10 c/m	8645,00
Fibra Óptica de 12 pares monomodo	745 m	6,77 c/m	5043,65
Fibra Óptica de 6 pares monomodo	4869 m	4,88 c/m	23760,72
<b>Total 2 USD</b>			<b>68831,65</b>
<b>Costo Total Red PLC USD</b>			<b>218556,95</b>

Tabla 4. 4: Costos de la red PLC

Fuente: El Autor

## **CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

### **5.1. CONCLUSIONES**

1. A través de la revisión del estado del arte se pudo demostrar la compatibilidad de las tecnologías CATV y PLC para la transmisión de datos de banda ancha, y que en otros países ha demostrado la viabilidad de las tecnologías mencionada y por ende la no afectación de los servicios de electricidad.

2. Para TELMEX (Claro). el empleo conjunto de la tecnología CATV y PLC se plantea como una excelente solución de red de acceso, específicamente PLC, dado que la red eléctrica bajo la cual se sustenta tiene una cobertura de un 96.75% llegando a 586,784 habitantes en el cantón Manta de la Provincia de Manabí, aumentando así el índice de penetración de Internet en la misma.

3. A futuro la tecnología PLC brindará grandes anchos de banda, como las mejoras que tiene en su tercera generación, los costos de los equipos se reducirán por la oferta y demanda, así como también la integración de tarjetas PLC dentro de computadores, aprovechando así el cable de la fuente de alimentación para la conexión a la red de datos.

5. Finalmente las tecnologías CATV y PLC operando en forma conjunta en la actualidad es una solución en la comunicación de datos, que debe ser impulsada por diversos sectores, tanto público y privado, para mejorar la cobertura global de Internet, mejorando así la competencia en acceso de banda ancha, lo cual se ha demostrado.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

1. Revisar a futuro el estado de las líneas eléctricas y de CATV tanto en la red de acceso como domiciliaria, ya que la corrosión, malos empalmes o extremado número de derivaciones provocando reflexiones, y atenuaciones disminuyendo significativamente la señal de datos transmitida.

2. Capacitar al personal técnico específicamente del departamento de redes y operaciones que son los encargados de las redes CATV, PLC y de instalar el servicio a los usuarios respectivamente.

3. Que es personal técnico de TELMEX (Claro). revise las instalaciones eléctricas de las casas de los usuarios, se encuentren en buen estado para una excelente transmisión de datos. Asimismo la instalación para acceder a Internet a través de PLC deberán comprobar la polarización de los tomacorrientes.

4. Adquirir los equipos y software para realizar el monitoreo y administración de las tecnologías CATV y PLC que permitan mapear el estado de las redes.

5. Especificar una estrategia de crecimiento comercial para una exitosa evolución de la tecnología en el mercado, buscando así la viabilidad técnica y la rentabilidad económica para TELMEX (Claro).

6. Fomentar el despliegue de la tecnología PLC para transmisión de datos específicamente en áreas menos favorecidas, social y económicamente por parte de CNEL con una red PLC.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[**Álvarez, 2011**] J. Álvarez, "Transmisión de Datos por la Red Eléctrica. Website, URL: <http://www.victorgarcia.org/files/PLC-v2.0RC.pdf>

[**Butler, 2001**] P. A. Brown, "Power Line Communications - Past Present and Future", 3<sup>rd</sup> International Symposium on Power Line Communications and It's Applications, Lancaster UK 30.5-1.4.1999, pp. 1-7

[**Ds2, 2011**] DS2 Official Website, URL: <http://www.ds2.es>, 2011

[**Faure, 2006**] Faure, J. the IEEE P1901 project: broadband over power lines, 2006 Digest of Technical Papers. International Conference on Consumer Electronics, IEEE, Las Vegas, NV, USA, 2006, pp. 159-160.

[**Gómez, 2004**] R. Gómez, M. Leiva Benegas, "Sistema de Telecomunicaciones por Redes de Energía Eléctrica", Publicación ejemplar COPITEC: Revista "Coordenadas" N°63 – Agosto 2004.

[**Haykin, 2009**] Simon Haykin, Michael Moher, "Communications Systems", 5<sup>ta</sup> Edición. John Wiley & Sons, USA, 2009.

[**Hrasnica, 2004**] HRASNICA, Halid. HAIDINE, Abdelfatteh. LEHNERT, Ralf (2004). Broadband Powerline Communication - Network Design. Inglaterra. John Wiley & Sons.

[**IEC, 2003**] International Electrotechnical Commission, Publication 663, "Planning of power line carrier systems", Agosto 2003.

[**Mainnet-PLC, 2011**] Mainnet Oficial Website, URL: [http:// www.mainnet-plc.com](http://www.mainnet-plc.com), 2011

[**Olaf, 1998**] Olaf Hooijen, "Aspects of Residential Power Line Communications", Ph.D. Thesis, Shaker Verlag GmbH, ISBN 3-8265-3429-8, 1998.

[**Owen, 2002**] Owen Rubin, "Plug Into Home Networks", IEEE Spectrum, June 2002, pp 60-62.

[**Sklar, 2000**] Bernard Sklar. *Digital Communications Fundamentals and Applications*. 2<sup>da</sup> Edición. Prentice Hall PTR. New Jersey, 2000.

#### **PÁGINAS WEB**

- ✓ National Communications System "Technical Information Bulletin 07-1 Broadband over PowerLines:  
[http://www.ncs.gov/library/tech\\_bulletins/2007/tib\\_07-01.pdf](http://www.ncs.gov/library/tech_bulletins/2007/tib_07-01.pdf)
  
- ✓ Prestación del servicio de distribución y comercialización",  
<http://www.aresp.go.cr/menu.htm>
  
- ✓ PLC Utilities Alliance , " White Paper on Power Line Communications (PLC) 2004"  
[http://www.puapl.com/files/upload/041021\\_Whitepaper\\_PLC\\_2004.pdf](http://www.puapl.com/files/upload/041021_Whitepaper_PLC_2004.pdf)
  
- ✓ The National Association for Amateur Radio, "PLC Utilities Alliance , " Utility Encounters Mixed Success in Avoiding Amateur Spectrum with BPL " <http://www.arrl.org/news/stories/2004/04/08/3/?nc=1>
  
- ✓ MollenKopf, Jim. "Presentation to Cincinnati IEEE Meeting",  
[http://ieee.cincinnati.fuse.net/BPL\\_slideshow.pdf](http://ieee.cincinnati.fuse.net/BPL_slideshow.pdf)
  
- ✓ National Instruments, "OFDM and Multi-Channel Communication Systems" <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3740>

- ✓ Méndez, Daniel “Tecnología Powerline”  
<http://isa.uniovi.es/~sirgo/doctorado/powerline.pdf>

## ANEXO A



### Motorola BSR 64000 CMTS/Edge Router Release 5.2

Provides high-density I-CMTS solution with complete high-availability and greater control of IPTV traffic

#### Features

- TX32 redundancy for full high availability of DOCSIS 3.0 and legacy traffic
- Increased downstream capacity
- Superior control of IPTV traffic with greater multicast traffic control
- Enhanced multi-path routing redundancy
- Subscriber billing with L2 MAC Classification

Motorola's BSR 64000 with release 5.2 is a fully redundant, carrier-class intelligent CMTS/edge router supporting (Euro)DOCSIS® 3.0 for next-generation Ultra-Broadband cable services. The BSR 64000 allows cable operators to cost-effectively and efficiently deploy Ultra-Broadband services in excess of 140 Mbps (DOCSIS) / 200 Mbps (EuroDOCSIS) with per-flow Quality of Service by implementing downstream channel bonding on existing BSR 64000 platforms.

The BSR 64000 provides cable operators with the highest level of investment protection by supporting a migration path to (Euro)DOCSIS 3.0 in support of new high-throughput residential and commercial services while leveraging installed BSR hardware. The BSR 64000 DOCSIS 2.0 hardware, including the SRM, HSI, and 2.8 modules, is fully supported as customers migrate to software release 5.2.

The BSR 64000 is a fully redundant platform designed to offer cable operators 99.999% system availability for subscriber IP voice, video, and data services. The BSR 64000 release 5.2 supports the following modules:

- Supervisory Resource Module (SRM) providing system control and routing functionality. SRM4 and SRM3 are supported.
- TX32 Decoupled Downstream Module offering 32 downstream channels across 8 RF ports
- 2:8 CMTS Module providing integrated 2D and 8U RF channels

- Ether-Flex High-speed Interface Module (HSIM4) offering dual GbE and eight 10/100 Ethernet interfaces, as well as single port HSI2 GbE modules
- Standby TX32, 2:8, and SRM modules providing full redundant operation
- Refer to the Release 5.2 SRN (Software Release Notice) for actual module revision levels supported

#### High Availability – TX32 Redundancy

CMTS redundancy is increasingly vital as competition among broadband service providers grows and service quality becomes a key differentiator. With release 5.2, the BSR 64000 introduces support for TX32 RF Redundancy to provide hitless switchover in the event of a hardware or software issue, while fully protecting subscriber IP voice, video, and data traffic. This includes the availability of the TX32 Standby and 3-slot rear I/O modules, which enable full chassis redundancy spanning CMTS, SRM, and HSI modules. The TX32 3-slot rear I/O module provides the RF port interfaces for up to 2 primary TX32 modules, while integrating the RF switch capability for the TX32 Standby module. These modules, along with release 5.2, enable full TX32 redundancy without an external RF switch or additional cabling.

## DATA SHEET

Motorola BSR 64000 CMTS/Edge Router Release 5.2



### Increased Downstream Capacity with Expanded Downstream Support

In order to support Ultra-Broadband applications, such as HD (High-definition) IPTV or remote medical imaging, greater and more cost-effective downstream capacity is required in the DOCSIS network. Release 5.2 expands downstream capacity per BSR 64000 with the support of dual TX32 modules per BSR 64000 chassis. Release 5.2 further increases the downstream channel capacity of the BSR 64000 by supporting up to eight downstream channels in a distributed MAC Domain per 2:8 CMTS module. The distributed MAC domain concept allows downstream channels from the TX32 to be part of the MAC Domain associated with the 2:8 downstreams and upstreams. The BSR 64000 now supports up to 64 downstream channels and 64 upstream channels with full redundancy across all modules.

In addition to increased downstream capacity, the BSR 64000 also supports both downstream channel bonding and dynamic load balancing:

#### *Downstream Channel Bonding*

Release 5.2 supports DOCSIS 3.0 downstream channel bonding with two, three, or four downstream channels in a bonding group to support ultra-high bandwidth speeds. DOCSIS 3.0 cable modems can coexist with legacy DOCSIS 2.0/1.x cable modems within the same downstream channels in a bonding group.

#### *Dynamic Load Balancing*

Dynamic load balancing distributes DOCSIS 3.0 and legacy cable modems within the defined downstream and upstream load balancing groups to optimize channel utilization for subscriber services. Select cable modems are moved from a channel with the highest utilization to a channel with the lowest utilization based on real-time bandwidth utilization sampling and preconfigured thresholds.

### Superior Control of IPTV Traffic with Greater Multicast Traffic Control

As Ultra-Broadband services rollout to subscribers, new applications supporting SD or HD IPTV content require greater management and control of multicast traffic flowing through a DOCSIS network. Release 5.2 provides support for Multicast Downstream Replication Control (MDRC), which allows cable operators to specify the downstream channel associated with an IPTV multicast flow, and dynamically moves a cable modem to the specific downstream channel based on the IGMP Join message coming from that cable modem. This enhancement eliminates the replication of multicast traffic to all downstreams in a MAC domain, and frees up additional bandwidth on other downstream channels to optimize the overall subscriber experience.

### Enhanced Multi-path Routing Redundancy

Ultra-Broadband services require enhanced network availability and traffic management. Release 5.2 provides enhancements to equal-cost multi-path (ECMP) routing to load-balance the GbE traffic associated with the dual GbE ports on the Ether-Flex modules. Up to three paths are supported to allow multi-path routing to enable high availability with the Ether-Flex and Gig-E modules installed in the BSR platform.

### Subscriber Billing with L2 MAC Classification

In order to provide fair access to bandwidth, some operators look to bill subscribers for bandwidth above and beyond committed levels of service. The Layer 2 MAC Classification enhancement allows operators to separate CM/ESAFE traffic from CPE traffic with the ability to assign different classes of service and collect separate statistics for the different flows to facilitate subscriber billing.

## Specifications

### Scalable Platform for Growth

#### CARRIER-CLASS CHASSIS

Hot-swappable modules with redundancy  
 High availability architecture: 1:1 SRM redundancy, 1:N 2:8 Euro/DOCSIS Module redundancy, 1:2 TX32 Euro/DOCSIS, 1:1 High-Speed Interface Module redundancy, Redundant power and fan units, Integrated RF switch  
 Advanced real-time operating systems such as VxWorks and INTEGRITY provide high levels of reliability, availability, and security for the BSR 64000

#### STANDARDS-BASED INTEROPERABILITY

DOCSIS 2.0 and EuroDOCSIS 2.0 qualified  
 DOCSIS 3.0 and EuroDOCSIS 3.0 bronze qualified  
 PacketCable 1.1 and EuroPacket Cable 1.0 qualified  
 PacketCable Multimedia 1.0 and EuroPacket Cable 1.0 qualified

#### FLEXIBLE CAPACITY CONFIGURATIONS

Flexible downstream capacity expansion with the TX32  
 Decoupled Downstream I-CMTS Module  
 Ether-Flex Card offers two ports of Gigabit Ethernet with SFP optics or eight ports of 10/100 Fast Ethernet

### Software Specifications

#### ROUTING

Internet Protocol version 4 and version 6 (IPv4 and IPv6)  
 Open Shortest Path First Version 2 (OSPFv2)  
 Border Gateway Protocol version 4 (BGPv4)  
 Multiprotocol Label Switching (MPLS)  
 Routing Information Protocol (RIP) version 1 and 2  
 Static Routes  
 Intermediate System-to-Intermediate System (IS-IS)  
 BGP/MPLS VPNs  
 Virtual Router Redundancy Protocol (VRRP)

#### MULTICAST

Internet Group Management Protocol (IGMP) version 1, 2, and 3  
 Protocol Independent Multicast-Sparse Mode (PIM-SM)  
 Protocol Independent Multicast-Source Specific Multicast (PIM-SSM)

#### IP ADDRESS MANAGEMENT

DHCP Relay

#### TRAFFIC MANAGEMENT

Marking, policing and shaping  
 Two-level class-based scheduling  
 SmartFlow™ per-flow queuing  
 Longest Queue Pushout (LQP) congestion management

#### SECURITY MANAGEMENT

IPSec Tunnels  
 MD5 Authentication  
 BPI+  
 Cable and Lawful Intercept

#### HIGH-PERFORMANCE IP ROUTING

Hardware-based forwarding and flow classification  
 Routing policy support  
 More than 3 million PPS for each High-Speed Interface Module  
 More than 42 million PPS for each chassis

#### ADVANCED QOS

Hardware-based wire-speed QoS  
 IP DiffServ, standards-based MPLS, BGP/MPLS VPNs (RFC 2647), per-SID queuing

#### PACKETIZED VOICE SERVICE SUPPORT

Dynamic QoS (DQoS)  
 Common Open Policy Service (COPS)  
 IPSec

#### LOGGING AND MONITORING

Syslog  
 Traceroute and Ping (IPv4 and IPv6)

#### SYSTEM MANAGEMENT AND PROVISIONING

Management and diagnostic capabilities  
 SSH, TACACS/TACACS+, and RADIUS  
 10/100BASE-T port for management  
 SNMP v1/v2/v3  
 Telnet with security extensions  
 DOCSIS, IETF and Motorola MIBs  
 Multiple levels of account/password authentication  
 Open interfaces for provisioning, accounting and billing applications

### Hardware Specifications

#### PHYSICAL

Form	16-slot, 17 RU, NEBS-compliant chassis
Dimensions	29.75 in H x 19 in W x 19.75 in D (76.66 cm x 48.26 cm x 60.17 cm)
Fully configured weight	140 lbs (63.5 kgs)

#### POWER

Input power	-48 VDC
Optional Tyco NP1200 AC to DC Carrier-Class Power Converter	

#### ENVIRONMENTAL

Operating temperature	0° C (32° F) to +40° C (104° F)
Storage temperature	-20° C (-4° F) to +60° C (140° F)
Operating humidity	10% - 90% non condensing
Storage humidity	5% - 95% non condensing

REGULATORY COMPLIANCE	
Safety	UL60960-1:2003 1st Ed.; CSA C22.2 No. 60960-1-03 1st Ed.; IEC 60960-1:2001, 1st Ed.; EN 60960-1:2002, 1st Ed.; 2006/96/EC
Electromagnetic Emissions	EN 300388 V 1.3.1: 2005, Telecom Centers; IEC CISPR 22: 2003 Class A; CFR 47 Part 16, Subpart B, Class A; VCCI V3: 2006, Class A; AS/NZS CISPR 22: 2002 Class A; RRL Notice 2006-67, Class A; 2004/108/EC
Electromagnetic Immunity	EN 300388 V 1.3.1: 2005, Telecom Center; RRL Notice 2005-130
Environmental	RoHS/WEEE; 2006/96/EC
Physical	Designed for NEBS GR-63-CORE level 3 requirements ETS 300 019 Part 1-1 Class 1.1, Part 1-2 Class 2.2, Part 1-3 Class 3.1

## RF Specifications

STANDARDS-BASED INTEROPERABILITY	
DOCSIS 3.0 Downstream channel bonding capable	
DOCSIS 2.0 A-TDMA, S-CDMA and LOGICAL CHANNEL QUALIFIED	
Integrated downstream RF upconverters	
2:8 Advanced Spectrum Management	
DOWNSTREAM RF	
Downstream modulation	64 and 256 QAM
Downstream frequency range (fc)	
DOCSIS	91–870(999*)MHz
EuroDOCSIS	112–869 (996*)MHz
Frequency step	32.0 kHz
Downstream per-channel bit rates:	
DOCSIS	27–38Mbps
EuroDOCSIS	36–66Mbps
RF output level	44–60 dBmV
Bandwidth	
DOCSIS	6 MHz
EuroDOCSIS	Up to 8 MHz
Modulation Error Rate (MER)	47 Typical
Output load impedance	75 Ω
UPSTREAM RF	
Upstream frequency range	
DOCSIS	6–42 MHz
J-DOCSIS	6–66 MHz
EuroDOCSIS	6–66 MHz
Upstream modulation	QPSK, 16, 32, 64, 128, and 256 QAM
Upstream per-channel bit rate	0.320 - 40.96 Mbps
Input load impedance:	75 Ω

Specifications are subject to change without notice.

\*Applies to TX32 1 GHz Module

Visit [www.motorola.com/ultrabroadbandsolutions](http://www.motorola.com/ultrabroadbandsolutions) for more information on Motorola's Broadband products.



www.motorola.com

MOTOROLA and the Stylized M Logo are registered in the US Patent & Trademark Office. DOCSIS is a registered trademark and PacketCable is a trademark of Cable Television Laboratories, Inc. All other product or service names are the property of their respective owners. © Motorola, Inc. 2009. All rights reserved.

690051-001-a 03/09 6987 - 0K

## ANEXO B



MGB-Series  
Transceiver

### 1000Base-SX/LX SFP Transceiver



The MGB family consists of Small Form Factor Pluggable (SFP) transceiver modules that are specifically designed for high performance integrated duplex data link over single mode optical fiber. These transceiver modules are compliant with the SFP Multisource Agreement (MSA) and hot pluggable. These modules offer an easy way to be installed in SFP MSA compliant ports at any time without the interruption of the host equipments operation.

The MGB family: SFP Mini-GBIC Gigabit Ethernet modules can be installed in PLANET Switch products with SFP Mini-GBIC interface. The deployment distance can be extended from 100 meters (TP), 550 meters (Multi-Mode, LC), up to 120 kilometers (Single-Mode, LC).

To fill the increase demand of Industrial Ethernet fiber solution, Planet releases the MGB-T series 1000Base-SX/ LX transceivers that can operate reliably in electrically harsh, climatically demanding, and wide temperature range (-40°C to 75°C) environment. The MGB-T series 1000Base-SX / LX transceivers provide easy and fast 1000Base-SX / LX connection for Planet wide temperature Industrial equipments.

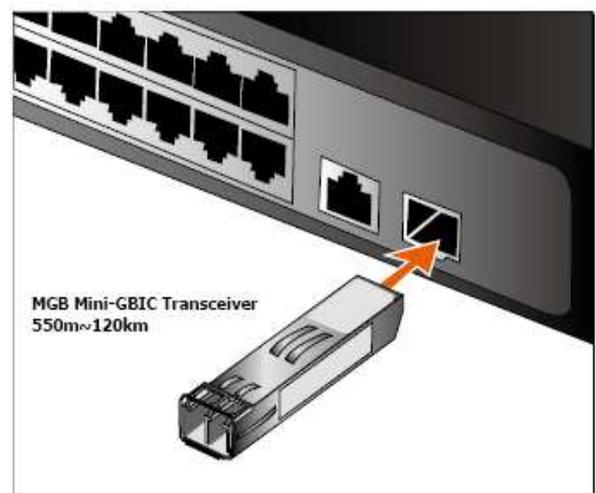
#### KEY FEATURES

- Comply with the IEEE 802.3ab / 802.3z Gigabit Ethernet standard
- 1 X 1000Mbps TP/ LC fiber port
- Industry standard small form pluggable (SFP) package (for model MGB-TSX / MGB-TLX / MGB-TL30 / MGB-TL70)
- Duplex LC connector
- Differential PECL inputs and outputs
- Single power supply 3.3V
- TTL signal detect indicator
- Hot Pluggable
- Class 1 laser product complies with EN 60825-1
- Plug and Play Installation
- 0 to 50 Degree C operation temperature for MGB-GT / MGB-SX / MGB-LX / MGB-L30 / MGB-L50 / MGB-L70 / MGB-L120 / MGB-LA10 / MGB-LB10 / MGB-LA20 / MGB-LB20 / MGB-LA40 / MGB-LB40
- -40 to 75 Degree C operation temperature for MGB-TSX / MGB-TLX / MGB-TL30 / MGB-TL70

#### APPLICATIONS

MGB family: SFP Gigabit Ethernet module can be installed into PLANET Switch and Media Converter products with 1000Base-SX/LX SFP interface. The deployment distance can be extended from 550m (Multi-Mode, LC) up to 120 kilometers (Single-mode, LC).

The SFP transceivers are hot-pluggable and hot-swappable. You can plug in and pull out the transceivers to / from any SFP port without having to power off the Switch/ Media Converter.



## ANEXO C

### SPECIFICATION SHEET



#### BENEFITS

- Receives UDP/IP Ethernet and RS-530 or RS-232 serial data from multiple external devices
- Combines multiple sources of data into one MPEG-2 output transport stream
- Transmits an MPEG-2 data stream (authorization information, EPG data, code downloads, interactive data, and emergency alert packets) to cable terminals, individually or on a broadcast basis
- Provides FEC encoding of the output bitstream, interleaving, and randomization
- Provides QPSK-modulated output in a 1.8 MHz carrier in RF (71 to 129 MHz) or IF (44 MHz)
- Provides variable RF power control
- Provides status and alarms via SNMP traps
- Maintains a contact closure connection with an EAS generator, and transmits EAS messages when triggered by the contact closure
- Performs periodic insertion of internally stored messages
- Front-panel display indicates chassis IP address and RF output frequency

# OM 2000

## Out-of-Band Multiplexer/Modulator



The Motorola OM 2000 Out-of-Band Multiplexer/Modulator generates an out-of-band (OOB) data stream from the headend to digital cable set-top devices, either individually or on a broadcast basis. The OM 2000 can be configured to receive data over Ethernet using UDP/IP, or as serial data over RS-530 or RS-232 communications links. The OOB data stream is used primarily as a signaling channel, but is also used to transmit electronic program guide (EPG) information and code download data. The out-of-band data stream is also the downstream path in an interactive system.

A Quadrature Phase Shift Key Modulator (QPSK) modulates the data on a 1.8 MHz-wide carrier. The center frequency is agile across the 71 to 129 MHz band. The OM 2000 uses null packets as necessary to perform rate aggregation between its inputs and the 2.048 Mbps output. Forward Error Correction (FEC) encoding and interleaving protect data integrity.

## SPECIFICATIONS

### INPUT DATA

Ethernet	10/100Base-T Fast Ethernet
Number of Ports	2 on rear panel
Network Data Rate	10 to 100 Mbps (maximum)
Data Throughput	2 Mbps (nominal)
Interface	IEEE 802.3
Connector	RJ-45
Messaging	UDP/IP, SNMP
Serial RS-232 Interface	1 port on rear panel
Connector	DB9 male
Baud Rate	300, 600, 1200, 2400, 9600, and 19,200 bps
Serial RS-530 Interface	1 port on rear panel
Connector	DB25 male
Baud Rate	56 Kbps maximum (asynch), 2 Mbps maximum (sync)

### RF OUTPUT

Modulation	DQPSK
Forward Error Correction	Reed-Solomon (96,94)
Interleaving	Convolutional (I=8, J=12)
Carrier Symbol Rate	1.024 Msps
Channel Bit Rate	2.048 Mbps (2 bits/symbol)
Information Bit Rate	2.00533 Mbps
Carrier Suppression	50 dB (typical)
Output Signal BW	1.8 MHz
Center Frequency	71 to 129 MHz (configurable)
Frequency Step Size	50 KHz
Level	30 to 50 dBmV (configurable)
Level Step Size	0.5 dB
In-Band Spurious	-60 dBc minimum
MER	30 dB minimum
Return Loss	14 dB in channel, 10 dB outside channel
RF Output Level Stability vs. Temperature	± 2 dB
Accuracy of RF Carrier	15 PPM

### IF OUTPUT

Center Frequency	Fixed at 44 MHz
Output Signal BW	1.8 MHz
Level	Fixed at 26 dBmV

### ELECTRICAL (AC POWER)

Input Voltage	100 to 240 VAC (50 to 60 Hz)
Current	< 1 A, 120 V
Power Consumption	48 W (typical), 60 W (maximum)

### ELECTRICAL (DC POWER)

Input Voltage	-40 to -60 VDC
Current	0.9 A Max
Power Consumption	36 W (typical), 60 W (maximum)

### OPERATING ENVIRONMENT

Ambient Temperature	32 °F to 122 °F (0 °C to 50 °C)
Ambient Humidity	5% to 90%
Storage Temperature	-40 °F to 158 °F (-40 °C to 70 °C)
Cooling	2 fans

### MECHANICAL

Dimensions	1.75 in H x 19 in W x 18 in D (4.45 cm x 48.26 cm x 45.72 cm)
Weight	10 pounds (4.5 kg)
Mounting	Rack mount

### CONFIGURATION AND CONTROL

Local Element Manager	
Motorola SDM	

### OTHER

Limited Warranty	1 year
------------------	--------

Part Number	Description
531564-001-00	OM2000,MODULATOR,AC POWER
531564-002-00	OM2000,MODULATOR,DC POWER



Motorola, Inc. 101 Tournament Drive, Horsham, Pennsylvania 19044 U.S.A.  
www.motorola.com

MOTOROLA and the Stylized M Logo are registered in the U.S. Patent and Trademark Office.  
All other product or service names are the property of their respective owners.  
© Motorola, Inc. 2007. All rights reserved.

## ANEXO D

SPECIFICATION SHEET



# APEX1000

## All-Purpose Edge QAM



### Physical Chassis

1 RU chassis with support for up to 48 DRFI-compliant QAM channels, up to three removable and hot-swappable QAM modules per chassis (two block-upconverted RF ports per QAM module)

### QAM Modules

Available in 2x4 configuration (up to four QAM channels per port), 2x8 configuration (up to eight QAM channels per port), and a QAM module software upgrade to field-convert a 2x4 module to a 2x8 module

### Power Consumption

Extremely low power consumption (4 W/QAM channel when fully loaded, 192 W typical)

### GigE Interface

Four GigE interfaces (SFP slots) with support for IGMPv3 and transport stream redundancy

### Power Supplies

Supports up to two hot-swappable redundant load-sharing power supplies (system can operate with either one or two); supports two AC, two DC, or either 1 AC or 1 DC

### Encryption and Conditional Access

- Supports full MediaCipher® encryption and conditional access as well as CTE for VOD scrambling in both MediaCipher and SCTE-52 modes
- Software upgradeable to CSA and AES encryption
- Support for full session VOD encryption

### Full Video EQAM Feature Set

- De-jittering of CBR and VBR input streams
- Receive either MPTS or SPTS
- Transmit MPTS
- Support for MPEG remultiplexing, PID remapping, PSI generation, and PSI monitoring
- Support for PSIP fixing and SCTE-18 EAS
- Supports SNMP for configuration, control, alarms, and traps

### SDV and VOD Standards

Supports the RTSP, MHA, and RPC specifications

### M-CMTS Standards

Support for the M-CMTS interfaces, including DTI and DEPI (MPT)

The APEX1000 offers cost-effective and power-efficient multiplexing, encryption, and QAM/RF upconversion in a high-density platform.

### High-Density EQAM for Full-Featured, Cost-Effective Video and Data Services

The APEX1000, Motorola's next-generation all-purpose edge QAM, provides flexibility, high availability, high QAM density, MediaCipher encryption, and low power in an extremely cost-effective 1 RU platform. Up to three removable and hot-swappable QAM modules can be installed in the chassis. Each module provides two RF ports, which support up to eight QAM channels each. Any of the 48 QAM channels available can be used for Video-on-Demand (VOD), Switched Digital Video (SDV), broadcast services, or DOCSIS® high-speed data (through support for the M-CMTS architecture).

The APEX1000 provides four SFP slots, allowing for up to four optical or electrical GigE inputs. This also allows the APEX1000 to support full transport stream redundancy covering all 48 QAM channels.

The APEX1000 supports the NGOD R6 and D6 interfaces as well as the RPC SDV interfaces, allowing it to function as an SDV edge QAM in any standards based SDV system.

In addition, the APEX1000 performs network de-jittering, MPEG multiplexing, message insertion, and PSI generation following MPEG-2 transport specifications.

SPECIFICATION SHEET

**APEX1000**  
All-Purpose Edge QAM

**MODULAR CHASSIS**

Chassis Height	1 RU
Dimensions	1.7 in x 19.0 in x 24.9 in
Weight	23 lb (fully loaded)
QAM Modules	Up to three per chassis; purchase 2x4 or 2x8 modules; software upgrade 2x4 to 2x8
Hot-Swappable	Yes
RF Ports	Two per QAM module
QAM Channels per RF Port	
2x4 module	Up to four
2x8 module	Up to eight

**POWER**

Power Supplies	Up to two per chassis
Load Sharing	Yes
Redundant	Yes
Hot-Swappable	Yes
Configurations	One or two AC One or two DC
AC Power Supply	100 to 240 VAC, 50/60 Hz
DC Power Supply	-40 to -75 VDC
Power Consumption	<4 W/QAM channel fully loaded (192 W typical)

**ENVIRONMENTAL**

Operating Temperature	0 °C to 40 °C
Storage Temperature	-40 °C to 70 °C
Cooling	Five fans, front-to-back airflow
Operating Humidity	5% to 95%

**FEATURES**

Broadcast Video	Supported
VOD/SDV	RTSP, RPC, and UDP port mapping configurable on a per-QAM-channel basis
M-CMTS	DEPI and DTI
Encryption and CA	MediaCipher and SCTE-52, Broadcast and CTE (for VOD); upgradable CSA and AES Full session VOD encryption
Configuration/Control	Element Manager (SNMP), Motorola SDM (SNMP), console port (RS-232)

**GIGABIT ETHERNET INPUT/OUTPUT**

GigE MPEG Data	Receive only
Physical Ports	Four SFP slots
IGMPv3	Supported
Optical SFP Support	850, 1310, 15xx nm
Electrical SFP Support	1000Base-T

**FAST ETHERNET INPUT/OUTPUT**

Physical Ports	Two RJ-45 Ethernet
----------------	--------------------

**RF OUTPUT**

ITU J.83 Annex A, B, C; DRFI	
QAM Constellations	256 QAM and 64 QAM
Center Frequency Range	57 to 999 MHz
Carrier Frequency Step Size	250 KHz
RF Level Step Size	0.2 dB
Maximum RF Output Level (software version 2.1.0 or higher)	
One active channel	62 dBmV
Two active channels	58 dBmV
Four active channels	54 dBmV
Six active channels	52 dBmV
Eight active channels	51 dBmV
Input Impedance	75 Ω

Individual Components		
Component	Description	Part Number
APEX1000 Chassis	QAM modules and power supply modules sold separately	540274-001
APEX1000 Chassis with Broadcast License	QAM modules and power supply modules sold separately. Broadcast license included.	540274-002
QAM Module (2x4)	Two RF ports per module enable up to four QAMs per port	540273-001
QAM Module (2x8)	Two RF ports per module enable up to eight QAMs per port	540273-002
Power Supply Module (AC)	AC power supply	540272-001
Power Supply Module (DC)	DC power supply	540271-001
Set Configurations		
APEX1000 V48 AC Narrowcast configuration	Includes one APEX chassis, one AC power supply module, three 2x8 QAM modules	541928-001
APEX1000 V48 DC Narrowcast configuration	Includes one APEX chassis, one DC power supply module, three 2x8 QAM modules	541928-002
APEX1000 V24 AC Narrowcast configuration	Includes one APEX chassis, one AC power supply module, three 2x4 QAM modules	541928-003
APEX1000 V24 DC Narrowcast configuration	Includes one APEX chassis, one DC power supply module, three 2x4 QAM modules	541928-004
APEX1000 V48 AC Broadcast configuration	Includes APEX1000 V48 AC (541928-001) along with the Broadcast support license	541928-005
APEX1000 V48 DC Broadcast configuration	Includes APEX1000 V48 DC (541928-002) along with the Broadcast support license	541928-006
APEX1000 V24 AC Broadcast configuration	Includes APEX1000 V24 AC (541928-003) along with the Broadcast support license	541928-007
APEX1000 V24 DC Broadcast configuration	Includes APEX1000 V24 DC (541928-004) along with the Broadcast support license	541928-008
QAM Upgrade		
QAM Module Upgrade	Field-convert a 2x4 QAM module to a 2x8 QAM module	540400-001



**MOTOROLA**

Motorola, Inc. 101 Tournament Drive, Horsham, Pennsylvania 19044 U.S.A. [www.motorola.com](http://www.motorola.com)

MOTOROLA and the Stylized M Logo are registered in the U.S. Patent and Trademark Office. MediaCipher is a registered trademark of General Instrument Corporation, a wholly-owned subsidiary of Motorola, Inc. DOCSIS is a registered trademark of Cable Television Laboratories, Inc. All other product or service names are the property of their respective owners. © Motorola, Inc. 2010. All rights reserved.

## ANEXO E

### Product Specification

#### 1000BASE-T RoHS Compliant Copper SFP Transceiver

#### FCLF8520P2BTL / FCLF8521P2BTL / FCLF8522P2BTL

##### Product Features

- Up to 1.25Gb/s bi-directional data links
- Hot-pluggable SFP footprint
- Extended case temperature range (-40°C to +85°C)
- Fully metallic enclosure for low EMI
- RoHS compliant and Lead Free
- Low power dissipation (1.05 W typical)
- Compact RJ-45 connector assembly
- Access to physical layer IC via 2-wire serial bus
- 10/100/1000 BASE-T operation in host systems with SGMII interface



##### Applications

- 1.25 Gigabit Ethernet over Cat 5 cable

Finisar's FCLF8520P2BTL, FCLF8521P2BTL and FCLF8522P2BTL 1000BASE-T Copper Small Form Pluggable (SFP) transceivers are based on the SFP Multi Source Agreement (MSA)<sup>1</sup>. They are compatible with the Gigabit Ethernet and 1000BASE-T standards as specified in IEEE Std 802.3<sup>2</sup>. They are RoHS compliant and lead-free per Directive 2002/95/EC<sup>3</sup> and Finisar Application Note AN-2038. The 1000BASE-T physical layer IC (PHY) can be accessed via I2C, allowing access to all PHY settings and features.

The FCLF8520P2BTL uses the SFP's RX\_LOS pin for link indication, and 1000BASE-X auto-negotiation should be disabled on the host system. The FCLF8521P2BTL is compatible with 1000BASE-X auto-negotiation, but does not have a link indication feature (RX\_LOS is internally grounded). See AN-2036, "Frequently Asked Questions Regarding Finisar's 1000BASE-T SFPs", for a more complete explanation on the differences between the two models and details on applications issues for the products. The FCLF8522 shall support both RX\_LOS pin for link indication and 1000BASE-X auto-negotiation.

##### PRODUCT SELECTION

Part Number	Link Indicator on RX_LOS Pin	1000BASE-X auto-negotiation enabled by default
FCLF8520P2BTL	Yes	No
FCLF8521P2BTL	No	Yes
FCLF8522P2BTL	Yes	Yes

## ANEXO F

### SPECIFICATION SHEET



#### FEATURES

High-density compact design—1 RU chassis holds up to six ADM-4000 Advanced Demodulator Modules\* and can be functionally equivalent to three RPD-2000s, saving rack space

Each ADM-4000 module includes two RF ports (input and output) and supports the ability to demodulate up to three different return channels

A fully loaded ARPD chassis containing six ADM-4000 modules supports up to six different upstream paths and the ability to demodulate up to 18 different return channels

The ADM-4000 demodulator modules are front-loading (cables connect in the back) and hot-swappable

Tuner frequency range is from 5 to 65 MHz, and the dynamic range is 20 dB (0 dBmV ± 10 dB)

Receives and demodulates upstream data packets (MAC cells) transmitted by STBs and performs FEC, marking each received cell as perfect, corrected, or uncorrectable

Performs power level measurement on each demodulated MAC cell to support the STB power leveling system

Transmits the demodulated MAC cells containing interactive data and/or polling data to the NC-1500 or RADD over UDP/IP/Ethernet

Provides status and alarms using SNMP traps

\*Sold separately



# ARPD

Next-Generation Modular Compact Demodulator

The Advanced RPD (ARPD) is a next-generation headend product that offers greater demodulator density in a more compact chassis than the currently fielded RPD-2000 product. The ARPD is a modular 1 RU product that supports the inclusion of up to six removable (hot-swappable) demodulator modules (ADM-4000 modules). The ARPD performs the same functions as the RPD-2000 product, but offers a larger number of upstream demodulators in a smaller physical package. In addition to saving rack space, the ARPD easily and efficiently allows multiple upstream demodulators to be placed in each upstream path. This increases the bandwidth capacity of each upstream return path, allowing the system to support increased VOD penetration and the introduction of new interactive features such as switched digital video.

---

**SPECIFICATIONS**

---

**INTERFACES**

RF Interfaces (data I/O)	6 inputs, F-type connectors (75 Ω) 6 outputs (loop-thru), F-type connectors (75 Ω)
Network Interface #1	1 RJ-45 (10/100Base-T); data output (transmit data to Motorola NC-1500 or RADD; BOOTP and DHCP; diagnostics)
Network Interface #2	1 RJ-45 (10/100Base-T); diagnostics
RS-232 Console Port	1 DB9 (RS-232)

**RF SPECIFICATIONS**

Demodulation	DQPSK
Input Frequency Range	5 to 66 MHz
Demod Center Frequencies	5.216 to 64.736 MHz in 192 kHz steps
Dynamic Range	20 dB (0 dBmV ±10 dB)
Interference and Noise	C/(N+I) < 16.5 dB
Symbol Rate	128 ksp/s
Channel Bit Rate	256 kbps
Information Bit Rate	223 kbps
FEC	RS (62,54)T= 4 GF(256)
Return Loss (per RF input)	>16.5 dB of return loss (5 to 66 MHz)

**ELECTRICAL AC CHASSIS**

Input Voltage	100 to 240 VAC
VAC Frequency	50 to 60 Hz
Current	1.2 A @ 120 VAC
Power Consumption	50 W (typical), 60 W (maximum)

**ELECTRICAL DC CHASSIS**

Input Voltage	-40 to -60 VDC
Current	1.75 A @ -48 VDC
Power Consumption	50 W (typical), 60 W (maximum)

**ENVIRONMENT**

Ambient Temperature	32 °F to 122 °F (0 °C to 50 °C)
Ambient Humidity	5% to 90%
Storage Temperature	-40 °F to 158 °F (-40 °C to 70 °C)
Cooling	Convection (2 fans)

**OTHER**

Limited Warranty	1 year
Dimensions	1.72 in H x 18.86 in W x 14.85 in L (4.37 cm x 47.90 cm x 37.72 cm) (1 RU)
Weight	8.25 lb (3.74 kg) (fully populated chassis)
Mounting	19 in rack mount

PRODUCT NUMBER	DESCRIPTION
535655-001	ARPD Chassis (AC Power)
535655-002	ARPD Chassis (DC Power)
535666-001	ADM-4000 DM Module (up to 6 per ARPD chassis)

Note: The ADM-4000 DM modules are sold separately from the ARPD chassis.

**MOTOROLA**

Motorola, Inc. 101 Tournament Drive, Horsham, Pennsylvania 19044 U.S.A.  
www.motorola.com

MOTOROLA and the Stylized M Logo are registered in the U.S. Patent and Trademark Office. All other product or service names are the property of their respective owners.  
© Motorola, Inc. 2007. All rights reserved.

## ANEXO G

### OMNISTAR® GX2

#### GX2-HSG\*

##### Housing



The OmniStar GX2 housing has sixteen slots for applications modules. A seventeenth slot in the housing is dedicated to the Control Module (GX2-CM100B) and two additional slots in the rear accommodate the AC and/or DC power supplies (120/240 Vac or -48 Vdc). A mid-plane interface provides intermodule communication and power distribution. The rear panel is a configurable blind-mate, RF back-plane. The OmniStar GX2-HSG offers several options for fiber management. For routing fiber along the front of the equipment rack, an optional shelf door (GX2-SDU\*) neatly bundles and organizes 32 or more fiber strands. For routing fiber through the rack and underneath the housing, cutouts are provided in the housing floor. The shelf door can be outfitted with a vacuum fluorescent display and navigation buttons for use as a simple interface for local status monitoring and control.

*Capable of accommodating up to 16 application modules in a four RU space, the OmniStar GX2 Housing is designed for maximum density.*

#### **BENEFITS INCLUDE:**

- High Module Density
  - Up to 16 application modules in a four rack-unit housing
- Convenient Plug-n-Play
  - Blind-mate RF adapters on the back-plane – Simple insertion and removal of modules requires no special tools
- Configurable
  - Multiple fiber management solutions
  - Optional shelf door, with or without display unit
  - Optional power supply redundancy
- Rugged Construction
  - 14- and 16-gauge steel chassis welded for increased stiffness
- Universal
  - Application modules can be located in any slot
  - RF connectors on the back-plane are interchangeable
  - Double and triple-wide modules are accommodated with no modifications



*The optional shelf door with display unit and navigation buttons (shown here) provides both a fiber management solution and a local status monitoring and control interface.*

## SPECIFICATIONS

Dimensions	7.0" H x 19" W x 17.7" D 17.8 cm x 48.3 cm x 45.0 cm 17.8 cm x 48.3 cm x 45.0 cm
Weight	25 lbs. (Housing only)
RF Connectors	F-type, Floating Barrel Other connections available upon request.

### Individual Components

Model Number	Description
GX2-HSG000N	Housing
GX2-CM100B	Control Module
GX2-PSAC10C	AC Power Supply
GX2-PSDC10C	DC Power Supply
GX2-SDU100B	Shelf Door with Display Unit*
GX2-SDU200B	Shelf Door without Display Unit

\*Display unit requires the control module in order to function

### Configured Chassis

A configured chassis provides a convenient way to order and receive the OmniStar GX2 platform essentials. Various combinations of the housing, control module, shelf door and power supplies can be ordered in a configured chassis using a single model number. Configured chassis elements are shipped in a master box.

Model Number	Powering	Control Module	Shelf Door with display Unit
GX2-HSG000N	None	No	No
GX2-HSG112A	2 AC supplies	Yes	Yes
GX2-HSG112D	2 DC supplies	Yes	Yes
GX2-HSG111A	1 AC supplies	Yes	Yes
GX2-HSG111D	1 DC supplies	Yes	Yes
GX2-HSG012A	2 AC supplies	Yes	No
GX2-HSG012D	2 DC supplies	Yes	No
GX2-HSG011A	1 AC supplies	Yes	No
GX2-HSG011D	1 DC supplies	Yes	No

## ANEXO H

**OMNISTAR® GX2**

**GX2-RFA1000B**  
**RF Amplifier**



The OmniStar GX2-RFA1000B provides amplification of forward path RF signals in headend or hub locations. It can feed a 1550 nm broadcast transmitter, which typically needs higher RF levels, or you can split the amplified signals and feed many 1310 nm distribution transmitters. The GX2-RFA1000B uses a Motorola RF amplifier integrated circuit to provide high linearity, low-noise, and low distortions. You can adjust the integrated attenuator to obtain specific RF output levels, and you can easily compensate high-frequency roll-off due to headend cabling with the integrated slope control.

The compact, energy-efficient design enables 16 plug-n-play modules to operate in the four rack-unit OmniStar GX2 housing, minimizing valuable headend space. Enhanced with PowerPC® technology by Motorola, the GX2 application modules introduce a new found intelligence to traditional headend equipment. The hot-swappable modules with unique embedded features like Quick-Swap module configuration maximize in-service time by eliminating the need for manual configuration.

*The GX2-RFA1000B has integrated slope control to equalize RF levels in the network.*

### **BENEFITS INCLUDE:**

- Single output port with up to 19 dB of gain
- Integrated attenuator to adjust RF level for optimal link performance
- Slope control from +1 dB to +4 dB
- High linearity, low-noise and low distortions
- Front panel test point for RF output
- High density - up to 16 modules in 4RU chassis
- Plug-n-Play application modules with blind-mate RF connectors in the rear



## SPECIFICATIONS

<b>RF</b>		<b>GENERAL</b>	
RF Bandwidth	47 MHz to 1000 MHz	Dimensions	1" W x 5.9" H x 15" D (2.5 cm x 15 cm x 38 cm)
RF Output Ports	1	Weight	2.0 lbs. (1 kg)
Gain	16 dB minimum, at 870 MHz 19 dB maximum, at 870 MHz	Mounting	GX2-HSG* equipment shelf
Attenuator range	0 dB to 5 dB	RF Connector Types	F-type (using G-to-F adaptor on chassis)
Slope control range	1 dB to 4 dB	Input/Output	F-type
Noise Figure	9 dB typical	Test points	
RF Flatness	1.0 dB maximum, 47-870 MHz 1.5 dB mMaximum, 47-1000 MHz	Operating Temperature	-20°C to +65°C (-4°F to +149°F)
Return Loss	16.0 dB minimum, 47-870 MHz	Storage Temperature	-40°C to +80°C (-40°F to +176°F)
RF Test Point	-20 dB +/-0.5 dB relative to RF output port	Range	
		Power Consumption	7 Watts, maximum
		Visual Interface	Tri-colored module status LED
		Data/Control Interface	Serial Peripheral Interface (SPI) to control module
Maximum distortions at 35 dBm/channel (79 NTSC channels + 320 MHz digital)			
CIN	76 dB		
CTB	-85 dBc		
CSO	-79 dBc		
XMOD	-79 dBc		

Specifications are subject to change without notice.

Model Name	Description
GX2-RFA1000B	RF Amplifier



# OmniStar GX2-RX200BX4

## Quad Return Path Receiver

Capturing 64 separate optical return path signals in a 4 RU space is possible with the OmniStar GX2 Quad Return Path Receiver.

With four independent receivers in the module, the OmniStar GX2-RX200BX4 return path receiver module provides a high-density solution for advanced upstream video and data traffic. The increased optical input power range relative to the RX200BX2 can accommodate today's evolving networks with varying link budgets. An integrated low-noise pre-amplifier and high-performance post-amplifier offers high RF output level and exceptional distortion performance. The GX2-RX200BX4 receiver continues the GX2 tradition of module level intelligence. The hot-swappable modules with unique embedded features, like Quick-Swap Module Configuration, maximize in-service time by eliminating the need for manual configuration. This receiver, coupled with the full complement of other OmniStar GX2 application modules, provides extreme flexibility for network design and fiber link optimization.

### GX2-RX200BX4 Benefits

- High Module Density — Up to 16 quad receiver modules in a four rack-unit housing, allowing up to 64 independent optical return path signals.
- Redundancy — Supports path redundancy through secondary output muting, eliminating the need for an RF switch.
- High Performance — An integrated low-noise preamp and high-performance post amp allows a high RF output level and exceptional distortion performance.
- Quick-Swap Capability — Replacement modules are recognized and updated with settings pre-stored by the Control Module.
- Flexibility — A wide optical input range from -18 to +2 dBm accommodates various system architectures.
- User Friendly — An RF test point and three gain modes simplify link optimization. Plug-n-Play application module with blind-mate RF connectors in the rear.

## DATA SHEET

OmniStar GX2-RX200BX4

### Product Description

The GX2-RX200BX4 is a quad return path receiver module for the OmniStar GX2 optical broadband transmission platform. It contains four independent return path receivers in a single module that occupies one slot in the OmniStar GX2 Housing.

Optical input connectors are located on the front of the module for easy cleaning and installation. The standard optical connector is SC/APC. E2000 connectors are also available. The front panel fan on each module is field-replaceable, and the fan current is monitored to provide operational status.

### Module Features

The user can select from three modes of operation; Manual Gain Control (MGC) mode, Automatic Gain Control (AGC), and a high isolation OFF mode. The MGC mode allows the user to adjust the RF output level for customized C/N and distortion performance based on channel loading and system requirements. In AGC mode, an internal RF attenuator automatically adjusts the RF output level and compensates for changes in the optical input levels. The OFF mode is provided so that an unused receiver or a receiver in a link with ingress problems can be muted. Firmware is downloadable and can be upgraded while the module remains in operation. No hardware changes are needed.

The module features a front panel RF test point for convenient setup and maintenance. The output of the test point can be selected from any of the four receivers. The test point directly monitors the RF output of the receiver. Blind-mate RF output connectors on the rear of the module allow hot-swapping without disconnecting cables from the back panel of the housing.

For improved path and equipment redundancy, the GX2-RX200BX4 provides muting of secondary outputs and inter-module communications to signal failures. This feature allows the use of a simple RF coupler to enable redundancy and eliminates the need for an external RF switch.

### Intelligence

A powerful processor allows sophisticated control functions along with high integration. Manufacturing test data, and all specific module information (i.e. firmware, bitmaps, menu structure, etc.), are stored in the nonvolatile memory.

### Communications

Several communication methods are available for real-time system monitoring and control. A tri-colored LED on each module indicates general operating status. The optional shelf door unit with display provides monitoring and control with an alphanumeric display and simple push button navigation. Finally, a PC interface is available through an Ethernet port on the front of the control module. Using a standard web browser, the graphical user interface provides a point-and-click method of configuring the shelf. For higher-level management, OmniStar GX2 can be easily connected to a remote network management system using the standard Ethernet SNMP interface.

**DATA SHEET**

OmniStar GX2-RX200BX4

**RF Output Level**

GX2-RX200BX4 RF output levels are listed in dBmV. The values in parenthesis are the recommended RF attenuator setting in the receiver to achieve optimum RF output levels. Note that when high output powers are used and the link loss is low, high optical power levels are available at receivers. It is recommended to add some passive optical loss to reduce the optical input power to the receiver as noted in the following table.

Platform	GX2	SG4000					SG2000			
Transmitter	DM200B10 CHxx	SG4-ITU- CHxx	SG4- DFBT3- xxxx- CWDM	SG4-DFBT	SG4-EIFPT	SG4-IFPT	SG2- DFBT3	SG2-DFBT	SG2-EIFPT	SG2-IFPT
Nominal Transmitter Input	37 dBmV	23 dBmV	23 dBmV	23 dBmV	23 dBmV	23 dBmV	15 dBmV	15 dBmV	15 dBmV	15 dBmV
Nominal Output	10 dBm	8 dBm	3 dBm	0 dBm	0 dBm	-4 dBm	3 dBm	0 dBm	0 dBm	-4 dBm
Optical Link Loss (dB)										
0	See Note	See Note	See Note	52 (17dB)	54 (20dB)	52 (14dB)	See Note	52 (17dB)	54 (20dB)	52 (14dB)
1	See Note	See Note	54 (20dB)	52 (15dB)	52 (20dB)	52 (12dB)	54 (20dB)	52 (15dB)	52 (20dB)	52 (12dB)
2	See Note	See Note	52 (20dB)	52 (13dB)	52 (18dB)	52 (10dB)	52 (20dB)	52 (13dB)	52 (18dB)	52 (10dB)
4	See Note	See Note	52 (18dB)	52 (11dB)	52 (16dB)	52 (8dB)	52 (18dB)	52 (11dB)	52 (16dB)	52 (8dB)
5	See Note	See Note	52 (16dB)	52 (9dB)	52 (14dB)	52 (6dB)	52 (16dB)	52 (9dB)	52 (14dB)	52 (6dB)
6	See Note	See Note	52 (14dB)	52 (7dB)	52 (12dB)	52 (4dB)	52 (14dB)	52 (7dB)	52 (12dB)	52 (4dB)
7	See Note	See Note	52 (12dB)	52 (5dB)	52 (10dB)	52 (2dB)	52 (12dB)	52 (5dB)	52 (10dB)	52 (2dB)
8	See Note	54 (20dB)	52 (10dB)	52 (3dB)	52 (8dB)	52 (0dB)	52 (10dB)	52 (3dB)	52 (8dB)	52 (0dB)
9	See Note	52 (20dB)	52 (8dB)	52 (1dB)	52 (6dB)	50 (0dB)	52 (8dB)	52 (1dB)	52 (6dB)	50 (0dB)
10	55 (20dB)	52 (19dB)	52 (6dB)	51 (1dB)	52 (4dB)	48 (0dB)	52 (6dB)	51 (0dB)	52 (4dB)	48 (0dB)
11	53 (20dB)	52 (18dB)	52 (4dB)	49 (0dB)	52 (2dB)	48 (0dB)	52 (4dB)	49 (0dB)	52 (2dB)	48 (0dB)
12	52 (19dB)	52 (14dB)	52 (2dB)	47 (0dB)	52 (0dB)	44 (0dB)	52 (2dB)	47 (0dB)	52 (0dB)	44 (0dB)
13	52 (17dB)	52 (12dB)	52 (0dB)	46 (0dB)	50 (0dB)	42 (0dB)	52 (0dB)	46 (0dB)	50 (0dB)	42 (0dB)
14	52 (15dB)	52 (10dB)	50 (0dB)	43 (0dB)	48 (0dB)	40 (0dB)	50 (0dB)	43 (0dB)	48 (0dB)	40 (0dB)
15	52 (13dB)	52 (8dB)	48 (0dB)	41 (0dB)	46 (0dB)		48 (0dB)	41 (0dB)	46 (0dB)	
16	52 (11dB)	52 (6dB)	46 (0dB)	39 (0dB)	44 (0dB)		46 (0dB)	39 (0dB)	44 (0dB)	
17	52 (7dB)	52 (4dB)	44 (0dB)	37 (0dB)	42 (0dB)		44 (0dB)	37 (0dB)	42 (0dB)	
18	52 (5dB)	52 (4dB)	42 (0dB)	35 (0dB)	40 (0dB)		42 (0dB)	35 (0dB)	40 (0dB)	
19	52 (3dB)	52 (0dB)	40 (0dB)				40 (0dB)			
20	52 (1dB)	50 (20dB)	39 (0dB)				39 (0dB)			
21	51 (0dB)	48 (0dB)	38 (0dB)				38 (0dB)			
22	49 (0dB)	46 (0dB)								
23	47 (0dB)	44 (0dB)								
24	45 (0dB)	42 (0dB)								
25	43 (0dB)	40 (0dB)								
26	41 (0dB)	38 (0dB)								
27	39 (0dB)									
28	37 (0dB)									

**Table 1: GX2-RX200BX4 RF output levels in dBmV for a variety of Motorola optical transmitters.**

Note: Optical attenuation should be added.

## Specifications

### OPTICAL

Optical Wavelength	1260 – 1620 nm
Optical Input Power	-18 to +2 dBm
Optical Connector Types	SC/APC or E2000 with Optical Safety Shutter

### RF

Operational Bandwidth	5 – 200 MHz
Channel Loading	5 to 200 MHz
Maximum Gain (@ min. attenuation)	52 dB
Nominal Gain (attenuator @ mid setting)	42 dB
Gain Control Range	20 dB
RF Output Level	+52 dBmV @ -10 dBm Optical Input Level @ 20% OMI (See Table 1)
RF Flatness	1.0 dB p-p @ Nominal Gain (5 to 85 MHz) 1.2 db p-p @ Nominal Gain (5 to 200 MHz)
RF Output Test Point (receiver is user-selectable)	-20 +/-0.5 dB Relative to RF Output Port
RF Output Impedance	75 Ohms
RF Output Return Loss	16 dB minimum @ nominal gain (14 dB minimum at max. gain)
RF Connector Types	RF Outputs: F-type (using supplied G to F back-plane adapter) Test Point: F-type

### GENERAL

Dimensions	1in W x 5.9 in H x 15 in D (2.5 cm x 15 cm x 38 cm)
Weight	2.0 lbs. (1 kgs)
Mounting	GX2-HSG* Equipment Shelf
Operating Temperature Range	-20° C to 80° C (-4° F to 140° F)
Storage Temperature Range	-40° C to 85° C (-40° F to 185° F)
Power Consumption	13 Watts Max.
Visual Interface	Tri-Colored Module Status LED
Data/Control Interface	Serial Peripheral Interface, (SPI) to Control Module



**MOTOROLA**

Motorola, Inc., 101 Tournament Drive, Horsham, Pennsylvania 19044 U.S.A. [www.motorola.com](http://www.motorola.com)

MOTOROLA and the Stylized M logo are registered in the US Patent & Trademark Office. SURFboard is a registered trademark of General Instrument Corporation, a wholly-owned subsidiary of Motorola, Inc. DOCSIS and CableLabs are registered trademarks and PacketCable is a trademark of Cable Television Laboratories, Inc. All other product or service names are property of their respective owners. © Motorola, Inc. 2009. All rights reserved.

858156-001-v 0109 8570 - 0K

## ANEXO J

### DATA SHEET



#### BENEFITS

1 GHz bandwidth

High module density—up to 16 transmitter modules in a 4 RU housing

High performance:

- Advanced predistortion circuitry achieves superior CSO and CTB performance
- Integrated low-noise preamp allows a low RF input level
- Unique anticlipping circuitry yields excellent BER performance for digital data

Compatible with CWDM networks

RoHS-compliant

Intelligent—contains a high-performance PowerPC microprocessor

Quick-swap capability—replacement modules are recognized and updated with settings prestored by the control module

Flexible—full range of output powers from 2 dBm to 15 dBm, separate broadcast and narrow-cast RF inputs, and multiple gain modes accommodate various system architectures

User-friendly—2 RF test points (input and laser drive) and CW/Wideb modes provide accurate link optimization

Energy-efficient—designed with advanced integrated circuits for low power consumption

Plug-and-play—application modules feature blind-mate RF connectors in the rear



# OMNISTAR® GX2

## GX2-LM1000E Series 1310 nm Broadcast Transmitter

Motorola's OmniStar GX2-LM1000E Series 1310 nm Broadcast Transmitter uses a high-power DFB laser, an integrated low-noise preamp, and state-of-the-art predistortion and anticlipping circuitry for superior performance. The compact, energy-efficient design allows up to 16 plug-and-play transmitter modules to operate in the 4 RU OmniStar GX2 housing, maximizing valuable headend space. Enhanced with PowerPC technology, LM1000E series transmitters introduce intelligence to traditional headend equipment. Hot-swappable modules with Quick-Swap Module Configuration maximize in-service time by eliminating the need for manual configuration. The wide range of optical output power is coupled with the full complement of other OmniStar GX2 application modules, providing extreme flexibility for network design and fiber link optimization.

The GX2-LM1000E series is a line of high-performance 1310 nm DFB laser transmitter modules for the OmniStar® GX2 optical broadband transmission platform.

## Module Features

The modules are designed for ease of use. The optical output connector is located on the front of the module for easy cleaning and installation. The standard connector type is an SC/APC; an E2000 connector is available as an option. The dual fans on each module are field-replaceable, and the fan current is monitored to provide operational status.

Transmitter setup and link proofing are quick and easy. The modules are preset at the factory for optimal performance immediately on power-up. Targeted services can be easily added using the separate high-isolation narrowcast RF input. Two front-panel RF test points provide convenient verification of signal inputs. One test point directly monitors the main RF input, while the other test point monitors the RF drive into the laser. Firmware is downloadable and can be upgraded while the module remains in operation. No hardware changes are needed. The CW/Video modes allow a link to be set up and proofed using a CW source. When modulated signals, which have a lower average power level than CW carriers, are applied, the microprocessor adjusts the RF drive level into the laser to match the CW drive levels based on the operator-selected video offset. Several offset settings are provided to match different system needs. This feature ensures that the laser is not operating in clipping when modulated signals are applied, providing operators with a reliable and accurate way to proof links.

Three gain modes offer greater design flexibility:

- **Preset**—Automatic Gain Control using factory settings for optimal laser performance
- **Set**—Automatic Gain Control to an RF level adjusted by the operator to optimize noise and distortion performance based on channel loading and system requirements
- **Manual**—Fixed Gain to an RF level adjusted by the operator to optimize noise and distortion performance based on channel loading and system requirements

## Intelligence

The PowerPC microprocessor, the heart of every LM1000E series transmitter module, offers sophisticated control functions along with high integration. This single-chip design contains flash memory, random access memory, and analog/digital converters. Manufacturing test data and all module-specific information (e.g., firmware, menu structure, etc.) are stored in the nonvolatile memory.

## Communications

Several methods are available for real-time system monitoring and control. A tri-colored LED on each module indicates general operating status. The optional shelf door unit with display provides monitoring and control with an alphanumeric display and simple push-button navigation. In addition, a PC interface is available through an Ethernet port on the front of the control module. Using a standard Web browser, the graphical user interface provides a point-and-click method for configuring the shelf. For higher-level management, the OmniStar GX2 can be easily connected to a remote network management system using a standard Ethernet SNMP interface.

# 1 GHz Loading Link Specifications

## DISTORTION

Composite Triple Beat (CTB)	-70 dB <sup>1</sup>
Composite Second Order (CSO)	-86 dB <sup>1</sup>
Cross-Modulation (XMOD)	-65 dB <sup>1</sup>

## CARRIER-TO-NOISE (CNR)

Model	Output Power (Min., dBm)	Fiber Length (km)	Total Optical Loss (dB) (Fiber + Passive Loss)															
			2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
GX2-LM1000E2	2	2.5	<b>53.5</b>	52.5	51.5													
GX2-LM1000E3	3	5.0	54.5	<b>53.5</b>	52.5	51.5												
GX2-LM1000E4	4	7.5		54.5	<b>53.5</b>	52.5	51.5											
GX2-LM1000E5	5	10.0			54.5	<b>53.5</b>	52.5	51.5										
GX2-LM1000E6	6	12.5				54.5	<b>53.5</b>	52.5	51.5									
GX2-LM1000E7	7	15.0					54.5	<b>53.5</b>	52.5	51.5								
GX2-LM1000E8	8	17.5						54	<b>53</b>	52	51							
GX2-LM1000E9	9	20.0							54	<b>53</b>	52	51						
GX2-LM1000E10	10	22.5								54	<b>53</b>	52	51					
GX2-LM1000E11	11	25.0									53.5	<b>52.5</b>	51.5	50.5				
GX2-LM1000E12	12	27.5										53.5	<b>52.5</b>	51.5	50.5			
GX2-LM1000E13	13	30.0											53.5	<b>52.5</b>	51.5	50.5		
GX2-LM1000E14	14	32.5												53.5	<b>52.5</b>	51.5	50.5	
GX2-LM1000E15	15	35.0													52.5	<b>51.5</b>	50.5	

All performances specified for a channel loading of 79 NTSC analog channels @ 15 dBm/CH + 480 MHz digital loading @ -5 dBc. Specifications are valid over the full operating temperature range of 0 °C to 50 °C. For total optical loss that is greater than the specified output power for a given model, the CNR specifications are for additional passive loss only. Specifications measured using a GX2-RX1000B receiver and CW carriers per SCTE standards.  
<sup>1</sup> Distortion specifications for GX2-LM1000E15\* models are -89 CTB, -83 CSO, -83 XMOD.

<b>OPTICAL SPECIFICATIONS</b>	
Optical Wavelength	1311 nm $\pm$ 7 nm
Optical Output Ports	One
Optical Connector Types	SC/APC or E2000 with Optical Safety Shutter
Laser Shutdown	Enable/Disable via Control Module
<b>RF SPECIFICATIONS</b>	
Operational Bandwidth	47 to 1002 MHz
Broadcast Input Level	15 $\pm$ 0.5 dBmV/ch (79 NTSC channels + 450 MHz digital at -6 dBc)
Narrowcast Input Level	6 dBc above broadcast input levels
Flatness	1.5 dB max. peak to valley, 47 to 1002 MHz
RF Input Test Point	-20 $\pm$ 0.5 dB relative to main RF input port
RF Input Impedance	75 $\Omega$
RF Input Return Loss (broadcast and narrowcast)	16 dB min., 47 to 1002 MHz
Narrowcast to Main RF Input Isolation	50 dB min., 47 to 1002 MHz
<b>GENERAL SPECIFICATIONS</b>	
Dimensions	1.0 in W x 5.9 in H x 15.0 in D (2.5 cm x 15.0 cm x 38.0 cm)
Weight	2.0 lb (1.0 kg)
Mounting	GX2-HSG* Equipment Shelf
RF Connector Types	
Input	F-type (using G-to-F adapter on chassis)
Test points	F-type
Operating Temperature Range	0 °C to 50 °C (32 °F to 122 °F)
Storage Temperature Range	-40 °F to 176 °F (-40 °C to 80 °C)
Power Consumption	12 W typical
Eye Protection	Optical Safety Shutter
Visual Interface	Tri-colored module status LED
Data/Control Interface	Serial Peripheral Interface (SPI) to Control Module

<b>ORDERING INFORMATION</b>	
<b>Model Number</b>	<b>Description</b>
GX2-LM1000E**-R	Broadcast Transmitter, SC/APC Optical Connector
GX2-LM1000E**/E-R	Broadcast Transmitter, E2000 Optical Connector